



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di FOGGIA

COMUNE di
SERRACAPRIOLACOMUNE di
SAN PAOLO DI CIVITATECOMUNE di
TORRETAGGIORE

Proprietario	 PACIFICO ACQUAMARINA 2 S.r.l. Sede: Piazza Walther V on V ogelweide, n. 8 - 39100 Bolzano (BZ) Pec: pacificoacquamarina2srl@legalmail.it P.Iva: 04351410719		 PLANA ENERGY S.R.L. Sede: Via Cavour n.104 40026 Imola BO Pec: planaenergy@pec.it C.F e P.IVA: 03930841204		
Progettazione generale e progettazione elettrica	 STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128 71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072 Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net Ordine degli ingegneri della Provincia di Foggia matr. n 1604		 Università di Foggia Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria (DAFNE) Sede: via Antonio Gramsci,89/91 Foggia 71122 P.Iva: 03016180717		
Studio e progetto ecologico vegetazionale	 Dott. Biol. Leonardo Beccarisi Via D'Enghien, 43 - 73013 Galatina (LE) cell. 3209709895 E-Mail: beccarisil@gmail.com Ordine nazionale dei Biologi Albo-Sezione matr. n. AA_067313		 Dott.ssa Anastasia Agnoli Via Armando Diaz, 37 73100 Lecce (LE) cell. 3515100328 E-Mail: anastasia.agnoli989@gmail.com		
Studio meteorologico	Dott. Biol. Elisa Gatto Via S. Santo, 22 73044 Galatone (LE) cell. 3283433525 E-Mail: dottelisagatto@gmail.com Ordine nazionale dei Biologi matr. n. AA_090001		 Dott. Nazario Di Lella Tel./Fax 0882.991704 cell. 328 3250902 E-Mail: geol.dilella@gmail.com Ordine regionale dei Geologi della Puglia matr. n. 345		
Studio faunistico	Dott. Fabio Mastropasqua Via Padre Pio da Pietrelcina 10 70020 Bitritto (BA) cell. 3201488569 E-Mail: fabionastro77@gmail.com Collegio Interprovinciale degli Agrotecnici e degli Agrotecnici laurati matr n. 276		 Arch. Gaetano Fornarelli Via Fulcigrano Casale 17 73100 Lecce (LE) cell. 3358758545 E-Mail: forgaet@gmail.com Ordine degli Architetti della provincia di Lecce matr. n 1739		
Studio archeologico	 NOSTOI s.r.l. Dott.ssa Maria Grazia Liseno Tel. 0972.081259 Fax 0972.83694 E-Mail: mgliseno@nostoisrl.it Elenco Nazionale Archeologo Fascia I matr n. 1646		Dott. Agr. Alfonso Mogavero Viale Fortore 9/C 71121 Foggia Tel/Fax: 0881 723673 Cell. 335 6287405 E-Mail: studiomogavero@gmail.com Ordine dottori agronomi di Foggia n. 372		
Studio acustico	STUDIO FALCONE Ingegneria Ing. Antonio Falcone Tel. 0884.534378 Fax. 0884.534378 E-Mail: antonio.falcone@studiofalcone.eu Ordine degli Ingegneri di Foggia matr. n.2100		 Ing. Tommaso Monaco Tel. 0885.429850 Fax 0885.090485 E-Mail: ing.tommaso@studiotecnicomonaco.it Ordine degli Ingegneri della provincia di Foggia matr. n. 2906		
Studio paesaggistico e di inserimento urbanistico	 Dott. Agr. Barnaba Marinosci via Pilella 19, 73040 Alliste (LE) Cell. 329 3620201 E-Mail: barnabamarinosci@gmail.com Ordine dei Dottori Agronomi e Forestali provincia di Lecce matr. n 674		Geom. Matteo Occhiochiuso Tel. 328 5615292 E-Mail: matteo.occhiochiuso@virgilio.it Collegio dei Circondariale Geometri e Geometri Laureati di Lucera matr. n. 1101		
Opera	Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Agri-Fotovoltaico denominato "TOVAGLIA" da realizzarsi in cave dismesse o da dismettere e recuperare, site in località "Masseria Tovaglia" nel territorio comunale di Serracapriola (FG) per una potenza complessiva di 26,557MWp nonchè delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto				
	AUTORITA' PROCEDENTE V.I.A. :  Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica		AUTORITA' PROCEDENTE A.U. :  REGIONE PUGLIA		
Oggetto	Nome Elaborator: 96WX1A8_Relazione_Geologica.pdf Descrizione Elaborator: Relazione geologica del progetto definitivo				
00	28/10/2022	Progetto definitivo	Geol. N. Di Lella	Ing. A. Mezzina	Pacifco Acquamarina 2 S.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:					
Formato: A4/A3	Codice Pratica 96WX1A8				

Sommario

1.	PREMESSA.....	2
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
3.	TETTONICA E SISMICITÀ.....	14
4.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	23
5.	P.A.I.: RISCHIO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO	28
6.	PPTR – VINCOLO IDROGEOLOGICO	30
7.	IDROGEOLOGIA E CARATTERI DI PERMEABILITA'.....	32
8.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI	37
9.	INDAGINI IN SITO	42
10.	RISULTATI INDAGINE GEOFISICA.....	49
11.	CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO.....	51
12.	CONCLUSIONI	54
	ALLEGATO 1 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (SISMICA A RIFRAZIONE)	56
	ALLEGATO 2 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (MASW).....	57

1. PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Geol. Nazario Di Lella iscritto all'Ordine dei Geologi della Puglia con il n. 345, su incarico della società PACIFICO ACQUAMARINA 2 S.r.l., con sede in Bolzano (BZ), piazza Walther Von Vogelweide, n. 8 - Pec: pacificoacquamarina2srl@legalmail.it - C.F. e P.IVA 04351410719, ha eseguito il presente studio Geologico - Geotecnico a corredo del "Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Agri-Fotovoltaico denominato "TOVAGLIA" da realizzarsi in cave dismesse o da dismettere e recuperare, site in località "Masseria Tovaglia" nel territorio comunale di Serracapriola (FG) per una potenza complessiva di 26,557MWp nonché delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto".

Lo studio è stato finalizzato a perseguire i seguenti obiettivi:

- individuare i litotipi presenti e le loro caratteristiche giaciture;
- individuare i fenomeni geomorfologici, con specifico riguardo alla stabilità dell'area;
- determinare la situazione idrogeologica locale, con particolare riguardo per l'infiltrazione e la circolazione delle acque nel sottosuolo;
- caratterizzazione geotecnica e sismica del sito in relazione alle opere previste di progetto.

La caratterizzazione del sito e le indagini espletate sono state eseguite in relazione a quanto previsto dalle normative vigenti (Legge 2/2/74 n° 64 - D.M. 21/1/81 - D.M. 11/3/88 - O.P.C.M. 3274 – NTC 2018 e s.m.i.) ed hanno avuto lo scopo principale di accertare in maniera più concreta e dettagliata (in fase di Progetto Definitivo) le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni costituenti il sito, soprattutto in funzione delle strutture che andranno a costituire le opere di progetto e della loro interazione con il terreno costituente il sito stesso.

Nei paragrafi successivi si riportano le risultanze dello studio eseguito su un'area più estesa di quella interessata dal progetto, ai fini della definizione del quadro geologico generale di riferimento in fase di progettazione esecutiva, con un rilevamento geologico di dettaglio ed acquisizione di informazioni di carattere bibliografico disponibile per la zona oggetto di studio.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

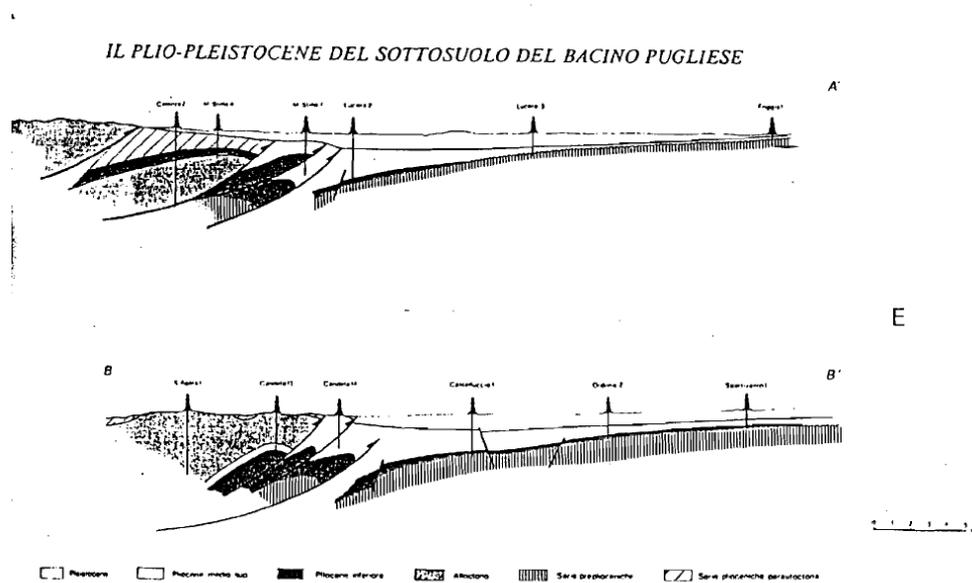
2.1. Introduzione e geologia regionale

Nel territorio della provincia di Foggia affiorano successioni carbonatiche e terrigene appartenenti alle tre unità Stratigrafico-Strutturali:

- Catena;
- Avanfossa Appenninica;
- Avampaese Apulo-Garganico.

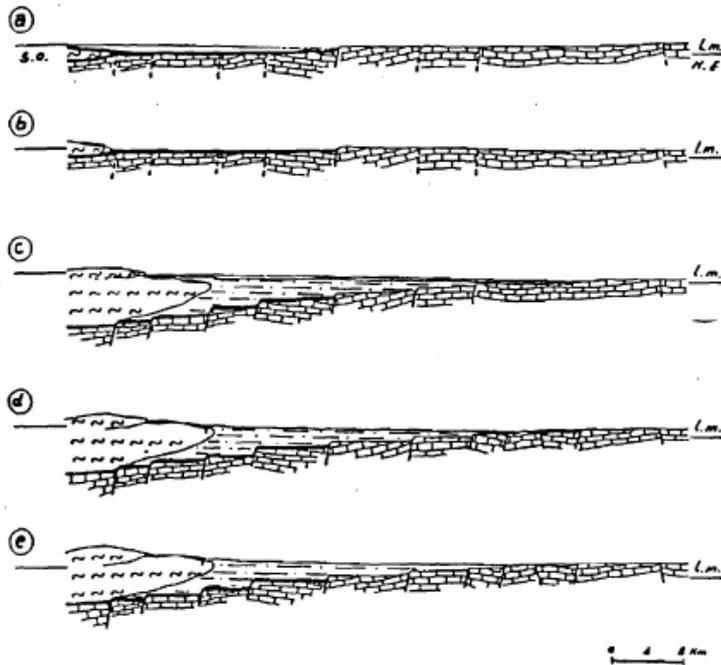
Il Settore più occidentale, Catena, è costituito da terreni di età compresa tra il Mesozoico ed il Pliocene, in contatto tettonico di sovrascorrimento con i termini del Miocene sup. dell'Avampaese deformato.

Tali terreni rappresentano una potente coltre di ricoprimento costituita da formazioni alquanto eterogenee come litologia, indicate in letteratura con il termine generico di "Alloctono".



La parte centrale, Avanfossa appenninica, è costituita da depositi plio-pleistocenici poggianti in trasgressione sui calcari pre-pliocenici della Piattaforma apula ribassati a gradinata verso SW da un sistema di faglie dirette a direzione appenninica.

Alcuni Autori interpretano tale area come bacino subsidente, compreso tra il paleomargine dell'Appennino e dell'Avampaese nel quale si sono depositi, a partire dal Pliocene Inf., sedimenti terrigeni.



LEGENDA

- (a) PLIOCENE INF. MEDIO : ABBASSAMENTO
 - (b) " " " : SOLLEVAMENTO
 - (c) PLIOCENE SUP. - PLEISTOCENE MEDIO : ABBASSAMENTO
 - (d) " " " : SOLLEVAMENTO
 - (e) PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE : SOLLEVAMENTO
- DEPOSITI DELL'INTERVALLO III (PLIOCENE SUP. - PLEISTOCENE MEDIO)
 - DEPOSITI DELL'INTERVALLO II (PLIOCENE INF. - MEDIO)
 - ALLOCTONO (CRETACEO - MIOCENE)
 - AVAMPASE CALcareo (CRETACEO - MIOCENE)

Alla fine del Pliocene medio, per tutto il Pliocene superiore e parte del Pleistocene, una importante fase tettonica di abbassamento del substrato carbonatico provocò una estesa migrazione del bacino e della linea di costa verso NE.

Nello stesso tempo, dal margine della catena appenninica, in via di sollevamento, scivolarono per gravità verso il bacino, cospicue masse "alloctone".

Seguì poi, alla fine del Pleistocene inferiore, un generale sollevamento della regione, più pronunciato sul lato appenninico, determinando la migrazione del mare pleistocenico verso l'attuale linea di costa.

2.2. Stratigrafia

I terreni affioranti nell'area del foggiano sono riferibili a tre unità strutturali distinte secondo il seguente schema:

➤ **Unità dell'Avampaese:**

- Calcari e gessi delle Pietre Nere Trias (Raibliano)
- Calcari di piattaforma (Creta inf-Giura sup.)
- Calcareniti bioclastiche e Calcari massicci di scogliera Miocene (Tortoniano)
- Rocce ignee delle Pietre Nere (Miocene).

➤ **Unità dell'Avanfossa:**

- Argille e sabbie basali (Pliocene medio-inf.)
- Calcareniti di Gravina
- Argille subappennine e Sabbie di Serra Capriola (Pleistocene inf.-Pliocene sup.)
- Depositi marini e alluvionali terrazzati (Olocene-Pleistocene sup.)

➤ **Unità della Catena:**

- Argilliti Vari colori (Miocene inf. – Oligocene)
- Flysh di Faeto (Miocene, Serravalliano-Langhiano)
- Marne argillose di Toppo Capuana (Messiniano-Tortoniano)

La serie è completata da termini più recenti rappresentati da sabbie di spiaggia, detriti di falda e depositi fluvio-lacustri.

➤ **Unità dell'Avampaese Apulo-Garganico**

Il Promontorio del Gargano risulta essere costituito da una serie calcareo-dolomitica dello spessore complessivo di oltre 4.000 m., di età compresa tra il Giurassico e il Cretaceo superiore.

Questa serie poggia su depositi evaporitici, mentre superiormente è limitata, con contatto trasgressivo, da successioni mioceniche e plio-pleistoceniche.

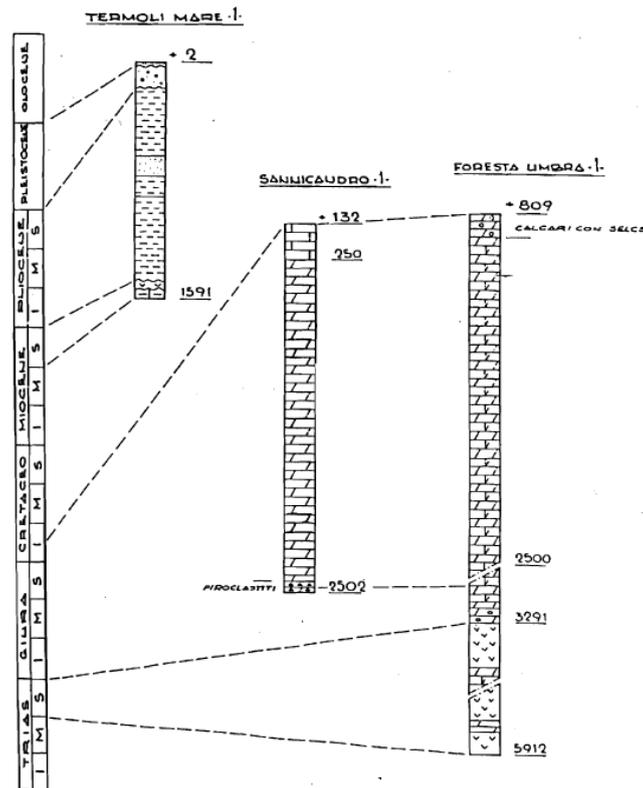


Fig. 1.3 - Correlazione tra le successioni dei pozzi di ricerca di idrocarburi perforati nel Promontorio garganico e a Termoli.

Nel pozzo Termoli Mare 1, perforato all'estrema propaggine occidentale del promontorio, le rocce evaporitiche sono state incontrate, nel tratto compreso tra m. -1484 e m. -1570, al di sotto di una successione argilloso-marnosa pliocenica di avanfossa e al di sopra di strati calcarenitici miocenici, incontrati, questi ultimi, fino a fondo pozzo (-1591 m.).

L'esistenza di una unità gessosa di età miocenica è stata riconosciuta in un'area situata in un tratto dell'Avanfossa appenninica, immediatamente a NW del Promontorio garganico, al di sotto di terreni pliocenici (Crescenti, 1975).

Con riferimento alle successioni mesozoiche del promontorio garganico, i calcari del Cretaceo inferiore costituiscono un esempio di ambiente di transizione tra piattaforma, scarpata e bacino, secondo lo schema proprio di un margine deposizionale di piattaforma carbonatica.

Le diverse unità formazionali cretacee della Carta Geologica sono raggruppate in tre unità principali:

- Calcari di San Giovanni Rotondo;
- Calcari di Mattinata;
- Calcari di Vico del Gargano;

corrispondenti rispettivamente ad ambienti di "Piattaforma, Scarpata e Bacino".

Le aree di affioramento sono distribuite secondo fasce subparallele con andamento NW-SE, corrispondenti al bordo di rift (Alto Topografico della piattaforma di San Giovanni Rotondo) ed al margine continentale passivo (scarpata-bacino di Monte S. Angelo – Vieste), secondo lo schema di fig. 1.8.

MONTE SAN ANGELO LMST				Cenomanian
Masseria Quadriera LMST SAN GIOVANNI ROTONDO LMST	MATTINATA LMST	VICO FMT		Albian
				Apitan
				Barremian
				Hauterivian
				Valanginian
			Berriasian	
	COPPA GUARDIOLA LMST	MTE SACRO LMST		Portlandian
WESTERN GARGANO	CENTRAL GARGANO	EASTERN GARGANO		

ig. 1.6- Schema stratigrafico del Cretaceo inferiore e medio del Promontorio del Gargano (da Masse & Luperto Sinni, 1987).

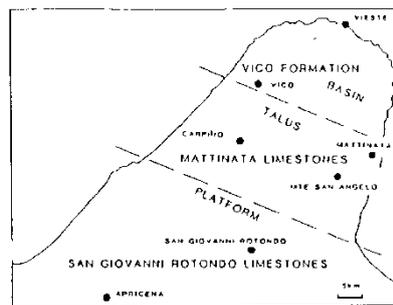


Fig. 1.7- Distribuzione delle principali unità e loro significato paleoambientale (da Masse e Luperto Sinni, 1987).

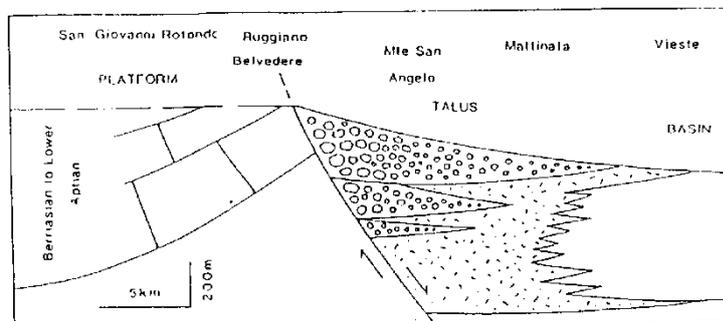


Fig. 1.8 - Modello strutturale sedimentario nel Cretaceo inferiore della piattaforma, scarpata e bacino di transizione del Promontorio del Gargano (da Masse e Luperto Sinni, 1987).

I Calcari di San Giovanni Rotondo affiorano nella parte occidentale del Promontorio garganico e sono ben esposti in corrispondenza dell'Horst di Apricena dove sono interessati da una intensa attività estrattiva (Pietra di Apricena).

Si tratta di calcari micritici biancastri con venature rosate disposte a letti, compatti, tenaci, stratificati in grossi banchi di qualche metro, con frequenti strutture stilolitiche di colorazione rosso-violetto e rare intercalazioni di argille verdastre, particolarmente apprezzati come pietra ornamentale per pavimentazione interna e rivestimento di esterni.

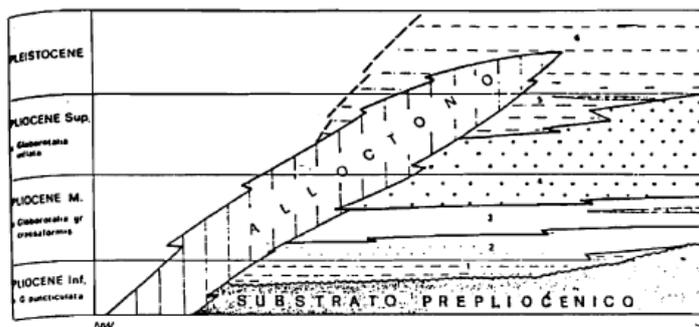
La potenza degli strati varia da 1 a 4 metri, con giacitura prevalente verso S e una inclinazione di 5° circa.

Nell'ambito dell'unità sono stati riconosciuti differenti tipi litologici; nella zona di Apricena e Poggio Imperiale, la successione è costituita da cinque membri (Luperto Sinni & Masse, Op. cit.)

➤ Unità dell'Avanfossa Appenninica

La parte di Avanfossa Periadriatica che va a sud dell'allineamento dei pozzi per idrocarburi M. Rotaro 1, Colle d'Armi 1, San Severo 1, è nota in letteratura come Bacino Pugliese.

In tale parte dell'avanfossa si rinviene una spessa successione di età plio-pleistocenica prevalentemente argillosa, ben descritta dagli autori attraverso l'analisi di numerosi sondaggi perforati per ricerche di idrocarburi; verso il margine appenninico, potenti coltri alloctone si rinvennero in questi ultimi depositi



La successione litostratigrafica del bacino pugliese comprende dal basso verso l'alto i seguenti intervalli stratigrafici:

- intervallo argilloso-marnoso di base
- intervallo sabbioso-argilloso inferiore
- intervallo prevalentemente argilloso/intermedio
- intervallo sabbioso-argilloso superiore

- intervallo prevalentemente argilloso superiore

- argille e sabbie sommitali.

L'intervallo argilloso-marnoso di base è formato da argille-marnose per uno spessore di 100 m che in situazioni di paleoalto può essere notevolmente ridotto o assente. Questo intervallo, del Pliocene inferiore nella fascia interna, ringiovanisce verso l'esterno, includendo termini del Pliocene medio.

L'intervallo sabbioso-argilloso inferiore è rappresentato da intercalazioni sabbiose dapprima sottili e poi più spesse. Questi corpi mostrano una notevole irregolarità di sviluppo, inoltre gli intervalli sabbiosi si assottigliano verso NE

Tale intervallo risulta assente a nord dell'allineamento M. Rotaro - Colle d'Armi 1 - S. Severo I e caratterizza così il bacino pugliese.

L'intervallo prevalentemente argilloso intermedio è formato da argille di mare poco profondo, Pliocene medio, cui segue l'intervallo sabbioso-argilloso superiore attribuito al Pliocene medio e superiore.

L'intervallo prevalentemente argilloso superiore è caratterizzato dalla presenza di irregolari intercalazioni sabbiose molto subordinate rispetto alla parte pelitica.

La successione termina con argille prevalenti, cui si intercalano, in modo irregolare e disordinatamente, sottili livelli di sabbie a luoghi ciottolose, a trend di carattere regressivo (argille e sabbie sommitali).

In affioramento, nel Tavoliere si trova quasi esclusivamente la parte alta della successione plio-pleistocenica.

Le unità stratigrafiche regressive sono rappresentate dalle Sabbie di Serra Capriola (= Sabbie di Monte Marano), in sinistra Fortore, e dai conglomerati di chiusura.

Depositi terrazzati quaternari, riferibili a più cicli sedimentari marini e/o a fasi continentali di alluvionamento, sono posti a quote via via decrescenti.

Per quanto riguarda l' "Alloctono" esso è costituito da un complesso di formazioni molto eterogenee come litologia ed età; il suo spessore cresce rapidamente verso SO.

La base dell'alloctono è costituita da Argille varicolori che formano orizzonti plastici di sovrascorrimento di masse più coerenti. Seguono calcari e marne detritiche associate a calcari organogeni a briozoi e litotamni.

- **Unità del Fortore (Miocene inferiore-Cretaceo)**, costituita dalle formazioni delle "Argille Varicolori" che constano di due diversi membri (argilloso-marnoso e calcareo-marnoso) attribuiti rispettivamente all'Aquitano sup.-Burdigaliano e all'Eocene medio.

Seguono le "Tufiti di Tusa", vulcanoclastiti marroni con intercalazioni pelitiche, calcarenitiche e calcareo-marnose indicative del Miocene inferiore.

Chiudono la serie la formazione del "Flysh Numidico", riferita al Langhiano, costituita da quarzoareniti risedimentate, con intercalazioni pelitiche grigio-verdastre e localmente calcarenitiche.

- **Unità Irpine (Langhiano-Tortoniano)**, costituite dal "Flysh di San Bartolomeo", noto nella zona di Anzano di Puglia come "Formazione di Anzano"; presenta facies arenaceo-conglomeratica e arenaceo-pelitica di età compresa tra il Langhiano-Serravalliano medio-superiore. Seguono in continuità stratigrafica le "Marne Argillose di Topo Capuana", costituite da marne argillose e argille marnose grigie sottilmente stratificate, di età compresa tra il Serravalliano medio-superiore e il Tortoniano medio-superiore
- **Unità di Villamaina (Tortoniano sup. - Messiniano)**, costituita da arenarie litiche in basso, mentre superiormente segue una alternanza di arenarie e argille, e depositi gessosi laminati, gessareniti, breccie gessose e calcari evaporitici, tipici di un passaggio da ambiente euxinico ad una condizione evaporitica.

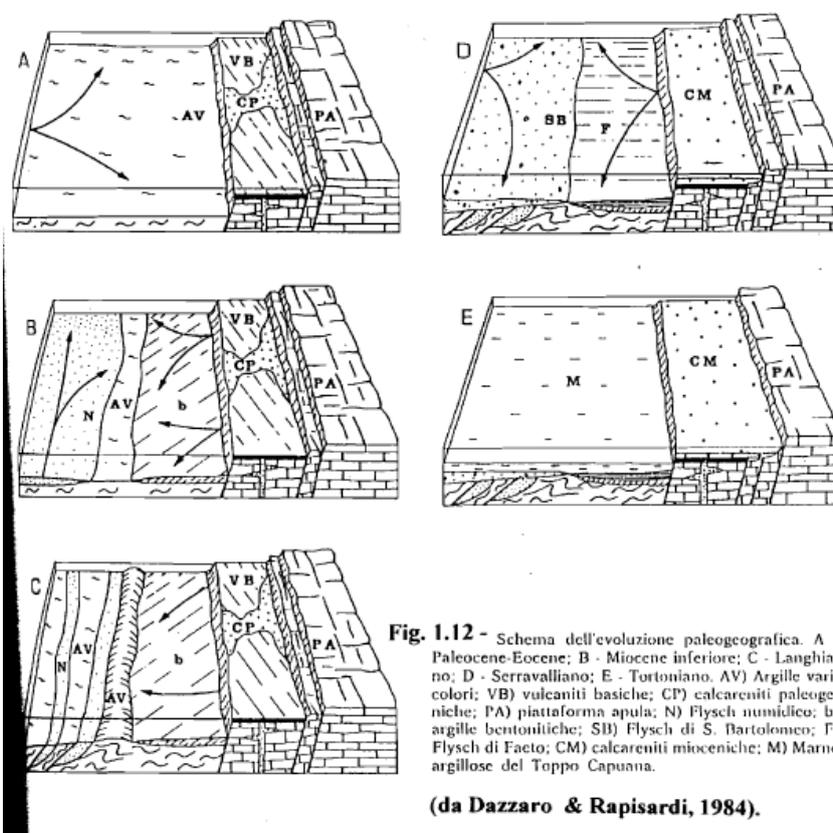
Il settore centrale costituisce il margine della catena appenninica e segna il passaggio tra le Unità Alloctone e i depositi della Unità Bradanica.

3. TETTONICA E SISMICITÀ.

I settori di Catena, Avanfossa e Avampaese, oltre che per caratteri litostratigrafici delle successioni affioranti differiscono anche per caratteri tettonici.

La zona più occidentale, costituita in prevalenza da terreni Flyshoidi, risulta interessata da una tettonica molto complessa, caratterizzata da strutture plicative e di accavallamento legate alla fase tettogenetica langhiano-tortoniana che ha portato alla formazione di più scaglie con vergenza a NE (Dazzaro & Rapisardi).

Ai raccorciamenti dovuti a tali fasi tettoniche si sono aggiunti quelli delle fasi pliocenica e pleistocenica. Gli effetti più evidenti di questa ultima fase compressiva si riscontrano al bordo appenninico, dove unità flyshoidi sono accavallate per faglie inverse su sedimenti dell'Avanfossa.



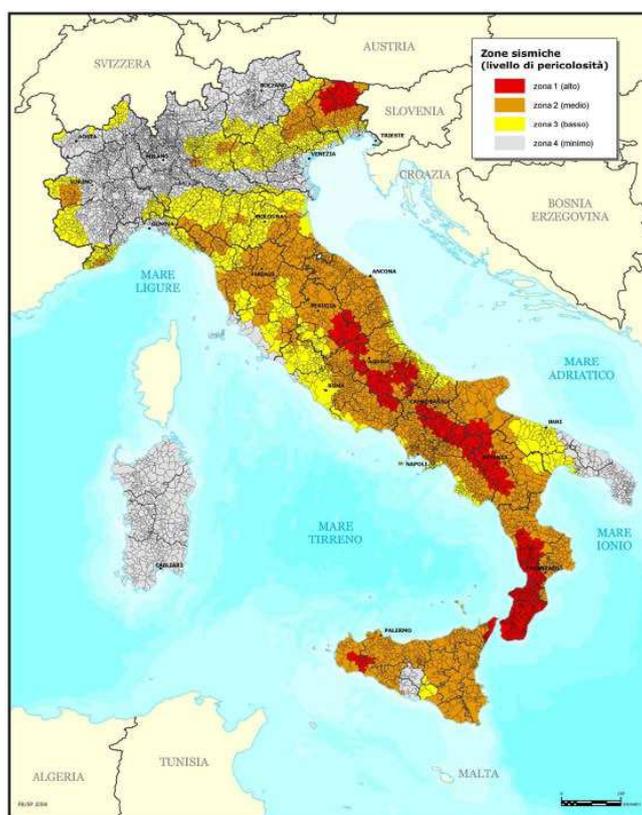
Le strutture distensive, infine, rappresentate da faglie dirette e verticali, allungate circa N-S, sono l'effetto delle fasi di sollevamento medio-supra pleistoceniche che hanno interessato la parte esterna della catena.

La zona centrale, ove affiora la serie plio-quadernaria dell'Avanfossa, è caratterizzata da un assetto tranquillo con giacitura degli strati pressoché orizzontale. La tettonica profonda, ricostruita attraverso i pozzi dell'Agip Mineraria, evidenzia l'esistenza di un substrato carbonatico pre-pliocenico suddiviso in più blocchi, dislocati da faglie dirette, progressivamente abbassati a NE (Sella et al, 1988).

3.1. Sismicità Dell'area

Il territorio del comune in oggetto così come altri comuni della parte centro orientale della provincia, è classificata come a rischio sismico medio Zona 2.

Ciò risulta dall'allegato (classificazione sismica dei comuni italiani) all'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" dal quale risulta che il territorio in oggetto è inserita in Zona Sismica 2 (medio Rischio) corrispondente ad un grado di sismicità pari a $S = 9$. secondo quanto indicato dalla vecchia normativa sismica dal D.M. 07.03.1981, il coefficiente di intensità sismica è così valutabile: $C = S - 2/100 = 0,07$.



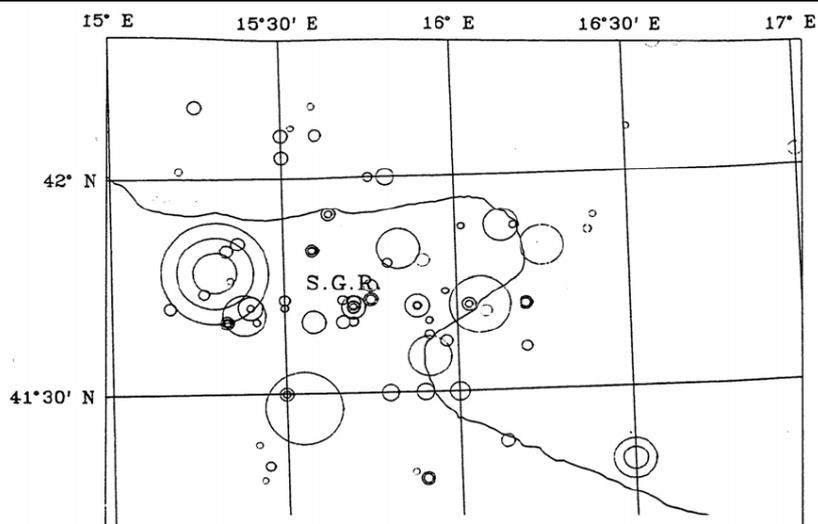
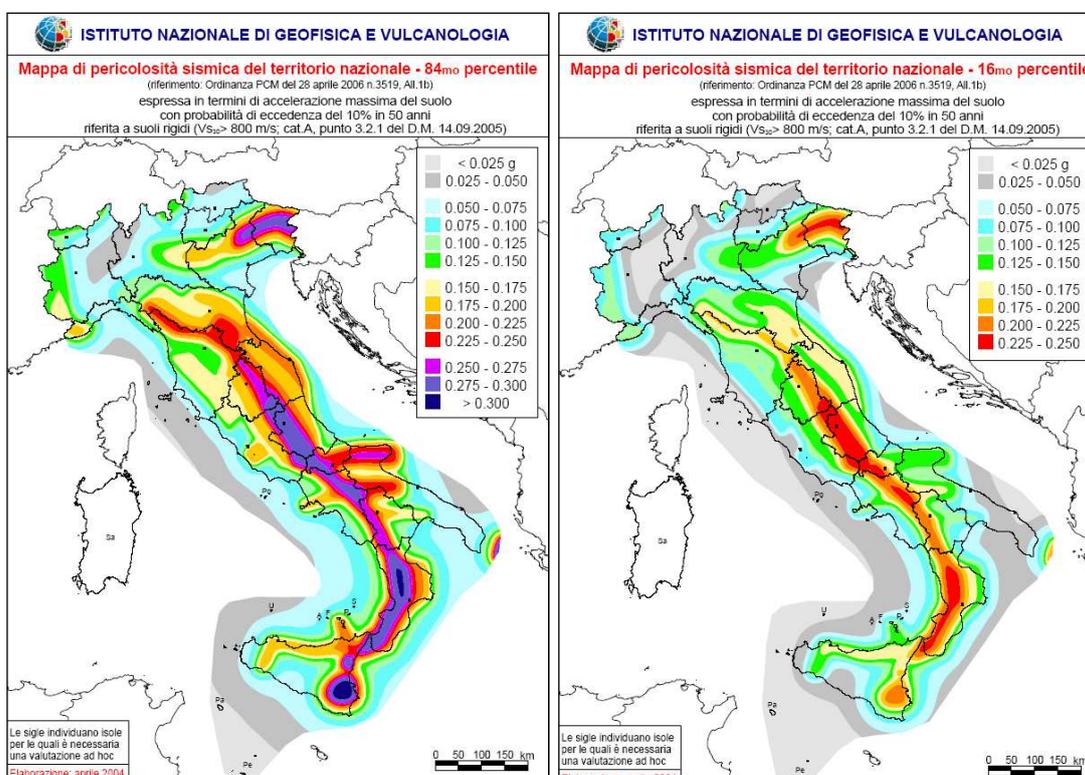


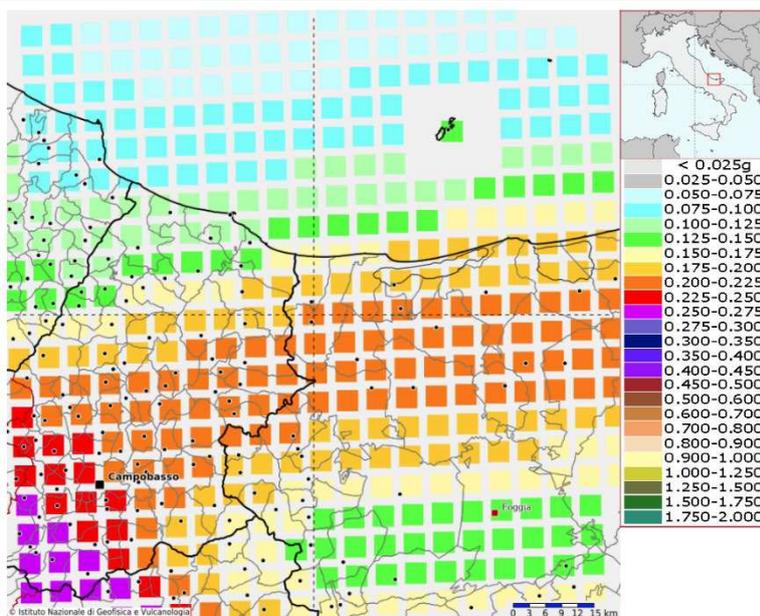
Fig. 3 – Mappa della distribuzione epicentrale nell'area garganica nel periodo 1000-1996: a) con qualunque magnitudo; b) con $M \geq 3,5$.



Più in particolare, per l'area interessata dall'intervento, si dovranno tenere in considerazione, in fase di progettazione e di calcolo, valori dell'accelerazione sismica di riferimento compresi tra 0,125 e 0,150.

Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)

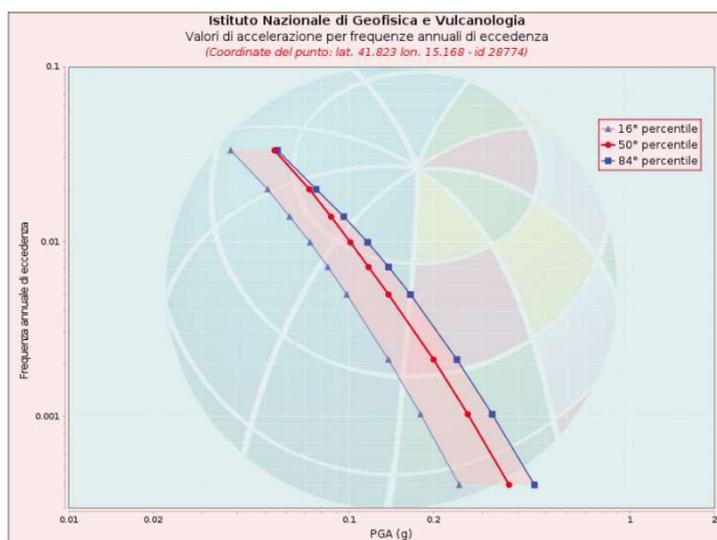
Informazioni sul nodo con ID: 28774 - Latitudine: 41.823 - Longitudine: 15.168



La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante. Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID 30336 (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

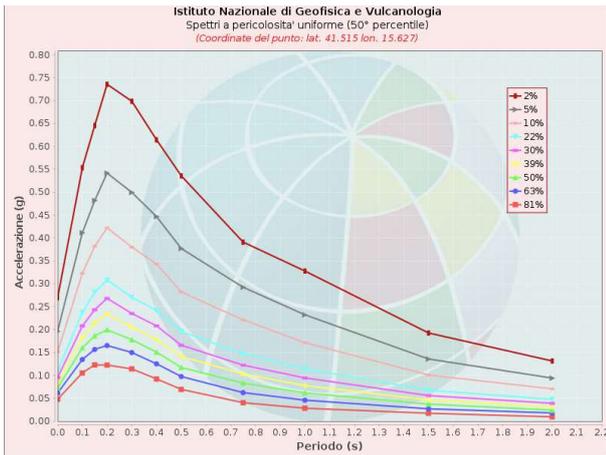


Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.247	0.372	0.458
0.0010	0.180	0.265	0.324
0.0021	0.138	0.200	0.243
0.0050	0.098	0.138	0.166
0.0071	0.084	0.117	0.139
0.0099	0.073	0.101	0.117
0.0139	0.061	0.086	0.096
0.0199	0.051	0.072	0.076
0.0332	0.038	0.054	0.056

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.

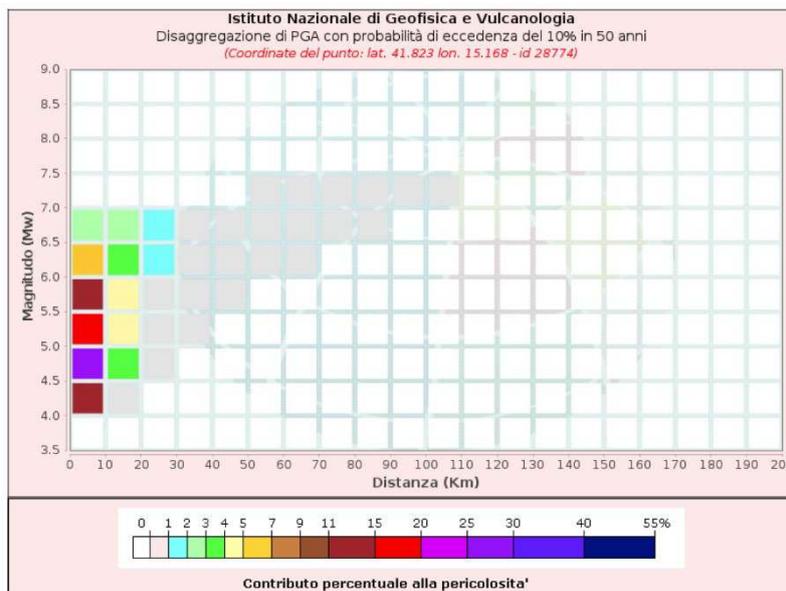


Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.372	0.754	0.877	0.984	0.905	0.783	0.667	0.438	0.331	0.217	0.141
5%	0.265	0.552	0.647	0.709	0.624	0.549	0.445	0.290	0.236	0.145	0.097
10%	0.200	0.425	0.501	0.538	0.473	0.411	0.324	0.223	0.178	0.104	0.071
22%	0.138	0.301	0.356	0.379	0.331	0.283	0.218	0.152	0.116	0.068	0.048
30%	0.117	0.258	0.305	0.323	0.283	0.238	0.181	0.125	0.096	0.056	0.039
39%	0.101	0.223	0.263	0.279	0.243	0.205	0.155	0.106	0.078	0.047	0.031
50%	0.086	0.190	0.224	0.233	0.207	0.171	0.128	0.088	0.064	0.038	0.025
63%	0.072	0.159	0.188	0.189	0.173	0.142	0.106	0.067	0.048	0.028	0.019
81%	0.054	0.120	0.139	0.141	0.123	0.105	0.076	0.045	0.031	0.019	0.011

Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafica spettri di risposta

Verificabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

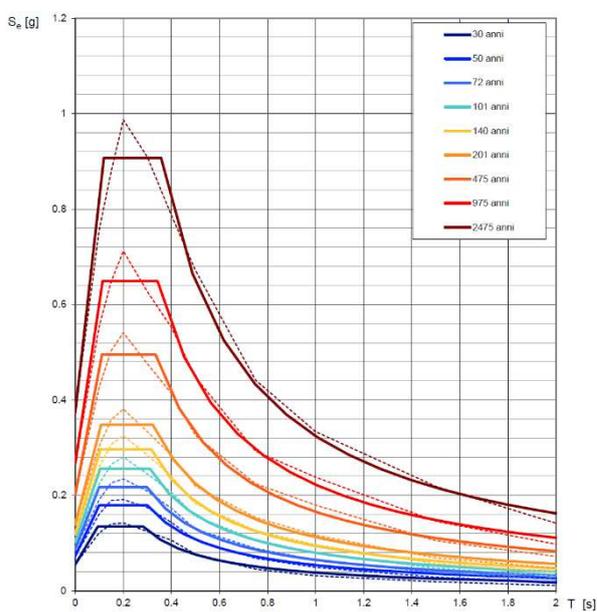
Interpolazione connessa

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

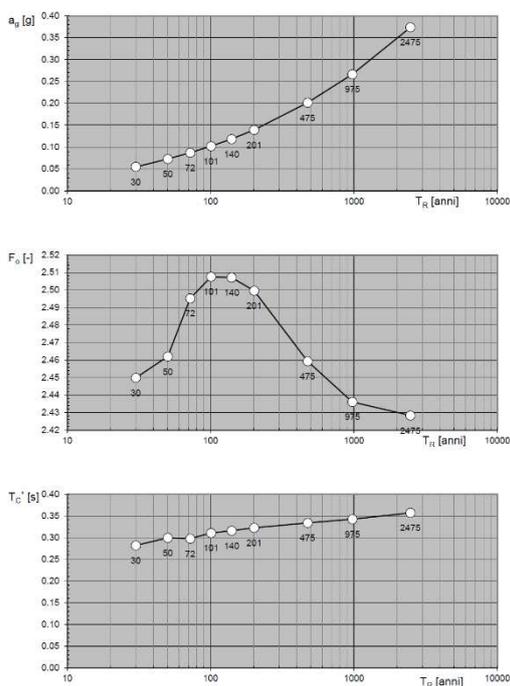
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell'ideoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



La verifica dell'ideoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.055	2.450	0.282
50	0.073	2.462	0.300
72	0.087	2.495	0.298
101	0.102	2.508	0.311
140	0.118	2.507	0.316
201	0.139	2.500	0.323
475	0.201	2.459	0.334
975	0.266	2.436	0.342
2475	0.374	2.428	0.357

La verifica dell'ideoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_u info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_u info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - T_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE {

- SLO - $P_{VR} = 81\%$ info
- SLD - $P_{VR} = 63\%$ info

Stati limite ultimi - SLU {

- SLV - $P_{VR} = 10\%$ info
- SLC - $P_{VR} = 5\%$ info

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

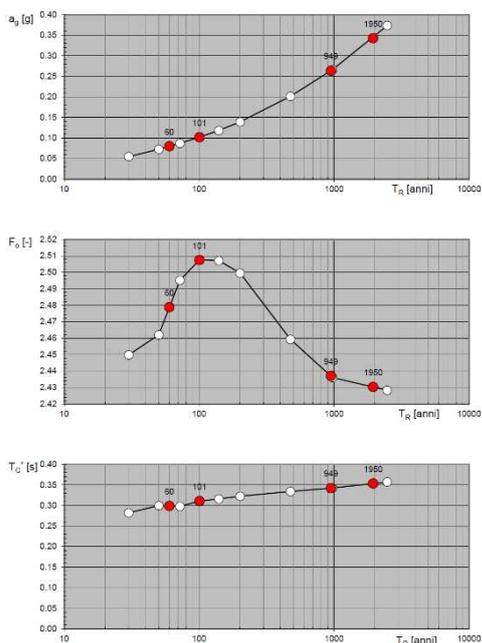
LEGENDA GRAFICO

---○--- Strategia per costruzioni ordinarie

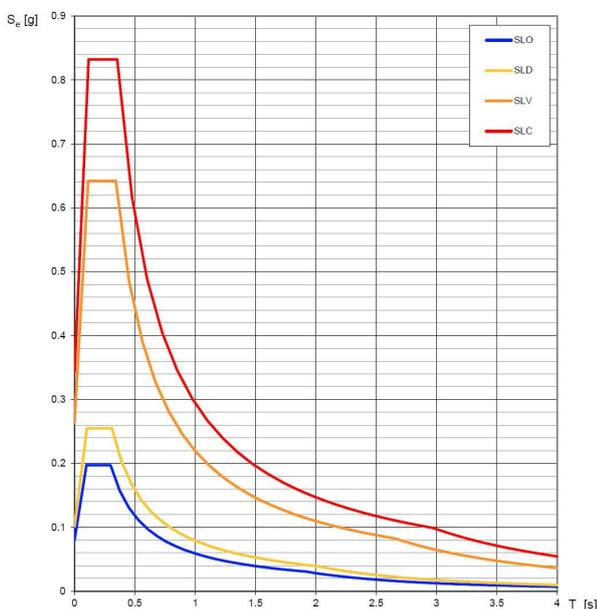
---●--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.080	2.479	0.299
SLD	101	0.102	2.507	0.310
SLV	949	0.264	2.437	0.342
SLC	1950	0.343	2.430	0.353

La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

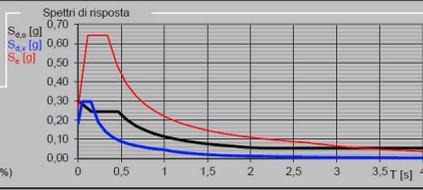
Stato Limite
Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **B** info $S_S = 1,143$ $C_C = 1,363$ info
 Categoria topografica: **T1** info $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info
(altezza sito, Altezza livello topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): **5** $\eta = 1,000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s : **3** Regol. in altezza: **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q_v : **1,5** $\eta = 0,667$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta



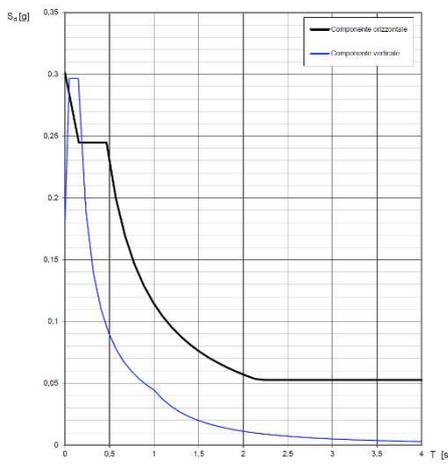
Spettri di risposta

$S_{d,0}$ [g]
 $S_{v,0}$ [g]
 $S_{e,0}$ [g]

— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: **SLV**



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLV**

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	S _d [g]
η	0,268 g	0,200	0,201
F_d	2,437	0,185	0,245
F_v	0,202 g	0,488	0,248
S_S	1,143	0,971	0,202
C_C	1,363	0,875	0,183
S_T	1,000	0,778	0,167
h	0,000	0,583	0,119
		0,497	0,119
		1,001	0,104
		1,195	0,095
		1,320	0,088
		1,424	0,081
		1,508	0,075
		1,572	0,071
		1,617	0,068
		1,651	0,065
		1,676	0,063
		1,694	0,062
		1,707	0,061
		1,716	0,060
		1,722	0,060
		1,726	0,059
		1,729	0,059
		1,731	0,059
		1,732	0,059
		1,733	0,059
		1,734	0,059
		1,735	0,059
		1,736	0,059
		1,737	0,059
		1,738	0,059
		1,739	0,059
		1,740	0,059
		1,741	0,059
		1,742	0,059
		1,743	0,059
		1,744	0,059
		1,745	0,059
		1,746	0,059
		1,747	0,059
		1,748	0,059
		1,749	0,059
		1,750	0,059
		1,751	0,059
		1,752	0,059
		1,753	0,059
		1,754	0,059
		1,755	0,059
		1,756	0,059
		1,757	0,059
		1,758	0,059
		1,759	0,059
		1,760	0,059
		1,761	0,059
		1,762	0,059
		1,763	0,059
		1,764	0,059
		1,765	0,059
		1,766	0,059
		1,767	0,059
		1,768	0,059
		1,769	0,059
		1,770	0,059
		1,771	0,059
		1,772	0,059
		1,773	0,059
		1,774	0,059
		1,775	0,059
		1,776	0,059
		1,777	0,059
		1,778	0,059
		1,779	0,059
		1,780	0,059
		1,781	0,059
		1,782	0,059
		1,783	0,059
		1,784	0,059
		1,785	0,059
		1,786	0,059
		1,787	0,059
		1,788	0,059
		1,789	0,059
		1,790	0,059
		1,791	0,059
		1,792	0,059
		1,793	0,059
		1,794	0,059
		1,795	0,059
		1,796	0,059
		1,797	0,059
		1,798	0,059
		1,799	0,059
		1,800	0,059
		1,801	0,059
		1,802	0,059
		1,803	0,059
		1,804	0,059
		1,805	0,059
		1,806	0,059
		1,807	0,059
		1,808	0,059
		1,809	0,059
		1,810	0,059
		1,811	0,059
		1,812	0,059
		1,813	0,059
		1,814	0,059
		1,815	0,059
		1,816	0,059
		1,817	0,059
		1,818	0,059
		1,819	0,059
		1,820	0,059

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: **SLV**

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	S _v [g]
η	0,183 g	0,200	0,183
F_d	1,900	0,185	0,245
F_v	1,000	0,488	0,248
S_S	1,363	0,971	0,202
C_C	1,000	0,875	0,183
S_T	1,000	0,778	0,167
h	0,000	0,583	0,119
		0,497	0,119
		1,001	0,104
		1,195	0,095
		1,320	0,088
		1,424	0,081
		1,508	0,075
		1,572	0,071
		1,617	0,068
		1,651	0,065
		1,676	0,063
		1,694	0,062
		1,707	0,061
		1,716	0,060
		1,722	0,060
		1,726	0,059
		1,729	0,059
		1,731	0,059
		1,732	0,059
		1,733	0,059
		1,734	0,059
		1,735	0,059
		1,736	0,059
		1,737	0,059
		1,738	0,059
		1,739	0,059
		1,740	0,059
		1,741	0,059
		1,742	0,059
		1,743	0,059
		1,744	0,059
		1,745	0,059
		1,746	0,059
		1,747	0,059
		1,748	0,059
		1,749	0,059
		1,750	0,059
		1,751	0,059
		1,752	0,059
		1,753	0,059
		1,754	0,059
		1,755	0,059
		1,756	0,059
		1,757	0,059
		1,758	0,059
		1,759	0,059
		1,760	0,059
		1,761	0,059
		1,762	0,059
		1,763	0,059
		1,764	0,059
		1,765	0,059
		1,766	0,059
		1,767	0,059
		1,768	0,059
		1,769	0,059
		1,770	0,059
		1,771	0,059
		1,772	0,059
		1,773	0,059
		1,774	0,059
		1,775	0,059
		1,776	0,059
		1,777	0,059
		1,778	0,059
		1,779	0,059
		1,780	0,059
		1,781	0,059
		1,782	0,059
		1,783	0,059
		1,784	0,059
		1,785	0,059
		1,786	0,059
		1,787	0,059
		1,788	0,059
		1,789	0,059
		1,790	0,059
		1,791	0,059
		1,792	0,059
		1,793	0,059
		1,794	0,059
		1,795	0,059
		1,796	0,059
		1,797	0,059
		1,798	0,059
		1,799	0,059
		1,800	0,059
		1,801	0,059
		1,802	0,059
		1,803	0,059
		1,804	0,059
		1,805	0,059
		1,806	0,059
		1,807	0,059
		1,808	0,059
		1,809	0,059
		1,810	0,059
		1,811	0,059
		1,812	0,059
		1,813	0,059
		1,814	0,059
		1,815	0,059
		1,816	0,059
		1,817	0,059
		1,818	0,059
		1,819	0,059
		1,820	0,059

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'area d'interesse è ubicata a circa 10,2 Km N-E dal centro abitato di Chieuti, in agro di Serracapriola, località Masseria Tovaglia.

La quota del sito è compresa tra gli 65 e i 25 m s.l.m., l'impianto risulta essere suddiviso in tre campi e cinque sottocampi produttivi estesi su una superficie complessiva di circa 26,31 ha.

Cartograficamente l'area è ubicata nella parte centrale della Tavolette IGM 1:25.000 – Tavv. 155 IV NE "Torre Fantine" – 155 IV SE "Chieuti" (FTV) e Tav. 115 III SE "Castello di Dragonara"; su cartografia CTR 5.000 ricade nell'elemento n. 382072-382111 (Campo FTV), agro di Serracapriola, e n. 395073 (SSE), agro di Torremaggiore.

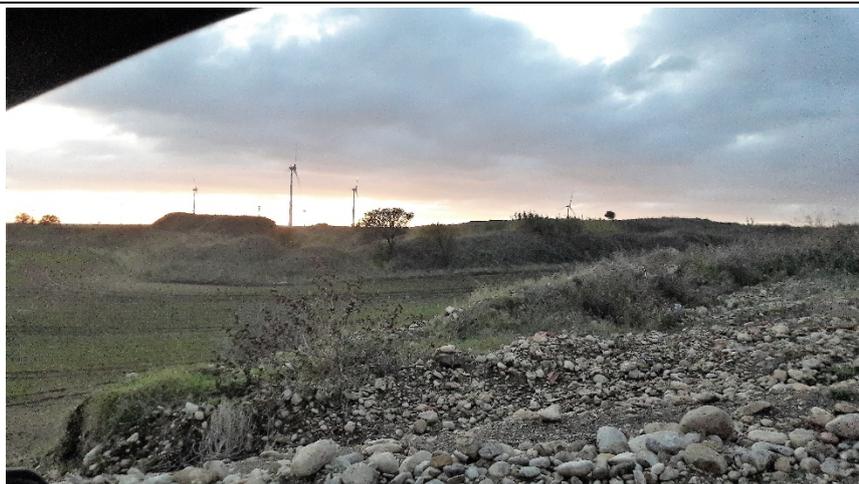
Il territorio presenta una morfologia tipica dell'alta pianura foggiana, ed in particolare nella fascia in sinistra idraulica del F. Fortore, con ampie spianate che corrono parallele all'asse fluviale, sopraelevate di circa 100-150 metri al di sopra di esso, attraversate trasversalmente da un reticolo che da questi terrazzi superiori drenano le acque verso la Valle del Fortore, raccordandosi, con pianori appena inclinati, dai cigli dei terrazzi superiori verso la parte bassa valliva, mentre nella parte dei terrazzi più settentrionali, le linee di drenaggio corrono, in alcuni casi, verso la linea di costa, come nel caso di studio.

Nell'area in oggetto, non sono presenti forme di dissesto né attive né quiescenti o potenzialmente attivabili rilevate e/o segnalate; trovandoci su un terrazzo appena inclinato in direzione nord, da qui cominciano a presentarsi piccoli incanalamenti che mostrano vergenza generale in direzione N.

I litotipi presenti sull'area sono rappresentati da depositi di origine marina (Conglomerati di Campomarino), su cui si sono succeduti (zona orientale) depositi di elaborazione continentale legati alla presenza del F. Fortore, con deposizione ed abbandono di terrazzi fluviali di ordine crescente verso il basso (1°-2°-3°-4° ordine), a loro volta mascherati da un sottile strato di terreno vegetale/eluviale.

In base alla cartografia geologica di zona, il sito ricade in area di affioramento della formazione dei "Conglomerati di Campomarino", rappresentata da ghiaie e conglomerati di ambiente marino o continentale, in genere ricoperti da una coltre di terreno vegetale di spessore medio intorno a 1,5/2,0 m.

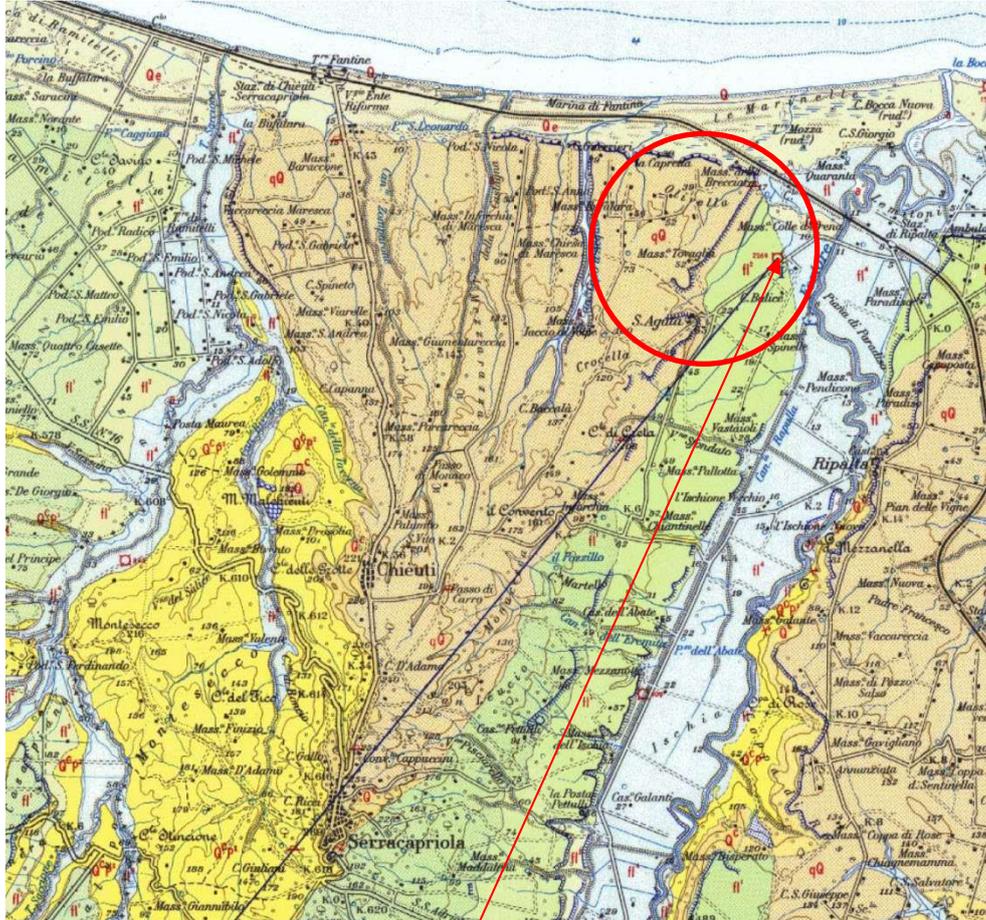
In corrispondenza delle aree di progetto, che corrispondono a cave estrattive di materiali conglomeratici (attive e abbandonate) la formazione conglomeratica, direttamente affiorante in parete e al fondo, si presenta quasi sempre consistente e tenacemente cementata, tanto da permettere l'escavazione con pareti dei fronti sub-verticali.



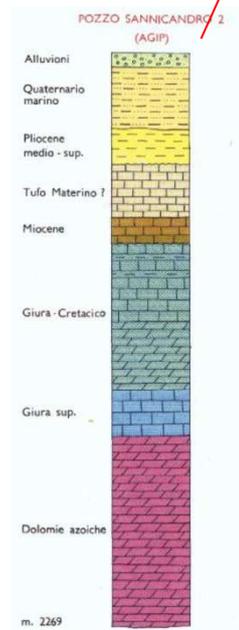
Cava di ghiaia "Abbandonata"



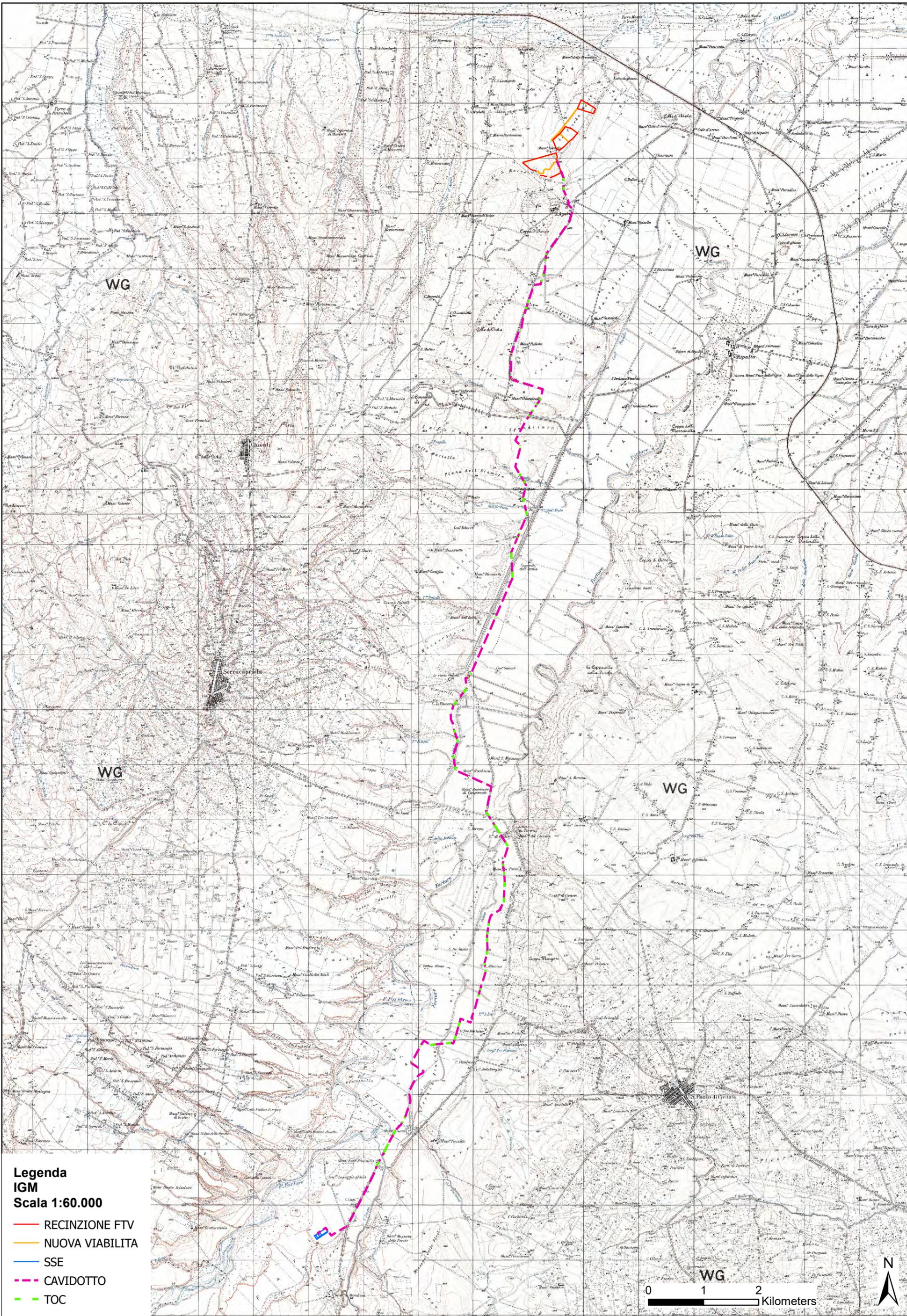
Cava di ghiaia "Attiva"



Stralci Carta Geologica d'Italia – scala 1:100.000

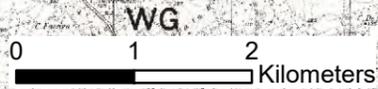


Serie stratigrafica Pozzo AGIP



Legenda
IGM
Scala 1:60.000

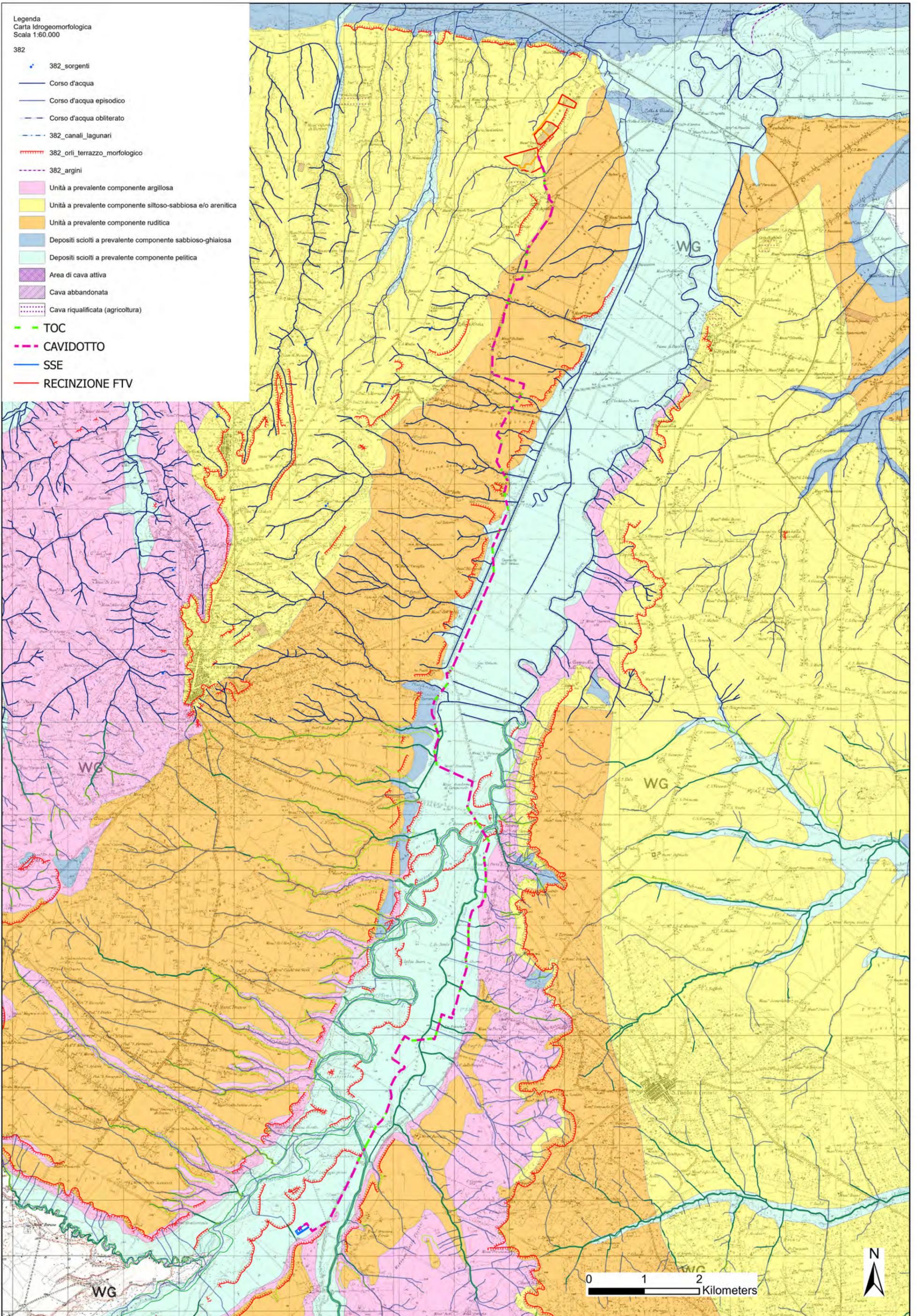
- RECINZIONE FTV
- NUOVA VIABILITA
- SSE
- CAVIDOTTO
- TOC



Legenda
Carta Idrogeomorfologica
Scala 1:60.000

382

-  382_sorgenti
-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua episodico
-  Corso d'acqua obliterato
-  382_canali_lagunari
-  382_orli_terrazzo_morfologico
-  382_argini
-  Unità a prevalente componente argillosa
-  Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
-  Unità a prevalente componente ruditica
-  Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa
-  Depositi sciolti a prevalente componente pelitica
-  Area di cava attiva
-  Cava abbandonata
-  Cava riqualificata (agricoltura)
-  TOC
-  CAVIDOTTO
-  SSE
-  RECINZIONE FTV



5. P.A.I.: RISCHIO GEOMORFOLOGICO ED IDRAULICO

Sotto il profilo del rischio geomorfologico del P.A.I., l'area campi fotovoltaici risulta essere esterna a qualsiasi area individuata dal Piano sia per quanto riguarda il rischio geomorfologico, sia per quanto riguarda il rischio alluvionamento.

Il P.A.I. di riferimento è quello dell'Autorità di Bacino Competente (Autorità di Bacini Distrettuale dell'Appennino Meridionale – Ex AdB Saccione e Fortore).

Trovandoci in presenza di litotipi consistenti, sabbie addensate in zone di cresta, nell'area di imposta dei campi fotovoltaici non sono segnalate né aree sottoposte a rischio idraulico, né a rischio morfologico.

Lo stesso dicasi per l'area in cui è prevista la realizzazione della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 380/150 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN 380 kV "Rotello 380 - San Severo 230", in agro di Torremaggiore, mentre il percorso del cavidotto, data la grande estensione lineare, circa 23,7 km, attraversando il territorio di Serracapriola, S. Paolo di Civitate e Torremaggiore, entra in aree a rischio idraulico PAI.

Per i tratti che interesseranno le aree a rischio idraulico, gli assi stradali ed il reticolo idraulico secondario, verrà preferita la tecnica di posizionamento dei cavi di tipo TOC, in sottopasso dell'elemento lineare da superare, invece dello scavo a cielo aperto in trincea.

Legenda
Scala 1:60.000

PAI PUGLIA

PERICOLO

PG1

PAI FORTORE

HAZARD

Pf2

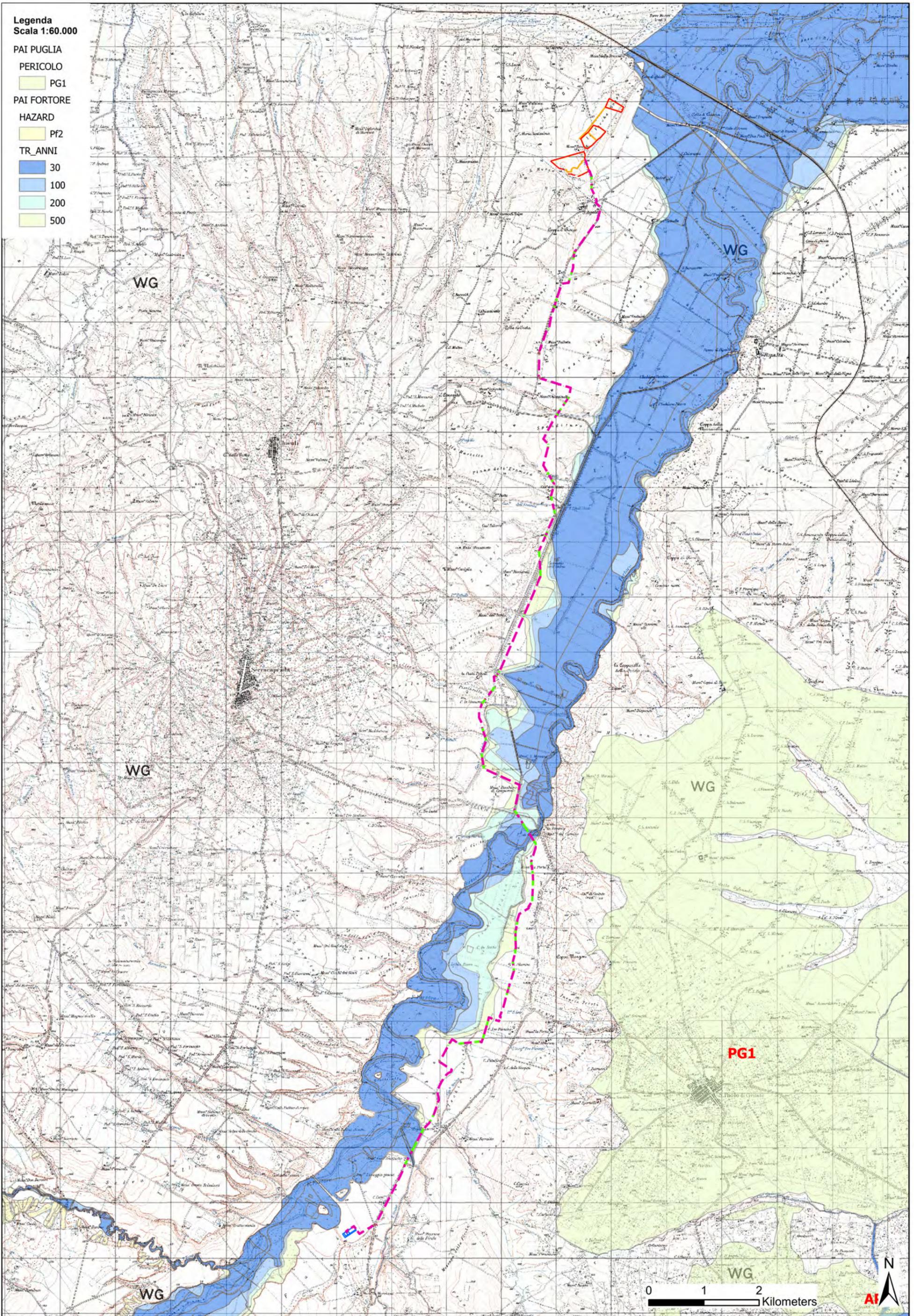
TR_ANNI

30

100

200

500



6. PPTR – VINCOLO IDROGEOLOGICO

In riferimento al Piano Paesaggistico Regionale vigente (P.P.T.R.), l'area di progetto campi FV non ricade in zona perimetrata come "UCP – Vincolo Idrogeologico".

Inoltre, trattandosi di pannelli fotovoltaici impiantati su palo di elevazione, non crea alcuna impermeabilizzazione della superficie di terreno in quanto, non essendo continua ma distanziate nelle file delle stringhe, permette alle acque di pioggia di raggiungere il terreno per il loro deflusso regolare al di sotto delle strutture d'impianto, in più fornisce una protezione alle particelle di terreno al di sotto dei pannelli che vengono sottratte dall'effetto splash della goccia di pioggia che per impatto diretto mobilita porzione di particelle fini.

Il campo S1 ricade parzialmente in aree di vincolo "Botanico Vegetazionale" (UCP_Pascoli Naturali) e "Culturali" (BP_136).

In merito alla movimentazione terre e/o rimodellazione del versante, non è prevista alcuna movimentazione terre, essendo già in itinere un piano di recupero di cava che restituirà le aree idonee all'insediamento dei sostegni dei pannelli fotovoltaici.

Legenda
Scala 1:10.000

BOTANICO VEGETAZIONALI

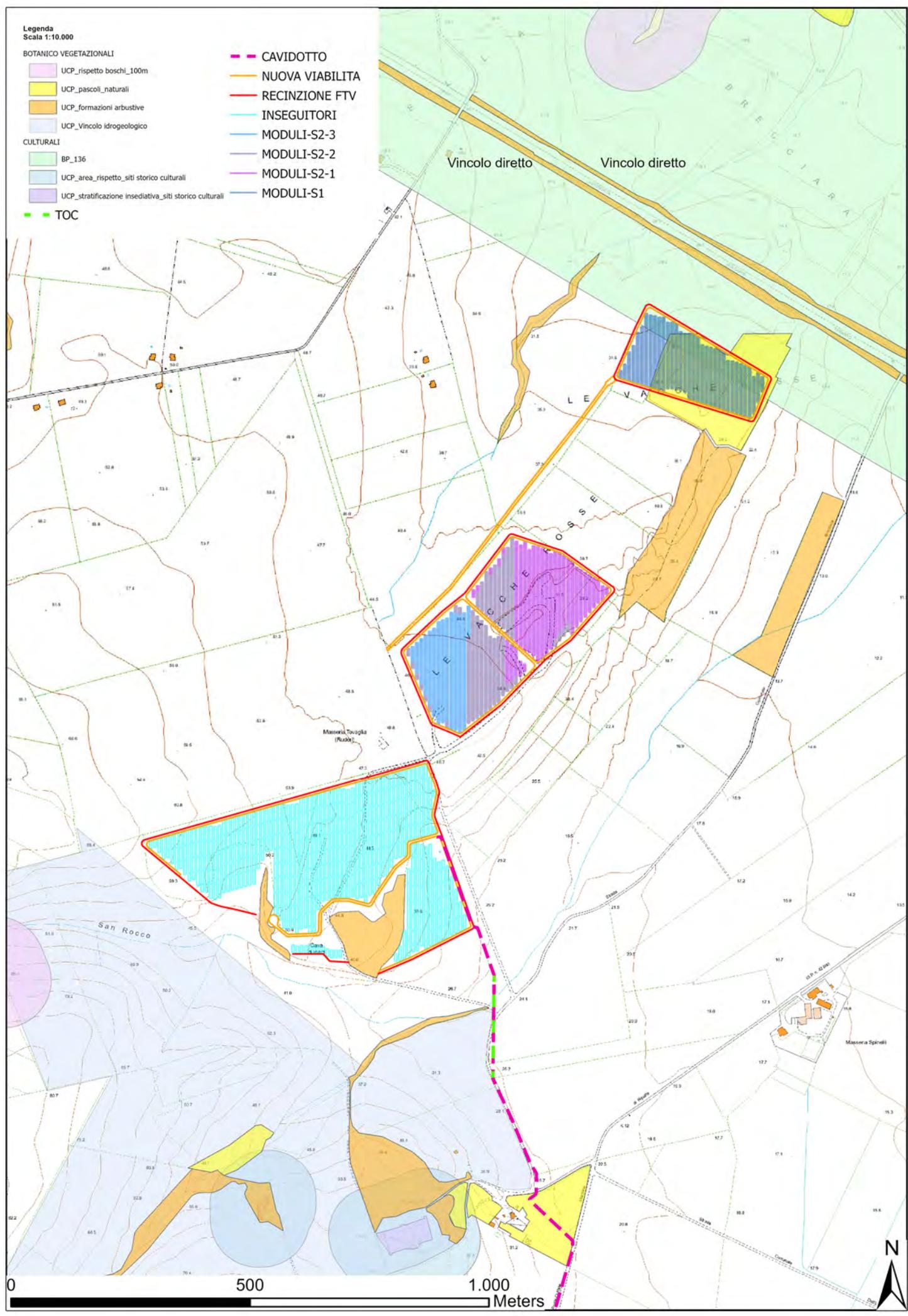
- UCP_rispetto boschi_100m
- UCP_pascoli_naturali
- UCP_formazioni arbustive
- UCP_Vincolo idrogeologico

CULTURALI

- BP_136
- UCP_area_rispetto_siti storico culturali
- UCP_stratificazione insediativa_siti storico culturali

- CAVIDOTTO
- NUOVA VIABILITA
- RECINZIONE FTV
- INSEGUITORI
- MODULI-S2-3
- MODULI-S2-2
- MODULI-S2-1
- MODULI-S1

TOC



7. IDROGEOLOGIA E CARATTERI DI PERMEABILITA'

In riferimento alla presenza di falde nell'area d'interesse, è da rilevare che la cartografia relativa alle piezometriche di zona rappresentano la piezometrica (cfr. Carta Isopieze) essere posta ad una quota di circa 1 m. sul l.m., pertanto, trovandoci a quote comprese tra i 65 e 25 m. sul l.m., la piezometrica è soggiacente a non meno di 24,0 m. dal p.c. più basso.

Localmente, in virtù delle sequenze stratigrafiche e litologiche presenti, sabbie e ghiaie poggianti su argille plio-pleistoceniche, la falda è rinvenibile al contatto tra queste formazioni più superficiali e le argille grigio-azzurre plio-pleistoceniche, in genere alcune decine di metri al di sotto del livello base del mare, in pressione con risalita e stabilizzazione della tavola d'acqua in prossimità o poco al di sopra del livello base del mare.

7.1. ACQUE SOTTERRANEE

L'acqua meteorica ricadente nel bacino di interesse, in parte si infiltra, occupando ed alimentando direttamente la falda superficiale (di modesta capacità) contenuta nelle formazioni sabbioso-ghiaiose ed alluvionali terrazzate, in parte si concentra in piccoli fossi e scoline artificiali di drenaggio agricolo, conflueno presso le principali aste di drenaggio (F. Fortore); i fossi di cui prima sono attivi solo in caso di eventi meteorologici di importante consistenza pluviometrica, mentre non sono state rilevate presenze di emergenze sorgive in zona.

L'infiltrazione e la circolazione delle acque sotterranee nelle formazioni alluvionali e sabbioso-ghiaiose di base possono avvenire esclusivamente in forma diffusa per porosità di interstizi, andando ad alimentare la falda contenuta posta alla base dei livelli prevalentemente impermeabili a componente argillosa.

Questa falda si rinviene al tetto delle formazioni argillose plio-pleistoceniche delle argille grigio azzurre, tra i 40-80 m. dal p.c., alla base dei depositi sabbiosi delle Sabbie di Serra Capriola e dei Conglomerati di Campomarino, che in queste zone raggiungono potenze dell'ordine dei 50-100 metri, tipica della fascia costiera di Serracapriola.

7.2. PERMEABILITÀ DEI LITOTIPI

La localizzazione in profondità e l'estensione degli acquiferi sono determinate dall'alternanza delle formazioni idrogeologiche permeabili e semipermeabili.

In base alla presenza di una dislocazione verticale del substrato carbonatico (oltre -480 m da p.c.), caratterizzato da circolazione primaria per fatturazione e carsismo, su cui sono sovrapposte formazioni di depositi sedimentari a granulometria variabile tra le argille, le sabbie e ghiaie, dal punto di vista idrogeologico nell'area in esame si può distinguere una sola falda idrica utile avente caratteristiche di permeabilità variabile in funzione della maggiore o minore componente limo-argillosa presente nella formazione che la contiene (Sabbie di Serracapriola-Alluvioni Terrazzate) o nel maggiore/minore grado di cementazione delle facies conglomeratica.

COLONNA STRATIGRAFICA	LITOTIPI PREVALENTI	UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE	ETA'	PERMEABILITA'		UNITA' IDROGEOLOGICHE
				TIPO	GRADO	
	Limi argillosi e sabbie siltose	Depositi lacustri	Olocene	Primaria (porosità d'interstizi)	Da poco permeabile ad impermeabile	Acquitrardo
	Ghiaie e sabbie stratificate da poco a mediamente addensate con lenti limose	Depositi marini e alluvionali, terrazzati e non	Olocene-Pleistocene medio superiore		Mediamente permeabile	Acquifero alluvionale
	Limi argillosi con intercalazioni di sabbie	Argille Subappennine	Pleistocene inferiore -Pliocene medio		Impermeabile	Acquicludo
	Calcareniti a grana grossolana, tenere, porose "Tufo calcareo"	Calcarenite di Gravina	Miocene superiore	Poco permeabile	Acquifero sabbioso	
	Calcarei detritico-organogeni	Calcarei bioclastici e Calcarei massicci di scogliera		Secondaria (fessurazione e/o carsismo)	Da poco a mediamente permeabile	Acquifero carsico
Calcarei e dolomie, stratificati e fratturati, a luoghi, carsificati	Calcarei delle Murge	Cretaceo inferiore-Giura superiore	Da mediamente permeabile a molto permeabile			

Fig. 1 Serie idrogeologica delle Unità dell'Avanfossa appenninica.

Estratto da Tesi di Laurea Di Lella Nazario in Idrogeologia e Geotermia – Univ. Di Bari Dip. di Geologia e Geofisica "Caratteri della circolazione idrica profonda del Tavoliere"

Sulla scorta di una stima indiretta del grado di permeabilità di ciascuna unità della locale serie litostratigrafica, basata sulla osservazione e correlazione di parametri diversi (fessurazione, grado di addensamento, granulometria predominante, cadenti piezometriche, ecc..), le condizioni idrogeologiche delle rocce presenti nel territorio di San Paolo C. risultano quelle schematizzate in Tabella 1.

TABELLA N°1

FORMAZIONE	PERMEABILITÀ	LITOLOGIA	FALDA
Alluvioni e depositi marini sabbiosi/ghiaioso-conglomeratici	per porosità intergranulare e interstratale	Sabbioso-limosa sciolta incoerente / parzialmente coerente e ghiaie conglomeratiche	superficiale
Argille grigio azzurre e limi sabbiosi	porosità solo di tipo interstiziale (impermeabili)	sciolta coerente	assente
Basamento Calcereo mesozoico	permeabile per fessurazione e carsismo	lapidea	falda profonda

Il grado di permeabilità risulta variabile localmente, in relazione ai fattori più disparati quali: assortimento granulometrico, incisività di fenomenologie paracarsiche, struttura e diagenesi del deposito. In particolare le facies delle argille plioceniche grigio azzurre sono da ritenersi dotate di scarsa permeabilità e rappresentano il letto della falda superficiale posizionata in corrispondenza delle formazioni alluvionali e sabbiose sovrastanti.

I calcari sono invece dotati di permeabilità secondaria per fessurazione e carsismo.

In base ai criteri litologici descritti ed alle osservazioni di campagna, i terreni affioranti possono essere così classificati secondo il tipo di permeabilità.

➤ **Terreni permeabili per porosità intergranulare**

A questa categoria sono correlabili le rocce sciolte di natura sabbiosa-limosa inerenti all'area in esame, attribuibili ai "Depositi alluvionali e marini terrazzati".

Tali depositi hanno medie capacità di contenimento e di trasmissione idrica e pertanto svolgono, assieme alla componente calcarenitica dei depositi marini terrazzati, il ruolo idrostrutturale di acquifero superiore, vale a dire contengono una falda superficiale di modesta entità.

Permeabilità: Primaria, per porosità, e definita da un Coefficiente di Conducibilità variabile tra $1,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-6}$ cm/sec, in funzione delle componenti lenticolari argillose presenti localmente in interstrato.

➤ **Terreni permeabili per porosità intergranulare ed interstratale**

A questa categoria sono correlabili i depositi sciolti di natura calcarenitica sabbiosa e ghiaiosa. La porosità efficace di tali rocce risulta non trascurabile, difatti, sono considerate mediamente permeabili e svolgono il ruolo idrostrutturale di acquifero superficiale, vale a dire, di contenitore della falda superficiale pleistocenica, attribuibile alle unità basali delle "Sabbie e ghiaie di deposizione marina".

Permeabilità: Primaria, per porosità, e definita da un Coefficiente di Conducibilità variabile tra $1,0 \times 10^{-3}$ e $1,0 \times 10^{-5}$ cm/sec, in funzione delle componenti lenticolari argillose presenti localmente in interstrato.

➤ **Terreni impermeabili**

I terreni riconducibili alla formazione delle Argille grigio azzurre plioceniche, poiché dotate esclusivamente di porosità di tipo interstiziale, hanno grande capacità di contenimento idrico e, al contrario, la trasmissività risulta essere nulla. Sono attribuibili queste caratteristiche idrogeologiche alle unità argillose plioceniche.

Il ruolo idrostrutturale cui assurgono le rocce argillose in oggetto risulta essere quello di acquicludo e di base impermeabile per l'acquifero superiore.

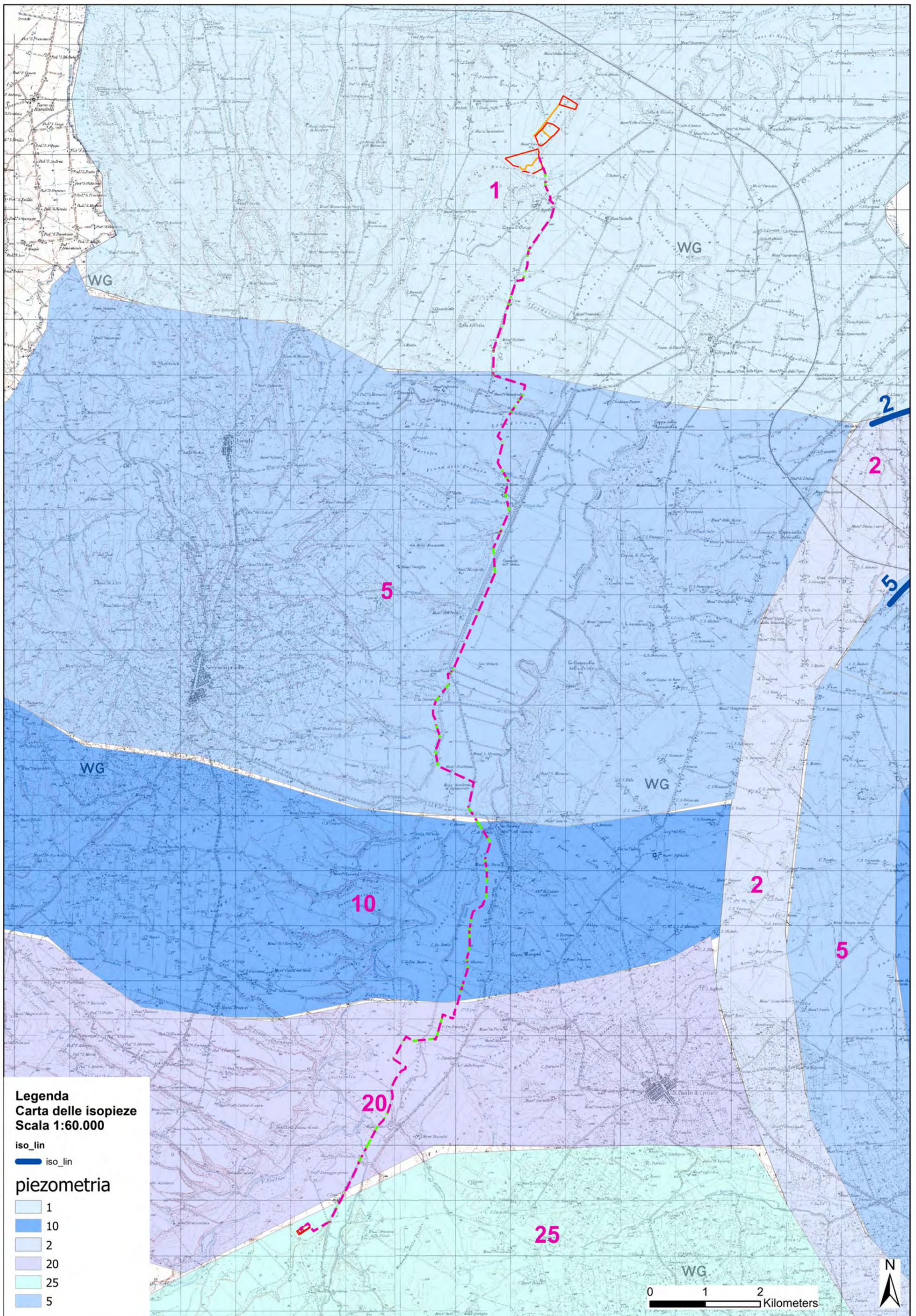
Permeabilità: Acquicludo, è definita da un Coefficiente di Conducibilità molto basso $1,0 \times 10^{-5}$ e $1,0 \times 10^{-7}$ cm/sec. Risulta comunque essere contenitore di una modesta falda discontinua in corrispondenza di livelli prevalentemente sabbioso fini, posti a quote prossime ai 300-500 m. dal p.c. rappresentante la cosiddetta Falda intermedia Pliocenica, rinvenibile esclusivamente ed in maniera discontinua nei territori dell'alto Tavoliere (sud di Torremaggiore, Sud di S. Severo, Nord di Lucera).

➤ **Rocce permeabili per fessurazione e per carsismo**

Sono rappresentati dai calcari del cretaceo. Più che un acquifero vero e proprio sfruttabile, in questa zona dove il basamento carbonatico è posto a quote elevate, rappresentano acque connate legate a bacini di accumulo petrolifero e gassoso. La presenza di fratture, piani di stratificazione, e condotti carsici dovuti all'allargamento di fratture e giunti di strato, costituiscono una rete fessurativa che conferisce all'ammasso roccioso un'elevata permeabilità che varia sia verticalmente che lateralmente al variare del grado di fratturazione e della natura litologica della roccia cretacea (Calcarea e calcareo-dolomitica).

L'elevata capacità di contenimento e di circolazione idrica, e l'elevata porosità efficace, rendono i calcari in oggetto idonei a svolgere il ruolo idrostrutturale di acquifero inferiore, ovvero di contenitore per la falda carsica profonda, direttamente collegate, come bacino di alimentazione, con la circolazione delle acque appartenenti all'Idrostruttura profonda del tavoliere e della fascia pedegarganica.

Permeabilità: Primaria, per fessurazione e carsismo, e definita da un Coefficiente di Conducibilità Idraulica variabile tra $1,0 \times 10^{-6}$ e $1,0 \times 10^{-2}$ cm/sec, con valori medi dell'ordine di $1,0 \times 10^{-3}$ cm/sec, in funzione del grado di fratturazione e fessurazione del basamento carbonatico.



Legenda
Carta delle isopieze
Scala 1:60.000

iso_lin
 iso_lin

piezometria

-  1
-  10
-  2
-  20
-  25
-  5

0 1 2 Kilometers



8. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI

Il sito, sulla base di quanto riportato nella carta Geologica d'Italia 1:100.000 (F. 155), ricade nella fascia di affioramento delle "qQ - Conglomerati di Campomarino" Ghiaie e conglomerati di ambiente marino o continentale.

8.1. SERIE PRESENTI IN AREA:

Qc - Sabbie di Serracapriola: Sabbie giallastre, a grana più o meno grossa, più o meno cementate, a stratificazione spesso indistinta con intercalazioni lentiformi di conglomerati grossolani e di argille; abbondante macrofauna a gasteropodi e lamellibranchi (*Ostrea*, *Pecten* ecc.); microfauna a *Bulimina marginata* D'ORB., *B. fusiformis* WILL., *Eponides frigidus granulatus* DI NAP., *Ammonia beccarii* L.. Cabriano-Pliocene sup.?

Le Sabbie di Serracapriola sono costituite prevalentemente da sabbie giallastre quarzose in grossi banchi, a luoghi sono presenti intercalazioni di arenarie abbastanza ben cementate, argille biancastre o verde chiaro. Non mancano i livelli lentiformi di conglomerati ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi.

Poggiano in concordanza sulle Argille di Montesecco, alle quali passano gradualmente per alternanze, con locali fenomeni di eteropia. Il limite fra le due formazioni è stato posto convenzionalmente ove iniziano banchi sabbiosi più potenti, caratterizzati dalla presenza di intercalazioni arenacee, con locali episodi di sedimentazione più grossolana. Ove il passaggio è più netto, le Sabbie di Serracapriola spiccano con evidenza morfologica sulle tenere argille sottostanti.

Nella zona di Apricena le Sabbie di Serracapriola poggiano direttamente in trasgressione sui terreni mesozoici e miocenici del Gargano. Mentre nella parte occidentale del foglio le sabbie sono quarzose e più grossolane, nella zona orientale (Torremaggiore, S. Severo) esse diventano molto più argillose e a grana più fine. Si presume che in questa zona le Sabbie di Serracapriola comprendano un intervallo stratigrafico più esteso che nel resto del foglio, in parziale eteropia con le Argille di Montesecco; lo spessore della formazione, che è normalmente di circa 30 m, diventa qui più considerevole.

Fra i macrofossili rinvenuti prevalgono i lamellibranchi a guscio più spesso (*Ostrea*, *Pecten*). Dal punto di vista micropaleontologico non si è notata una evidente differenza rispetto alla parte superiore delle argille sottostanti, salvo una maggiore scarsità o povertà di forme, per cui il problema dell'attribuzione al Pliocene superiore o al Calabriano si pone nei termini già discussi.

Peraltro anche SELLI non esclude la presenza del Calabriano nella parte alta delle Sabbie di Serracapriola. In un pozzo nei pressi di S. Severo (località S. Antonino da Piede) è stato rinvenuto a pochi metri di profondità un molare di *Elephas antiquus* FALC.; G. CHECCHIA RISPOLI (1900) ritiene che tale reperto si trovi rimaneggiato

in terreni di origine marina, verosimilmente nelle Sabbie di Serrapriola. Non si esclude però che esso faccia parte dei sedimenti alluvionali di età più recente trasportati dai vicini corsi d'acqua.

qQ - Conglomerati di Campomarino: Ghiaie e conglomerati di ambiente marino o continentale; non sempre chiaramente delimitabili da fl¹. Post-calabriano - Calabriano terminale.

Sono costituiti da lenti e letti di ghiaie, più o meno cementate, talvolta con livelli di conglomerati compatti. A luoghi sono presenti sabbie a stratificazione incrociata ed intercalazioni di argille verdastre.

La natura litologica dei costituenti è molto varia, trattandosi di materiale proveniente dalle formazioni appenniniche: prevalgono i ciottoli di calcari marnosi di arenarie e, localmente, di cristallino.

L'arrotondamento degli elementi è notevole ed abbastanza pronunciato è il grado di appiattimento, specie dei ciottoli di medie dimensioni.

Il passaggio alle sottostanti Sabbie di Serracapriola è normalmente concordante o con lieve discordanza angolare nelle zone più interne.

Lo spessore è più elevato (15-20 m) nella zona prossima alla costa; qui si osservano gli affioramenti più evidenti corrispondenti alla vecchia scarpata d'abrasione marina, specie nei pressi di Termoli, Campomarino e Marina di Fantine.

La natura del sedimento e la locale presenza, nei livelli inferiori, di fossili marini, fa ritenere che la formazione rappresenti la fase finale della repressione calabriana e l'inizio del successivo alluvionamento.

I Conglomerati di Campomarino presentano localmente un arrossamento superficiale per alterazione; avendo una natura litologica analoga a fl¹ non sono chiaramente delimitabili da quest'ultima formazione, nelle zone ove fl¹ non presenta evidenti caratteri di terrazzamento fluviale.

Q^cP² - Argille di Montesecco: Argille marnose, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre, con abbondante macrofauna a prevalenti lamellibranchi (*Chlamys opercularis* L., *C. flexuosa* POLI, *Glycymeris* sp. ecc.) e gasteropodi; microfauna, nella parte alta, a *Valvulineria bradyana* (FORN.), *Bolivina superba* EM., *B. catanensis* SEG. e *Bulimina elegans* D'ORB., nella parte inferiore, a *Globorotalia crassaformis* (GALL. E WISS.) e *G. scitula* (BRADY). Calabriano?-Pliocene medio (a).

Si tratta di argille marnose, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre, giallastre in superficie per alterazione, con veli di silt e rare intercalazioni sabbiose. Queste ultime diventano più frequenti alla sommità della formazione, che passa quindi gradualmente alle soprastanti Sabbie di Serracapriola. Banchi di sabbia potenti qualche decina di metri sono stati osservati anche nella parte media della formazione.

Lo spessore è di difficile valutazione per la mancanza del letto o del tetto: dai dati di perorazione si desume che sia molto notevole nelle zone più interne, per ridursi a valori dell'ordine dei 500 metri nella zona fra Serracapriola e S. Paolo di Civitate

fl¹ – Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del 1° ordine di terrazzi: ghiaie più o meno cementate, livelli lentiformi travertinosi con impronte di piante e di gasteropodi, argille sabbiose, sabbie, calcari pulverulenti bianchi ricoperti in generale da terre nere ad alto tenore humico (paleosuolo forestale).

I depositi superiori, più antichi, sono costituiti prevalentemente da ghiaie, sabbie e, subordinatamente, da argille con copertura superficiale di «terre nere».

Questi terreni non rappresentano verosimilmente un'unica fase di deposizione; la distribuzione e la diversa altezza degli affioramenti fanno pensare che la rete idrografica che li ha determinati non presentasse grande analogia con l'attuale o che comunque non fosse ancora bene impostata. Probabilmente si tratta di una successione di fasi di accumulo e di erosione caratterizzate dalla presenza di depressioni interne ove, a depositi di natura essenzialmente lacustre, si alternavano episodi di facies deltizia e fluviale.

Essi poggiano sulla superficie prosa della serie marina pliocenico-calabrianiana o, nelle aree più vicine alla costa, sul Conglomerati di Campomarino. Nell'area del foglio S. Severo i terrazzi più alti ascritti a fl¹ si trovano nella zona a S di Ururi e superano i 300 m di quota; qui essi sono costituiti da argille grigio-giallastre con ciottolame di media dimensione, croste travertinose e straterelli di calcare bianco pulverulento; da questa zona essi degradano rapidamente verso E in direzione del corso del T. Saccione e del F. Fortore, assumendo un carattere più decisamente fluviale e disponendosi ad andamento longitudinale, specie lungo il versante sinistro dei fiumi; essi non sono sempre chiaramente delimitabili dagli affioramenti dei Conglomerati di Campomarino.

fl² - Coperture fluviali (e lacustri?) del II ordine di terrazzo: ghiaie più o meno cementate, sabbie, argille sabbiose e spesso ricoperte da terre nere ad alto tenore humico (paleosuolo forestale).

I depositi alluvionali intermedi hanno una natura litologica simile a quella di fl¹; analoga è infatti la provenienza dei clastici dalla catena appenninica o dallo stesso fl¹.

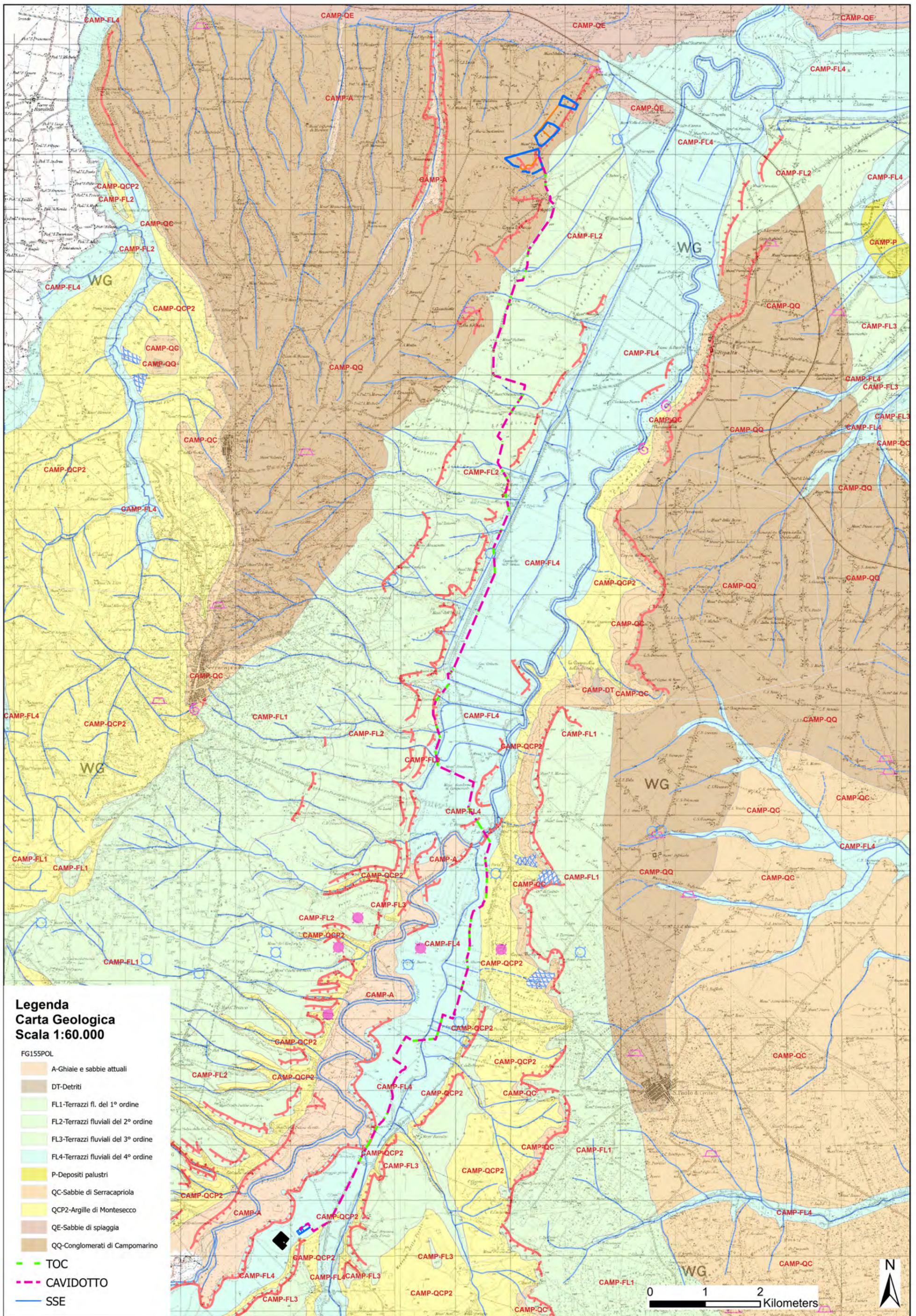
La disposizione morfologica, caratterizzata da un marcato fenomeno di terrazzamento, testimonia un'origine prevalentemente fluviale per questi depositi. Il ripiano del terrazzo è particolarmente evidente ed esteso, nell'ambito del foglio, lungo il F. Fortore, ove, da una quota di circa 80 m sull'attuale alveo del fiume, degrada progressivamente fino a fondersi con i terrazzi più recenti in prossimità del mare.

L'estensione dei depositi alluvionali indicati come fl¹ e fl² è molto più marcata sul versante sinistro dei fiumi; è probabile che il corso degli alvei attivi si sia spostato gradualmente verso SE durante queste fasi di deposito.

fl⁴ - Alluvioni prevalentemente limoso-argillose del IV ordine di terrazzi.

Si tratta di limi, argille e sabbie Provenienti essenzialmente dall'erosione dei sedimenti plio-pleistocenici; nella parte alta del F. Fortore a questo materiale fine s'intercalano lenti di ciottoli grossolani di provenienza appenninica. Lo spessore supera i 10 m; solo raramente (lungo il F. Fortore) si osserva la base della formazione costituita da sabbie, localmente poggianti sulla superficie erosa delle argille di Montesecco.

Le alluvioni terrazzate indicate con fl⁴ costituiscono ripiani elevati al massimo di una decina di metri rispetto agli alvei attuali; verso il mare però tale valore decresce progressivamente fino ad annullarsi.



9. INDAGINI IN SITO

Per ottenere la situazione litostratigrafica locale dell'area di insediamento dei campi fotovoltaici e della Sotto Stazione Elettrica di conferimento (SSE), oltre alla esecuzione di un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, che ha evidenziato una sostanziale uniformità dei litotipi affioranti (depositi sabbioso-limosi con abbondanti ciottoli arrotondati e conglomerati), si è proceduto alla esecuzione di indagini geofisiche in prossimità dell'area d'impianto FTV e della Cabina di Conferimento Produttore (SSE).

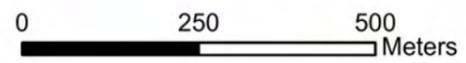
L'indagine è consistita nella esecuzione di n° 02 profili Sismici a Rifrazione e n° 02 profili sismici di tipo MASW.

Le prospezioni Sismiche a Rifrazione (SIS) e MASW hanno consentito di determinare le caratteristiche dinamiche dei litotipi investigati, attraverso la stima delle velocità di propagazione delle onde sismiche di tipo P ed S, dei moduli elastici e la caratterizzazione sismica del terreno di fondazione attraverso il calcolo della $V_{s30}/V_{s,eq}$, come richiesto dalla normativa vigente.

Per una più completa caratterizzazione del quadro geotecnico in questa fase di progettazione definitiva, in relazione alle opere che andranno a comporre il campo fotovoltaico e la sottostazione di conferimento, caratterizzati sostanzialmente da pannelli posti su strutture (pali) di sostegno delle stringhe, infissi tra 2,0/3,0 m. dal p.c., e da cabine elettriche/vani tecnici e strutture elettromeccaniche poggianti su piastre di fondazioni superficiali, i cui piani di posa si aggirano intorno a 1,0 m. dal p.c., si è ritenuto sufficiente eseguire solo una campagna d'indagine di tipo geofisico, mirata a caratterizzare la consistenza dei conglomerati e ghiaie presenti nelle cave che rappresentano i piani di insediamento dei campi produttivi, rimandando alle fasi progettuali successive un eventuale approfondimento di indagini puntuali e specifiche.



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA



Legenda
UBICAZIONI INDAGINI
Scala 1:10.000

- RECINZIONE FTV
- NUOVA VIABILITA
- SSE
- - - CAVIDOTTO
- - - TOC
- █ MASW-PAM2
- █ SISMICHE-PAM2



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

9.1. METODOLOGIE IMPIEGATE

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

➤ 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

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.

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

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 VS_{30} , 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.

La propagazione delle onde di Rayleigh, sebbene influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione anzitutto della V_s , 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.

➤ **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.

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;
- 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.

➤ STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prospezioni geofisiche sono state eseguite con l'ausilio della seguente strumentazione: **Sismografo PASI mod. GEA24.** (sismica 24 canali).



SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can. + trigger (can. AUX) - 2 unità verticalizzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Conversione Analogico/Digitale Sigma-Data 24 bit (compatibile con gestori analogici a qualsiasi frequenza di campionamento)
Intervallo Campionamento	Acquisizione in pacchetto - fino a 170 microsec. (6000sp/s) con 24 can. - fino a 31,25 microsec. (32000sp/s) con 6 can. - Acquisizione continua - fino a 4000 microsec. (2500sp/s) con 24 can. - fino a 1000 microsec. (1000sp/s) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (1 can.) 174500 campioni @ 3 can. (1 can.) Numero di campioni diverso per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di Ingresso	200Ohm // 22nF
Range Dinamico	144dB (costante), +117dB (identificato, misurato: @10sp/s)
Distorsione	0,007% @ 100Hz
Largh. Banda: self	dalla DC a 0,048Hz @ 0,5cm/s - dalla DC a 0,21 Hz @ 0,1cm/s
Largh. Banda: * 0,1dB	dalla DC a 3,5 Hz @ 0,32cm/s - dalla DC a 0,11 Hz @ 0,1cm/s
Filtri	Passa Basso: 125-200-500-1000Hz Passa Alto: 33-30-20-10-5-2-1-0,5-0,25-0,150-0,100-0,070-0,050-0,040Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz - armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (percorso sempre predefinito), trigger TTL, Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-Trace (formato standard) / Area variabile
Notifiche monitor	Tutti i canali e trigger - ovunque in tempo reale
Cable AUX (eventuali)	1x 24bit trigger o qualsiasi altro segnale di ingresso
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SIR32 (alti formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0,25A
Temp.operativa/stockaggio	50°C to +40°C
Umidità	60% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	210x119,5cm x11cm
Peso	2,9kg

9.2. 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 i 11 profili Masw eseguiti è stata adottata la seguente configurazione:

- lunghezza stendimento = 44.0 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.0 m;
- offset di scoppio = 2.0 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.

Indagine sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 02 profili con acquisizione di onde longitudinali (P), aventi le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

- lunghezza stendimento = 44.00 m;
- numero geofoni = 12;
- Spaziatura = 4.0 m;
- End shot A = 0.0 metri;
- Central Shot E = 24.0 metri;
- End shot B = 48.0 metri;
- durata dell'acquisizione = 128 msec;
- tempo di campionamento = 250 µsec;
- Frequenza geofoni = 10.00 Hz;
- Sistema di energizzazione = "massa battente".

10. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

La topografia della superficie dei siti investigati è risultata essere sub-pianeggiante; 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.

10.1. Elaborazione indagine sismica di tipo MASW

L'elaborazione dei dati dell'indagine sismica Masw è stata sviluppata 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 Easy MASW della Geostru.

Le curve di dispersione ed i sismogrammi sperimentali, nonché le relative sezioni elaborate sono mostrati negli allegati a corredo del presente rapporto.

Di seguito si riportano le velocità delle onde Vs relative alle basi sismiche investigate:

UNITA' SISMOSTR.	Velocità (m/s)	MASW	MASW	MASW
	Spessore medio (m)	N1 (CAVA)	BB-4	SSE
U.S. I	Vs →	126	182	209
	H →	1.3	5.2	2.9
U.S. II	Vs →	617	435	320
	H →	24.7	1.9	26.4
U.S. III	Vs →	1135	1700	399
	H →	26.4	8.1	24.0
U.S. IV	Vs →	1634	2500	649
	H →	SEMISP.	SEMISP.	SEMISP.
	V _{s30} - V _{s,eq} (m/s)	630	914	914
PROFILO	TERRENO TIPO	B	A	A

Per quanto attiene le correlazioni tra le unità sismostratigrafiche e litologie investigate, si rimanda il lettore alla tabella seguente con i valori medi degli spessori:

SISMOSTRATI	Litologia	SPESSORE MEDIO (m)
I	Terreno vegetale;	1.3/4.0
II	Sabbia e ghiaie/brecce più o meno cementate.;	4.0/24.0
II	Brecce cementate/conglomerati più o meno fratturati;	25.0
IV	Conglomerati.	Semispaio

10.2. Elaborazione indagine Sismica a Rifrazione

Dai sismogrammi sperimentali sono stati letti i tempi di arrivo dei "first-break" attraverso l'utilizzo del software Easy Refract della GEOSTRU 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 EASY REFRACT della GEOSTRU, utilizzando come tecnica di interpretazione il Metodo GRM.

Le relative sezioni sismostratigrafiche elaborate sono mostrate negli allegati a corredo del presente rapporto.

Di seguito si riportano le velocità delle onde P ed S relative alle basi sismiche investigate:

SISMOSTRATO	Velocità (m/s) Spessore medio (m)	SIS N1 (CAVA)	SIS BB-4	SIS SSE
I	Vp → H →	883 4.0	263 1.0	385 2.5
II	Vp → H →	1200 4.0	488 6.0	556 5.5
III	Vp → H →	1419 Indef.	893 Indef.	947 Indef.

11. CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO.

Relazione di calcolo per la categoria di sottosuolo

DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

Circolare 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento del-le "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Generalità

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito bedrock sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del bedrock, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.11 di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

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

con h_i lo spessore in metri dell'iesimo strato di terreno;

$V_{s,i}$ la velocità dell'onda di taglio media corrispondente;

N il numero di strati;

H la 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 $V_{s,30}$ dove H = 30 m considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.

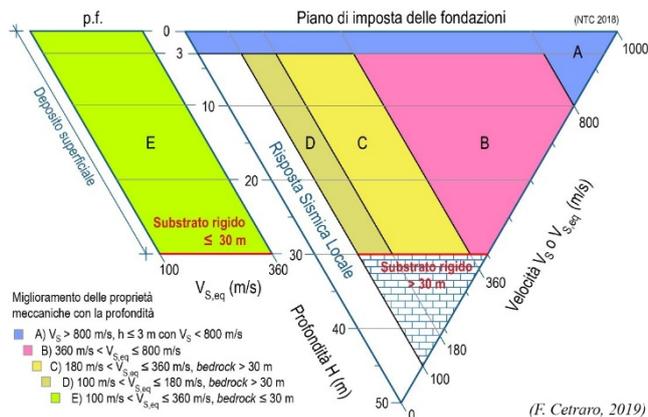


Figura 1 – Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

Piano di riferimento per le opere di fondazione:

Ricordando che 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.

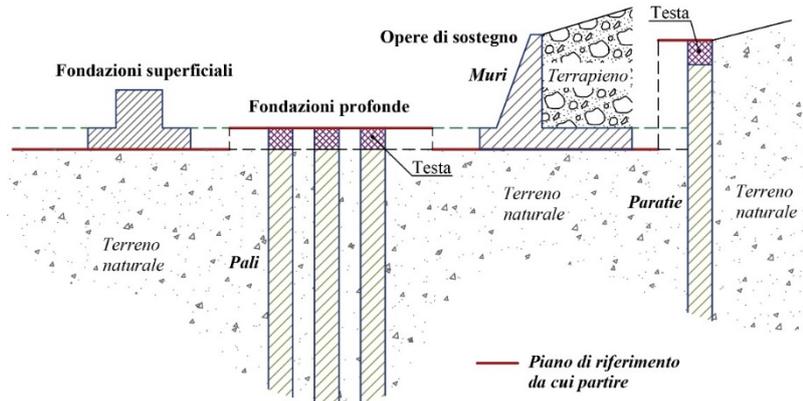


Figura 2 – Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

Sulla base delle opere in progetto, la profondità del piano di fondazione è di 0,00 m dal p.c.

Risultati del calcolo

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità VS di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

A) CAMPI FOTOVOLTAICI

Sulla base delle opere in progetto, la profondità del piano di fondazione è di 0,0 m dal p.c.

Per l'area Campi Fotovoltaici è stato calcolato un profilo medio tra le Vs misurate nei 10 profili analizzati.

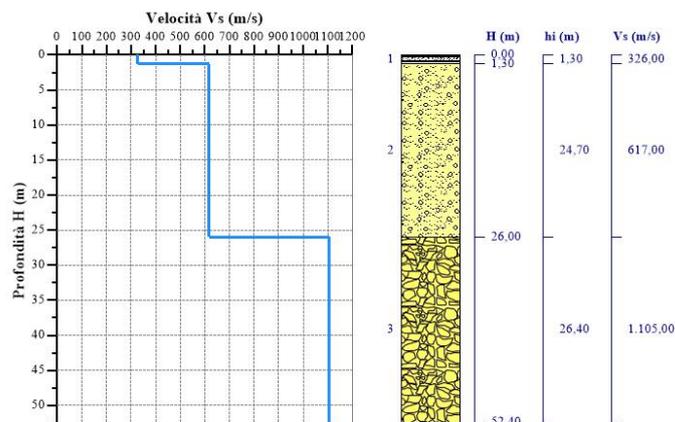
Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, VS = velocità onde di taglio, Hcalc e hcalc sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Tabella 1- Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hcalc (m)	h _{calc} /Vs (s)
1	1,30	1,30	326,00	1,30	1,30	0,003988
2	26,00	24,70	617,00	26,00	24,70	0,040032
3	52,40	26,40	1.105,00	30,00	4,00	---

Vs,eq = 590,64 m/s Categoria di sottosuolo: **B**

Descrizione: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.



B) SOTTOSTAZIONE ELETTRICA PRODUTTORE (SSE)

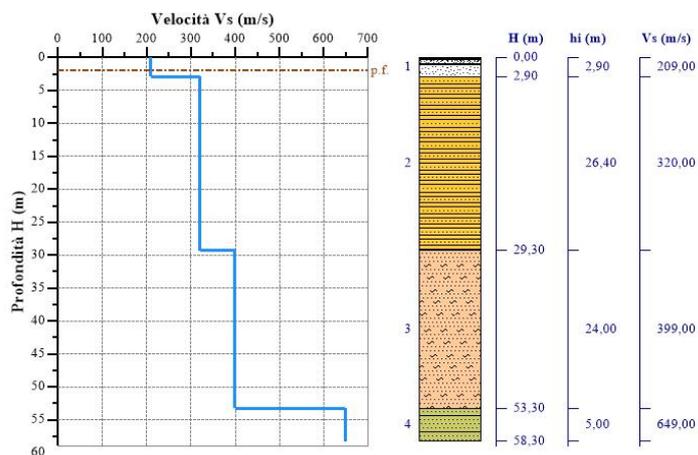
Per la sottostazione è stato valutato una profondità del piano di posa posto alla profondità max di 2,0 m. da p.c.

Tabella 1- Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H _{calc} (m)	hi _{calc} (m)	hi _{calc} /Vs (s)
1	2,90	2,90	209,00	0,90	0,90	0,004306
2	29,30	26,40	320,00	27,30	26,40	0,082500
3	53,30	24,00	399,00	30,00	2,70	0,006767
4	58,30	5,00	649,00	---	---	---

Vs,30 = 320,60 m/s Categoria di sottosuolo: **C**

Descrizione: 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.



12. CONCLUSIONI

La presente relazione riferisce sulla situazione geologica-geotecnica di un sito ubicato in agro di Serracapriola sul quale è prevista la realizzazione di un "Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Agri-Fotovoltaico denominato "TOVAGLIA" da realizzarsi in cave dismesse o da dismettere e recuperare, site in località "Masseria Tovaglia" nel territorio comunale di Serracapriola (FG) per una potenza complessiva di 26,557MWp nonché delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto", per conto della Società PACIFICO ACQUAMARINA 2 S.r.l., con sede in Bolzano (BZ), piazza Walther Von Vogelweide, n. 8 - Pec: pacificoacquamarina2srl@legalmail.it - C.F. e P.IVA 04351410719

A tal fine è stata effettuata una raccolta dei dati bibliografici disponibili ed è stato eseguito un rilevamento geologico dell'area, completato dalla esecuzione di una campagna d'indagine geofisica per la ricostruzione della situazione stratigrafica e per una prima caratterizzazione geomeccanica dei litotipi presenti in sito, giungendo a determinare la classe di appartenenza ai sensi delle NTC 2018.

Dal punto di vista litologico, il sito è ubicato in corrispondenza delle aree di affioramento di formazioni appartenenti al ciclo deposizionale post-calabriano dei terrazzi superiori della sinistra idraulica del F. Fortore.

In corrispondenza del sito è stata rilevata la presenza di depositi ghiaiosi più o meno cementati, per spessori medi 4 m., per passare poi alla formazione conglomeratica cementata (Conglomerato di Campomarino) per oltre 20 m.

In corrispondenza invece della Sottostazione Produttore (SSE), al di sotto di circa 1,0 m. di terreno vegetale, si rinvencono litotipi limoso-sabbiosi e ghiaie appartenenti alle alluvioni terrazzate del IV ordine, limoso-argillosi delle argille di Montesecco.

L'assetto generale di stratificazione è indistinto ed in zona non sono stati notati contatti tettonici affioranti o evidenze di presenza superficiale.

Nell'ambito delle profondità di interesse non sono presenti falde superficiali, mentre una falda di modesta entità è rinvenibile a non meno di 30/40 m. dal p.c., alla base dei depositi marini conglomeratici e sabbiosi pleistocenici a contatto con i litotipi torbiditici plio-pleistocenici (Argille grigio-azzurre).

L'intera area si presenta sostanzialmente stabile, senza particolari manifestazioni evidenti di dissesto in atto o prevedibilmente in preparazione e, dalle indagini esperite, ai sensi delle NTC 2018, il sito "Campi Fotovoltaici" può essere classificato come Profilo di Tipo "B", mentre il sito "Sottostazione Elettrica (SSE)" può essere classificato come Profilo di Tipo "C".

Per tutto quanto considerato nel presente Studio, si può affermare che, per quanto di competenza, non sussistono impedimenti di natura Geologica – Geotecnica alla realizzazione delle opere di progetto.

Serracapriola, Ottobre 2022



Il Geologo Incaricato

Dott. Di Lella Nazario

ALLEGATO 1 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (SISMICA A RIFRAZIONE)



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FV Serracapirola Pacifico Acquamarina 2
N-1

	Data: febbraio 2022
	Il committente Pacifico Acquamarina 2 Srl
	IL Tecnico Geol. N. Di Lella
	Il Progettista Geol. N. Di Lella

Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione

Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

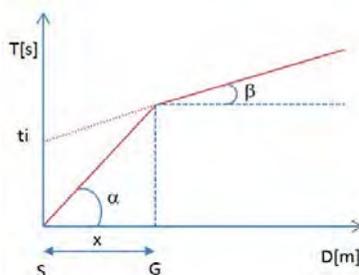
$$T = x_i / V_1$$

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

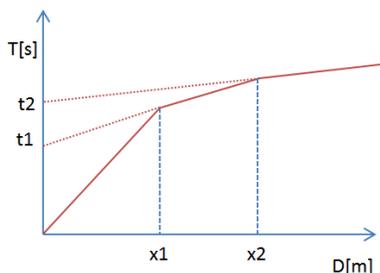
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

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

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



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

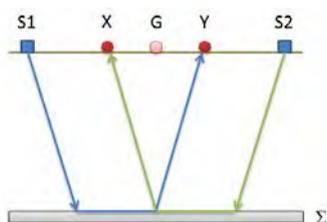


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

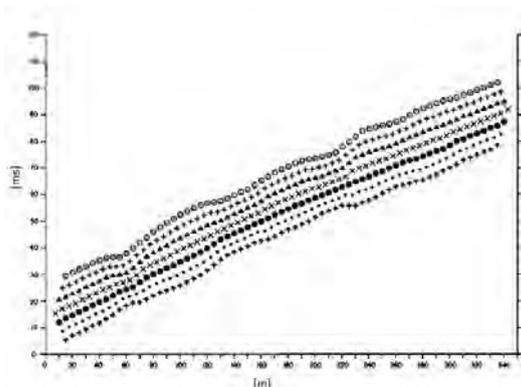
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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

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



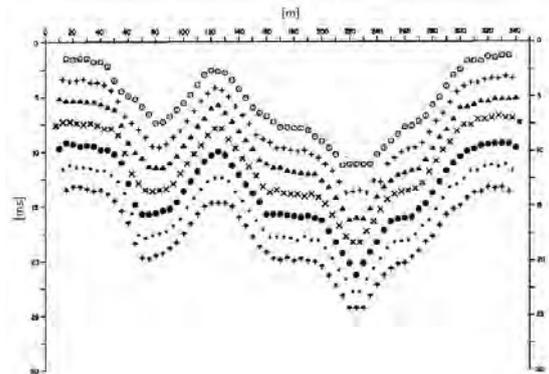
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

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

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



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

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

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

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h. Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
N-1	
Committente	Pacifico Acquamarina 2 Srl
Zona	SERRACAPRIOLA – MASS. TOVAGLIA
Operatore	GEOLOG. N. DI LELLA
Responsabile	GEOLOG. N. DI LELLA
Data	31/12/2021
Via	MASS. TOVAGLIA
Latitudine	41.89024 [°]
Longitudine	15.23195 [°]
Altitudine	44[m]

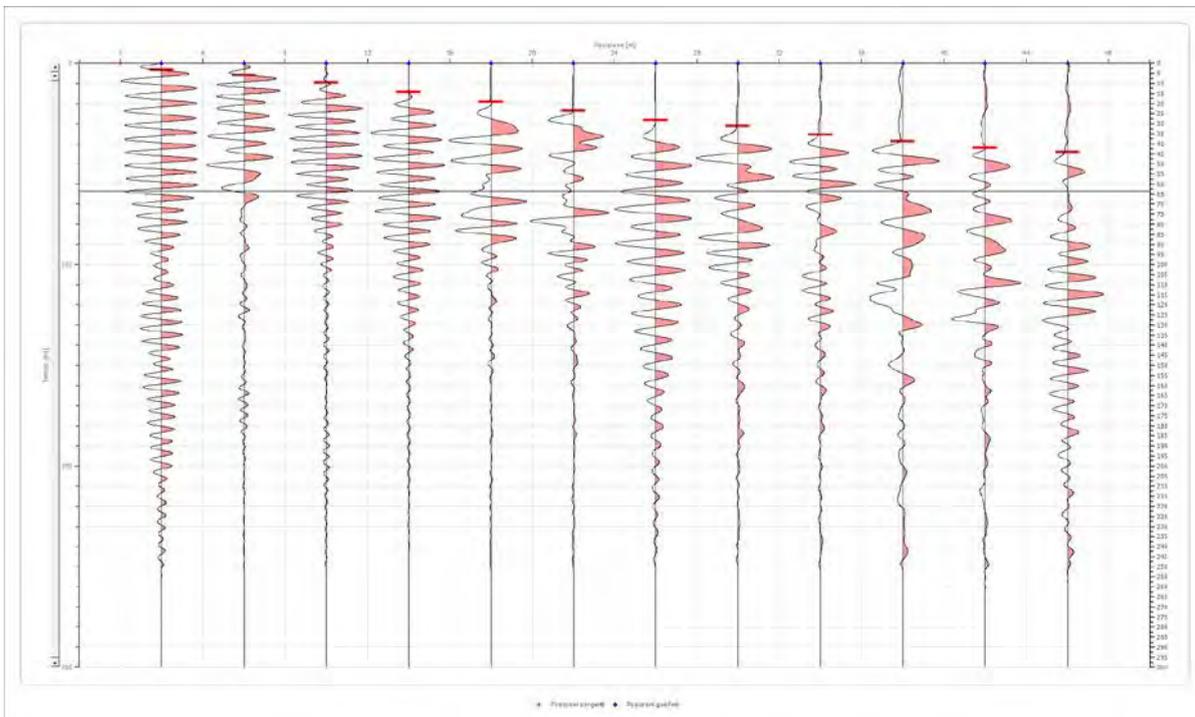
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

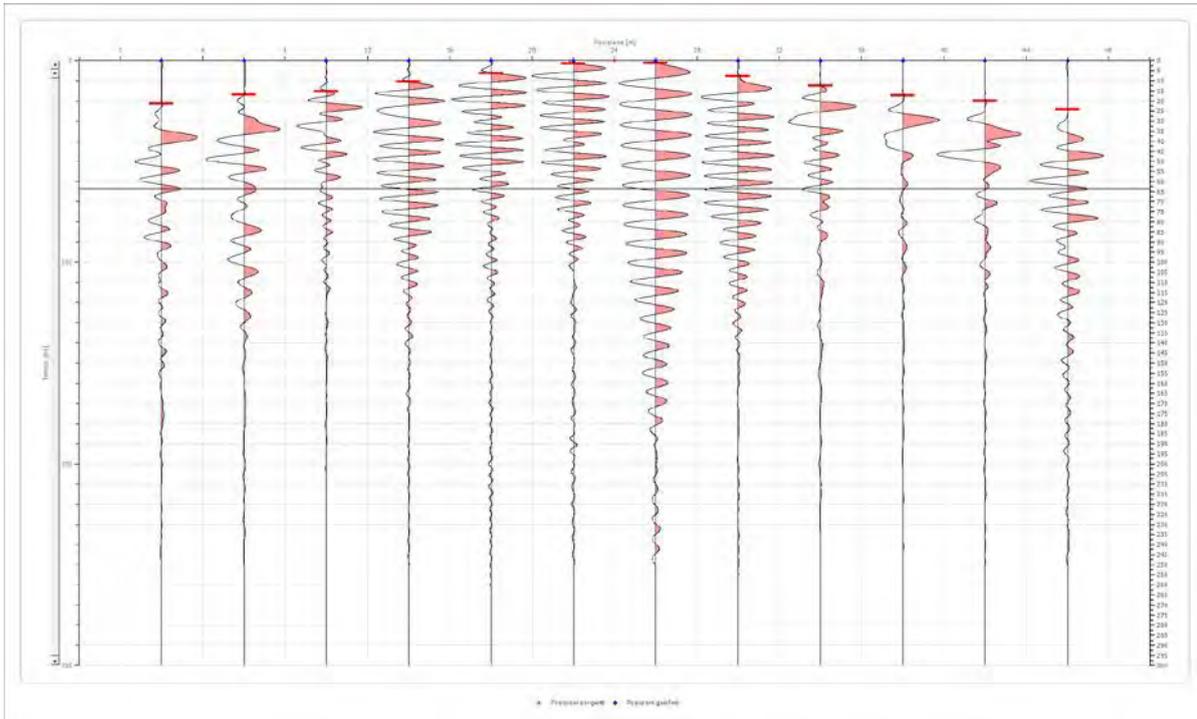
Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	3.2771
6.0	5.9583
10.0	9.5333
14.0	14.2999
18.0	19.0665
22.0	23.5353
26.0	28.3019
30.0	31.2810
34.0	35.4518
38.0	38.7289
42.0	42.0060
46.0	44.1250

Battuta 2

Posizione sorgente X 24 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

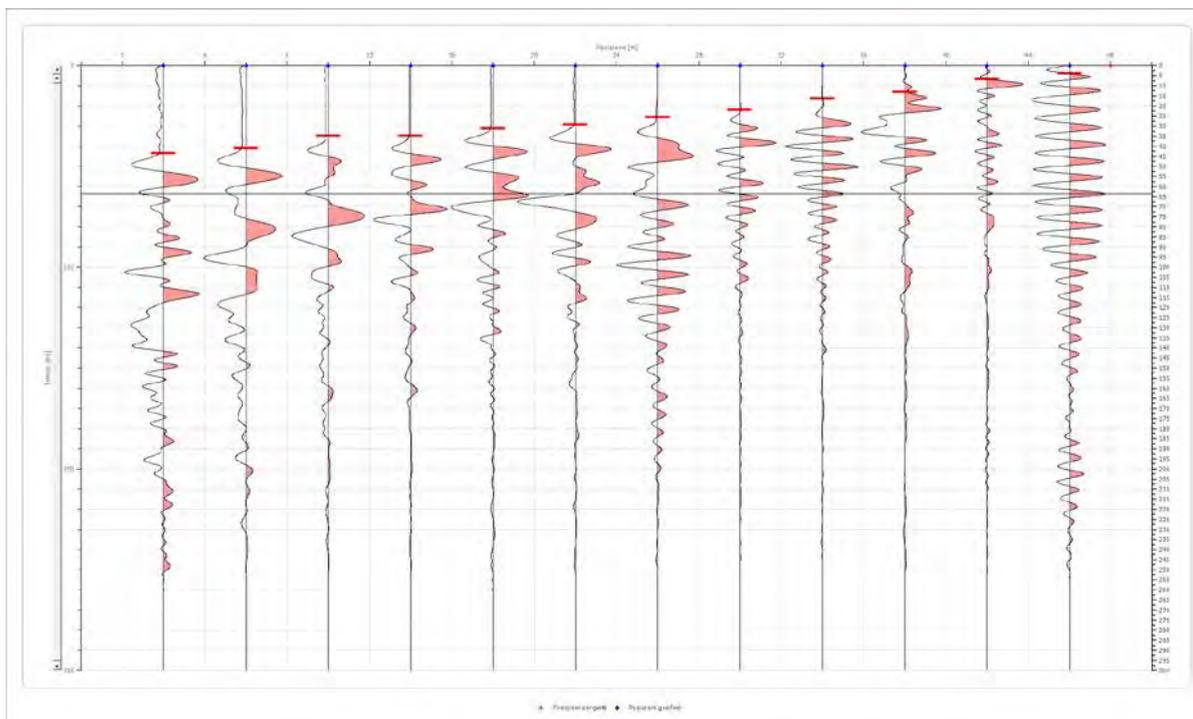


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	21.4499
6.0	16.9811
10.0	15.1936
14.0	10.4270
18.0	6.2562
22.0	1.4896
26.0	1.1917
30.0	7.7458
34.0	12.5124
38.0	17.2790
42.0	20.0000
46.0	24.1311

Battuta 3

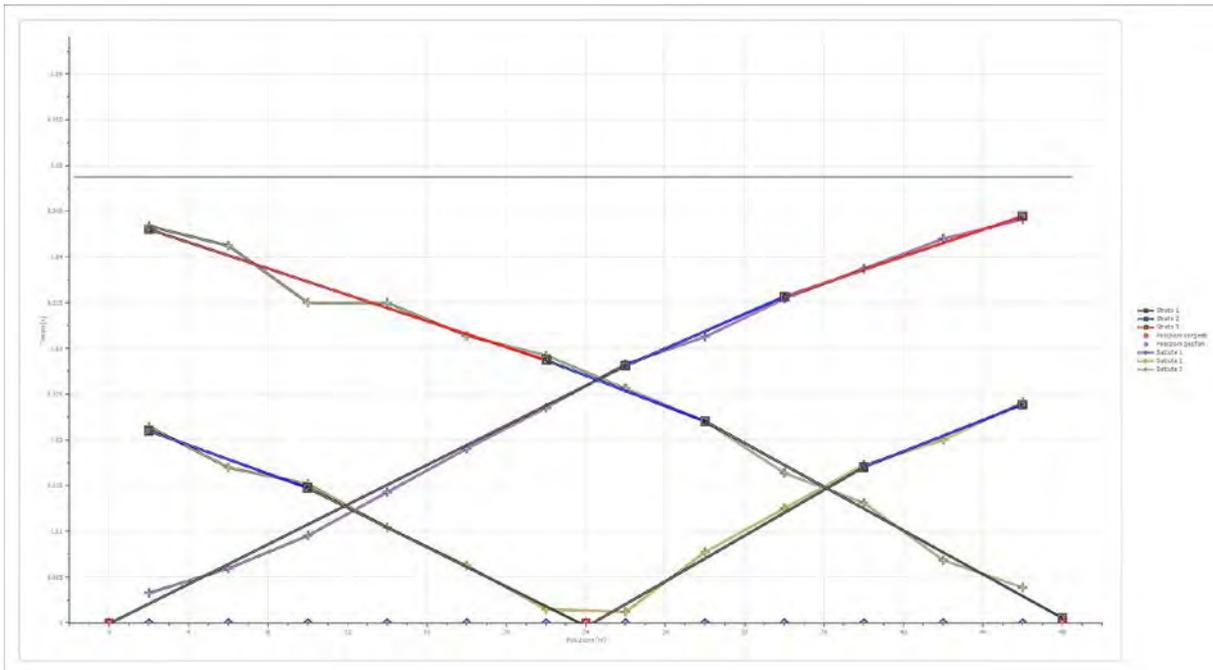
Posizione sorgente X
Posizione sorgente Z

48 [m]
0 [m]

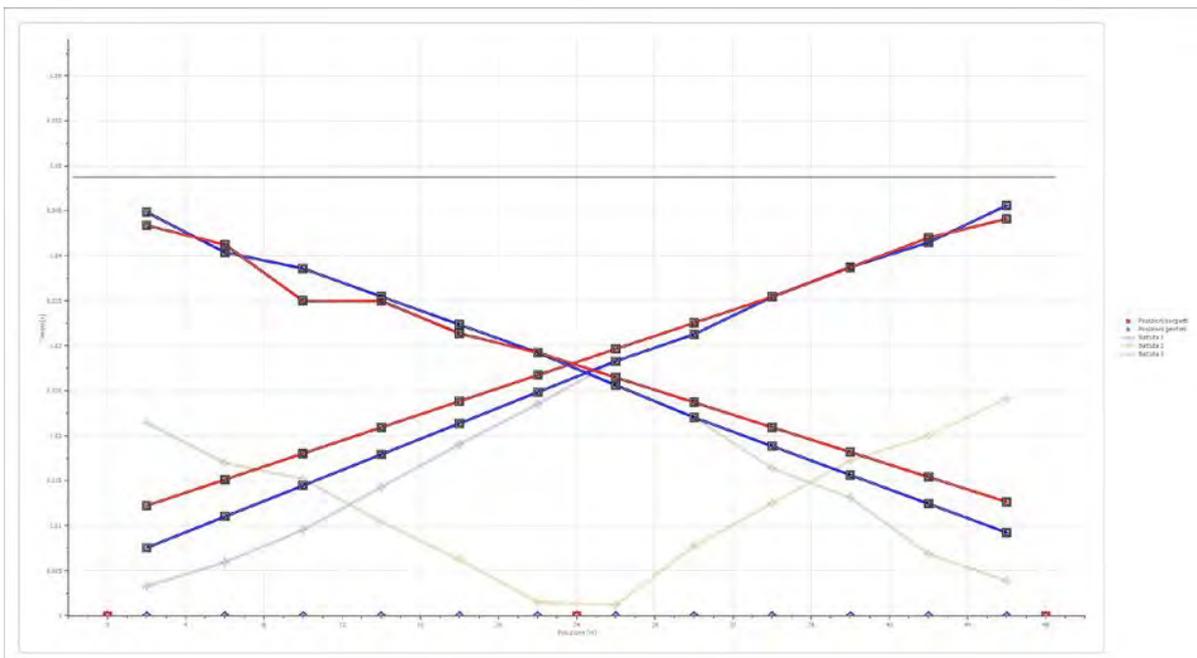


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	43.3750
6.0	41.2500
10.0	35.0000
14.0	35.0000
18.0	31.3750
22.0	29.2500
26.0	25.6207
30.0	22.0457
34.0	16.3853
38.0	13.1082
42.0	6.8520
46.0	3.8729

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

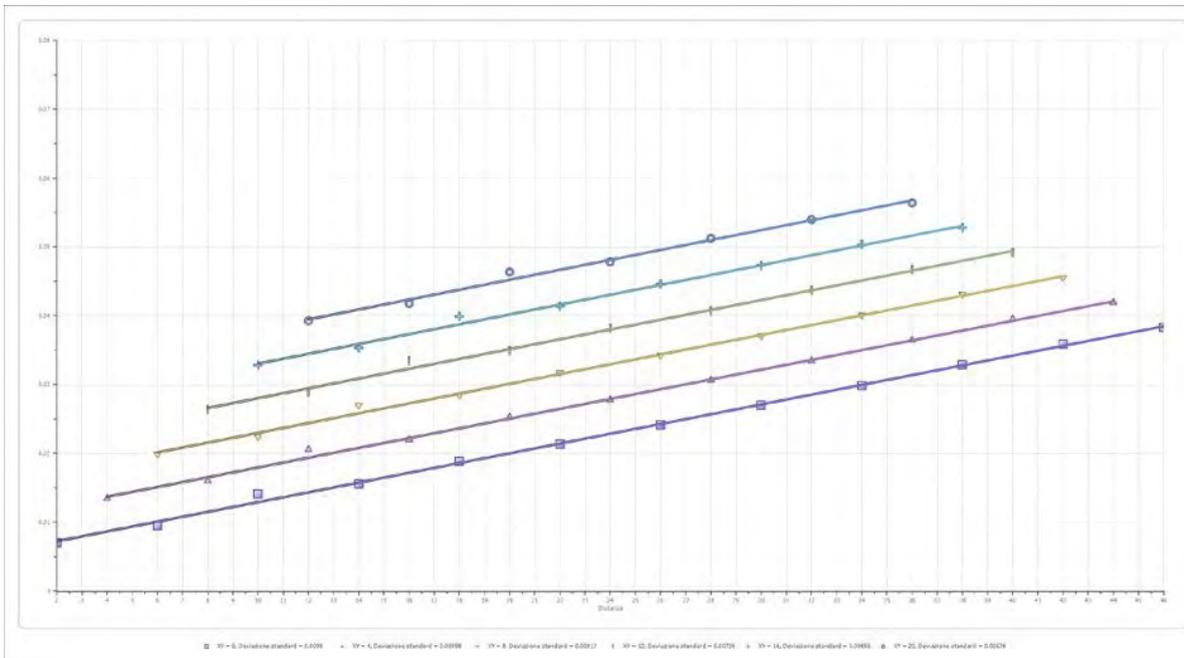
XY: 0

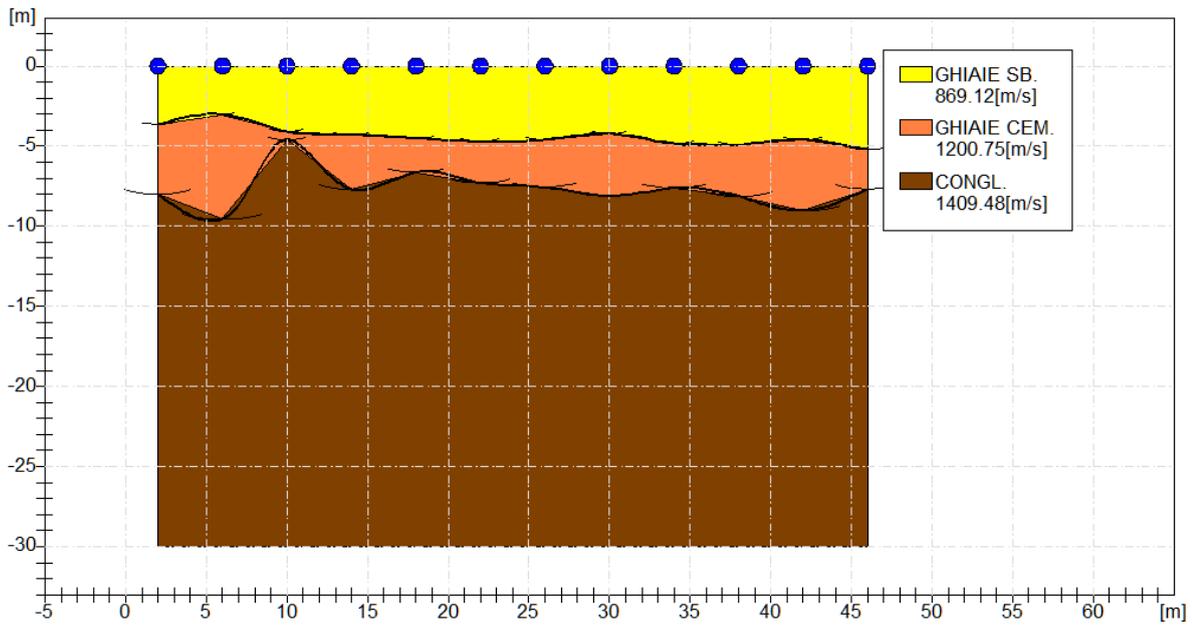
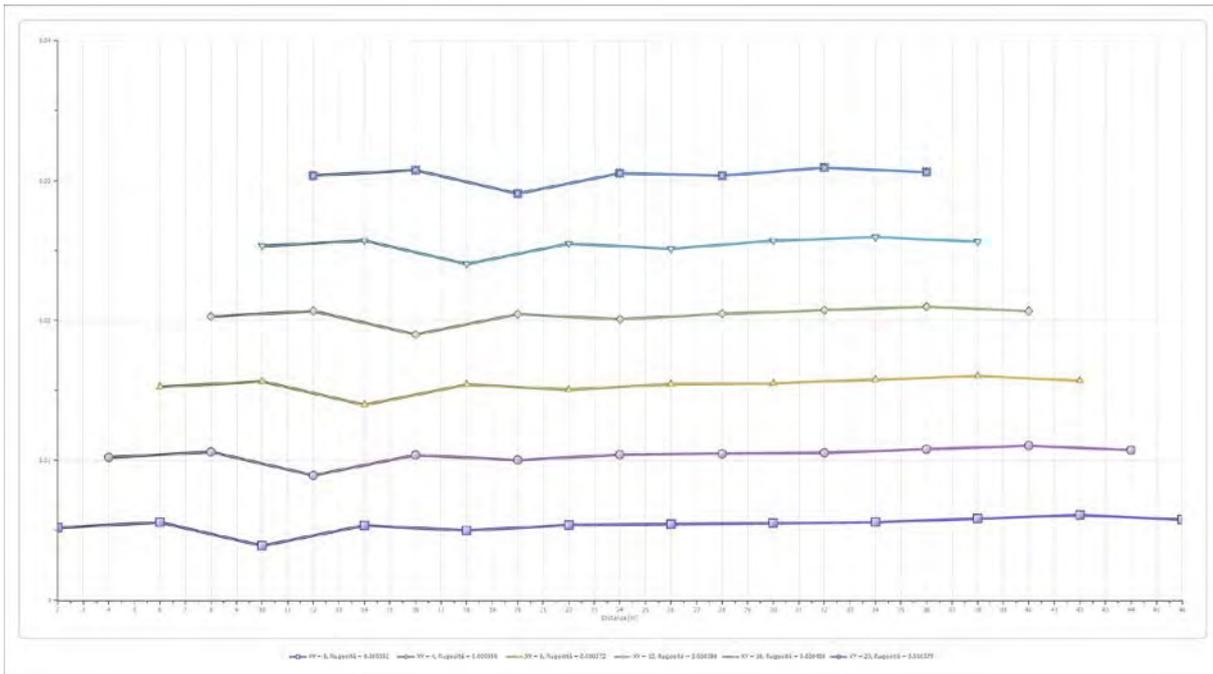
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	3.7	8.0	--
G= 6.0 [m]	3.0	9.6	--
G= 10.0 [m]	4.1	4.6	--
G= 14.0 [m]	4.3	7.7	--
G= 18.0 [m]	4.5	6.6	--
G= 22.0 [m]	4.7	7.3	--
G= 26.0 [m]	4.6	7.6	--
G= 30.0 [m]	4.2	8.1	--
G= 34.0 [m]	4.8	7.6	--
G= 38.0 [m]	4.9	8.1	--
G= 42.0 [m]	4.6	9.0	--
G= 46.0 [m]	5.2	7.7	--
Velocità [m/sec]	869.1	1200.8	1409.5
Descrizione	GHIAIE SB.	GHIAIE CEM.	CONGL.

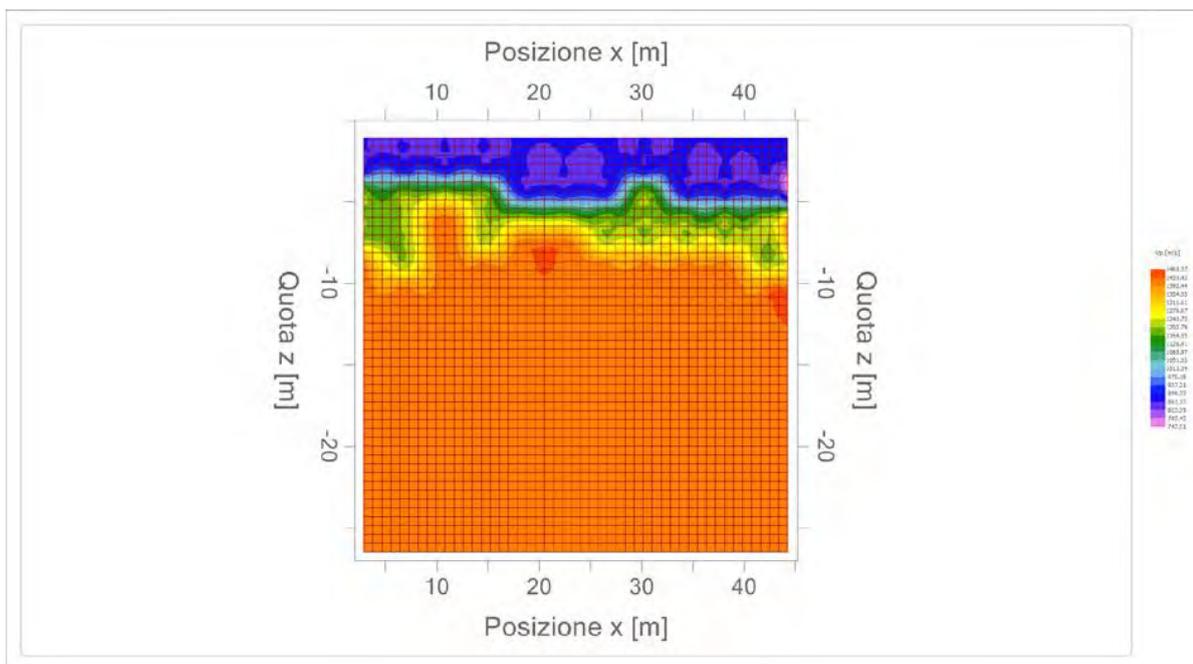
Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.35	0.30
Densità [kg/m³]	1750.00	1850.00	2000.00
Vp [m/s]	869.12	1200.75	1409.48
Vs [m/s]	354.82	576.82	753.40
G0 [MPa]	220.32	615.54	1135.21
Ed [Mpa]	1321.89	2667.34	3973.25
M0 [MPa]	1101.58	2051.80	2838.03
Ey [Mpa]	616.88	1661.96	2951.55

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;









Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L01054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
---	---

FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
SIS BB-4

	Data: dicembre 2021
	Il committente Pacifico Acquamarina 2 srl
	IL Tecnico Geol. N. Di Lella
	Il Progettista Geol. N. Di Lella

Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione

Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

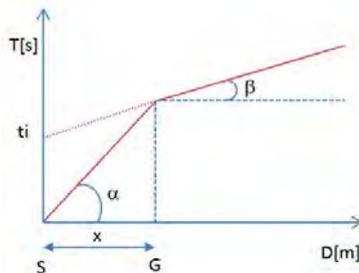
$$T = x_i / V_1$$

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

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

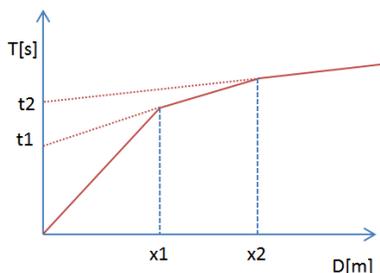
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

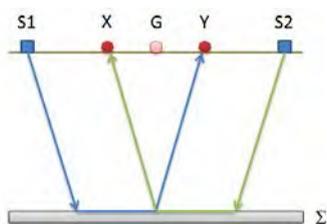


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

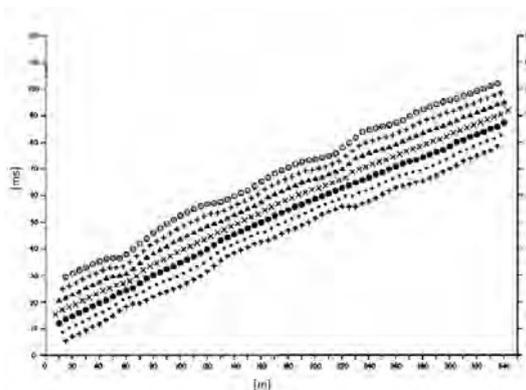
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

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



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

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



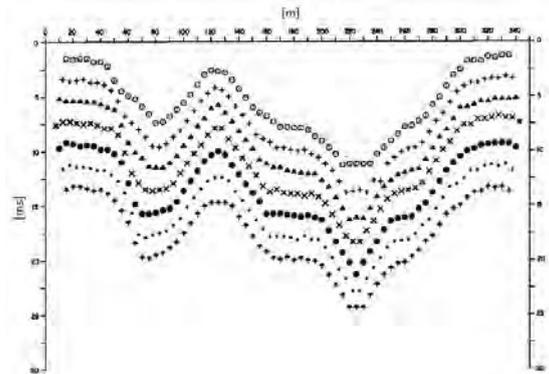
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

$$T_G = \frac{T_{S_1 Y} + T_{S_2 X} - \left(T_{S_1 S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



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

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

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

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h. Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
SIS BB-4	
Committente	Pacifico Acquamarina 2 srl
Zona	SERRACAPRIOLA – MASS. TOVAGLIA
Operatore	GEOLOG. N. DI LELLA
Responsabile	GEOLOG. N. DI LELLA
Data	31/12/2021
Via	MASS. TOVAGLIA
Latitudine	41.897905 [°]
Longitudine	15.244126 [°]
Altitudine	12[m]

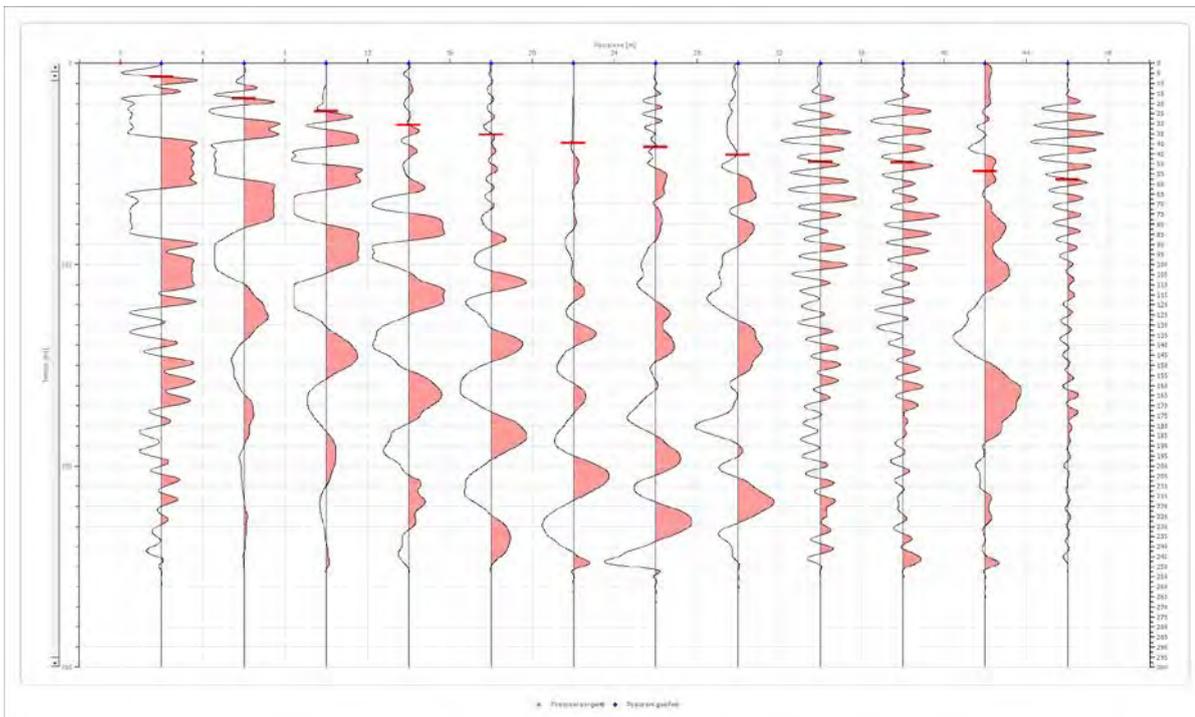
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

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

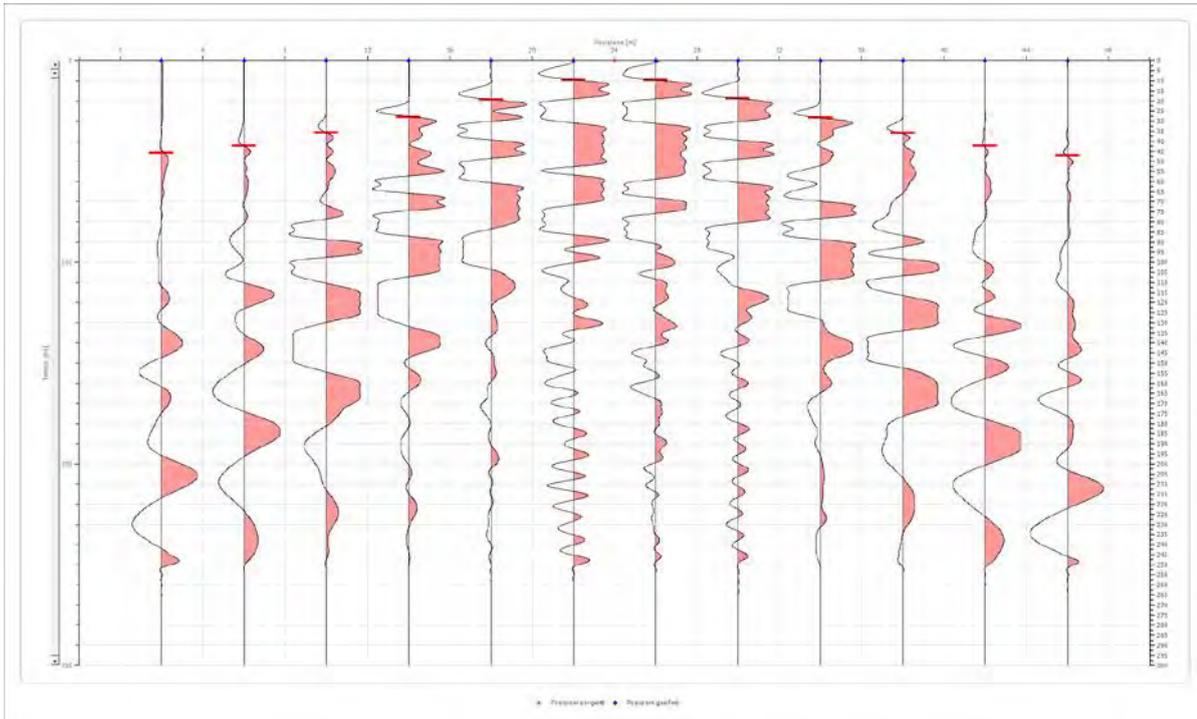


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	6.8520
6.0	17.5770
10.0	23.8332
14.0	30.6852
18.0	35.4518
22.0	39.6226
26.0	41.7080
30.0	45.5809
34.0	48.8580
38.0	49.1559
42.0	53.6246
46.0	57.7954

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

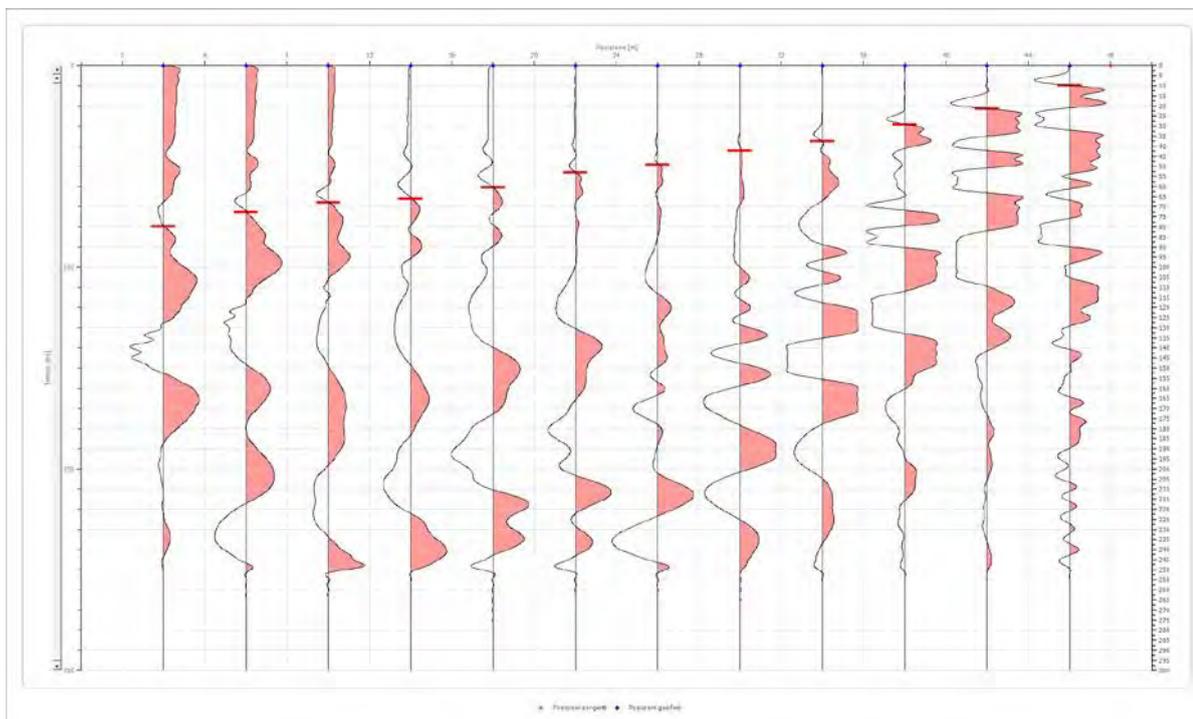


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	45.8788
6.0	42.3039
10.0	35.7498
14.0	28.0040
18.0	19.3644
22.0	9.5333
26.0	9.5333
30.0	18.7686
34.0	28.3019
38.0	36.0477
42.0	42.3039
46.0	47.0705

Battuta 3

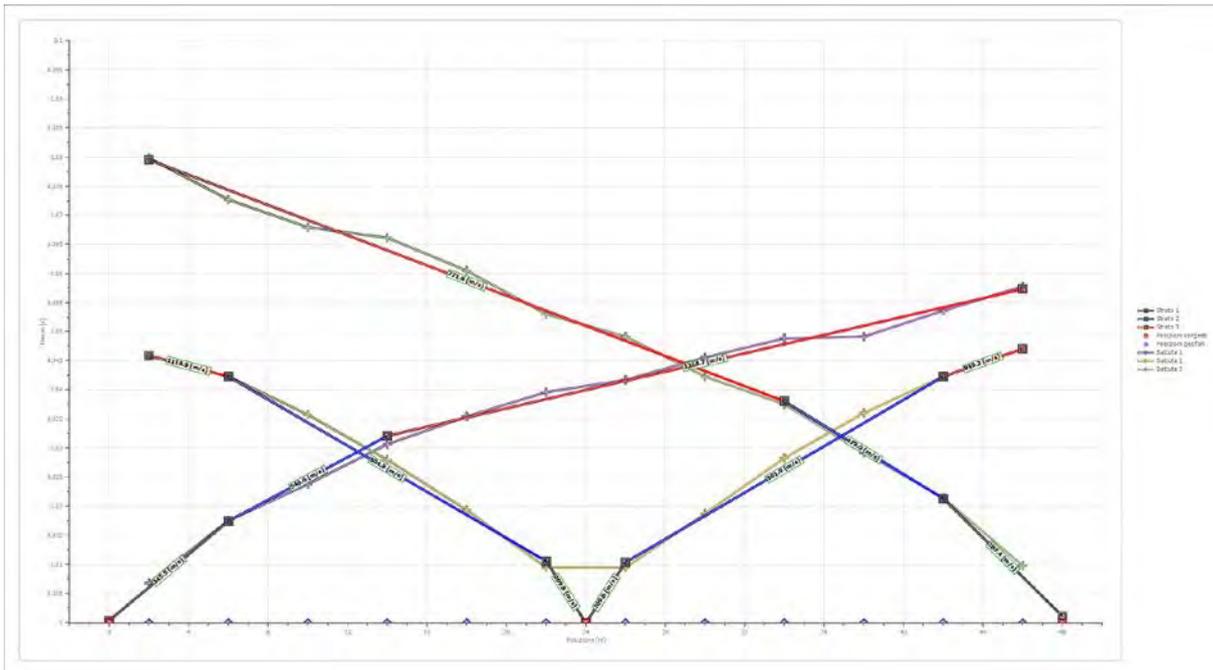
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

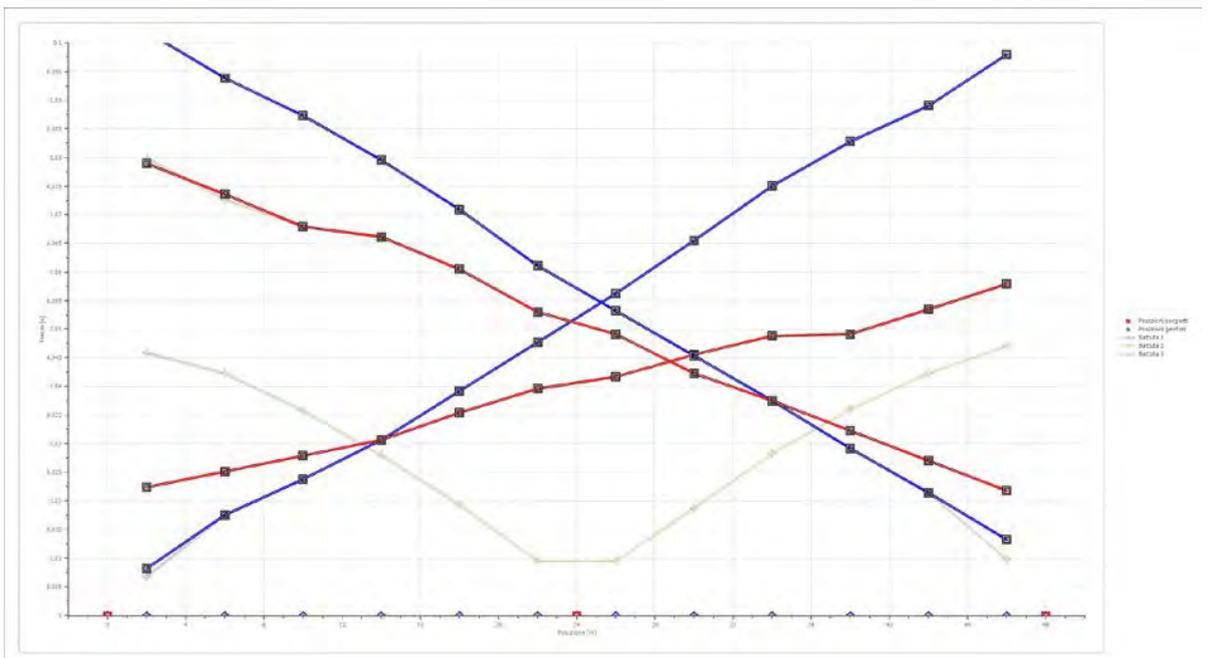


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	79.8411
6.0	72.6912
10.0	67.9245
14.0	66.1370
18.0	60.4767
22.0	53.0288
26.0	49.1559
30.0	42.3039
34.0	37.5372
38.0	29.1956
42.0	21.4499
46.0	9.8312

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

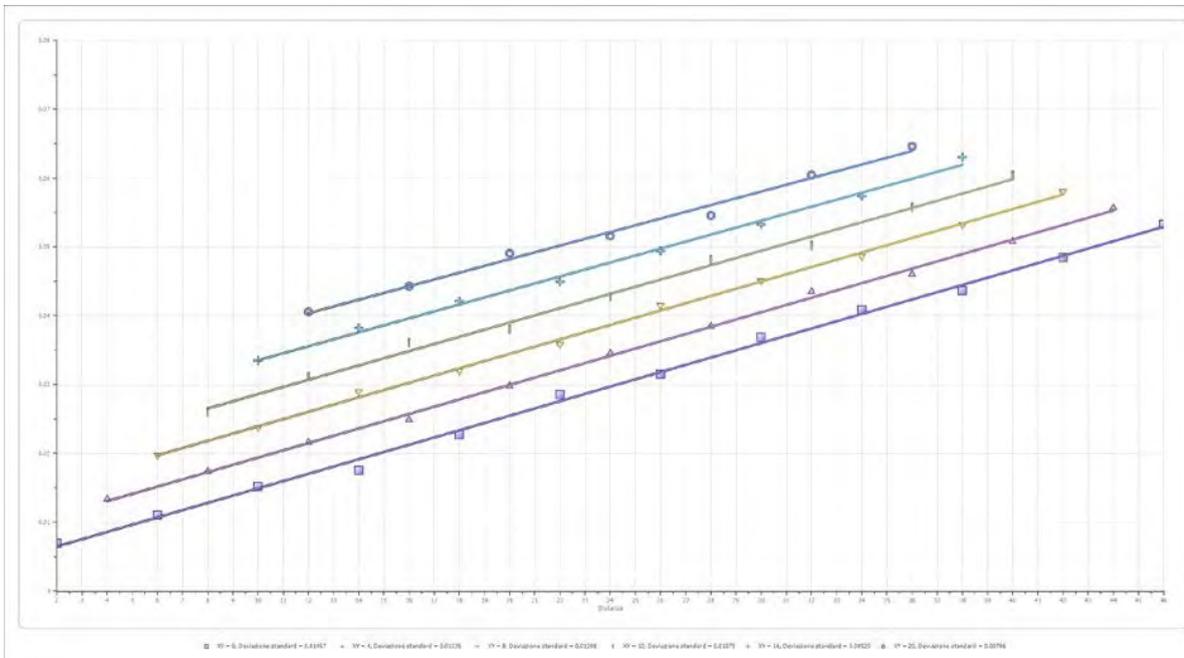
XY: 0

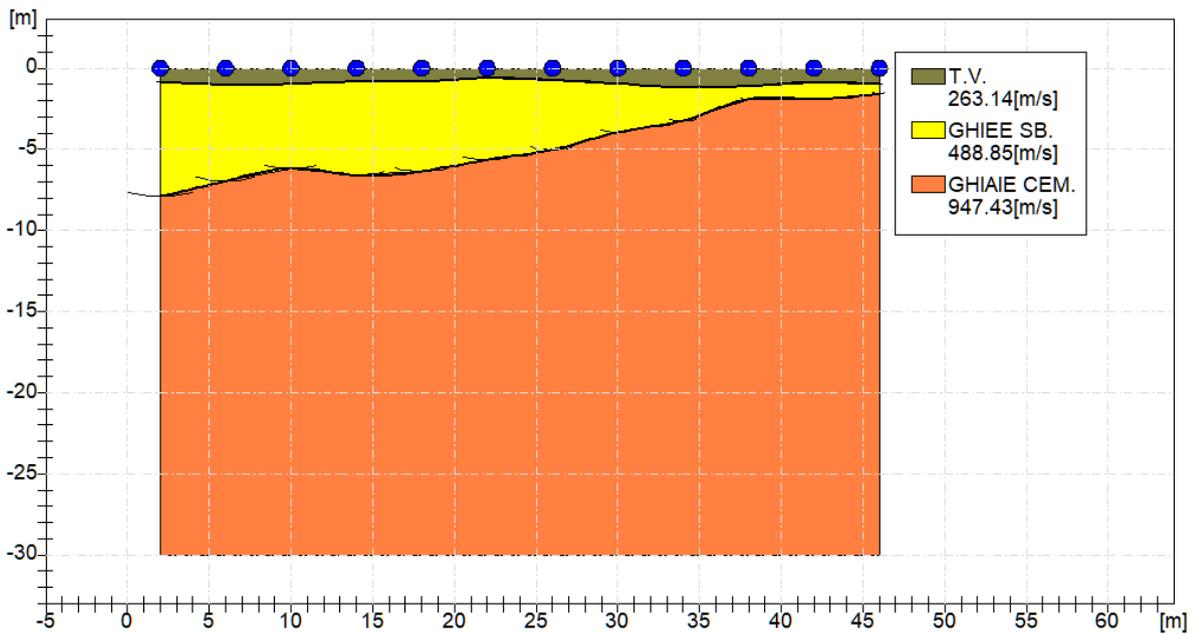
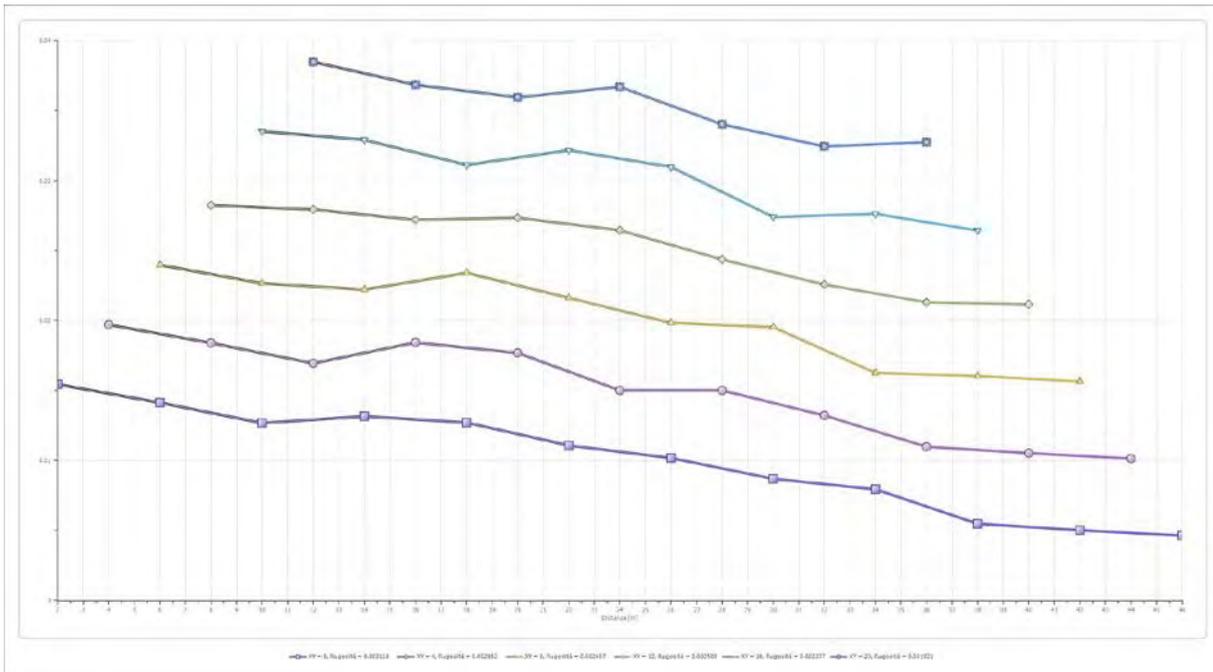
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	0.8	7.9	--
G= 6.0 [m]	1.0	7.0	--
G= 10.0 [m]	1.0	6.2	--
G= 14.0 [m]	0.8	6.6	--
G= 18.0 [m]	0.8	6.4	--
G= 22.0 [m]	0.6	5.6	--
G= 26.0 [m]	0.7	5.0	--
G= 30.0 [m]	0.9	3.9	--
G= 34.0 [m]	1.2	3.2	--
G= 38.0 [m]	1.1	1.9	--
G= 42.0 [m]	0.9	1.9	--
G= 46.0 [m]	1.0	1.6	--
Velocità [m/sec]	263.1	488.9	947.4
Descrizione	T.V.	GHIEE SB.	GHAIE CEM.

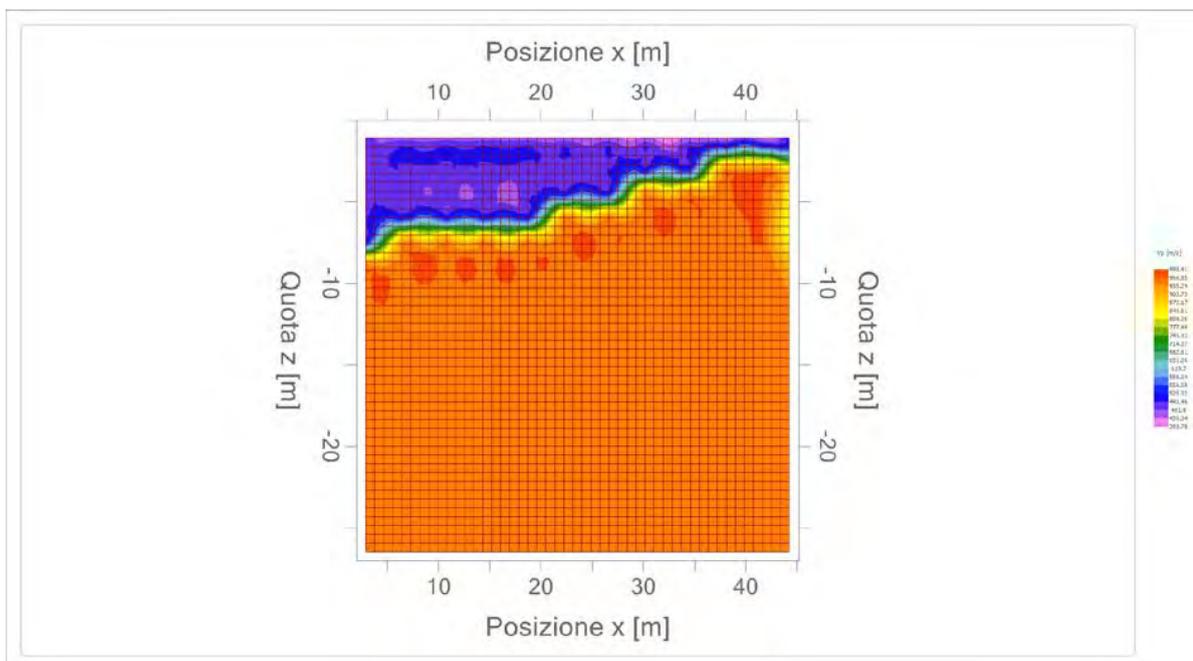
Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.38	0.35
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	263.14	488.85	947.43
Vs [m/s]	107.43	215.07	455.13
G0 [MPa]	19.62	83.26	393.57
Ed [Mpa]	117.71	430.16	1705.49
M0 [MPa]	98.09	346.90	1311.92
Ey [Mpa]	54.93	229.79	1062.65

G0: Modulo di deformazione al taglio;
 Ed: Modulo edometrico;
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
 Ey: Modulo di Young;









Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
SSE

	Data: gennaio 2022
	Il committente Pacifico Acquamarina 2 srl
	IL Tecnico Geol. N. Di Lella
	Il Progettista Geol. N. Di Lella

Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione

Easy Refract

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

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

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

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

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

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

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

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

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

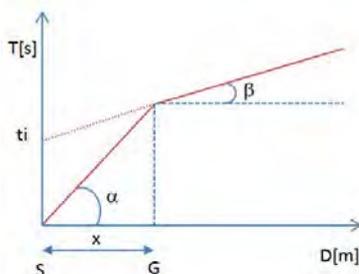
$$T = x_i / V_1$$

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

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

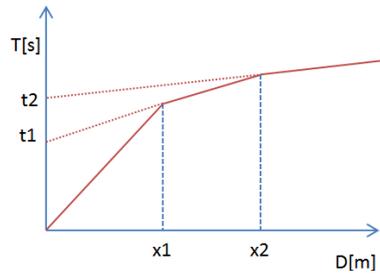
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

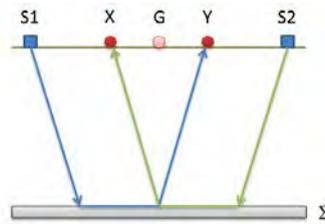


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

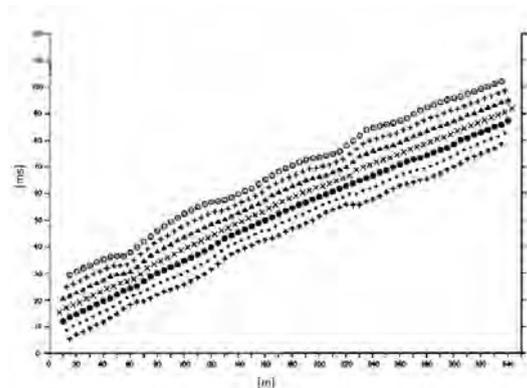
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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

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



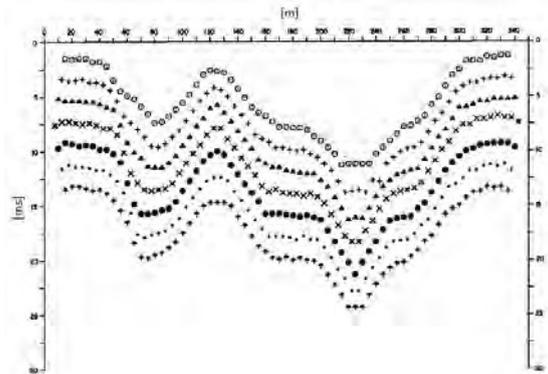
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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

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

$$T_G = \frac{T_{S_1 Y} + T_{S_2 X} - \left(T_{S_1 S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



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

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

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

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h. Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Dati generali

Descrizione	FV Serracapirola Pacifico Acquamarina 2 – (SSE)
Committente	Pacifico Acquamarina 2 srl
Zona	TORREMAGGIORE - FARI
Operatore	GEOL. N. DI LELLA
Responsabile	GEOL. N. DI LELLA
Data	15/01/2022
Via	LOC. FARI
Latitudine	41.714513 [°]
Longitudine	15.182231 [°]
Altitudine	47.4[m]

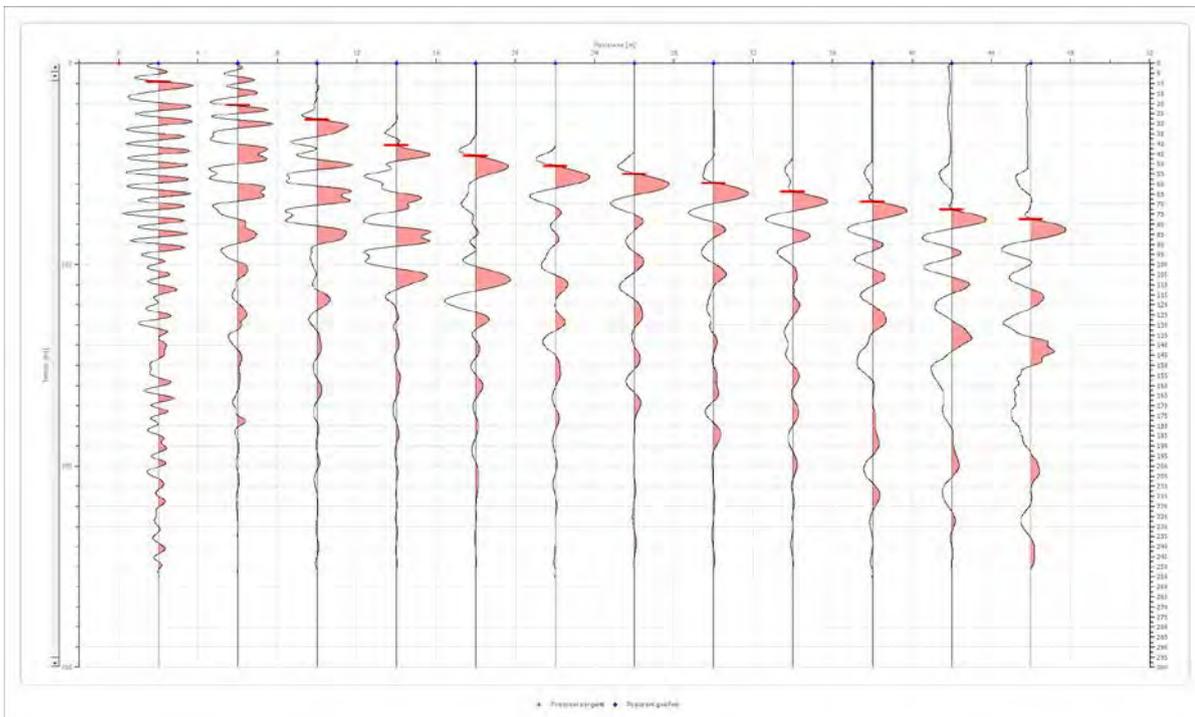
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	2.0	0.0
2	6.0	0.0
3	10.0	0.0
4	14.0	0.0
5	18.0	0.0
6	22.0	0.0
7	26.0	0.0
8	30.0	0.0
9	34.0	0.0
10	38.0	0.0
11	42.0	0.0
12	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

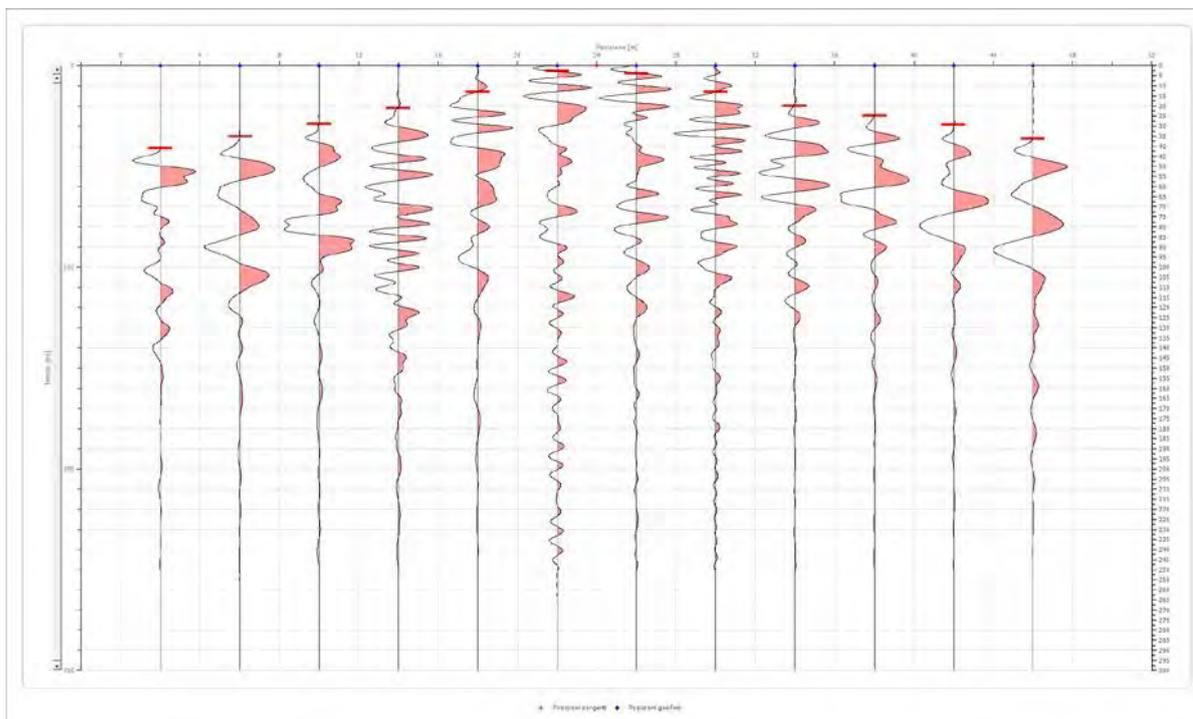
Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	9.2354
6.0	20.8540
10.0	28.0040
14.0	40.8143
18.0	46.1768
22.0	51.2413
26.0	55.1142
30.0	59.5829
34.0	63.7537
38.0	68.8183
42.0	72.6912
46.0	77.4578

Battuta 2

Posizione sorgente X 24 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

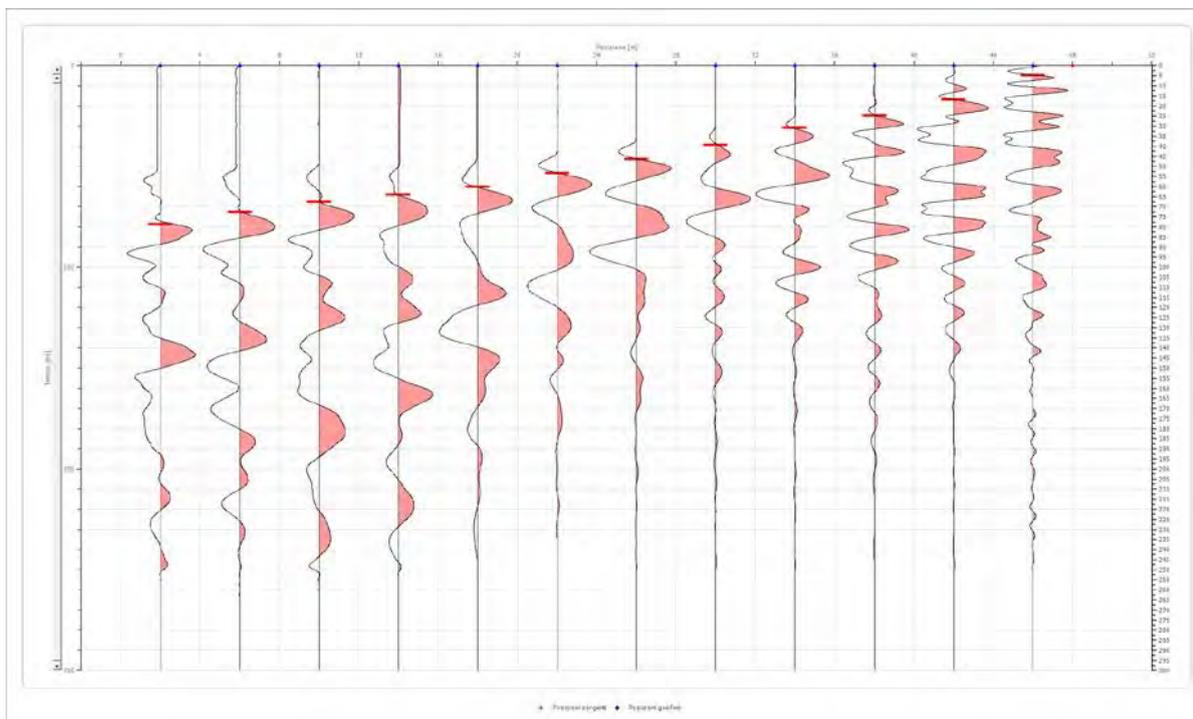


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	41.2500
6.0	35.1250
10.0	28.8750
14.0	21.2500
18.0	13.1082
22.0	2.6812
26.0	3.8729
30.0	13.1082
34.0	20.0000
38.0	24.8750
42.0	29.1956
46.0	36.2500

Battuta 3

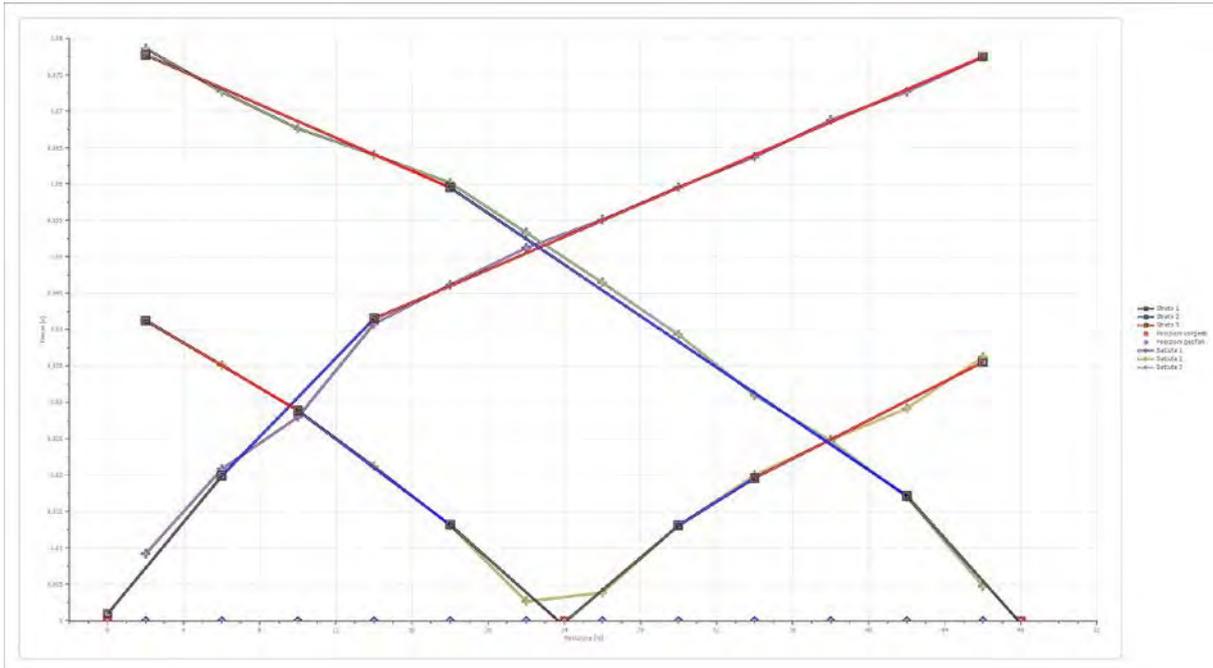
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

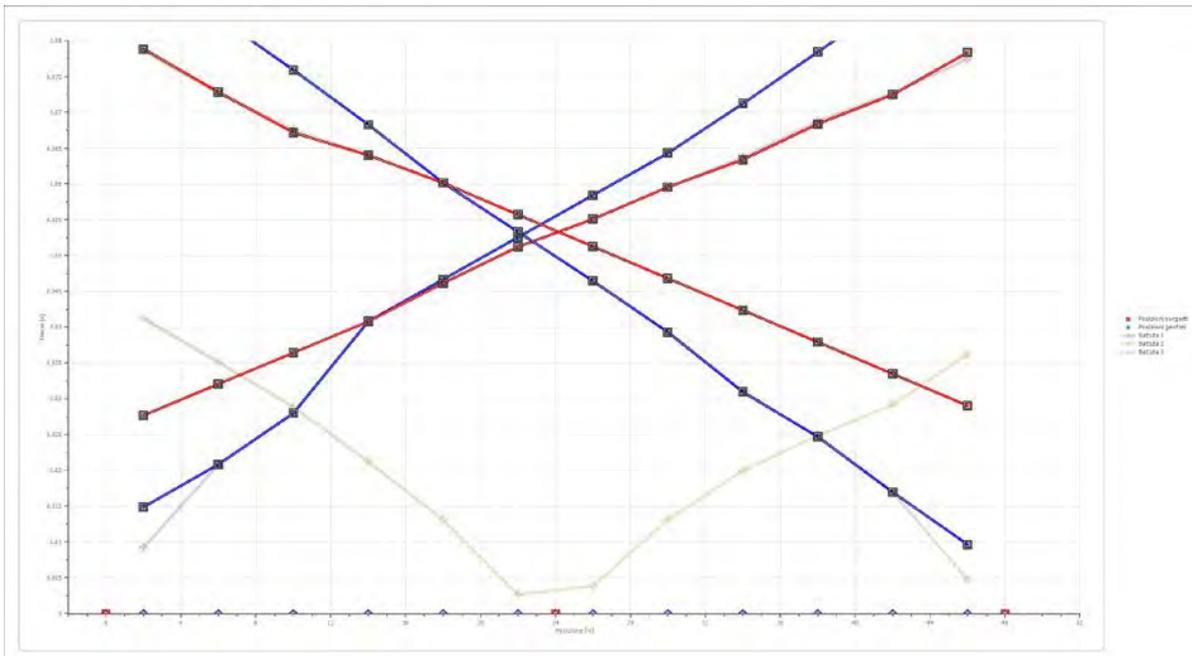


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	78.6250
6.0	72.6912
10.0	67.6266
14.0	64.0516
18.0	60.1788
22.0	53.3267
26.0	46.4747
30.0	39.3247
34.0	30.9831
38.0	24.7269
42.0	16.9811
46.0	4.7666

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

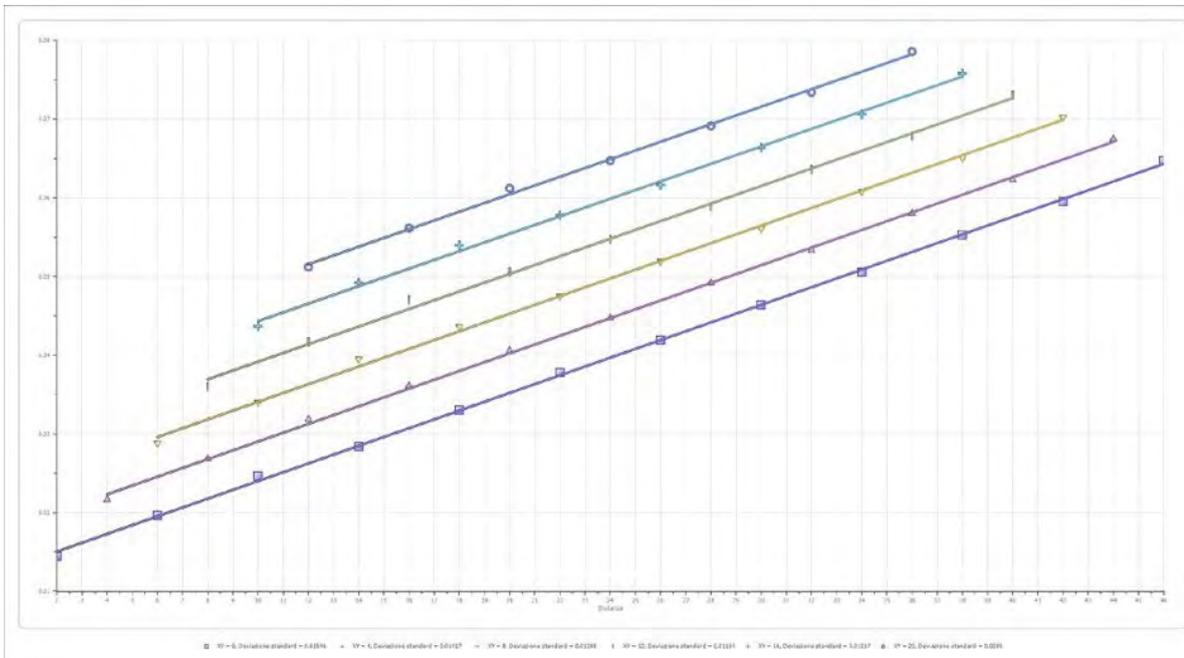
XY: 0

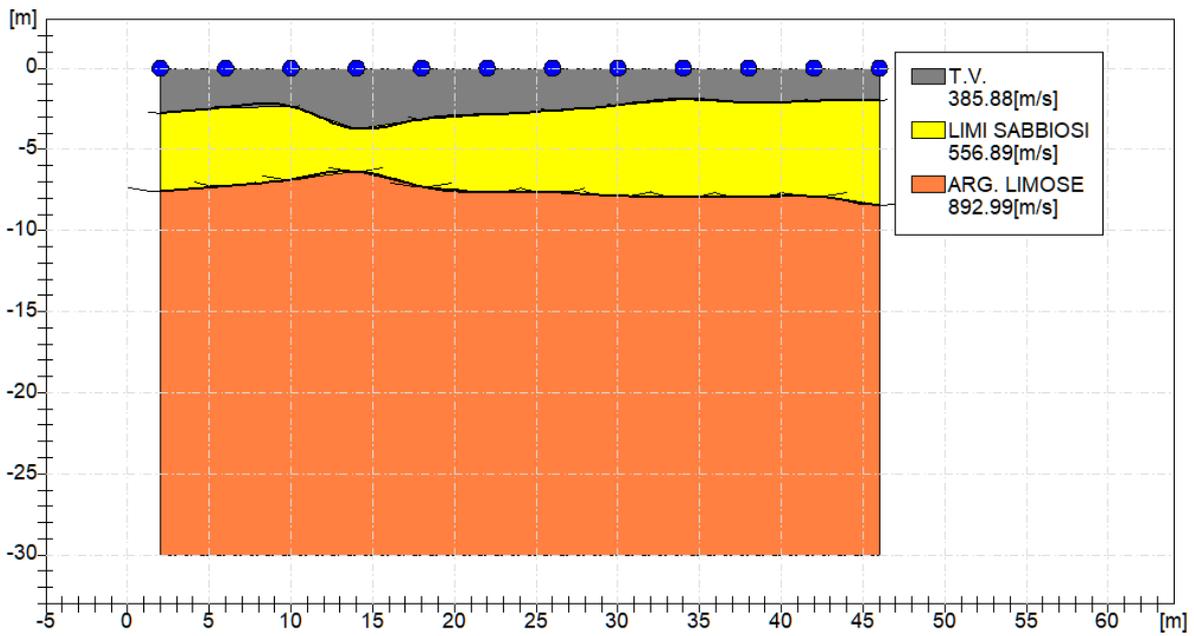
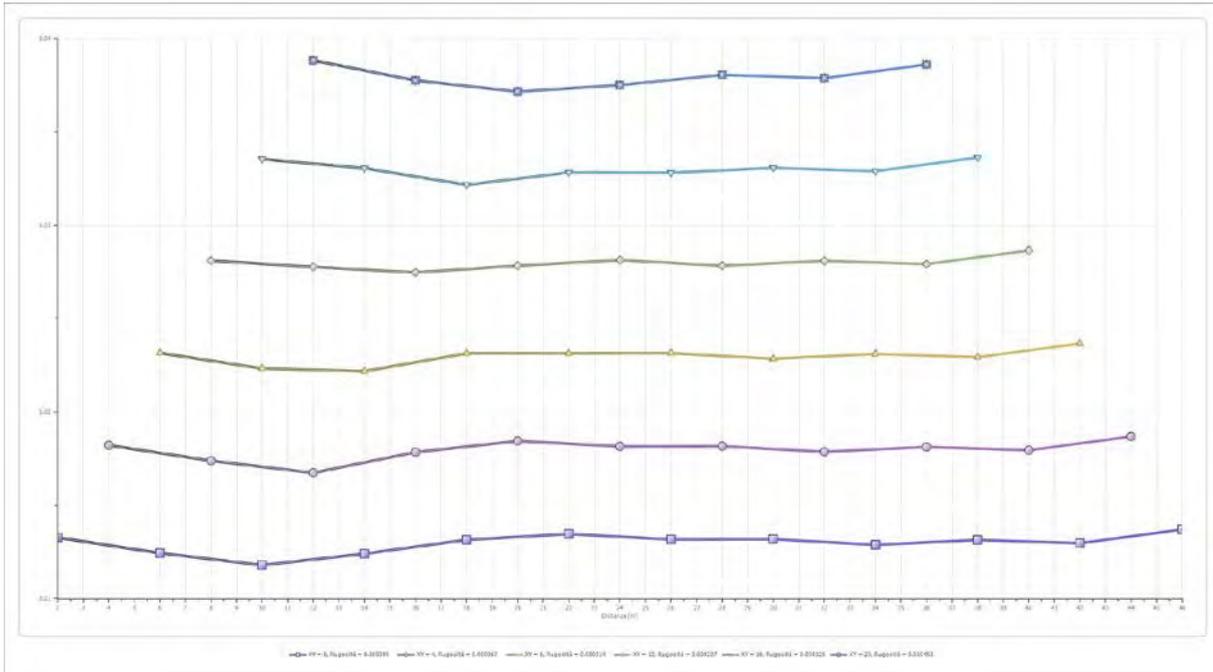
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	2.8	7.6	--
G= 6.0 [m]	2.4	7.3	--
G= 10.0 [m]	2.3	6.8	--
G= 14.0 [m]	3.7	6.4	--
G= 18.0 [m]	3.1	7.3	--
G= 22.0 [m]	2.9	7.7	--
G= 26.0 [m]	2.6	7.6	--
G= 30.0 [m]	2.3	7.9	--
G= 34.0 [m]	1.9	7.9	--
G= 38.0 [m]	2.1	7.9	--
G= 42.0 [m]	2.0	7.9	--
G= 46.0 [m]	2.0	8.4	--
Velocità [m/sec]	385.9	556.9	893.0
Descrizione	T.V.	LIMI SABBIOSI	ARG. LIMOSE

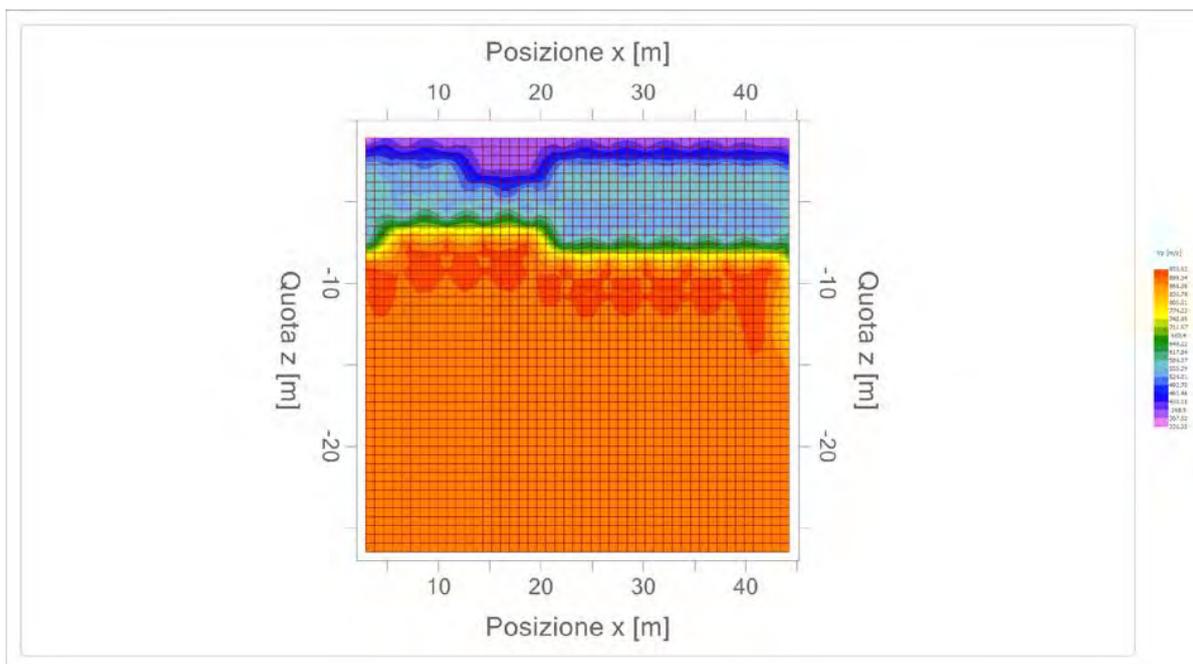
Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.35	0.35	0.35
Densità [kg/m³]	1800.00	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	385.88	556.89	892.99
Vs [m/s]	185.37	267.52	428.98
G0 [MPa]	61.85	128.82	331.24
Ed [Mpa]	268.02	558.22	1435.38
M0 [MPa]	206.17	429.40	1104.14
Ey [Mpa]	167.00	347.82	894.35

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;







ALLEGATO 2 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (MASW)



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L01054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
---	---

FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
MASW N1

	Data: febbraio 2022
	Il committente Pacifico Acquamarina 2 Srl
	IL Tecnico Geol. N. Di Lella
	Il Progettista Geol. N. Di Lella

Indagine geofisica tramite tecnica MASW

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

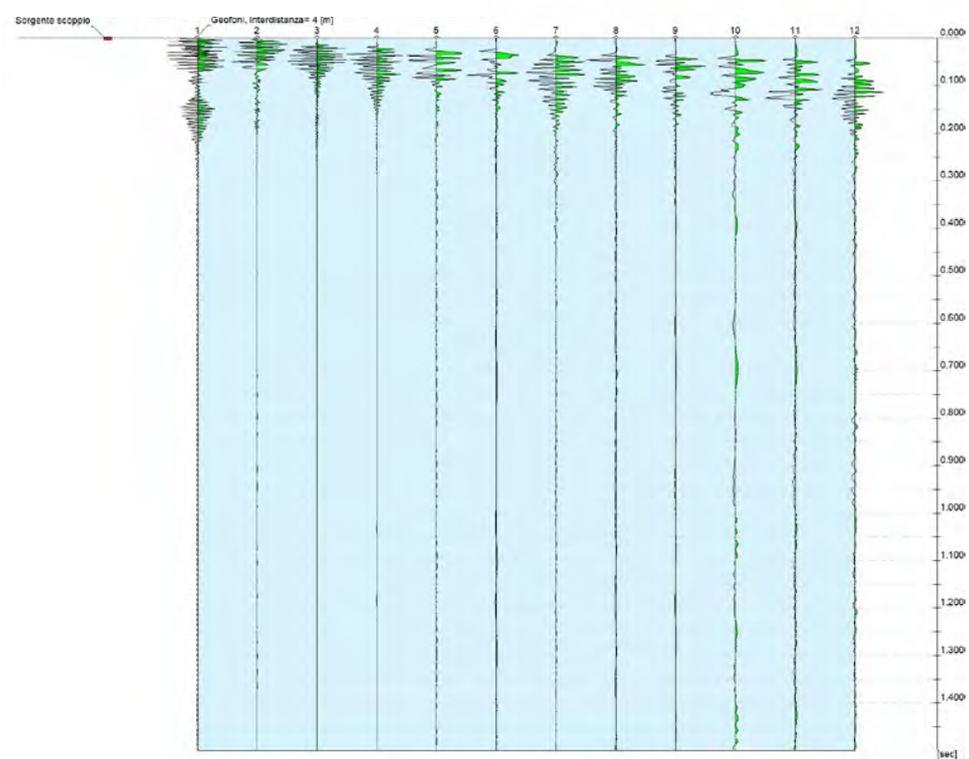
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Dati generali

Committente	Pacifico Acquamarina 2 Srl
Cantiere	FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
Località	MASS. TOVAGLIA
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	MASS. TOVAGLIA
Data	31/12/2021 06:59
Latitudine	41.8902
Longitudine	15.2320

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

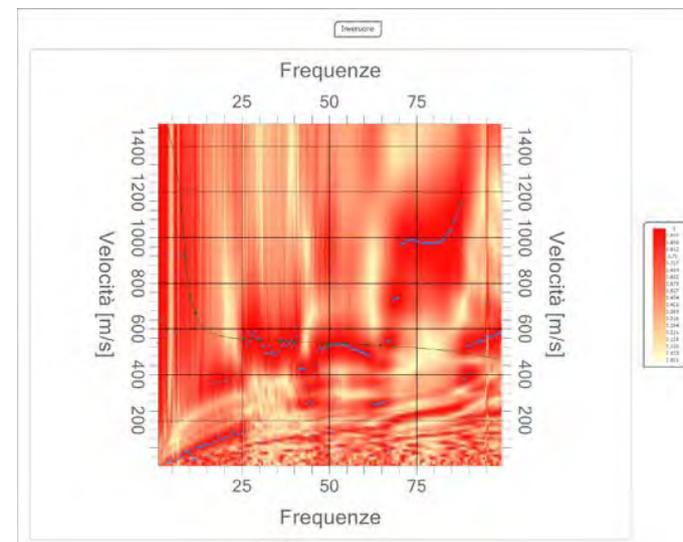
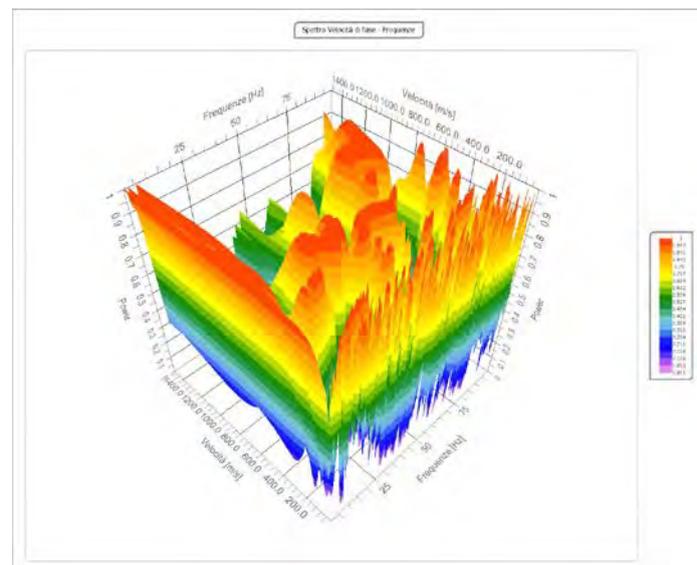
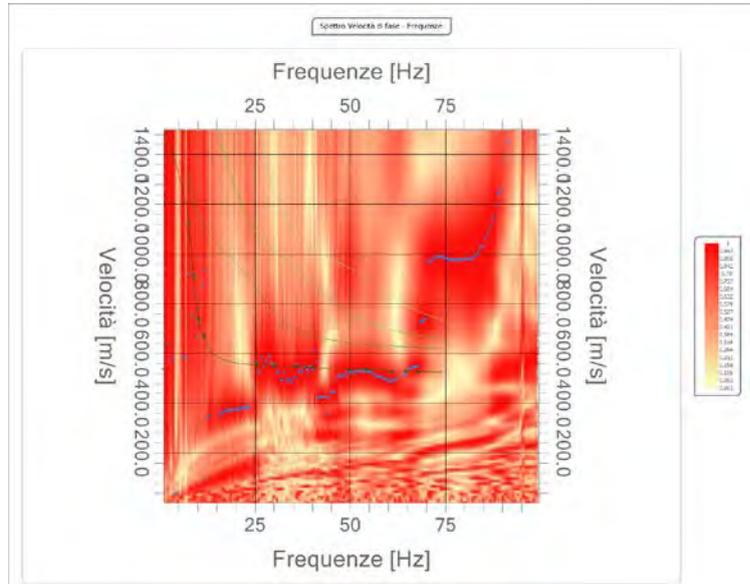


Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	100
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1500
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	7.8	1120.1	0
2	8.8	914.5	0
3	10.2	738.3	0
4	11.7	669.8	0
5	25.5	555.6	0
6	30.2	549.1	0
7	35.9	547.5	0
8	40.4	544.2	0
9	49.7	532.8	0
10	54.5	536.1	0
11	60.8	527.9	0
12	64.7	529.5	0
13	68.0	526.3	0

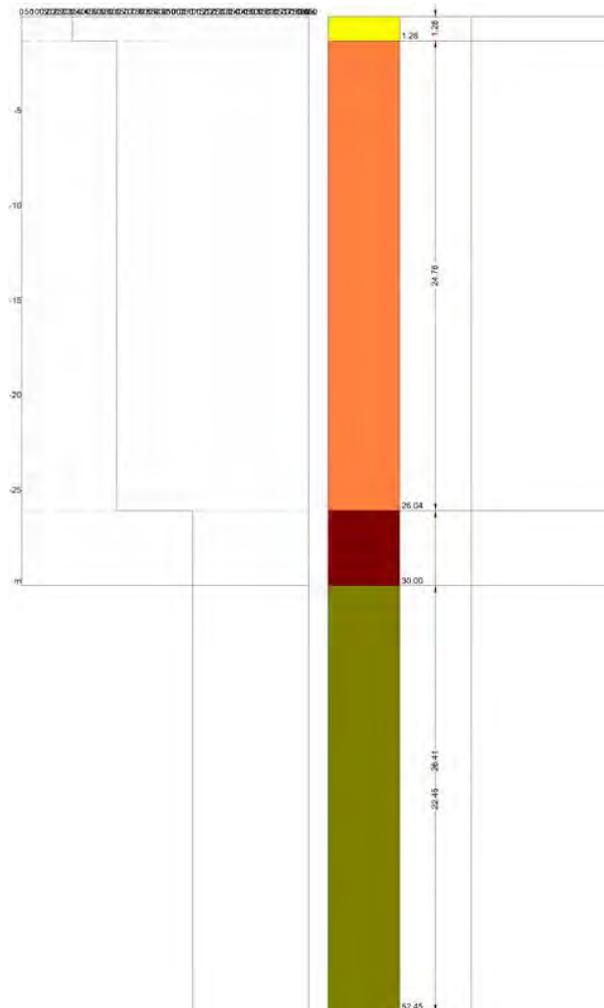


Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.28	1.28	1750.0	0.4	No	800.1	326.6
2		26.04	24.76	1850.0	0.4	No	1284.9	617.3
3		52.45	26.41	2000.0	0.3	No	2068.8	1105.8
4		oo	oo	2100.0	0.3	No	3469.0	1854.2

Percentuale di errore 0.003 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.006



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	630.05
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.28	1.28	326.63	800.07	1700.00	0.40	181.37	1088.20	846.38	507.83	N/A	N/A
2	26.04	24.76	617.27	1284.94	1800.00	0.35	685.83	2971.93	2057.49	1851.74	N/A	N/A
3	52.45	26.41	1105.84	2068.84	1900.00	0.30	2323.49	8132.21	5034.22	6041.07	N/A	N/A
4	oo	oo	1854.25	3468.98	2000.00	0.30	6876.45	24067.58	14898.98	17878.77	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FV Serracapirola Pacifico Acquamarina 2
MASW BB-4

	Data: dicembre 2021
	Il committente Serracapirola Pacifico Acquamarina 2 srl
	IL Tecnico Geol. N. Di Lella
	Il Progettista Geol. N. Di Lella
Indagine geofisica tramite tecnica MASW	

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

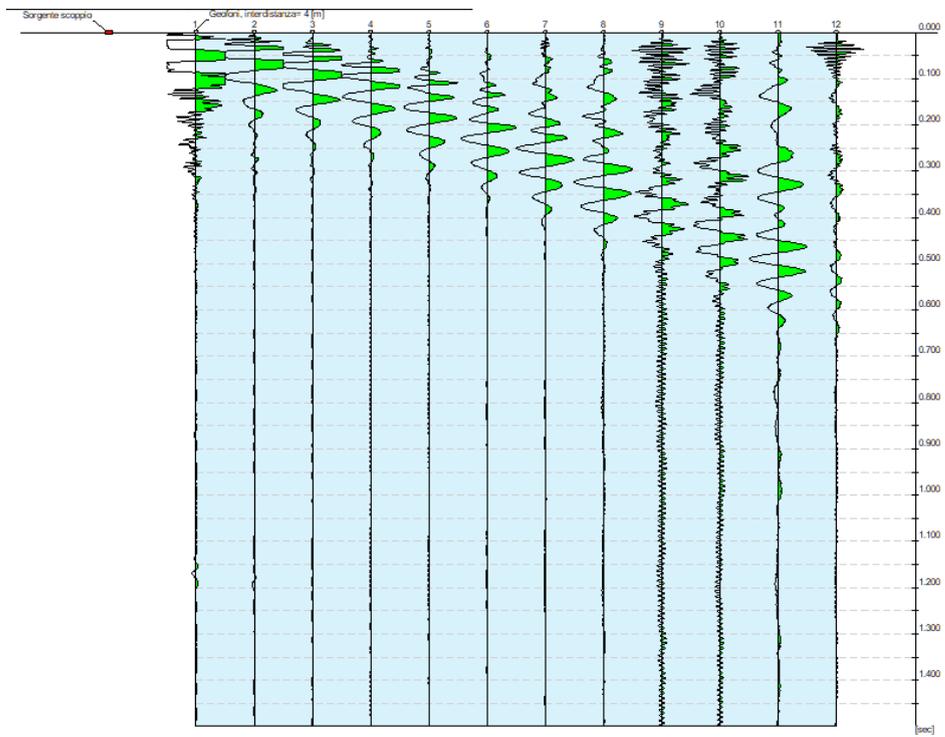
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Dati generali

Committente	Serracapriola Pacifico Acquamarina 2 srl
Cantiere	FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
Località	SERRACAPRIOLA – MASS. TOVAGLIA
Operatore	Dott.Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	MASS. TOVAGLIA
Data	31/12/2021 05:29
Latitudine	41.8979
Longitudine	15.2441

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

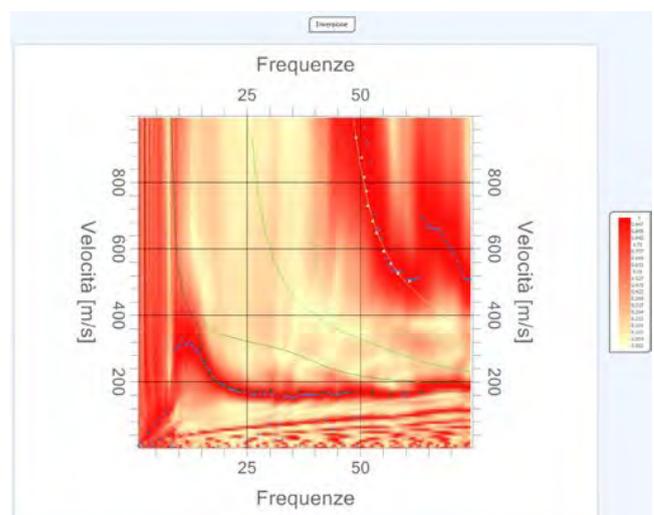
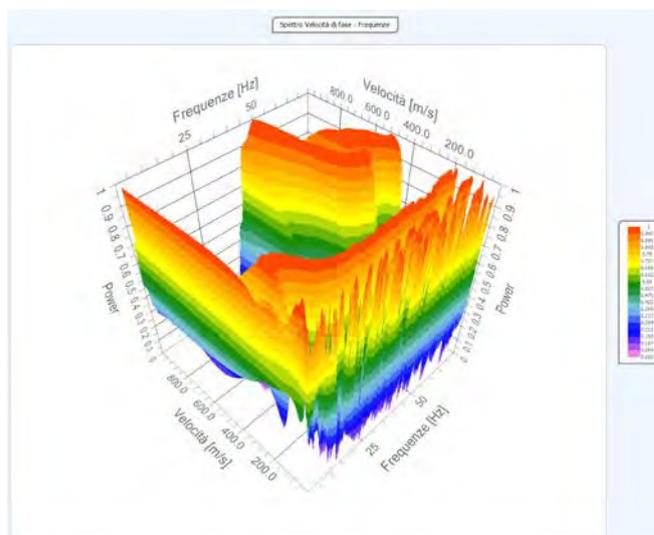
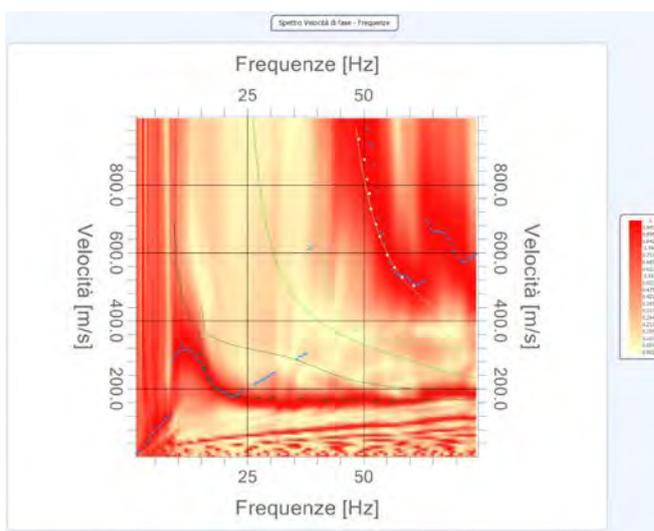


Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	75
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1000
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	14.8	302.7	0
2	15.9	262.0	0
3	16.8	225.3	0
4	17.9	202.2	0
5	20.5	184.5	0
6	23.2	176.3	0
7	27.2	172.3	0
8	30.3	175.0	0
9	36.7	172.3	0
10	41.9	168.2	0
11	45.8	169.5	0
12	47.7	169.5	0
13	49.0	934.8	4
14	50.2	875.0	4
15	50.8	816.5	4
16	51.3	774.4	4
17	51.6	729.5	4
18	52.7	164.1	0
19	52.7	683.3	4
20	53.5	648.0	4
21	55.1	593.6	4
22	56.6	162.7	0
23	56.7	556.9	4
24	58.3	527.0	4
25	60.8	502.5	4
26	63.4	169.5	0



Inversione

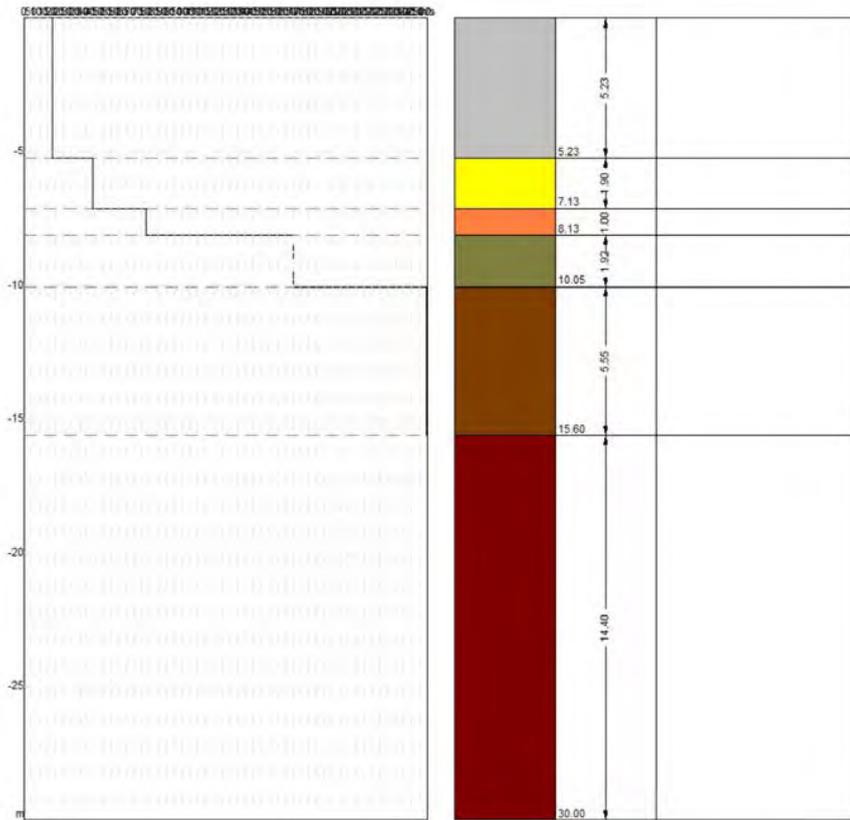
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		5.23	5.23	1800.0	0.3	No	342.1	182.8
2		7.13	1.90	1800.0	0.3	No	814.8	435.5
3		8.13	1.00	1800.0	0.3	No	1440.9	770.2
4		10.05	1.92	1800.0	0.3	No	3190.5	1705.4
5		15.60	5.55	1800.0	0.3	No	4754.2	2541.2
6		∞	∞	1800.0	0.3	No	4770.1	2549.7

Percentuale di errore

0.064 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.028



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	694.42
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	5.23	5.23	182.84	342.06	1800.00	0.30	60.18	210.61	130.38	156.46	N/A	484.53
2	7.13	1.90	435.54	814.83	1800.00	0.30	341.46	1195.10	739.82	887.79	N/A	N/A
3	8.13	1.00	770.21	1440.94	1800.00	0.30	1067.81	3737.34	2313.59	2776.31	N/A	N/A
4	10.05	1.92	1705.38	3190.48	1800.00	0.30	5235.01	18322.52	11342.51	13611.02	N/A	N/A
5	15.60	5.55	2541.20	4754.16	1800.00	0.30	11623.89	40683.62	25185.10	30222.12	N/A	N/A
6	oo	oo	2549.74	4770.13	1800.00	0.30	11702.15	40957.53	25354.66	30425.59	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L011054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
--	---

FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
MASW SSE

	Data: gennaio 2022
	Il committente Pacifico Acquamarina 2 srl
	IL Tecnico Geol. N. Di Lella
	Il Progettista Geol. N. Di Lella

Indagine geofisica tramite tecnica MASW

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio $f-k$ è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

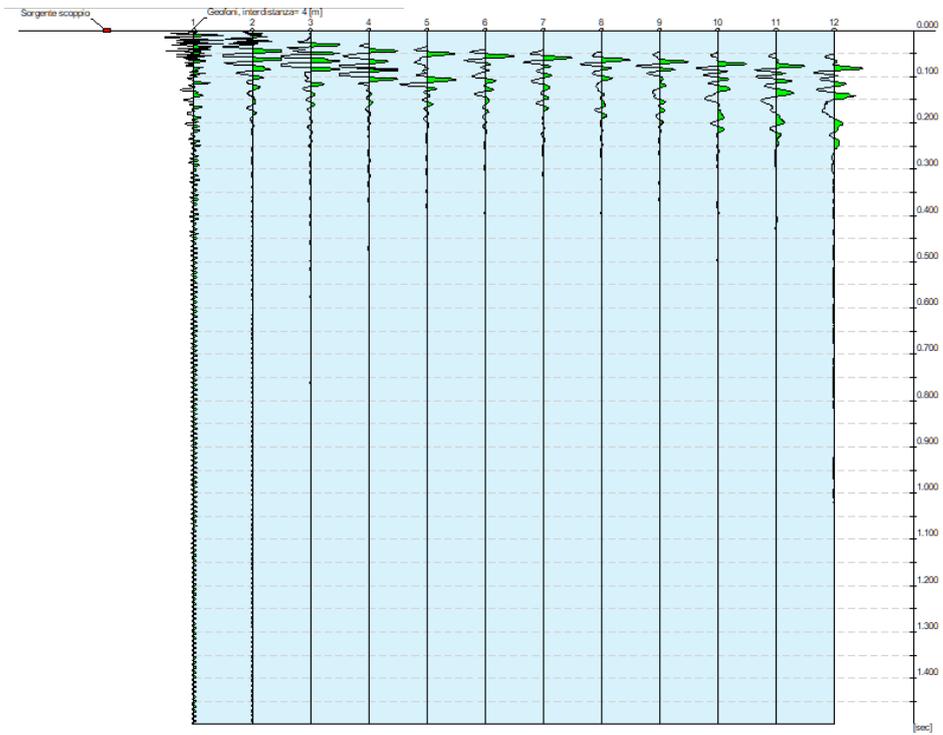
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Dati generali

Committente	Pacifico Acquamarina 2 srl
Cantiere	FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2 - (SSE)
Località	TORREMAGGIORE - FARI
Operatore	Dott. Nazario Di Lella
Responsabile	Dott. Nazario Di Lella
Zona	TORREMAGGIORE - LOC. FARI
Data	15/01/2022 06:15
Latitudine	41.7145
Longitudine	15.1822

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1500.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

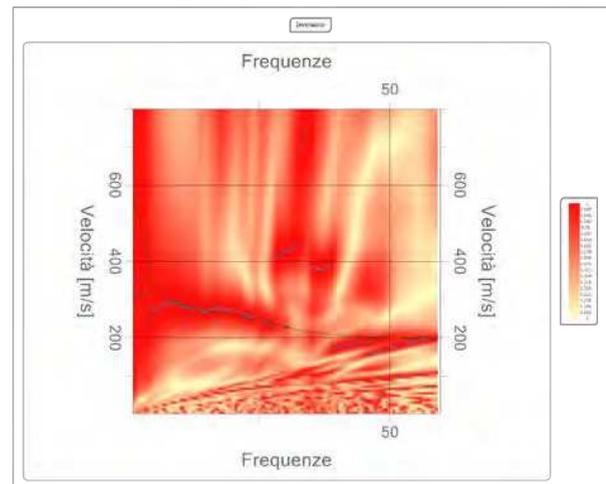
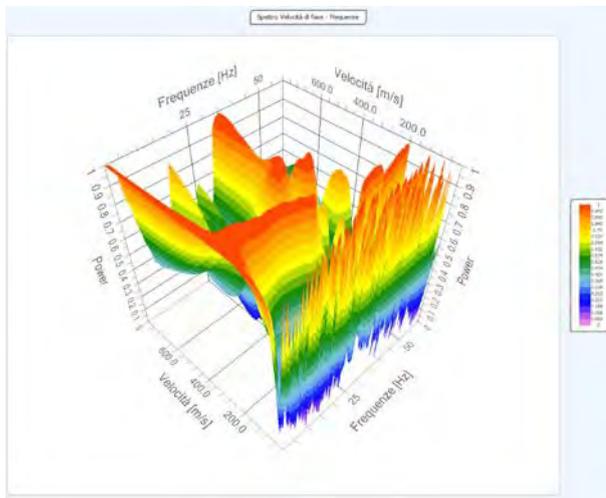
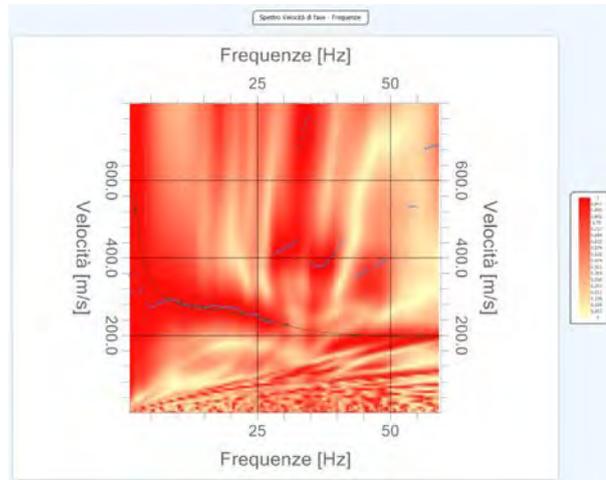


Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.0	526.1	0
2	8.6	293.4	0
3	10.6	283.6	0
4	12.7	276.0	0
5	14.7	272.8	0
6	16.5	267.3	0
7	22.3	255.4	0
8	26.8	240.2	0
9	30.5	227.1	0
10	43.8	201.0	0
11	55.6	199.9	0

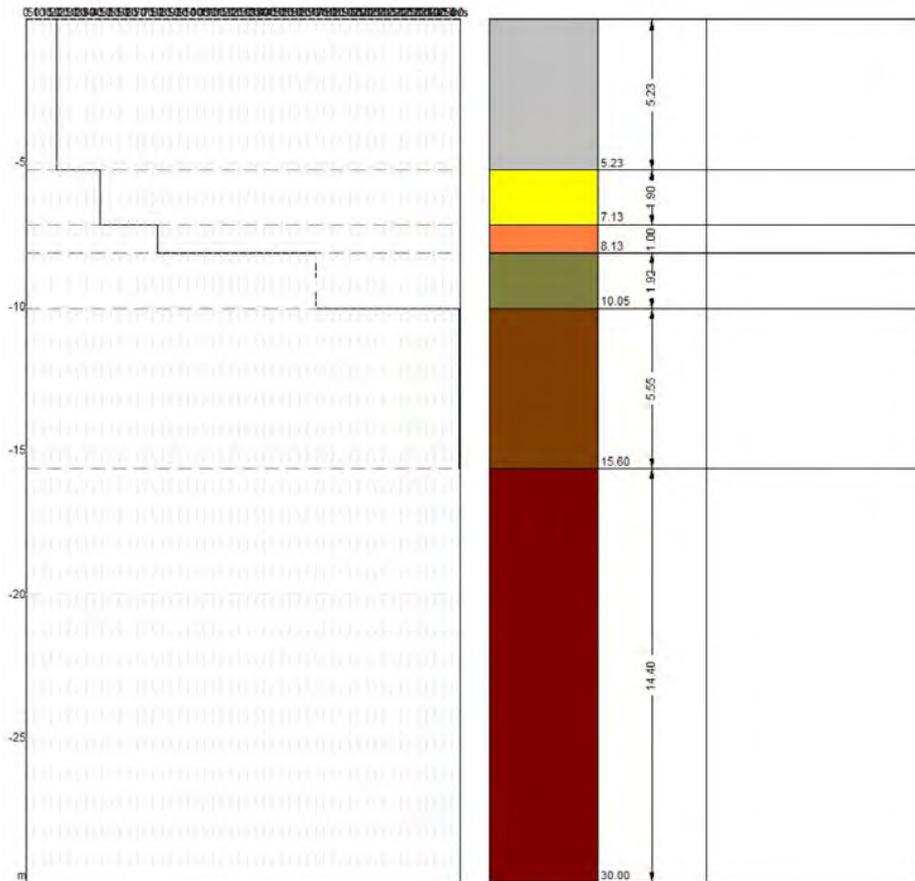


Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.94	2.94	1800.0	0.3	No	391.6	209.3
2		19.35	16.41	1800.0	0.3	No	599.2	320.3
3		43.23	23.88	1800.0	0.3	Si	747.7	399.7
4		oo	oo	1800.0	0.3	Si	1215.7	649.8

Percentuale di errore 0.002 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.006



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	326.33
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < \text{NSPT}_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.94	2.94	209.34	391.64	1800.00	0.30	78.88	276.09	170.91	205.09	N/A	956.53
2	19.35	16.41	320.26	599.15	1800.00	0.30	184.62	646.17	400.01	480.01	N/A	N/A
3	43.23	23.88	399.68	747.74	1800.00	0.30	287.55	1006.41	623.02	747.62	N/A	N/A
4	oo	oo	649.79	1215.65	1800.00	0.30	760.02	2660.06	1646.70	1976.04	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;