

REGIONE PUGLIA

PROVINCIA di FOGGIA

COMUNE di
SERRACAPRIOLA


COMUNE di
SAN PAOLO DI CIVITATE


COMUNE di
TORREMAGGIORE

Proponente	 PACIFICO ACQUAMARINA 2 S.r.l. Sede: Piazza Walther Von Vogelweide, n. 8 - 39100 Bolzano (BZ) Pec: pacificoacquamarina2srl@legalmail.it P.iva: 04351410719	Sviluppo e Coordinamento	 PLAN A 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	Supervisione scientifica piani culturali e monitoraggio	 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: beccarisi@gmail.com Ordine nazionale dei Biologi Albo-Sezione matr. n. AA_067313	Studio di impatto ambientale	 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	Studio idraulico geologico e geotecnico	 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: fabiomastro77@gmail.com Collegio Interprovinciale degli Agrotecnici e degli Agrotecnici lauerati" matr n. 276	Rappresentazioni fotorealistiche	 Arch. Gaetano Fornarelli Via Fulcignano Casale 17 73100 Lecce (LE) cell. 3358758545 E-Mail: forgamet@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	Studio agrario e agro-voltaiico	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	Studio strutturale	 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	Consulenza topografica	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 Elaborato:
96WX1A8_Relazione_Geotecnica.pdf

Descrizione Elaborato:
Relazione geotecnica del progetto definitivo

00	28/10/2022	Progetto definitivo	Geol. N. Di Lella	Ing. A. Mezzina	Pacifico 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 GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	3
3.	Sismicità Dell'area	9
4.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE LOCALI	16
5.	INDAGINI IN SITO	21
6.	RISULTATI INDAGINE GEOFISICA	27
7.	CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO	32
8.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – CALCOLO PORTANZA	35
9.	CONCLUSIONI	38
	ALLEGATO 1 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (SISMICA A RIFRAZIONE)	40
	ALLEGATO 2 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (MASW)	41
	ALLEGATO 3 – RELAZIONE DI CALCOLO	42

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 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 Preliminare – di Fattibilità) 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 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 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.

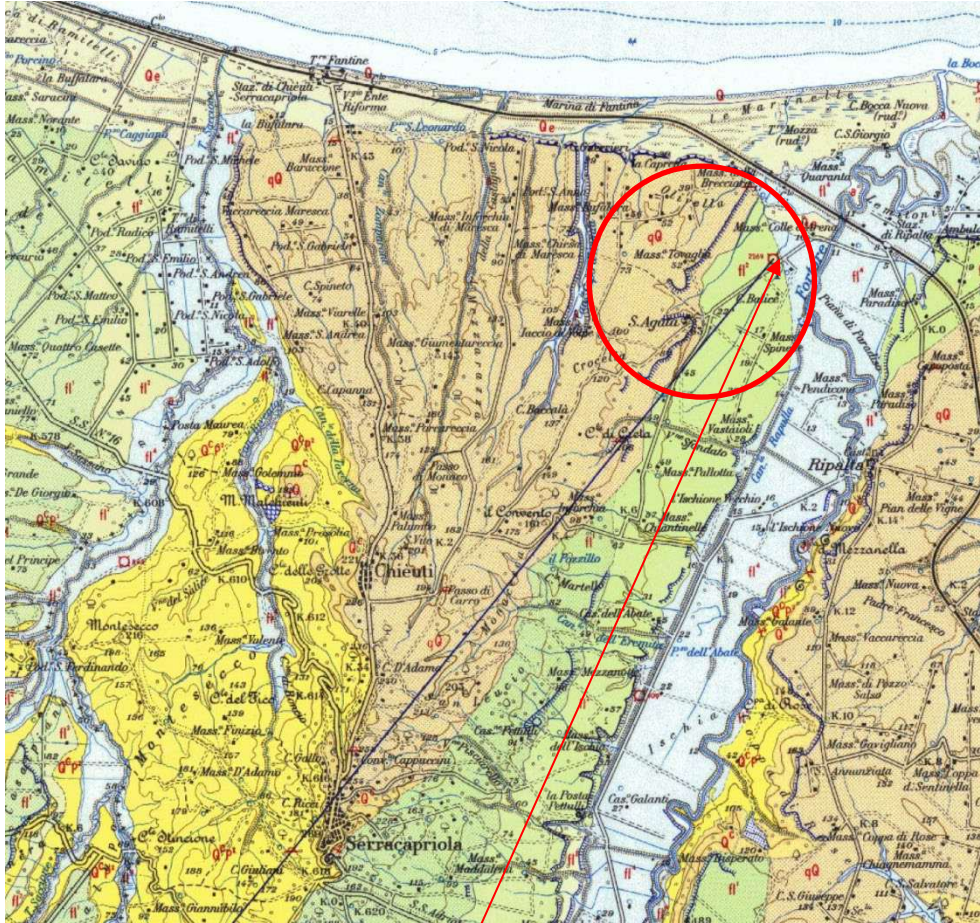
In corrispondenza delle aree di progetto, che corrispondono a cave estrattive di materiali conglomeratici (attive e abbandonate) la formazione conglomeratica, direttamente affiorante in parete e al fondo, si presenta quasi sempre consistente e tenacemente cementata, tanto da permettere l'escavazione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



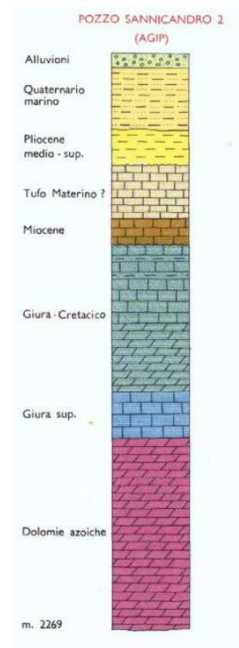
Cava di ghiaia "Abbandonata"



Cava di ghiaia "Attiva"



Stralci Carta Geologica d'Italia – scala 1:100.000

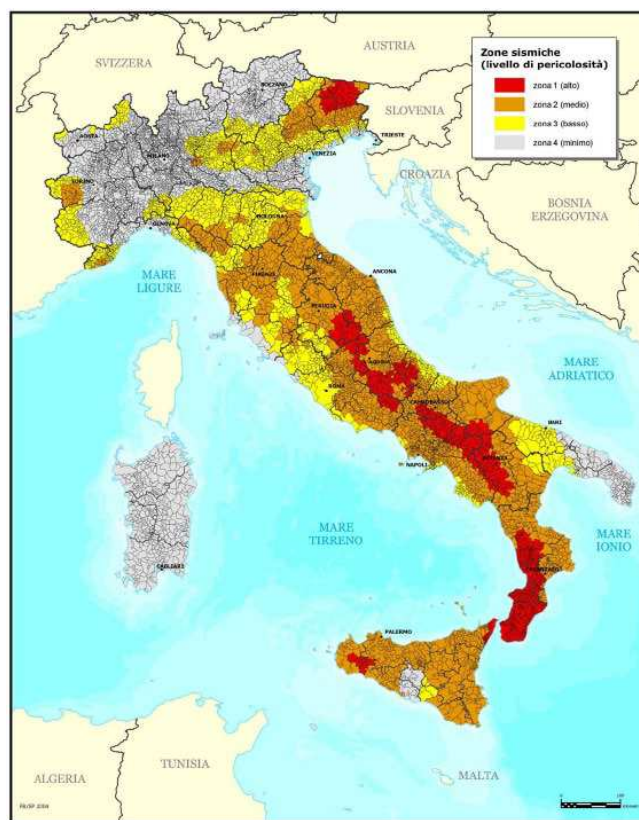


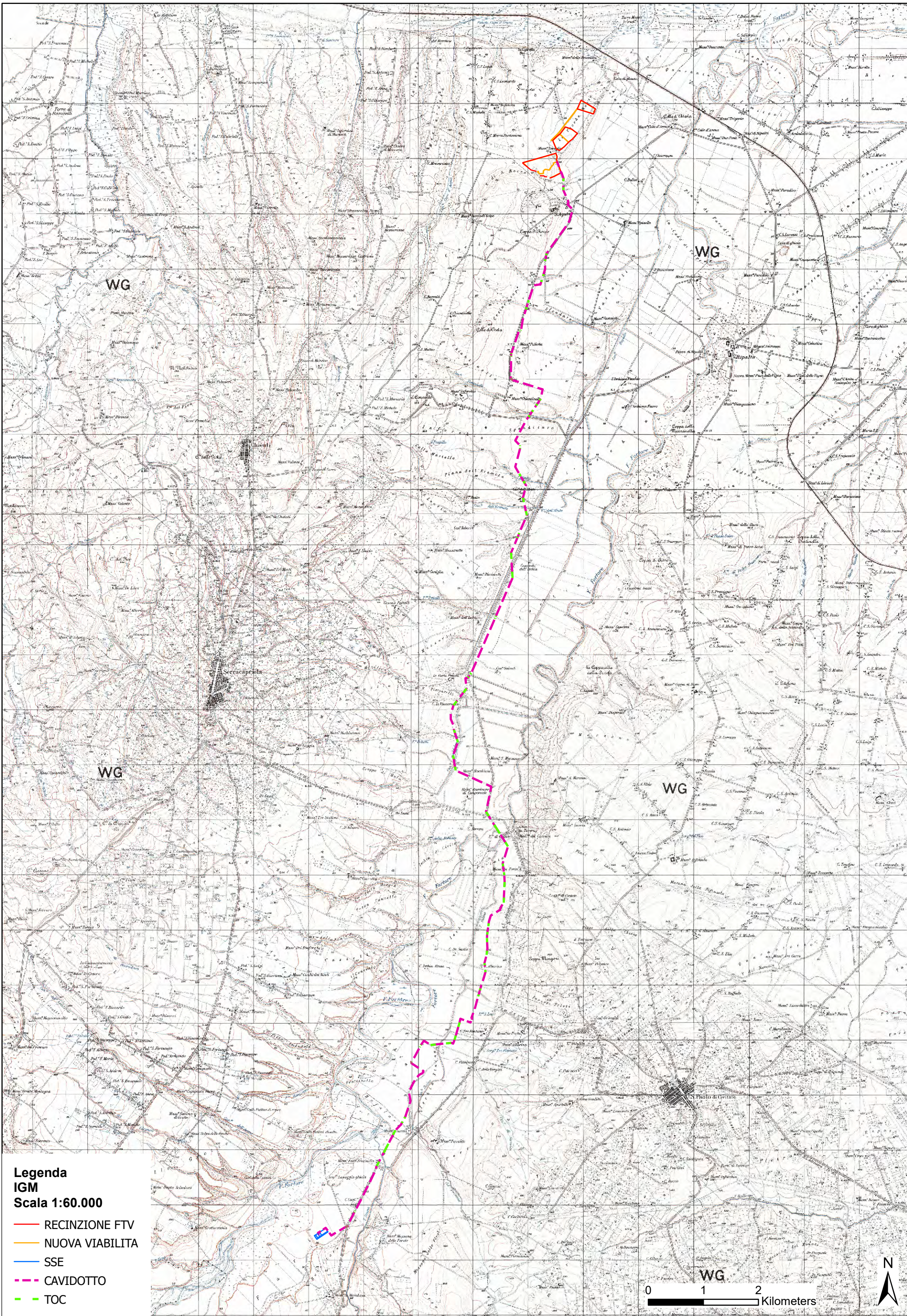
Serie stratigrafica Pozzo AGIP

3. Sismicità Dell'area

Il territorio del comune di Serracapriola così come altri comuni della quasi totalità dei comuni della parte centro orientale della provincia, è classificata come a rischio sismico medio Zona 2.

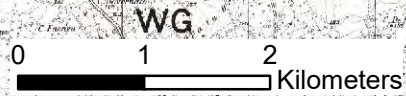
Ciò risulta dall'allegato (classificazione sismica dei comuni italiani) all'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" dal quale risulta che il territorio di Serracapriola è inserito 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: $C=S-2/100 = 0,07$.





Legenda
IGM
Scala 1:60.000

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





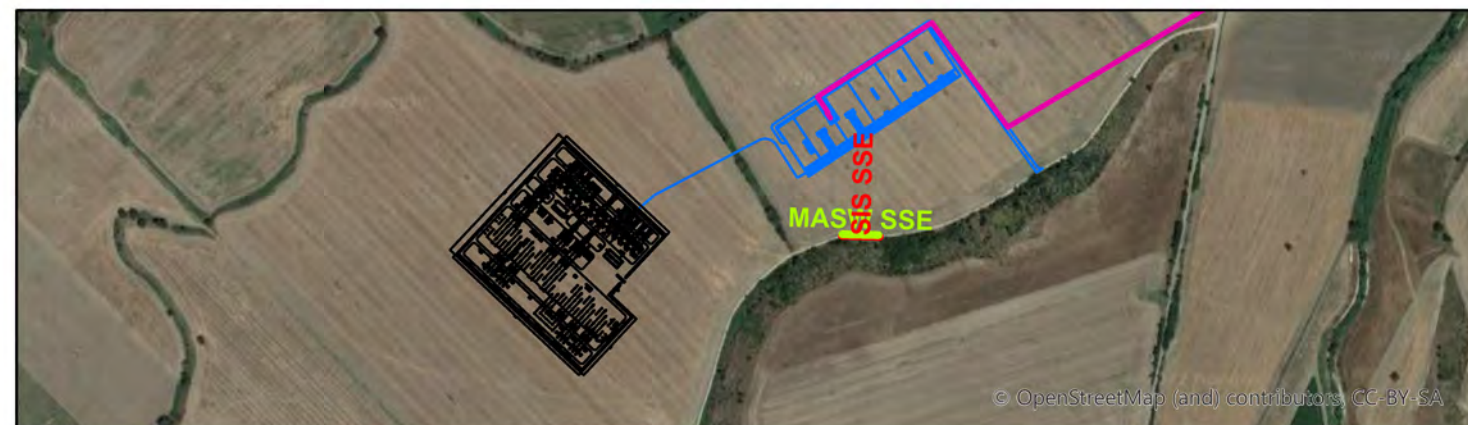
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

0 250 500 Meters



Legenda
UBICAZIONI INDAGINI
Scala 1:10.000

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

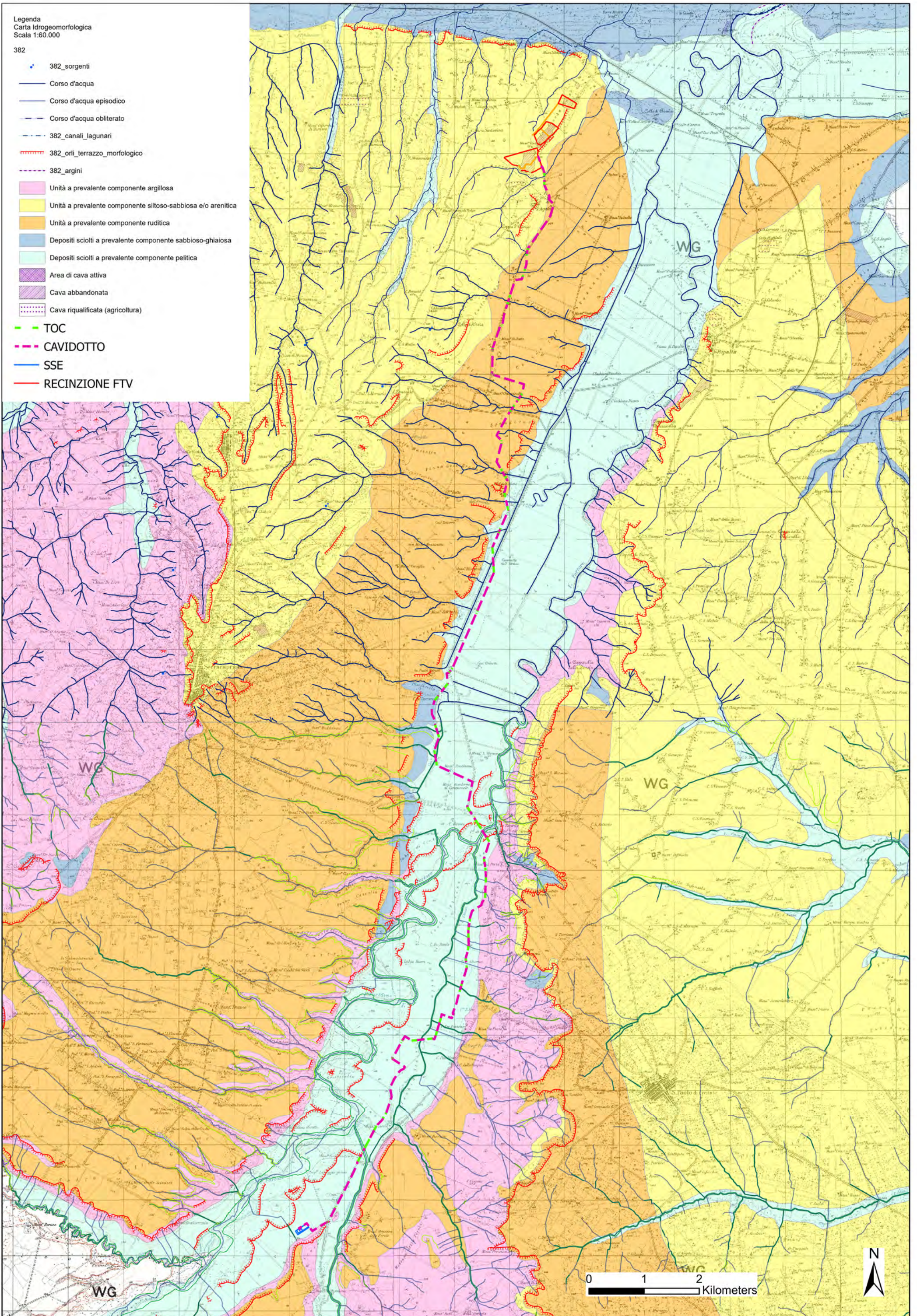


© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

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



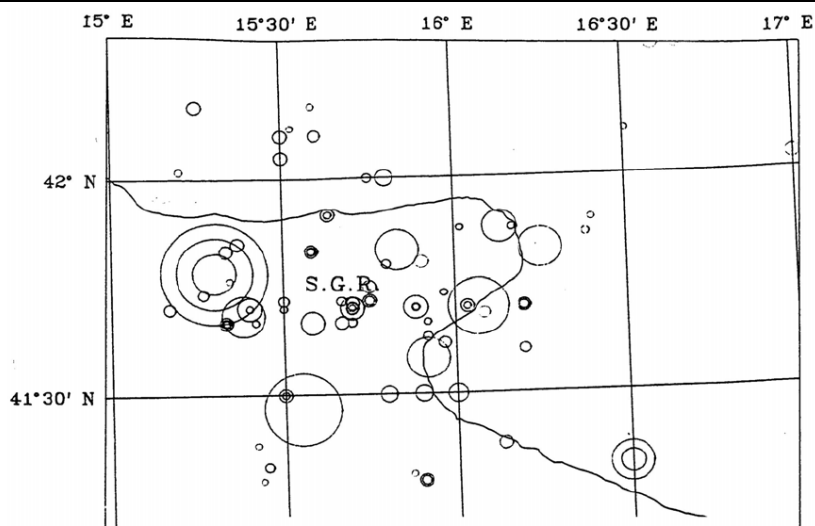
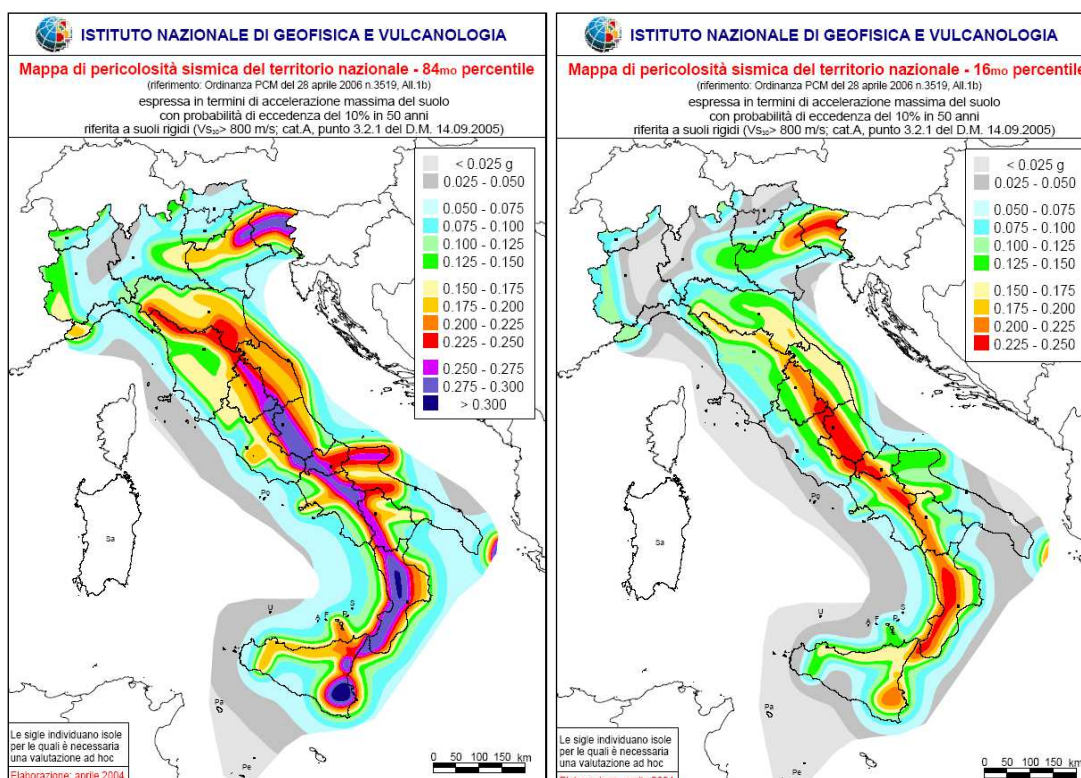


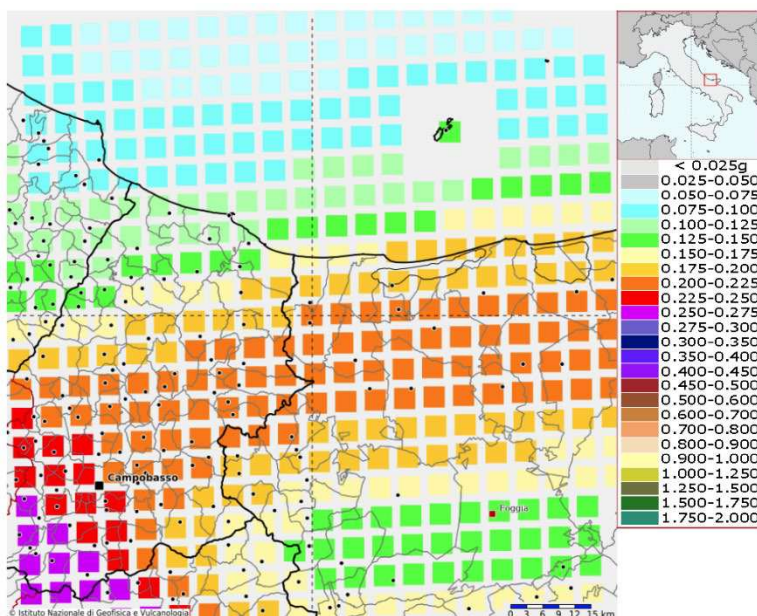
Fig. 3 – Mappa della distribuzione epicentrale nell'area garganica nel periodo 1000-1996: a) con qualunque magnitudo; b) con $M \geq 3,5$.



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)

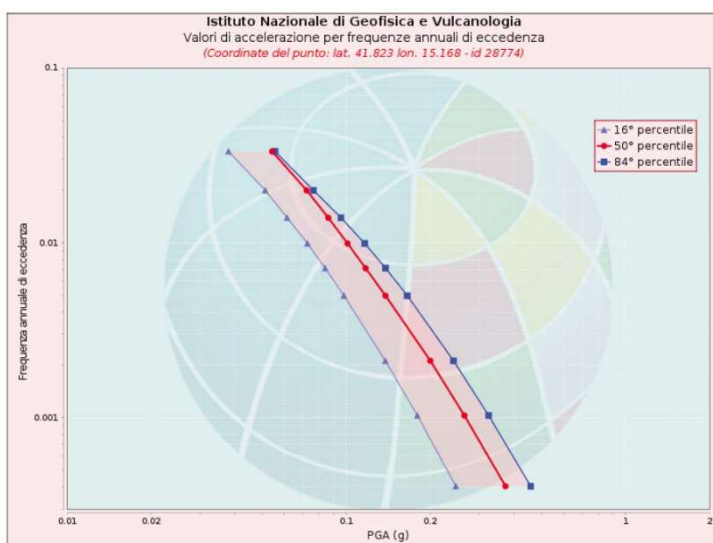
Informazioni sul nodo con ID: 28774 - Latitudine: 41.823 - Longitudine: 15.168



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.

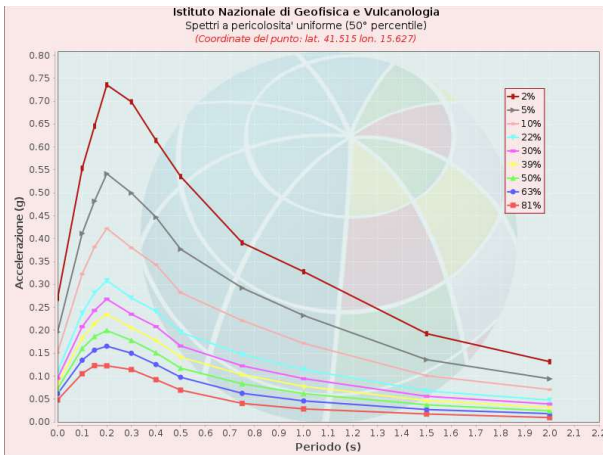


Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.247	0.372	0.458
0.0010	0.180	0.265	0.324
0.0021	0.138	0.200	0.243
0.0050	0.098	0.138	0.166
0.0071	0.084	0.117	0.139
0.0099	0.073	0.101	0.117
0.0139	0.061	0.086	0.096
0.0332	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.

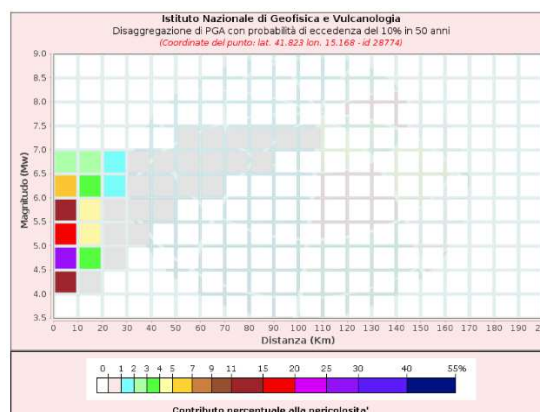


Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.372	0.754	0.877	0.984	0.905	0.783	0.667	0.438	0.331	0.217	0.141
5%	0.265	0.552	0.647	0.709	0.624	0.549	0.445	0.290	0.236	0.145	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

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

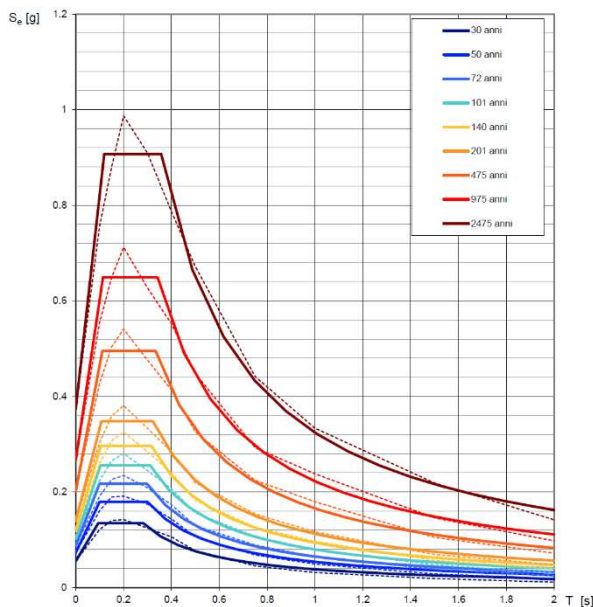
Nodi del reticolo intorno al sito



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

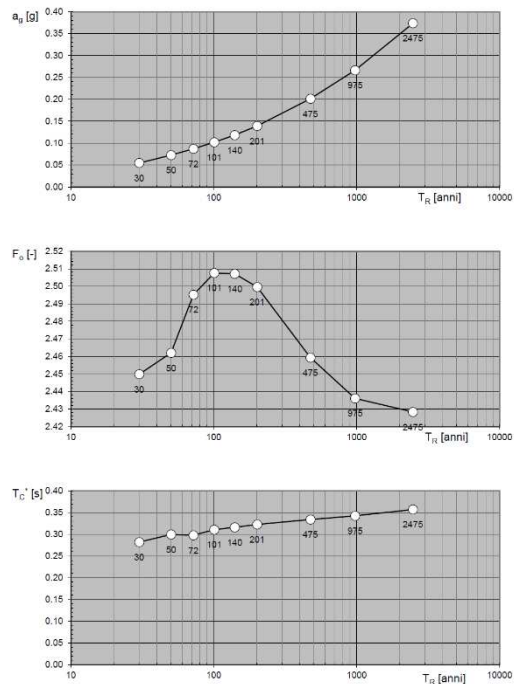
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



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' 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_a , T_c : variabilità col periodo di ritorno T_R



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 di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	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' 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 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{RH} = 81\%$ info
 SLD - $P_{RH} = 63\%$ info

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{RH} = 10\%$ info
 SLC - $P_{RH} = 5\%$ info

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

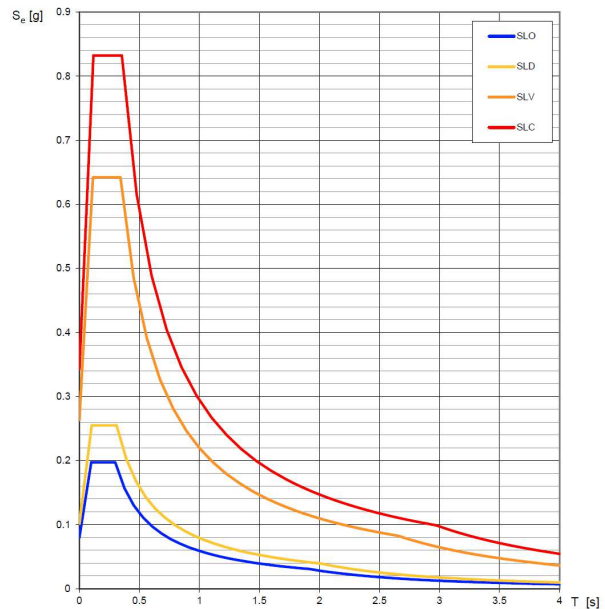
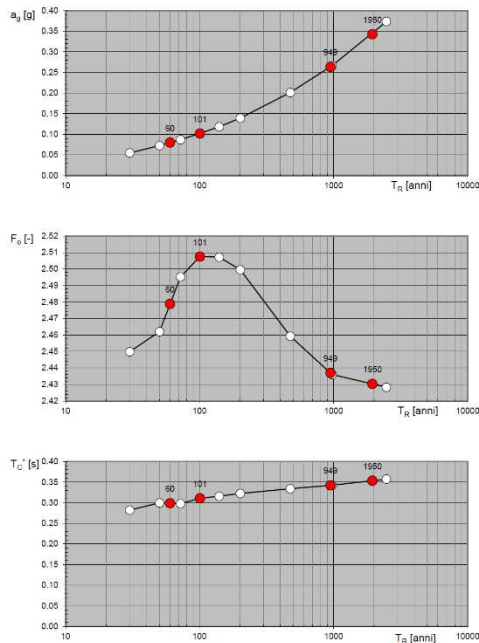
Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

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_0, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	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

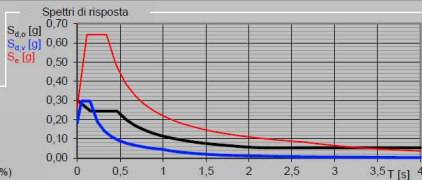
Stato Limite
Stato Limite considerato: **SLV** info

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
(In quota sito, h: 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
 Fattore q_v : **1,5** $\eta = 0,667$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta



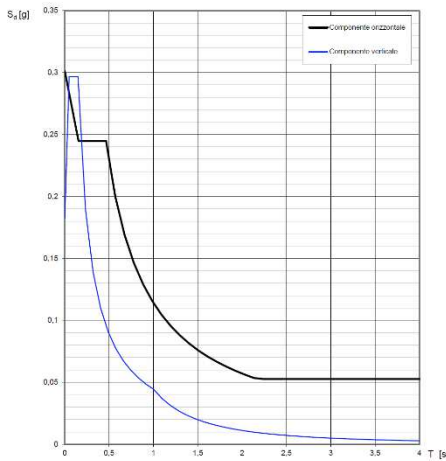
Spettri di risposta

$S_{d,0}$ [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	
SLATO LIMITE	SLV	T_1	0.000 0.251
a_g	0.264 g	T_2	0.100 0.245
F_0	2.437	T_3	0.400 0.245
T_C	0.342 s	T_4	0.600 0.245
η	1.343	T_5	0.800 0.250
S_S	1.143	T_6	0.975 0.100
C_C	1.363	T_7	0.975 0.147
S_T	1.000	T_8	0.900 0.129
α	3.000	T_9	0.845 0.116
Parametri dipendenti		T_{10}	0.091 0.100
ξ	5	T_{11}	1.100 0.010
η	1.000	T_{12}	1.300 0.008
q_s	3	T_{13}	1.404 0.081
q_v	1.5	T_{14}	1.200 0.010
T_C^*	0.342 s	T_{15}	1.012 0.011
T_R	2.054 s	T_{16}	1.117 0.006
Espressioni dei parametri dipendenti		T_{17}	0.981 0.009
$S = S_0 \cdot S_1$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)		T_{18}	0.970 0.008
$\eta = \sqrt{3} \cdot (S + 2) \cdot 0.5 \cdot (\eta - 1) \cdot \alpha$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)		T_{19}	2.100 0.000
$T_d = T_C \cdot 1.3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)		T_{20}	2.237 0.003
$T_C = T_C \cdot \alpha$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)		T_{21}	2.342 0.003
$T_D = 4.0 \cdot a_g \cdot (g - 1.5)$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)		T_{22}	2.448 0.003
Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)		T_{23}	2.550 0.003
$0 \leq T < T_d$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{24}	2.650 0.003
$T_d \leq T < T_C$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{25}	2.750 0.003
$T_C \leq T < T_D$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{26}	2.850 0.003
$T_D \leq T$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{27}	2.950 0.003
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.		T_{28}	3.050 0.003
		T_{29}	3.150 0.003
		T_{30}	3.250 0.003
		T_{31}	3.350 0.003
		T_{32}	3.450 0.003
		T_{33}	3.550 0.003
		T_{34}	3.650 0.003
		T_{35}	3.750 0.003
		T_{36}	3.850 0.003
		T_{37}	3.950 0.003
		T_{38}	4.000 0.003

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	
SLATO LIMITE	SLV	T_1	0.000 0.143
a_g	0.183 g	T_2	0.100 0.137
F_0	2.437	T_3	0.200 0.139
T_C	0.342 s	T_4	0.300 0.145
η	1.343	T_5	0.400 0.149
S_S	1.143	T_6	0.500 0.155
C_C	1.363	T_7	0.600 0.161
S_T	1.000	T_8	0.700 0.167
α	3.000	T_9	0.800 0.173
Parametri dipendenti		T_{10}	0.900 0.179
ξ	5	T_{11}	1.100 0.010
η	1.000	T_{12}	1.300 0.008
q_s	3	T_{13}	1.404 0.081
q_v	1.5	T_{14}	1.200 0.010
T_C^*	0.342 s	T_{15}	1.012 0.011
T_R	2.054 s	T_{16}	1.117 0.006
Espressioni dei parametri dipendenti		T_{17}	0.981 0.009
$S = S_0 \cdot S_1$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)		T_{18}	0.970 0.008
$\eta = \sqrt{3} \cdot (S + 2) \cdot 0.5 \cdot (\eta - 1) \cdot \alpha$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)		T_{19}	2.100 0.000
$T_d = T_C \cdot 1.3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)		T_{20}	2.237 0.003
$T_C = T_C \cdot \alpha$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)		T_{21}	2.342 0.003
$T_D = 4.0 \cdot a_g \cdot (g - 1.5)$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)		T_{22}	2.448 0.003
Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.11)		T_{23}	2.550 0.003
$0 \leq T < T_d$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{24}	2.650 0.003
$T_d \leq T < T_C$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{25}	2.750 0.003
$T_C \leq T < T_D$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{26}	2.850 0.003
$T_D \leq T$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T}{T_1} + \left(\frac{T}{T_2} - \frac{T}{T_1} \right) \right]$		T_{27}	2.950 0.003
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.		T_{28}	3.050 0.003
		T_{29}	3.150 0.003
		T_{30}	3.250 0.003
		T_{31}	3.350 0.003
		T_{32}	3.450 0.003
		T_{33}	3.550 0.003
		T_{34}	3.650 0.003
		T_{35}	3.750 0.003
		T_{36}	3.850 0.003
		T_{37}	3.950 0.003
		T_{38}	4.000 0.003

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. 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.

4.1. 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-calabriana 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.

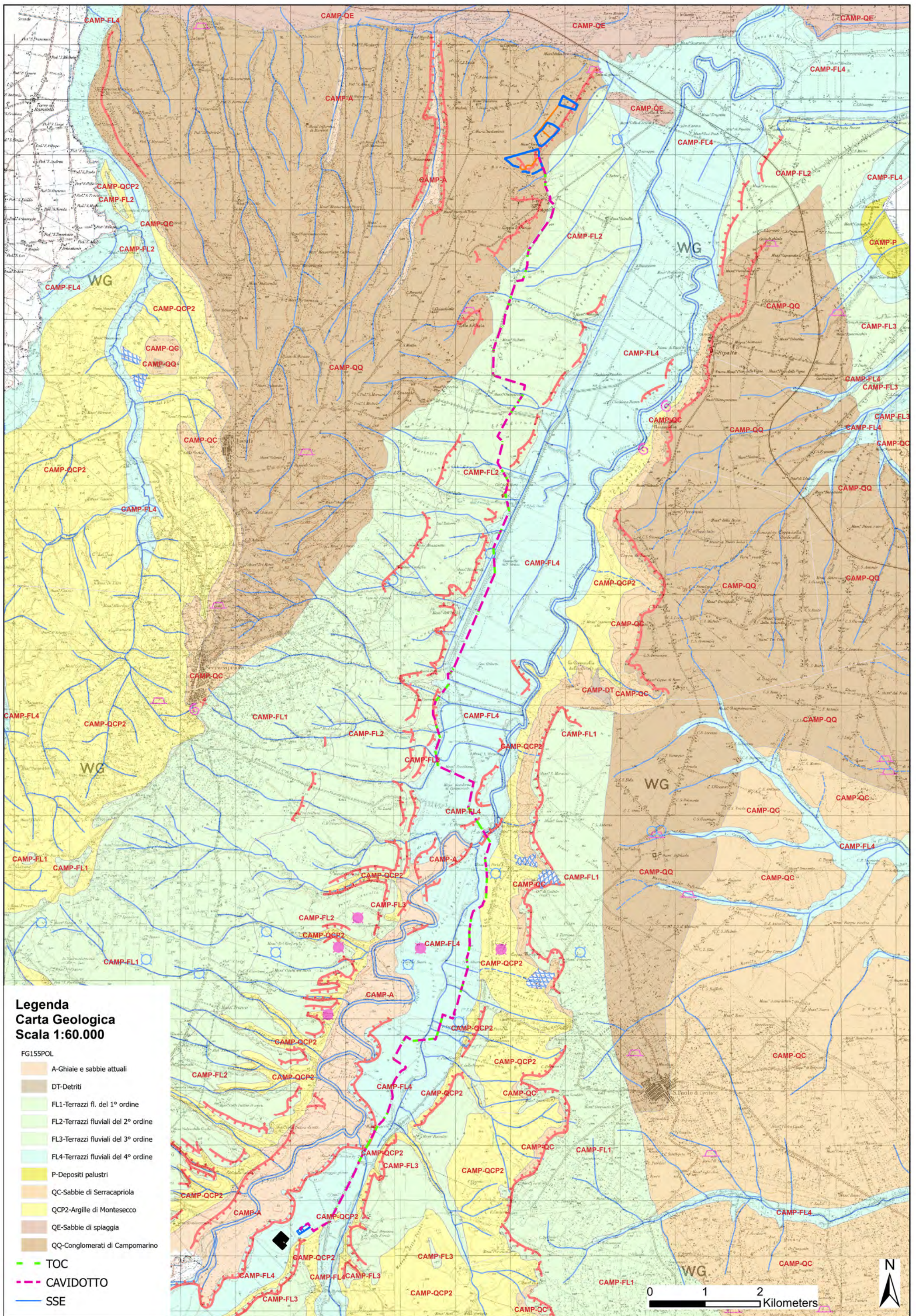
La disposizione morfologica, caratterizzata da un marcato fenomeno di terrazzamento, testimonia un'origine prevalentemente fluviale per questi depositi. Il ripiano del terrazzo è particolarmente evidente ed esteso, nell'ambito del foglio, lungo il F. Fortore, ove, da una quota di circa 80 m sull'attuale 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.



**Legenda
Carta Geologica
Scala 1:60.000**

FG155POL

- A-Ghiaie e sabbie attuali
- DT-Detriti
- FL1-Terrazzi fl. del 1° ordine
- FL2-Terrazzi fluviali del 2° ordine
- FL3-Terrazzi fluviali del 3° ordine
- FL4-Terrazzi fluviali del 4° ordine
- P-Depositi palustri
- QC-Sabbie di Serracapriola
- QCP2-Argille di Montesecco
- QE-Sabbie di spiaggia
- QQ-Conglomerati di Campomarino

- TOC
- CAVIDOTTO
- SSE

0 1 2 Kilometers



1. 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), si è proceduto alla esecuzione di indagini geofisiche in corrispondenza 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, abbinati al presente progetto, parte di una campagna d'indagine più estesa sull'area.

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 1,5 m. dal p.c., si è ritenuto sufficiente eseguire solo una campagna d'indagine di tipo geofisico, rimandando alle fasi progettuali successive un eventuale approfondimento di indagini puntuali e specifiche.

1.1. 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

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

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

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

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

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

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

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

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 (con AGC) - 2 canali verticalizzati nel v. sic. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risposta)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni in pacchetto - fino a 128 misurazioni (128000) con 24 can. - fino a 31.25 misurazioni (312500) con 6 can. - fino a 6400 misurazioni (64000) con 24 can. - fino a 500 misurazioni (50000) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27000 campioni @ 24 can. (~4sec) 175000 campioni @ 3 can. (~4sec) Numero di campioni limitati per acquisizioni continue
Diagnostica Presamp.	1000 dB, retrocontrollata via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	20KOhm @ 22Hz
Range Dinamico	144dB (elettronici) >117dB (elettronico, misurato @1KHz)
Distorsione	0.007% @ 10KHz
Largh. Banda 3dB	dalla DC a 6.8KHz @ 32KHz - dalla DC a 0.21 KHz @ 1KHz
Largh. Banda 1% - 0.1dB	dalla DC a 3.5 KHz @ 32KHz - dalla DC a 0.11 KHz @ 1KHz
Filtri	Piattaforma 125 200 600 1000Hz Passa Basso 10 20 30 40 50 60 80 100 150 200 300 400Hz
Filtri "Notch"	50 60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofoni con/ senza piezoelettrico), trigger TTL, sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggler-trace (formato osciloscopio) / area variabile
Monitor	Tutti i canali + trigger - display in tempo reale
Casale ADI (qualificati)	1x canale trigger o qualsiasi altro segnale di ingresso
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC (escluso dal fornitore Client)
Formato Dati	8802 (dati formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp. operativa/consiglio	-30°C to +80°C
Umidità	60% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	26cm x 19.5cm x 11cm
Peso	2 Kg

1.2. 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".

2. 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.

2.1. 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 - ghiaie;	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

2.2. 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.

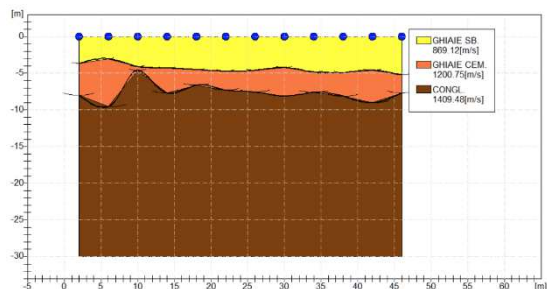
Le relative sezioni sismostratigrafiche elaborate sono mostrate negli allegati a corredo del presente rapporto.

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.

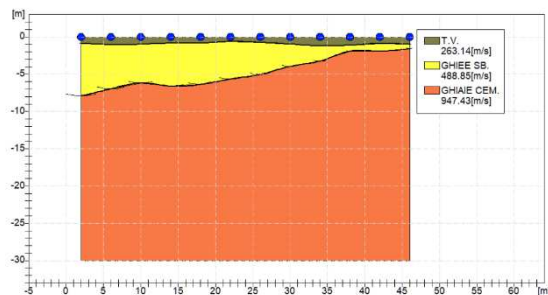
Si riportano di seguito i parametri dinamici ottenuti dalla campagna d'indagine geofisica per ogni singolo stendimento eseguito.

MODULI DINAMICI N1			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	869	1200	1410
Velocità Onde S (m/s):	354	576	753
Modulo di Poisson:	0,40	0,35	0,30
Peso di volume (KN/m ³):	18,74	19,40	19,82
Peso di volume (g/cm ³):	1,91	1,98	2,02
SPESORE MEDIO STRATO (m)	4,00	4,00	22,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	6844	18087	30415
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	671	1774	2983
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	239	656	1146
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	23	64	112
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	11466	20138	25409
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	1124	1975	2492
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	824	2179	3664
POROSITA' % (correlazione Rzhesvsky e Novik (1971) (%))	42,63	39,53	37,57
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	1443	2849	4018
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	1774	3502	4940
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ²)	6633	11174	14924
Frequenza dello strato	22,13	36,00	8,56
Periodo dello strato	0,05	0,028	0,117
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	10,02	32,24	61,33
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	98,29	316,17	601,48
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	5,01	16,12	30,67
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	49,15	158,09	300,74
φ° (Angolo di Attrito °)	36,60	41,92	45,92
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	1,30	2,17	2,85



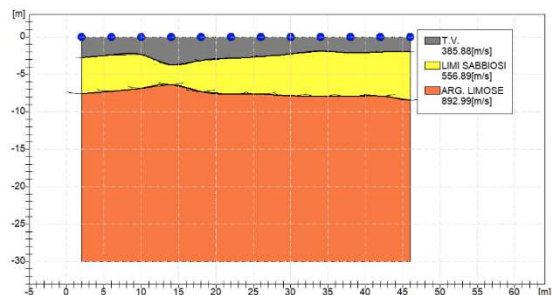
PROFILO SISMICO N1												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
4,00	869	354	0,40	1,911	6844	824	239	11466	1774	1,30	0,52	37
8,00	1200	576	0,35	1,978	18087	2179	656	20138	3502	2,17	0,87	42
30,00	1410	753	0,30	2,021	30415	3664	1146	25409	4940	2,85	1,14	46

MODULI DINAMICI BB-4			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	263	488	947
Velocità Onde S (m/s):	107	215	455
Modulo di Poisson:	0,40	0,38	0,35
Peso di volume (KN/m ³):	16,53	17,98	18,89
Peso di volume (g/cm ³):	1,69	1,83	1,93
SPESORE MEDIO STRATO (m)	1,00	6,00	23,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	552	2386	10988
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	54	234	1078
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	19	85	399
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	2	8	39
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	927	3301	12204
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	91	324	1197
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	66	287	1324
POROSITA' % (correlazione Rzhesvsky e Novik (1971) (%))	48,29	46,19	41,90
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	117	437	1728
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	143	536	2124
RIGIDITA' SISMICA (m/sec · KN/m ³)	1768	3865	8597
Frequenza dello strato	26,75	8,96	4,95
Periodo dello strato	0,04	0,112	0,202
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	0,57	3,03	18,31
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	5,56	29,70	179,53
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	0,28	1,51	9,15
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	2,78	14,85	89,77
φ° (Angolo di Attrito °)	21,48	25,43	31,62
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,35	0,77	1,70



PROFILO SISMICO BB-4												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
1,00	263	107	0,40	1,685	552	66	19	927	143	0,35	0,14	21
7,00	488	215	0,38	1,833	2386	287	85	3301	536	0,77	0,31	25
30,00	947	455	0,35	1,927	10988	1324	399	12204	2124	1,70	0,68	32

MODULI DINAMICI SSE			
	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Velocità Onde P (m/s):	385	556	892
Velocità Onde S (m/s):	185	267	428
Modulo di Poisson:	0,35	0,35	0,35
Peso di volume (KN/m ³):	16,77	17,11	17,78
Peso di volume (g/cm ³):	1,71	1,74	1,81
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	2,50	5,50	22,00
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Kg/cm ²)	1612	3427	9155
MODULO DI YOUNG DINAMICO E _{din} (Mpa o Nmm ²)	158	336	898
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Kg/cm ²)	59	124	332
MODULO DI TAGLIO DINAMICO G _{din} (Mpa o Nmm ²)	6	12	33
MODULO DI BULK (K) (Kg/cm ²) (mod. di incompressibilità di volume)	1790	3812	10204
MODULO DI BULK (K) (Mpa o Nmm ²)	176	374	1001
MODULO DI YOUNG STATICO E _{stat} (Kg/cm ²)	194	413	1103
POROSITA' % (correlazione Rzhesvsky e Novik (1971) (%))	47,15	45,55	42,41
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (valido per le terre)	253	539	1443
MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (Kg/cm ²) (Relazione di Navier)	311	663	1774
RIGIDITA' SISMICA (m/sec - KN/m ³)	3102	4569	7612
Frequenza dello strato	18,50	12,14	4,86
Periodo dello strato	0,05	0,082	0,206
B (Larghezza fondazione in m.)	0,3	0,3	0,3
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in Kg/cm ³)	2,11	5,09	15,81
Kv (Coeff. Di Winkler Vert. in N/cm ³)	20,71	49,95	155,02
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in Kg/cm ³)	1,06	2,55	7,90
Kh (Coeff. Di Winkler Orizz. in N/cm ³)	10,35	24,98	77,51
φ° (Angolo di Attrito °)	25,78	27,58	31,09
Cu (Coesione non drenata Cu Kg/cm ²)	0,65	0,97	1,59



PROFilo SISMICO SSE												
Prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ	γ (g/cm ³)	E(din.) (Kg/cm ²)	E(stat.) (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	Mod. Edom. (Kg/cm ²)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	φ°
2,50	385	185	0,35	1,710	1612	194	59	1790	311	0,65	0,26	26
8,00	556	267	0,35	1,745	3427	413	124	3812	663	0,97	0,39	28
30,00	892	428	0,35	1,813	9155	1103	332	10204	1774	1,59	0,64	31

3. 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.II 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.

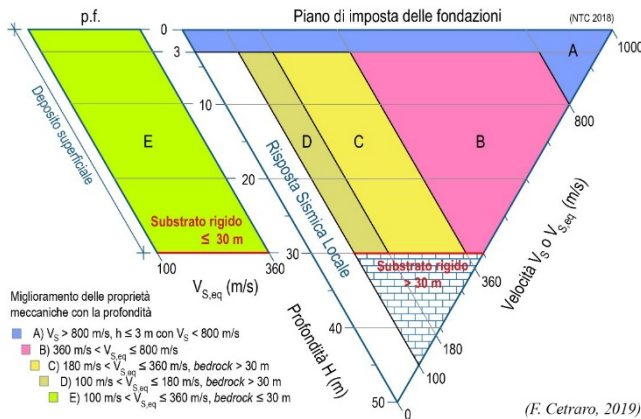


Figura 1 – Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

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.

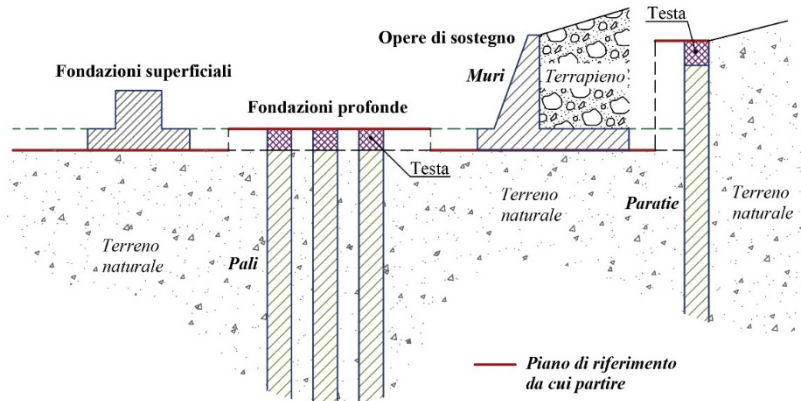


Figura 2 – Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

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 0,00 m dal p.c.

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

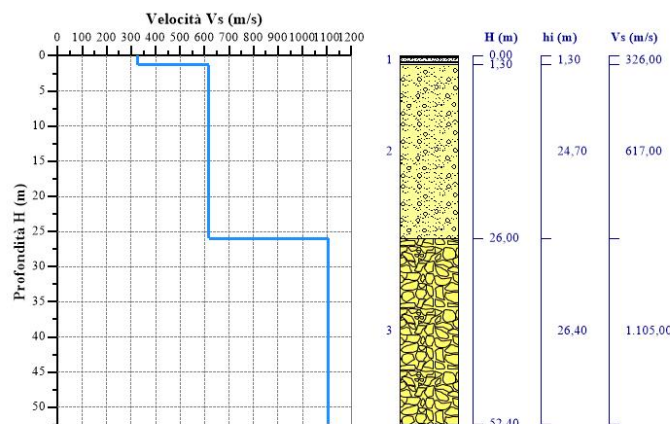
Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, VS = velocità onde di taglio, Hcalc e hcalc sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

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)

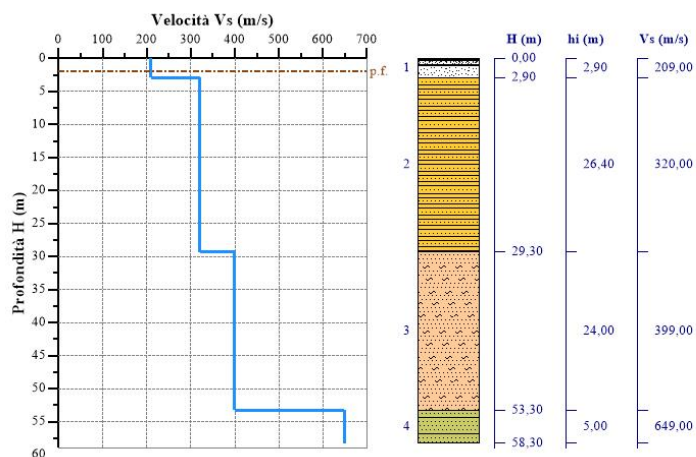
Per la sottostazione è stato valutato una profondità del piano di posa posto alla profondità max di 2,0 m. da p.c.

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.



4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – CALCOLO PORTANZA

Per le opere comprendenti il progetto si prevede la realizzazione di n. 11 cabine di consegna e di smistamento locale.

Le dimensioni generali di tutte queste, è prevista la realizzazione di una fondazione di tipo a platea posizionata ad una profondità dal p.c. di circa 1,8 m, di spessore pari a circa 0,30 m, su cui posizionare i moduli locali tecnici che conterranno le apparecchiature.

Le dimensioni della piastra di fondazione saranno di 15x3x0,3 posizionata appunto a 1,80 m. dal p.c.

Si è quindi proceduto ad eseguire una verifica della capacità portante del piano di fondazione considerando un profilo geotecnico del terreno, sulla base dei risultati ottenuti nella campagna d'indagine, che vede un primo strato di spessore pari a circa 1,0/1,5 m., rappresentato da terreno vegetale e brecce ghiaiose; un secondo strato che arriva fino a circa 6/7 m. dal p.c., rappresentato essenzialmente da ghiaie in matrice sabbiosa più o meno cementate; un terzo strato, composto essenzialmente da materiale conglomeratico cementato.

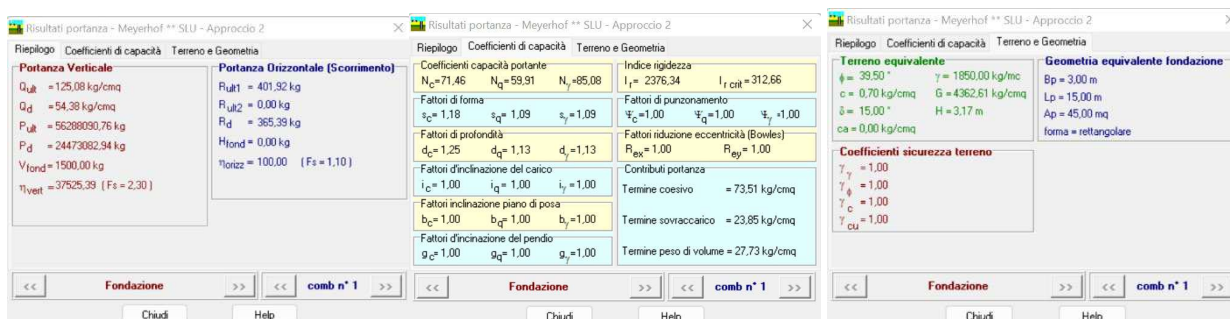
Per il calcolo della capacità portante del piano di fondazione si è voluto verificare, in prima approssimazione la formulazione di Meyerhoff applicata quindi ad una fondazione a platea di impronta pari a $15 \times 3 = 45 \text{ mq}$, il cui piano di posa sia posto ad una profondità di 1,8 m. dal p.c., in corrispondenza del 1° orizzonte.

Dall'applicazione di tale formulazione risulta un carico limite ultimo

$$Q_{ult} = 125 \text{ kg/cmq}$$

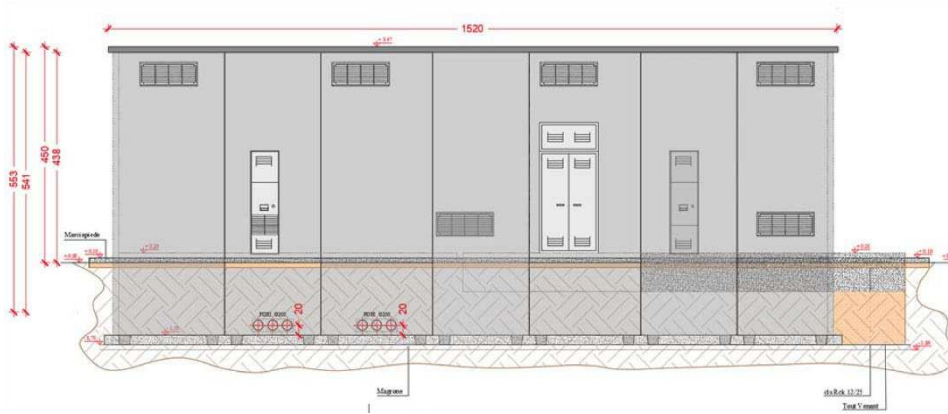
Ricavando un valore della Qd di esercizio pari a

$$Q_d = 54,38 \text{ kg/cmq}$$

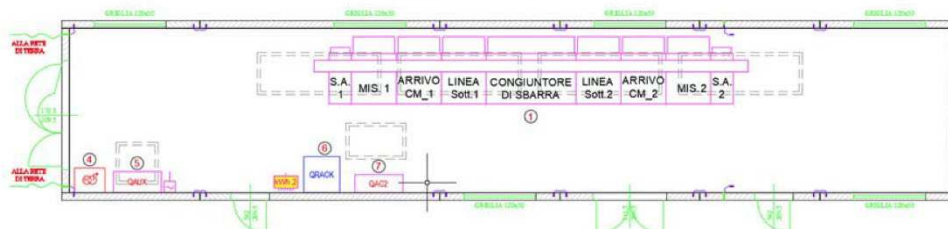


Confrontando i valori ottenuti nella presente relazione (Q_{ult}) con i carichi (Q_{eserc}) indicati nella relativa relazione di calcolo, i carichi trasmessi sono inferiori a quelli ammissibili e quindi compatibili con il tipo d'intervento di progetto.

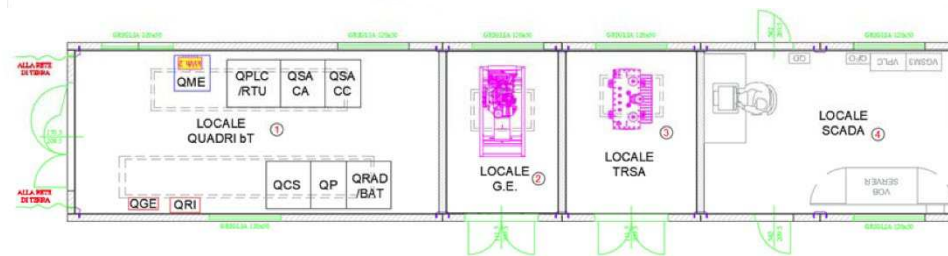
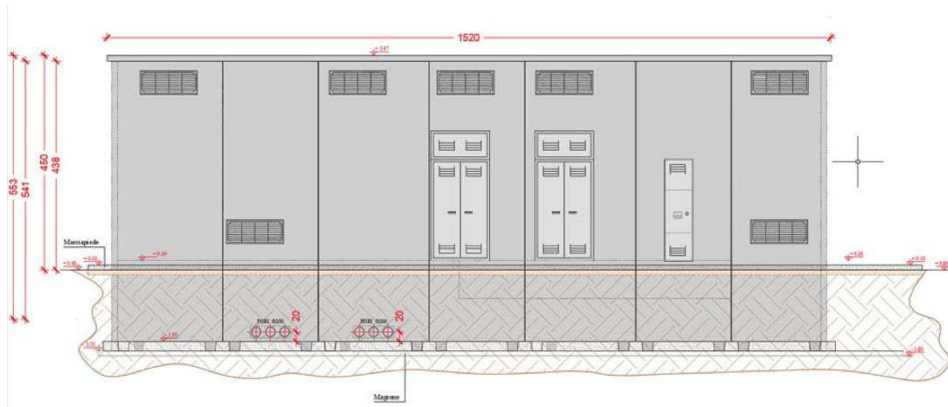
In allegato la relazione di calcolo.



CABINA MASTER



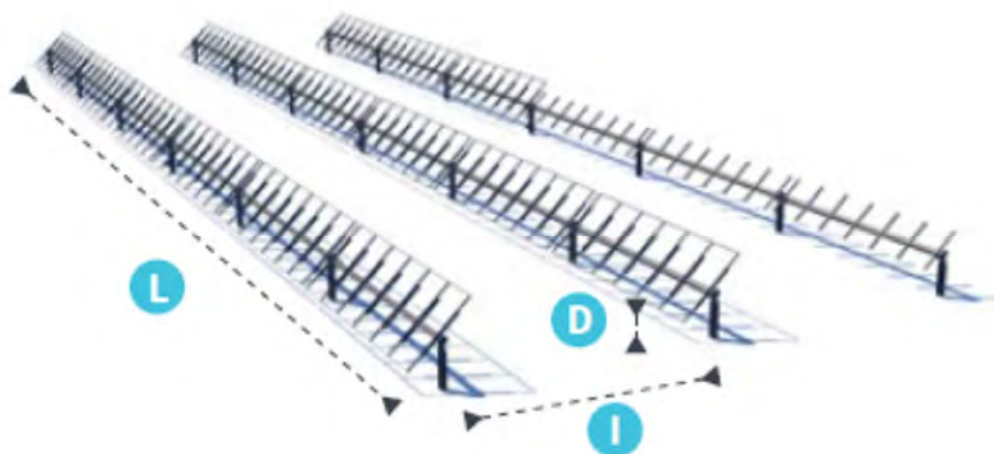
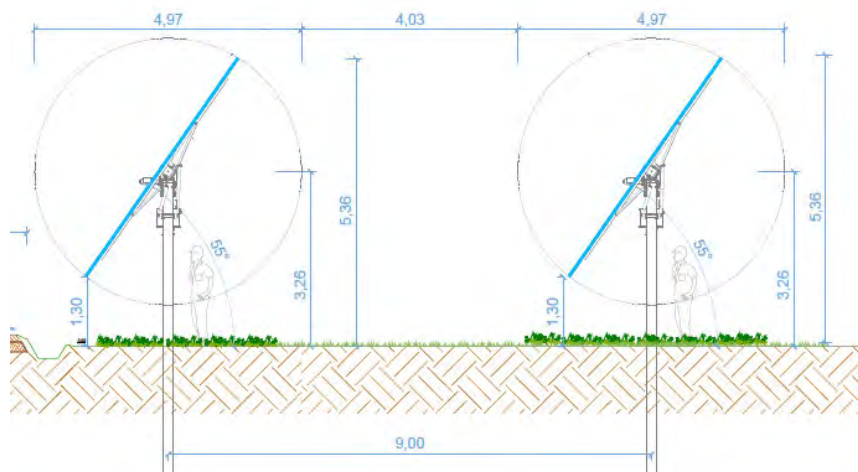
CDR



CLT

Oltre alle cabine tecniche e di consegna è prevista l'infissione di pali di sostegno dei pannelli fotovoltaici in elevazione su di essi.

I pali, costituiti da pali in acciaio, di diametro pari a 0,22 m, saranno infissi nel terreno per una profondità di circa 3,0 m. dal p.c. e si eleveranno per un'altezza di circa 2,5/2,9 m.; alla loro sommità verranno posizionate le stringhe di pannelli fotovoltaici, capaci di eseguire rotazione programmata per l'inseguimento della radiazione solare.



CONFIGURAZIONE PROGETTUALE

Interdistanza (I) [m] 9

Lunghezza blocco inseguimento (L) [m] 15,27 (26 mod.) – 30,14 (52 mod.)

Altezza dal terreno (D_{min}) [m] Min 1,3m

Altezza dal terreno (D_{max}) [m] Max. 5,36m

Per i supporti delle stringhe (pali) si è proceduto ad eseguire una verifica di portanza della struttura di sostegno configurando il sistema secondo quanto previsto in progetto.

Da tale verifica si ottenuto riscontro positivo in merito.

In allegato il report di calcolo relativo.

5. 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".

Sulla base di tale schematizzazione, definiti i parametri geotecnici tipo per ogni singolo strato, trattandosi di fase di progettazione definitiva, è stata eseguita una verifica di portanza e cedimento per un palo (maggiormente sollecitato) di diametro 0,22 m, spinto fino alla profondità di 3,0 m. dal p.c., in corrispondenza delle ghiaie/conglomerato più o meno cementate.

L'analisi eseguita ha portato a verifica soddisfatta per una siffatta struttura, che potrebbe essere utilizzata come struttura di fondazione profonda per il supporto delle stringhe dei pannelli fotovoltaici.

In considerazione di ciò è doveroso evidenziare che tutte le valutazioni e le assunzioni fin qui espresse andranno necessariamente verificate, preliminarmente alla definizione della fase esecutiva di progetto, sulla base di una specifica ed approfondita campagna di indagini geognostiche e geotecniche, in situ e di laboratorio, onde pervenire ad una oggettiva ed esaustiva definizione del modello geotecnico di riferimento puntuale per le singole opere di progetto e della tipologia fondazionale più idonea per ogni singola opera.

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.

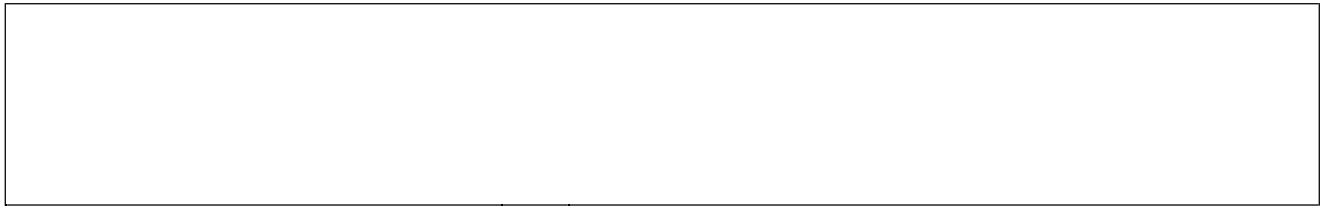
Serracapriola, Ottobre 2022



Il Geologo Incaricato

Dott. Di Lella Nazario

ALLEGATO 1 – RAPPORTO INDAGINE GEOFISICA (SISMICA A RIFRAZIONE)

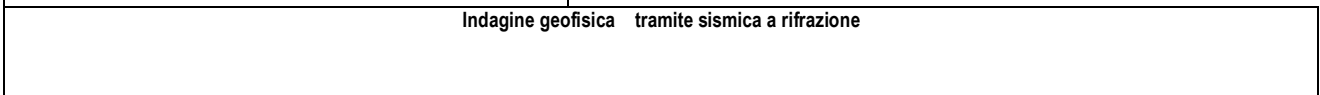


Geol. Nazario DI LELLA STUDIO DI GEOLOGIA C.FISC: DLLNZR64L01054R P.IVA: 02101530711	Via: via Ripalta 21/A 71010 Lesina - FG Tel: 0882.218822 - 328.3250902 Fax: 0882.218822 Email: geol.dilella@gmail.com Web:
---	---

FV Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
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 o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

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

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

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

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

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

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

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

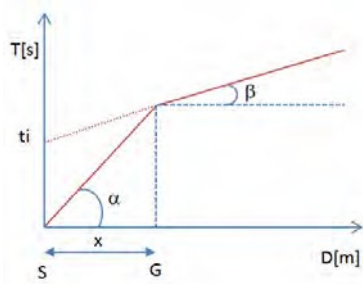
$$T = x_i / V_1$$

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

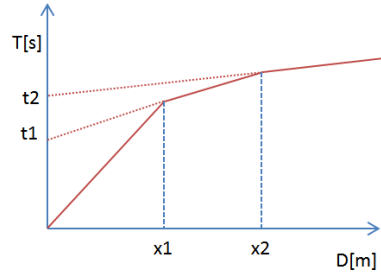
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

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

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



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

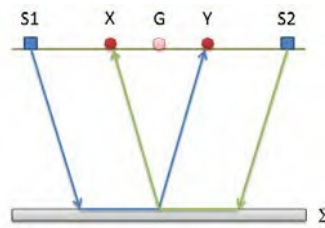


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

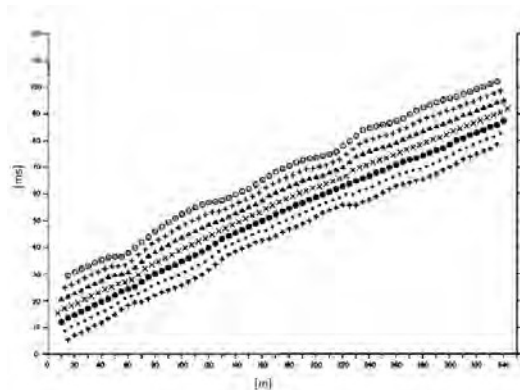
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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

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

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



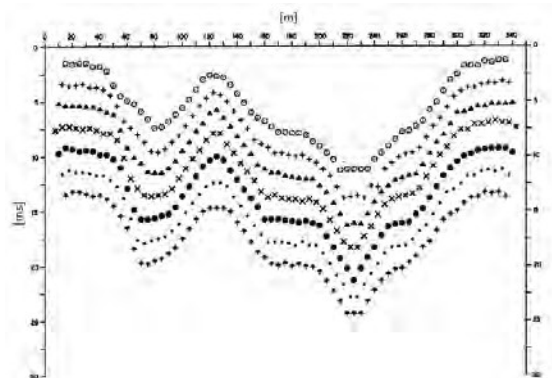
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato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

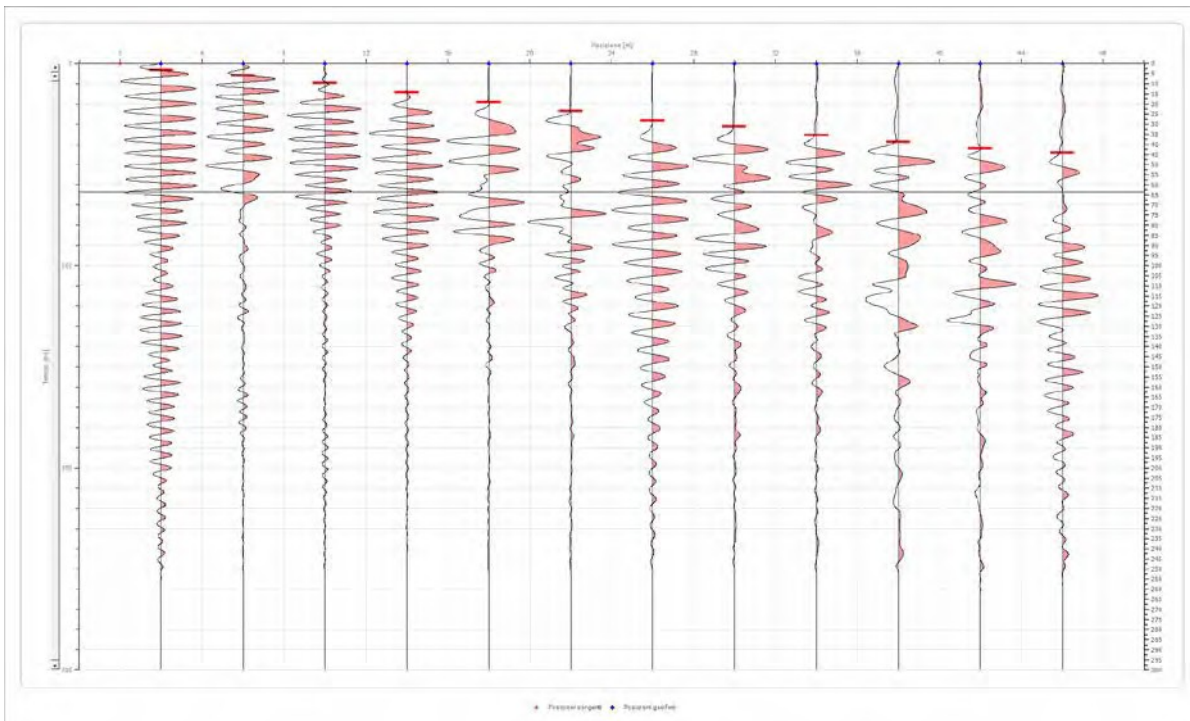
Geometria geofoni

	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

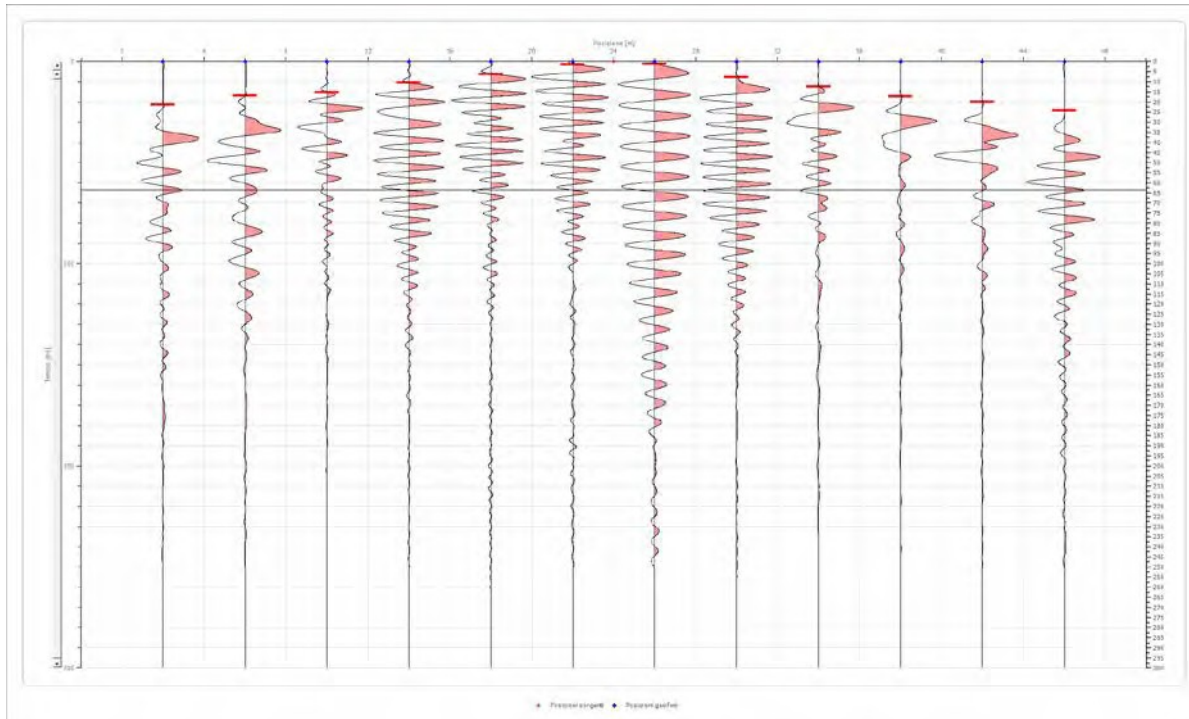
Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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]

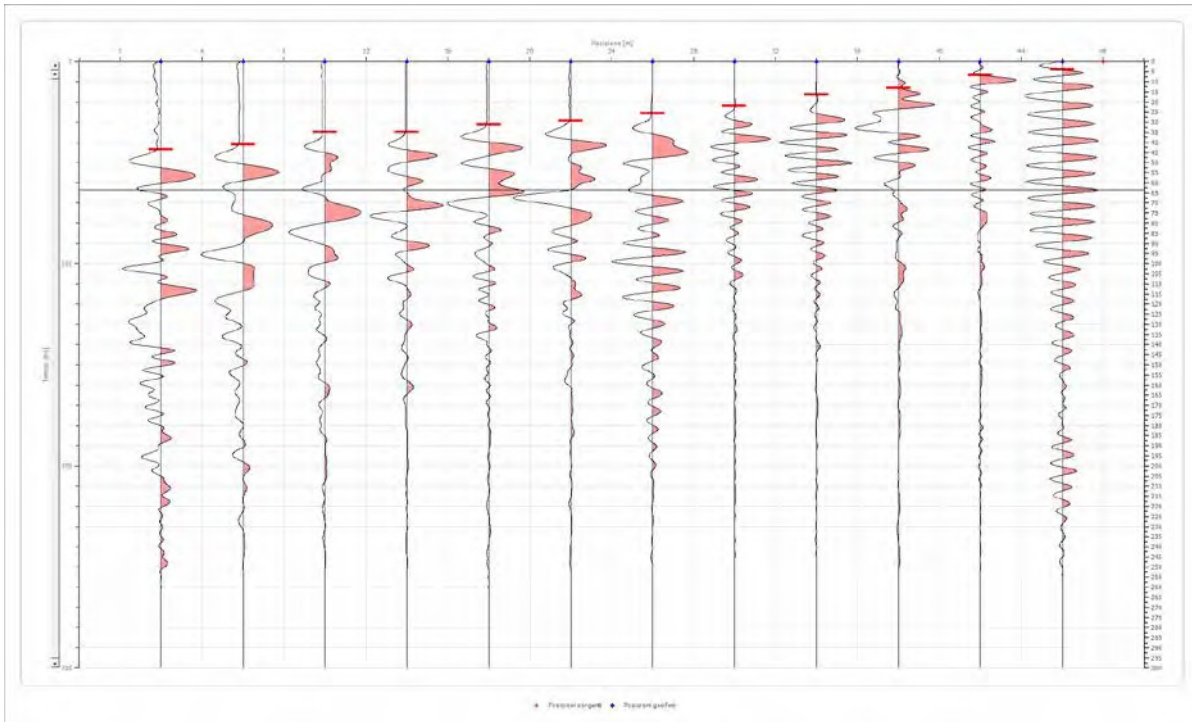


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	21.4499
6.0	16.9811
10.0	15.1936
14.0	10.4270
18.0	6.2562
22.0	1.4896
26.0	1.1917
30.0	7.7458
34.0	12.5124
38.0	17.2790
42.0	20.0000
46.0	24.1311

Battuta 3

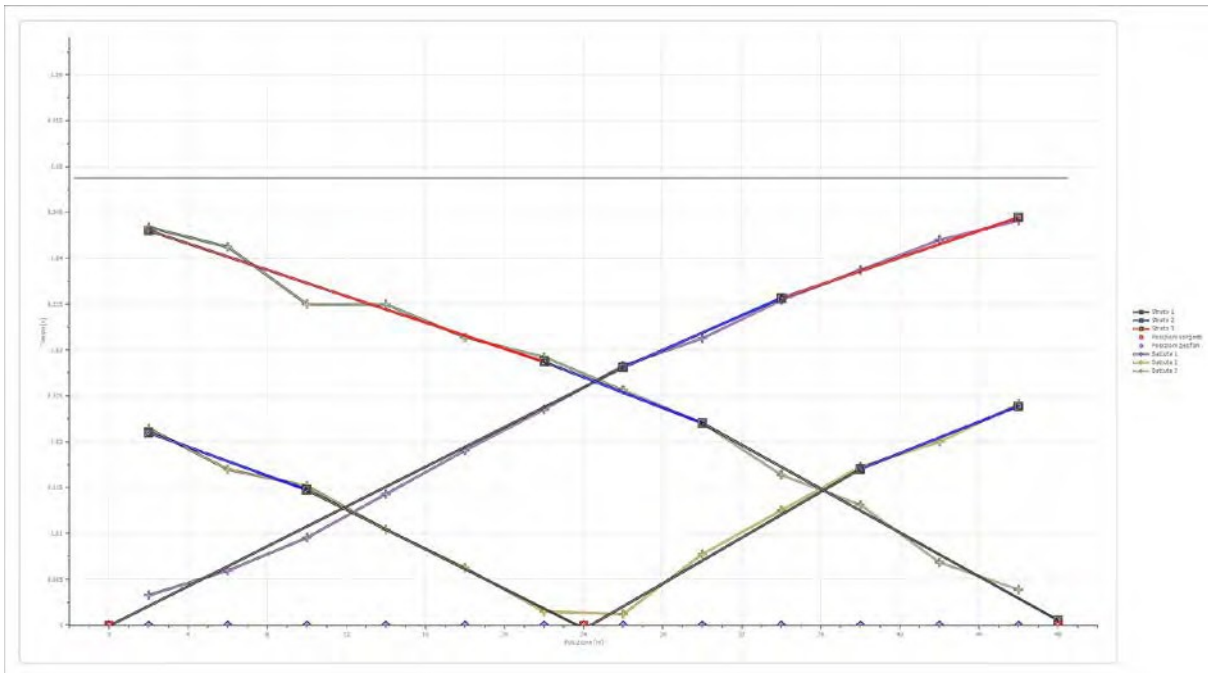
Posizione sorgente X
Posizione sorgente Z

48 [m]
0 [m]

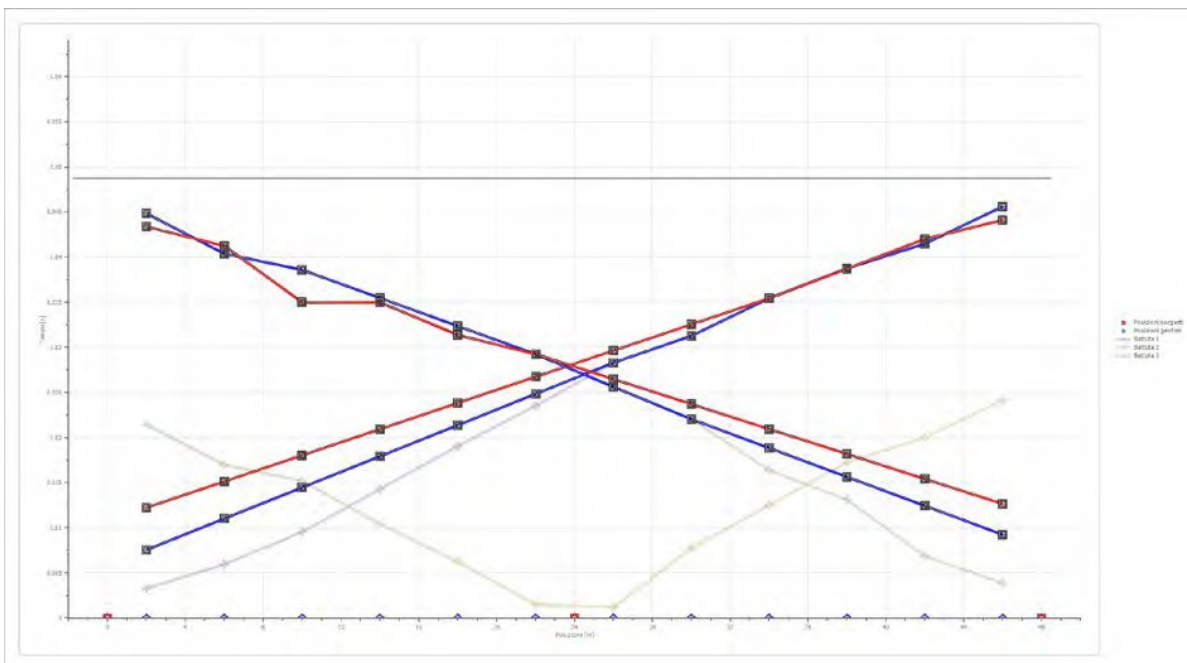


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	43.3750
6.0	41.2500
10.0	35.0000
14.0	35.0000
18.0	31.3750
22.0	29.2500
26.0	25.6207
30.0	22.0457
34.0	16.3853
38.0	13.1082
42.0	6.8520
46.0	3.8729

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

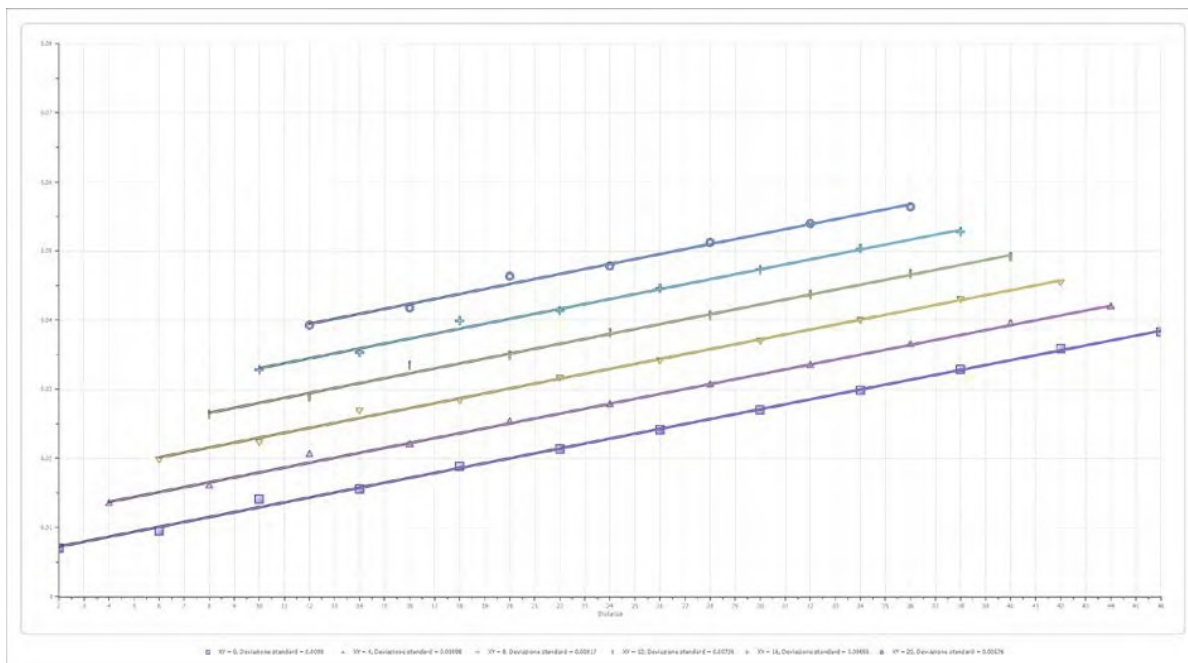
XY: 0

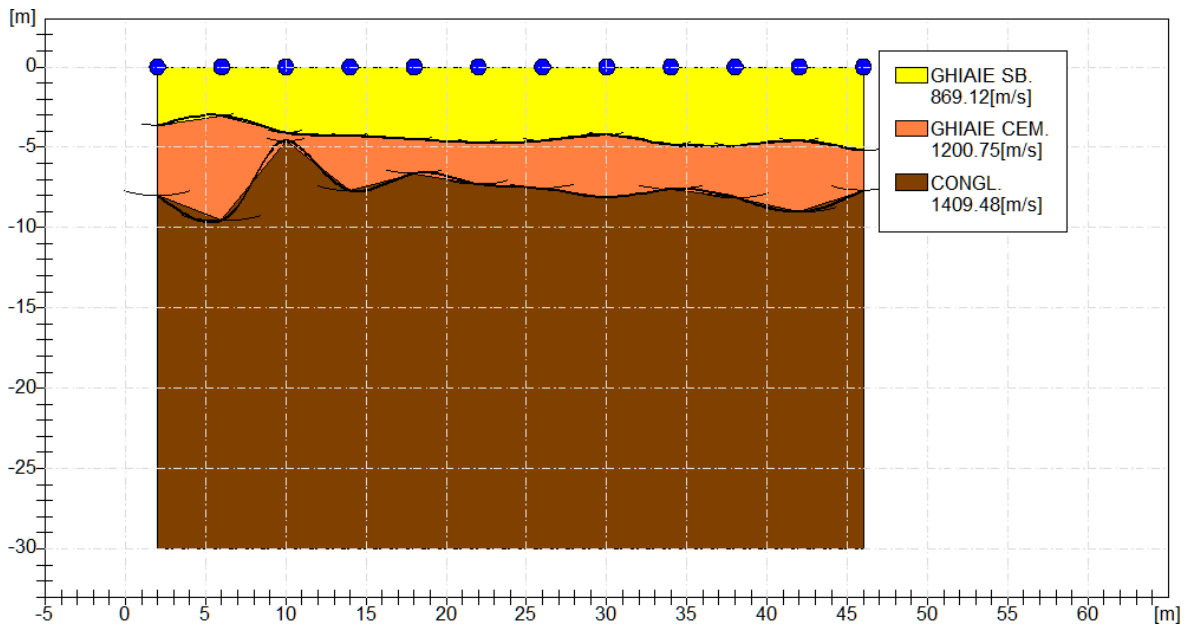
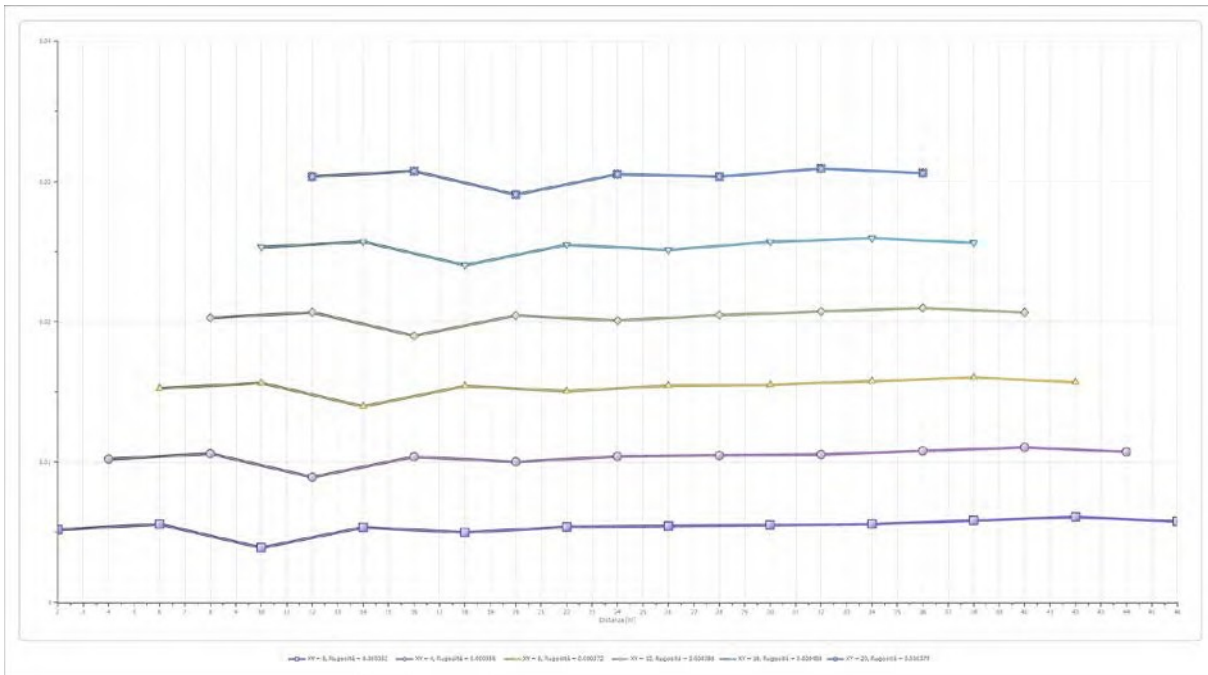
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	3.7	8.0	--
G= 6.0 [m]	3.0	9.6	--
G= 10.0 [m]	4.1	4.6	--
G= 14.0 [m]	4.3	7.7	--
G= 18.0 [m]	4.5	6.6	--
G= 22.0 [m]	4.7	7.3	--
G= 26.0 [m]	4.6	7.6	--
G= 30.0 [m]	4.2	8.1	--
G= 34.0 [m]	4.8	7.6	--
G= 38.0 [m]	4.9	8.1	--
G= 42.0 [m]	4.6	9.0	--
G= 46.0 [m]	5.2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

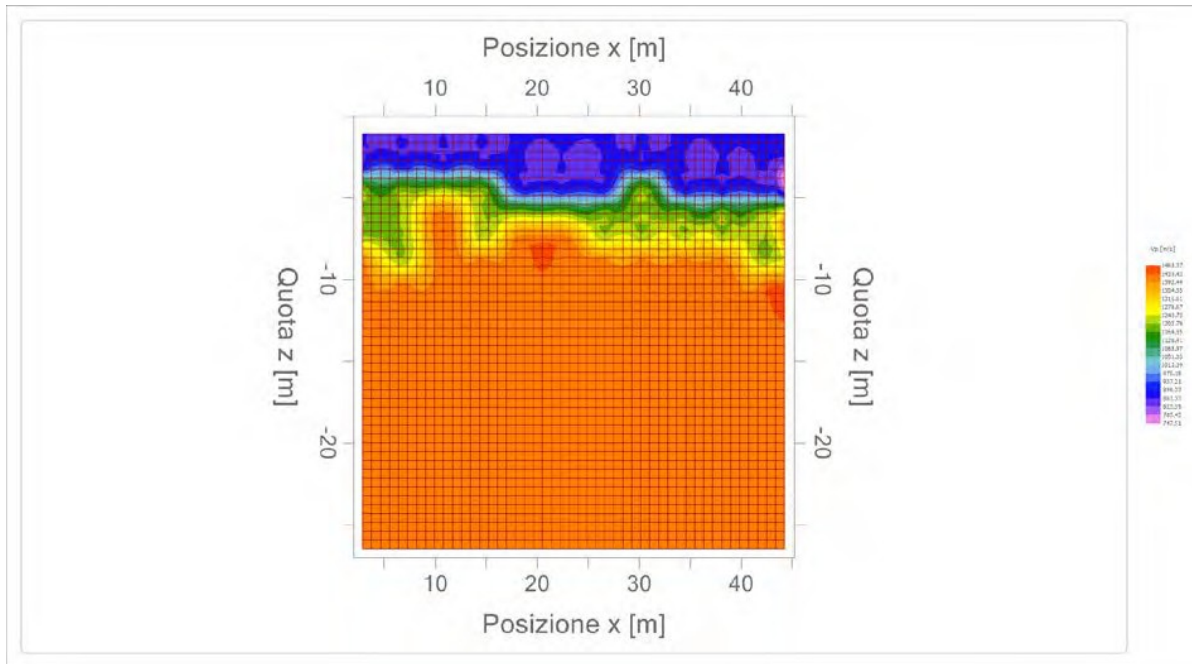
Altri parametri geotecnici

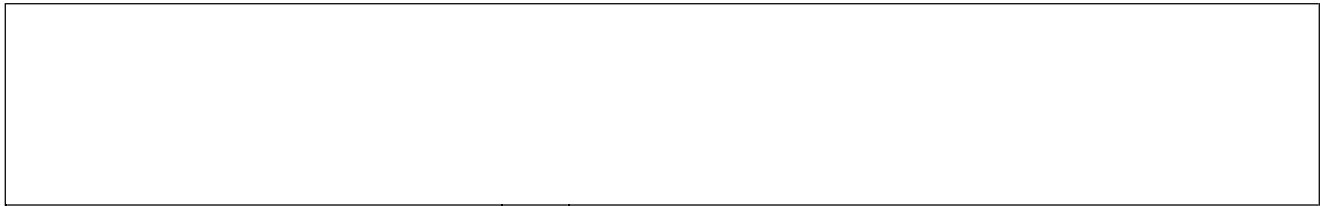
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.35	0.30
Densità [kg/m³]	1750.00	1850.00	2000.00
Vp [m/s]	869.12	1200.75	1409.48
Vs [m/s]	354.82	576.82	753.40
G0 [MPa]	220.32	615.54	1135.21
Ed [Mpa]	1321.89	2667.34	3973.25
M0 [MPa]	1101.58	2051.80	2838.03
Ey [Mpa]	616.88	1661.96	2951.55

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: 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
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

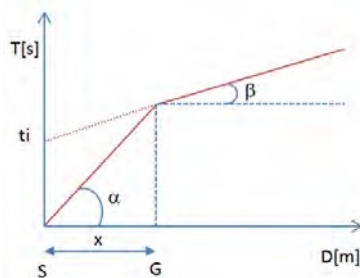
$$T = x_i / V_1$$

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

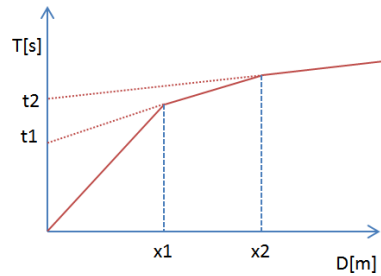
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

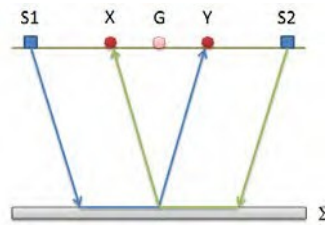


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

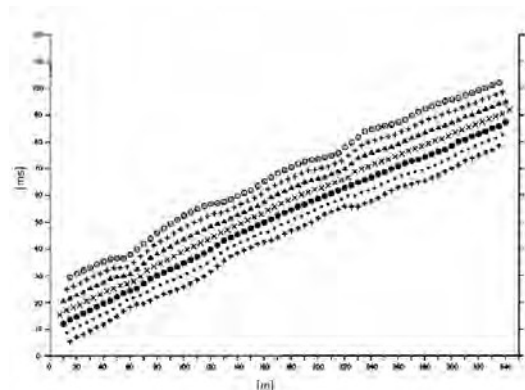
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

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

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



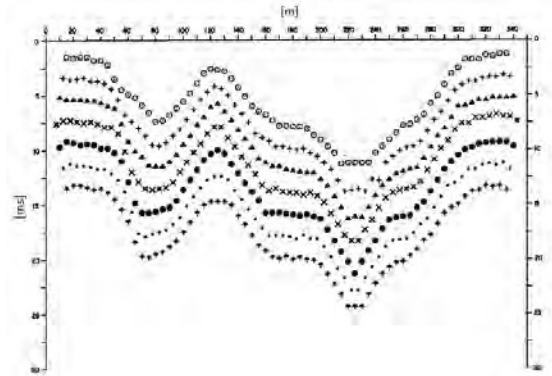
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato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

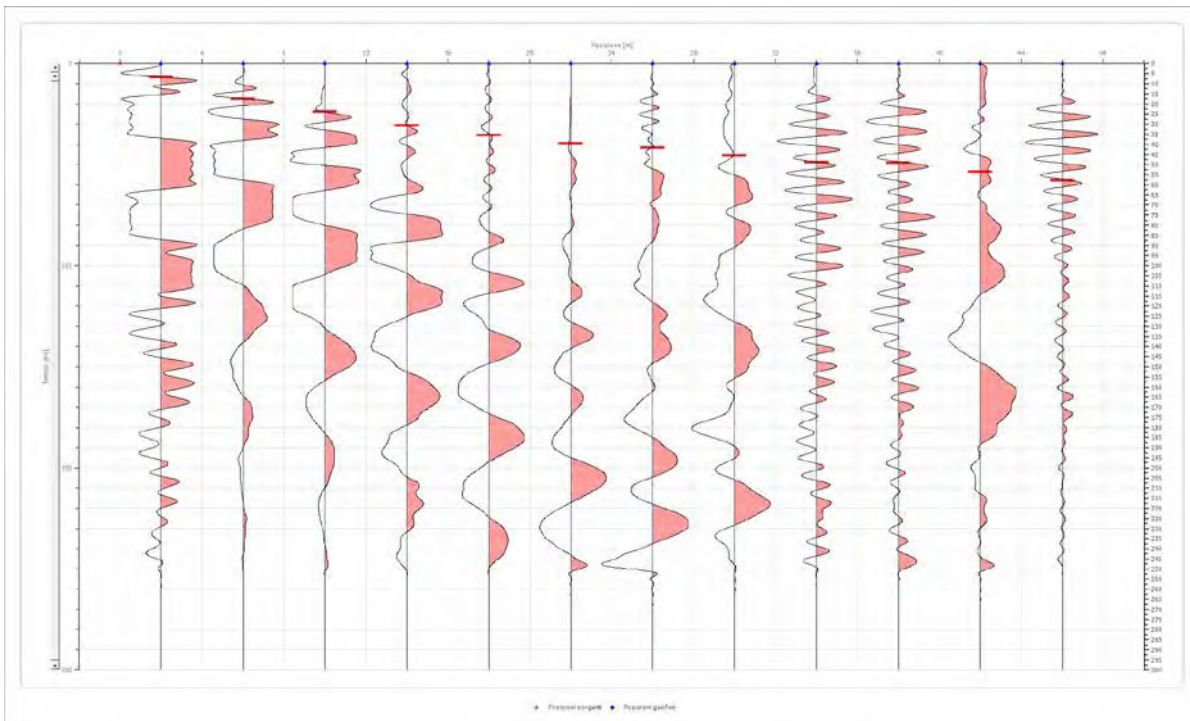
Geometria geofoni

	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]

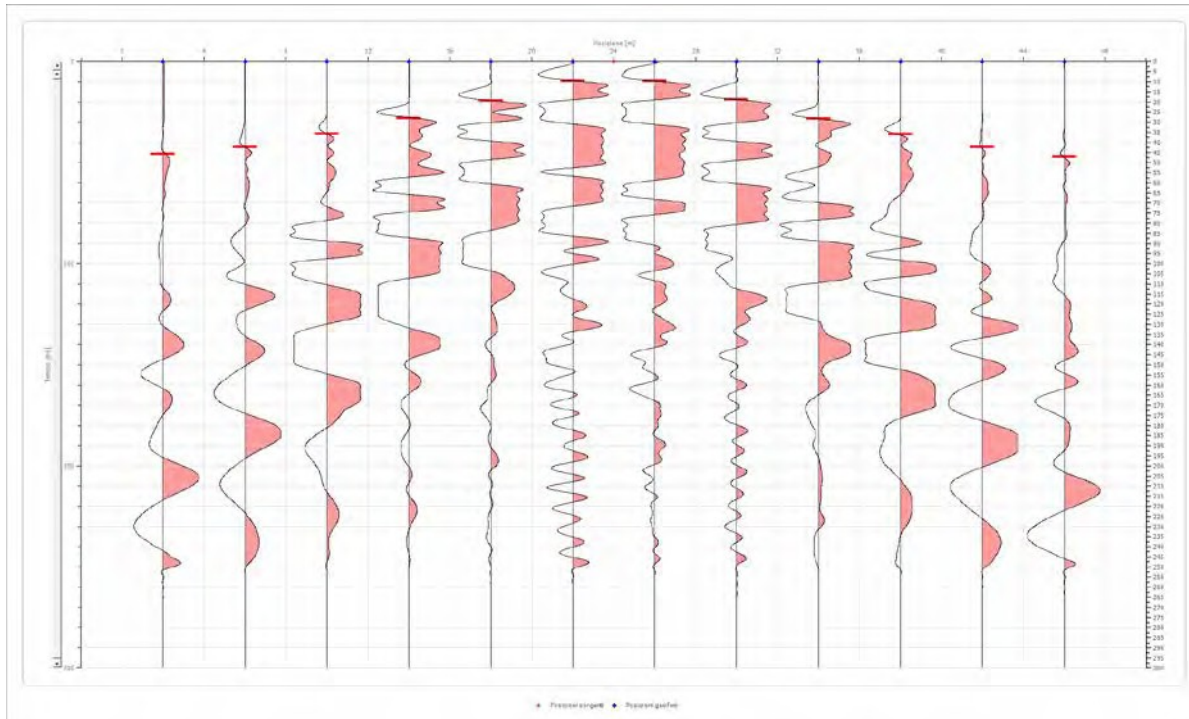


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	6.8520
6.0	17.5770
10.0	23.8332
14.0	30.6852
18.0	35.4518
22.0	39.6226
26.0	41.7080
30.0	45.5809
34.0	48.8580
38.0	49.1559
42.0	53.6246
46.0	57.7954

Battuta 2

Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

24 [m]
 0 [m]

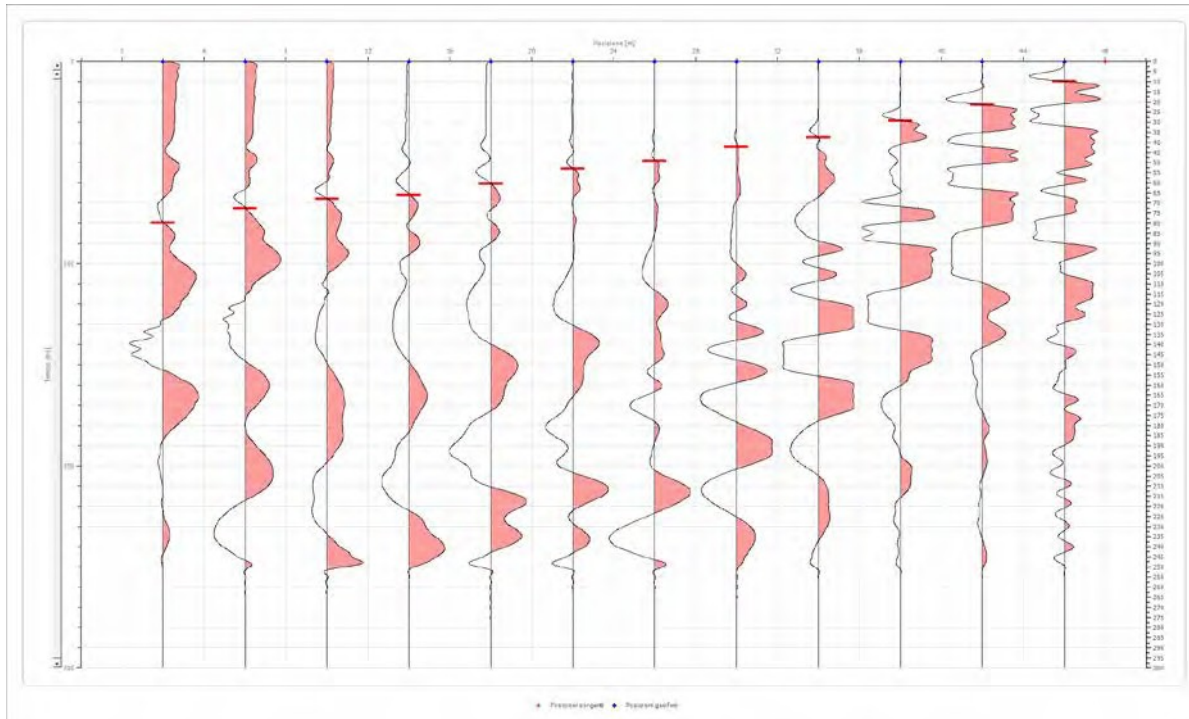


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	45.8788
6.0	42.3039
10.0	35.7498
14.0	28.0040
18.0	19.3644
22.0	9.5333
26.0	9.5333
30.0	18.7686
34.0	28.3019
38.0	36.0477
42.0	42.3039
46.0	47.0705

Battuta 3

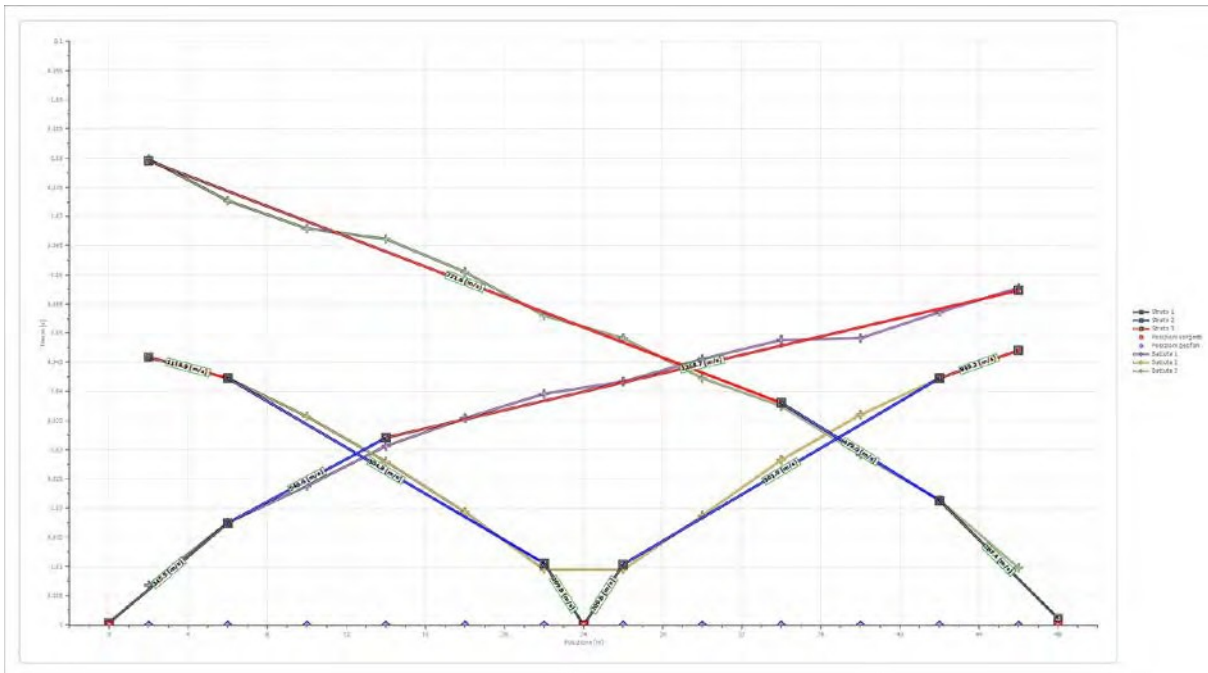
Posizione sorgente X
 Posizione sorgente Z

48 [m]
 0 [m]

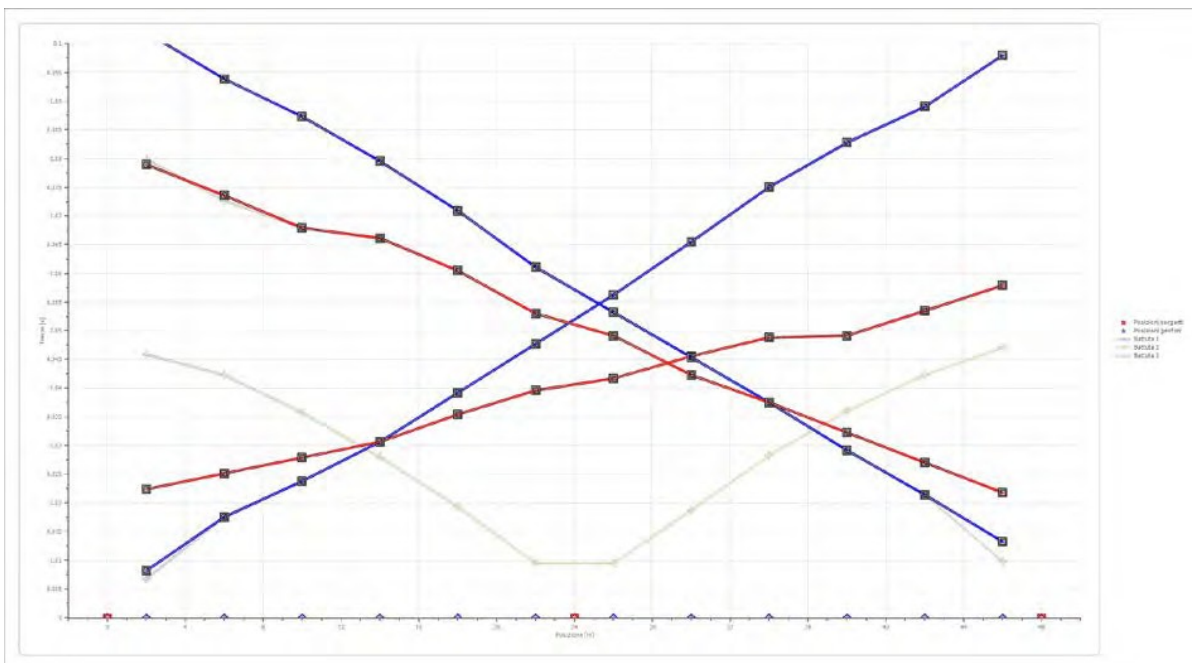


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	79.8411
6.0	72.6912
10.0	67.9245
14.0	66.1370
18.0	60.4767
22.0	53.0288
26.0	49.1559
30.0	42.3039
34.0	37.5372
38.0	29.1956
42.0	21.4499
46.0	9.8312

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

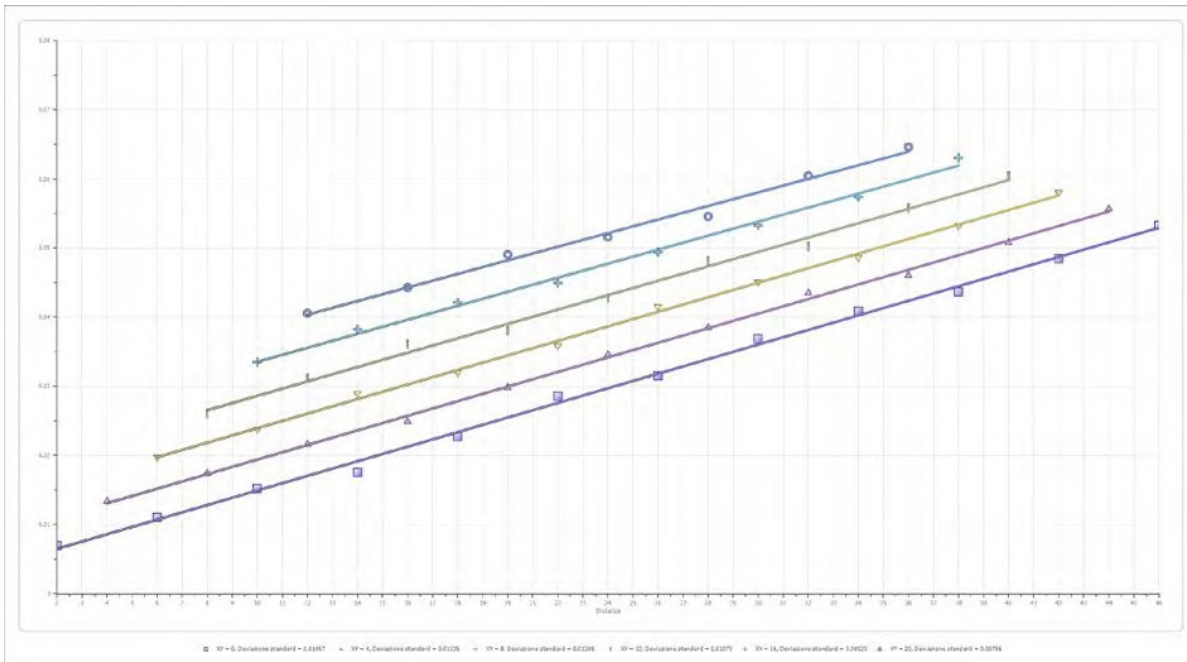
XY: 0

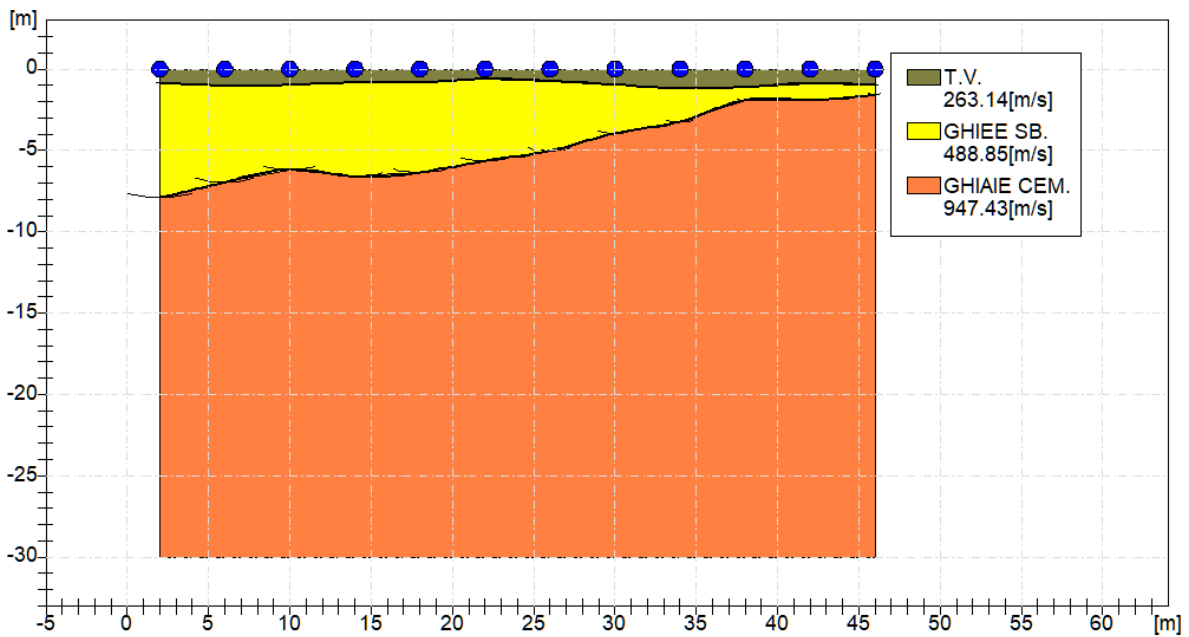
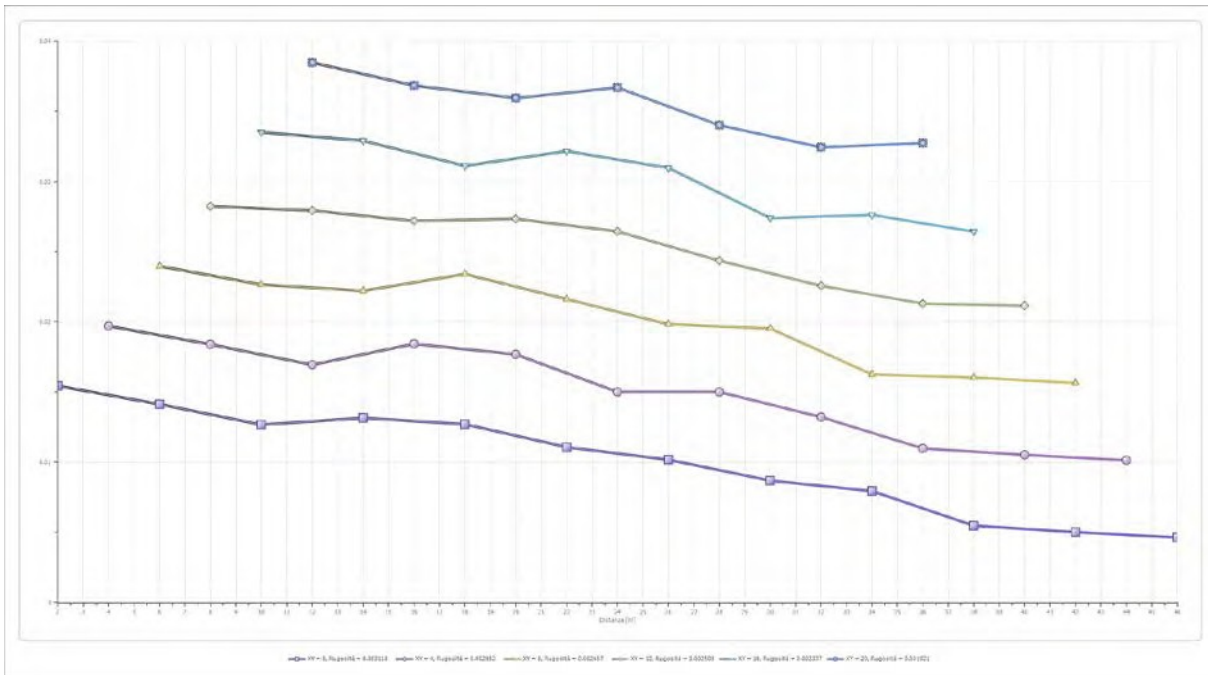
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	0.8	7.9	--
G= 6.0 [m]	1.0	7.0	--
G= 10.0 [m]	1.0	6.2	--
G= 14.0 [m]	0.8	6.6	--
G= 18.0 [m]	0.8	6.4	--
G= 22.0 [m]	0.6	5.6	--
G= 26.0 [m]	0.7	5.0	--
G= 30.0 [m]	0.9	3.9	--
G= 34.0 [m]	1.2	3.2	--
G= 38.0 [m]	1.1	1.9	--
G= 42.0 [m]	0.9	1.9	--
G= 46.0 [m]	1.0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

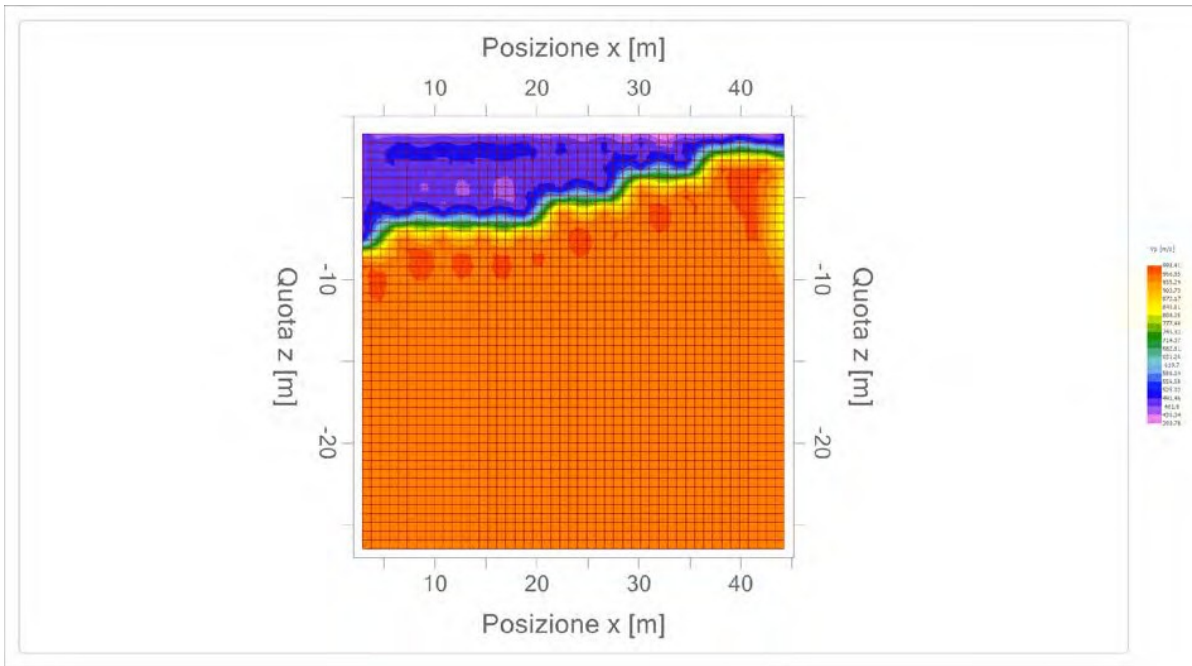
Altri parametri geotecnici

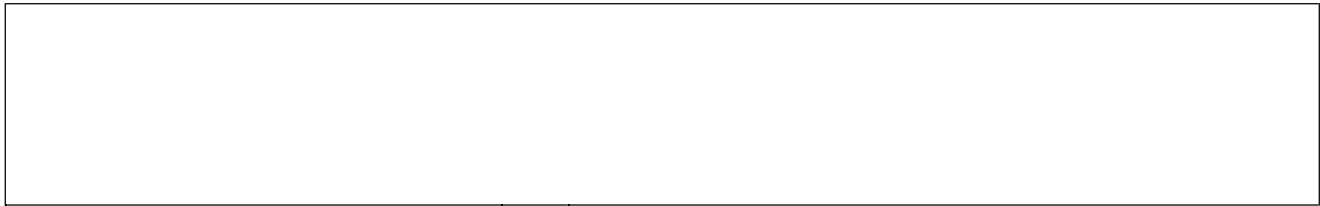
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.40	0.38	0.35
Densità [kg/m³]	1700.00	1800.00	1900.00
Vp [m/s]	263.14	488.85	947.43
Vs [m/s]	107.43	215.07	455.13
G0 [MPa]	19.62	83.26	393.57
Ed [Mpa]	117.71	430.16	1705.49
M0 [MPa]	98.09	346.90	1311.92
Ey [Mpa]	54.93	229.79	1062.65

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: 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
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 o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

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

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza 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

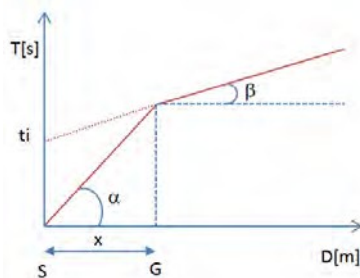
$$T = x_i / V_1$$

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

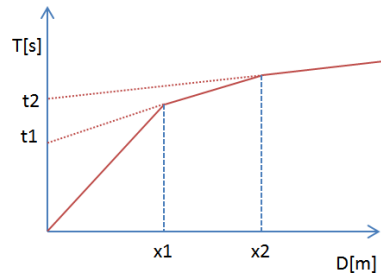
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

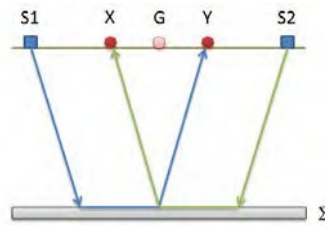


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

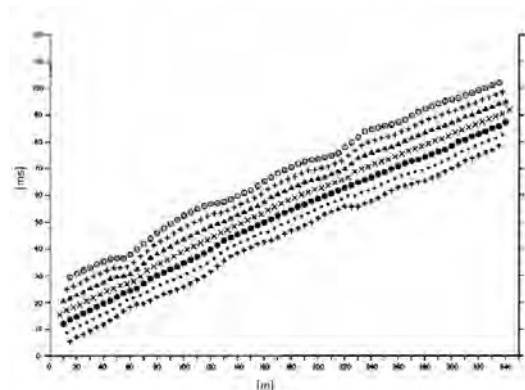
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

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

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



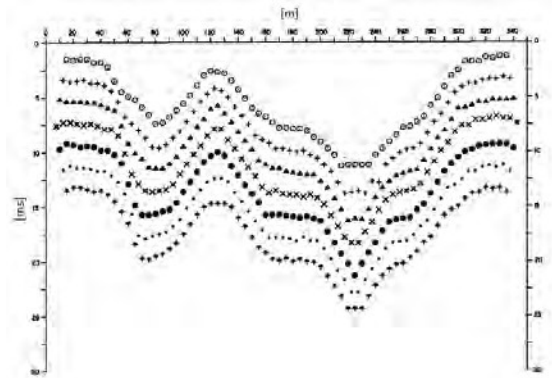
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato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

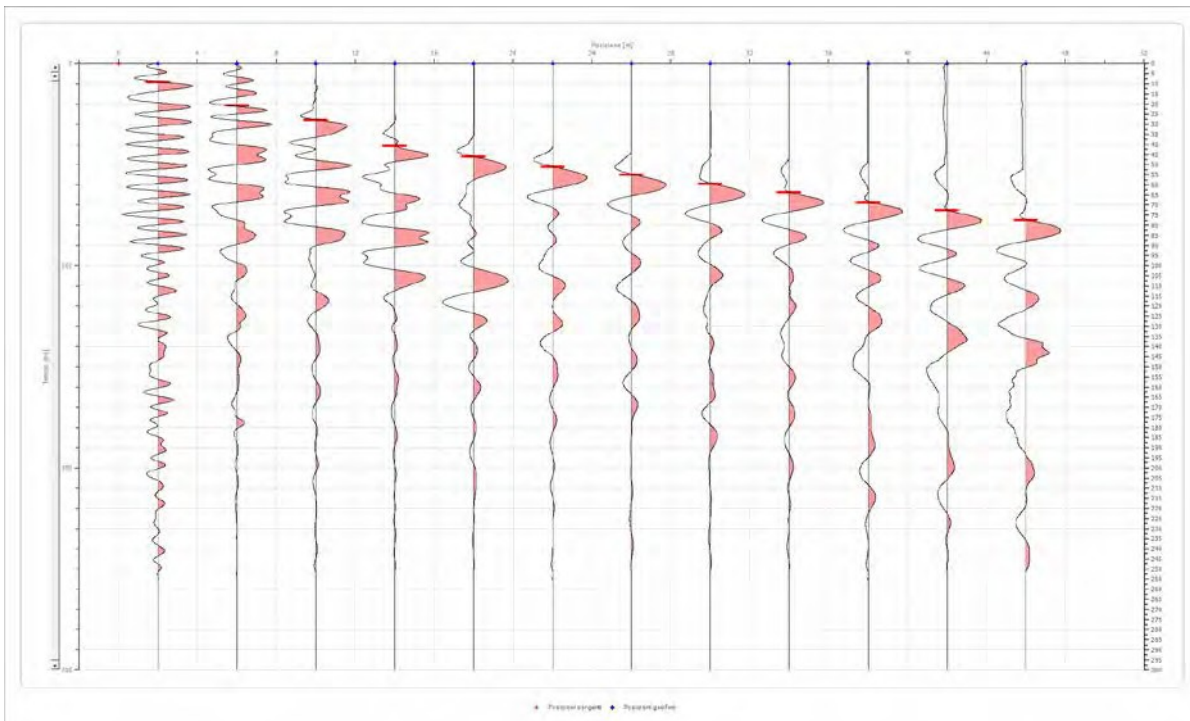
Geometria geofoni

	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

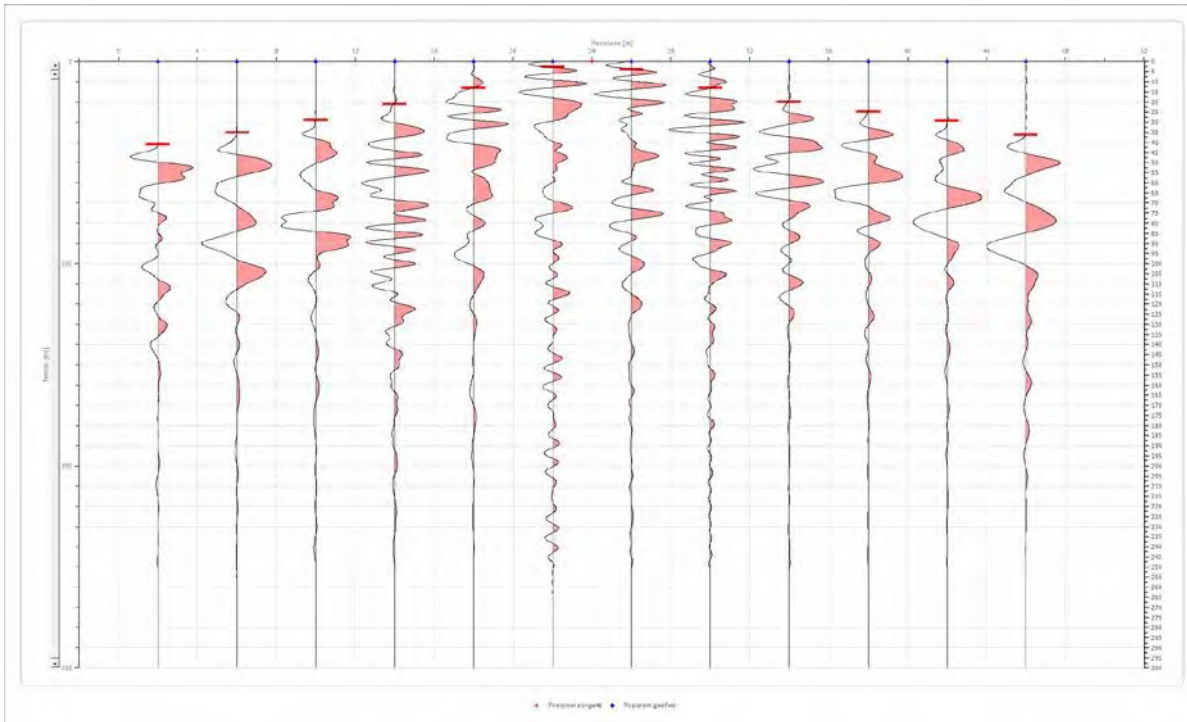
Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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

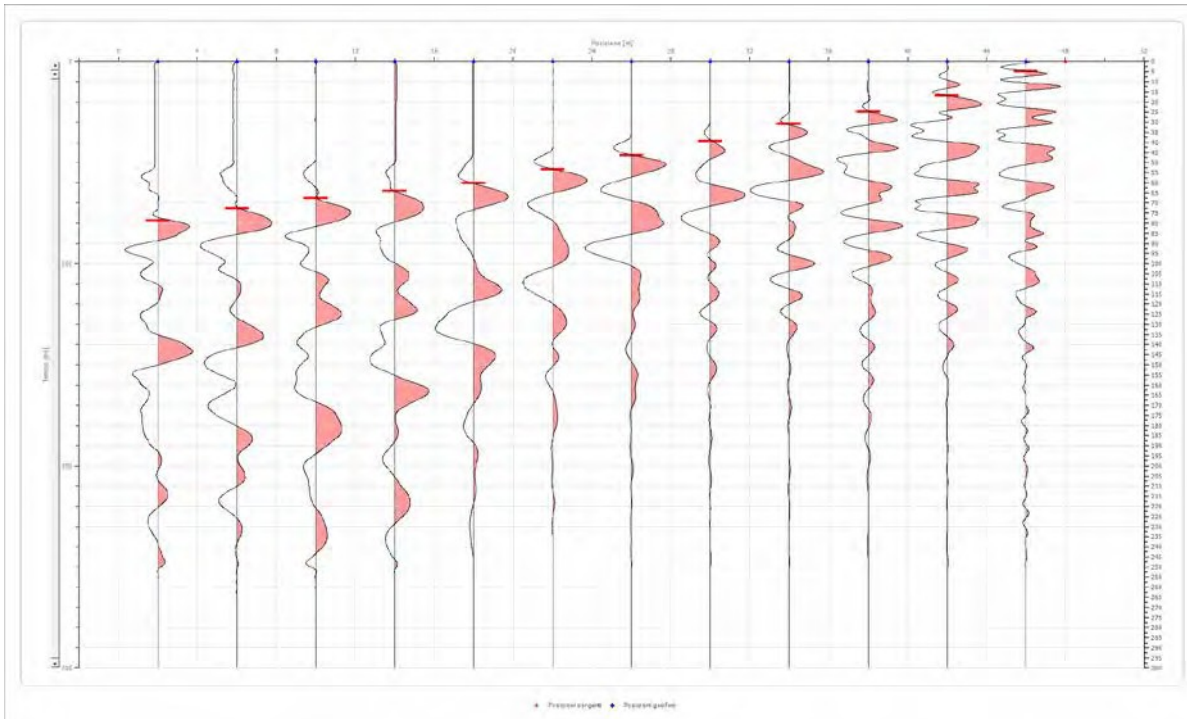
Posizione sorgente X 24 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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

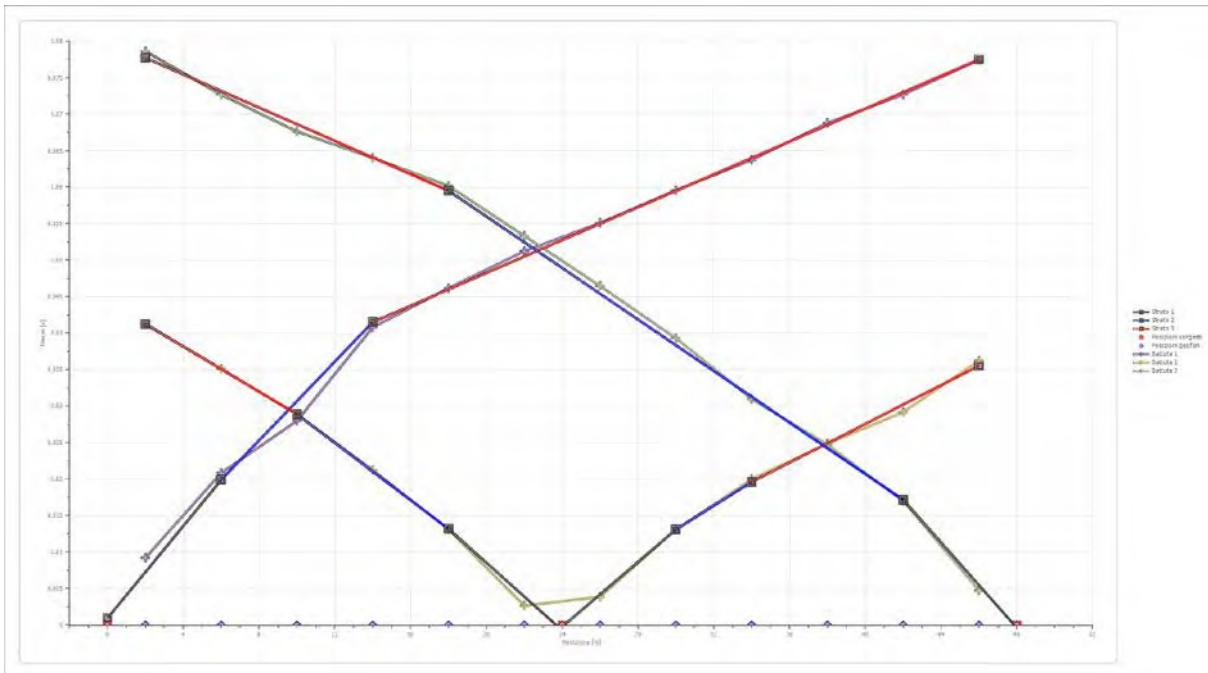
Battuta 3

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

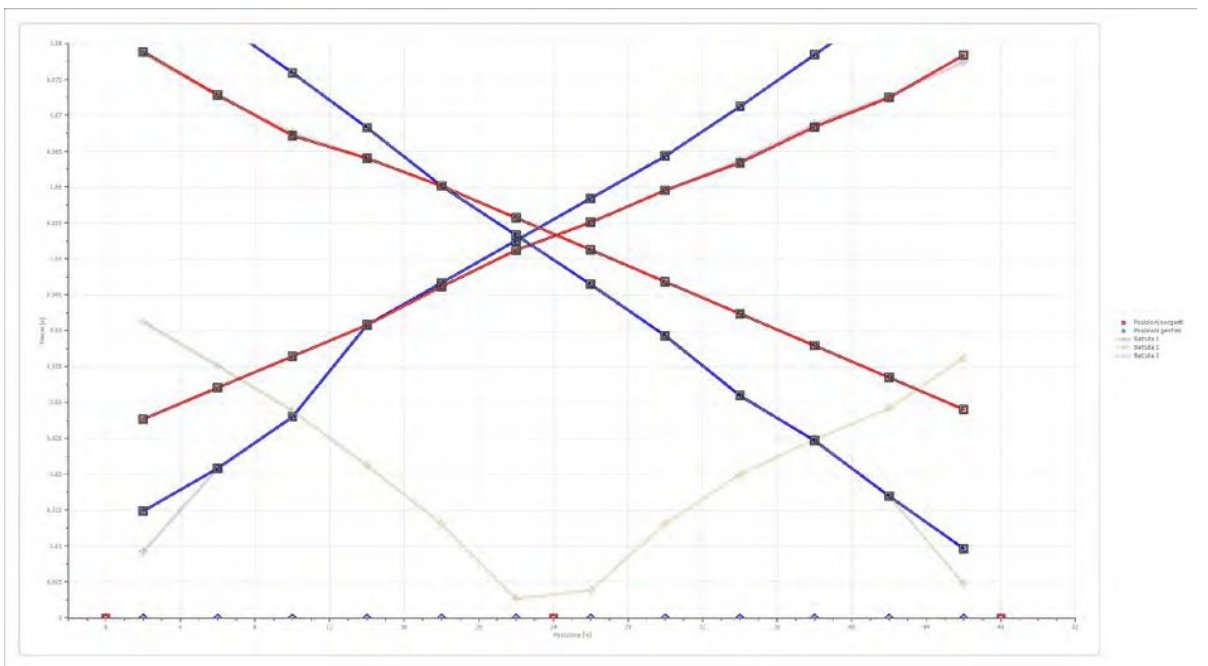


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
2.0	78.6250
6.0	72.6912
10.0	67.6266
14.0	64.0516
18.0	60.1788
22.0	53.3267
26.0	46.4747
30.0	39.3247
34.0	30.9831
38.0	24.7269
42.0	16.9811
46.0	4.7666

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

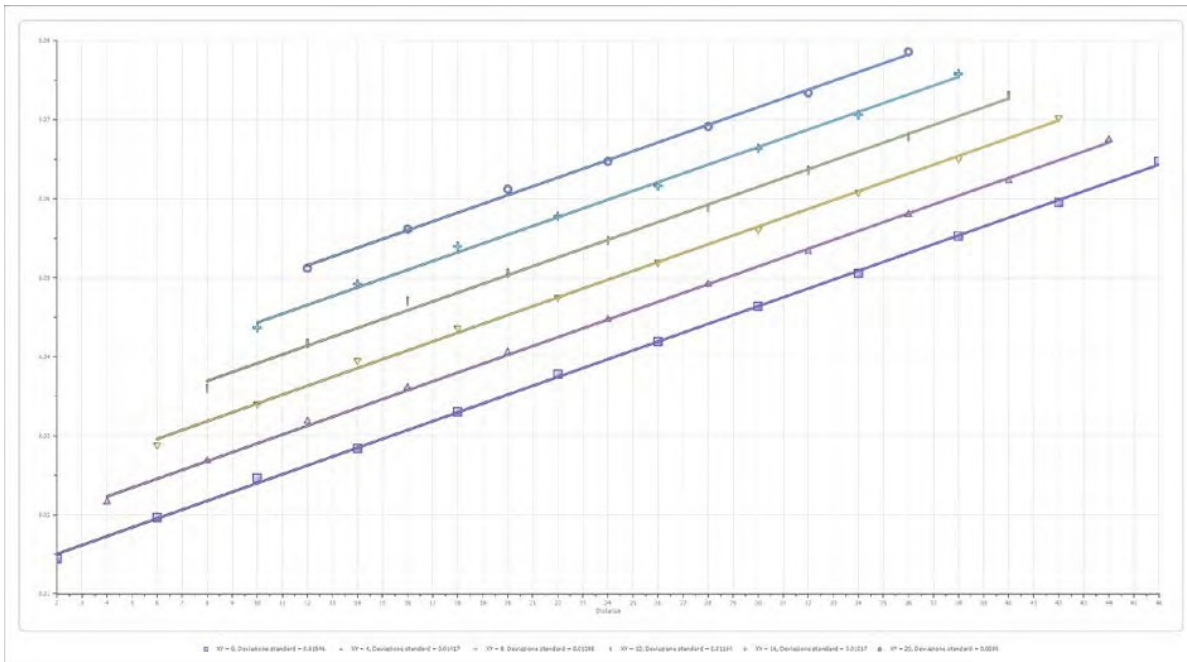
XY: 0

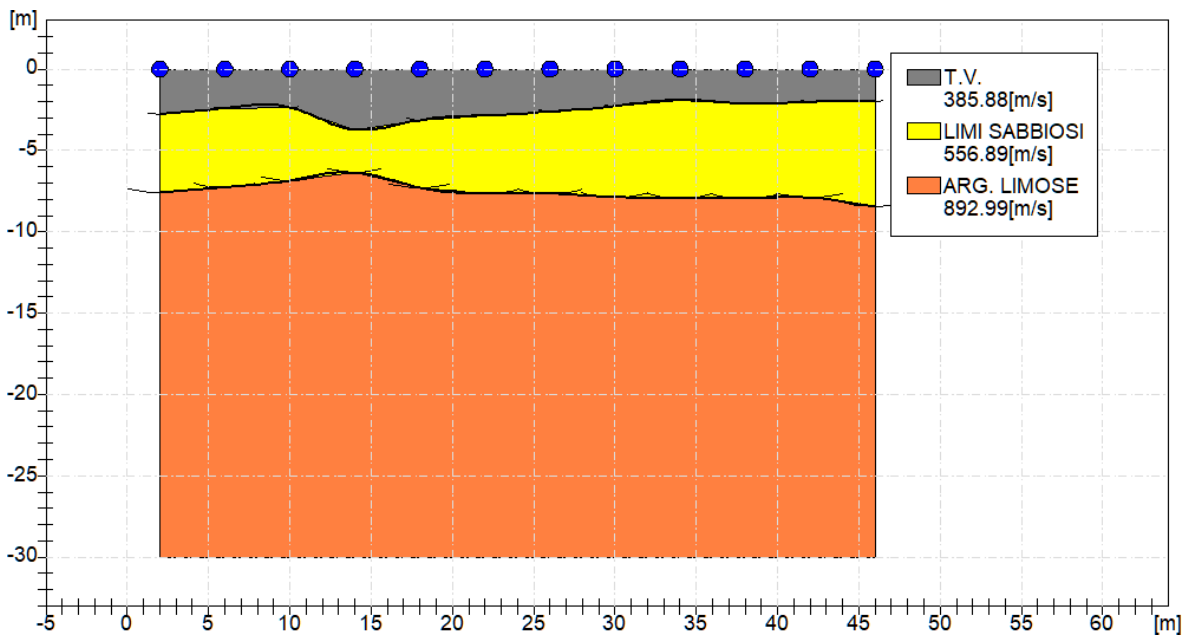
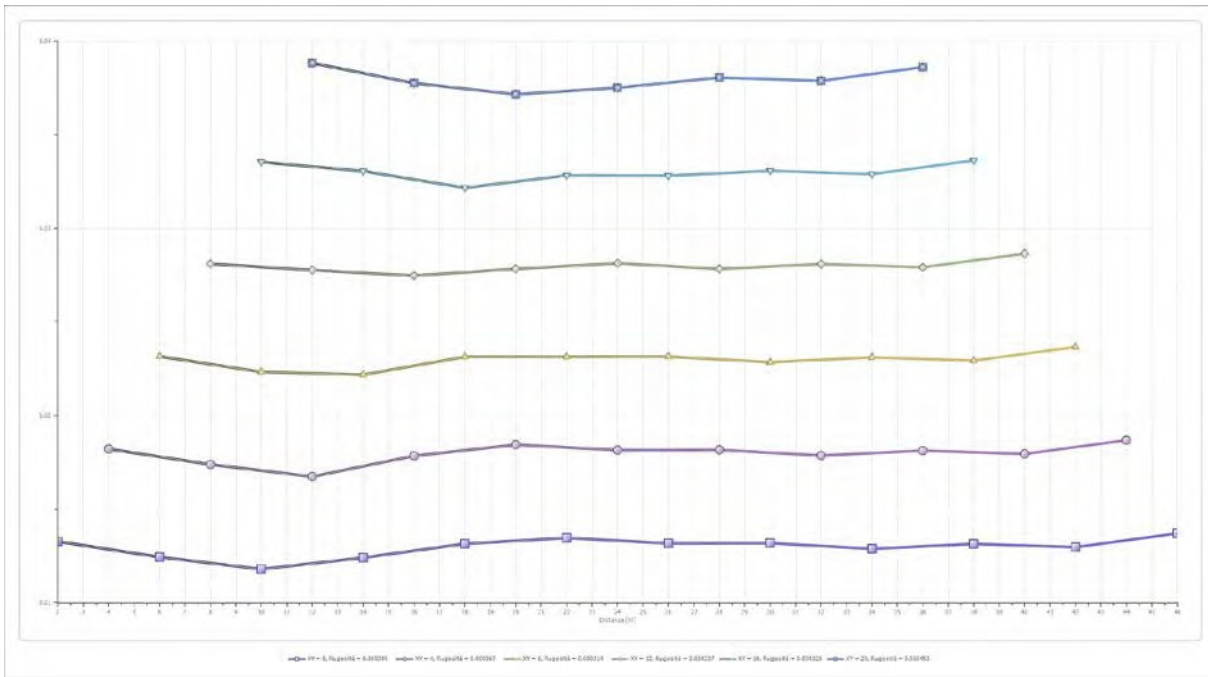
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 2.0 [m]	2.8	7.6	--
G= 6.0 [m]	2.4	7.3	--
G= 10.0 [m]	2.3	6.8	--
G= 14.0 [m]	3.7	6.4	--
G= 18.0 [m]	3.1	7.3	--
G= 22.0 [m]	2.9	7.7	--
G= 26.0 [m]	2.6	7.6	--
G= 30.0 [m]	2.3	7.9	--
G= 34.0 [m]	1.9	7.9	--
G= 38.0 [m]	2.1	7.9	--
G= 42.0 [m]	2.0	7.9	--
G= 46.0 [m]	2.0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

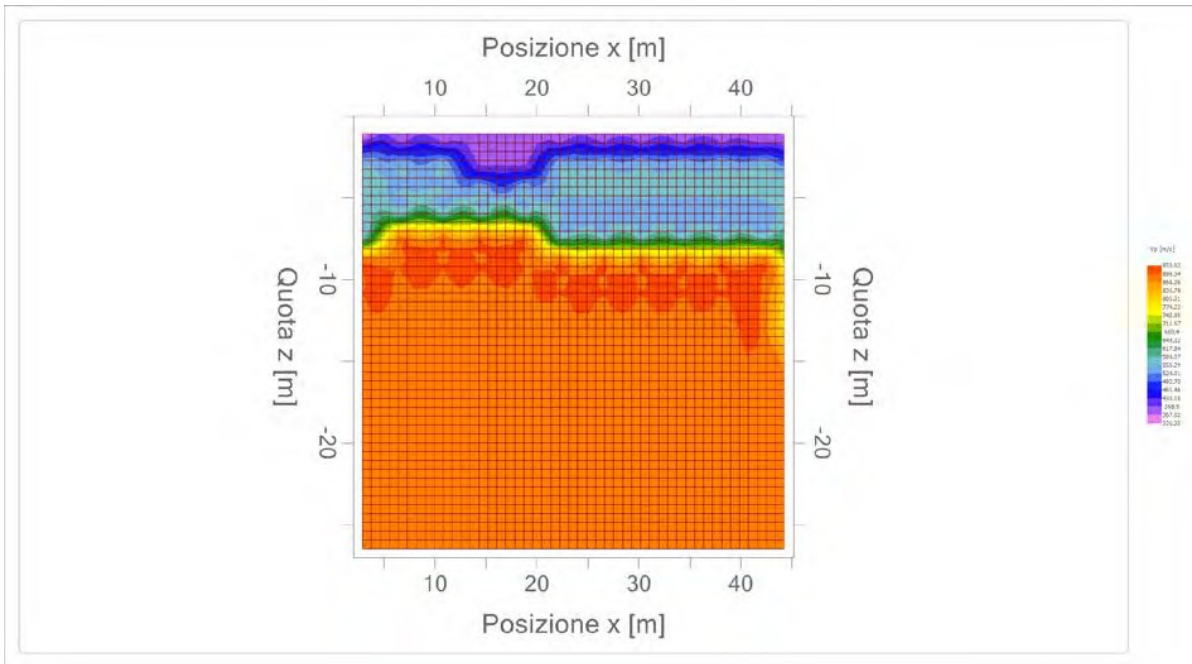
Altri parametri geotecnici

	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

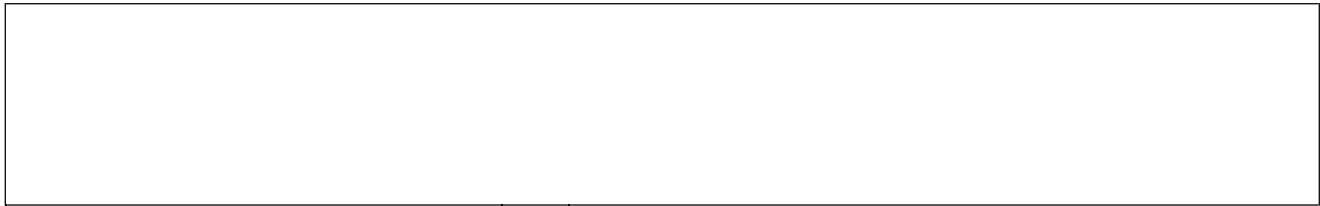
G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;








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

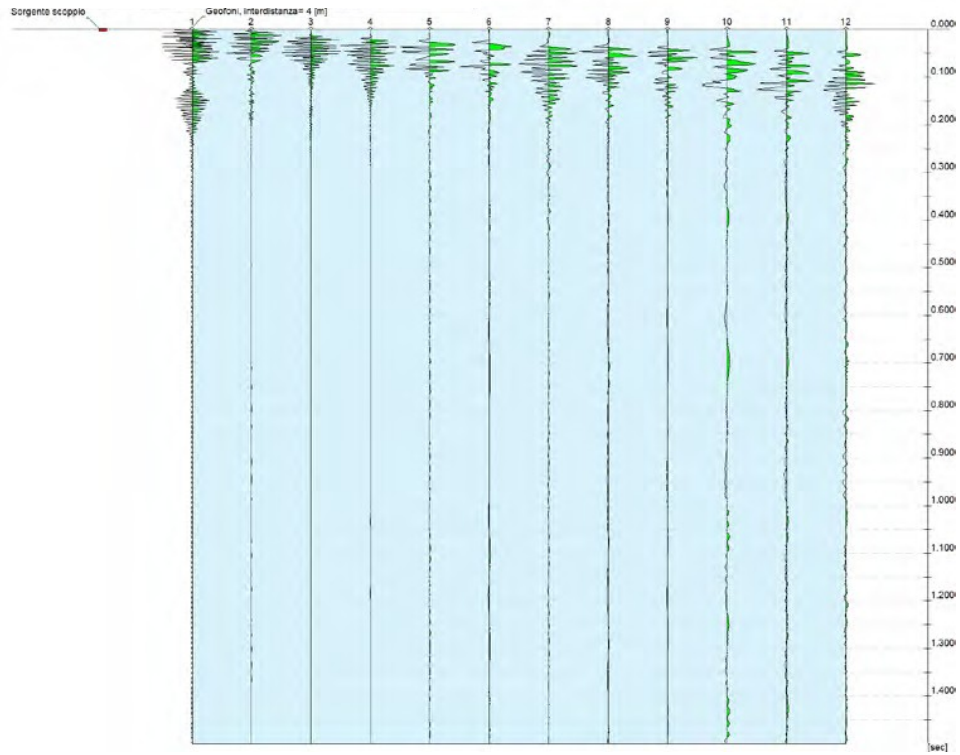
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

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

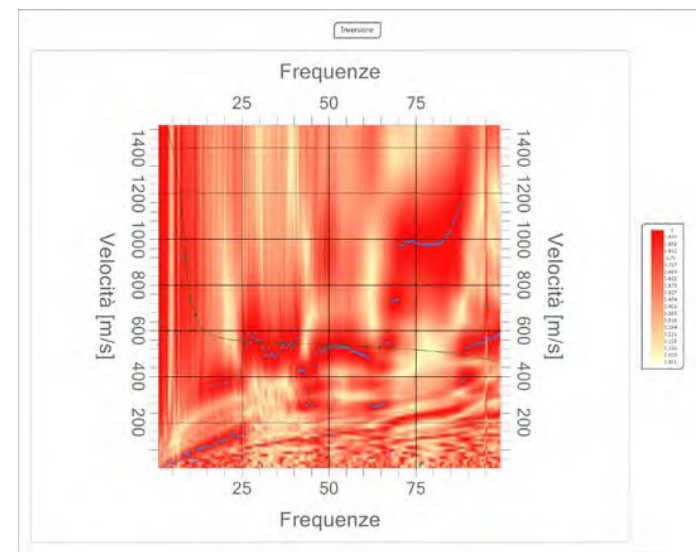
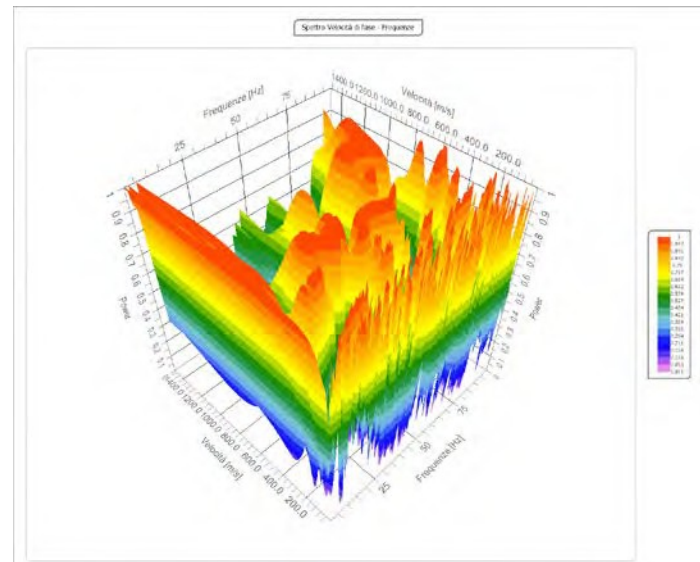
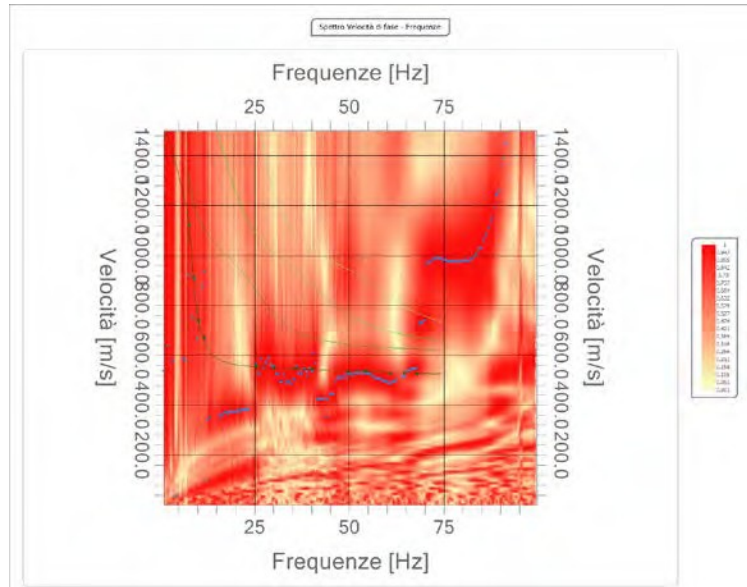


Analisi spettrale

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

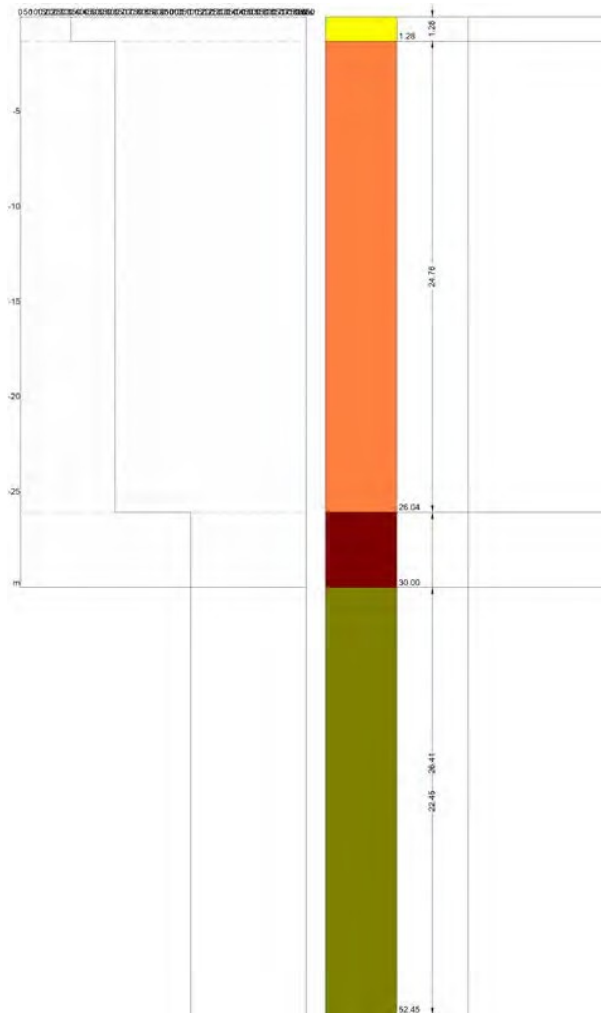


Inversione

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

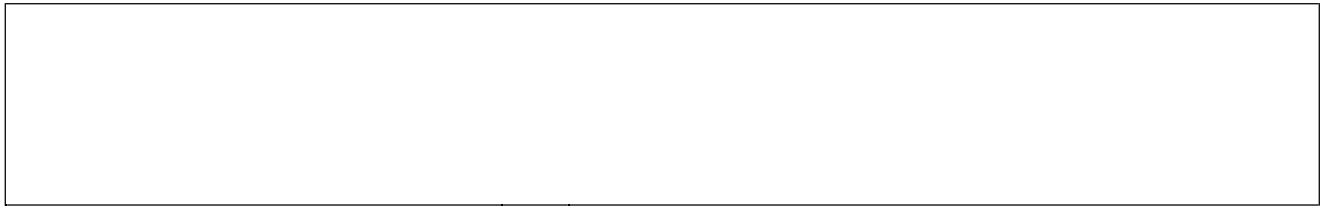
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.28	1.28	326.63	800.07	1700.00	0.40	181.37	1088.20	846.38	507.83	N/A	N/A
2	26.04	24.76	617.27	1284.94	1800.00	0.35	685.83	2971.93	2057.49	1851.74	N/A	N/A
3	52.45	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;

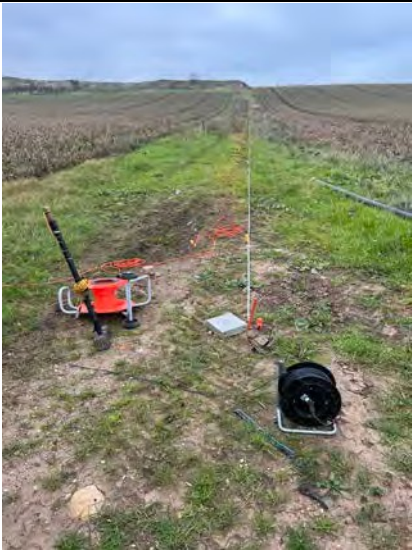
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

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 Serracapriola Pacifico Acquamarina 2
MASW BB-4

	Data: dicembre 2021
	Il committente Serracapriola 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

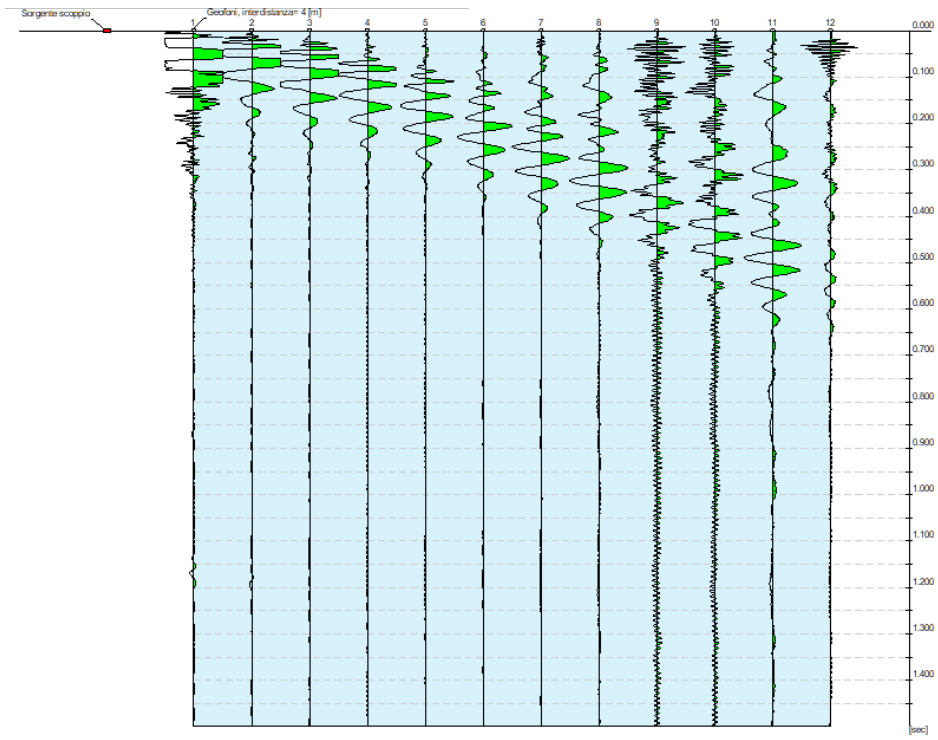
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

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

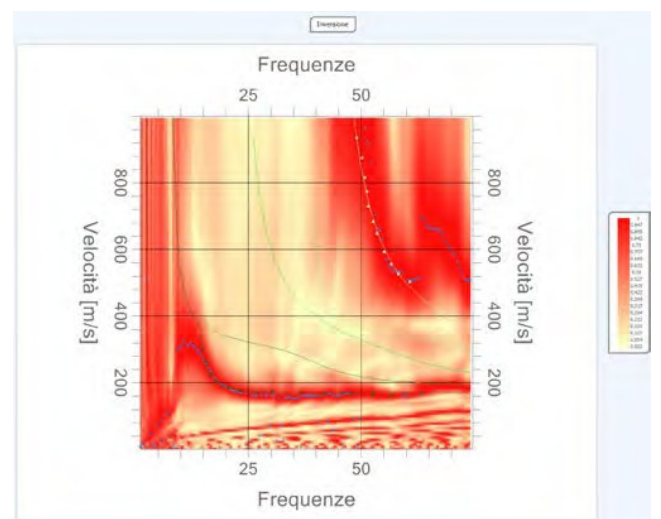
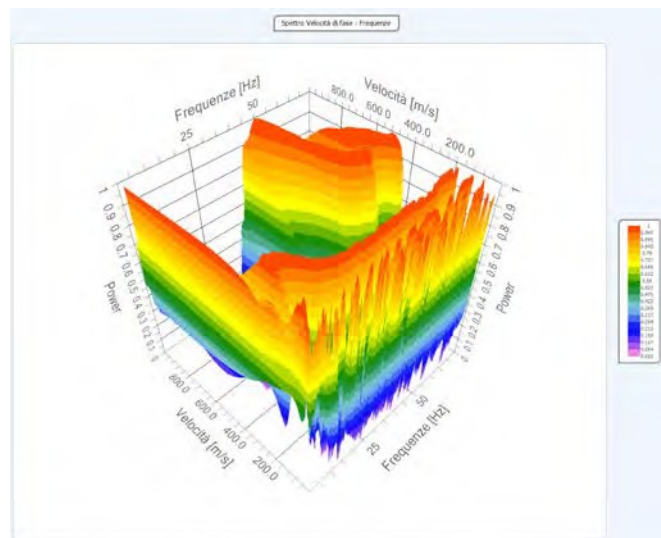
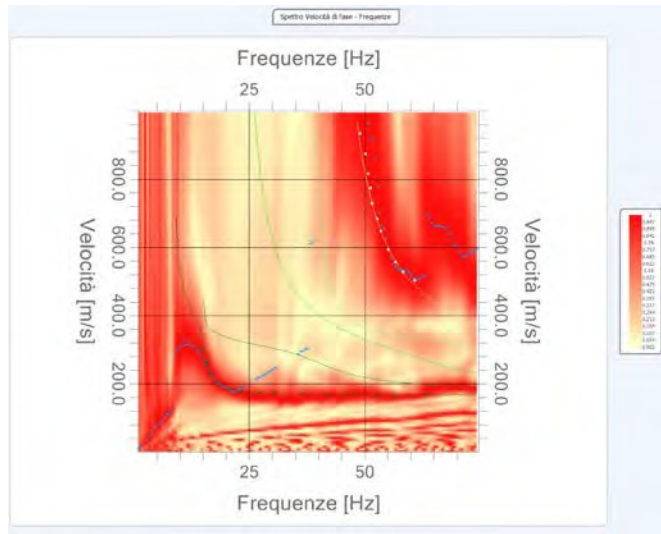


Analisi spettrale

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

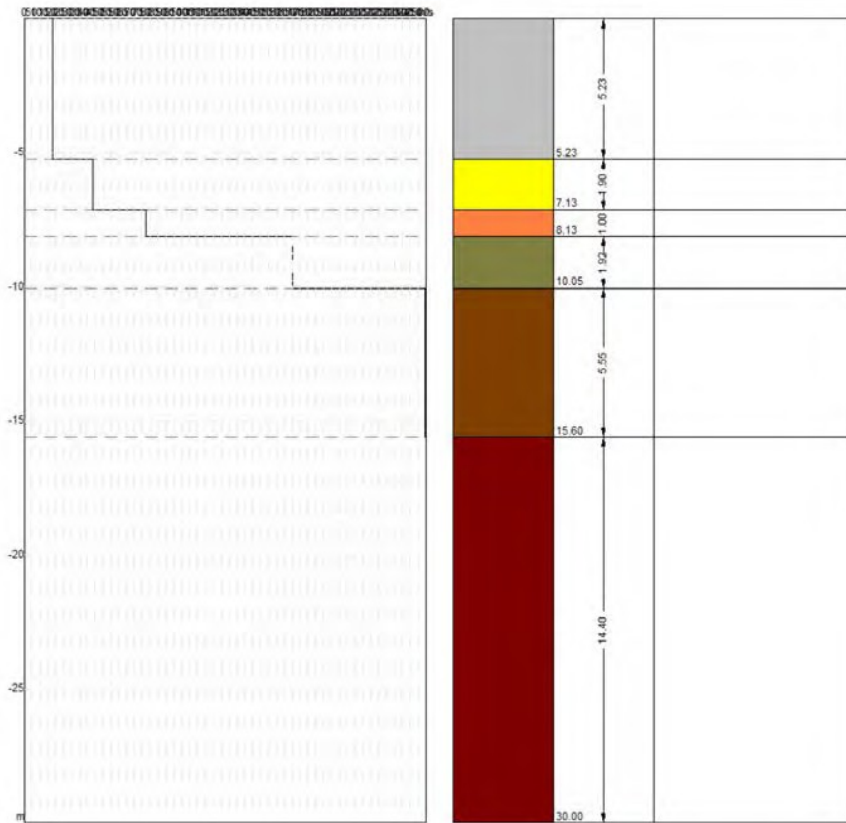
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		5.23	5.23	1800.0	0.3	No	342.1	182.8
2		7.13	1.90	1800.0	0.3	No	814.8	435.5
3		8.13	1.00	1800.0	0.3	No	1440.9	770.2
4		10.05	1.92	1800.0	0.3	No	3190.5	1705.4
5		15.60	5.55	1800.0	0.3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

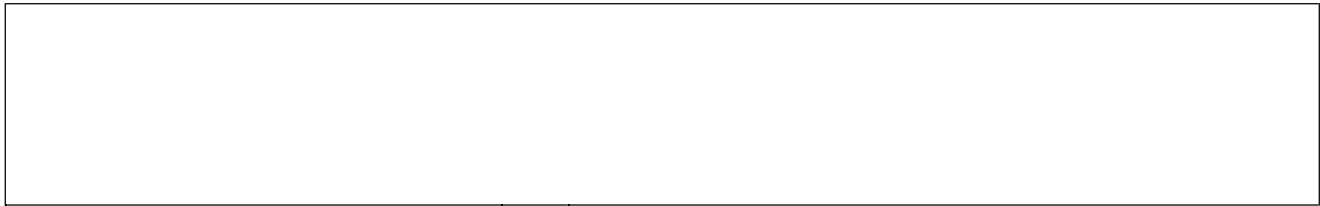
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	5.23	5.23	182.84	342.06	1800.00	0.30	60.18	210.61	130.38	156.46	N/A	484.53
2	7.13	1.90	435.54	814.83	1800.00	0.30	341.46	1195.10	739.82	887.79	N/A	N/A
3	8.13	1.00	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

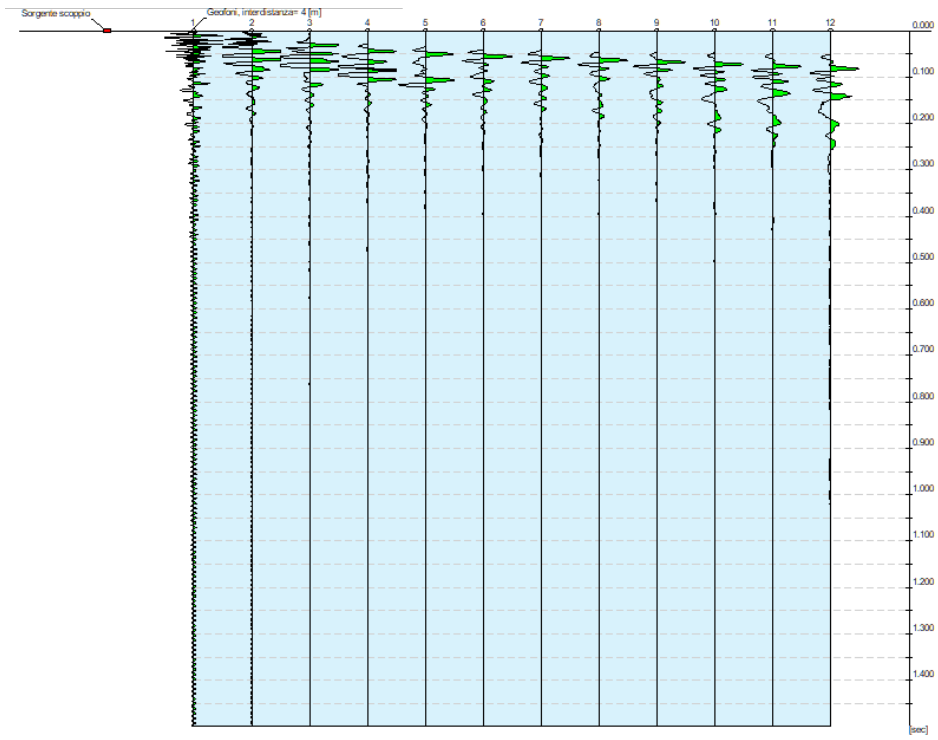
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

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

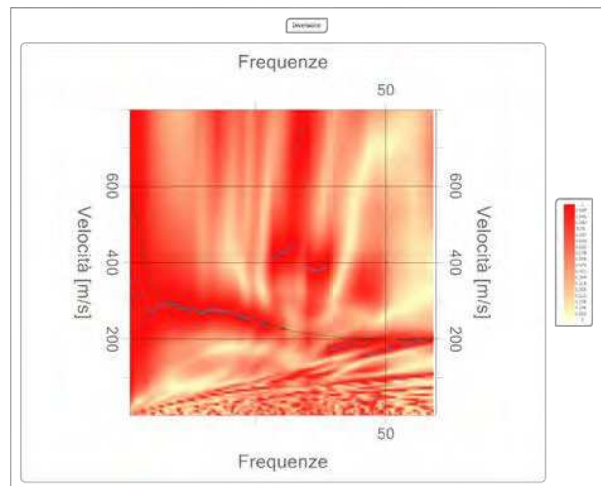
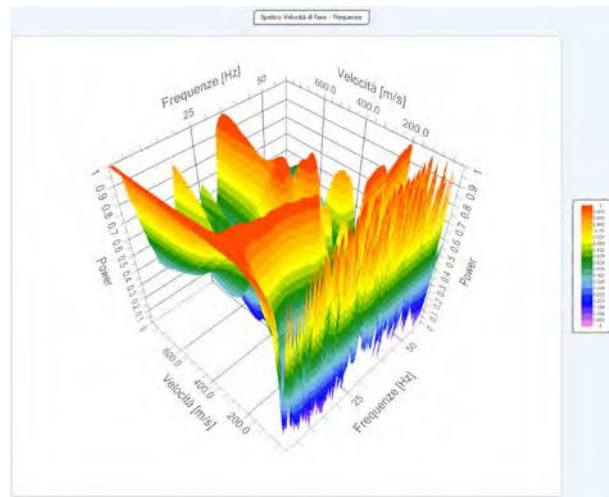
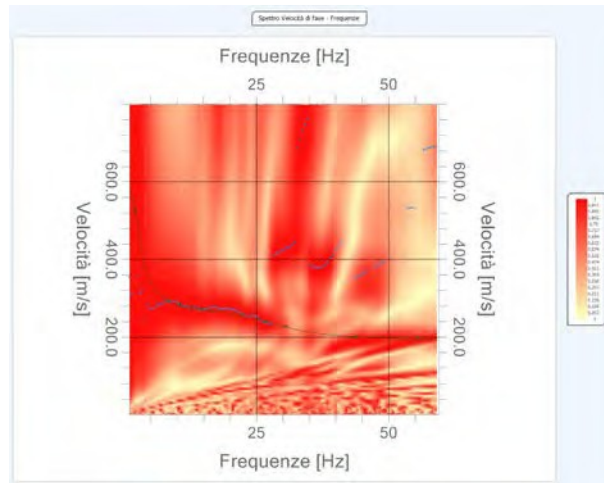


Analisi spettrale

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

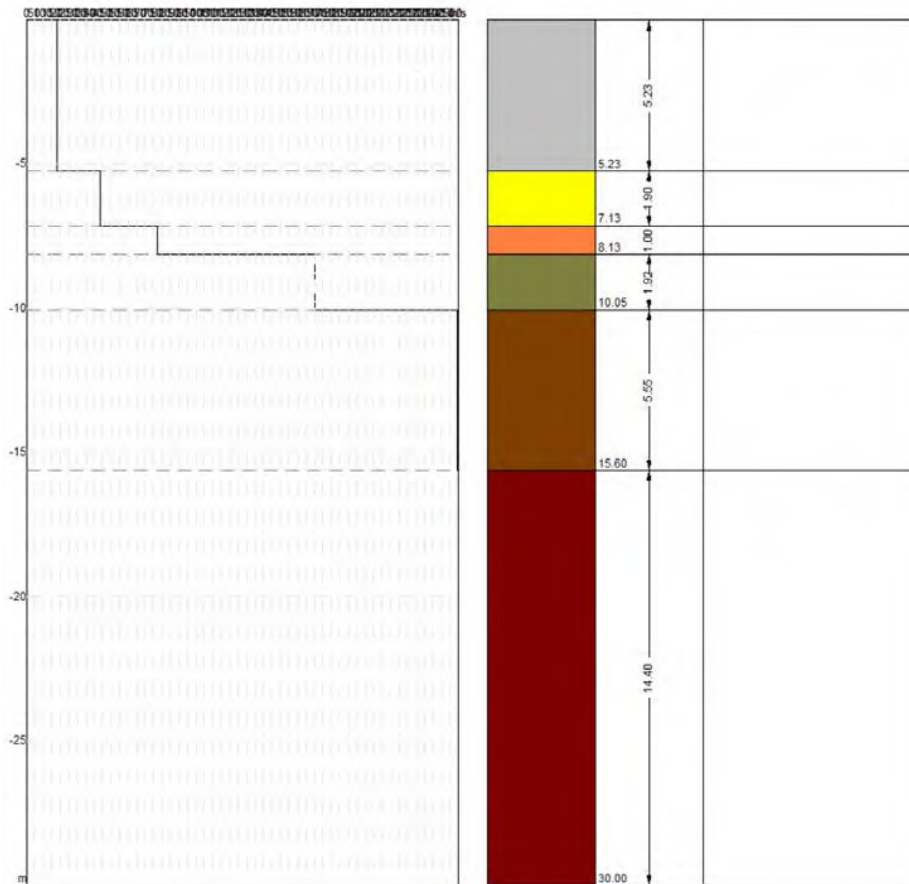


Inversione

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;

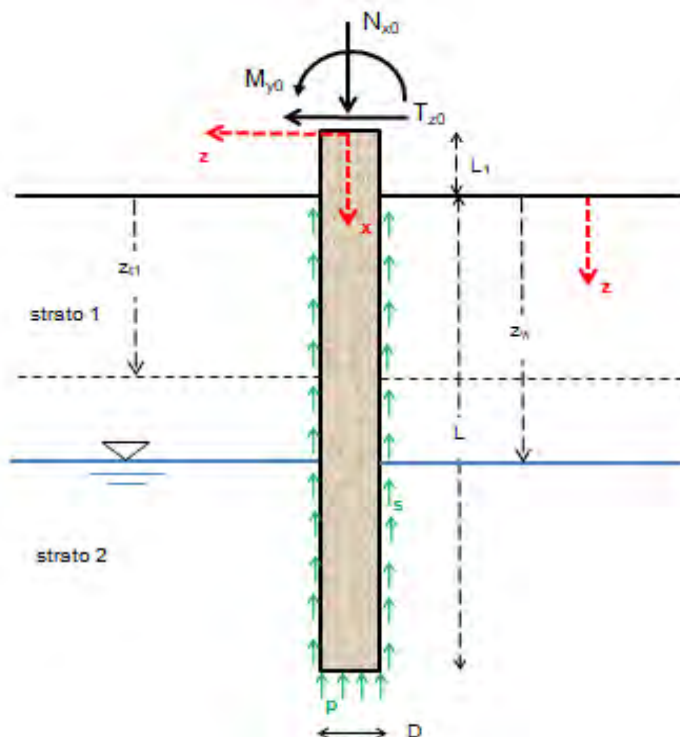
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

ALLEGATO 3 – RELAZIONE DI CALCOLO

Pali.Az 3.0

CALCOLO GEOTECNICO E STRUTTURALE DELLE FONDAZIONI PROFONDE SU PALI (Verifiche al Carico Limite, Calcolo Strutturale e Calcolo degli Spostamenti)



PROGETTO/LAVORI

Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Agri-Fotovoltaico denominato "TOVAGLIA" da realizzarsi in cave

COMMITTENTE

COMUNE

DIRETTORE DEI LAVORI

IMPRESA ESECUTRICE DEI LAVORI

LUOGO E DATA DI ESECUZIONE DEI CALCOLI

ANNOTAZIONI

CAMPO DI APPLICAZIONE DEL SOFTWARE

Palo singolo verticale cilindrico a sezione circolare

Piano di campagna orizzontale

Terreno anche stratigrafico

Terreni a grana grossa (condizioni drenate) e/o grana fina (condizioni non drenate)
 Eventuale presenza di pressioni neutre (falda in quiete)
 Pali in C.A., in acciaio, micropali (anima in acciaio), materiale generico
 Normative applicabili: DM 11/03/1988+D.M. 16/01/1996 (Metodo alle Tensioni Ammissibili) -
 DM 14/01/2008 (Metodo agli Stati Limite) - DM 17/01/2018 (Metodo agli Stati Limite)
 Verifiche SLU: carico limite per carichi assiali e trasversali, verifiche strutturali
 Verifiche SLE: spostamenti/cedimenti, fessurazione, tensioni di esercizio
 Numero non limitato di combinazioni di carico allo SLU e/o allo SLE

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018

Le verifiche al carico limite (di tipo geotecnico) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)

gruppo A1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1,3$ (1)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs} = 1,5$ (1)

gruppo A2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1$ (1)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs}=1,3$ (1)

Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)

gruppo M1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f'=1$ (1)
- coesione efficace, $g_c'=1$ (1)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1$ (1)

gruppo M2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f'=1,25$ (1,25)
- coesione efficace, $g_c'=1,25$ (1,25)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1,4$ (1,4)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)

gruppo R1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base, $g_b=1$ (1)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1$ (1)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1$ (1)
- resistenza a carichi trasversali, $g_T=1$ (1)

gruppo R2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,45$ (1,45)
- resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,7$ (1,7)
- resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,6$ (1,6)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1,45$ (1,45)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,6$ (1,6)
- resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,6$ (1,6)

gruppo R3 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,15$ (1,15)
- resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,35$ (1,35)
- resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,3$ (1,3)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1,15$ (1,15)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,25$ (1,25)

resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,3$ (1,3)

UNITA' DI MISURA

Sistema Internazionale

Calcoli generali e geotecnici

lunghezze (dimensioni, coordinate, distanze, ...): m (gli spostamenti sono espressi in cm)

aree sezioni: mq

volumi: mc

momenti di inerzia sezioni: m^4

forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kN

momenti e rigidezze rotazionali vincoli: $kN \cdot m$

forze distribuite per unità di lunghezza, rigidezze traslazionali vincoli: kN/m

coesioni, adesioni: kN/mq

tensioni nel sottosuolo, pressione neutra u: kN/mq

carico limite unitario: N/mm^2

pesi unità di volume: kN/mc

coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: N/cm^2

Calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, trefoli, barre, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cm^2

volumi: cm^3

momenti statici sezioni: cm^3

momenti di inerzia sezioni: cm^4

tensioni/pressioni, moduli elastici, resistenze materiali: N/mm^2

TIPO DI PALO

Palo ed elica continua

Palo in acciaio

CONDIZIONI DI ROTTURA

Condizioni drenate (terreni a grana grossa, terreni a grana fina con applicazione lenta dei carichi, terreni a grana fina con analisi a lungo termine)

NUMERO DI STRATI E VERTICALI DI INDAGINE

N° di strati = 3

N° di verticali di indagine = 1

SISTEMI DI RIFERIMENTO

Sistema di riferimento locale per il terreno

asse z verticale verso il basso con origine nel piano di campagna

Sistema di riferimento assoluto XYZ per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse X orizzontale verso destra

asse Y verticale verso il basso (coincidente con l'asse del palo)

asse Z ortogonale al piano del disegno ed entrante (rotazioni positive orarie)

regola della mano destra

Sistema di riferimento locale per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse x verticale verso il basso coincidente con l'asse del palo (+Y globale)

asse z orizzontale verso sinistra (-X globale)

asse y ortogonale al piano del disegno e uscente (-Z globale)
regola della mano destra

GEOMETRIA

diametro del palo, $D=0,22$ m
lunghezza di affondamento palo, $L=3$ m
lunghezza del palo fuori terra, $L1=0$ m

CONDIZIONE DI VINCOLO IN TESTA AL PALO

Palo a rotazione in testa impedita (attorno all'asse locale y)

STRATIGRAFIA

zt = profondità profilo di base dello strato

strato zt (m)

1	4
2	24
3	+ infinito

SEZIONE METALLICA MICROPALO O PALO ACCIAIO

forma armatura metallica: Tubolare a sez. circolare
diametro esterno, $De=20$ cm
spessore parete, $tw=3$ cm
area della sezione, $A=160,221$ cmq
momento d'inerzia elastico della sezione rispetto all'asse y, $Iy=5968,241$ cm⁴
modulo di resistenza elastico rispetto all'asse y, $Wy=596,824$ cmc
modulo di resistenza plastico rispetto all'asse y, $Wply=876$ cmc
Classe della sezione = 1

DATI GEOTECNICI TERRENI (valori caratteristici)

Valori medi per gli strati presenti

Strato n° 1-strato 1 ghiaie

peso dell'unità di volume, $g=19,00$ kN/mc
angolo di resistenza al taglio denato, $Fi'=37^\circ$
coesione drenata, $c'=52$ kN/mq
angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $delt_a=20^\circ$
angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $delt_p=20^\circ$
grado di sovraconsolidazione, $OCR=2$
comportamento a breve termine: drenato

Strato n° 2-strato 2 conglomerato

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc
angolo di resistenza al taglio denato, $Fi'=42^\circ$
coesione drenata, $c'=87$ kN/mq
angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $delt_a=20^\circ$
angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $delt_p=20^\circ$
grado di sovraconsolidazione, $OCR=2$
comportamento a breve termine: drenato

Strato n° 3-strato 3 Conglom.

peso dell'unità di volume, $g=19,00$ kN/mc
angolo di resistenza al taglio denato, $Fi'=46^\circ$
coesione drenata, $c'=114$ kN/mq
angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $delt_a=20^\circ$

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $\text{delt}_p=20^\circ$
 grado di sovraconsolidazione, $\text{OCR}=2$
 comportamento a breve termine: drenato

DATI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE E INTERFACCIA PALO-TERRENO

Dati relativi a tutte le verticali di indagine (calcolo carico limite assiale e trasvers.)

Verticale di indagine n° 1 (verticale n. 1)

Strato n° 1

angolo di resistenza al taglio, $\text{Fi}=37^\circ$
 coesione drenata, $c'=52 \text{ kN/mq}$
 adesione al contatto palo-terreno, $a=0,5 \text{ kN/mq}$
 coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,6$
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=0,6$

Strato n° 2

angolo di resistenza al taglio, $\text{Fi}=42^\circ$
 coesione drenata, $c'=87 \text{ kN/mq}$
 adesione al contatto palo-terreno, $a=0,6 \text{ kN/mq}$
 coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,7$
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=0,7$

Strato n° 3

angolo di resistenza al taglio, $\text{Fi}=46^\circ$
 coesione drenata, $c'=114 \text{ kN/mq}$
 adesione al contatto palo-terreno, $a=0,7 \text{ kN/mq}$
 coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,9$
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=0,9$

COEFFICIENTI DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO O DI WINKLER

Formula binomia $K_s=As+Bs*z^n$ con As e Bs espressi in N/cm , z in m

strato		As	Bs	n
1	strato 1 ghiaie	133,71526	32,61913	0,5
2	strato 2 conglomerato	371,68049	68,2989	0,5
3	strato 3 Conglom.	786,53097	120,4613	0,5

DATI MATERIALI COSTITUENTI IL PALO

tipo di acciaio micropalo/palo: S 275
 modulo di elasticità longitudinale acciaio, $E_s=210000 \text{ N/mmq}$
 peso dell'unità di volume dell'armatura metallica, $g_{acc}=78,5 \text{ kN/mc}$
 tensione caratteristica di rottura acciaio, $f_{tk}=430 \text{ N/mmq}$
 tensione caratteristica di snervamento acciaio, $f_{yk}=275 \text{ N/mmq}$
 coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza delle sezioni di acciaio di classe 1-2-3-4, $g_{M0}=1,05$
 coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza all'instabilità delle membrature, $g_{M1}=1,05$
 coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza di sezioni tese indebolite da fori, $g_{M2}=1,25$
 tensione di snervamento di progetto dell'acciaio, $f_{yd}=f_{yk}/g_{M0}=261,9 \text{ N/mmq}$

CARICHI ESTERNI APPLICATI IN TESTA AL PALO (valori caratteristici)

Combinazione di carico allo SLU n° Comb 1

componente verticale permanente, $N_{x0G}=25,3 \text{ kN}$
 componente verticale variabile, $N_{x0Q}=0 \text{ kN}$
 componente orizzontale permanente, $T_{z0G}=53 \text{ kN}$
 componente orizzontale variabile, $T_{z0Q}=0 \text{ kN}$
 componente momento permanente, $M_{y0G}=130 \text{ kN*m}$

componente momento variabile, $M_{y0Q}=0 \text{ kN}\cdot\text{m}$

SCELTE DI CALCOLO

Verifiche agli SLU di tipo geotecnico condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)

Calcolo FEM: lunghezza media elemento finito, $L_{me}=0,3 \text{ m}$

Vincolo alla base del palo: appoggio fisso

TIPO DI ANALISI E METODI APPLICATI

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi assiali

valori del fattore di forma N_q : Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma N_q per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi trasversali

Teoria di Broms (1964)

Calcolo sollecitazioni e spostamenti orizzontali nel palo di fondazione

Soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

Palo elastico su suolo elastico alla Winkler

Analisi Lineare: molle che simulano il terreno a comportamento elastico-lineare

DATI PALO

perimetro sezione palo, $U=\text{pigreco}\cdot D=0,691 \text{ m}$

rapporto $L/D=13,6$

area sezione (sul diametro D), $A_p=0,038 \text{ mq}$

volume palo (sul diametro D), $V_p=0,11 \text{ mc}$

peso del palo, $W_p=3,77 \text{ kN}$

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Combinazione di carico allo SLU n° 1 (Comb 1)

SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)

sez./nodo	x (m)	N_x (kN)	T_z (kN)	M_y ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
1	0,0	-25,30	-12,33	-130,00
2	0,3	-25,68	42,80	-133,70
3	0,6	-26,05	71,60	-120,86
4	0,9	-26,43	80,71	-99,38
5	1,2	-26,81	76,70	-75,17
6	1,5	-27,19	65,07	-52,16
7	1,8	-27,56	49,94	-32,63
8	2,1	-27,94	34,07	-17,65
9	2,4	-28,32	19,06	-7,43
10	2,7	-28,70	5,71	-1,71
11	3,0	-29,07	5,71	0,00

REAZIONI VINCOLARI E PRESSIONI DI CONTATTO TERRENO-PALO (calcolo FEM)

K_s = costante orizzontale di Winkler (N/cmc)

R_{vX} = componente della reazione vincolare lungo X (kN)

R_{vY} = componente della reazione vincolare lungo Y (kN)

R_{vZ} = componente momento della reazione vincolare ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

p_{Xv} = pressione orizzontale del terreno (molle) (kN/mq)

sez./n odo	x (m)	Ks	RvX	RvY	RvZ	pXv
1	0	133,72	40,67	0	0	1232,29
2	0,3	151,58	55,13	0	0	835,3
3	0,6	158,98	28,81	0	0	436,51
4	0,9	164,66	9,11	0	0	138,03
5	1,2	169,45	-4,01	0	0	-60,79
6	1,5	173,67	-11,63	0	0	-176,2
7	1,8	177,48	-15,13	0	0	-229,25
8	2,1	180,98	-15,88	0	0	-240,54
9	2,4	184,25	-15,01	0	0	-227,36
10	2,7	187,31	-13,35	0	0	-202,33
11	3	190,21	-5,71	-29,07	0	-172,95

VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO PALO (calcolo FEM)

Equilibrio alla traslazione orizzontale

somma delle forze esterne orizzontali applicate al palo, $SF_x = -53,00$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo X, $SommRvX = 53,00$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale: $SF_x + SommRvX = 0,00$ kN

Equilibrio alla traslazione verticale

peso proprio del palo, $W_p = 3,77$ kN

somma delle forze verticali applicate al palo, $SF_y = 25,30$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo Y, $SommRvY = -29,07$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione verticale: $W_p + SF_y + SommRvY = 0,00$ kN

Equilibrio alla rotazione (attorno alla testa del palo-primo nodo)

momento delle forze orizzontali applicate al palo, $MF_x = -130,00$ kN*m

momento delle reazioni vincolari lungo X, $MRvX = 130,00$ kN*m

reazioni vincolari momento, $MRvZ = 0,00$ kN*m

equazione di equilibrio alla rotazione: $MF_x + MRvX + MRvZ = 0,00$ kN*m

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./n odo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-0,92	0	-0,0139
2	0,3	-0,55	0	-0,0108
3	0,6	-0,27	0	-0,0077
4	0,9	-0,08	0	-0,0051
5	1,2	0,04	0	-0,003
6	1,5	0,1	0	-0,0015
7	1,8	0,13	0	-0,0005
8	2,1	0,13	0	0,0001
9	2,4	0,12	0	0,0004
10	2,7	0,11	0	0,0006
11	3	0,09	0	0,0006

VERIFICA SEZIONI A SFORZO NORMALE ECCENTRICO E TAGLIO

Dati meccanici della sezione

Resistenza plastica a sforzo normale della sezione lorda A, $N_{pl_Rd} = 4.196,26$ kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, $Avz = 102,00$ cmq

Resistenza di progetto a taglio lungo z, $V_{cz_Rd} = 1.542,35$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, $M_{y_Rd}=156,31 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, $M_{ply_Rd}=229,43 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 tensione di snervamento di progetto, $f_{yd}=262 \text{ N/mm}^2$

Dati sulle verifiche delle sezioni

sid_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio (N/mm²)

Mcy_Rd: resistenza di progetto sezione soggetta a presso/tenso-flessione retta (kN*m)

sez.	x (m)	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
1	0	-25,3	-12,33	-130	219,4		SI
2	0,3	-25,68	42,8	-133,7	225,6		SI
3	0,6	-26,05	71,6	-120,86	204,1		SI
4	0,9	-26,43	80,71	-99,38	168,2		SI
5	1,2	-26,81	76,7	-75,17	127,6		SI
6	1,5	-27,19	65,07	-52,16	89,1		SI
7	1,8	-27,56	49,94	-32,63	56,4		SI
8	2,1	-27,94	34,07	-17,65	31,3		SI
9	2,4	-28,32	19,06	-7,43	14,2		SI
10	2,7	-28,7	5,71	-1,71	4,7		SI
11	3	-29,07	5,71	0	2,1		SI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR}=229,43 \text{ kN}\cdot\text{m}$

CARICO LIMITE PER CARICHI ASSIALI

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)

Azione di progetto

$E_d = gG_s * N_x 0g + gQ_s * N_x 0q + gG_s * W_p = 29,07 \text{ kN}$

Resistenza di progetto

Verticale di indagine n° 1 (verticale n. 1)

Parametri geotecnici di progetto

coesione, $c_d = 52 \text{ kN/m}^2$

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d} = 37^\circ$

Resistenza alla punta

fattore N_q (Berezantzev), $N_q = 88,53$

fattore $N_c = 116,16$

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, $s_{VL} = 57,00 \text{ kN/m}^2$

pressione neutra alla profondità L, $u_L = 0,00 \text{ kN/m}^2$

tensione litostatica verticale efficace alla profondità L, $s'_{VL} = 57,00 \text{ kN/m}^2$

Resistenza unitaria alla punta, $p = 11,09 \text{ N/mm}^2$

Resistenza alla punta, $P_{max} = 421,45 \text{ kN}$

Resistenza laterale

Resistenza laterale, $S_{max} = 22,31 \text{ kN}$

Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio), $P_{max_med} = 421,45 \text{ kN}$

Resistenza alla punta (valore minimo), $P_{max_min} = 421,45 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore medio), $S_{max_med} = 22,31 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore minimo), $S_{max_min} = 22,31 \text{ kN}$

Fattore di correlazione, $\xi_3 = 1,7$

Fattore di correlazione, $\xi_4 = 1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico), $P_{max_k} = 247,91 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore caratteristico), $S_{max_k} = 13,12 \text{ kN}$

Resistenza alla punta di progetto, $P_{max_d} = P_{max_k}/\gamma_b = 190,70 \text{ kN}$

Resistenza laterale di progetto, $S_{max_d} = S_{max_k}/\gamma_s = 11,41 \text{ kN}$

Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim_d} = P_{max_d} + S_{max_d} = 202,11$ kN

Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt_d} = S_{max_d} = 11,41$ kN

Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto
coeff. di sicurezza, $E_t = Q_{lim_d} / E_d = 6,95$

CARICO LIMITE PER CARICHI TRASVERSALI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR} = 229,43$ kN*m

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)**Azione di progetto**

$E_d = g_{Gs} * T_{z0g} + g_{Qs} * T_{z0q} = 53,00$ kN

Resistenza di progetto**Verticale di indagine n° 1 (verticale n. 1)**

angolo di resistenza al taglio di progetto, $F_{i_d} = 37^\circ$

coefficiente di spinta passiva, $K_p = 4,022791$

reazione orizzontale del terreno alla profondità L, $p(L) = 151,34$ kN/m

Meccanismo di rottura di "palo intermedio"

profondità f in cui si forma la cerniera plastica, $f = 2,46$ m

Carico limite trasversale, $T_{lim} = 152,14$ kN

Carico limite trasversale di progetto

valore medio, $T_{lim_med} = 152,14$ kN

valore minimo, $T_{lim_min} = 152,14$ kN

fattore di correlazione $\xi_3 = 1,7$

fattore di correlazione $\xi_4 = 1,7$

Carico limite trasversale (valore caratteristico), $T_{lim_k} = 89,50$ kN

Carico limite trasversale di progetto, $T_{lim_d} = 68,84$ kN

Verifica al carico limite per carichi trasversali

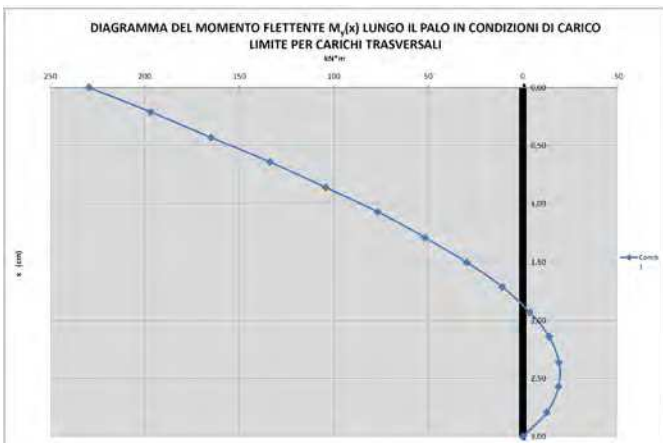
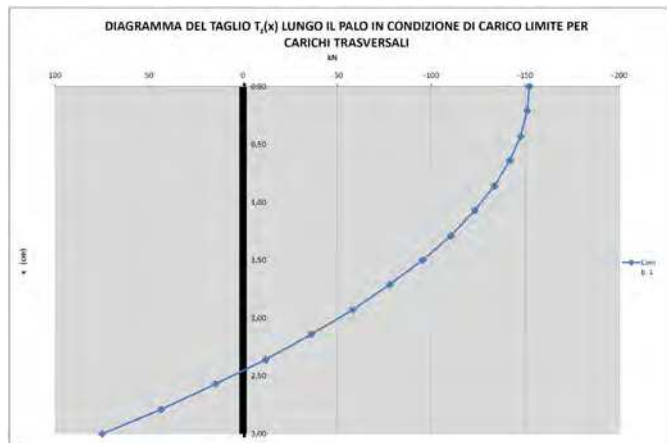
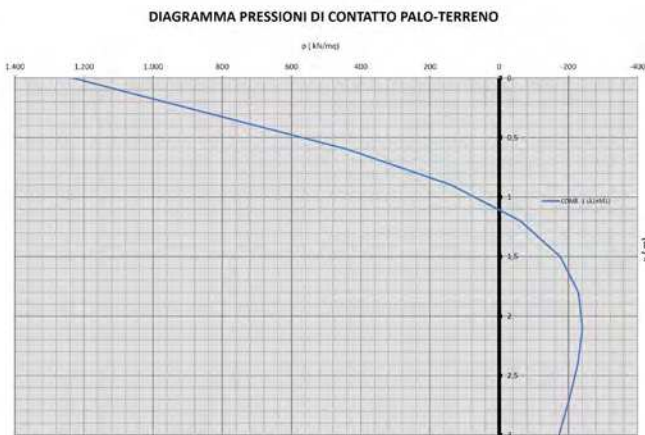
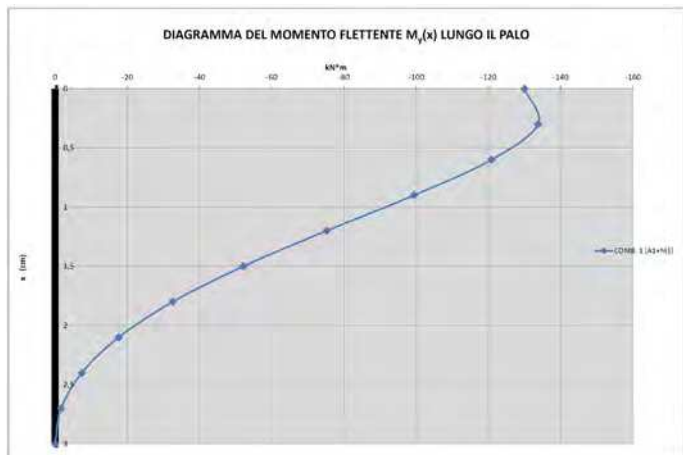
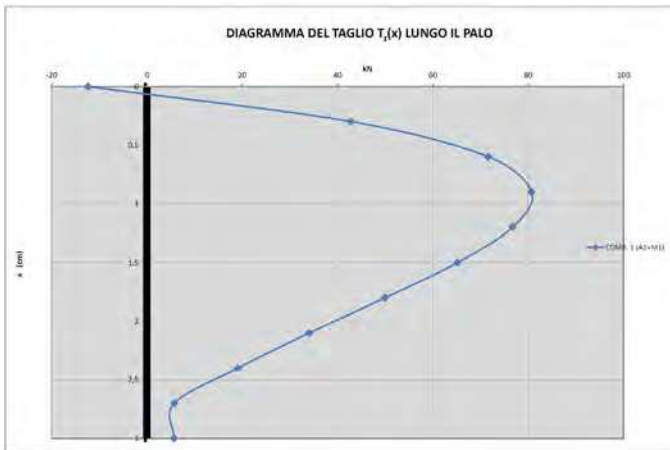
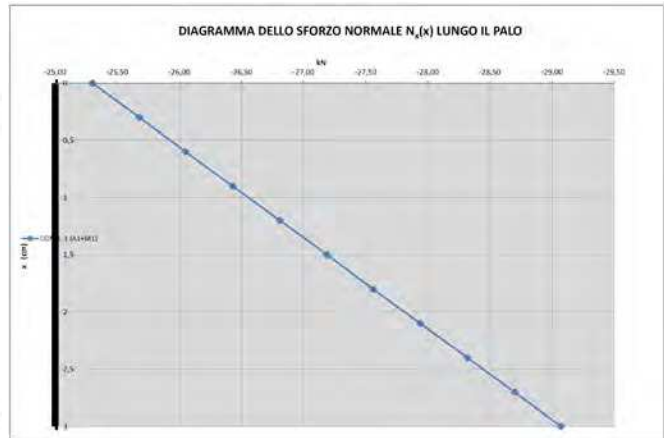
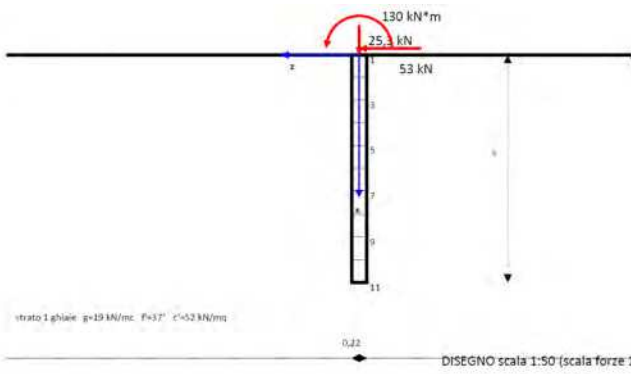
Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto
coeff. di sicurezza, $T_{lim_d} / E_d = 1,3$

COMPUTO METRICO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE (palo singolo)

Acciaio (kg)	377,3
--------------	-------

Il progettista/tecnico

Geol. N. Di Iella



Progetto: Carico Limite e Cedimenti
 Ditta:
 Comune:
 Progettista:
 Direttore dei Lavori:
 Impresa:

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
 Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
 - Legge nr. 64 del 02/02/1974.
 Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
 - D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
 Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
 - D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
 Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
 - D.M. 9 Gennaio 1996
 Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
 - D.M. 16 Gennaio 1996
 Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
 - D.M. 16 Gennaio 1996
 Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
 - Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
 - Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
 - Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
 - Circolare 617 del 02/02/2009
 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (D.M. 17 gennaio 2018).

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

c coesione del terreno in fondazione;
 ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
 γ peso di volume del terreno in fondazione;
 B larghezza della fondazione;
 D profondità del piano di posa;
 q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_q = A \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 (D/B) \sqrt{K_p}$$

$$d_i = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (D/B) \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90^\circ)^2$$

$$i_\gamma = [1 - (\theta^\circ / \phi^\circ)]^2 \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Per tenere conto del sisma, si può ridurre l'angolo d'attrito del terreno secondo il criterio di Sano. Sano valuta tale riduzione tramite la seguente relazione:

$$d\phi = \arctan (A_{max} / \sqrt{2})$$

dove A_{max} rappresenta la massima accelerazione orizzontale.

Verifica della portanza per carichi orizzontali (scorrimento)

Per la verifica a scorrimento lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere la fondazione deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere la fondazione F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s . Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s > 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} > \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione. La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_r l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B , la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_r + c_a B$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle della fondazione. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 30 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_r , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_r pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

Il metodo edometrico è il classico procedimento per il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fina, proposto da Terzaghi negli anni '20.

L'ipotesi edometrica è verificata con approssimazione tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato compressibile e la dimensione in pianta della fondazione. Tuttavia il metodo risulta dotato di ottima approssimazione anche nei casi di strati deformabili di grande spessore.

L'implementazione del metodo è espressa secondo la seguente espressione:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_{ed,i}} \Delta z_i$$

dove:

$\Delta \sigma$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z , dalla pressione di contatto della fondazione;

E_{ed} è il modulo elastico determinato attraverso la prova edometrica e relativa allo strato i -esimo;

Δz rappresenta lo spessore dello strato i -esimo in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico.

Calcolo delle tensioni indotte

Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato Q , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto $P(x,y,z)$ posto alla profondità z :

$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

dove: $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico Q come un carico infinitesimo agente su una areola da . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico dQ : la tensione indotta in un punto $P(x,y,z)$, posto alla profondità z , si ottiene sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
Fondazione	(R)	0,00	0,00	3,00	15,00	1,80	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [kg/cm²]

ca Adesione del terreno espressa in [kg/cm²]

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca
Terreno	1800,0	1850,0	37,00	15,00	0,520	0,000
Terreno 2	1900,0	2000,0	42,00	15,00	0,870	0,000
Terreno 3	2000,0	2100,0	46,00	18,00	1,140	0,000

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E_{ed} Modulo edometrico espresso in [kg/cm²]

Descr	E_{ed}
Terreno	339,00
Terreno 2	2530,00
Terreno 3	6100,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	Identificativo strato	
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]	
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]	
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]	
Terreno	Terreno dello strato	

Punto di sondaggio n° 1:	X = 0,0 [m]	Y = 0,0 [m]
Punto di sondaggio n° 2:	X = 3,0 [m]	Y = 0,0 [m]
Punto di sondaggio n° 3:	X = 0,0 [m]	Y = 3,0 [m]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
1	-4,0	-4,0	-4,0	Terreno
2	-24,0	-24,0	-24,0	Terreno 2
3	-30,0	-30,0	-30,0	Terreno 3

Normativa

N.T.C. 2018

Calcolo secondo: Approccio 2

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_r	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti parziali combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_r	1,00	1,00

Coefficienti parziali combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_r	1,00	1,00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

		R1	R2	R3
Capacità portante	γ_r	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	γ_r	1,00	1,10	1,10

Coeff. di combinazione $\Psi_0=0,70$ $\Psi_1=0,50$ $\Psi_2=0,20$

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.

Fondazione Nome identificativo della fondazione

N	Sforzo normale totale espressa in [kg]
Mx	Momento in direzione X espressa in [kgm]
My	Momento in direzione Y espressa in [kgm]
ex	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
ey	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
β	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
T	Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1. (Condizione n° 1) [PERMANENTE]

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Fondazione	1500,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione
C	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU - Approccio 2

	γ	Ψ	C
Condizione n° 1	1.00	1.00	1.00

Analisi in condizioni drenate

Verifica della portanza per carichi verticali

Il calcolo della portanza è stato eseguito col metodo di Meyerhof
La relazione adottata è la seguente:

$$q_u = c N_c s_c i_c d_c + q N_q s_q i_q d_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA

Il criterio utilizzato per il calcolo del macrostrato equivalente è stato la MEDIA ARITMETICA

Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:

Riduzione sismica: SANO [7,00(%)]

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF

Riduzione per rottura locale o punzonamento del terreno: NESSUNA

Meccanismo di punzonamento in presenza di falda.

Riduzione per comportamento a piastra.

Fondazione

Combinazione n° 1

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 3,17	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1850,00$	[kg/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 39,50$	[°]
Coesione	c = 0,70	[kg/cm ²]
Modulo di taglio	G = 4362,61	[kg/cm ²]

Base ridotta B' = B - 2 ex = 3,00 [m]

Lunghezza ridotta L' = L - 2 ey = 15,00 [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 71,46$	$N_q = 59,91$	$N_\gamma = 85,08$
$s_c = 1,18$	$s_q = 1,09$	$s_\gamma = 1,09$
$i_c = 1,00$	$i_q = 1,00$	$i_\gamma = 1,00$
$d_c = 1,25$	$d_q = 1,13$	$d_\gamma = 1,13$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 73,51 + 23,85 + 27,73 = 125,08 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 56288090,76 \text{ [kg]}$$

$$Q_d = 24473082,94 \text{ [kg]}$$

$$V = 1500,00 \text{ [kg]}$$

$$\eta = Q_u / V = 56288090,76 / 1500,00 = 37525,39$$

Indici rigidezza

$I_c = 1,00$ $I_{rc} = 312,66$

Verifica della portanza per carichi orizzontali (scorrimento).

Partecipazione spinta passiva: 0,00 (%)

La relazione adottata è la seguente:

$$\eta = R / H \geq \eta_{req}$$

η_{req} : coefficiente di sicurezza richiesto

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Identificativo della combinazione
<i>H</i>	Forza di taglio agente al piano di posa espresso in [kg]
<i>R_{ult1}</i>	Resistenza offerta dal piano di posa per attrito ed adesione espressa in [kg]
<i>R_{ult2}</i>	Resistenza passiva offerta dall'affondamento del piano di posa espressa in [kg]
<i>R</i>	Somma di <i>R_{ult1}</i> e <i>R_{ult2}</i>
<i>R_{amm}</i>	Resistenza ammissibile allo scorrimento espressa in [kg]
η	Coeff. di sicurezza allo scorrimento

Fondazione

Cmb	H	R_{ult1}	R_{ult2}	R	R_{amm}	η
1	0,00	401,92	0,00	401,92	365,39	100,00

Cedimenti

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il metodo Edometrico utilizzando il modulo edometrico.

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.

In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%)

E' stato richiesto di tenere in conto della fondazione compensata.

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

<i>Comb</i>	Identificativo della combinazione
<i>w_f</i>	cedimento finale espresso in [cm]
<i>H</i>	spessore strato compressibile espresso in [m]
<i>X</i>	coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]
<i>Y</i>	coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Fondazione				
Comb	w _r	H	X	Y
1	0,00	4,80	0,00	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato	Identificativo dello strato
Terreno	Terreno dello strato
ΔH	Spessore dello strato espresso in [m]
Δw	Cedimento dello strato espresso in [cm]

Fondazione (Combinazione n° 1)

Strato	Terreno	ΔH	Δw
1	Terreno	2,20	0,0000
2	Terreno 2	0,80	0,0000
Totale		3,00	0,0000

Dettagli sui cedimenti dei singoli strati

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dell'i-esimo strato
z	quota media dell'i-esimo strato espresso in [m]
ΔH	spessore dello strato i-esimo espresso in [m]
$\Delta \sigma_v$	incremento di tensione verticale dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]
E_{ed}	modulo edometrico dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]
Δw	cedimento dell'i-esimo strato espresso in [cm]

Fondazione (Combinazione n° 1)

n°	z	ΔH	$\Delta \sigma_v$	E_{ed}	Δw
1	-1,87	0,15	0,00	339,00	0,0000
2	-2,02	0,15	0,00	339,00	0,0000
3	-2,17	0,15	0,00	339,00	0,0000
4	-2,31	0,15	0,00	339,00	0,0000
5	-2,46	0,15	0,00	339,00	0,0000
6	-2,61	0,15	0,00	339,00	0,0000
7	-2,75	0,15	0,00	339,00	0,0000
8	-2,90	0,15	0,00	339,00	0,0000
9	-3,05	0,15	0,00	339,00	0,0000
10	-3,19	0,15	0,00	339,00	0,0000
11	-3,34	0,15	0,00	339,00	0,0000
12	-3,49	0,15	0,00	339,00	0,0000
13	-3,63	0,15	0,00	339,00	0,0000
14	-3,78	0,15	0,00	339,00	0,0000
15	-3,93	0,15	0,00	339,00	0,0000
16	-4,03	0,05	0,00	2530,00	0,0000
17	-4,08	0,05	0,00	2530,00	0,0000
18	-4,13	0,05	0,00	2530,00	0,0000
19	-4,19	0,05	0,00	2530,00	0,0000
20	-4,24	0,05	0,00	2530,00	0,0000
21	-4,29	0,05	0,00	2530,00	0,0000
22	-4,35	0,05	0,00	2530,00	0,0000
23	-4,40	0,05	0,00	2530,00	0,0000
24	-4,45	0,05	0,00	2530,00	0,0000
25	-4,51	0,05	0,00	2530,00	0,0000
26	-4,56	0,05	0,00	2530,00	0,0000
27	-4,61	0,05	0,00	2530,00	0,0000
28	-4,67	0,05	0,00	2530,00	0,0000
29	-4,72	0,05	0,00	2530,00	0,0000
30	-4,77	0,05	0,00	2530,00	0,0000
Totale		3,00			0,0000