



# COMUNE DI FOGGIA

SERVIZIO LAVORI PUBBLICI

**LAVORI DI COSTRUZIONE DI NUOVA STRADA DI P.R.G.  
PROLUNGAMENTO DI VIA G. ALMIRANTE E  
COLLEGAMENTO CON VIA G. PARINI**

Relazione Geologica con caratterizzazione  
geotecnica, idrologica e della Vulnerabilità Sismica

D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni

Committente: R.T.P. Ing. Antonio NEMBROTTE  
Via V.Gioberti, 56 71122 FOGGIA

GEOLOGO  
Dr. Modestino Mancini



Febbraio 2022

**STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA**  
**Dr. Geol. Modestino MANCINI**

Via S. Alfonso dei Liguori, 127/F 71121 FOGGIA Albo Geologi Puglia N.97 Tel. e Fax 0881772143 Cell 338/1785340  
P.I. 00376420717 - C.F. MNMST49S23D643R m.geomancini@gmail.com geol.mmancini@epap.sicurezza postale.it

## PREMESSA

La presente relazione attiene allo studio geologico – geotecnico e di vulnerabilità sismica a supporto dei lavori di **“Costruzione di nuova strada di P.R.G. - prolungamento di Via G. Almirante e collegamento con Via G. Parini”** in abitato di Foggia (Corografia Tav.1).

Esso fa riferimento alla Relazione geologica e geotecnica preliminare, elaborata dallo scrivente nell’anno 2015, per incarico dell’Amministrazione comunale di Foggia.

Per l’espletamento del lavoro, è stato necessario programmare e svolgere una campagna di investigazioni del sottosuolo adeguate alle opere da realizzare, in ossequio alle normative nazionali vigenti (**L. 2/02/1974 N.64 - D.M. 11/03/1988 - D.M. 14/09/2005 - N.T.C. D.M. 14/01/2008 e D.M. 17/01/2018**), integrate e comparate con dati e informazioni derivanti da studi e indagini geognostiche pregresse, svolte per lavori simili su suoli contermini ed è finalizzato a fornire la modellazione geologica e geotecnica di massima.

Ai fini della definizione del profilo stratigrafico e della caratterizzazione geotecnica, sono stati effettuati carotaggi lungo il tracciato di progetto, per qualificare il complesso litologico e valutarne lo stato di consistenza.

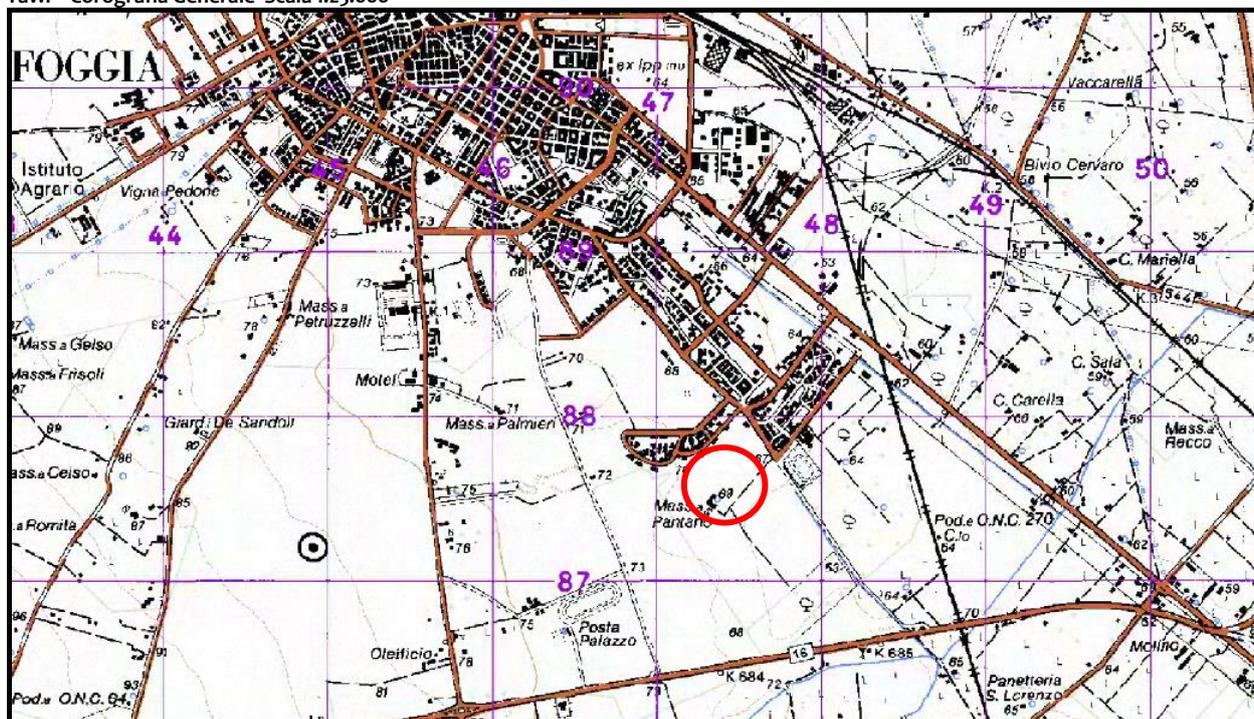
Per classificare sismicamente il sito, si è fatto riferimento alle Prospezioni Sismiche Masw e a Rifrazione eseguite contestualmente sul piano stradale del futuro prolungamento di Via Almirante.

Tutto il tracciato si sviluppa entro i limiti della cinta urbana, in estrema periferia, su suoli praticamente pianeggianti, posti a quota media di 65 metri s.l.m.

COMUNE DI FOGGIA Lavori di costruzione nuova strada di P.R.G. da Via Almirante a Via Parini



Tav.1 Corografia Generale Scala 1:25.000



Il tracciato della nuova viabilità di P.R.G. ha una lunghezza di circa **400 ml**, non prevede superamento di alcun dislivello e, verosimilmente, per la sua costruzione, saranno necessari esigui movimenti di terreno in scavo, avendo riscontrato, un adeguato stato di addensamento di buona parte dell'attuale massicciata stradale, seppur sconnessa e variamente deformata, rimasta aperta al traffico da diversi anni, che ha indotto un certo grado di consolidazione nei primi strati di terreno di sottofondazione.

Come indicato, la qualificazione geologico – tecnica preliminare dei suoli, è stata possibile attraverso dati oggettivi ricavati da lavori eseguiti su terreni simili di aree contermini (sulle quali sono state realizzate importanti strutture edili), comparati con quanto riportato nella letteratura geologica ed integrati con ulteriori osservazioni dirette, tra le quali, le informazioni territoriali prodotte dall'Autorità di Bacino della Puglia, da cui risulta che il tracciato viario di Progetto, non lambisce Aree classificate a **Rischio Geomorfologico o Idraulico** (V. Tav.2 di pag.3), né risultano soluzioni di continuità dell'assetto stratigrafico strutturale dei depositi o presenza di cavità naturali e/o antropiche o di corpi sepolti, a meno di emergenze archeologiche.



Tav.2 PAI aggiornato 2022 Assenza di interferenza con aree a Pericolosità e Rischio

## **PERICOLOSITA' GEOLOGICO - AMBIENTALE**

Il tratto stradale oggetto di studio, non attraversa alcun corso d'acqua censito nel reticolo idrografico delle carte di tutela del territorio, pertanto non sono previste opere di attraversamento da assoggettare a verifiche idrauliche ed è certa l'assenza di rischio idraulico.

In merito alla fattibilità geologico - ambientale dell'intervento, rispetto ai singoli elementi di rischio ed in riferimento alle indagini geologico - tecniche esperite, in possesso dello scrivente, l'intera area interessata dal tracciato, può ritenersi definita dalle seguenti classi di pericolosità:

- **PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA: ASSENTE** - le indagini generali effettuate sul sito di studio e sul territorio, confermano l'assenza di problematiche connesse con l'assetto litostratigrafico e strutturale dei terreni individuati come ideale sottofondo che, a seguito di idonea bonifica, non produrranno cedimenti o dissesti;

- **PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO: MEDIO-ALTA** - la sismicità del Tavoliere della Puglia è influenzata da due zone sismogeneticamente attive, il Gargano ed il Subappennino Dauno, i cui effetti si risentono anche nel comprensorio di Foggia, sebbene la campagna di microzonazione sismica attuata in tempi recenti e le indagini dirette effettuate lungo il tracciato di progetto sulla vulnerabilità sismica di sito, hanno consentito di classificare il sottosuolo, di **Classe B**, con superficie topografica **T1**;

- **PERICOLOSITA' IDRAULICA: SCARSA O ASSENTE** - l'intervento non presenta rischio in relazione all'ipotesi di alluvionamento, che è comunque condizionata dall'idoneità dei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque piovane; è confermata quindi la fattibilità ad esso connessa;

- **PERICOLOSITA' DA INQUINAMENTO: IRRILEVANTE** - la falda superficiale, seppur soggetta ad oscillazioni periodiche, è mediamente attestata a profondità tale (6 - 8 metri dal p.c.), da garantire naturale depurazione di acque di pioggia dilavanti, se infiltrate.

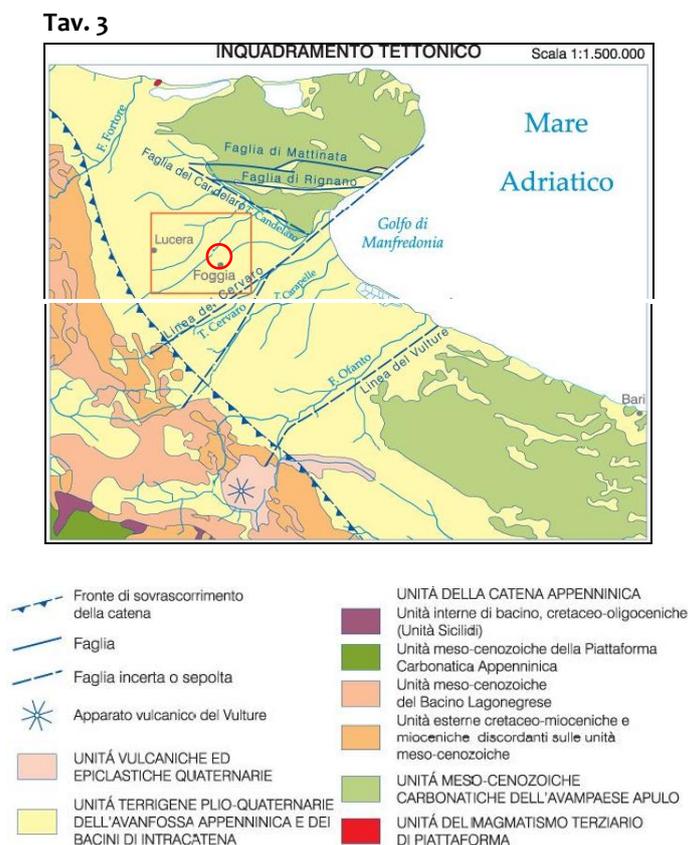
## TETTONICA E GEOMORFOLOGIA GENERALE

Al fine di una migliore interpretazione dei caratteri litostratigrafici delle unità geologiche affioranti nel territorio, si riportano alle pagine successive gli stralci della Carta Idrogeologica d'Italia, della Carta Tettonica e della Carta Geologica, con l'inquadramento regionale dell'area di studio.

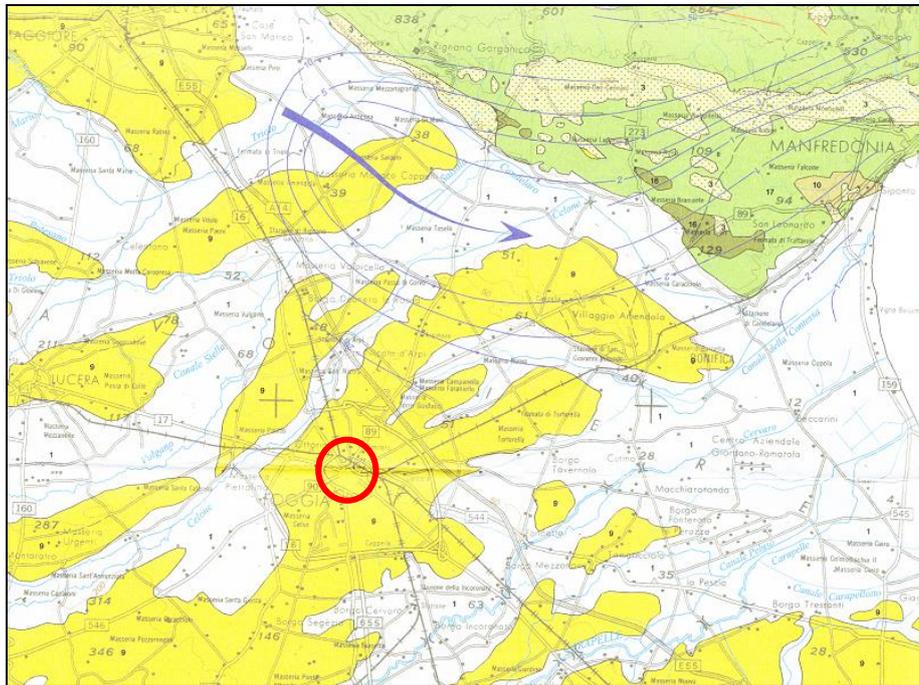
Dal punto di vista tettonico, rilievo particolare costituisce il Gargano, la cui struttura è rappresentata da un Horst carbonatico, riferibile alla successione mesozoica della Piattaforma Appula, allungato in senso NE-SW e che confina con la struttura del Tavoliere, al di sotto della quale è ribassata da una gradinata di faglie; in particolare la faglia del Torrente Candellaro, che delimita la struttura sul bordo sud occidentale ed è il principale elemento tettonico rilevabile in affioramento.

Il Tavoliere della Puglia, che può ritenersi la naturale continuazione verso nord - est della Fossa Bradanica e coincide con il tratto dell'Avanfossa Adriatica delimitato dalla Catena Appenninica e dall'Avanpaese Apulo, è una vasta pianura plio-pleistocenica, dolcemente degradante verso il Mare Adriatico, delimitata a Sud-Est dal Fiume Ofanto, a Nord-Ovest dal Fiume Fortore, ad Ovest dai rilievi del Subappennino Dauno e a Nord - Nord Est dal Torrente Candellaro, che rappresenta il confine con il promontorio garganico (**Tav.3** e **Tav.4**).

Si evidenzia la presenza di sedimenti plio-quadernari che hanno colmato la parte orientale dell'avanfossa appenninica fino al promontorio del Gargano ed a Nord - Nord Est, limitati dal torrente Candellaro, affiorano i calcari mesozoici che costituiscono la porzione più meridionale del sollevamento del Gargano, nel quale sono presenti terreni Triassici, i termini più antichi dell'area pugliese, consistenti in calcari marnosi con gessi più o meno bituminosi (Punta Pietre Nere di Lesina Marina).



**Tav.4 Stralcio Carta Idrogeologica**



**LEGENDA**

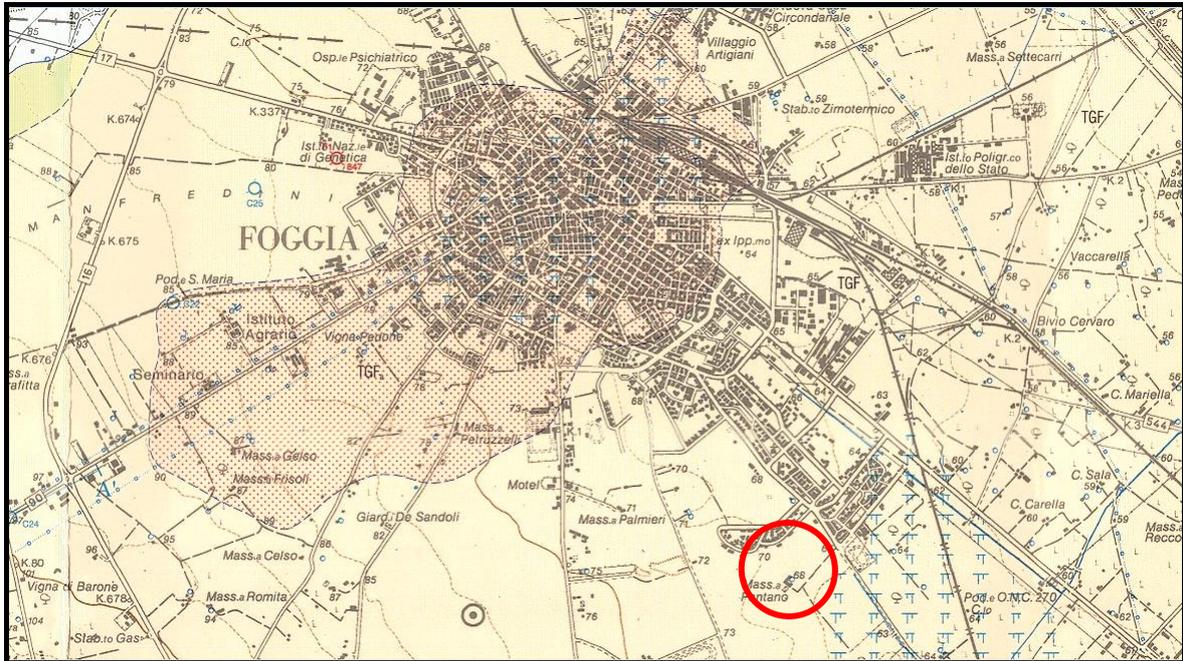
COMPLESSI DELLE COPERTURE QUATERNARIE		Tipo di permeabilità prevalente		Grado di permeabilità		
		Impermeabile	Permeabile	Scarsa	Modera	Elevata
1	<p><b>Complesso alluvionale-costiero:</b> Depositi clastici prevalentemente incoerenti costituiti da tutte le frazioni granulometriche, ma con prevalenza dei termini sabbiosi. Differenti granulometrie si ritrovano in giustapposizione laterale e verticale, in relazione alla variabile energia del trasporto idraulico che ne ha determinato la deposizione. Costituiscono acquiferi porosi, eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee, localmente autonome ma globalmente a deflusso unitario, che possono avere scambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe.</p>					
9	<p><b>Complesso sabbioso-conglomeratico:</b> Depositi clastici sabbioso-ghiaiosi da incoerenti a scarsamente cementati, ascrivibili alle fasi regressive iniziate nel Pleistocene inferiore (del ciclo bradanico: Sabbie di Monte Marano, Calcareni di Monte Castiglione, Conglomerato di Irsina). Costituiscono acquiferi anche di buona trasmissività, ma in genere, per il frazionamento della circolazione idrica sotterranea, danno luogo a sorgenti di portata modesta, in corrispondenza di limiti di permeabilità indefiniti o definiti con i sottostanti terreni argillosi.</p>					

I suoli Plio - Quaternari riferiti all'area del Tavoliere, sono costituiti da depositi di spiaggia sabbioso - ghiaiosi, depositi palustri argilloso - limosi, depositi alluvionali ghiaioso - sabbioso - argillosi.

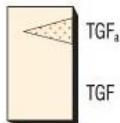
Il territorio comunale di Foggia, parte integrante dell'ampia pianura di Capitanata, è caratterizzato nella parte superficiale da una copertura quaternaria alluvionale di ghiaie sabbiose, con intercalazioni lentiformi di limi argilloso-sabbiosi, che si adagiano sulle sabbie marine Oloceniche, talora affioranti; tutto il complesso è sostenuto dai più antichi sedimenti argilloso-marnosi di origine marina, noti in letteratura geologica come "argille subappennine grigio-azzurre" di età Plio-Pleistocenica, aventi potenza di centinaia di metri (V.Tav.5 Carta Geologica TGF e TGF<sub>2</sub> di pag.7).

Tav.5

Carta Geologica scala 1:50.000



**SINTEMA DI FOGGIA**



Depositi alluvionali terrazzati del V ordine costituiti da silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie siltose gradate e laminare (depositi di piana di inondazione). Nel sottosuolo a diverse profondità si rinvennero conglomerati poligenici ed eterometrici in corpi di spessore variabile da circa un metro a circa 5-6 m intercalati a silt argillosi nerastri laminati che contengono a luoghi ciottoli isolati e gasteropodi continentali (TGF).

In corrispondenza dell'abitato di Foggia i conglomerati affiorano in una estesa area (TGF<sub>a</sub>). Depositi di traccimazione e/o di piena calante e piane di esondazione. Poggia in erosione sulle argille subappennine e sui sintemi più antichi. Lo spessore complessivo dell'unità, ricavato dall'analisi di numerosi pozzi per la ricerca di acqua, varia da 10-15 m a 40 m.

**PLEISTOCENE MEDIO? - PLEISTOCENE SUPERIORE**

## **IDROLOGIA SUPERFICIALE**

L'idrografia superficiale dell'intero Territorio, è collegata ai due fiumi principali, il Fortore e l'Ofanto, che scorrono alle due estremità del Tavoliere e nascono dall'Appennino, sfociando entrambi nel Mare Adriatico; gli altri corsi d'acqua maggiori, il Candelaro, il Cervaro ed il Carapelle, scendono pure dall'Appennino e attraversano il Tavoliere, ma con regimi tipicamente torrentizi e deflussi stagionali; sono caratterizzati da alvei poco profondi e generalmente regolarizzati con opere di regimentazione.

Le loro portate risultano importanti solo a seguito di precipitazioni particolarmente intense e di notevole durata (registrate portate massime di 2 – 2,5 mc/s con picchi per giornata di 100 – 150 mc/s); piene dei corsi d'acqua citati, che abbiano dato luogo a tracimazioni ricorrenti (ma con un periodo di ritorno compreso tra 10 e 30 anni), hanno interessato solo le fasce di esondazione lungo gli alvei, senza superare i rilevati degli argini, tranne su limitate aree depresse, dove anche per concomitanti fenomeni di infiltrazione, si sono registrate inondazioni di suoli agricoli per fasce estese poche centinaia di metri dagli alvei.

Dei bacini lacustri del territorio, i più vasti e interessanti sono i due laghi costieri di Lesina e Varano, ai piedi del versante nord-occidentale del Gargano.

Il clima è ovunque tipicamente mediterraneo, con variazioni dovute alle altitudini e le precipitazioni, concentrate nei mesi invernali, sono piuttosto scarse e di modesta utilità per l'agricoltura.

Nell'area individuata per lo sviluppo del tracciato della **“Nuova strada di P.R.G. - prolungamento di Via G. Almirante e collegamento con Via Parini”** oggetto di studio, non risultano, anche nella bibliografia storica antica, fenomeni di inondazioni, allagamenti e/o copiosi ristagni di acque, soprattutto in funzione della distanza dal più vicino corso d'acqua, anche se localmente, su alcune aree dove la granulometria dei depositi superficiali è molto fine per presenza di alta componente argillosa, può verificarsi ristagno prolungato di acqua, a seguito di intense precipitazioni.

## IDROLOGIA SOTTERRANEA

Per quanto riguarda l'idrologia del sottosuolo della provincia di Foggia, sono stati evidenziati diversi settori, costituenti complessi idrogeologici differenti, tra i quali, quello occidentale o del Subappennino Dauno, l'area del torrente Candelaro - Manfredonia, l'area prospiciente il lago di Lesina ed il settore centro - orientale, in cui ricade la Pianura Dauna, definito nella letteratura come "Complesso delle coperture quaternarie o alluvionale - costiero" e di cui si riportano le caratteristiche idrogeologiche:

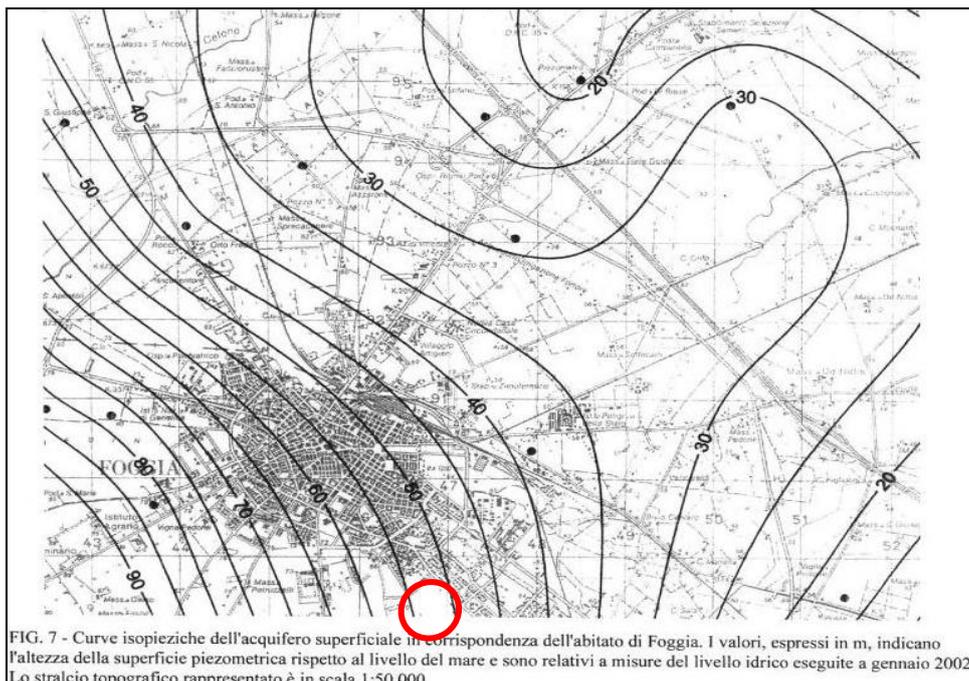
- si rinvengono depositi clastici prevalentemente incoerenti, costituiti da tutte le frazioni granulometriche, ma con prevalenza dei termini ghiaiosi e sabbiosi; differenti granulometrie coesistono, in relazione alla variabile energia del trasporto, che ne ha determinato la deposizione; essi costituiscono acquiferi porosi, eterogenei ed anisotropi e sono sede di falde idriche sotterranee, localmente autonome, ma nel complesso a deflusso unitario, che possono avere interscambi con corpi idrici superficiali e/o sotterranei; la permeabilità è molto variabile, perché condizionata dalla porosità; il **Grado di Permeabilità** è caratterizzabile come tendenzialmente **medio - basso** (da  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/sec), con picchi di  $10^{-7}$  cm/sec perché localmente influenzato dalle frazioni argillose.

La potenza complessiva dell'acquifero risulta variabile tra 25 metri nelle zone più interne e 50 metri ed il relativo basamento è rappresentato dalla formazione delle argille calcaree grigio - azzurre Plio - pleistoceniche impermeabili di base, che condizionano fortemente la morfologia della superficie piezometrica nel territorio.

In relazione alla quantità di precipitazioni ed all'utilizzo per uso irriguo, il livello piezometrico subisce sensibili escursioni nell'arco dell'anno, ma solo localmente ed in aree intensamente coltivate, di svariati metri ed a seguito di costante emungimento.

La falda, suddivisa in più livelli, circola nel Tavoliere a pelo libero ed a quote mediamente comprese tra 10 e 20 metri al di sotto del piano campagna, diminuendo in prossimità di aste torrentizie ed in 6 direzione della costa (V.Tav.6 stralcio carta isopieze).

Nel Tavoliere, sono altresì presenti falde artesiane profonde (200 - 400 metri), confinate in seno alla potente formazione delle argille grigio - azzurre plio - pleistoceniche, le cui acque sono raramente dolci e prevalentemente da salmastre a salate, per antichi fenomeni di contaminazione marina ed assenza di alimentazione.



Tav.6

Carta Isopieze (da Maggiore e Pagliarulo)

## STRATIGRAFIA E IDROLOGIA LOCALE

L'assetto litostratigrafico del tracciato di Progetto, ripropone e conferma quanto riportato nella letteratura scientifica: la medesima successione stratigrafica è stata riscontrata infatti, su un'estesa superficie nell'intorno, attraverso le perforazioni eseguite, di cui si riporta una sintetica descrizione:

- da 0,00 a m 1,20 – 1,70 terreno agrario superficiale di natura organica (**con drenaggio e permeabilità medio bassi**) poggiante generalmente sulla consistente crosta calcareo – evaporitica caratteristica del territorio (**con drenaggio buono e permeabilità media**);
- complesso alluvionale costituito da ghiaia poligenica eterometrica, da mediamente a fortemente addensata (**drenaggio buono e permeabilità medio-bassa**), in matrice sabbioso - limosa, nel cui ambito possono rinvenirsi, localmente, livelli o sacche di sabbie limose debolmente argillose, geneticamente uguali al deposito in cui sono immerse, ma in cui è scarsa o assente la frazione lapidea (**drenaggio da buono a povero e permeabilità da media a bassa, in funzione della frazione argillosa presente nella matrice, di difficile localizzazione, comunque tale da favorire, raramente, eventuali fenomeni di ritardato drenaggio delle acque**);
- la potenza dei depositi ghiaioso – sabbiosi dominanti, varia con una certa linearità; nel territorio urbano e nell'estrema periferia, lo spessore può ritenersi compreso tra 15 e 20 metri;
- oltre tali quote compaiono ancora ammassi ghiaiosi, ma intercalati a sabbie argillose o argille sabbiose (**acquitardi - drenaggio e permeabilità da medi a bassi, in funzione della frazione argillosa presente nella matrice**), che continuano fino a profondità prossime a 25 - 30 metri dal p.c. dove ha inizio la potente formazione delle argille calcaree grigio-azzurre plio-pleistoceniche (**acquicludi - praticamente impermeabili**), che proseguono per diverse centinaia di metri.

Come riferito, i depositi descritti, largamente rappresentati da terreni permeabili per porosità, sono caratterizzati da un'idrologia sotterranea presente in **falde acquifere** rinvenute nei terreni ghiaiosi e sabbiosi di copertura (sostenute dalle più antiche formazioni argillose sottostanti impermeabili), che hanno subito frequenti oscillazioni della quota di soggiacenza.

Nell'area di interesse, attualmente, la superficie piezometrica della falda acquifera, in stato di quiete, risulta attestata tra **m.6,00 e m.8,00** dal p.c.

Le indagini pregresse afferenti studi specialistici condotti, hanno consentito una caratterizzazione di massima dell'acquifero, anche perché riferita a pozzi perforati ed accessibili, per i quali è stato possibile reperire dati statistici.

## INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Le indagini esperite sul sito, realizzate seguendo le normative nazionali (N.T.C. 14 gennaio 2008 – N.T.C. 17 gennaio 2018), sono finalizzate a fornire la modellazione geologica e i principali parametri geotecnici dei terreni che sottendono al sito interessato dal Progetto di prolungamento di Via Almirante, che sarà collegata con Via Parini, in abitato di Foggia.

La quota del tracciato, rispetto al piano campagna, comporterà comunque uno scavo di fondazione nel cui ambito sarà incassata la struttura stradale, la cui profondità è condizionata dalla granulometria e dalla portanza dei terreni di sottofondo, di cui alla caratterizzazione nella discorsiva che segue.

Un idoneo sistema di allontanamento e drenaggio delle acque superficiali infiltranti, preserverà la funzionalità dell'arteria, in caso di copiose precipitazioni, onde evitare ristagni conseguenti alla saturazione delle coltri superficiali permeabili, sostenute da eventuali livelli argillosi impermeabili o all'inefficienza di canali di smaltimento esistenti in zona.

La struttura stradale, sarà costituita da un tratto viario che potrebbe intercettare la rete idrico fognaria, il sistema di raccolta e deflusso delle acque meteoriche, la pubblica illuminazione e le opere di connessione alla viabilità esistente e si svilupperà per una estensione, pressoché lineare, di circa 400 metri, pianeggiante e priva di rilievi o depressioni.

Le verifiche eseguite, consentono di esprimere un parere in merito alle caratteristiche geologiche del territorio e di conseguenza sulla fattibilità progettuale dell'opera, consigliando le soluzioni ritenute più idonee a mantenere le condizioni di equilibrio dell'area ed evitare che le opere possano subire danni che ne pregiudichino l'integrità.

Lo studio è stato corredato con gli elaborati grafici (cartografie) e descrittivi (tabelle, foto, figure, sondaggi, certificati di laboratorio e allegati vari), utili a supportare il modello geologico ed a chiarire gli aspetti relativi alla pericolosità geologica ed ambientale del sito, anche in chiave sismica avendone accertato i requisiti geologico – tecnici e geosismici, attraverso tecniche differenti.

- Indagini dirette: N. 5 carotaggi e prove penetrometriche connesse, nell'ambito del deposito terrigeno superficiale, onde valutarne il grado di compattezza (V. Colonne stratigrafiche e documentazione fotografica in **Allegato**);
- Indagini sismiche: Prospezione sismica con tecnica **MASW** per definire il profilo verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio) e prospezione sismica a rifrazione (Report dedicato in **Allegato**).

I sondaggi geognostici, distinti da **S.1 a S.5** hanno avuto lo scopo di accertare la stratigrafia dei suoli, onde verificare la regolare successione del pacchetto esistente (massicciata grezza, sottofondo), lo spessore delle matrici e lo stato di consistenza, ai fini di programmare eventuali opere di consolidamento o di ripristino.

Ciascuna perforazione è stata spinta fino a circa 3,00 metri dal p.s. attuale e, nell'ambito dei suoli coesivi presenti (terreno agrario), sono state effettuate prove Standard Penetration Test, registrando il numero di colpi necessari per l'avanzamento delle aste di **30 cm.** ricavandone lo stato di addensamento o consistenza, di cui alle tabelle della pagina successiva.

Non sono state evidenziate soluzioni di continuità nel pacchetto o inclusioni di agglomerati particolarmente inconsistenti o cedevoli; presenta discreta consistenza e buon grado di addensamento.

Come richiamato, le prove S.P.T. sono state condotte nel complesso sabbioso limoso, che costituisce il cosiddetto terreno vegetale, idoneo a lasciarsi attraversare dalla punta penetrometrica infissa con colpi di maglio, il cui numero di colpi per avanzare di **30 cm.** di infissione, costituisce il parametro indicativo dello stato di addensamento e/o di consistenza del terreno, che costituirà lo strato di sottofondazione per la sovrastruttura stradale di progetto, dopo averlo opportunamente bonificato e consolidato, mediante alcuni cicli di ricarica di inerti di pezzatura medio piccola, ciascuno dei quali vigorosamente compattato, prima dell'apposizione del successivo, con rullo compressore a piede di pecora (V. Step addensamento in **Allegato**).

I valori registrati, riportati nelle tabelle seguenti, forniscono parametri indicativi dello stato di addensamento, della consistenza, della Densità relativa, dell'angolo di attrito interno, ovvero della Resistenza Meccanica del deposito.

La litologia, che può rilevarsi dalle colonne stratigrafiche e dalle foto in **Allegato**, può così sintetizzarsi:

- **Sondaggio S.1:**

m. 0,00 - 0,40	riporto sabbia, ghiaia, terreno agrario molto compatto	
0,40 - 1,70	terreno vegetale sabbioso limoso:	<b>S.P.T. 70 cm. N.8 colpi</b> <b>S.P.T. 115 cm. N.19 colpi</b>
1,70 - 5,20	ghiaia e ciottoli naturali in sabbia argillosa molto addensata	
5,20 - 6,00	argilla sabbiosa consistente con ghiaia sparsa	

- **Sondaggio S.2:**

m. 0,00 - 0,30	riporto sabbia, ghiaia, terreno agrario molto compatto	
0,30 - 1,50	terreno vegetale sabbioso limoso:	<b>S.P.T. 60 cm. N.9 colpi</b> <b>S.P.T. 105 cm. N.17 colpi</b>
1,50 - 3,00	ghiaia e ciottoli naturali in sabbia argillosa molto addensata	

- **Sondaggio S.3:**

m. 0,00 - 0,70	ghiaia, ghiaietto, sabbia grossolana mediamente compatta	
0,70 - 1,35	terreno vegetale sabbioso limoso:	<b>S.P.T. 90 cm. N.26 colpi</b> <b>S.P.T. 135 cm. N.25 colpi e Rifiuto</b>
1,35 - 3,00	ghiaia e ciottoli naturali in sabbia argillosa molto addensata	

- **Sondaggio S.4:**

m. 0,00 - 2,00	Riporto di ghiaia, ghiaietto, sabbia grossolana mediamente compatta (ipotesi: riempimento trincea condotta AQP)	
----------------	---	--

- **Sondaggio S.5:**

m. 0,00 - 1,70	terreno vegetale sabbioso limoso:	<b>S.P.T. 50 cm. N.12 colpi</b> <b>S.P.T. 95 cm. N.18 colpi</b>
1,35 - 3,00	ghiaia e ciottoli naturali in sabbia argillosa molto addensata	

**Relazione Geologica, Sismica e caratterizzazione Geotecnica**

Costruzione di nuova strada di P.R.G. – Prolungamento di Via G. Almirante e collegamento con Via Parini – COMUNE DI FOGGIA

**TABELLA RIEPILOGATIVA VALORI PROVE S.P.T. EFFETTUATE SUI TERRENI PROLUNGAMENTO VIA ALMIRANTE**

SONDAGGIO	Profondità dal p.c. (m)	NUMERO COLPI	Litologia	N S.P.T.
S.1	0,70	6-4-4	Sabbia limosa	<b>8</b>
	1,15	6-9-10	Sabbia limosa	<b>19</b>
S.2	0,60	6-5-4	Sabbia limosa	<b>9</b>
	1,05	6-8-9	Sabbia limosa	<b>17</b>
S.3	0,90	6-11-15	Sabbia limosa	<b>26</b>
	1,35	15-25-R	Sabbia limo ghiaia	<b>Rif.</b>
S.5	0,50	5-5-7	Sabbia limosa	<b>12</b>
	0,95	8-8-10	Sabbia limosa	<b>18</b>

Le penetrometrie, confermano la stratigrafia accertata mediante i carotaggi effettuati anche su aree contermini, per assetto, litologia e spessori dei depositi, nonché per la presenza costante dei due orizzonti principali, caratteristici del termine alluvionale di Capitanata.

Superficialmente, fino a profondità variabili tra **m.1,20 e 1,50** è presente il deposito di piana (terreno agrario), costituito in prevalenza da sabbia limoso argillosa, di colore marrone – nerastro, definito da moderatamente consistente a consistente, fino al contatto con il Sintema di Foggia, in cui è dominante il complesso clastico molto addensato, a matrice plurigranulometrica, rilevato fino a circa **6 metri**, nel sondaggio **N.1**.

La consistenza dei terreni superficiali di interesse, per la realizzazione della strada di progetto, è risultata medio bassa nei primi **20 – 40 cm.** di infissione, con una media **N** di **4 – 5 colpi** per **30 cm.** aumentando con la profondità, fino a **N 10 colpi** mediamente; le prove esperite tra **m.1,00 e m.1,20** circa hanno fatto registrare **N** medio di **15 - 20 colpi**, fino al rifiuto (**R**), registrato nel sondaggio **S.3** a **m.1,35** al contatto con il complesso clastico sottostante, costituito da depositi ghiaiosi addensati.

Matrice sabbiosa

Matrice argillosa

N	STATO DI ADDENSAMENTO
0-4	Sciolto
4-10	Poco addensato
10-30	<b>Moderatamente addensato</b>
30-50	Addensato
>50	Molto addensato

N	STATO DI CONSISTENZA
<2	Privo di consistenza
2-4	Poco consistente
4-8	<b>Moderatamente consistente</b>
8-15	Consistente
15-30	Molto consistente
>30	Estremamente consistente

Sabbia	Densità relativa	Penetrometro standard n. colpi per piede	Penetrometro statico Kg/cm <sup>2</sup> R <sub>s</sub>	Angolo d'attrito φ
molto sciolta	< 0,2	< 4	< 20	< 30°
sciolta	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30° – 35°
<b>compatta</b>	<b>0,4 – 0,6</b>	<b>10 – 30</b>	40 – 120	35° – 40°
densa	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40° – 45°
molto densa	> 0,8	> 50	> 200	> 45°

Argilla	q <sub>s</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	Penetrometro standard n. colpi per piede
molto molle	< 0,25	< 2
molle	0,25 – 0,5	2 – 4
mediamente compatta	0,5 – 1	4 – 8
<b>consistente</b>	<b>1 – 2</b>	<b>8 – 15</b>
molto consistente	2 – 4	15 – 30
dura	> 4	> 30

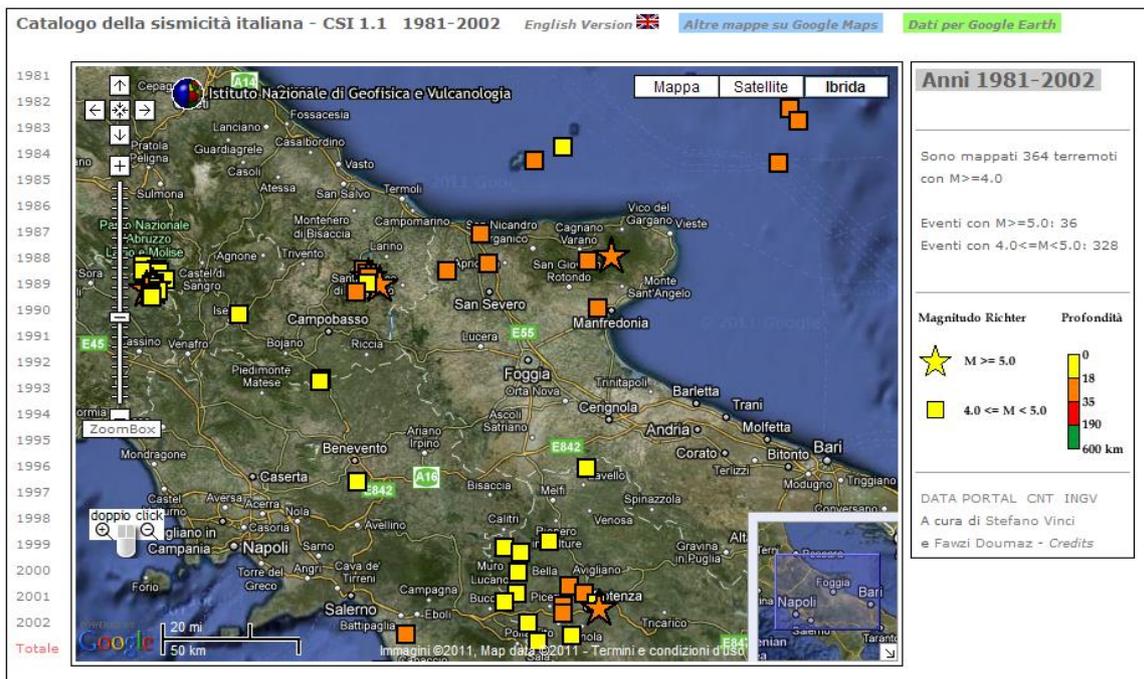
## SISMICITA' DEL TERRITORIO

L'assetto geologico – strutturale della Regione Puglia, ha comportato una differente classificazione sismica territoriale, distinguendola per zone sismogenetiche, in funzione di frequenza e intensità di terremoti.

In particolare, il Subappennino Dauno e il Promontorio del Gargano, presentano una storia sismica tra le più severe d'Italia, con eventi catastrofici ricorrenti e le zone sismogenetiche, sono caratterizzate da un'elevata pericolosità potenziale, sia per il livello di sismicità che per l'intensa attività neotettonica.

La vicinanza di queste aree sismogeneticamente attive, caratterizzate nel tempo da eventi sismici con **Magnitudo** compresa tra 4 e 5 o superiore a 5 rende vulnerabili le zone tra esse inserite, quali ad esempio il Tavoliere della Puglia, sul quale, a differenza della terra di Bari, che ricade in zona sismica 3, con livello di pericolosità basso, l'allineamento degli epicentri, è chiaramente collegato con la struttura geologica delle regione; in particolare gli epicentri si concentrano tra la Catena Appenninica, l'Avanfossa Bradanica ed il Promontorio, mentre il loro numero decresce nei settori interni della catena (prossimi al Mar Tirreno) e nel basso Adriatico (V. Tavola sottostante).

Eventi Sismici Magnitudo > 4 Profondità 0 – 35 Km Campania – Molise – Puglia Nord 1981 – 2000



### Programma Indagini sismiche:

- Esecuzione di n. 1 Prospezione Sismica superficiale con tecnica **MASW** (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- Esecuzione di n. 1 Prospezione Sismica a **rifrazione**;
- Studio delle evidenze ed elaborazione dati.

L'ubicazione degli stendimenti sismici e il **Report conclusivo** sono riportati in **Allegato**.

Nel sito oggetto di studio, è stata effettuata prospezione sismica **MASW** e **prospezione sismica a Rifrazione**, di cui alla Relazione dedicata, in **Allegato** alla presente.

La prospezione **Masw** è stata eseguita in accordo con le norme tecniche per le costruzioni del D. M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento per le norme Tecniche per le Costruzioni” che, in buona misura, fanno risalire la stima dell’effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

L’indagine Masw, eseguita ai sensi delle **NTC 2018**, ha restituito un valore di  **$V_{s30}=479$  m/s**, coincidente dal valore della  **$V_{s,eq}$** , in quanto non è stato intercettato il **bedrock** (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con  **$V_s > 800$  m/sec**) ad una profondità  **$H = 30.00$  m dal p.c.**

Di seguito si riportano i valori delle  $V_s$  in funzione delle profondità considerate:

Valore del $V_{s30} = 479$ m/sec
Valore del $V_{s,eq} = 479$ m/sec

MASW	Velocità onde di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	221	1.40	0.00 – 1.40
SISMOSTRATO II	396	4.20	1.40 – 5.60
SISMOSTRATO III	519	5.60	5.60 – 20.70
SISMOSTRATO IV	560	Semispazio	Semispazio
<b><math>V_{s,eq} = 479</math> m/sec</b>			

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Pavimentazione stradale; inferiormente riporto e sabbia con ghiaia;	0.00 – 1.40
SISMOSTRATO II	Sabbia con ghiaia;	1.40 – 5.60
SISMOSTRATO III	Ghiaia eterometrica in matrice limo-sabbiosa;	5.60 – 20.70
SISMOSTRATO IV	Ghiaia eterometrica con migliori proprietà meccaniche;	Semispazio

Sempre in allegato è riportata la sezione sismostratigrafica interpretativa, ottenuta, scegliendo un modello a 3 strati:

Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
SISMOSTRATO I	778	221	0.00	1,00 - 2,40
SISMOSTRATO II	1124	396	1,00 – 2,40	5,10 – 7,40
SISMOSTRATO III	1879	519	<i>indefinito</i>	

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata
SISMOSTRATO I	Pavimentazione stradale; inferiormente riporto e sabbia con ghiaia;
SISMOSTRATO II	Sabbia con ghiaia;
SISMOSTRATO III	Ghiaia eterometrica in matrice limo-sabbiosa;

Le indagini sismiche eseguite, hanno consentito di determinare le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno investigato e definire la categoria del sottosuolo di fondazione.

**La VS equivalente calcolata, è risultata essere per la prospezione Masw eseguita, pari a:  
 $V_{s, eq} = 479 \text{ m/s}$**

Pertanto, con riferimento al piano campagna, sulla base del valore  $V_{s,eq}$  il sottosuolo è riferibile alla **categoria “B”** (tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato*), riguarda perciò: **“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”**.

## **CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO**

Gli esiti delle investigazioni, permettono di considerare l'area priva di pericolosità geomorfologica e la possibilità di adottare, per la struttura stradale, fondazioni superficiali incassate a idonea profondità, nel corpo del deposito sabbioso limoso argilloso, in una adeguata trincea di contenimento.

Sotto il profilo fisico - meccanico l'unità litotecnica coesiva individuata, non presenta al suo interno variazioni locali delle caratteristiche geomeccaniche principali, in quanto la granulometria è praticamente omogenea.

Per la qualificazione geotecnica dei terreni direttamente interessati dal corpo stradale, ancorché opportunamente consolidati, sono stati utilizzati, in quanto nella disponibilità dello scrivente che li commissionò, i parametri di laboratorio rinvenuti da analisi esperite su campioni appartenenti al medesimo deposito, diffuso nella zona omogeneamente, per lavori di realizzazione della nuova orbitale di Foggia, il cui tracciato si sviluppa in prossimità dei terreni di studio, parallelamente a Via Almirante ed al prolungamento.

I campioni di terreno, definito come argilla con limo sabbioso marrone scuro, estremamente compatta, furono prelevati nel richiamato medesimo terreno superficiale, dello spessore medio di metri **1,20 – 1,50** al quale saranno trasmessi i carichi indotti dalla sovrastruttura, che sovrasta il deposito di ghiaie poligeniche eterometriche in matrice sabbioso limosa dominante, fortemente addensato e praticamente incompressibile.

Pertanto, sulla base del modello geotecnico ottenuto dai dati ricavati dalle prove in sito e dalle indagini di laboratorio eseguite sui campioni, si riporta, alla pagina successiva, il quadro sinottico dei parametri caratteristici di suolo prelevato da **m.1,30 a m. 1,50** circa.

**UNITA' LITOTECNICA DI RIFERIMENTO**

Campione C1 da m.1,30 a m.1,50  
Complesso geotecnico argilloso sabbioso compatto a struttura omogenea

<p><b>laboratorio geotecnico</b> Via. Lucca 55 A-B - 85025 MELFI (PZ) tel/fax: 0972347447 - laboratorio@geotest.it http://www.geotest.it - P.N.R. 01073440768 <b>S.r.l. di Carbone Andrea &amp; C.</b></p>	<p>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTITALIA</p>	<p>Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Certificazione ufficiale - Decreto 0000158.24-04-2018 <b>SETTORE «A»</b> Prove di laboratorio sulle TERRE • Prove Cicliche e Dinamiche (RC - TTC - TXC) • Prove di Carico su Piastra • Densità in sito <b>SETTORE «B»</b> Prove di laboratorio su ROCCE e AGGREGATI</p>
--	--	--

<b>COMMITTENTE:</b> Comune di Foggia
<b>RIFERIMENTO:</b> Analisi geotecniche di laboratorio per la realizzazione dell'Orbitale di Foggia – Il Lotto - C.I.G. 83458762C0 - CUP: B71B19000760001
<b>SONDAGGIO:</b> S6 <b>CAMPIONE:</b> C1 <b>PROFONDITA': m</b> 1,30-1,52

CARATTERISTICHE FISICHE	ANALISI GRANULOMETRICA	COMPRESSIONE
Umidità naturale 23,4 %	Ghiaia %	$\sigma$ 857 kPa
Peso di volume 18,4 kN/m <sup>3</sup>	Sabbia 8,0 %	$c_u$ 428 kPa
Peso di volume secco 14,9 kN/m <sup>3</sup>	Limo 32,6 %	
Peso di volume saturo 19,3 kN/m <sup>3</sup>	Argilla 59,4 %	
Peso specifico 2,77	D 10 mm	
Indice dei vuoti 0,824	D 50 0,001806 mm	
Porosità 45,2 %	D 60 0,005332 mm	
Grado di saturazione 78,6 %	D 90 0,065730 mm	
Limite di liquidità 68,9 %	Passante set. 10 99,6 %	
Limite di plasticità 33,0 %	Passante set. 42 98,3 %	
Indice di plasticità 35,9 %	Passante set. 200 92,0 %	
Indice di consistenza 1,27		
Passante al set. n° 40 SI		
Limite di ritiro %		
CNR-UNI 10006/00 A7-5 I.G. = 20		
	PERMEABILITA'	
	Coefficiente k 1,020E-06 cm/sec	
		TAGLIO DIRETTO
		Prova consolidata-lenta
		$c'$ 42,2 kPa
		$\phi'$ 24,0 °
		$c'_{Res}$ 2,0 kPa
		$\phi'_{Res}$ 18,8 °

**PROVA EDOMETRICA**

$\sigma$ kPa	E kPa	Cv cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec
98,1 ÷ 196,1	12032	0,001238	1,01E-08
196,1 ÷ 392,3	6786	0,000657	9,49E-09
392,3 ÷ 784,5	10460	0,000211	1,98E-09
784,5 ÷ 1569,0	15248	---	---
1569,0 ÷ 3138,0	39226	---	---
3138,0 ÷ 6276,1	77964	---	---

**FOTOGRAFIA**



**OSSERVAZIONI**

Tipo di campione: Cilindrico      Qualità del campione: Q 5

Posizione delle prove	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
GR CF K ED CS TD					
	0				
	5	800			Argilla con limo debolmente sabbiosa (f), di colore marrone scuro, con qualche elemento cristallino nerastro, estremamente compatta e a struttura omogenea. Reagente all'HCl
	10	810			
	15	810			
	20				Qualità del campione: Q5
				22	

693-21

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dot. CARBONE Raffaele

La Costante di Sottofondo o **Coefficiente di Winkler K<sub>1</sub>** può ritenersi compresa tra valori medi di 3,0 Kg/cm<sup>3</sup> (30 N/cm<sup>3</sup>) e 6,0 Kg/cm<sup>3</sup> (60 N/cm<sup>3</sup>) propri di terreni argillosi compatti.

## CONCLUSIONI

L'area di cui al presente studio è posizionata su di una zona non interessata da alcun fenomeno di dissesto, totalmente pianeggiante e la falda è attestata a profondità media di m.7,00 dal p.c.

Lo studio delle caratteristiche geologiche del tracciato stradale in progetto, ha riguardato in particolare gli aspetti stratigrafici e idrogeologici ed ha avuto come principale scopo, l'individuazione di eventuali elementi in grado di influire sulle scelte progettuali e più in generale sulla efficienza, sicurezza e durabilità dell'infrastruttura.

Dal punto di vista stratigrafico, l'analisi di dati e informazioni rilevate nel corso della campagna di indagini geognostiche e geofisiche eseguite, ha permesso di definire con un buon livello di approfondimento le caratteristiche dell'intero tracciato, risultate omogenee e comparabili, a partire da una certa profondità, in particolare, del volume significativo dei terreni presenti al di sotto ed al contorno di esso.

Le perforazioni, distribuite lungo il tracciato di progetto, spinte a profondità media di circa 3 metri dall'attuale p.c. hanno evidenziato riporti di ghiaia e ghiaietto in matrice sabbiosa grossolana, abbastanza addensati, perché sottoposti, per diversi anni, a traffico veicolare leggero e industriale; pertanto, pur se non cementati, risultano già parzialmente consolidati.

In particolare nei sondaggi **S.1, S.2, S.3**, il riporto ha spessori da **30 a 70 cm.** al di sotto dei quali, in tutti, si rileva ancora la presenza del terreno agrario di copertura, che prosegue fino a **140 – 170 cm.** dal p.c. circa.

Il sondaggio **S.4** rileva la presenza per circa **200 cm.** di riporto molto omogeneo, di ghiaia, ghiaietto e sabbia grossolana, forse riempimento di una profonda trincea, percorsa da una importante condotta di adduzione dell'AQP.

Il sondaggio **S.5** terebrato su suolo naturale, evidenzia la stratigrafia caratteristica della zona, con circa **170 cm.** di terreno agrario, un'esile crosta calcareo evaporitica e il complesso litologico dominante di ghiaie in sabbia limosa, fortemente addensato (Cfr. colonne stratigrafiche in **Allegato**).

Sia i terreni di fondazione che quelli oggetto di scavo per la realizzazione della trincea di contenimento della struttura stradale, sono di natura alluvionale, a giacitura orizzontale e sono caratterizzati da granulometria fine, praticamente impermeabili e appartengono alla classe delle argille limoso sabbiose.

Tale caratteristica, se da un lato risulta poco influente dal punto di vista geotecnico complessivo, implica l'eventualità di possibili ristagni temporanei di acqua di infiltrazione proveniente dalla superficie (piogge, pratiche irrigue), soprattutto in conseguenza della trasformazione dell'uso del suolo da agricolo a urbano.

Non potendo escludere la possibilità che nel futuro, in occasione di fenomeni atmosferici particolarmente intensi, le condizioni attuali possano subire modificazioni, si condivide la previsione di opportuni interventi, funzionali al drenaggio ed allontanamento delle acque.

Sul piano di posa delle fondazioni, sottofondo naturale individuato con lo scavo, potranno residuare deboli spessori di suoli semicoerenti, da cui la necessità di effettuare il preconsolidamento, per assicurare i requisiti richiesti ai sottofondi delle pavimentazioni stradali, soprattutto per quanto riguarda la portanza e le regolarità della superficie finita.

Sarà pertanto necessaria una idonea bonifica del fondo naturale di trincea su cui poggerà la sovrastruttura stradale, con ricarica e vigorosa compattazione ciclica, di inerti di pezzatura medio - piccola, conducendo alla uniformità dello stato tensionale del deposito, tale da sostenere adeguatamente tutta la sovrastruttura stradale e coniugare le imperfezioni e l'eterogeneità dei movimenti di terra con l'omogeneità richiesta per la posa della sovrastruttura.

Tutte le osservazioni sinora espresse, sono avvalorate anche da considerazioni di carattere più generale che indicano come i terreni destinati ad ospitare la nuova strada in progetto, sono adatti allo scopo, in quanto la zona è stata a lungo studiata anche per l'attuazione di altri importanti progetti e si trova in una condizione di equilibrio geostatico, compatibile con la tipologia di struttura da impiantare.

Pertanto a parere dello scrivente sussistono le condizioni per asserire che:

- la realizzazione dell'infrastruttura di progetto, non arrecherà alcun danno all'assetto idrogeologico e non comporterà modifiche alla stabilità dei luoghi, nel rispetto delle modalità esecutive, atte ad evitare infiltrazione nei terreni di sottofondo;
- sussiste la compatibilità dell'area e dei terreni di fondazione con le strutture e gli impianti previsti nel progetto;
- dovranno essere seguite, in accordo con le specifiche professionalità, le prescrizioni suggerite nel presente studio, al fine di preservare le condizioni geologiche e ambientali in essere ed osservare le normative tecniche vigenti, evitando qualunque tipo di dispersione di acque nel sottosuolo, che nel tempo potrebbe provocare alterazioni delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, inducendo cedimenti della sovrastruttura e mantenere sempre efficiente la rete di scolo superficiale e di drenaggio delle acque meteoriche.

I rilievi sismici eseguiti direttamente lungo l'area di studio (ubicati come da ortofoto in **Allegato**) hanno fornito tutti valori comparabili, che hanno permesso la classificazione dei suoli, in quanto è risultato confermato l'assetto litostratigrafico locale, anche da altre prospezioni effettuate su aree contermini.

Essi sono costituiti da termini amplificatori (superficiali e limitati), che influenzano parzialmente la risposta sismica locale, ma non condizionano l'infrastruttura oggetto di studio

I suoli possono definirsi come "terreni a grana fine consistenti" e tutta l'area può essere classificata, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del **17.01.2018** di Categoria "**B**" con superficie topografica **T1**, come confermato dalle elaborazioni delle prospezioni sismiche, configurate nelle note riportate in **Allegato**.

Mediante l'indagine sismica a **Rifrazione** è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche del sottosuolo nella prima decina di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P ( $V_p$ ), velocità delle onde trasversali S ( $V_s$ ) ed i parametri elastici (E, G, K e  $\nu$ ).

**MODULI DINAMICI**

	<b>STRATO 1</b>	<b>STRATO 2</b>	<b>STRATO 3</b>
Coefficiente di Poisson ( <b>v</b> )	0,46	0,43	0,46
Modulo di Young ( <b>Ed</b> )	2746	8977	16973 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo di Taglio Dinamico ( <b>Gd</b> )	92	308	570 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo di incompress. volume ( <b>K</b> )	10429	21115	68500 Kg/cm <sup>2</sup>
Rigidità Sismica ( <b>R</b> )	4101	7622	10773 m/sec. KN/m <sup>3</sup>

Le analisi geomorfologiche e le verifiche geotecniche svolte sull'area interessata dal Progetto di **“Costruzione di nuova strada di P.R.G. - prolungamento di Via G. Almirante e collegamento con Via G. Parini”** unitamente alle informazioni ed ai parametri in possesso dello scrivente per lavori effettuati su aree contermini, consentono di esprimere un positivo parere sulla fattibilità geologica e geotecnica e sulla vulnerabilità sismica, avendo riscontrato la **compatibilità delle opere previste, con l'assetto idrogeologico e la pericolosità geologico - ambientale** della zona.

Se si prescinde dallo spessore dei terreni agrari da rimuovere, le caratteristiche geotecniche medie dei materiali ad essi sottostanti, sono ritenute buone e tali da consentire l'impostazione di qualunque struttura di fondazione, dopo le usuali tecniche di preparazione (bonifica superficiale, livellamento, trattamento di costipazione mediante cilindatura come da Grafico Step Addensamento in **Allegato**).

Foggia, Febbraio 2022

**Il Geologo**



Cartografia e Ortofoto:  
Spettro di Risposta:  
Carta Idrogeologica Italia Meridionale:  
Idrogeologia del Tavoliere:

SIT – Regione Puglia  
Consiglio Superiore Lavori Pubblici  
Università “Federico II” Napoli  
Prof. Maggiore 2002

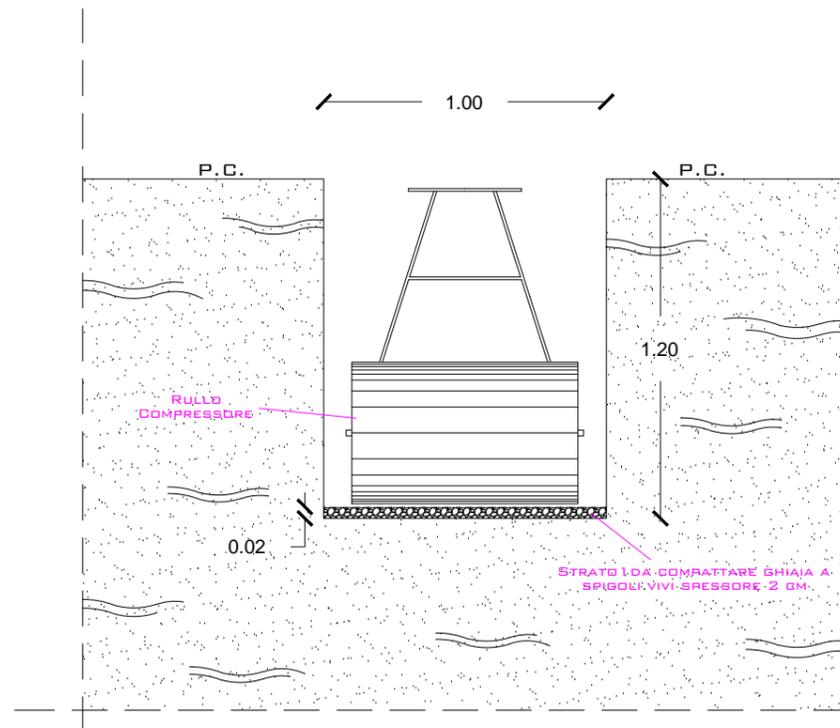
# A L L E G A T I

Grafico **Step Ricarica** per incremento **Grado di Consolidazione**

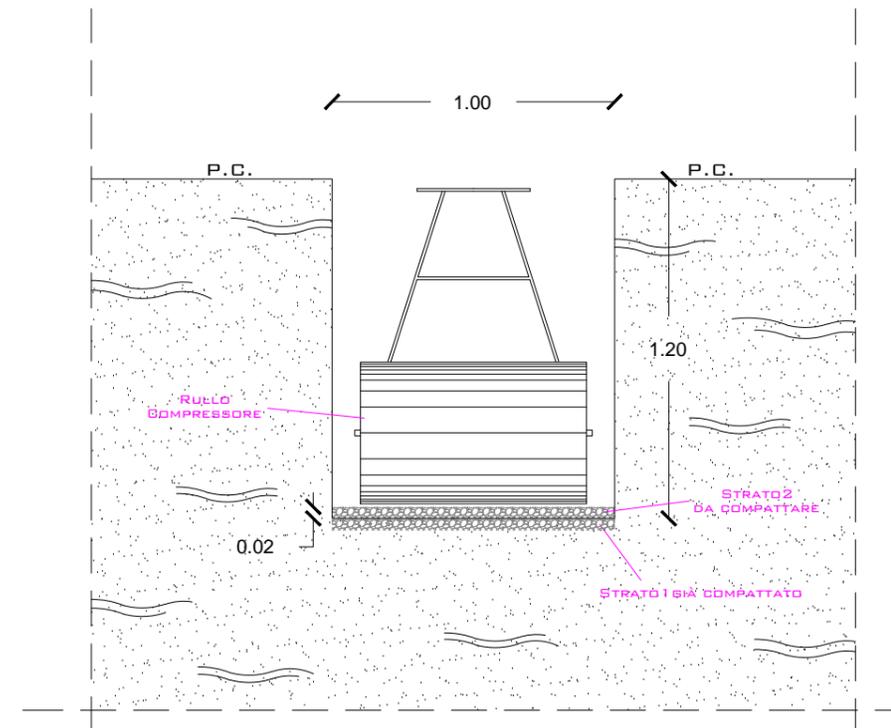
Ortofoto Area di progetto con ubicazione e tipo di indagini  
**Colonne Stratigrafiche**  
Foto postazioni della sonda e dei carotaggi

Indagine Geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e MASW N.T.C. 17/01/2018

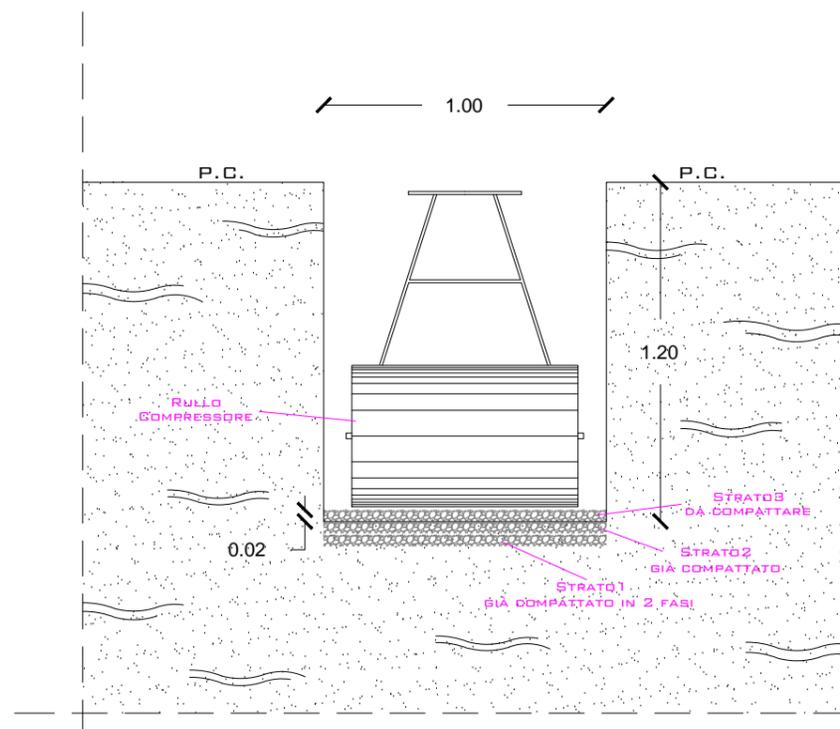
### 1° STEP



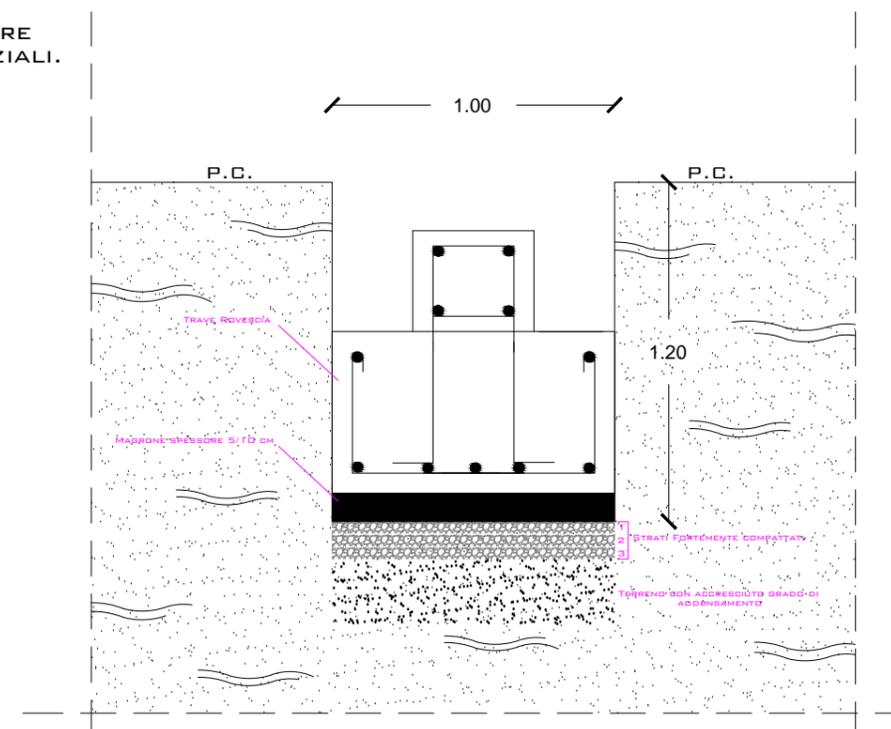
### 2° STEP



### 3° STEP



### 4° STEP



LA RICARICA DI INERTI LAPIDEI DI ADEGUATA PEZZATURA, OPPORTUNAMENTE RULLATI, È PRATICA COMUNE SUI SUOLI DI SEDIME NON PERFETTAMENTE OMOGENEI IN QUANTO A GRANULOMETRIA E DENSITÀ VARIABILE, ONDE INDURRE IN ESSI UN NORMALE GRADO DI CONSOLIDAZIONE E SCONGIURARE RISCHI DI CEDIMENTI DIFFERENZIALI.

# Prolungamento Via Almirante – collegamento Via Parini FOGGIA

S... Ubicazione sondaggi geognostici

MASW Prospezione Sismica 

S.5

S.4

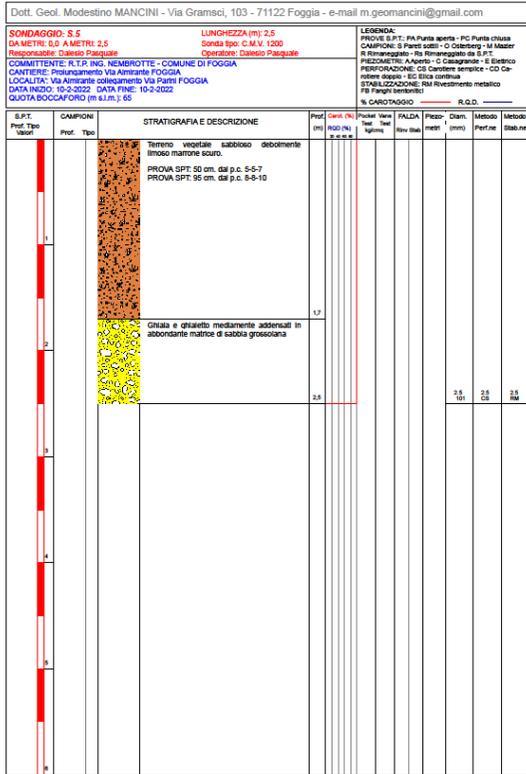
S.3

S.2

S.1



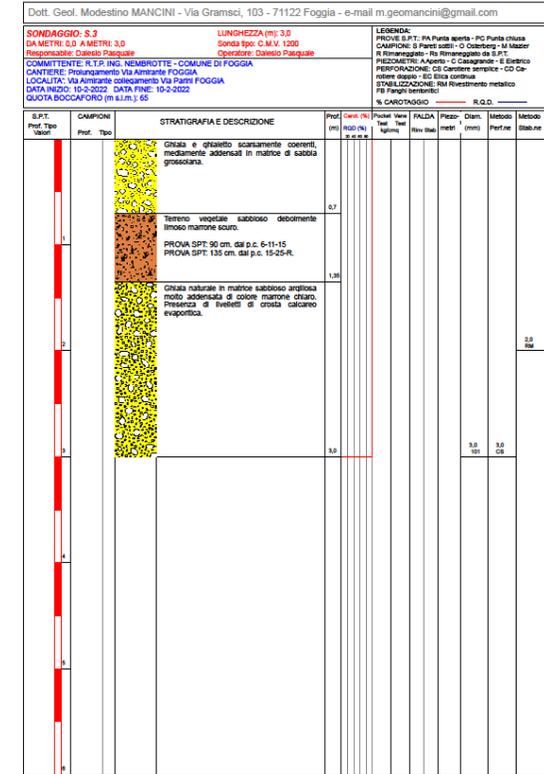
### S.5



### S.4



### S.3







Regione  
PUGLIA



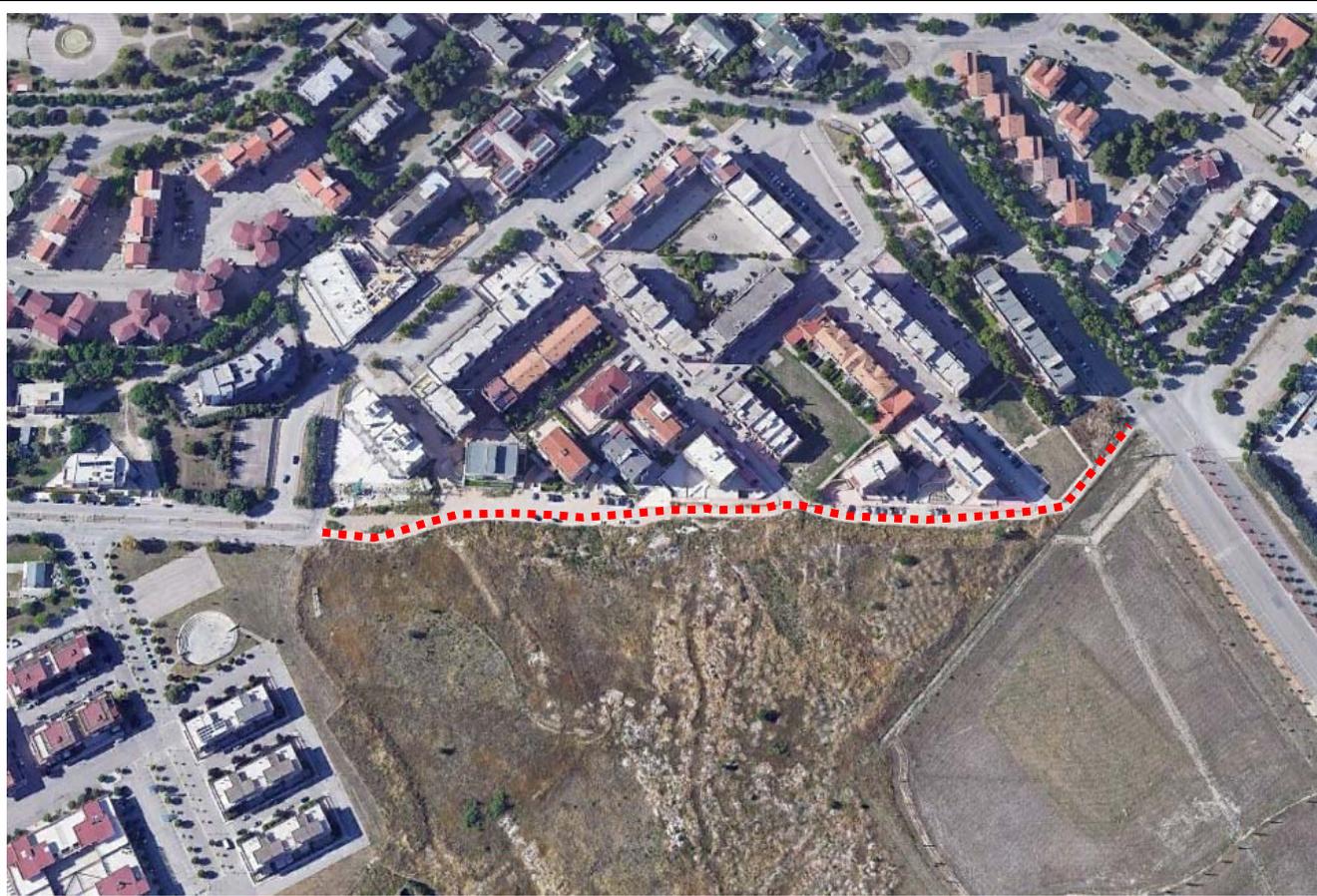
COMUNE DI FOGGIA  
*Provincia di Foggia*

Oggetto:

“Prolungamento via Almirante”

Località:

“Foggia”



Indagine geofisica combinata di sismica a rifrazione e Masw  
Rapporto Interpretativo

Febbraio 2022



COMUNE DI FOGGIA

**Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)**

**RELAZIONE GEOFISICA**

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 1 di 17

## INDICE

---

1. PREMESSA.....	2
2. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DEI LAVORI .....	2
2.1    METODOLOGIE IMPIEGATE .....	2
2.1.1. PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW .....	3
2.1.1. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE.....	4
3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	6
4. MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITA' DI CAMPO.....	8
5. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA.....	9
5.1. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW .....	9
5.2. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE.....	12
6. CONCLUSIONI .....	17

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 2 di 17

# Prolungamento Via Giorgio Almirante – Comune di Foggia

## RELAZIONE GEOFISICA

### 1. PREMESSA

Il presente rapporto è stato redatto a supporto del progetto per il *Prolungamento Via Giorgio Almirante – Comune di Foggia (FG)*.

A tal proposito è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche, volta alla determinazione di alcune proprietà fisiche del sottosuolo consistente in:

- esecuzione di n. 1 prospezione sismica superficiale con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- esecuzione di n. 1 prospezione sismica a rifrazione.

La prospezione Masw è stata eseguita in accordo con le norme tecniche per le costruzioni del D. M. 17 gennaio 2018 “*Aggiornamento per le norme Tecniche per le Costruzioni*”.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Mediante l'indagine sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche del sottosuolo nella prima decina di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P ( $V_p$ ), velocità delle onde trasversali S ( $V_s$ ) ed i relativi parametri elastici ( $E$ ,  $G$ ,  $K$  e  $\nu$ ).

### 2. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DEI LAVORI

#### 2.1 METODOLOGIE IMPIEGATE

Nell'area oggetto di studio è stata applicata una specifica metodologia d'indagine geofisica, di cui vengono evidenziati brevemente i fondamenti teorici.



COMUNE DI FOGGIA

**Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)**

**RELAZIONE GEOFISICA**

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 3 di 17

### 2.1.1. PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW

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:

Dove

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

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

$V_{si}$  = 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.

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  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.*

Tale parametro può essere determinato attraverso indagini indirette ed in particolar modo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh, ossia onde di superficie generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali ( $S_v$ ) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

In presenza di un semispazio non omogeneo la loro velocità presenta dipendenza dalla frequenza, provocando dispersione della loro energia.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onde nel sottosuolo dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza; per le onde di Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo e isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione.

Nelle nuove metodologie sismiche d'indagine del sottosuolo si considerano le onde di superficie in quanto la percentuale di energia convertita è di gran lunga predominante rispetto alle onde P ed S; inoltre l'ampiezza di tali onde dipende da  $\sqrt{r}$  anziché da  $r$  (distanza dalla sorgente in superficie) come per le onde di volume.

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 4 di 17

**La propagazione delle onde di Rayleigh, sebbene influenzata dalla Vp e dalla densità, è funzione anzitutto della Vs, che rappresenta un parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito.**

L'analisi delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, che, a seguito di una trasformata di Fourier, restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria ecc.

Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione.

La metodologia Masw risulta particolarmente indicata in ambienti con spazature limitate e, a differenza della sismica a rifrazione, consente di individuare la presenza di inversioni di velocità con la profondità, associabili alla presenza di strati "lenti" al di sotto del bedrock roccioso.

Tuttavia, un limite di tale metodologia è che esso risente particolarmente del principio di indeterminazione e, fornendo un modello mono-dimensionale del sottosuolo, rende necessaria l'applicazione di altre metodologie d'indagine per fornire un modello geofisico-geologico più attendibile.

### 2.1.1. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

La prospezione sismica considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si propagano nel semispazio riflettendosi e rifrangendosi su eventuali superfici di discontinuità presenti.

Quando un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia dell'onda si riflette nello stesso mezzo in cui si propaga l'onda incidente, e una parte si rifrange nel mezzo sottostante.

Le relazioni matematiche dei principi fisici della riflessione e rifrazione sono regolate dalle note leggi di Snell. La condizione necessaria per la riflessione e la rifrazione di un raggio sismico è la variazione del parametro impedenza sismica fra i 2 mezzi separati dalla superficie di discontinuità. L'impedenza sismica si determina attraverso il prodotto tra la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo per la densità del materiale attraversato.

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 5 di 17

Ogni litotipo è caratterizzato da una particolare velocità di propagazione, determinata sperimentalmente attraverso prove di laboratorio o in situ. La velocità di propagazione delle onde sismiche nelle rocce dipende essenzialmente dai parametri elastici che sono influenzati, a loro volta, da numerosi fattori quali, ad esempio, la densità, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o di fratturazione, la composizione mineralogica, la pressione, il contenuto di fluidi, ecc.

**Questi parametri rendono piuttosto ampio il campo di variabilità della velocità per uno stesso litotipo. Per questo motivo, non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico.**

Un impulso generato da una sorgente sismica in superficie genera un treno d'onde sismiche di varia natura; in fase di acquisizione e di elaborazione è possibile analizzare onde sismiche di volume o di superficie, a seconda delle modalità con cui esse si propagano nel sottosuolo.

In funzione del tipo di analisi delle onde sismiche investigate, è possibile distinguere fra la metodologia d'indagine sismica a rifrazione (analisi di onde di volume) e di tipo MASW (analisi di onde di superficie).

Disponendo un certo numero di sensori (geofoni) sul terreno lungo uno stendimento sismico e osservando il tempo di percorrenza delle onde per giungere ai sensori, è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche che attraversano i vari strati nel sottosuolo, consentendo una ricostruzione attendibile delle sue caratteristiche elastico-dinamiche.

Al fine di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

- 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  $h < 0.25 * z$ ;
- c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio (onde S), meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P; quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;



COMUNE DI FOGGIA

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 6 di 17

d) le velocità delle onde p, misurate in terreni saturi o molto umidi dipende, talora in maniera decisiva, dalle vibrazioni trasmesse dall'acqua interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio.

### 3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prospezioni geofisiche sono state eseguite con l'ausilio della seguente strumentazione:  
*Sismografo PASI mod. GEA24.*





COMUNE DI FOGGIA

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 7 di 17

SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can. + trigger (can. AUX)
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
Rapporto S/N	117db @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

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 8 di 17

#### 4. MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITA' DI CAMPO

##### **Indagine sismica di tipo MASW**

La tecnica MASW prevede l'utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione (massa battente di peso pari a 8 Kg) e la registrazione simultanea di 12 o più canali, utilizzando geofoni a bassa frequenza. Infatti l'esigenza di analizzare con elevato dettaglio basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz e corrispondenti a maggiori profondità d'investigazione) richiede la necessità di utilizzare geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Per il profilo Masw eseguito è stata adottata la seguente configurazione:

- lunghezza stendimento = 16.50 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 1.50 m;
- offset di scoppio = 3.00 metri;
- durata dell'acquisizione = 1 secondo;
- tempo di campionamento = 1 millisecondo.

Per energizzare il terreno è stata usata una sorgente impulsiva del tipo "mazza battente" di peso pari a 8 Kg, ad impatto verticale su piastra per la generazione delle onde sismiche.

Contrariamente a quanto richiesto nell'indagine sismica a rifrazione, il segnale sismico acquisito nella tecnica MASW deve includere tutto il treno d'onda superficiale; pertanto la durata dell'acquisizione deve essere definita in modo da contenere tutto il segnale e non troncato nelle ultime tracce.

Per quanto concerne il tempo di campionamento, mentre nella sismica a rifrazione si utilizza un tempo di campionamento più basso per ricostruire con dettaglio i primi arrivi dell'onda sismica, nell'indagine sismica Masw è sufficiente un campionamento più ampio per ricostruire tutto il segnale sismico.

Inoltre, lo stesso segnale viene acquisito senza applicazione di filtri e incrementi del segnale.

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 9 di 17

### **Indagine sismica a rifrazione**

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 01 profilo con acquisizione di onde longitudinali (P), avente la seguente configurazione spaziale e temporale:

- lunghezza stendimento = 44.00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.00 m;
- End shot A = 0.00 metri;
- Central Shot E = 24.00 metri;
- End Shot B = 48.00 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250 µsec;
- Frequenza geofoni = 10.00 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

## 5. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

La topografia della superficie del sito investigato risulta essere subpianeggiante; il rumore ambientale è risultato essere poco rilevante.

Per tutte le stese si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, la cui origine è posta in corrispondenza dell'end shot esterno al 1° geofono per l'indagine sismica a rifrazione e Masw.

### 5.1. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

La fase di elaborazione si sviluppa in due fasi:

- 1) determinazione della curva di dispersione e la valutazione dello spettro di velocità;
- 2) inversione della curva di dispersione interpretata, mediante picking di un modo dell'onda di Rayleigh e successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione della curva teorica e sperimentale fornisce un parametro abbastanza indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante.

Per l'inversione dei dati sperimentali è stato utilizzato il software WinMasw 4.0 della Eliosoft.

Le curve di dispersione ed i sismogrammi sperimentali, nonché le relative sezioni elaborate sono mostrati negli allegati.



COMUNE DI FOGGIA

**Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)**

**RELAZIONE GEOFISICA**

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 10 di 17

Le indagini sismiche hanno consentito di determinare le caratteristiche elastodinamiche del terreno investigato e definire la categoria del sottosuolo di fondazione.

**L'indagine Masw, eseguita ai sensi delle NTC 2018, ha restituito un valore di  $V_{s30} = 479$  m/s, coincidente col valore della  $V_{s,eq}$ , in quanto non è stato intercettato il bedrock (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, con  $V_s > 800$  m/sec) ad una profondità  $H = 30.00$  m dal p.c.**

Di seguito si riportano i valori delle  $V_s$  in funzione delle profondità considerate:

<b>Valore del <math>V_{s30} = 479</math> m/sec</b>
<b>Valore del <math>V_{s,eq} = 479</math> m/sec</b>

MASW	Velocità onde di taglio (m/sec)	Spessori (m)	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	221	1.40	0.00 – 1.40
SISMOSTRATO II	396	4.20	1.40 – 5.60
SISMOSTRATO III	519	5.60	5.60 – 20.70
SISMOSTRATO IV	560	Semispazio	Semispazio

**$V_{s,eq} = 479$  m/sec**

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata	Profondità (m)
SISMOSTRATO I	Pavimentazione stradale; inferiormente riporto e sabbia con ghiaia;	0.00 – 1.40
SISMOSTRATO II	Sabbia con ghiaia;	1.40 – 5.60
SISMOSTRATO III	Ghiaia eterometrica in matrice limo-sabbiosa;	5.60 – 20.70
SISMOSTRATO IV	Ghiaia eterometrica con migliori proprietà meccaniche;	Semispazio

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 11 di 17

Di seguito si riporta la tabella di riferimento relativa alle categorie di sottosuolo:

<b>CATEGORIE SUOLI DI FONDAZIONE N.T.C. 2018</b>	
<b>A</b>	<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 di 3 m.</i>
<b>B</b>	<b><i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i></b>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine 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>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Pur evidenziando che l'indagine MASW risente particolarmente del problema della non univocità del modello geofisico rispetto ai dati sperimentali ed è principalmente finalizzata alla determinazione del parametro  $V_{s,eq}$ , più che alla ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo, è stato possibile evidenziare una congruenza fra il modello ricavato dalle indagini Masw con quello determinato dall'indagine sismica a rifrazione.

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.



COMUNE DI FOGGIA

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 12 di 17

## 5.2. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

Dai sismogrammi sperimentali sono stati letti i tempi di arrivo dei "first-break" attraverso l'utilizzo del software SISMOPC per la costruzione delle relative dromocrone (diagrammi tempo-distanza), mostrate in allegato.

L'interpretazione delle dromocrone, anche questa eseguita con processi computerizzati, è stata effettuata attraverso il software INTERSISM della Geo&Soft, utilizzando come tecnica di interpretazione il Metodo GRM.

Sempre in allegato è riportata la sezione sismostratigrafica interpretativa, ottenuta, scegliendo un modello a 3 strati.

Sismica a Rifrazione	Velocità Onde P (m/sec)	Velocità Onde S (m/sec)	Profondità	
			Da (m)	a (m)
<b>SISMOSTRATO I</b>	<b>778</b>	<b>221</b>	<b>0,00</b>	<b>1,00 - 2,40</b>
<b>SISMOSTRATO II</b>	<b>1124</b>	<b>396</b>	<b>1,00 - 2,40</b>	<b>5,10 - 7,40</b>
<b>SISMOSTRATO III</b>	<b>1879</b>	<b>519</b>	<b>indefinito</b>	

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente:

Sismostrati	Litologia investigata
<b>SISMOSTRATO I</b>	<b>Pavimentazione stradale; inferiormente riporto e sabbia con ghiaia;</b>
<b>SISMOSTRATO II</b>	<b>Sabbia con ghiaia;</b>
<b>SISMOSTRATO III</b>	<b>Ghiaia eterometrica in matrice limo-sabbiosa;</b>

Nella tabella sottostante sono indicati i principali parametri elastici ricavati dall'indagine sismica, dove si è indicato con E (modulo di Young), G (modulo di taglio) e K (modulo di incompressibilità) espressi in Kg/cm<sup>2</sup>,  $\gamma$  (peso di volume) è espresso in kN/m<sup>3</sup>, mentre  $\nu$  (coefficiente di Poisson) rappresenta un numero adimensionale.



COMUNE DI FOGGIA

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 13 di 17

MODULI DINAMICI			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	778	1124	1879
Velocità Onde S (m/s):	221	396	519
Modulo di Poisson:	0,46	0,43	0,46
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> ):	18,56	19,25	20,76
Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> ):	1,89	1,96	2,12
<b>SPESSORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1,40</b>	<b>4,20</b>	<b>15,10</b>
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	2746	8977	16973
MODULO DI YOUNG DINAMICO E <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	269	880	1665
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	92	308	570
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G <sub>din</sub> (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	9	30	56
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm <sup>2</sup> ) (mod. di incompressibilità di volume)	10429	21115	68501
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm <sup>2</sup> )	1023	2071	6718
MODULO DI YOUNG STATICO E <sub>stat</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	331	1081	2045
POROSITA' % (Correlazione Rzheshvky e Novik (1971) (%))	43,48	40,24	33,19
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Valido per le terre)	1145	2480	7473



COMUNE DI FOGGIA

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  
a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  
Comune di Foggia (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Rev. 0 di  
Febbraio 2022

Codice  
elaborato

Pagina 14 di 17

MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm <sup>2</sup> ) (Relazione di Navier)	1408	3048	9187
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m <sup>3</sup> )	4101	7622	10773
Frequenza dello strato	39,46	23,57	8,59
Periodo dello strato	0,03	0,042	0,116
<b>B (Larghezza fondazione in m.)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm <sup>3</sup> )	10,78	43,73	83,69
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm <sup>3</sup> )	105,76	428,81	820,72
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm <sup>3</sup> )	5,39	21,86	41,84
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm <sup>3</sup> )	52,88	214,40	410,36

### Moduli Elastici Dinamici

- **Rapporto  $V_p / V_s$**  - Questo parametro può fornire utili informazioni sullo stato di consolidazione e sulla presenza di gas nei mezzi porosi. Alcuni Autori (Gardner & Harris, 1968) affermano che rapporti maggiori di 2 si riscontrano in presenza di sabbie saturate non consolidate; alti rapporti risultano altresì per terreni incoerenti argillo-limosi ad alto grado di saturazione. Valori inferiori a 2 si registrano in presenza di rocce compatte o sedimenti gas saturati. In rocce saturate tale rapporto risulta dipendente dalla litologia, dalla quantità e geometria dei pori e dalle microfratture e potrebbe, nota la litologia, fornire indicazioni su questi ultimi due parametri.
- **Coefficiente di Poisson Dinamico** - Tra i moduli elastici dinamici tale parametro è l'unico che non necessita della conoscenza della densità per la sua determinazione. E' definito dalla seguente equazione:

$$\nu = 0.5 \cdot \frac{(V_p / V_s)^2 - 2}{(V_p / V_s)^2 - 1}$$

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 15 di 17

Sebbene in teoria sia considerato stress indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei mezzi porosi risulta stress dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare secondo GREGORY (1976) a valori negativi. I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

- **Modulo di Taglio Dinamico** – E' definito dalla seguente equazione:

$$G = \gamma \cdot Vs^2$$

dove  $\gamma$  = densità

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei mezzi porosi è molto esteso.

- **Modulo di Young Dinamico** - E' definito dalla seguente equazione:

$$E = (9 \gamma \cdot Vs^2 \cdot R2^2) / (3R2^2 + 1)$$

dove:

$\gamma$  = densità

$$R2^2 = K / (\gamma \cdot Vs^2)$$

$$K = \gamma \cdot (Vp^2 - 4/3 Vs^2)$$

Tale modulo dipende dalla porosità, dalla pressione litostatica e dagli altri moduli elastici. Aumenta in misura considerevole quando al campione "dry" a bassa porosità vengono aggiunte piccole quantità di acqua, diminuisce quando un campione ad alta porosità viene sottoposto allo stesso trattamento.

I minimi valori del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi sotto pressione saturati in acqua ed a bassa porosità.

Il campo di variabilità è considerevole.



COMUNE DI FOGGIA

Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante - Comune di Foggia (FG)

RELAZIONE GEOFISICA

Rev. 0 di Febbraio 2022

Codice elaborato

Pagina 16 di 17

- **Modulo di Incompressibilità** - Esso è definito rispetto alle Vp, Vs e densità dalla seguente equazione:

$$K = \gamma \cdot (Vp^2 - 4/3 Vs^2)$$

dove:

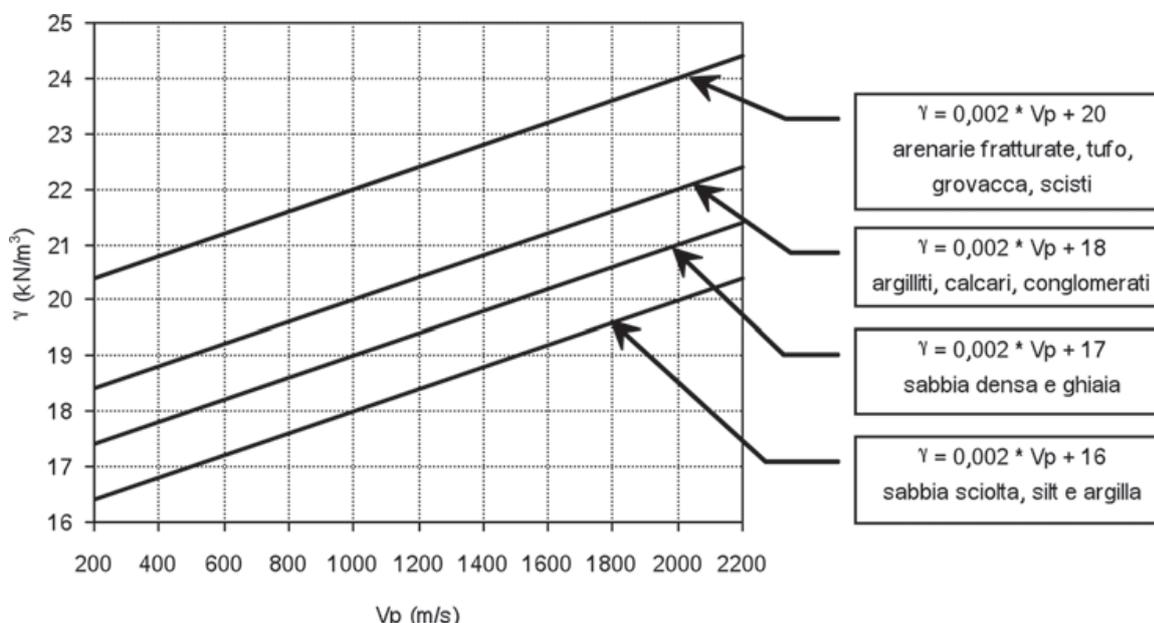
$\gamma$  = densità

Questo Modulo varia con la porosità, con la pressione e con la quantità di fluido saturante. Esso aumenta con il grado di saturazione con il decrescere della porosità e con l'aumentare della pressione. Nelle rocce sedimentarie varia di oltre 30 volte.

- **Peso di volume** - ricavato dalla relazione empirica di Tezcan et al. (2009) che lega tale parametro alla velocità di propagazione delle onde P, tenendo conto del tipo di terreno:

$$\gamma = \gamma_0 + 0,002 \cdot Vp$$

Tipo di terreno	Sabbie sciolte, silt e argilla	Sabbie dense e ghiaie	Marne, argilliti e conglomerati	Arenarie fratturate, tufi, scisti	Rocce dure
$\gamma_0$ (kN/m <sup>3</sup> )	16	17	18	20	24



dove  $\gamma$  è la densità espressa in kN/m<sup>3</sup> e V è la velocità delle onde di tipo P (longitudinali o di pressione) espressa in m/s.

- **Rigidità sismica (R):**

$$R = \gamma \cdot Vs \text{ (KN/m}^2\text{-sec)}$$

dove  $\gamma$  è la densità espressa in kg/m<sup>3</sup> e V è la velocità delle onde di tipo S (trasversali o di taglio) espressa in m/s. E' un parametro strettamente legato alla amplificazione sismica locale: infatti l'incidenza dei danni tende a diminuire all'aumentare della rigidità sismica.

 <b>COMUNE DI FOGGIA</b>	<b>Indagine geofisica combinata di Sismica a Rifrazione e Masw  a supporto de': Prolungamento Via Giorgio Almirante –  Comune di Foggia (FG)</b>  <b>RELAZIONE GEOFISICA</b>	Rev. 0 di Febbraio 2022
		Codice elaborato
		Pagina 17 di 17

## 6. CONCLUSIONI

Il presente rapporto è stato redatto a supporto del progetto per il *Prolungamento Via Giorgio Almirante – Comune di Foggia (FG)*.

A tal proposito è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche, volta alla determinazione di alcune proprietà fisiche del sottosuolo consistente in:

- esecuzione di n. 1 prospezione sismica superficiale con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- esecuzione di n. 1 prospezione sismica a rifrazione.

Nel caso innanzi esaminato l'andamento della velocità, aumenta con la profondità. Tuttavia si deve tenere presente che qualunque tecnica di geofisica applicata, ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, della strumentazione adottata e di problematiche incontrate durante l'indagine, che solo l'operatore è in grado di quantificare in modo ottimale. La risoluzione del metodo non consente *precisioni in termini di spessore inferiori al metro* e i valori di velocità sono da intendersi come velocità medie all'interno di ciascuna unità geofisica individuata.

Le indagini sismiche eseguite, hanno consentito di determinare le caratteristiche elasto-dinamiche del terreno investigato e definire la categoria del sottosuolo di fondazione.

**La VS equivalente calcolata, è risultata essere per la prospezione Masw eseguita, pari a:**

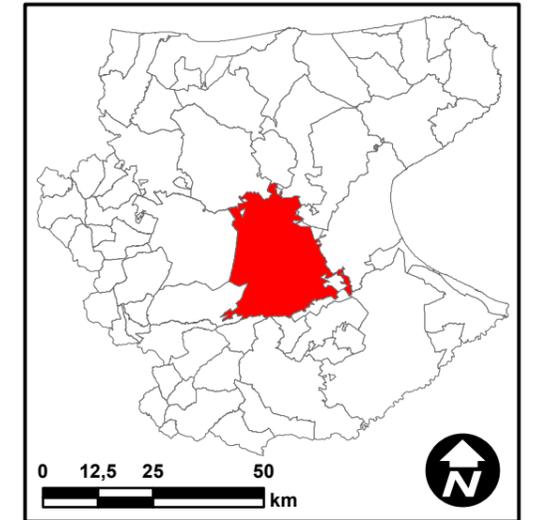
$$V_{s, eq} = 479 \text{ m/s}$$

Pertanto, con riferimento al piano campagna, sulla base del valore  $V_{s,eq}$  il sottosuolo è riferibile alla **categoria "B" (fab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato)**, riguarda perciò: **"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"**.

**Prolungamento Via Giorgio Almirante  
Comune di Foggia**

**ALLEGATO 1**

**UBICAZIONE INDAGINE GEOFISICA**



**Legenda:**

- Prospezione Masw
- Prospezione Sismica a Rifrazione



Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 33N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: ETRS 1989  
 False Easting: 500.000,0000  
 False Northing: 0,0000  
 Central Meridian: 15,0000  
 Scale Factor: 0,9996  
 Latitude Of Origin: 0,0000  
 Units: Meter

0 10 20 30  
Metri

**UBICAZIONE PROSPEZIONI GEOFISICHE**

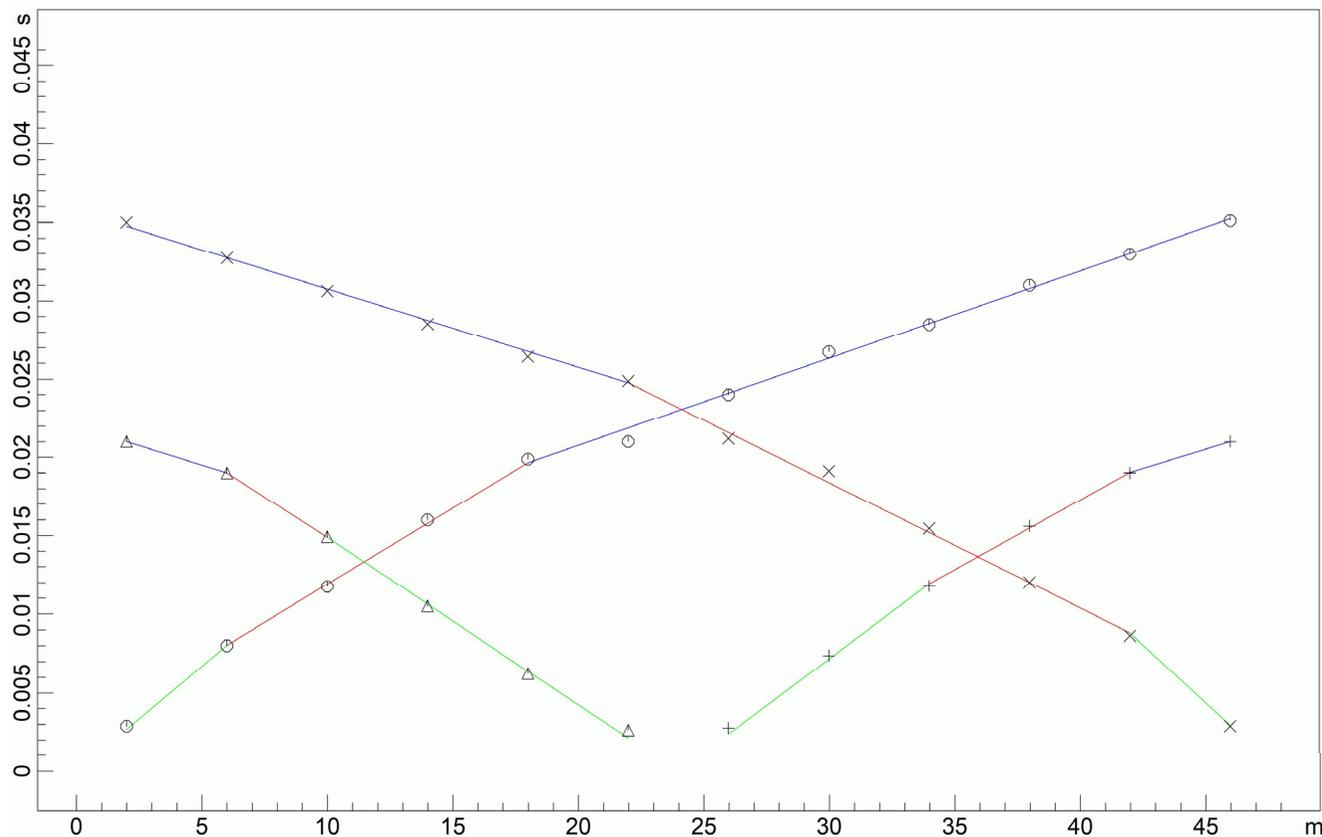
**COMUNE DI FOGGIA**



**Prolungamento Via Giorgio Almirante  
Comune di Foggia**

**ALLEGATO 2**

**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**



**“Prolungamento Via Giorgio Almirante – Comune di Foggia”**



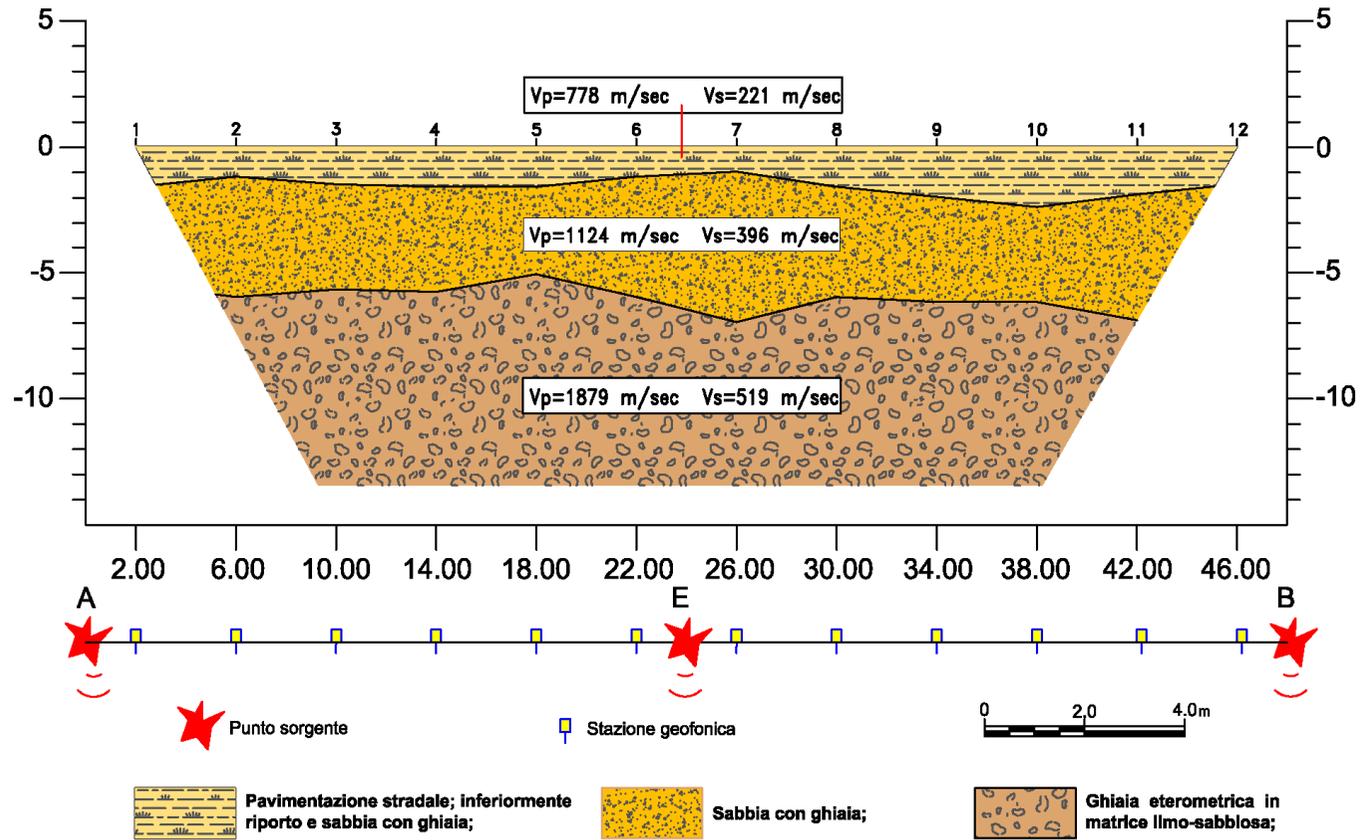
**COMUNE DI FOGGIA**

**DROMOCRONE ONDE LONGITUDINALI (P)**

**A 2**

**Febbraio  
2022**

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA



“Prolungamento Via Giorgio Almirante – Comune di Foggia”



COMUNE DI FOGGIA

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA

A 3

Febbraio  
2022

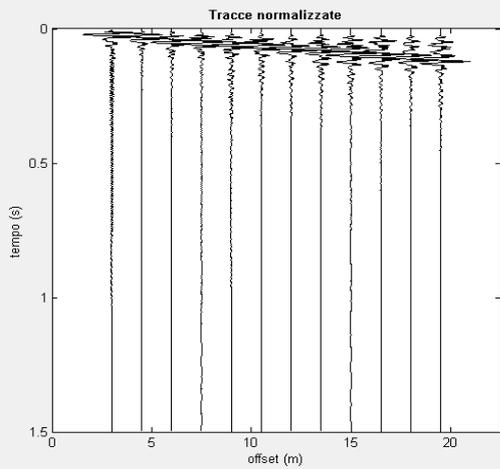
**Prolungamento Via Giorgio Almirante  
Comune di Foggia**

**ALLEGATO 3**

**PROSPEZIONE MASW**

Primo: trattamento dati

dataset: PROLUNGAMENTO VIA ALMIRANTE - FOGGIA .dat  
 offset minimo: 3 m  
 distanza intergeofonica: 1.5 m  
 campionamento: 1 ms



Utilità

ruota le tracce

movie ?

Selezione dati

Attiva

Selezione 20

Annulla Salva



Invia e-mail

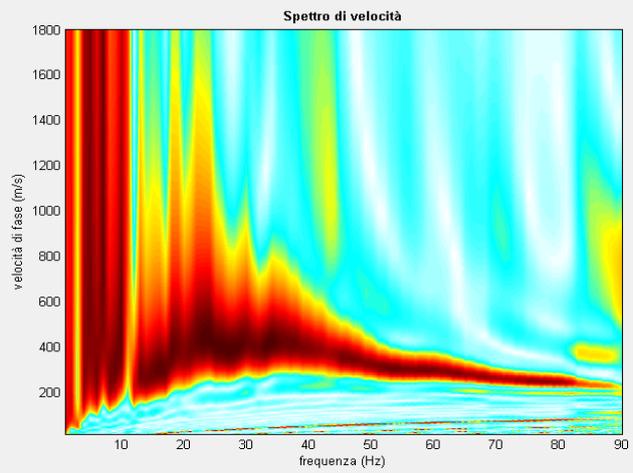
ver. 4.0 Standard

Secondo: determinazione spettro di velocità e picking

calcolo spettro di velocità  Tau - v

visualizza curve

input curva ?



Esplora spettro

modellazione diretta

parametri

salva modello

carica modello 3

refresh

picking

modo fondamentale

selezionare l'ultimo punto del modo utilizzando il tasto destro

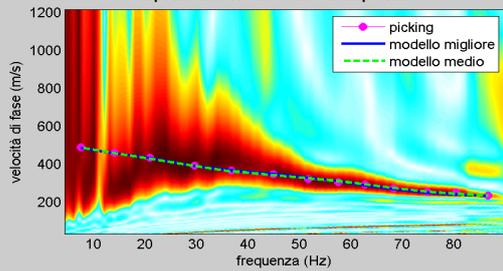
salva picking ?

cancella picking

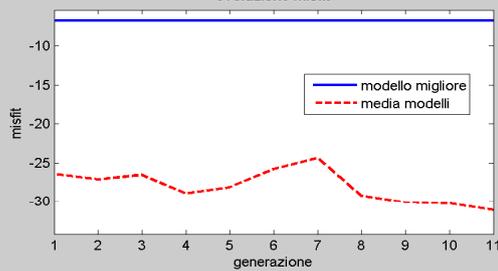
Inverti

Esci

spettro di velocità e curve di dispersione

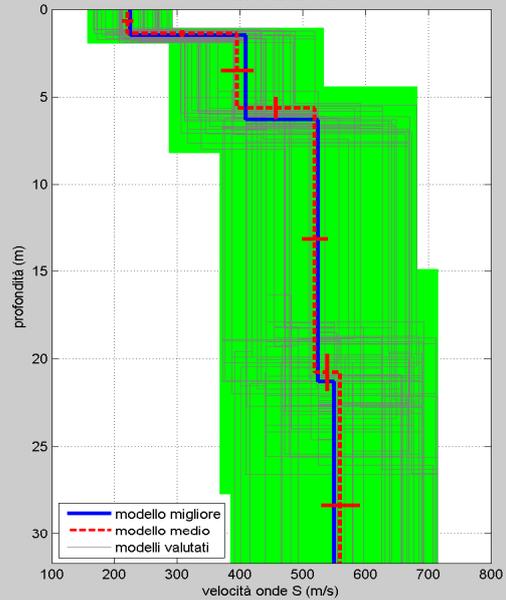


evoluzione misfit



dataset: PROLUNGAMENTO VIA ALMIRANTE - FOGGIA .dat  
 curva di dispersione: PROLUNGAMENTO VIA ALMIRANTE - FOGGIA.cdp  
 modello migliore VS30: 478 m/s  
 modello medio VS30: 479 m/s

Profilo verticale Vs



COMUNE DI FOGGIA

PROSPEZIONE MASW

A 4

Febbraio  
2022

**Prolungamento Via Giorgio Almirante  
Comune di Foggia**

**ALLEGATO4**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Particolare Prospezione Masw



Particolare Prospezione Sismica a Rifrazione

**“Prolungamento Via Giorgio Almirante – Comune di Foggia”**



**COMUNE DI FOGGIA**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

**A 5**

**Febbraio  
2022**