

PROPONENTE:

REPOWER
L'energia che ti serve.

PROGETTAZIONE:

Dott. Geol. Alberelli Gianpiero
P.za Milano 2, 17024 Finale Ligure (SV)
C.F. LBRGPR51A08L175A



N°COMMESSA:
1454

IMPIANTO EOLICO "CRAVAREZZA"
REGIONE LIGURIA – PROVINCIA DI SAVONA
COMUNI DI CALICE LIGURE (PARCO EOLICO), MALLARE (PARCO EOLICO CAVIDOTTI E SSEU)
ORCO FEGLINO E ALTARE (CAVIDOTTI)

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO: Relazione Geologica stazione Terna - Mallare

CODICE ELABORATO
1454_R22

NOME FILE:
1454_R22_Relazione Geologica stazione Terna - Mallare

0	01/2024	1° Emissione	AG	MS	MS
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVATO

**Comune di Mallare
Provincia di Savona**

"INDAGINE GEOLOGICA" per la realizzazione della "Stazione di Trasformazione 380/132/36 KV - Località Peirano Comune di Mallare inserita nel progetto del Parco Eolico Cravarezza Comune di Calice Ligure (Savona)

Ai sensi del D.M. 14/01/20i8 "Norme tecniche per le costruzioni"

Tecnico incaricato:
Dott. Geol. ALBERELLI GIANPIERO

Progettisti :

 **Hydro Engineering s.s.**
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy

PROPONENTE
REPOWER

Referente per la Committenza : Ing. Mara Scalvini - Project Manager.

Data: Aprile 2023

Timbro del Tecnico:

**ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI
DELLA REGIONE LIGURIA N. 599/AP**



Dott. Geol. ALBERELLI GIANPIERO LBRGPR51A08L175A
P.za Milano 2, 17024 Finale ligure (SV) e-mail: gpalbe@libero.it tel. 345.8482574

PREMESSA

PARTE I
RELAZIONE GEOLOGICA

1. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO.....	4
2. CARATTERI GEOLOGICI DEL SITO E DELL'AREALE A CONTORNO.....	5
3. CARATTERI MORFOLOGICI DEL SITO E DELL'AREALE A CONTORNO.....	5
4. IDROGEOLOGIA.....	5
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	5
5.1 Prospezione geofisica mediante prospezione geofisica MASW tramite misurazione di onde s.....	5
5.2 Prove Penetrometriche Dinamiche.....	6
6. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEI TERRENI IN SITO.....	9
6.1 Caratterizzazione parametrica della coltre detritica.....	9
6.2 Caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso.....	10
7. COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA CON IL PIANO DI BACINO.....	11
8. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO.....	11
8.1 Criticità idrogeologica del versante.....	11
8.2 Criticità idraulica.....	11
8.3 Sicurezza degli scavi.....	12
9. VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA DEL SITO.....	10
10. SISTEMAZIONE TERRE DA SCAVO.....	11

PARTE II
MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE.....	13
2. PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.....	13
3. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO PER DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	13
3.1 Influenza delle condizioni stratigrafiche - Categorie di sottosuolo.....	13
3.2 Influenza delle condizioni topografiche Categorie topografiche.....	14
4. AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	14

PARTE III
RELAZIONE GEOTECNICA

1. OGGETTO DELL'INTERVENTO.....	15
2. MODELLAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO.....	15
3. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO.....	16
4. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	16
5. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	17
5.1 Parametri geotecnici del terreno di fondazione.....	17
6. VERIFICHE DI SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI: ANALISI GEOTECNICHE.....	18
6.1 Fronti di scavo.....	18
7. FONDAZIONI.....	18
9. CONCLUSIONI ED INDICAZIONI TECNICO-OPERATIVE PER LA FASE ESECUTIVA.....	20

FIGURE

- Figura 1 – Panoramica della zona di intervento (Google Heart Pro)
 Figura 2 – Nspt →Dr schema di correlazione di Terzaghi e Peck
 Figura 3 – Spessore della coltre nella piana alluvionale
 Figura 4 – Planimetria con ubicazione delle strutture tecniche della Centrale Terna

TAVOLE

TAVOLA 1	Corografia
TAVOLA 2	Stralcio Carta Geologica
TAVOLA 3	Pericolosità Sismica
TAVOLA 4	Stralcio della carta di Pericolosità Idraulica e Geomorfologica da Frana
TAVOLA 5	Planimetria con ubicazione indagini geognostiche
TAVOLA 6	Sezioni Interpretative

ALLEGATI

ALLEGATO 1 Prove Penetrometriche dinamiche di tipo medio e Prospezione geofisica mediante MASW e misurazione dei microtremori ambientali HVSR

PREMESSA

In adempimento all'incarico ricevuto dalla Società Repower Renewable (contratto n. 23-000661 data 16/3/23) lo Scrivente ha redatto la presente relazione geologica sulla scorta del progetto per la realizzazione della "Stazione di Trasformazione 380/132/36 KV in Comune di Mallare, Località Peirano, inserita nel progetto del "Parco Eolico Cravarezza- Comune di Calice Ligure (Savona)" elaborato dallo Studio Tecnico Hydro Engineering s.s. di Damiano e Mariano Galbo – 11/2021 n. Comm. 1454, Referente per la presente indagine geologica Ing. Mara Scalvini - Project Manager.

L'indagine è stata sviluppata ai sensi delle vigenti disposizioni normative con particolare riferimento a:

- *D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento Norme tecniche per le Costruzioni";*
- *circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - consiglio superiore dei lavori pubblici - istruzioni per l'applicazione dello "aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al d.m. 17 gennaio 2018";*
- *C.S.LL.PP. Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007;*
- *O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" che prevede la suddivisione del territorio nazionale in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima.*
- *D.G.R. 17/03/2017 n. 216 "D.M. 14/01/2008 – "N.T.C. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria";*
- *Norme geologiche di attuazione dello strumento urbanistico generale del comune di finale ligure;*
- *DGR 428/2021 L.r. 41/2014, art.33, c.6 e Norme di Attuazione Piano Assetto Idrogeologico (PAI) Fiume Po, art.58. Approvazione disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia, per aree a pericolosità idraulica e geomorfologica da frana.*

L'indagine è stata svolta mediante esecuzione del rilevamento di superficie finalizzato alla caratterizzazione geomorfologica, geologica ed idrogeologica del sito, ovvero della zona su cui insiste l'area oggetto di intervento ed un suo congruo intorno.

I risultati significativi ai fini della caratterizzazione del sito di intervento sono stati raccolti ed esposti nella presente relazione geologica al fine di definire il modello geologico e le caratteristiche geotecniche delle coltri di copertura e substrato roccioso.

Nella modellazione sismica del sito e pericolosità sismica è stata specificata l'indicazione della zona sismogenetica, della classificazione sismica regionale, pericolosità sismica e relativi parametri.

Per quanto di competenza nella relazione geotecnica sono stati determinati i parametri geotecnici caratteristici ed esaminata la compatibilità delle opere del progetto definitivo con le risultanze dello studio geologico.

L'indagine svolta è stata articolata come di seguito specificato:

- esecuzione del rilevamento di superficie finalizzato alla caratterizzazione geomorfologica, geologica, idrogeologica del sito;
- indagine geognostica diretta del sottosuolo mediante la realizzazione di sei prove penetrometriche dinamiche super pesanti;
- indagine geofisica mediante Prospezione Sismica a Rifrazione;
- interpretazione della stratigrafia più superficiale e caratterizzazione in termini di parametri fisico-meccanici del sottosuolo.

I risultati significativi ai fini della caratterizzazione del sito di intervento sono stati raccolti ed esposti nella presente relazione geologica che deve considerarsi come elaborato tecnico propedeutico alla relazione geotecnica in cui dovranno essere compiutamente sviluppati i calcoli necessari alla progettazione esecutiva degli interventi, in relazione alle interazioni con il terreno nel volume significativo, anche sulla base di successivi eventuali approfondimenti di indagine.

PARTE I **RELAZIONE GEOLOGICA**

1. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO.

Da quanto specificato al capitolo 10 nella Relazione Tecnica Descrittiva* del progetto definitivo (elaborato 1454_R3) nella zona oggetto di indagine, compresa nell'ansa interna del fiume Bormida di Mallare, in Comune di Mallare - Località Peirano (§ Tavola 1 – Corografia), sono previsti gli interventi per la connessione alla RTN 380/132 KV di un impianto eolico, con lo scopo di immettere nella rete la potenza prodotta dal proprio impianto di produzione da 40,4 MW.

** Nel caso specifico si intende la costruzione di una nuova Stazione Elettrica TERNA 380/132kV realizzata in moduli blindati SF6 all'interno di un edificio integrato idoneo ad ospitare le baie, predisposte per n° 06 stalli AT 132kV e n° 05 stalli AT 380kV che sarà allacciata in entra/esci all'elettrodotto aereo "380kV Vado Ligure-Magliano", anch'esso oggetto d'intervento per inserimento di due nuovi tralicci per eseguire l'entra/esci della stazione TERNA.*

Pertanto il presente progetto dell'impianto di connessione comprende entrambe le parti appena descritte e dato che sono entrambe funzionali all'allaccio in rete del parco e del sistema di stoccaggio energia a batterie, sarà inserito interamente all'interno del progetto definitivo di tutto il parco.

Dagli elaborati pervenuti la Stazione Tema (SE) RTN 380/132kv "Mallare" si sviluppa su un' area rettangolare recintata di circa 1,233 ha, provvista di cancello di ingresso e su terreni individuati nel Piano Particolare allegato al progetto (elaborato 1454_R8).

2. CARATTERI GEOLOGICI DEL SITO E DELL'AREALE A CONTORNO.

L'areale significativo è caratterizzato geologicamente dalla presenza di un'unica litologia appartenenti al dominio Brianzonese Ligure; Sotto il profilo geologico - strutturale e paleogeografico, il Brianzonese Ligure, il cui dominio inizia a differenziarsi da quello Piemontese nel Trias superiore, costituisce il prolungamento verso sud-est, dal Colle di Tenda fino al mare del Brianzonese Classico e rappresenta al tempo stesso parte di un dominio paleogeografico e di un complesso di Unità Tettoniche che si ritiene provengano dalla porzione del continente più prossima al margine del paleocontinente stesso. La serie stratigrafica viene generalmente distinta in tre parti: *basamento cristallino* (interessato da una o più orogenesi prealpine), *tegumento permio carbonifero* e *copertura meso-cenozoica*.

La Copertura meso-cenozoica ha inizio nel Trias inferiore con l'ingressione marina e con la deposizione di materiali detritici molto rielaborati (quarziti), passanti transizionalmente a calcari e dolomie grigie di piattaforma del Trias medio (Ladinico).

Con riferimento a quanto riportato nello stralcio della Carta Geologica Regionale F° 228 Cairo Montenotte nella zona di intervento il substrato affiorante in sito risulta costituito da filladi grafiche nerastre comprese nella Formazione di Murialdo (FMU) "Permiano Inf.". (§ Tavola 2 – Carta Geologica).

La specifica area oggetto di insediamento della "Stazione Terna" costituisce una ristretta piana all'interno di un'ansa del fiume Bormida di Mallare in località Peirano a quota media 405 m.s.l.m. ove hanno sede depositi essenzialmente ghiaiosi con lenti di materiale più fine (sabbie e limi) recenti ed attuali "Olocene -Attuale" classificati CMT₃.

La superficie di appoggio basale si ritiene sia di natura erosiva visibile in alcuni tratti dell'alveo come ad esempio nei fondi di ansa a sud della zona in studio.

3. CARATTERI MORFOLOGICI DELL'AREALE A CONTORNO

L'area interessata dall'intervento è ubicata nell'ansa interna del fiume Bormida di Mallare a quota media 405 m.s.l.m. ed è confinata:

a nord-ovest dall'alveo del fiume Fiume Bormida di Mallare posto alla base del versante est di Bric Capra , quota 558 m.s.l.m.,
ad est dal Torrente Conservola,
a sud dal letto del Fiume Bormida di Mallare .



Figura 1 – Panoramica della zona di intervento (Google Heart Pro)

I versanti collinari che delimitano l'ansa in Località Peirano sono boscati, ricoperti da coltri eluvio-colluviali sottili e caratterizzati da un reticolo idrografico con impluvi collegati al fiume Bormida di Mallare e affluenti di destra orografica , Rio Conservola e di sinistra orografica Rio della Capra.

Dalle indagini svolte ed anche dall'analisi della carta di Pericolosità Idraulica e Geomorfologica da Frana (§ Tavola 4) nell'intorno della zona di indagine non sono emerse aree in dissesto idrogeologico.

4. IDROGEOLOGIA

Le scaturigini del Fiume Bormida di Mallare si trovano in prossimità del crinale orografico che con un semicerchio si sviluppa su profilo che da est si estende da Monte Alto a Bric. Praboe poi Bric del Borro successivamente a Bric dei Campi ed infine a Bric della Croce con quote superiori ai 900 m.s.l.m.

Il Fiume Bormida di Mallare si sviluppa, con approssimazione, in direzione nord nord-est / sud sud -ovest parallelamente al Fiume Bormida di Pallare sino ad incontrarsi nella pianura di Cairo Montenotte e formare il Fiume Bormida di Spigno che successivamente si unisce al Fiume Bormida di Millesimo per proseguire con l'asta principale del Fiume Bormida sino a confluire Fiume Tanaro .

Il Bormida di Mallare riceve due importanti affluenti di destra orografica, a quota 458 m.s.l.m. il rio Biterno ed a quota 395 m.s.l.m. il rio Conservola, immediatamente a valle dell'area di intervento.

Dalle indagini geognostiche, specificate nei seguenti capitoli, emerge che la piana alluvionale di Località Peirano è costituita da sedimenti alluvionali di pochi metri che non permettono la formazione di una falda freatica perenne.

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Considerato la necessità di acquisire elementi di caratterizzazione del sottosuolo nella zona sede del previsto intervento, sia per quanto riguarda l'aspetto stratigrafico sia per quanto riguarda l'aspetto fisico-meccanico dei sedimenti, è stata svolta una campagna di indagini geognostiche per l'esplorazione dello stesso (§ Tavola 5 - Planimetria con ubicazione indagini geognostiche) articolata in:

- una indagine geofisica mediante prospezione geofisica MASW tramite misurazione di onde s ;
- sei prove penetrometriche dinamiche del tipo superpesante.

5.1 Prospezione geofisica mediante prospezione geofisica MASW tramite misurazione di onde s

Con riferimento a quanto rappresentato nella tavola 5 e specificato nell'Allegato 1- Indagini Geognostiche,

la prospezione sismica MASW è stata eseguita mediante analisi della velocità delle onde di taglio Vs nella zona centrale dell'area sede dell'intervento, su uno stendimento orientato NE/SW, utilizzando un sismografo "Dolang 247T" a 24 canali digitali a 24 bit con energizzazione a massa battente del peso di 10 Kg.

Si tratta di una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali (svolta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo) e sull'analisi della dispersione geometrica delle medesime onde superficiali che nella fattispecie sono onde di Rayleigh.

Nell'indagine è stata adottata la seguente configurazione di acquisizione:

Numero di ricevitori : 12 geofoni.

Lunghezza stendimento : 52 metri.

Distanza tra i sensori : 4,0 metri.

I dati raccolti sono stati interpretati con apposito programma software e successiva elaborazione meglio spiegata nell'allegato 1.

Nell'indagine è stato ricostruito un modello sismostratigrafico del sottosuolo sostanzialmente caratterizzato da tre livelli.

Il primo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di - 1,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di Vs nell'ordine di 250 m/s. Si tratta di valori compatibili con terreni di natura alluvionale in stato di addensamento sciolto.

Il secondo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di - 3,50 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di Vs nell'ordine di 720 m/s. Si tratta di valori compatibili con la presenza di un substrato roccioso formato da rocce tenere e/o da rocce molto alterate e fratturate.

Il terzo livello si sviluppa oltre la profondità di - 3,50 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di Vs nell'ordine di 1500 m/s. Si tratta di valori inferiori a quelli caratteristici del Bedrock sismico (>800 m/s) ma comunque ascrivibili alla presenza del substrato roccioso competente.

I risultati finali del Profilo Vs, in applicazione alle N.T.C. 2018 è Vs Equivalente = 398 m/s ed il tipo di suolo al piano di campagna è B.

Prospezione geofisica mediante prospezione geofisica MASW tramite misurazione di onde p

La prospezione sismica a rifrazione è stata seguita lungo il medesimo stendimento ed apparecchiatura utilizzato per la prospezione MASW inserendo n 5 punti di energizzazione a 0-14-26-38-52 metri, il primo e l'ultimo scoppio sono stati posizionati a 4,0 m. di distanza dai rispettivi geofoni.

Le misure effettuate in sito con la tecnica a rifrazione sono state elaborate con la procedure tomografica e sono state interpretate con apposito programma software e successiva elaborazione meglio spiegata nell'allegato 1.

E' stato ricostruito un modello sismostratigrafico del sottosuolo sostanzialmente caratterizzato da tre livelli.

Il primo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di - 2,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di Vp nell'ordine di 500 m/s. Si tratta di valori compatibili con terreni di natura detritica in stato di addensamento sciolto.

Il secondo livello si sviluppa tra il piano di campagna e la profondità di - 6,00 metri p.c. risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di Vp crescenti $500 < Vp < 1600$ m/s.

Si tratta di valori compatibili con la presenza di terreni in stato di addensamento crescente da medio ad elevato passanti a substrato roccioso formato da rocce da molto alterate e fratturate ad alterate e fratturate.

Il terzo livello si sviluppa oltre la profondità di - 6,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di Vp maggiori di 1600 m/s. Si tratta di valori caratteristici del Bedrock sismico ascrivibili alla presenza del substrato roccioso competente.

5.2 Prove penetrometriche dinamiche

Al fine di integrare le prospezioni sismiche per la definizione della stratigrafia del sottosuolo ed informazioni sulle caratteristiche geotecniche dei sedimenti dell'area di intervento sono state eseguite sei Prove Penetrometriche Dinamiche, utilizzando un Penetrometro Dinamico Superpesante Pagani DPSH TG63-100; l'ubicazione dei punti di indagine è stata disposta alle estremità delle previste sezioni interpretative Y1 ed Y2, in vicinanza della stesa di prospezione geofisica e nelle zone sede della fondazione dei tralicci di nuova installazione.(§ Allegato 1 – Indagini Geognostiche & Tavola 5 – Ubicazione indagini geognostiche)

Il tipo di indagine eseguita con il penetrometro DPSH consente di ricavare le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del terreno a partire dalla resistenza opposta dal terreno alla penetrazione dello strumento espressa in numero di colpi necessari all'avanzamento delle aste ad intervalli successivi di 0,20 m.

Per ogni prova sono stati prodotti i diagrammi del numero di colpi penetrazione punta-avanzamento, diagrammi di resistenza alla punta dinamica (Rpd) ed in base agli algoritmo e software dedicato è stata

eseguita la stima per ciascun orizzonte dei seguenti parametri geotecnici : densità relativa, angolo di attrito efficace, modulo di deformazione drenato, peso di volume saturo e peso di volume secco.

In considerazione che il terreno di copertura incoerente nella zona di indagine è costituito da "limi, sabbie, ghiaie e ciottoli generalmente decimetrici", ovvero composto da materiale di natura granulare, sono state analizzate le schede di caratterizzazione geotecnica del sottosuolo che riportano i tratti di profondità omogenea dei valori di Nspt con le rispettive correlazioni, DR% densità relativa, ϕ angolo di attrito efficace, E' modulo di deformazione drenato, Ysat -Yd peso di volume saturo e secco del terreno.

Mediante l'interpretazione dei valori di Nspt e la densità relativa con la correlazione di Terzaghi & Peck sono stati definiti livelli omogenei e desunti/stimati conseguenti parametri geotecnici.

Nspt -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967) -							
Nspt	Dr(%)	Nspt	Dr(%)	Nspt	Dr(%)	Nspt	Dr(%)
5	18	30	65	55	87	80	96
10	35	35	70	60	89	85	98
15	43	40	75	65	91	90	100
20	50	45	80	70	93	95	100
25	58	50	85	75	94	100	100
Nspt = 0 ± 4		sabbia MOLTO SCIOLTA		Dr = 0 ± 15 %			
Nspt = 4 ± 10		sabbia SCIOLTA		Dr = 15 ± 35 %			
Nspt = 10 ± 30		sabbia MEDIAMENTE ADDENSATA		Dr = 35 ± 65 %			
Nspt = 30 ± 50		sabbia ADDENSATA		Dr = 65 ± 85 %			
Nspt > 50		sabbia MOLTO ADDENSATA		Dr = 85 ± 100 %			

Figura 2 – Nspt →Dr schema di correlazione di Terzaghi e Peck

DPSH 1		
Mallare 28/03/2023 Prove Penetrometriche Dinamiche - Penetrometro Dinamico Superpesante Pagani DPSH TG63-100		
p.c. quota 403,54 m.s.l.m.	Livello di materiale alluvionale assimilabile a sabbia :	Nspt
Da 0,00 m. a 1,20 m.	molto sciolta	Da 0 a 4
da 1,20 m. a 2,40 m.	sciolta	Da 4 a 10
Da 2,40 m. a 4,00 m.	mediamente addensata	Da 10 a 30
Da 4,00 m. a 4,20 m.	Substrato roccioso alterato e fratturato	
Fine prova a 4,20 m		
Falda non rilevata		

DPSH 2		
Mallare 28/03/2023 Prove Penetrometriche Dinamiche - Penetrometro Dinamico Superpesante Pagani DPSH TG63-100		
p.c. quota 404,89 m.s.l.m.	Livello di materiale alluvionale assimilabile a sabbia :	Nspt
Da 0,00 m. a 0,80 m.	sciolta	Da 4 a 10
Da 0,80 m. a 1,00 m.	addensata	Da 30 a 50
Da 1,00 m. a 1,40 m.	substrato roccioso alterato e fratturato	> 50
Fine prova a 1,40 m		
Falda non rilevata		

DPSH 2.1		
Mallare 28/03/2023 Prove Penetrometriche Dinamiche - Penetrometro Dinamico Superpesante Pagani DPSH TG63-100		
p.c. quota 404,89 m.s.l.m.	Livello di materiale alluvionale assimilabile a sabbia :	Nspt
Da 0,00 m. a 0,40 m.	sciolta	Da 4 a 10
Da 0,40 m. a 1,20 m.	addensata	Da 30 a 50

Da 1,20 m. a 1,40 m.	substrato roccioso alterato e fratturato	
Fine prova a 1,40 m		
Falda non rilevata		

DPSH 3		
<small>Mallare 28/03/2023 Prove Penetrometriche Dinamiche - Penetrometro Dinamico Superpesante Pagani DPSH TG63-100</small>		
p.c. quota 405,86 m.s.l.m.	Livello di materiale alluvionale assimilabile a sabbia :	Nspt
Da 0,00 m. a 0,40 m.	molto sciolta	Da 0 a 4
Da 0,40 m. a 1,00 m.	mediamente addensata	Da 10 a 30
Da 1,00 m. a 1,40 m.	addensata	Da 30 a 50
Da 1,40 m. a 1,80 m.	substrato roccioso alterato e fratturato	
Fine prova a 1,80 m		
Falda non rilevata		

DPSH 4		
<small>Mallare 28/03/2023 Prove Penetrometriche Dinamiche - Penetrometro Dinamico Superpesante Pagani DPSH TG63-100</small>		
p.c. quota 403,27 m.s.l.m.	Livello di materiale alluvionale assimilabile a sabbia :	Nspt
Da 0,00 m. a 0,60 m.	sciolta	Da 4 a 10
Da 0,60 m. a 1,00 m.	mediamente addensata	Da 10 a 30
Da 1,00 m. a 1,40 m.	substrato roccioso alterato e fratturato	
Fine prova a 1,40 m		
Falda non rilevata		

DPSH 5		
<small>Mallare 28/03/2023 Prove Penetrometriche Dinamiche - Penetrometro Dinamico Superpesante Pagani DPSH TG63-100</small>		
p.c. quota 403,92 m.s.l.m.	Livello di materiale alluvionale assimilabile a sabbia :	Nspt
Da 0,00 m. a 1,20 m.	sciolta	Da 4 a 10
Da 1,20 m. a 2,40 m.	mediamente addensata	Da 10 a 30
Da 2,40 m. a 2,80 m.	substrato roccioso alterato e fratturato	
Fine prova a 2,80 m		
Falda non rilevata		

Le indagini geognostiche eseguite hanno permesso di definire, in prima approssimazione, la stratigrafia di un'area di 0,16 ha mediante specifici rilevamenti con punti geometricamente dislocati al fine di comporre una maglia che definisce il sottosuolo nelle sezioni interpretative rappresentate nella tavola 6.

La sezione Y1 è compresa fra due tratti d'alveo Fiume Bormida di Mallare che nella zona delimita località Peirano prima con ansa sinistrosa poi con ansa destrosa; sulla traccia di sezione sono state eseguite le prove DPSH 1 a quota 403,54 m.s.l.m., DPSH 2.1 a quota 404,89 m.s.l.m. e DPSH 2 a quota 404,89 m.s.l.m.

Gli esiti dell'indagine hanno evidenziato (§ Tavola 6 - Sezioni interpretative sezione Y1-Y1) la presenza di uno strato di materiale alluvionale di spessore da 4,20 m. nella stazione di indagine DPSH 1 a 1,40 m. nelle stazioni di indagine DPSH 2.1 e DPSH 2.

La sezione Y2, disposta con orientazione nor/est-sud/ovest ed ubicata in sponda destra orografica del Fiume Bormida di Mallare fra la stazione di indagine DPSH 4 a quota 403,27 m.s.l.m. e quella DPSH 3 a quota

405,86 m.s.l.m., l'indagine ha messo in evidenza la presenza di uno strato di materiale alluvionale di spessore 1,40 m. (DPSH 4) e di spessore 1,80 m. nella stazione di indagine DPSH 3.

Il punto di indagine nella stazione DPSH 5 a quota 403,92 m.s.l.m. è ubicato in sponda sinistra orografica del torrente Conservola e rileva uno spessore della coltre di 2,80 m.

Tutte le prove hanno avuto il rifiuto raggiungendo i 100 colpi senza il superamento di 0,20 m. di perforazione con l'individuazione del substrato roccioso in sintonia con gli esiti dell'indagine sismica, è possibile quindi ipotizzare nell'area di intervento la presenza di uno strato di terreno alluvionale di copertura, incoerente e costituito da "limi, sabbie, ghiaie e ciottoli generalmente decimetrici" a tetto di un omogeneo substrato roccioso di filladi grafitiche nerastre competenti alla Formazione di Murialdo (FMU).

6. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEI TERRENI IN SITO

Per la caratterizzazione parametrica è stato fatto riferimento agli esiti degli studi e delle indagini conoscitive già a disposizione dello Scrivente nonché agli esiti del rilevamento geologico e delle indagini geognostiche svolte in sito.

6.1 Caratterizzazione parametrica della coltre detritica

L'interpretazione in termini di parametri fisico-meccanici delle prove, in particolare delle prove penetrometriche che meglio rappresenta l'area di insediamento della "Stazione Terna" è stata eseguita a favore di sicurezza considerando per la coltre detritica un comportamento prevalentemente granulare.

Esaminando la successione verticale dei parametri del terreno si evidenziano valori di densità relativa (D_r) e di resistenza al taglio (ϕ) variabili verticalmente con presenza di:

- un livello di materiale alluvionale superficiale assimilabile ad una sabbia da molto sciolta a sciolta;
- un livello di materiale alluvionale intermedio assimilabile ad una sabbia da mediamente addensata a molto addensata.

Da una sommaria valutazione è possibile ipotizzare una zona ad sud/ovest della ristretta piana alluvionale con maggiore spessore del materiale depositato (DPSH 1 → 4,20 m.), una fascia centrale con uno spessore costante di materiale rilevato (DPSH 2 – DPSH 2.1 – DPSH 4 → 1,40 m.) ed una zona ad est con spessori di materiale depositato da 2,80 m. (DPSH 5) a 1,80 m. (DPSH 3).

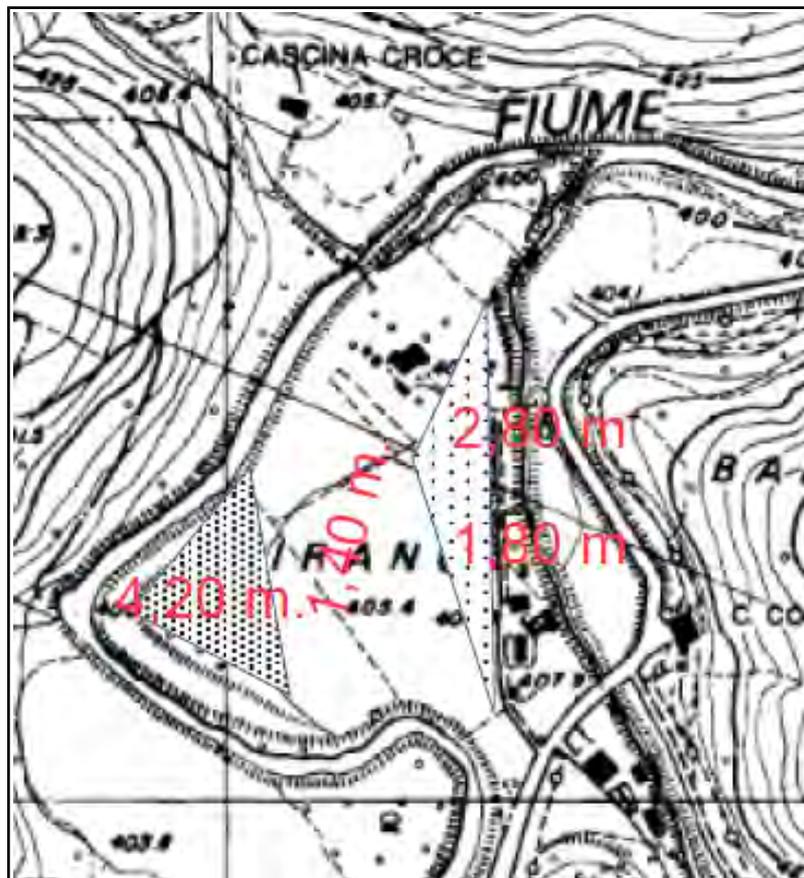


Figura 3 – Spessore della coltre nella piana alluvionale

Osservando la dislocazione dei sedimenti di maggior potenza si potrebbero interpretare le variazioni di profondità del substrato roccioso come paleovalvei del Fiume Bormida di Mallare e del torrente Conservola.

Dall'analisi delle stratigrafie sulla scorta delle risultanze Nspt relative alle schede di caratterizzazione geotecnica del sottosuolo (DR% densità relativa, ϕ' angolo di attrito efficace, E' modulo di deformazione drenato, γ_{sat} - γ_d peso di volume saturo e secco del terreno) per i livelli superficiali ed intermedi sopra definiti si propongono le seguenti tabelle.

MATERIALE ALLUVIONALE ASSIMILABILE A SABBIA DA MOLTO SCIOLTA A SCIOLTA

parametri fisico-meccanici	intervalli di valori nominali	intervalli di valori nominali
angolo di attrito efficace (ϕ')	da 22,70° a 25,60°	da 22,70° a 25,60°
peso di volume saturo (γ_{sat})	da 1,87 a 1,90 t/mc.	da 18,33 a 18,63 KN/mc.
peso di volume secco (γ_d)	da 1,39 a 1,45 t/mc.	da 13,63 a 14,21 KN/mc.
coesione non drenata (cu)	da 0 KPa a 0 KPa	da 0 KPa a 0 KPa

MATERIALE ALLUVIONALE ASSIMILABILE A SABBIE DA MEDIAMENTE ADDENSATA AD ADDENSATA

parametri fisico-meccanici	intervalli di valori nominali	intervalli di valori nominali
angolo di attrito efficace (ϕ')	da 30,00° a 36,00°	da 30,00° a 36,00°
peso di volume saturo (γ_{sat})	da 1,96 a 2,05 t/mc.	da 19,22 a 20,10 KN/mc.
peso di volume secco (γ_d)	Da 1,54 a 1,69 t/mc.	da 15,10 a 16,57 KN/mc.
coesione non drenata (cu)*	4,00 KPa a 8,00 KPa	da 4,00 KPa a 8,00 KPa

* stimata sulla scorta di esperienze in casi simili

6.2 Caratterizzazione parametrica del substrato roccioso

Le caratteristiche geomeccaniche significative ai fini della caratterizzazione parametrica del substrato roccioso sono state determinate sulla base delle osservazioni e misurazioni eseguite su affioramenti presenti all'intorno dell'area di intervento.

La giacitura della famiglia di discontinuità principale (s -piano di stratificazione) ha immersione compresa tra N 70° e N 35° Le famiglie di discontinuità secondarie rilevate (F.1) ed (F.2) hanno rispettivamente le seguenti giaciture: la prima con immersione compresa tra N 150° e N 50° ; la seconda con immersione compresa tra N 260° e N 120°.La resistenza alla compressione uniassiale (JCS) e la rugosità delle discontinuità (JRC) sono state determinate in sito utilizzando rispettivamente il "martello di Schmidt" ed il "profilometro di Barton".Il RQD dell'ammasso roccioso è stato determinato in base alla formula di Priest & Hudson a partire dalla valutazione del numero medio delle discontinuità per metro lineare di affioramento.

$$RQD (\%) = -3,68 a + 110,4 \quad [\text{con } a = \text{frequenza media delle discontinuità per ml}] \quad a = 100/25 + 100/25 + 100/20 = 13 \quad RQD = 62,56\%$$

Il peso di volume dell'ammasso roccioso è stato stimato sulla base dei valori noti riportati nella bibliografia scientifica. Per la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso è stato utilizzato il metodo Rock Mass Rating di Bieniawski che è basato sull'analisi dei parametri di resistenza alla compressione uniassiale, sull'analisi del valore del RQD, sull'analisi dei giunti di discontinuità attraverso: spaziatura, persistenza, apertura, alterazione ed eventuale riempimento dei medesimi, eventuale presenza di acqua.

CLASSIFICAZIONE ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI, 1989)

Resist. compressione monoassiale (kg/cm ²) (roccia intatta)	> 2500	1000-2500	500-1000	250-500	50-250	10-50	< 10
RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
Spaziatura discontinuità	> 2 m.	0,6-2 m.	0,2-0,6 m.	6-20 cm.	< 6 cm.		
Condizioni discontinuità	Superfici molto scabre, non continue. Discontinuità serrate. Pareti inalterate.	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti poco alterate.	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti molto alterate.	Superfici lisce o riempimento < 5 mm. o apertura 1-5 mm. Giunti continui.	Riempimento tenero di spessore > 5 mm. o apertura > 5 mm. Giunti continui.		
Condizioni idrauliche	Assenza di acqua	Umidità	Infiltrazioni	Deboli venute d'acqua	Problematiche idrauliche elevate		
	15	10	7	4	0		

$$BRMR = 49 \quad RMR \text{ Basic}$$

BRMR	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
BRMR parziale	/	25-33 33-41 41-50	/	/	/
Classe	V	IV a IV b IV c	III	II	I
Qualità ammasso rocc.	molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
Coesione ammasso (di picco)	< 1 kg/cm ²	1-1,5 kg/cm ²	1,5-2 kg/cm ²	2-3 kg/cm ²	> 3 kg/cm ²
Phi ammasso (di picco)	< 30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°	> 45°

Partendo dai risultati di tale classificazione è stato possibile assegnare al substrato roccioso parametri fisico-meccanici ed in particolare di resistenza al taglio per i seguenti intervalli di valori.

SUBSTRATO ROCCIOSO

Parametri Fisico Meccanici	Intervalli di valori nominali	
coesione C=	98,06 – 147,09	kPa
ang. att. di base Φ =	30° -35°	°
peso di volume saturo γ =	25	kN/mc
RQD=	0,49	

7. COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA CON IL PIANO DI BACINO

Con riferimento alla tavola 4 relativa allo stralcio della carta di Pericolosità Idraulica e Geomorfologica da Frana (D.G.R. 428 del 21/5/21), preso atto di quanto specificato nel progetto definitivo per la costruzione della stazione Terna (§ Relazione Tecnica Descrittiva c.e. 1454 R3 - cap. 10.1 Analisi rischio alluvionale e idraulico) l'opera sarà ubicata in area Area a pericolosità media Pi1 con tempo di ritorno 500 anni.

Si precisa che la normativa di riferimento per le aree a pericolosità idraulica sui bacini padani della Provincia di Savona stabilisce i criteri per le distanze dai corsi d'acqua per gli interventi in progetto, in coerenza con il disposto del Regolamento regionale n. 3/2011, ovvero:

- di 10,0 metri per i corsi d'acqua con bacino sotteso superiore a 1 Km² (Fiume Bormida di Mallare);
- di 40,0 metri per i corsi d'acqua, che non hanno formato oggetto di studi idraulici finalizzati alla individuazione delle fasce di inondabilità come il torrente Conservola su cui si segnala la presenza di una area storicamente inondata nel tratto a monte della piana alluvionale di località Peirano.

La normativa di piano definisce inoltre che nelle aree a pericolosità media Pi1 sono consentiti gli interventi previsti dalla disciplina urbanistica comunale coerenti con le previste azioni e misure di protezione civile.

Nella zona di indagine come anche rilevato nella sopracitata tavola 4 non sono state individuate aree a pericolosità geomorfologica da frana.

8. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO

8.1 Criticità idrogeologica del versante

In considerazione delle caratteristiche morfologiche del sito a contorno della zona di indagine non emergono Criticità idrogeologica del versante ovvero frane attive o quiescenti.

8.2 Criticità idraulica

Il fiume Bormida di Mallare nel 2002 è stata oggetto di studi idraulici per la determinazione delle fasce fluviali di inondabilità, nella Figura 4, in località Peirano, si evidenzia la sezione BA015, riportata anche sulla carta della Pericolosità Idraulica allegata alla DGR / 2021, dove il livello del pelo libero con Tempo di Ritorno 500 anni rimane nella sede d'alveo.

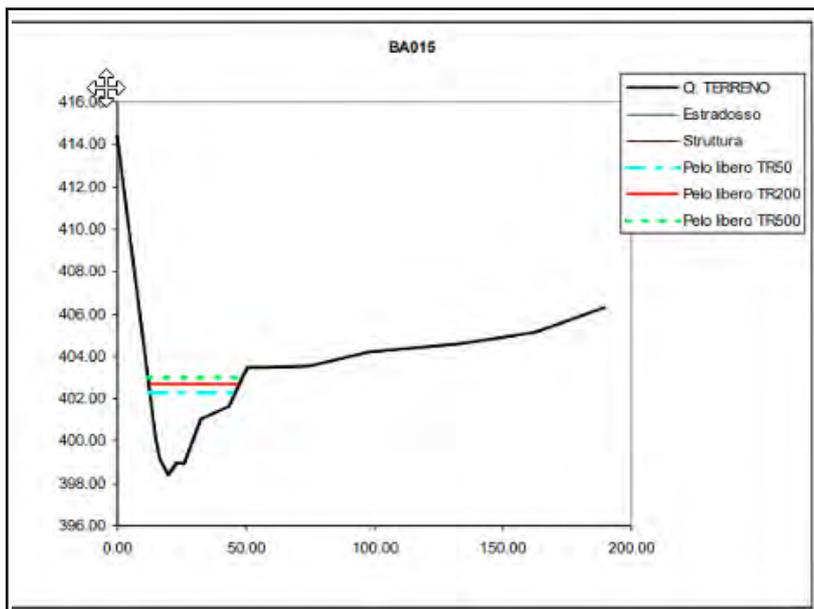


Figura 4 – Stralcio della sezione trasversale e livelli di piena - Bormida di Mallare

http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/fasce_frane_Po_SVI/Verifiche_Idrauliche/PoSVM_VI_Bormide_Sezioni.pdf

Il Torrente Conservola che delimita ad est la piana alluvionale di località Peirano non è stato oggetto di studi idraulici e nella cartografia dedicata è riportata una area storicamente inondata delimitata a monte di località Acque sui territori dei Comuni di Altare e Mallare (§ Tavola 4 – Stralcio della carta di Pericolosità Idraulica e Geomorfologica da Frana).

Il reticolo idrografico del torrente Conservola si sviluppa, dalla confluenza alle scaturigini, in direzione nord-sud per circa 8.8 km con un bacino idrografico sotteso di 10,4 km², in base alle norme vigenti nella piana alluvionale in località Peirano per citato corso d'acqua (non indagato/studiato idraulicamente) necessita mantenere eventuali interventi ad una distanza maggiore di 40 metri.

8.3 Sicurezza degli scavi.

Per l'insediamento della Stazione TERNA in località Peirano è previsto un livellamento del terreno a quota 405,20 m.s.l.m. mediante scavi e di riporto del materiale alluvionale.

Dagli atti progettuali gli scavi sono estesi su una area di 8.330,85 mq con movimentazione di 4.773,92 mc mediante un abbassamento progressivo del piano di scavo con un fronte massimo di 0,80 m. (§ sezione di progetto Y2).

Il deposito alluvionale costituito da materiali fini, sabbie e ghiaie classificate da "molto sciolte a sciolte", che costituisce il livello superficiale (§ DPSH 3) presenta buone caratteristiche di scavabilità, l'altezza dello scavo risulta minima, ma con notevole sviluppo longitudinale dei fronti in considerazione della elevata superficie di splateamento, si propone di mantenere l'angolo di scarpa non maggiore di 70° di inclinazione.

Nella fase di predisposizione della creazione del terrapieno a quota 404.40 m.s.l.m. per messa in opera della Sottostazione Produttore dovranno essere predisposti sistemi di smaltimento delle acque meteoriche non drenate da fondo dello scavo.

Lo stoccaggio temporaneo di terre da scavo dovrà avvenire in conformità a quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e s. m. e i. conferendo all'accumulo un angolo di scarpa compatibile con le condizioni di stabilità di un materiale sciolto

Le opere di sostegno dovranno essere realizzate nel più breve tempo possibile al termine degli scavi.

9. VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA DEL SITO

In considerazione delle criticità idrauliche sopra espresse e dall'analisi dell'immagine del rilievo topografico a nuvola di punti della piana alluvionale (§ Tavola 5) per quanto concerne la vulnerabilità idrogeologica del sito emerge la necessità di effettuare un approfondimento progettuale sia in merito alla opportunità di abbassare il piano di campagna di 0.80 cm. che eventualmente prevedere il confinamenti del perimetro del corpo della Stazione Terna in caso anche di eventuale remoto accadimento di episodio alluvionali oggi non previsto.

10. SISTEMAZIONE TERRE DA SCAVO

Nel progetto definitivo dell'intervento generale che comprende la costruzione dell'intero parco eolico è stato redatto il "Piano Preliminare di Utilizzo" in sito delle terre e rocce da scavo (codice 1454_R19) ed in merito ai movimenti di terreno previsti per la costruzione della Stazione Terna si rimanda a quanto previsto nel citato Piano.

PARTE II
MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

La classificazione sismica del territorio comunale risponde al criterio zonale contenuto nella O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" che prevede la suddivisione del territorio nazionale in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima.

Per il Comune Mallare con riferimento alla D.G.R. n. 216/2017 "Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria" tutto il territorio ricade in zona sismica 3, con sismicità bassa, a cui corrisponde un valore di accelerazione di picco orizzontale in superficie su terreno rigido con probabilità di superamento del 10% in 50 anni: P.G.A. = 0,150 g.

La classificazione in zona sismica 3 impone l'obbligo della progettazione antisismica mediante l'applicazione di metodi di calcolo agli stati limite per ogni tipologia di struttura ed il deposito del progetto strutturale corredato di idonea relazione geologica e della relazione sulle fondazioni presso l'Ufficio Cementi Armati della Provincia di Savona.

2. PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.

Con l'entrata in vigore delle N.T.C. 2018 la definizione della pericolosità sismica di un sito avviene mediante un approccio "sito dipendente". La pericolosità sismica (p) nelle NTC2018 è pertanto definita in funzione delle accelerazioni a_g e dello spettro di risposta $[S_e(T) = a_g S_x h_x F_0]$ su riferimento rigido in base ai seguenti tre parametri $p = [p(a_g, F_0, T_c^*)]$ con:

a_g = accelerazione orizzontale massima al suolo (PGa);

F_0 = valore massimo dell'amplificazione spettrale in accelerazione orizzontale;

T_c^* = periodo dello spettro ad ampiezza costante in accelerazione orizzontale.

In particolare, per descrivere la pericolosità sismica di un sito in termini geografici occorre definire i tre parametri sulla base di un reticolo di riferimento i cui nodi sono individuati in termini di latitudine e di longitudine e distano di un passo $\leq 0,05^\circ$ (circa 10 Km).

Per descrivere la pericolosità sismica di un sito in termini temporali occorre definire i tre parametri per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o per diversi periodi di ritorno (T_R) ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni [T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475 anni)].

Per il sito oggetto di intervento, determinate le coordinate geografiche per valori di latitudine e di longitudine espressi in gradi decimali è stato possibile individuare la maglia di riferimento (progetto S1-INVG) in cui ricade il sito e determinare i valori di riferimento di a_g , F_0 , T_c^* del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.

Per il sito di intervento, caratterizzato da coordinate geografiche ED50 di Latitudine $44,323616^\circ$ e di Longitudine $8,323555^\circ$, la pericolosità sismica, per i periodi di ritorno T_R di riferimento, è descritta dai valori dei parametri a_g, F_0, T_c^* rappresentati nella tavola 3 - Pericolosità sismica.

3. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO AL FINE DELLA DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA DI PROGETTO.

Per la definizione della azione sismica di progetto occorre valutare l'influenza delle condizioni stratigrafico/litologiche e topografico/morfologiche sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, occorre cioè valutare l'effetto della risposta sismica locale (che comporta modifiche di ampiezza, durata e contenuto in frequenza) mediante specifiche analisi.

3.1 - Categorie di sottosuolo e condizioni stratigrafiche (§ 3.2.2 NTC 2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel 7.11.5. delle NTC 2018.

In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (§Tab 3.2.II NTC 2018). in base alle indagini svolte al piano di campagna la categoria di suolo risulta B.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori delle velocità equivalente di propagazione delle onde $V_{s,eq}$ (in m/s) definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

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

A seguito della prospezione sismica eseguita nel sito di intervento (§ Allegato 1 – Prospezione sismica con metodo MASW) è stato ricostruito un modello sismico di sottosuolo caratterizzato dal seguente valore di V_s Equivalente

$$V_s \text{ Equivalente} = 398 \text{ m/s}$$

Individuata la categoria di sottosuolo è possibile definire l'influenza delle condizioni stratigrafiche locali, in termini di amplificazione, sulla base del coefficiente S_s =coefficiente di amplificazione stratigrafica e del coefficiente C_c =coefficiente utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico.

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A.

Categoria	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 a_g/g \leq 1,20$	$1,00 (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 a_g/g \leq 1,50$	$1,05 (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 a_g/g \leq 1,80$	$1,25 (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 a_g/g \leq 1,60$	$1,15 (T_c^*)^{-0,40}$

Per quanto sopra specificato per il sito di intervento è ammissibile una classificazione nella categoria di sottosuolo B cui corrisponde il valore di $S_s=1,20$ e conseguente $C_c = 1,00 (T_c^*)^{-0,20}$

3.2 Influenza delle condizioni topografiche - Categorie topografiche.

Per configurazioni topografiche semplici le NTC2018 consentono la definizione dell'azione sismica locale conseguente alle condizioni topografiche con riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie topografiche di riferimento distinte in base alla inclinazione media del pendio ed al rapporto tra larghezza in cresta e larghezza alla base del rilievo.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Lo schema di riferimento per la determinazione delle categorie topografiche è il seguente.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $i > 30^\circ$.

Individuata la categoria topografica **T1** è possibile definire l'influenza delle condizioni topografiche locali in termini di amplificazione sulla base del coefficiente S_T =coefficiente di amplificazione topografica.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per quanto sopra specificato per il sito di intervento, ubicato al piede di un versante, è ammissibile una classificazione nella categoria topografica T1 con effetti di amplificazione topografica $S_T=1,0$.

4. AZIONE SISMICA DI PROGETTO.

Per pervenire alla definizione della azione sismica di progetto occorre preventivamente definire la Classe d'uso, la Vita nominale ed il Periodo di riferimento dell'azione sismica e successivamente individuare i valori dei periodi di ritorno a cui riferirsi per il calcolo dell'azione sismica relativa a ciascuno degli stati limiti su cui sviluppare le calcolazioni di analisi previste dalle NTC2018.

Relativamente agli interventi in progetto si demanda al progettista la verifica: delle classi d'uso, della vita nominale e l'attribuzione dell'infrastruttura di opera strategica ricadente in classe d'uso IV che sono stati utilizzati in via peditiva nella scheda rappresentata in tavola 3 - " Pericolosità sismica".

Dagli atti di progetto l'area totale del sito di intervento risulta di 12.330,25 mq con previsione di scavi per ricavare il sedime di messa in opera della stazione "Produttore" di 4.773,92 mc su una area di 8.330,85 mq e di riporti per ricavare il piano di posa delle specifiche strutture della centrale prevedendo su un' area di rilevato totale di 4.000,11 mq. un volume di rilevato di 4.838,58 mc.

Il materiale di riporto sarà in parte contenuto con opere di sostegno di seguito si propone in forma tabellare l'elenco delle strutture ed opere di intervento che si prevede dovranno attuarsi durante la messa in opera del progetto stesso o che comunque dovranno essere predisposte e attuate a corredo delle fasi esecutive.

Questo schematismo permette di verificare speditamente quali siano le necessarie indagini ed analisi (modellazione geotecniche del sito) atte a soddisfare i criteri previsti dal capitolo 6 delle N.T.C., le quali verranno esplicitate nella relazione geotecnica.

ELENCO GENERALE DELLA TIPOLOGIA DELLE OPERE	OPERE PREVISTE IN PROGETTO
STABILITÀ DEI PENDII NATURALI	□
OPERE DI FONDAZIONE	*
a) FONDAZIONI SUPERFICIALI	*
b) FONDAZIONI SU PALI	□
OPERE DI SOSTEGNO	*
TIRANTI DI ANCORAGGIO	□
OPERE IN SOTTERRANEO	□
OPERE DI MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO	*

2 - MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

In merito alla modellazione sismica si rinvia ai contenuti della relazione geologica redatta dallo scrivente ed allegata al progetto.

Ai fini delle calcolazioni geotecniche i valori individuati per le accelerazioni massime (A_{max}), i coefficienti sismici orizzontali (k_h) e verticali (k_v), i coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa β , risultano per i seguenti .

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0.032	0.040	0.088	0.109
k_v	0.016	0.020	0.044	0.055
A_{max} [m/s ²]	0.318	0.393	0.858	1.072
Beta	1.000	1.000	1.000	1.000

E' stato ricostruito un modello sismostratigrafico del sottosuolo sostanzialmente caratterizzato da tre livelli.

Il primo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di - 1,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_s nell'ordine di 250 m/s. Si tratta di valori compatibili con terreni di natura detritica in stato di addensamento sciolto.

Il secondo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di - 3,50 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_s nell'ordine di 720 m/s. Si tratta di valori compatibili con la presenza di un substrato roccioso formato da rocce tenere e/o da rocce molto alterate e fratturate.

Il terzo livello si sviluppa oltre la profondità di - 3,50 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_s nell'ordine di 1500 m/s. Si tratta di valori inferiori a quelli caratteristici del Bedrock sismico (>800,0 m/s) ma comunque ascrivibili alla presenza del substrato roccioso competente.

I risultati finali del Profilo V_s , in applicazione alle N.T.C. 2018 è V_s Equivalente 398 m/s ed il tipo di suolo al piano di campagna è B.

3 - MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

I risultati dell'indagine geognostica hanno consentito di ricostruire un modello geologico del sottosuolo sostanzialmente caratterizzato da tre livelli.

- Il primo livello si sviluppa tra il piano campagna ed una profondità variabile da 0,80 metri p.c. e 2,40 metri p.c. risulta costituito da terreni di natura detritica in stato di addensamento sciolto (limi, sabbie, ghiaie con presenza di ciottoli decimetrici).

- Il secondo livello intermedio risulta costituito da limi, sabbie, ghiaie con presenza di ciottoli decimetrici in stato addensamento progressivo a tetto del substrato roccioso generalmente alterato e fratturato sino alla profondità massima a 4,20 metri p.c.

- Il terzo livello, è formato dal substrato roccioso "Filladi Grafitiche nerastre della Formazione di Murialdo"

4 - MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Tenuto conto dell'assetto stratigrafico del sottosuolo desunto dalle risultanze della relazione geologica si assume un modello geotecnico del sottosuolo in generale su tre livelli sovrapposti da cui emerge in

particolare la distinzione tra il livello profondo costituito da roccia alterata e fratturata e il livello superficiale costituito da terreni detritici.

Il livello di materiale alluvionale a tetto del substrato roccioso nell'area di intervento presenta una stratigrafia diversificata/non omogenea nello spessore e tipo di sedimento come già riportato nella relazione geologica (§ 6.1 Caratterizzazione parametrica della coltre detritica)

Nella zona ad sud/ovest della ristretta piana alluvionale è presente un maggiore spessore del materiale depositato (DPSH 1 → 4,20 m.), mentre nella fascia centrale si ipotizza uno spessore costante di materiale (DPSH 2 – DPSH 2.1 – DPSH 4 → 1,40 m.) e nella zona ad est lo spessore del materiale alluvionale depositato varia da 2,80 m. (DPSH 5) a 1,80 m. (DPSH 3).

I parametri geotecnici del materiale relativo al deposito alluvionale sono stati sintetizzati e divisi in due gruppi con valori assimilabili a sabbia definita:

- da molto sciolta a sciolta con valori di angolo di attrito Φ' da 22,70° a 25,60° - Peso di volume saturo (γ_{sat}) da 18,33 a 18,63 KN/mc.- Peso di volume secco (γ_d) da 13,63 a 14,21 KN/mc – Per la coesione non drenata si è posto un valore pari a 0 per scarsa presenza di matrice di materiali fini presenti nelle anse interne del Fiume Bormida di Mallare;

- da mediamente addensata ad addensata comprendendo anche lo strato di contatto di rocce tenere con valori di angolo di attrito Φ' da 30,00° a 36,00° - Peso di volume saturo (γ_{sat}) da 19,22 a 20,10 KN/mc.- Peso di volume secco (γ_d) da 15,10 a 16,57 KN/mc. – Per la coesione non drenata si è posto un intervallo di valori da 4,00 KPa a 8,00 KPa.

5. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

5.1 Parametri geotecnici caratteristici per il terreno di fondazione

Ai fini della modellazione geotecnica del sito è stato fatto riferimento ai parametri fisico-meccanici esposti nella relazione geologica.

In particolare i valori caratteristici (V_k) dei parametri geotecnici sono stati determinati a partire dalla popolazione di dati nominali già disponibili sulla base delle conoscenze acquisite sul sottosuolo in sito dalle precedenti indagini di caratterizzazione.

In base alla normativa vigente (NTC c. 6,2.2), per le valutazioni relative alla presente indagine, si ritiene possibile utilizzare, ai fini progettuali, la combinazione A) *Valori Caratteristici circa uguali a valori medi* secondo la seguente sequenza:

Valori medi (V_m) → Valori Caratteristici (V_k) → Valori di Progetto (V_d)

Per il terreno in esame, poiché è disponibile una limitata popolazione di dati, ai fini della determinazione del valore caratteristico si è ritenuto di procedere applicando l'approccio di tipo bayesiano sviluppato da Cherubini e Orr (1999).

Parametri geotecnici medi	Materiale alluvionale assimilabile a sabbie da molto sciolte a sciolte	
coesione C_u =	0	kPa
ang. att. Φ' =	24,15	°
peso di volume saturo γ =	18,48	kN/mc
peso di volume secco γ =	19,32	kN/mc
Parametri geotecnici caratteristici	Materiale alluvionale assimilabile a sabbie da molto sciolte a sciolte	
coesione C_k =	0	kPa
ang. att. di base Φ_k =	23,91	°
peso di volume saturo γ_k =	18,46	kN/mc
peso di volume secco γ_k =	13,87	kN/m
Parametri geotecnici caratteristici di progetto (corretti M2)	Materiale alluvionale assimilabile a sabbie da molto sciolte a sciolte	
coesione C_{ud} =	0	kPa
ang. att. di base Φ_d =	19,53	°
peso di volume saturo γ_d =	18,46	kN/mc
peso di volume secco γ_d =	13,87	kN/mc

Parametri geotecnici medi	Materiale alluvionale assimilabile a da sabbie mediamente addensate ad addensate	
coesione $C_u =$	6	kPa
ang. att. $\Phi' =$	33,00	°
peso di volume saturo $\gamma =$	18,48	kN/mc
peso di volume secco $\gamma_s =$	19,32	kN/mc
Parametri geotecnici caratteristici	Materiale alluvionale assimilabile a da sabbie mediamente addensate ad addensate	
coesione $C_k =$	5,67	kPa
ang. att. di base $\Phi_k =$	32,50	°
peso di volume saturo $\gamma_{ks} =$	19,66	kN/mc
peso di volume secco $\gamma_{ks} =$	15,84	kN/m
Parametri geotecnici caratteristici di progetto (corretti M2)	Materiale alluvionale assimilabile a da sabbie mediamente addensate ad addensate	
coesione $C_{ud} =$	4,05	kPa
ang. att. di base $\Phi_d =$	27,10	°
peso di volume saturo $\gamma_d =$	19,59	kN/mc
peso di volume secco $\gamma_d =$	15,71	kN/mc

Parametri geotecnici medi substrato roccioso		
coesione $C =$	122,5	kPa
ang. att. di base $\Phi =$	32,5	°
peso di volume saturo $\gamma =$	25	kN/mc
RQD =	62	%
Parametri geotecnici caratteristici substrato roccioso		
coesione $C_k =$	118,42	kPa
ang. att. di base $\Phi_k =$	32,08	°
peso di volume saturo $\gamma_{ks} =$	24,83	kN/mc
RQD =	62	%

Tabella 6.2.11 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \Phi'_k$	γ_M	1.0	1.25
Coazione efficace	c'_k	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{en}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1.0	1.0

6. VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI: ANALISI GEOTECNICHE

6.1 Fronti di scavo

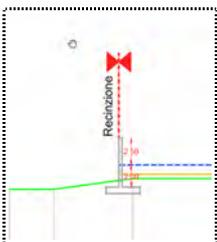
Gli scavi dovranno essere eseguiti con particolare cura seguendo le indicazioni e valutando le necessarie scelte operative sulla scorta di quanto esposto al precedente paragrafo 7.2 Sicurezza degli scavi.

7. FONDAZIONI

Per la messa in opera della Stazione Terna si prevedono opere di fondazione per i muri di sostegno del terrapieno (zone nord ed ovest) ed opere di fondazione per gli edifici previsti sulla sede dell'area recintata.

- Opere di fondazione per i muri di sostegno

Con riferimento alle sezioni di progetto pervenute i muri di sostegno del terrapieno, sulla parte di perimetro nord-ovest e sud-ovest, sono previsti in prossimità delle scarpate arginali del fiume Bormida di Mallare; di seguito si analizzano i terreni sede del piano di fondazione delle opere:



Sulla recinzione sud-ovest (§ DPHS 2.1) nella sezione X1 è ubicato il muro di contenimento di altezza 4,50 m., esclusa fondazione, nella zona è presente un livello di 0,40 m. di sedimento alluvionale costituito da limi, sabbie e ghiaie assimilabili a sabbie sciolte (§ precedente capitolo 5.1 Parametri geotecnici caratteristici per il terreno di fondazione). A profondità maggiore di 0,40 m. è presente la parte superficiale del substrato roccioso alterato e fratturato.



Sulla recinzione nord-ovest (§ DPHS 1) nella sezione Y1 è ubicato il muro di contenimento di altezza 6,50 m., esclusa fondazione, nella zona è presente un livello di 2,40 m. di sedimento alluvionale costituito da limi, sabbie e ghiaie assimilabili a sabbia da sciolta a molto sciolta con addensamento progressivo (§ precedente capitolo 5.1 Parametri geotecnici caratteristici per il terreno di fondazione).

A profondità maggiore di 2,00 m. dal piano campagna è presente materiale maggiormente addensato e la parte superficiale del substrato roccioso alterato e fratturato.



Sulla recinzione nord-ovest (§ DPHS 4) nella sezione Y2 è ubicato il muro di contenimento di altezza 5,50 m., esclusa fondazione, nella zona è presente un livello di 0,60 m. di sedimento alluvionale costituito da limi, sabbie e ghiaie assimilabili a sabbie sciolte (§ precedente capitolo 5.1 Parametri geotecnici caratteristici per il terreno di fondazione)..

A profondità maggiore di 1,00 m. dal piano campagna è presente materiale maggiormente la parte superficiale del substrato roccioso alterato e fratturato

Le opere di fondazione per gli edifici previsti nella Stazione Terna richiedono una attenta analisi dei pesi distribuiti o puntuali che dovranno essere ripartiti nel terreno in aree oggetto di scavo/splateamento o di riporto

L'area di scavo / splateamento è prevista nella zona nord-est e nella parte centrale della ristretta pianura dove sarà messo a giorno il materiale alluvionale costituito da sabbie e ghiaie con ciottoli paragonabili a sabbie mediamente addensate (§ precedente capitolo 5.1 Parametri geotecnici caratteristici per il terreno di fondazione)

Su un'ampia area nella zona ovest della piana è previsto un riporto di materiale riutilizzando quello proveniente dagli scavi (se compatibile sotto l'aspetto tecnico-normativo) oppure da materiale di cava.

Le operazioni di colmata dovranno essere precedute dalla costruzione delle opere di sostegno, gli strati di materiale di riempimento dovranno essere opportunamente compattati/consolidati valutandone anche la capacità portante con misure strumentali di campagne e prove di laboratorio.

Per il materiale di riempimento si raccomanda il riferimento alle norme UNI 10006 con materiali dei gruppi A1-a, A1-b, A3, A2-4 e A2-5 il peso di volume del terreno compattato dovrà essere superiore a 18 KN/mc compattato fino a raggiungere il 95% della densità secca.

8. CONCLUSIONI ED INDICAZIONI TECNICO-OPERATIVE PER LA FASE ESECUTIVA

Nella presente relazione geologica commissionata dalla Società Repower Renewable (contratto n. 23-000661 data 16/3/23), Referente per la Committenza Ing. Mara Scalvini- Project Manager, lo Scrivente ha redatto quanto di competenza sulla scorta del progetto definitivo per la realizzazione della "Stazione di Trasformazione 380/132/36 KV elaborato dallo Studio Tecnico Hydro Engineering s s di Damiano e Mariano Galbo - 11/2021n. Comm. 1454.

Lo studio è stato sviluppato sulla scorta delle indagini geognostiche allegate che hanno approfondito la conoscenza sugli aspetti stratigrafici, geotecnici e di pericolosità sismica.

In applicazione dei risultati di indagine è stato possibile proporre nel progetto esecutivo eventuali implementazioni.

Le norme di attuazione del PAI Po - DGR (Liguria) 428 del 21 maggio 2021 nella carta - Tutela delle aree a pericolosità idraulica e geomorfologica da frana nella tavola 25 Pallare classificano la piana alluvionale del Fiume Bormida di Mallare come area pericolosità molto elevata Pi3, Area a pericolosità elevata Pi2 Area a pericolosità media Pi1.

Nel progetto definitivo la stazione Terna si prevede sia ubicata in area a pericolosità media Pi1a, il perimetro dell'impianto dovrà comunque rispettare i criteri per le distanze dai corsi d'acqua previste dalla vigente normativa, ovvero:

- di 10,0 metri per i corsi d'acqua ricadenti nel reticolo idrografico con bacino sotteso superiore a 1 Km² (Fiume Bormida di Mallare);

- di 40,0 metri per i corsi d'acqua, che non hanno formato oggetto di studi idraulici finalizzati alla individuazione delle fasce di inondabilità come il torrente Conservola.

La normativa di piano definisce inoltre che nelle aree a pericolosità media Pi1 sono consentiti gli interventi previsti dalla disciplina urbanistica comunale coerenti con le previste azioni e misure di protezione civile.

Sotto l'aspetto della vulnerabilità idrogeologica del sito dal punto di vista morfologico si consiglia di effettuare un approfondimento progettuale sia in merito alla opportunità di abbassare il piano di campagna di 0.80 m. che eventualmente prevedere un confinamento totale del perimetro individuato dalla recinzione della Stazione Terna .

Il progetto definitivo prevede sui lati nord ovest e sud ovest del perimetro della Stazione Terna la costruzione di un muro di confine di altezze variabili da 4,5 m. a 6,5 m. escluse fondazioni con previsione di approfondimento del piano di appoggio di alcuni metri del cordolo al livello della presenza di materiale maggiormente addensato. Sulla scorta delle risultanze della previsione di ricerca dell'idoneo piano di fondazione dei muri di sostegno si consiglia di effettuare un approfondimento progettuale in merito alla opportunità di prevedere opere di ingegneria naturalistica <https://www.isprambiente.gov.it/files/publicazioni/manuali-lineeguida/mlg-78.2-2012trasporto-elettrico.pdf>

Il progetto definitivo prevede un livellamento del terreno con riporti che prevedono un sistematico compattamento su cui si dovrà intervenire con opportune misure e valutazioni geotecniche.

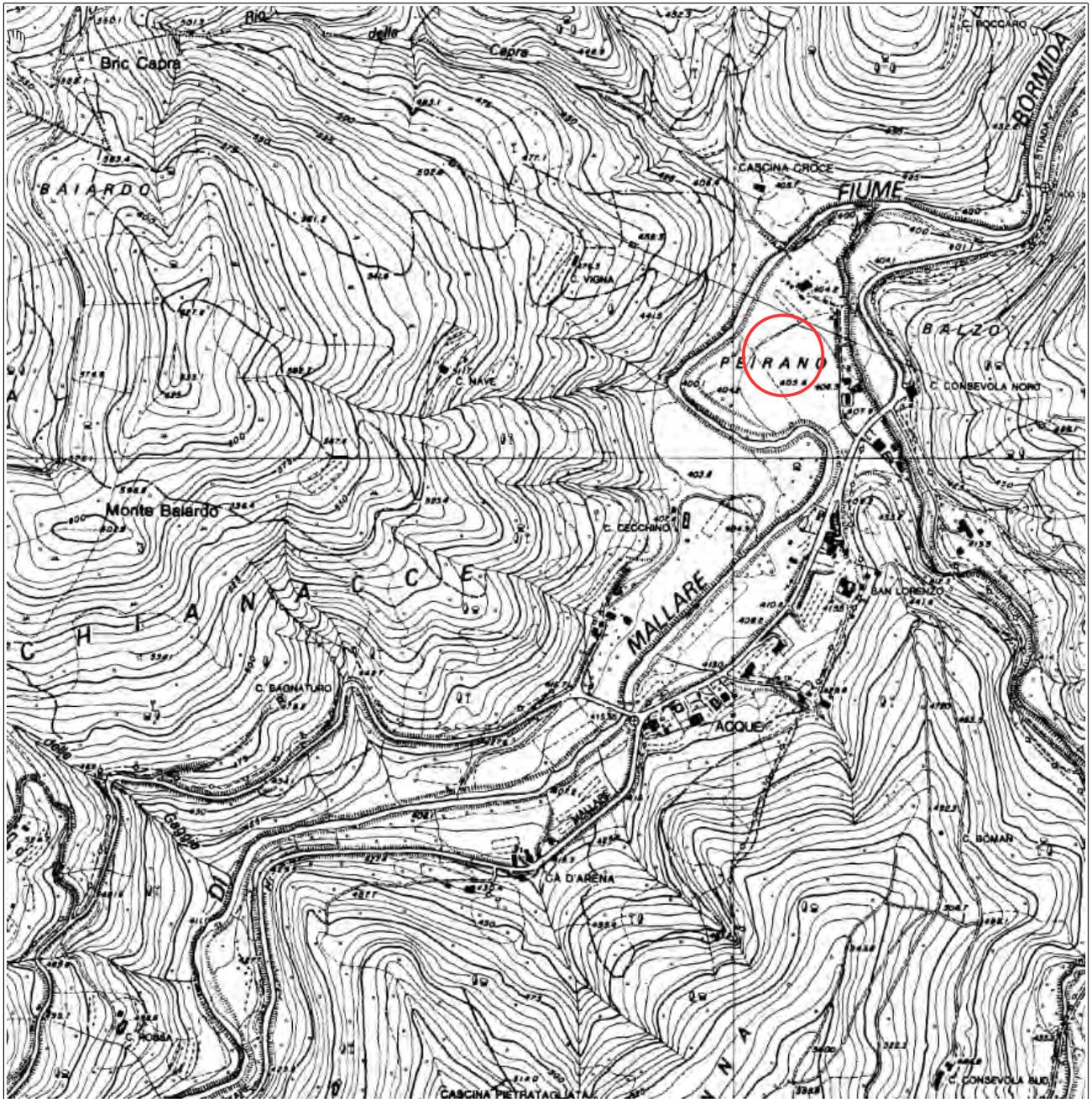
Al fine di un efficace rispetto delle indicazioni tecniche operative descritte e di una confacente applicazione delle disposizioni contenute nella presente relazione geologica si ritiene opportuno in fase operativa affiancare la Direzione Lavori con una specifica consulenza geologica.

Finale Ligure, aprile 2023

Dott. Geol. ALBERELLI GIANPIERO



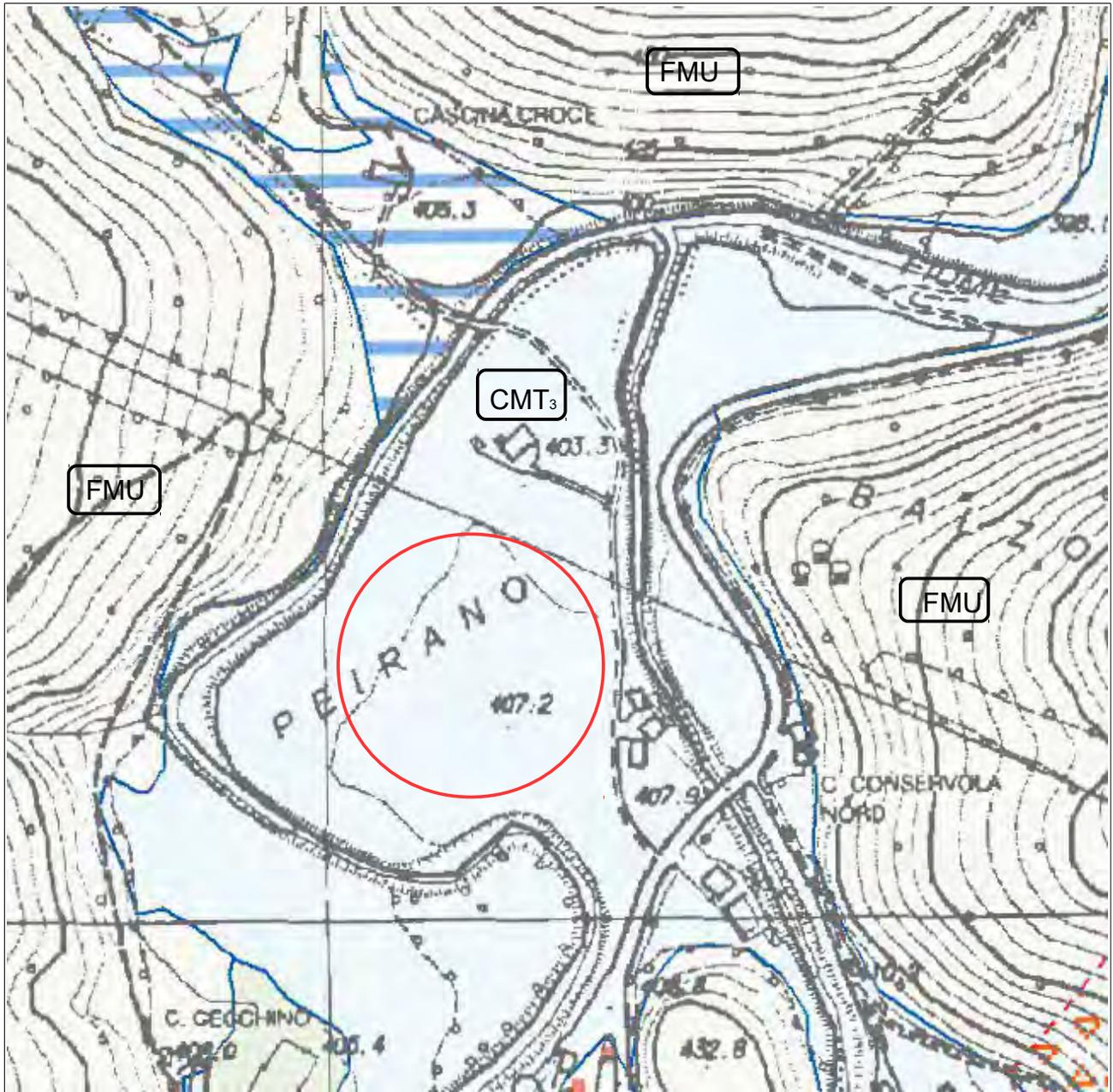
TAVOLA 1 – Corografia



Stralcio CTR (non in scala)

○ - Zona di intervento

TAVOLA 2 – Carta Geologica



Stralcio della Carta Geologica d'Italia f° 228 - Cairo Montenotte

○ - Zona di intervento

- Subsistema di Rocchetta Cairo**
- CMT₃ Depositi essenzialmente ghiaiosi, solitamente a tessitura clasto-sostenuta, localmente contenenti rilevanti quantità di matrice sabbiosa e clasti di dimensioni anche pluridecimetriche. Alterazione pressoché nulla (2.5 Y). Costituiscono l'attuale fascia di esondazione delle Bormide e dei loro principali affluenti nonché le basse superfici terrazzate sospese a non più di 6-8 m dall'alveo, esondabili in caso di piena eccezionale (depositi fluviali).
OLOCENE - ATTUALE
- FORMAZIONE DI MURIALDO**
- FMU Metasedimenti fini, varicolori, che raggruppano rocce di diversa natura: quarzoscisti, scisti quarzo-micacei, scisti a cloritoido, scisti cloritico-abbatici e filladi grafitiche nerastre; sono caratterizzati dalla presenza sia di ankerite e calcite, la prima di origine primaria, la seconda da pseudomorfosi sulla prima, sia da abbondanti vene di quarzo. Lo spessore della formazione si aggira mediamente sui 150 metri. La paragenesi metamorfica alpina è data da anfibolo sodico, clorite, fengite e albite.
PERMIANO INF.

TAVOLA 3 – Pericolosità Sismica

Indirizzo

WGS84: Lat 44.322646 - Lng 8.322497

ED50: Lat 44.323616 - Lng 8.323555

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Stati limite

Classe Edificio

IV, Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 2

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	60	0.027	2.547	0.202
Danno (SLD)	101	0.033	2.579	0.224
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.073	2.647	0.325
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.091	2.699	0.340
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

Coefficienti sismici

Tipo: Muri di sostegno NTC 2018

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

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,51	1,48	1,38	1,36
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	0.6			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.032	0.040	0.088	0.109
kv	0.016	0.020	0.044	0.055
Amax [m/s ²]	0.318	0.393	0.858	1.072
Beta	1.000	1.000	1.000	1.000

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno NTC 2018
 Muro rigido: 1

Sito in esame.

latitudine: 44,323616
 longitudine: 8,323555
 Classe: 4
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	17131	44,3221	8,3182	460,169
Sito 2	17132	44,3251	8,3880	5128,108
Sito 3	16910	44,3750	8,3837	7455,611
Sito 4	16909	44,3720	8,3140	5436,042

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100anni
 Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 60 [anni]
 ag: 0,027 g
 Fo: 2,547
 Tc*: 0,202 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,033 g
Fo: 2,579
Tc*: 0,224 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,073 g
Fo: 2,647
Tc*: 0,325 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]
ag: 0,091 g
Fo: 2,699
Tc*: 0,340 [s]

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,510
St: 1,000
Kh: 0,032
Kv: 0,016
Amax: 0,318
Beta: 1,000

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,480
St: 1,000
Kh: 0,040
Kv: 0,020
Amax: 0,393
Beta: 1,000

SLV:

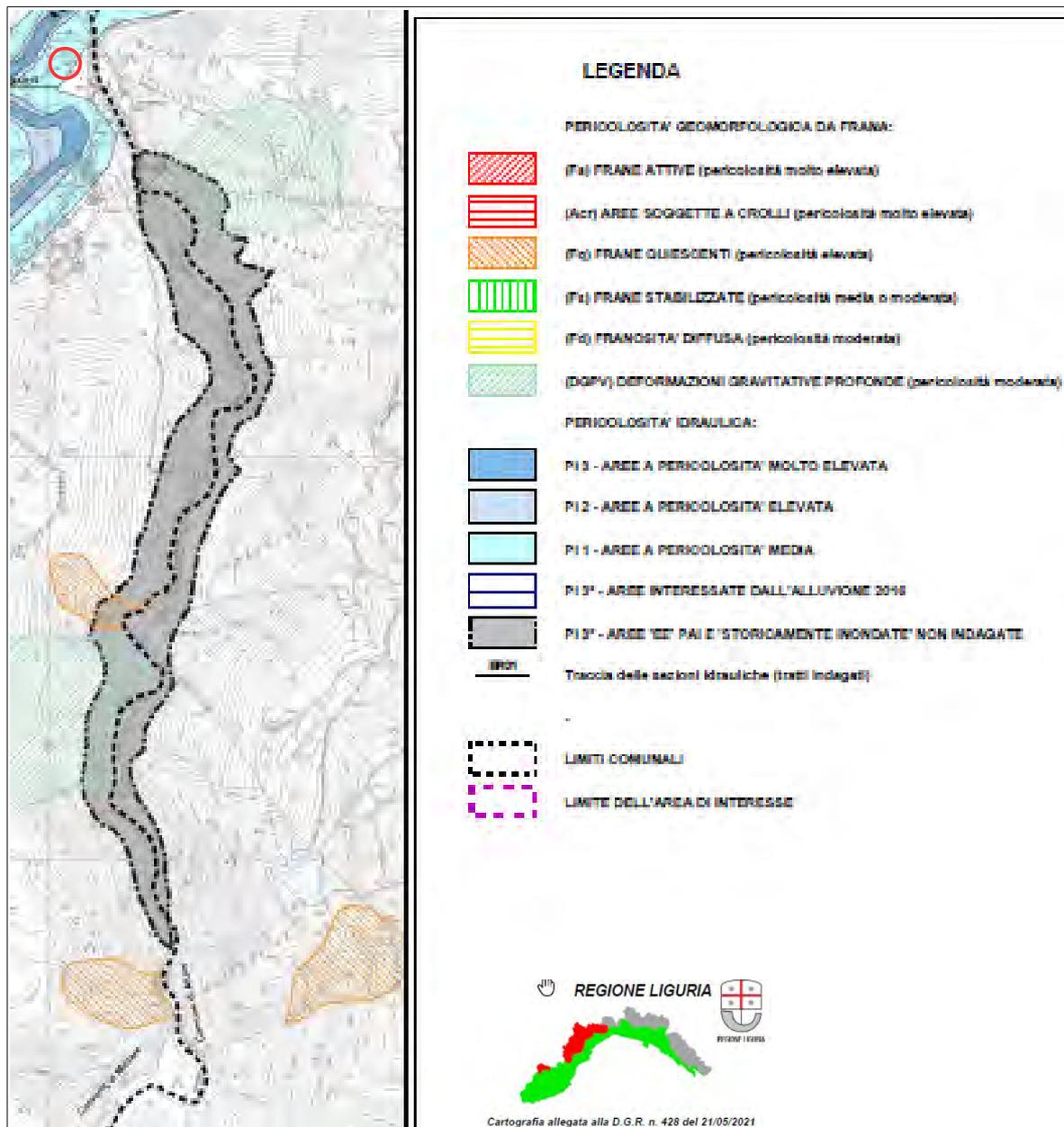
Ss: 1,200
Cc: 1,380
St: 1,000
Kh: 0,088
Kv: 0,044
Amax: 0,858
Beta: 1,000

SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,360
St: 1,000
Kh: 0,109
Kv: 0,055
Amax: 1,072
Beta: 1,000

TAVOLA 4 – Stralcio della carta di Pericolosità Idraulica e Geomorfologica da Frana

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA E GEOMORGOLOGICA DA FRANA



Norme di attuazione del PAI Po -DGR (Liguria) 428 del 21 maggio 2021 - Tutela delle aree a pericolosità idraulica e geomorfologica da frana

○ - Zona di intervento

Tavola 5
Planimetria con Indagini Geognostiche

Scala 1:1000

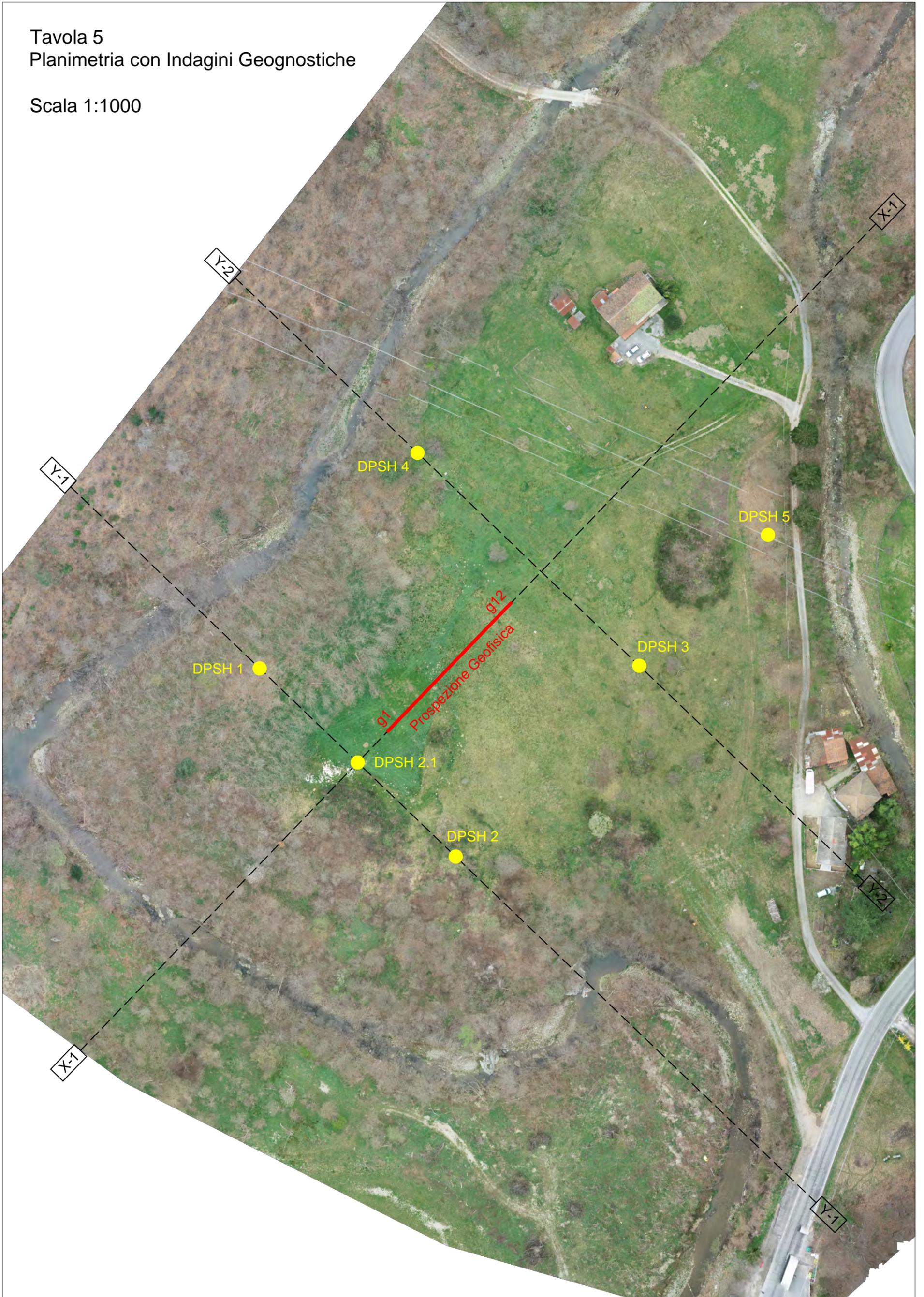
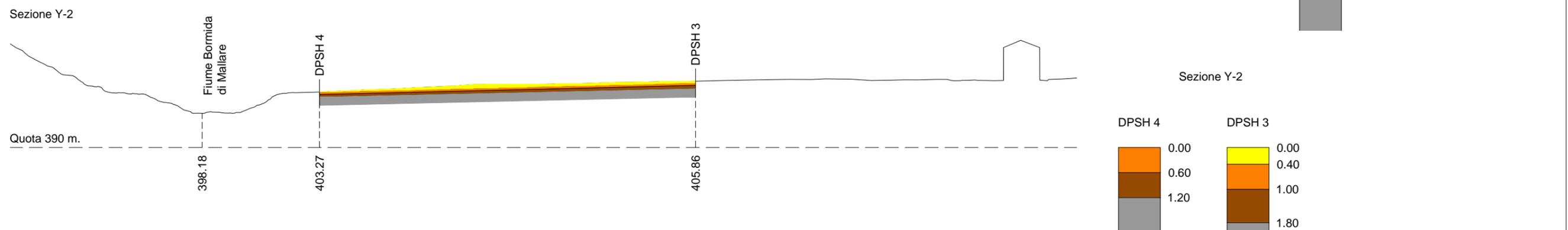
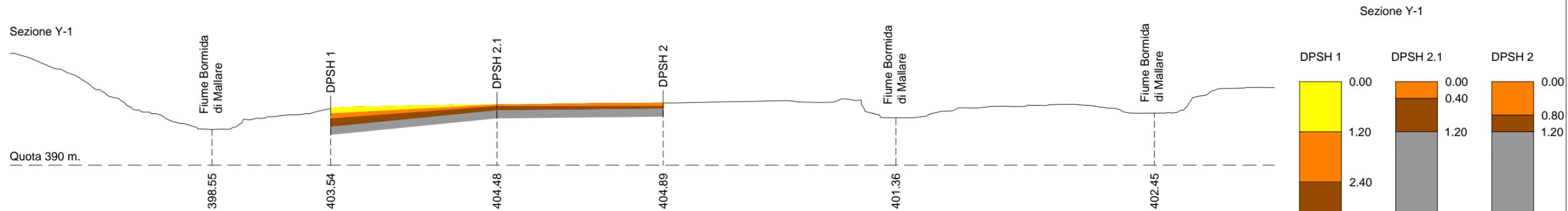
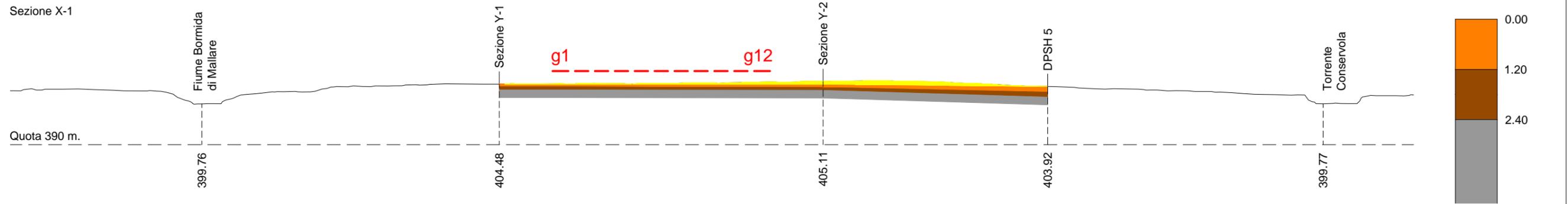


Tavola 6 Sezioni Interpretative - Scala 1:1000



LEGENDA STRATIGRAFICA

- Sabbie e ghiaie con addensamenti Progressivo - Vs = 250 m/s
 - Sabbia molto sciolta (Terreni granulari Terzaghi & Peck)
 - Sabbia sciolta (Terreni granulari Terzaghi & Peck)
 - Sabbia da mediamente addensata ad addensata (Terreni granulari Terzaghi & Peck)
- Substrato roccioso appartenente alla FORMAZIONE DI MURIALDO
 - Roccia Fessurata, Fratturata VS= 720 m/s
 - Bedrock sismico VS > 800 m/s

REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI SAVONA

COMUNE DI MALLARE

Indagine geognostica per la caratterizzazione del sottosuolo in località Acque del Comune di Mallare mediante la esecuzione di prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH e di prospezioni geofisiche di tipo attivo MASW e Tomografia.

RELAZIONE SU INDAGINI GEOGNOSTICHE

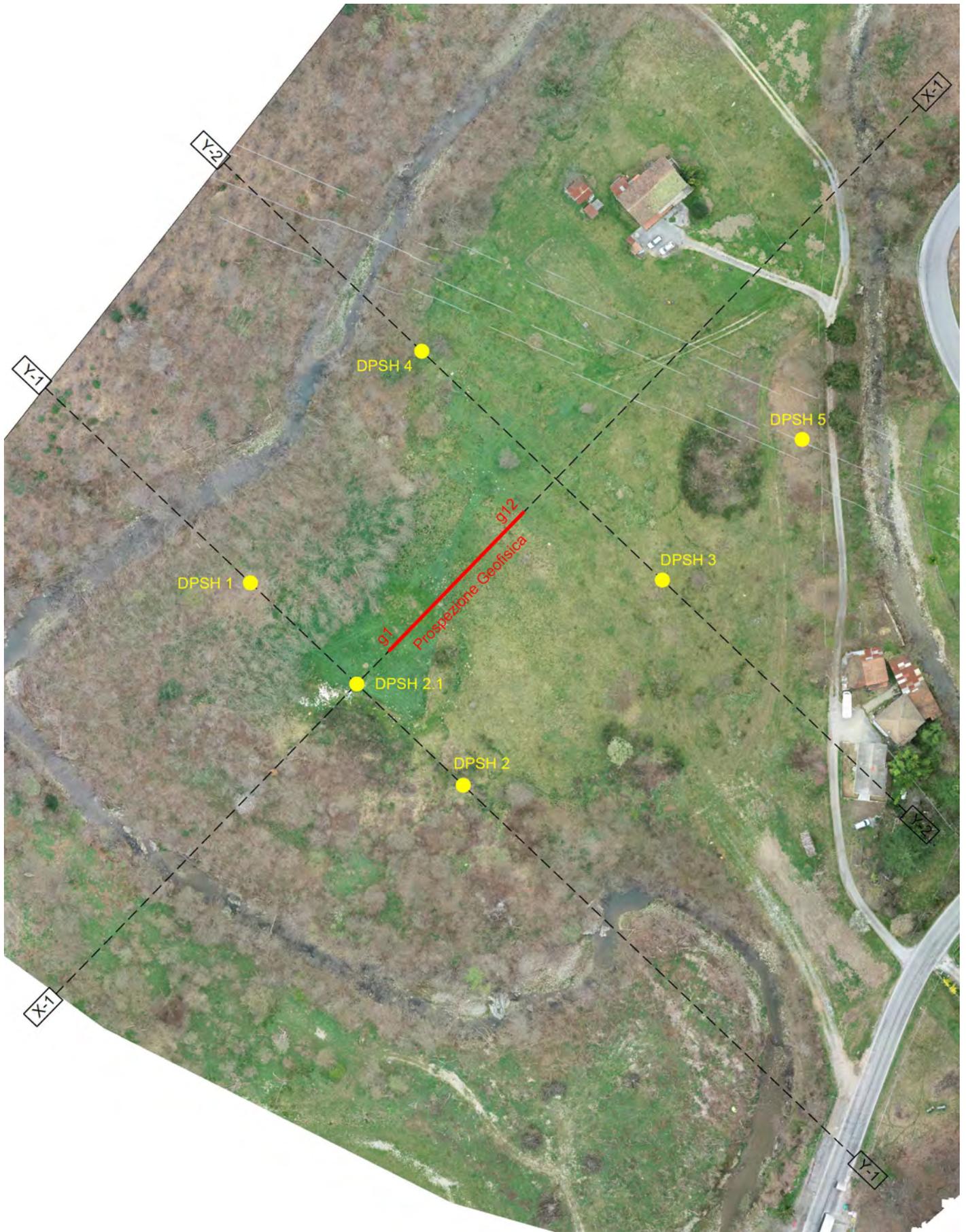


Il Committente:
Dott. Geol. Gianpiero ALBERELLI
Piazza Milano, n. 2
17024 - Finale Ligure (SV)

Data:
Marzo 2023

Il tecnico incaricato:
Dott. Geol. **Paolo AIRALDI**
Via Vittorio Veneto, 158 - 17021 Alassio (SV)
Tel.: 347/0054049 – PEC: airaldipaolo@epap.sicurezzapostale.it
E-mail: geoplann@alice.it

Inquadramento territoriale:
REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI SAVONA



INDAGINE PENETROMETRICA

L'indagine penetrometrica è stata eseguita con penetrometro dinamico superpesante PAGANI TG63-100 per sei punti di prova individuati con le sigle DPSH1, DPSH2, DPSH2.1, DPSH3, DPSH4, DPSH5.

Il tipo di indagine eseguita con penetrometro DPSH consente di ricavare le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del terreno a partire dalla resistenza opposta dal terreno alla penetrazione dello strumento espressa in numero di colpi ($N = N(20)$) necessari all'avanzamento dello strumento ad intervalli successivi di 0,20 m.

Per ogni prova sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- diagramma "numero di colpi penetrazione punta-avanzamento";
- diagramma "resistenza alla punta dinamica (Rpd)-avanzamento";
- proposta di stratigrafia geotecnica del sottosuolo con individuazione di orizzonti di terreno significativi;
- calcolo per ciascun orizzonte del valore N_{spt} equivalente;
- stima per ciascun orizzonte dei parametri geotecnici: densità relativa, angolo di attrito efficace, modulo di deformazione drenato, peso di volume saturo e peso di volume secco in base agli algoritmi di calcolo forniti dal software interpretativo PAGANI WIN-DIN.

In particolare la resistenza alla punta dinamica Rpd è stata valutata in base alla formula Olandese:

$$RPD = (M^2 H) / [A e (M + P)]$$

ove:

N = n. colpi per avanzamento

M = massa battente

H = altezza caduta

e = avanzamento per colpo

A = area punta

P = peso totale sistema di battuta e aste

I valori di N_{spt} degli orizzonti di terreno sono stati determinati sulla base della seguente correlazione:

$$N_{spt} = N [Q/Q_{spt}] = bt N$$

ove:

bt = Q/Q_{spt} = coefficiente teorico di energia della prova in esame

N = valore caratteristico del numero di colpi per un avanzamento medio di 0,20 m dello strumento riferito all'orizzonte di terreno in esame.

Il parametro fisico-meccanico di resistenza al taglio “angolo di attrito efficace” è stato determinato con i seguenti metodi.

metodo di YUKITAKE SHIOI, JIRO KUTUNI

Nspt -> ϕ' (ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE) (Terreni granulari) - Yukitake Shioi e Jiro Kukuni (1982)

$$\phi'(^{\circ}) = ([15 * Nspt]^{1/2}) + 15$$

Gli altri parametri sono stati determinati con riferimento alle seguenti tabelle.

PESO DI VOLUME

Nspt -> Y (PESO DI VOLUME) (Terreni coesivi)

Ysat[t/m³]= peso di volume saturo Yd[t/m³]= peso di volume secco W = umidità % e = indice vuoti

TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e.max = 1 e.min = 1/3 G = 2.65]

Nspt	Ysat	Yd									
0	1,83	1,33	25	2,02	1,64	50	2,15	1,85	75	2,20	1,93
5	1,88	1,41	30	2,05	1,69	55	2,16	1,87	80	2,21	1,95
10	1,93	1,50	35	2,08	1,73	60	2,17	1,88	85	2,23	1,97
15	1,96	1,54	40	2,10	1,77	65	2,18	1,90	90	2,24	1,99
20	1,99	1,59	45	2,13	1,81	70	2,19	1,92	95	2,24	1,99

DENSITA' RELATIVA

Nspt -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967) -

Nspt	Dr(%)	Nspt	Dr(%)	Nspt	Dr(%)	Nspt	Dr(%)
5	18	30	65	55	87	80	96
10	35	35	70	60	89	85	98
15	43	40	75	65	91	90	100
20	50	45	80	70	93	95	100
25	58	50	85	75	94	100	100

Nspt = 0 ± 4	sabbia MOLTO SCIOLTA	Dr = 0 ± 15 %
Nspt = 4 ± 10	sabbia SCIOLTA	Dr = 15 ± 35 %
Nspt = 10 ± 30	sabbia MEDIAMENTE ADDENSATA	Dr = 35 ± 65 %
Nspt = 30 ± 50	sabbia ADDENSATA	Dr = 65 ± 85 %
Nspt > 50	sabbia MOLTO ADDENSATA	Dr = 85 ± 100 %

MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO

Nspt -> E' (MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO) (Terreni granulari) - D'APPOLONIA e altri (1970) -

SABBIE e GHIAIE N.C.	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)
	5	229,8	30	422,6	55	615,3	80	808,1
	10	268,4	35	461,1	60	653,9	85	846,6
	15	306,9	40	499,7	65	692,4	90	885,2
	20	345,5	45	538,2	70	731,0	95	923,7
	25	384,0	50	576,8	75	769,5	100	962,3
SABBIE S.C.	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)
	5	428,5	30	694,5	55	960,5	80	1226,5
	10	481,7	35	747,7	60	1013,7	85	1279,7
	15	534,9	40	800,9	65	1066,9	90	1332,9
	20	588,1	45	854,1	70	1120,1	95	1386,1
	25	641,3	50	907,3	75	1173,3	100	1439,3

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : TG 63-100 ISM.C

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 63-100 ISM.C

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,43 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,66 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,489$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 1

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	2	21,0	----	1	2,20 - 2,40	6	53,5	----	3
0,20 - 0,40	1	10,5	----	1	2,40 - 2,60	8	66,3	----	4
0,40 - 0,60	2	19,3	----	2	2,60 - 2,80	8	66,3	----	4
0,60 - 0,80	2	19,3	----	2	2,80 - 3,00	10	82,8	----	4
0,80 - 1,00	3	28,9	----	2	3,00 - 3,20	11	91,1	----	4
1,00 - 1,20	3	28,9	----	2	3,20 - 3,40	10	82,8	----	4
1,20 - 1,40	4	38,6	----	2	3,40 - 3,60	11	85,1	----	5
1,40 - 1,60	4	35,6	----	3	3,60 - 3,80	11	85,1	----	5
1,60 - 1,80	5	44,6	----	3	3,80 - 4,00	18	139,2	----	5
1,80 - 2,00	5	44,6	----	3	4,00 - 4,20	80	618,8	----	5
2,00 - 2,20	6	53,5	----	3					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

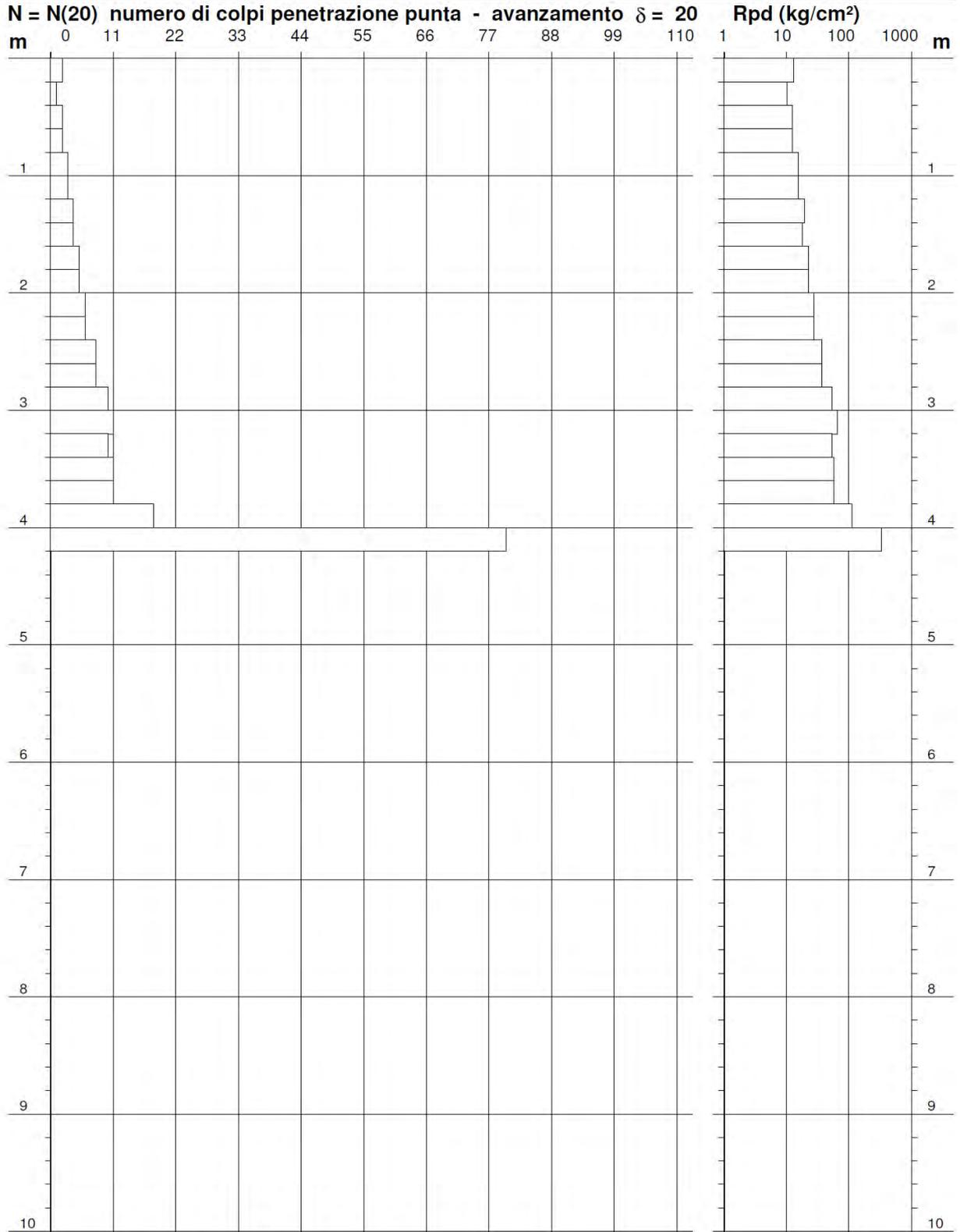
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 1

Scala 1: 50

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

n° 1

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,80	N	1,8	1	2	1,4	----	----	----	2	1,49	3
			Rpd	17,5	11	21	14,0	----	----	----	19		
2	0,80	1,20	N	3,0	3	3	3,0	----	----	----	3	1,49	4
			Rpd	28,9	29	29	28,9	----	----	----	29		
3	1,20	1,60	N	4,0	4	4	4,0	----	----	----	4	1,49	6
			Rpd	37,1	36	39	36,4	----	----	----	37		
4	1,60	2,00	N	5,0	5	5	5,0	----	----	----	5	1,49	7
			Rpd	44,6	45	45	44,6	----	----	----	45		
5	2,00	2,40	N	6,0	6	6	6,0	----	----	----	6	1,49	9
			Rpd	53,5	54	54	53,5	----	----	----	54		
6	2,40	2,80	N	8,0	8	8	8,0	----	----	----	8	1,49	12
			Rpd	66,3	66	66	66,3	----	----	----	66		
7	2,80	3,80	N	10,6	10	11	10,3	----	----	----	11	1,49	16
			Rpd	85,4	83	91	84,1	----	----	----	89		
8	3,80	4,00	N	18,0	18	18	18,0	----	----	----	18	1,49	27
			Rpd	139,2	139	139	139,2	----	----	----	139		
9	4,00	4,20	N	80,0	80	80	80,0	----	----	----	80	1,49	119
			Rpd	618,8	619	619	618,8	----	----	----	619		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,49$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.80		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
2	0.80	1.20		4	15.0	22.7	222	1.87	1.39	----	----	----	----
3	1.20	1.60		6	21.7	24.5	238	1.89	1.43	----	----	----	----
4	1.60	2.00		7	25.0	25.2	245	1.90	1.45	----	----	----	----
5	2.00	2.40		9	31.7	26.6	261	1.92	1.48	----	----	----	----
6	2.40	2.80		12	38.0	28.4	284	1.94	1.52	----	----	----	----
7	2.80	3.80		16	44.0	30.5	315	1.97	1.55	----	----	----	----
8	3.80	4.00		27	60.5	35.1	399	2.03	1.66	----	----	----	----
9	4.00	4.20		119	100.0	57.2	1109	2.24	1.99	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

n° 2

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	4	42,0	----	1	0,80 - 1,00	24	231,4	----	2
0,20 - 0,40	2	21,0	----	1	1,00 - 1,20	57	549,7	----	2
0,40 - 0,60	2	19,3	----	2	1,20 - 1,40	90	867,9	----	2
0,60 - 0,80	6	57,9	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = **N(20)** [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

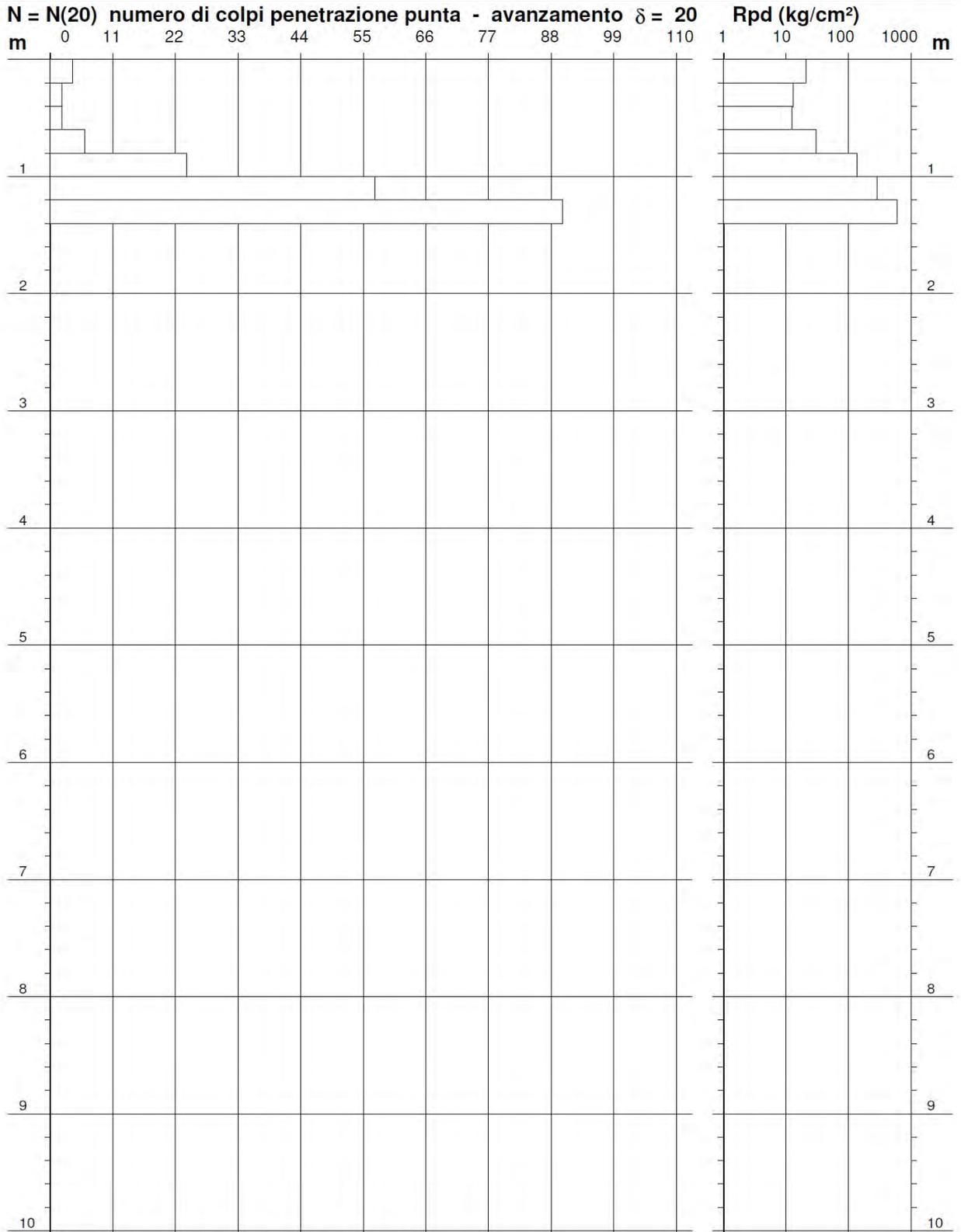
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 2

Scala 1: 50

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

n° 2

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,60	N	2,7	2	4	2,3	----	----	----	3	1,49	4
			Rpd	27,4	19	42	23,4	----	----	----	30		
2	0,60	0,80	N	6,0	6	6	6,0	----	----	----	6	1,49	9
			Rpd	57,9	58	58	57,9	----	----	----	58		
3	0,80	1,00	N	24,0	24	24	24,0	----	----	----	24	1,49	36
			Rpd	231,4	231	231	231,4	----	----	----	231		
4	1,00	1,20	N	57,0	57	57	57,0	----	----	----	57	1,49	85
			Rpd	549,7	550	550	549,7	----	----	----	550		
5	1,20	1,40	N	90,0	90	90	90,0	----	----	----	90	1,49	134
			Rpd	867,9	868	868	867,9	----	----	----	868		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,49$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE				NATURA COESIVA				
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.60		4	15.0	22.7	222	1.87	1.39	----	----	----	----
2	0.60	0.80		9	31.7	26.6	261	1.92	1.48	----	----	----	----
3	0.80	1.00		36	71.0	38.2	469	2.08	1.74	----	----	----	----
4	1.00	1.20		85	98.1	50.7	847	2.23	1.97	----	----	----	----
5	1.20	1.40		134	100.0	59.8	1224	2.24	1.99	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 21

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	2	21,0	----	1	0,80 - 1,00	33	318,2	----	2
0,20 - 0,40	11	115,6	----	1	1,00 - 1,20	34	327,9	----	2
0,40 - 0,60	28	270,0	----	2	1,20 - 1,40	78	752,2	----	2
0,60 - 0,80	28	270,0	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

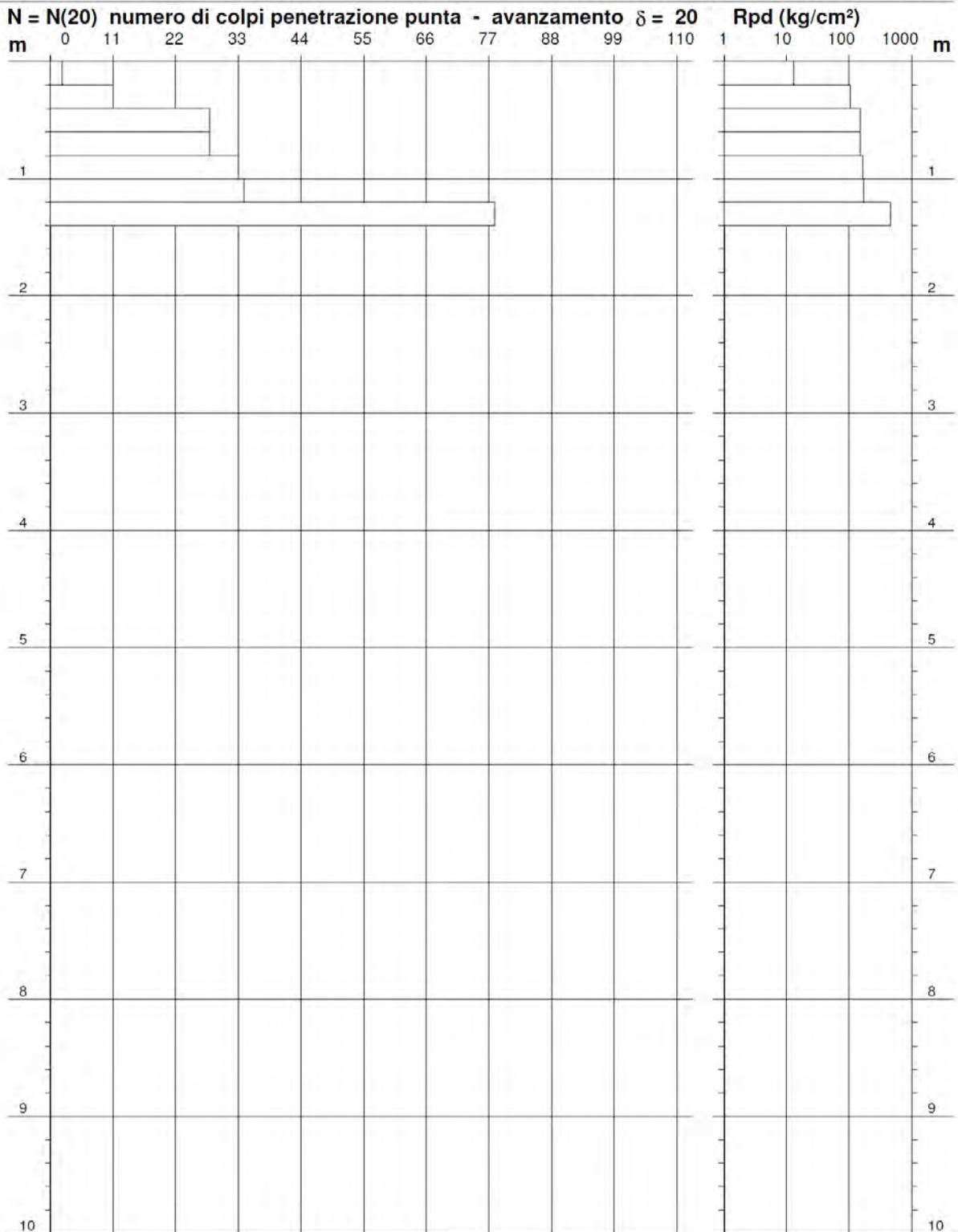
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 21

Scala 1: 50

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**
 - M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA

n° 21

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,40	N	6,5	2	11	4,3	----	----	----	6	1,49	9
		Rpd	68,3	21	116	44,7	----	----	----			
2	0,40 0,80	N	28,0	28	28	28,0	----	----	----	28	1,49	42
		Rpd	270,0	270	270	270,0	----	----	----			
3	0,80 1,20	N	33,5	33	34	33,3	----	----	----	34	1,49	51
		Rpd	323,1	318	328	320,6	----	----	----			
4	1,20 1,40	N	78,0	78	78	78,0	----	----	----	78	1,49	116
		Rpd	752,2	752	752	752,2	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,49$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE				NATURA COESIVA				
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.40		9	31.7	26.6	261	1.92	1.48	----	----	----	----
2	0.40	0.80		42	77.0	40.1	515	2.11	1.78	----	----	----	----
3	0.80	1.20		51	85.4	42.7	585	2.15	1.85	----	----	----	----
4	1.20	1.40		116	100.0	56.7	1086	2.24	1.99	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 3

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	3	31,5	----	1	1,00 - 1,20	29	279,7	----	2
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1	1,20 - 1,40	20	192,9	----	2
0,40 - 0,60	14	135,0	----	2	1,40 - 1,60	57	507,9	----	3
0,60 - 0,80	12	115,7	----	2	1,60 - 1,80	90	802,0	----	3
0,80 - 1,00	21	202,5	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

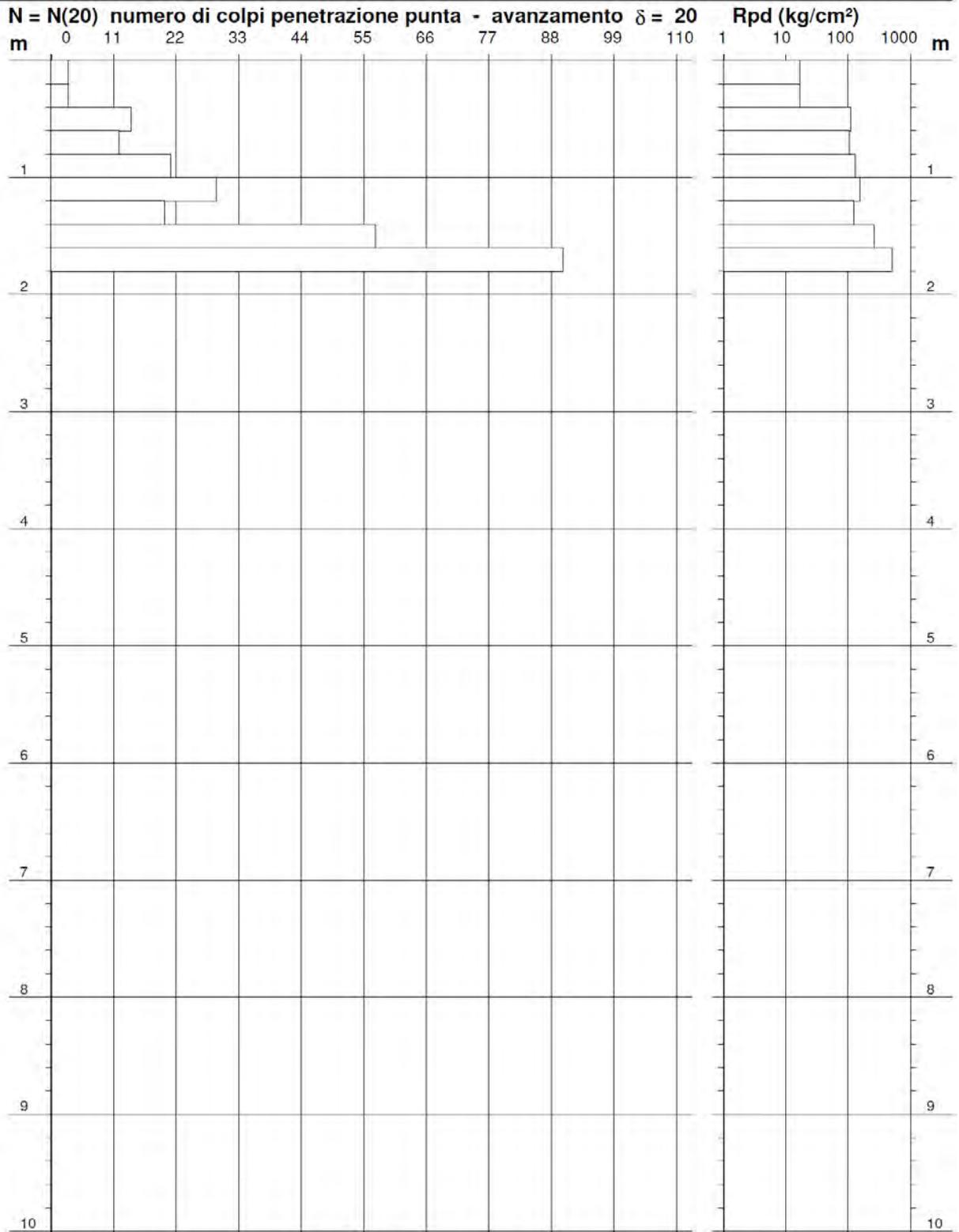
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 3

Scala 1: 50

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**
 - M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

n° 3

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,40	N	3,0	3	3	3,0	----	----	----	3	1,49	4
			Rpd	31,5	32	32	31,5	----	----	----	32		
2	0,40	0,80	N	13,0	12	14	12,5	----	----	----	13	1,49	19
			Rpd	125,4	116	135	120,5	----	----	----	125		
3	0,80	1,00	N	21,0	21	21	21,0	----	----	----	21	1,49	31
			Rpd	202,5	203	203	202,5	----	----	----	203		
4	1,00	1,20	N	29,0	29	29	29,0	----	----	----	29	1,49	43
			Rpd	279,7	280	280	279,7	----	----	----	280		
5	1,20	1,40	N	20,0	20	20	20,0	----	----	----	20	1,49	30
			Rpd	192,9	193	193	192,9	----	----	----	193		
6	1,40	1,60	N	57,0	57	57	57,0	----	----	----	57	1,49	85
			Rpd	507,9	508	508	507,9	----	----	----	508		
7	1,60	1,80	N	90,0	90	90	90,0	----	----	----	90	1,49	134
			Rpd	802,0	802	802	802,0	----	----	----	802		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,49$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.40		4	15.0	22.7	222	1.87	1.39	----	----	----	----
2	0.40 0.80		19	48.5	31.9	338	1.98	1.58	----	----	----	----
3	0.80 1.00		31	66.0	36.6	430	2.06	1.70	----	----	----	----
4	1.00 1.20		43	78.0	40.4	523	2.11	1.79	----	----	----	----
5	1.20 1.40		30	65.0	36.2	423	2.05	1.69	----	----	----	----
6	1.40 1.60		85	98.1	50.7	847	2.23	1.97	----	----	----	----
7	1.60 1.80		134	100.0	59.8	1224	2.24	1.99	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 4

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	2	21,0	----	1	0,80 - 1,00	25	241,1	----	2
0,20 - 0,40	2	21,0	----	1	1,00 - 1,20	57	549,7	----	2
0,40 - 0,60	6	57,9	----	2	1,20 - 1,40	90	867,9	----	2
0,60 - 0,80	12	115,7	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

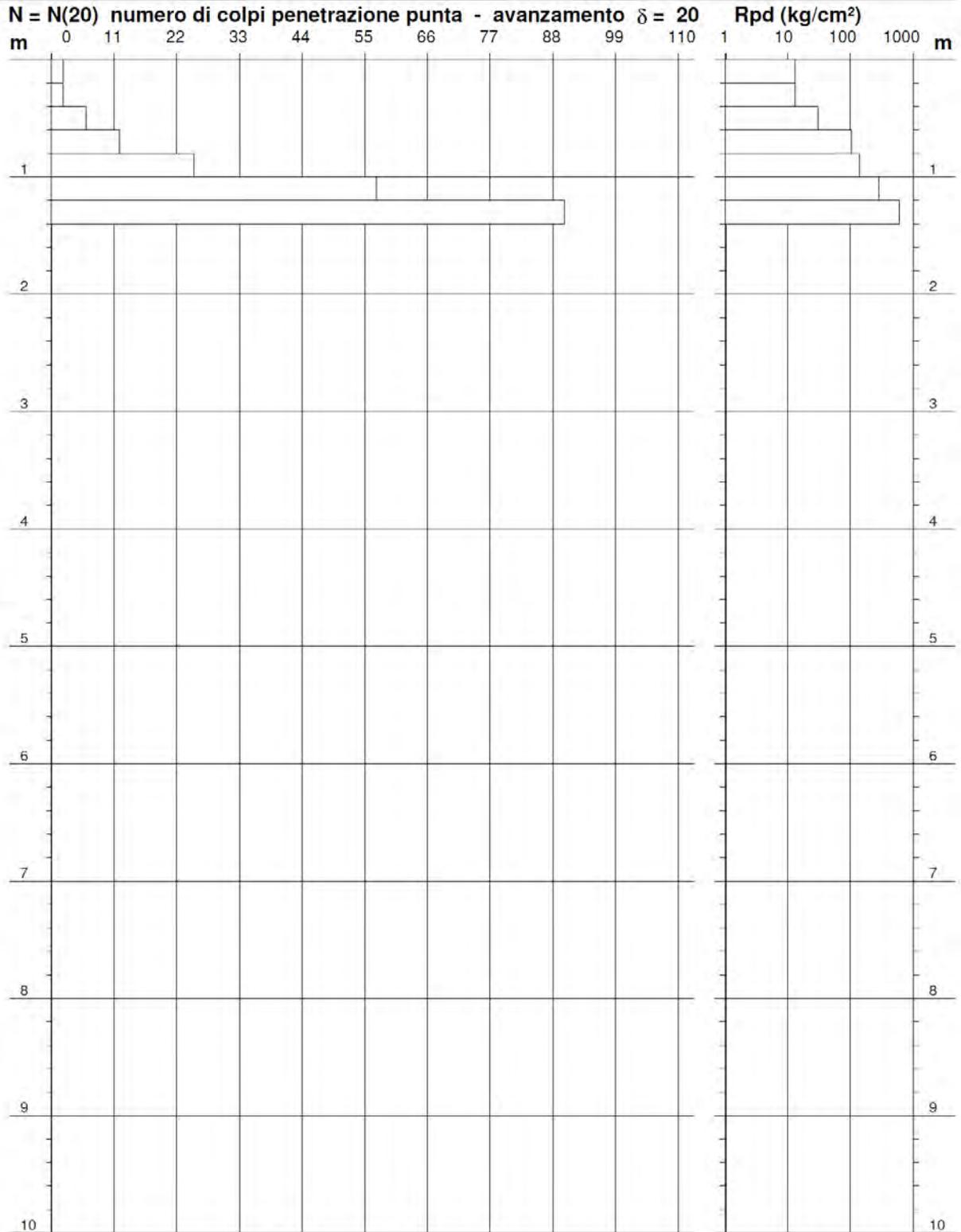
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 4

Scala 1: 50

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : TG 63-100 ISM.C

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m - A (area punta)= 20,43 cm² - D(diam. punta)= 51,00 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : NO

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

n° 4

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,40	N	2,0	2	2	2,0	----	----	----	2	1,49	3
			Rpd	21,0	21	21	21,0	----	----	----			
2	0,40	0,60	N	6,0	6	6	6,0	----	----	----	6	1,49	9
			Rpd	57,9	58	58	57,9	----	----	----			
3	0,60	0,80	N	12,0	12	12	12,0	----	----	----	12	1,49	18
			Rpd	115,7	116	116	115,7	----	----	----			
4	0,80	1,00	N	25,0	25	25	25,0	----	----	----	25	1,49	37
			Rpd	241,1	241	241	241,1	----	----	----			
5	1,00	1,20	N	57,0	57	57	57,0	----	----	----	57	1,49	85
			Rpd	549,7	550	550	549,7	----	----	----			
6	1,20	1,40	N	90,0	90	90	90,0	----	----	----	90	1,49	134
			Rpd	867,9	868	868	867,9	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta^t = 1,49$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.40		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
2	0.40	0.60		9	31.7	26.6	261	1.92	1.48	----	----	----	----
3	0.60	0.80		18	47.0	31.4	330	1.98	1.57	----	----	----	----
4	0.80	1.00		37	72.0	38.6	477	2.09	1.74	----	----	----	----
5	1.00	1.20		85	98.1	50.7	847	2.23	1.97	----	----	----	----
6	1.20	1.40		134	100.0	59.8	1224	2.24	1.99	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 5

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,5	----	1	1,40 - 1,60	13	115,8	----	3
0,20 - 0,40	2	21,0	----	1	1,60 - 1,80	28	249,5	----	3
0,40 - 0,60	2	19,3	----	2	1,80 - 2,00	20	178,2	----	3
0,60 - 0,80	2	19,3	----	2	2,00 - 2,20	20	178,2	----	3
0,80 - 1,00	4	38,6	----	2	2,20 - 2,40	10	89,1	----	3
1,00 - 1,20	4	38,6	----	2	2,40 - 2,60	62	513,5	----	4
1,20 - 1,40	6	57,9	----	2	2,60 - 2,80	90	745,4	----	4

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

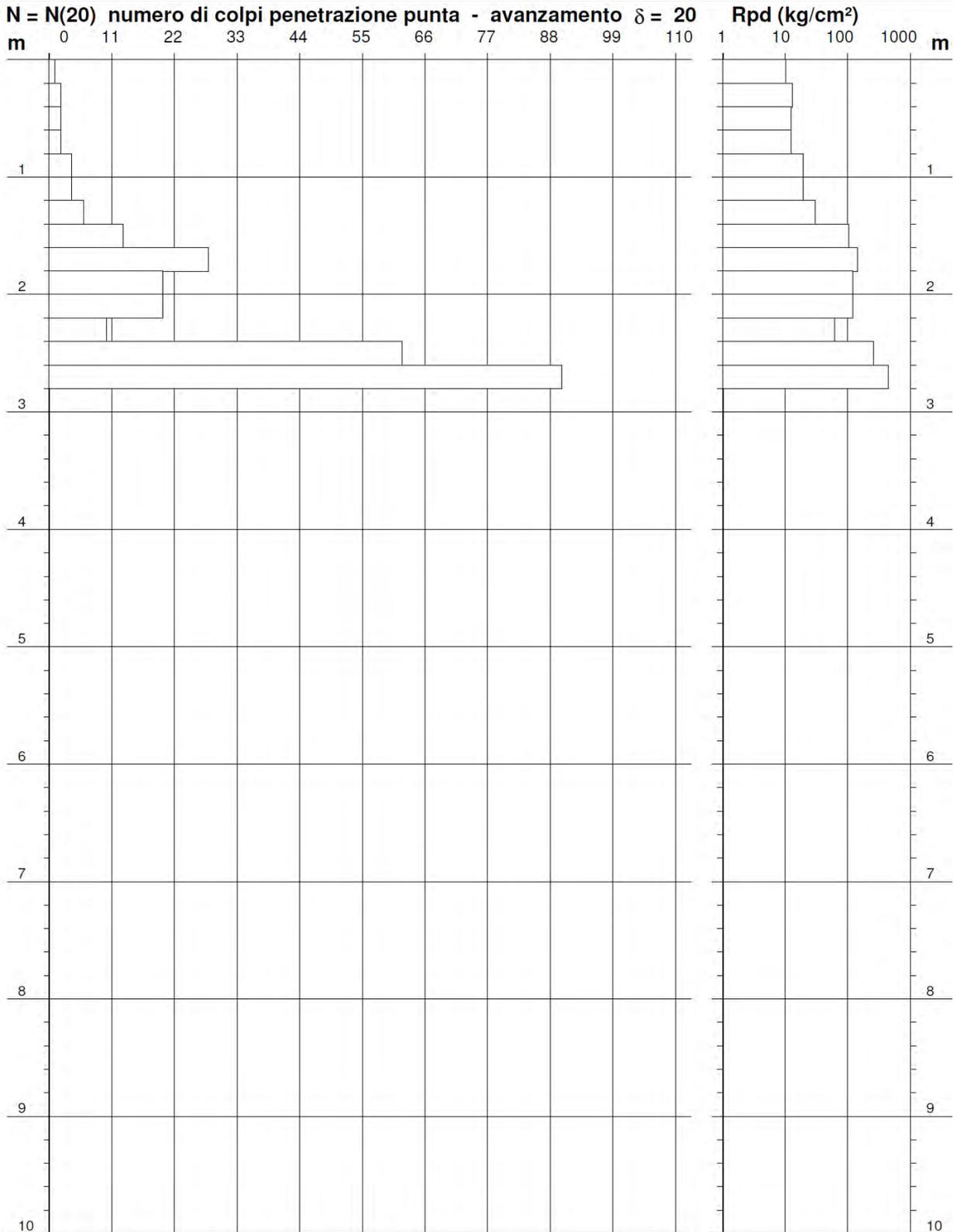
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 5

Scala 1: 50

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**
 - M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

n° 5

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
- cantiere :
- località : MALLARE
- note :

- data : 28/03/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,80	N	1,8	1	2	1,4	---	---	---	2	1,49	3
			Rpd	17,5	11	21	14,0	---	---	---	19		
2	0,80	1,20	N	4,0	4	4	4,0	---	---	---	4	1,49	6
			Rpd	38,6	39	39	38,6	---	---	---	39		
3	1,20	1,60	N	9,5	6	13	7,8	---	---	---	10	1,49	15
			Rpd	86,9	58	116	72,4	---	---	---	92		
4	1,60	1,80	N	28,0	28	28	28,0	---	---	---	28	1,49	42
			Rpd	249,5	250	250	249,5	---	---	---	250		
5	1,80	2,20	N	20,0	20	20	20,0	---	---	---	20	1,49	30
			Rpd	178,2	178	178	178,2	---	---	---	178		
6	2,20	2,40	N	10,0	10	10	10,0	---	---	---	10	1,49	15
			Rpd	89,1	89	89	89,1	---	---	---	89		
7	2,40	2,60	N	62,0	62	62	62,0	---	---	---	62	1,49	92
			Rpd	513,5	514	514	513,5	---	---	---	514		
8	2,60	2,80	N	90,0	90	90	90,0	---	---	---	90	1,49	134
			Rpd	745,4	745	745	745,4	---	---	---	745		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,49$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Caratterizzazione geotecnica sottosuolo
 - cantiere :
 - località : MALLARE
 - note :

- data : 28/03/2023
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.80		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
2	0.80	1.20		6	21.7	24.5	238	1.89	1.43	----	----	----	----
3	1.20	1.60		15	42.5	30.0	307	1.96	1.54	----	----	----	----
4	1.60	1.80		42	77.0	40.1	515	2.11	1.78	----	----	----	----
5	1.80	2.20		30	65.0	36.2	423	2.05	1.69	----	----	----	----
6	2.20	2.40		15	42.5	30.0	307	1.96	1.54	----	----	----	----
7	2.40	2.60		92	100.0	52.1	901	2.24	1.99	----	----	----	----
8	2.60	2.80		134	100.0	59.8	1224	2.24	1.99	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

INDAGINE MASW – (tramite misurazioni di onde S).

La prospezione sismica MASW è stata eseguita lungo uno stendimento orientato NE-SW tramite sismografo “Dolang 247T” a 24 canali digitali a 24 bit con energizzazione a massa battente del peso di 10 Kg.

Si tratta di una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali (svolta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo) e sull'analisi della dispersione geometrica delle medesime onde superficiali che nella fattispecie sono onde di Rayleigh.

Il risultato finale dell'analisi è la ricostruzione di un profilo verticale delle velocità delle onde di taglio nel terreno ed una stima del modulo di rigidezza al taglio dinamico (G_0) in funzione della profondità.

Il profilo di V_s , a differenza dei metodi di indagine basati sulla propagazione delle onde di compressione P, permette di indagare anche mezzi saturi.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nell'intervallo di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30-50 metri, in funzione della rigidezza del suolo.

La prospezione sismica è stata eseguita per mezzo della strumentazione di seguito elencata.

- Acquisitore digitale multicanale per onde di superficie dotato di 24 canali digitali a 24 bit.
- Ricevitori capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale per un totale di 12 geofoni a 4,5 Hz.
- Sorgente sismica impulsiva costituita da massa battente del peso di 10 Kg.

E' stata adottata la seguente configurazione di acquisizione.

Numero di ricevitori: 12 geofoni.

Lunghezza stendimento: 52 metri.

Distanza tra i sensori: 4,0 metri.

Per l'interpretazione dei dati raccolti è stato utilizzato il programma software denominato “MASW” prodotto dalla Società Vitoantonio Roma.

Il funzionamento del software MASW consiste di 4 fasi.

Fase 1: inserimento della curva apparente di dispersione sperimentale del terreno o determinazione della stessa a partire dalle tracce misurate in sito.

Fase 2: simulazione numerica della curva apparente di dispersione del terreno a partire da un profilo di velocità delle onde di taglio V_s di primo tentativo (profilo iniziale).

Fase 3: determinazione del profilo di velocità finale delle onde di taglio V_s , che rende ottimale la sovrapposizione della curva apparente di dispersione sperimentale e della curva apparente di dispersione simulata numericamente.

Fase 4: ricostruzione del profilo sismostratigrafico e determinazione del tipo di suolo sulla base del profilo di velocità finale delle onde di taglio V_s .

Da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S, è possibile simulare la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda.

Il procedimento è fatto tenendo conto che $V_R \approx 0.9 V_s$ e $z = \lambda/2.5$, dove il valore di V_s è

assegnato alla profondità z calcolata in funzione della lunghezza d'onda λ , la quale è legata alla frequenza e alla velocità di fase V_R .

Il calcolo che permette di ricavare il profilo verticale della velocità delle onde di taglio dalla curva di dispersione, partendo dal modello geologico del sottosuolo (sintetico), è detta inversione.

Modificando i parametri del modello sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale.

La curva di dispersione elaborata dall'inversione che approssima la curva di dispersione sperimentale fornisce il modello geotecnico in termini di profilo di velocità.

Ai fini della ricostruzione del profilo sismostratigrafico di sito si fa presente quanto segue.

La profondità di indagine è mediamente pari alla metà della lunghezza dello stendimento, anche se per tipologie di sottosuoli favorevoli sono possibili maggiori profondità di indagine.

La risoluzione diminuisce con la profondità ed è difficile risolvere strati relativamente poco spessi.

Modello sismostratigrafico del sottosuolo

È stato ricostruito un modello sismostratigrafico del sottosuolo sostanzialmente caratterizzato da tre livelli.

Il primo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di -1,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_s nell'ordine di 250 m/s. Si tratta di valori compatibili con terreni di natura detritica in stato di addensamento sciolto.

Il secondo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di -3,50 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_s nell'ordine di 720 m/s. Si tratta di valori compatibili con la presenza di un substrato roccioso formato da rocce tenere e/o da rocce molto alterate e fratturate.

Il terzo livello si sviluppa oltre la profondità di -3,50 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_s nell'ordine da 1500 m/s. Si tratta di valori caratteristici del Bedrock sismico (>800,0 m/s) ascrivibili alla presenza del substrato roccioso competente.

1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....12
Distanza tra i sensori:.....4m
Numero di campioni temporali2048
Passo temporale di acquisizione 1.024ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 2096.13ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

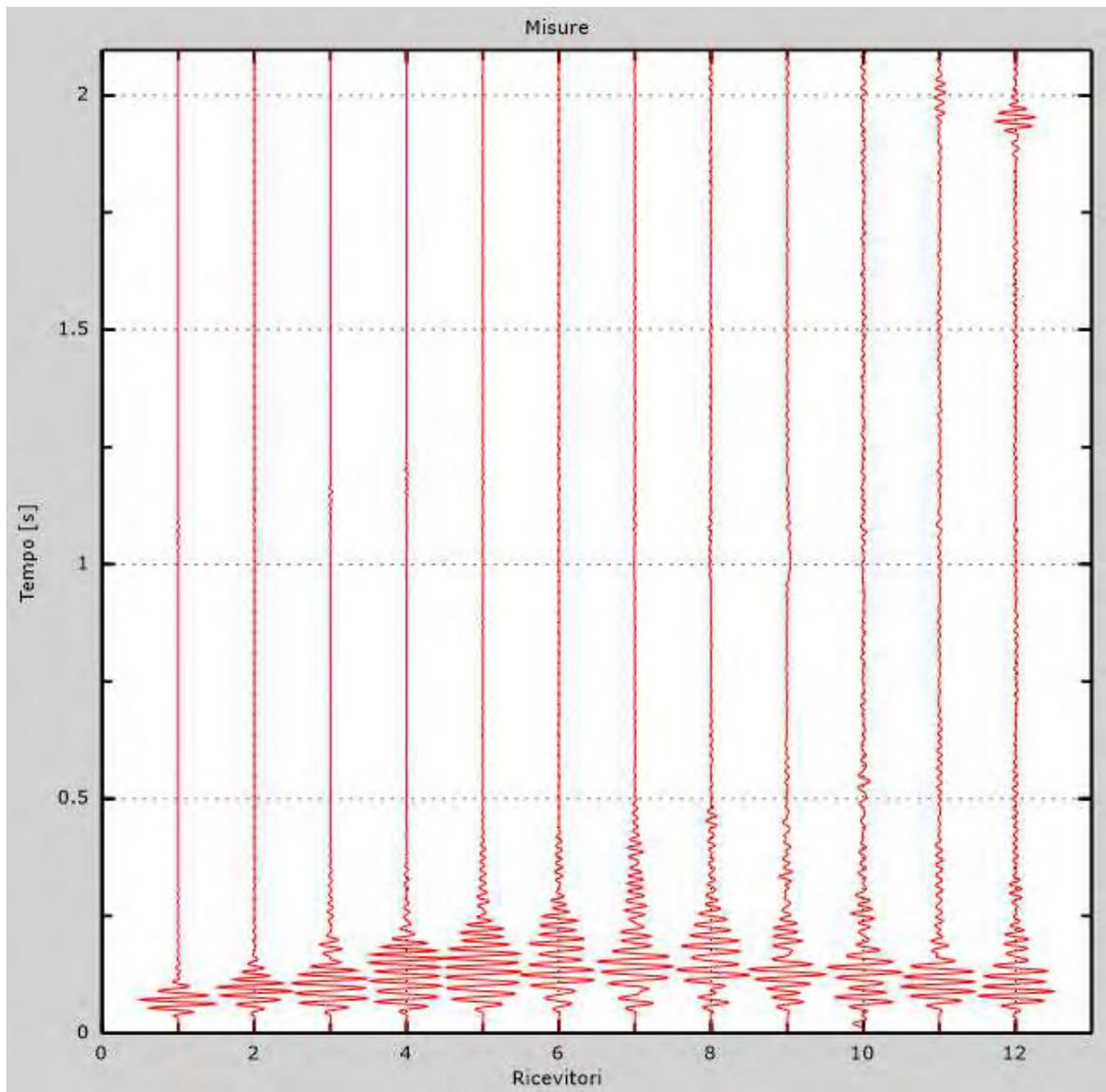


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale.....44Hz
Frequenza iniziale30Hz

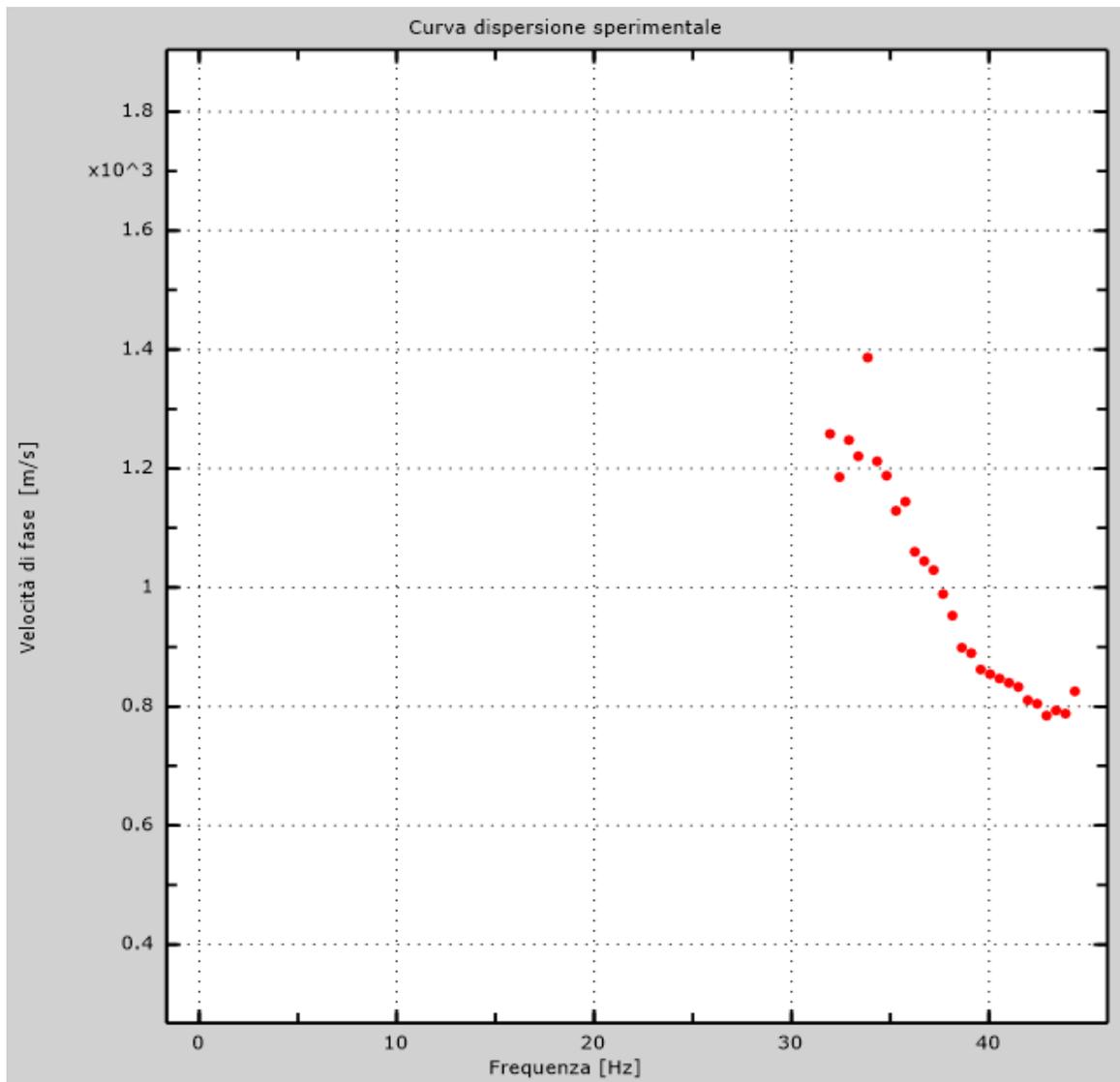


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

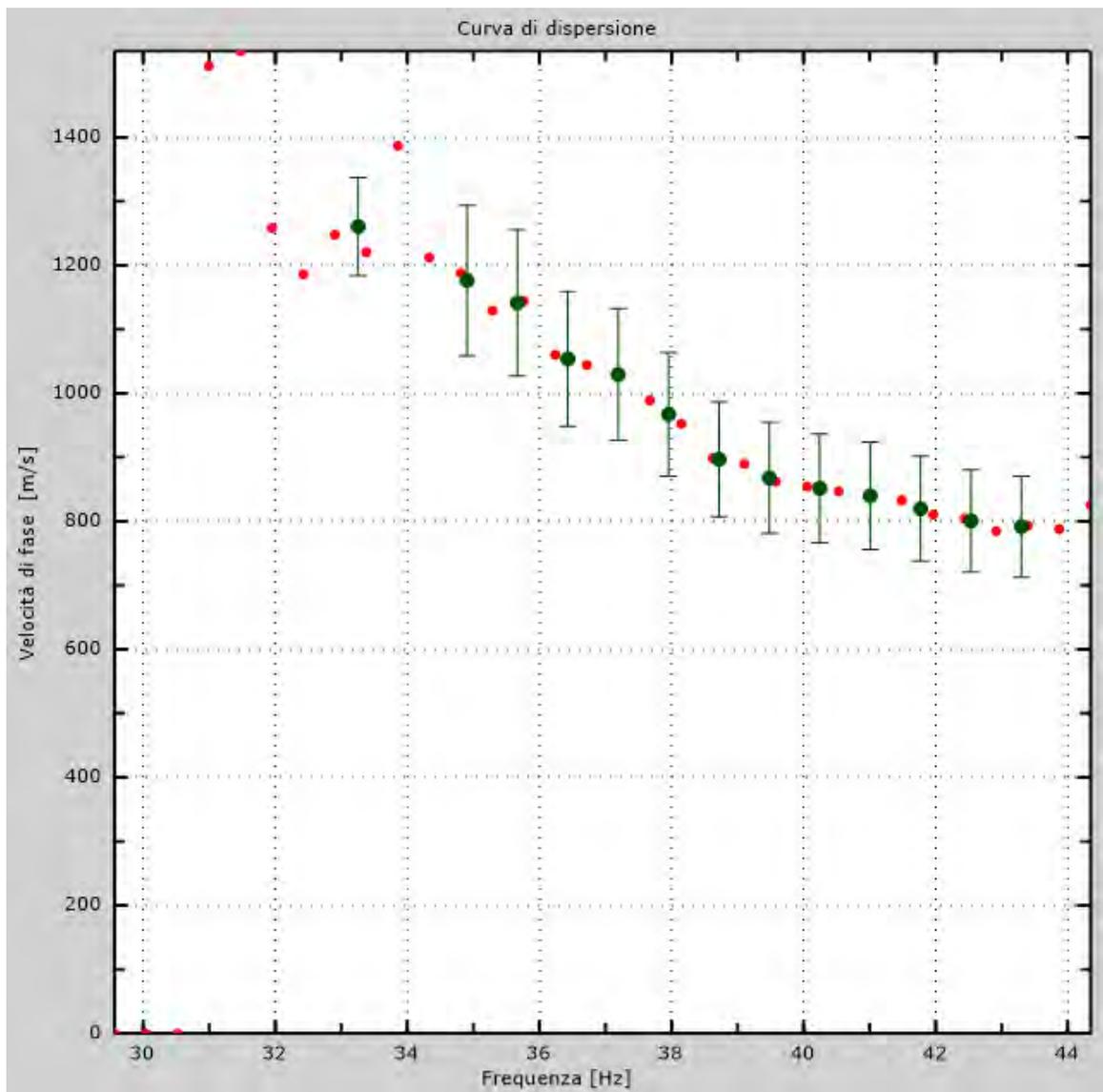


Figura 3: Curva di dispersione

Tabella Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
33.2555	1260.58	1183.8	1337.36
34.9045	1176.35	1058.72	1293.99
35.6674	1141.36	1027.22	1255.49
36.4304	1053.91	948.521	1159.3
37.1933	1029.35	926.415	1132.28
37.9562	967.279	870.551	1064.01
38.7192	897.057	807.351	986.762
39.4821	867.779	781.001	954.556
40.2451	851.503	766.352	936.653
41.008	839.844	755.859	923.828
41.7709	819.619	737.657	901.581
42.5339	800.755	720.68	880.831
43.2968	791.713	712.542	870.884

Tabella 1: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)3
 Spaziatura ricevitori4m
 Numero ricevitori12
 Numero modi1

Strato 1

h [m]1.5
 z [m]-1.5
 Densità [kg/m³]1800
 Poisson0.35
 Vs fin.[m/s]250

Strato 2

h [m]2
 z [m]-3.5
 Densità [kg/m³]2300
 Poisson0.3
 Vs fin.[m/s]720

Strato 3

h [m]0
 z [m]-∞
 Densità [kg/m³]2500
 Poisson0.25
 Vs fin.[m/s]1500

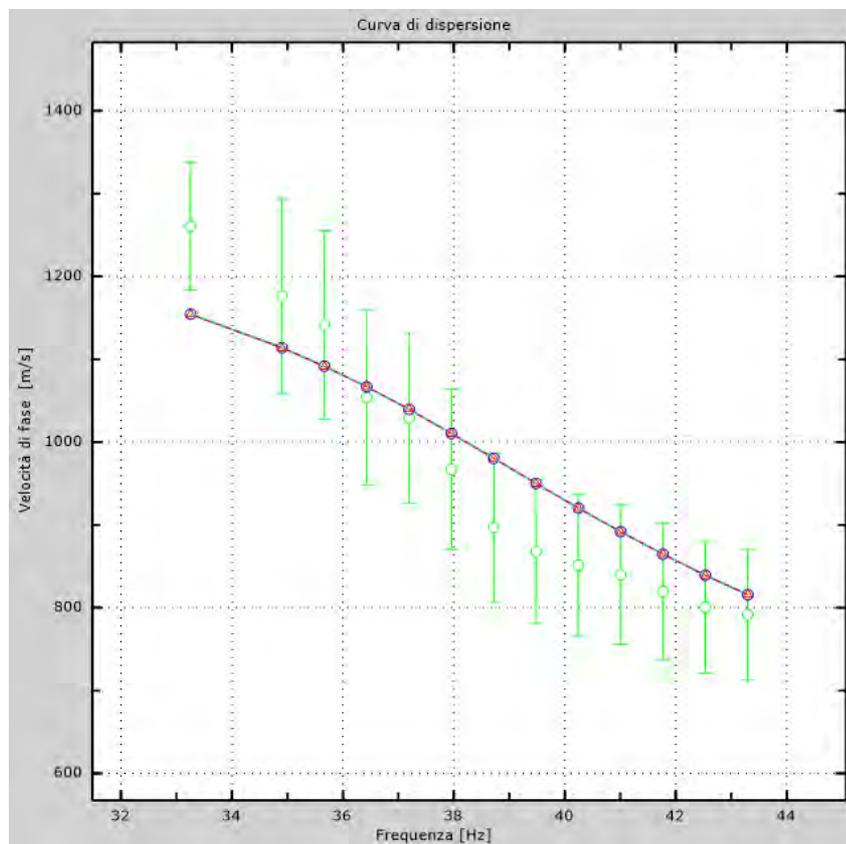


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

Profilo di Vs

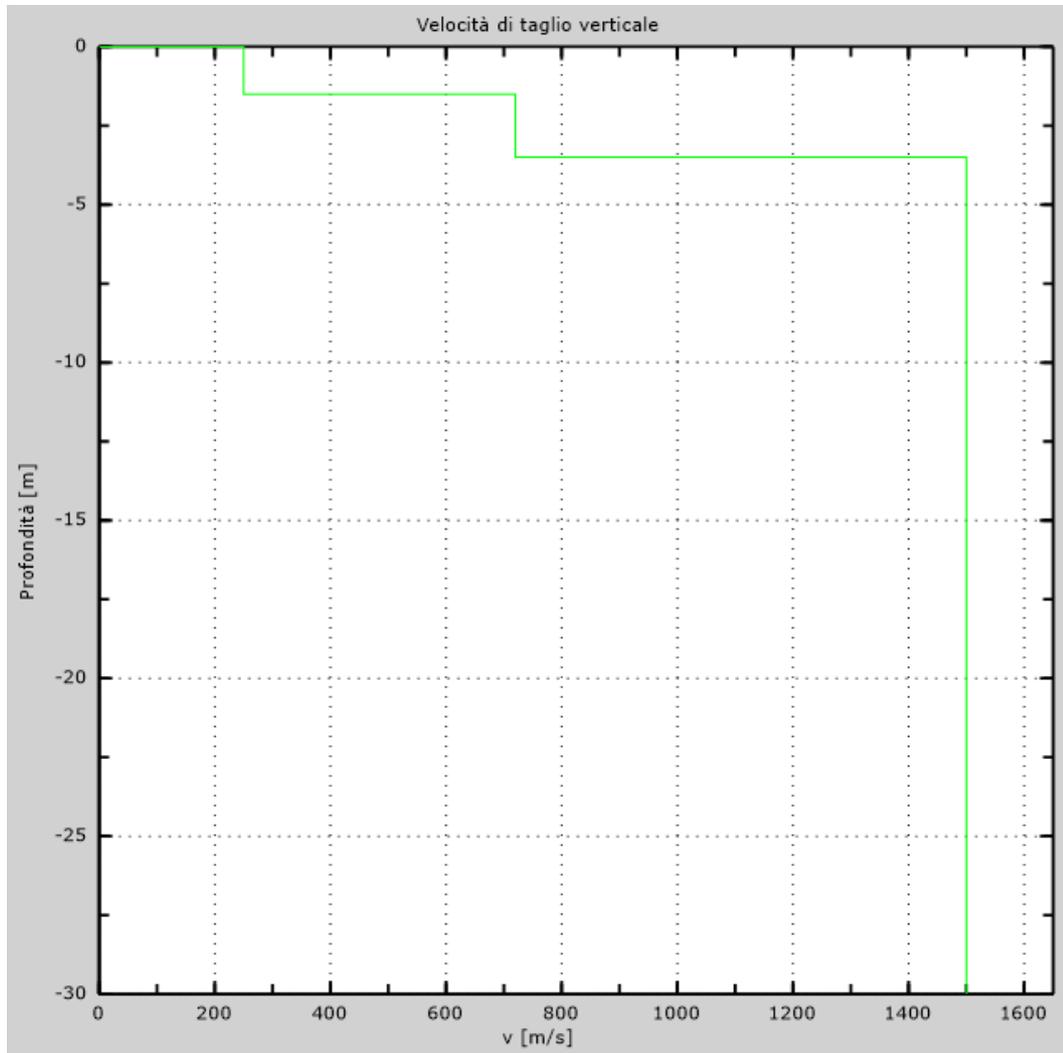


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m]0
 VsEquivalente [m/s]398
 La normativa applicata è il DM 17 gennaio 2018
Tipo di suolo al piano campagna B
Tipo di suolo per piano di posa a quota inferiore →A

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE – (tramite misurazioni di onde P).

La prospezione sismica a rifrazione è stata eseguita lungo il medesimo stendimento utilizzato per la prospezione MASW utilizzando un sismografo “Dolang DBS280” a 24 canali digitali a 24 bit con energizzazione a massa battente del peso di 10 Kg.

Gli stendimenti sono stati eseguiti per la seguente configurazione di acquisizione:

geofoni n° 12 con frequenza propria di 4,5 Hz;

distanza intergeofonica 4,0 m;

lunghezza complessiva di stendimento 52,00 m;

punti di energizzazione n° 5 a 0 – 14 – 26 – 38 – 52 metri.

Il primo e l'ultimo scoppio sono stati posizionati a 4,0 m di distanza dal primo e ultimo geofono.

Sono stati adottati i seguenti parametri di acquisizione:

numero di campioni acquisiti per ciascun canale n° 1024;

durata di campionamento 0,262 ms;

frequenza di campionamento 4000 Hz.

In corrispondenza dell'allineamento sono state registrate le tracce sismiche relative alle energizzazioni svolte ed è stata eseguita la registrazione dei tempi di arrivo ai geofoni delle onde sismiche generate nei punti di energizzazione prescelti.

Dalle elaborazioni dei sismogrammi, in funzione delle distanze tra i geofoni in metri e dei tempi di percorrenza in millisecondi, è stato determinato il profilo sismico coniugato delle dromocrone andata-ritorno.

Le misure effettuate in sito con la tecnica a rifrazione sono state elaborate con la procedura tomografica al fine di evidenziare in dettaglio le variazioni locali di velocità utilizzando il software SmartTomo 2019.3 Versione 4 property of Dott. Simone Pittaluga.

La tecnica tomografica, rispetto alla tradizionale sismica a rifrazione, risolve il problema delle eterogeneità laterali del sottosuolo.

I dati sperimentali misurati sul terreno (tempi di arrivo) sono confrontati con quelli teorici (tempi ottenuti dalla modellizzazione diretta) simulati mediante un modello iniziale, seguendo quanto proposto da Moser, T. J. (1991) Shortest path calculation of seismic rays. Geophysics 56: 59-67.

Il modello di velocità iniziale è suddiviso in una griglia le cui celle hanno assegnato un valore di velocità iniziale. Sui lati della singola cella sono presenti più nodi che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti e tutti i ricevitori che sono anch'essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con quelli delle celle adiacenti.

Nella fase “inversa” i tempi sintetici calcolati nella fase “diretta” vengono confrontati con i tempi misurati. Le differenze tra i due tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle Simultaneous Iterative Reconstruction Technique).

La risoluzione del modello finale dipende dalla densità dei raggi, che a sua volta dipende dal numero di energizzazioni e di geofoni. La soluzione numerica del modello di velocità è affrontata in modo iterativo cercando la soluzione che riduce la differenza tra i tempi misurati e quelli calcolati.

Mediamente si può considerare che l'indagine raggiunga una profondità di circa un terzo della lunghezza dell'allineamento.

In sintesi, la procedura seguita nella tecnica tomografica consiste in:

- lettura dei tempi di arrivo sui sismogrammi acquisiti in campagna;
- definizione del modello iniziale del sottosuolo, passo diretto (si parte con un modello piano-stratificato del sottosuolo);
- tracciatura del raggio (tracciamento dei raggi dalla sorgente ai ricevitori – raytracing);
- determinazione dei residui (differenza tra tempi osservati e quelli calcolati);
- applicazione del metodo di inversione;
- ripetizione della procedura fino alla stabilizzazione delle soluzioni.

Modello sismostratigrafico del sottosuolo

E' stato ricostruito un modello sismico del sottosuolo sostanzialmente caratterizzato da tre livelli.

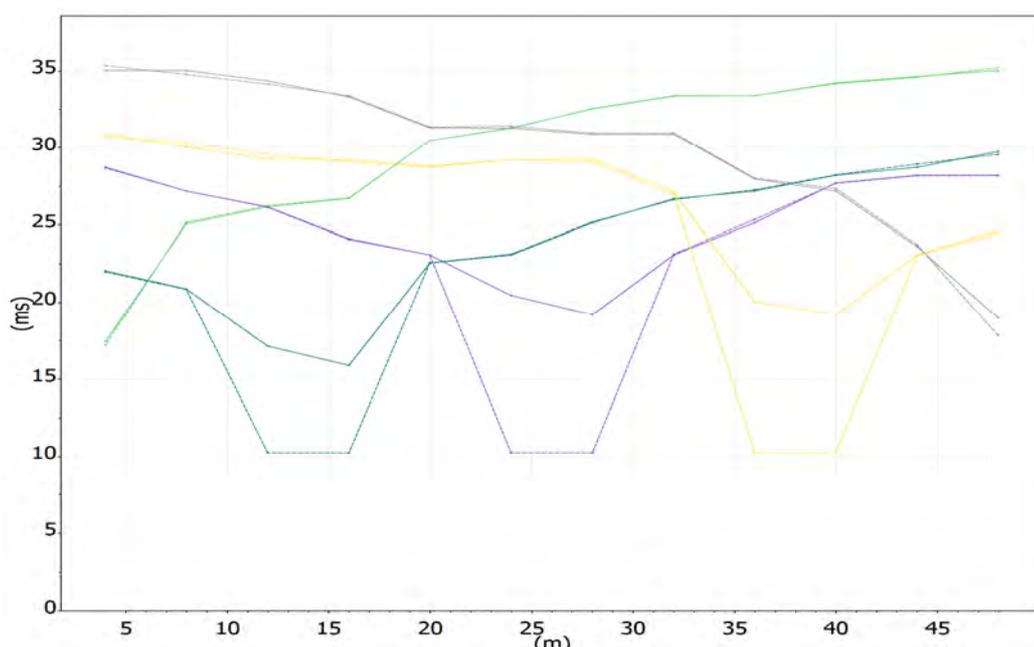
Il primo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di -2,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_p nell'ordine di 500 m/s. Si tratta di valori compatibili con terreni di natura detritica in stato di addensamento sciolto.

Il secondo livello si sviluppa tra il piano campagna e la profondità di -6,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_p crescenti tra $500 \text{ m/s} < V_p < 1600 \text{ m/s}$.

Si tratta di valori compatibili con la presenza di terreni detritici in stato di addensamento crescente da medio ad elevato passando a substrato roccioso formato da rocce da molto alterate e fratturate ad alterate e fratturate.

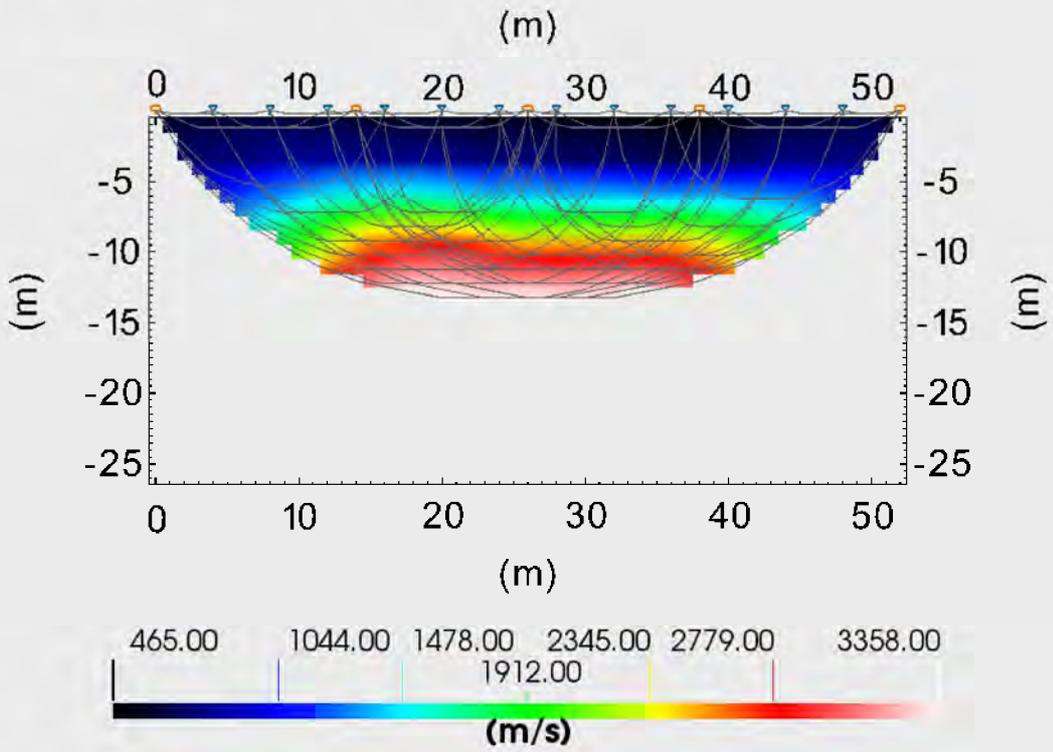
Il terzo livello si sviluppa oltre la profondità di -6,00 metri p.c. e risulta costituito da terreni contraddistinti da valori di V_p maggiori di 1600 m/s. Si tratta di valori caratteristici del Bedrock sismico ascrivibili alla presenza del substrato roccioso competente.

Dati Sperimentali

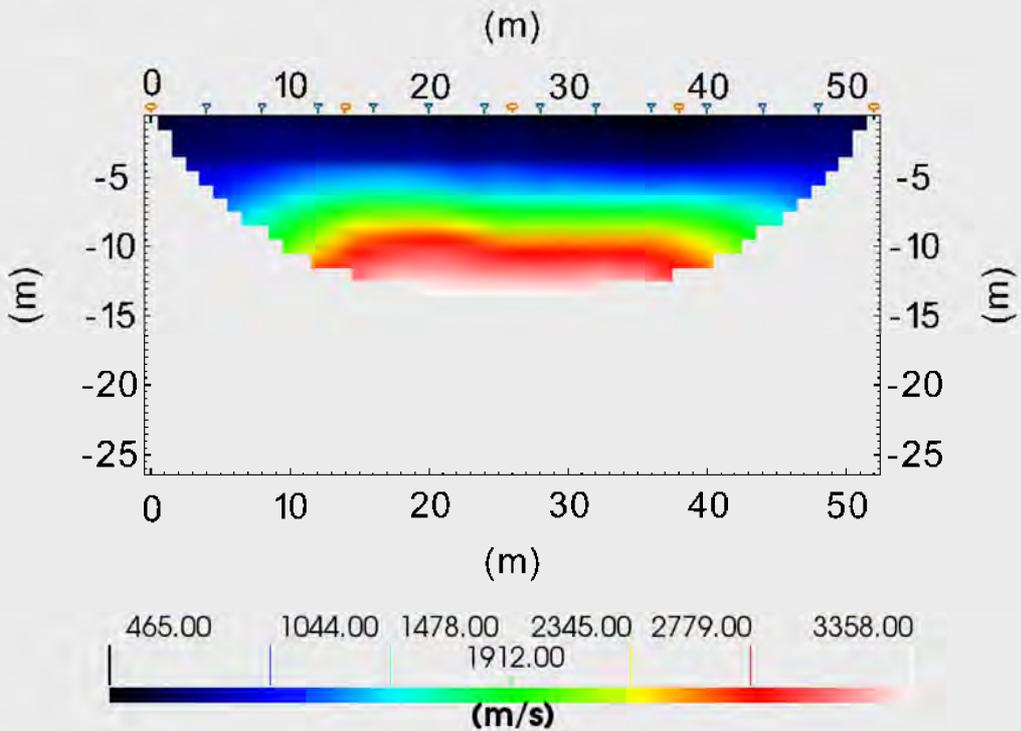


Confronto tra dromocrone osservate (linea continua) e calcolate (linea in tratteggio) per il sito analizzato.

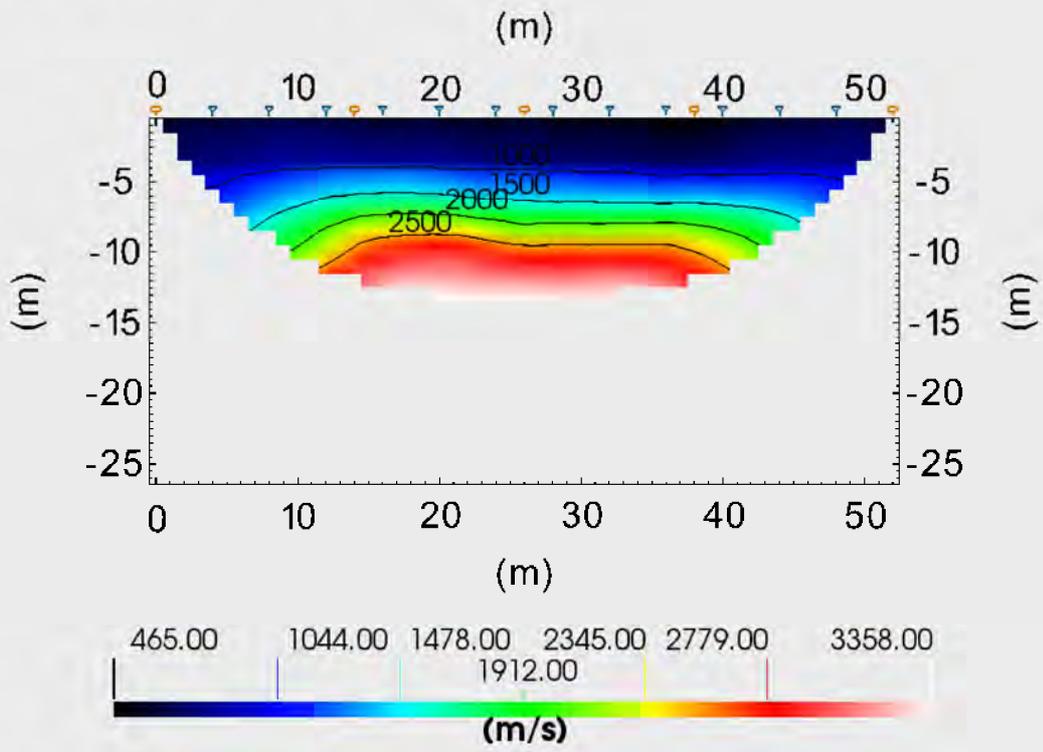
Tomographic Profile - Velocity with Rays



Tomographic Profile - Velocity



Tomographic Profile - Velocity with Isolines



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



DPSH1



DPSH2



DPSH2.1



DPSH3



DPSH4



DPSH5



Stese sismiche viste da geofono g12