COMUNE DI ZUCCARELLO (SV)

RIQUALIFICAZIONE AREA CASERMA
COSTRUZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO

Progetto Preliminare

RELAZIONE GEOLOGICA (caratterizzazione e modellazione geologica)
(par. 6.2.1 – D.M.17.1.2018 e C6.2.1 C.S.LL.PP. n.7 del 21.1.2019)

RELAZIONE GEOTECNICA
(indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica)
(par. 6.2.2 – D.M.17.1.2018 e C6.2.2 C.S.LL.PP. n.7 del 21.1.2019)

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA
(par. 3.2 – D.M.17.1.2018 e C3.2 C.S.LL.PP. n.7 del 21.1.2019)

VERIFICA DI COMPATIBILITA' CON LA NORMATIVA DI PIANO DI BACINO *(D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998, R.R. 3/2011, R.R. 1/2016)*

VERIFICA DI CONFORMITA' EX ART.89 DEL D.P.R. 380/2001

SETTEMBRE 2022

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
Dott. Geol. ALESSANDRO SCARPATI
A.P. n. 247
data iscr. 15-04-1993

Alessandro Scarpati · GEOLOGO
Pass.ta Cadorna 53 · 17021 Alassio (SV)
(+39) 335.6195399
alessandro.scarpati@gmail.com · geosilt@pec.it
scarpatiale
C.F. SCRLSN66D21A145B · P. IVA 01637520097

INDICE

1. PREMESSA
2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO
3. ANALISI GEOLOGICO-TECNICA DELL'INTERVENTO IN PROGETTO
    - 3.1 Stabilità del fronte di scavo
    - 3.2 Fondazioni
    - 3.3 Regimazione delle acque superficiali e sotterranee
        - *3.3.1 Acque superficiali*
        - *3.3.2 Acque sotterranee*
4. CONFORMITA' EX ART.89 DEL D.P.R. 380/2001
5. CONCLUSIONI

ALLEGATI

- STRALCIO DELLA CARTA TECNICA REGIONALE IN SCALA 1:5000 (ALL.1)
- CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1:2.000 (ALL.2)
- PLANIMETRIA DI RAFFRONTO IN SCALA 1:250 (ALL.3a-3b)
- SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA X-X' IN SCALA 1:100 (ALL.4a)
- SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA Y-Y' IN SCALA 1:100 (ALL.4b)

APPENDICI

Appendice A – RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOTECNICHE
- A.1 Parametri geotecnici del terreno detritico sciolto
    - A.1.1 - Colluvium limoso-sabbioso in parte riportato (schema parametri geotecnici)
    - A.1.2 - Ciottoli e ghiaie (tabella parametri geotecnici)
    - A.1.3 - Cappellaccio di alterazione (tabella parametri geotecnici)
- A.2 Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso
    - A.2.1 Parametrizzazione dell'ammasso roccioso
    - A.2.2 Tabella parametri geotecnici della roccia
- A.3 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
- A.4 Prove penetrometriche dinamiche pesanti
- A.5 Prove penetrometriche dinamiche leggere

Appendice B – RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE
Appendice B2 – INDAGINE GEOFISICA MASW
Appendice B3 – INDAGINI GEOFISICHE HVRS
Appendice C – CONFORMITA' CON IL PIANO DI BACINO

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" – cap. 6 "Progettazione geotecnica" - cap. 7 "Progettazione per azioni sismiche";*
- *Circolare C.S.LL.PP. n.7 del 21.1.2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17.1.2018*
- *Allegato al voto n.36 del 27.7.2007 C.S.LL.PP "Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale";*
- *Deliberazione Giunta Regionale n.216 del 17/03/2017 "O.P.C.M. 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria";*
- *A.G.I. 1977 «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche»;*
- *Normativa di Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico vigente.*

1. PREMESSA

La presente relazione, su incarico dell'Amministrazione Comunale di Zuccarello, è finalizzata alla costruzione del modello geologico del sito, ai sensi del paragrafo 6.2.1 del D.M.17.1.2018, nonchè alla definizione del modello geotecnico[1], ai sensi del paragrafo 6.2.2 del D.M.17.1.2018, in relazione all'intervento di riqualificazione dell'area Caserma e costruzione di nuovo edificio scolastico.

Inoltre la presente relazione è stata svolta in relazione a quanto disposto dal'art.89 del DPR 380/2001 ed è finalizzata a fornire la documentazione per l'aggiornamento al Piano Urbanistico Comunale onde rendere congruenti le scelte urbanistiche con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche relativamente alla specifica area di intervento.

Per l'ubicazione topografica della zona si rimanda allo Stralcio della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 (all.1).

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il sito di progetto è ubicato ad una quota di circa 120 metri s.l.m., su un'area a debole acclività, delimitata a valle dal sedime stradale di via Tornatore ed a monte dal sedime stradale di via Castello.

L'intervento in progetto andrà ad interessare la vecchia Caserma, ora dismessa, il terreno circostante e parte del sedime stradale di via Castello.

Il versante risulta sistemato ad ampie fasce terrazzate delimitate da muri di sostegno.

La stratigrafia del sottosuolo è stata determinata sulla base delle seguenti indagini geognostiche e geofisiche:

- *n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (app. A3)*
- *n.3 prove penetrometriche dinamiche pesanti (app. A4)*
- *n.3 prove penetrometriche dinamiche leggere (app. A5)*
- *n.1 indagine geofisica MASW (app. B2)*
- *n.2 indagini geofisiche HVRS (app. B3)*

Le sezioni geologiche interpretative X-X' e Y-Y' (all.4a-4b) riportano il modello geologico del sottosuolo in corrispondenza del sito del progetto, esteso per un intorno significativo a monte e a valle.

Il substrato roccioso è costituito da dolomie, che affiorano diffusamente lungo il versante a monte dell'area di progetto e che al di sotto dell'edificio in progetto risultano in buona parte fortemente alterate e disgregate (cappellaccio).

Al di sopra è presente uno spessore fino a 5 metri di alluvioni ghiaioso-ciottolose e sopra un colluvium limoso-sabbioso.

[1] Il modello geotecnico definito nella presente relazione deve essere inteso come modello fisico, non trattando la parte relativa ai modelli di comportamento più propriamente legati alla parte di progettazione. In ogni caso tutti gli aspetti geotecnici affrontati nella presente relazione geologica dovranno comunque essere validati e, se ritenuto necessario, integrati da parte del progettista strutturista, secondo quanto prescritto dal D.M.17.1.2018 e Circolare applicativa.

Dal rilievo geologico e geomorfologico del sito non sono stati individuati indicatori geomorfologici correlabili a fenomeni di instabilità dell'areale, in atto o quiescente, né di carattere erosivo.

Il colluvium limoso-sabbioso ed i sottostanti sedimenti alluvionali presentano mediamente una permeabilità per porosità da media ad elevata, mentre il substrato roccioso presenta invece una permeabilità per fratturazione e carsismo più ridotta e con andamento discontinuo, legata alla densità volumetrica delle discontinuità dell'ammasso roccioso.

La circolazione idrica sotterranea risulta legata al regime pluviometrico locale ed al regime idraulico del torrente Neva, ed è presente nello strato ghiaioso-ciottoloso alluvionale, con variazioni di livello significative.

3. ANALISI GEOLOGICO-TECNICA DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

L'intervento in progetto prevede la costruzione di nuovo edificio scolastico, costituito da tre piani.

Utilizzando i risultati delle prove penetrometriche dinamiche pesanti e leggere, sulla base delle correlazioni empiriche riportate in letteratura geotecnica, sono stati determinati i parametri geotecnici del terreno, medi e caratteristici, e riportati all'Appendice A della presente relazione.

Il modello geotecnico ed i parametri geotecnici dovranno essere validati dal tecnico strutturista, come previsto dal D.M.17.1.2018.

Le azioni sismiche da utilizzare nei calcoli strutturali sono riportate all'Appendice B della presente relazione, secondo i nuovi criteri prescritti all'allegato al voto n.36 del 27.7.2007 C.S.LL.PP "Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale".

Nel D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) al paragrafo 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" si evince che nei casi in cui le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella riportata nell'Appendice B, si potrà far riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs.

Tali valori possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, possono essere valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di indagini in sito.

Nel caso specifico la categoria di sottosuolo è stata individuata sulla base dell'indagine geofisica MASW di cui all'Appendice B2, ed è risultata "Categoria B".

3.1 Stabilità dei fronti di scavo

Lo scavo per la costruzione del piano interrato interesserà le alluvioni ghiaioso-ciottolose ed il colluvium limoso-sabbioso.

Per il contenimento del fronte di scavo lato monte dovrà essere prevista la realizzazione di una paratia di micropali tirantata e dimensionata per il contenimento della spinta del terreno, sovraccaricato dai carichi veicolari.

Per quanto riguarda i fronti laterali potranno essere modellati provvisoriamente con un angolo di scarpa non superiore a 60°.

Nella fase di esecuzione i fronti di scavo dovranno essere protetti dall'erosione e dal dilavamento delle acque meteoriche mediante copertura con teli impermeabili estesi fino a qualche metro a monte del ciglio.

3.2 Fondazioni

Le opere fondazionali del nuovo fabbricato andranno ad insistere in parte sul terreno limoso-sabbioso ed in parte sul terreno ghiaioso-ciottoloso con i parametri geotecnici, medi e caratteristici, citati all'appendice A.

Considerato che il terreno di fondazione presenta importanti eterogeneità laterali con diverse caratteristiche di consistenza, potrebbero verificarsi cedimenti differenziali imputabili ad una differente compressibilità del terreno costituente il piano di appoggio delle fondazioni.

La soluzione tecnica più idonea, al fine di limitare gli eventuali cedimenti differenziali e di distribuire uniformemente il carico dell'edificio sul terreno di fondazione, si ritiene essere la realizzazione di una struttura fondazionale rigida "a platea".

Il dimensionamento delle fondazioni, da parte dell'ingegnere strutturista, dovrà avvenire sulla base della verifica agli stati limite ultimi (SLU), e sulla base degli stati limite di esercizio (SLE), calcolando gli eventuali cedimenti ammissibili del piano fondazionale.

3.3 Regimazione delle acque superficiali e sotterranee

3.3.1 Acque superficiali

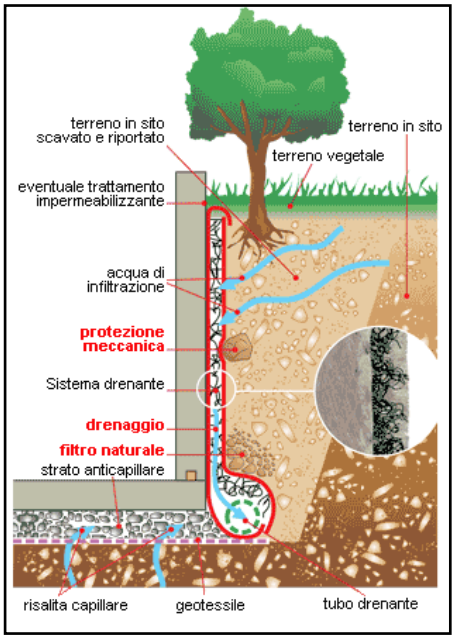
La costruzione del fabbricato comporterà, rispetto alla situazione attuale, un incremento delle superfici impermeabili: le acque meteoriche dovranno essere regimate nel rispetto degli indirizzi vincolanti di cui all'art.5bis della normativa di Piano di Bacino; in particolare le acque intercettate dalle nuove opere dovranno essere raccolte, evitando di disperderle sul terreno in modo incontrollato, e convogliate verso l'alveo del torrente Neva.

3.3.2 Acque sotterranee

Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque sotterranee si prescrive la realizzazione di un sistema di drenaggio a tergo dei muri controterra, che consenta l'allontanamento delle acque di infiltrazione sotterranee ed eviti l'insorgenza di sovrapressioni interstiziali ad incremento dello stato di sollecitazione sui muri.

A tal fine si prescrive la posa in opera di fogli di geocomposito, a doppia funzione impermeabilizzante/drenante (v. figura), con al fondo un tubo in PVC microfessurato che intercetti ed allontani i deflussi intercettati.

Si prescrive inoltre di realizzare un vespaio al di sotto del fabbricato in progetto per impedire fenomeni di risalita capillare di umidità dal suolo.



4. CONFORMITA' EX ART.89 DEL D.P.R. 380/2001

Le modifiche proposte in aggiornamento rispetto alla disciplina urbanistica vigente non apportano alcuna variazione dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico geologico al quadro generale già delineato in fase di redazione del P.U.C. e della sua normativa di settore.

L'intervento, sulla base dalle verifiche geologiche, geomorfologiche e sismiche del sito di progetto di cui alla presente relazione, ai sensi della normativa vigente in materia ed in particolare in relazione ai contenuti dell'art.89 del DPR 380/2001, risulta fattibile, previo parere dell'Ente Regione Liguria - Settore Difesa del Suolo.

5. CONCLUSIONI

Sulla base delle problematiche geologico-tecniche emerse e dell'evoluzione progettuale, al fine di confermare i parametri geotecnici del terreno di fondazione riportati alla presente relazione, lo scrivente ritiene necessaria l'esecuzione, in fase di progettazione definitiva-esecutiva, di un ulteriore sondaggio geognostico a carotaggio continuo in corrispondenza dell'ingombro del fabbricato in progetto, che raggiunga la profondità di -10 metri dal p.c.

Tenuto conto delle problematiche geologico-tecniche riportate si prescrive l'assistenza geologica alla Direzione Lavori da parte di professionista abilitato.

Alassio, Settembre 2022

geologo:

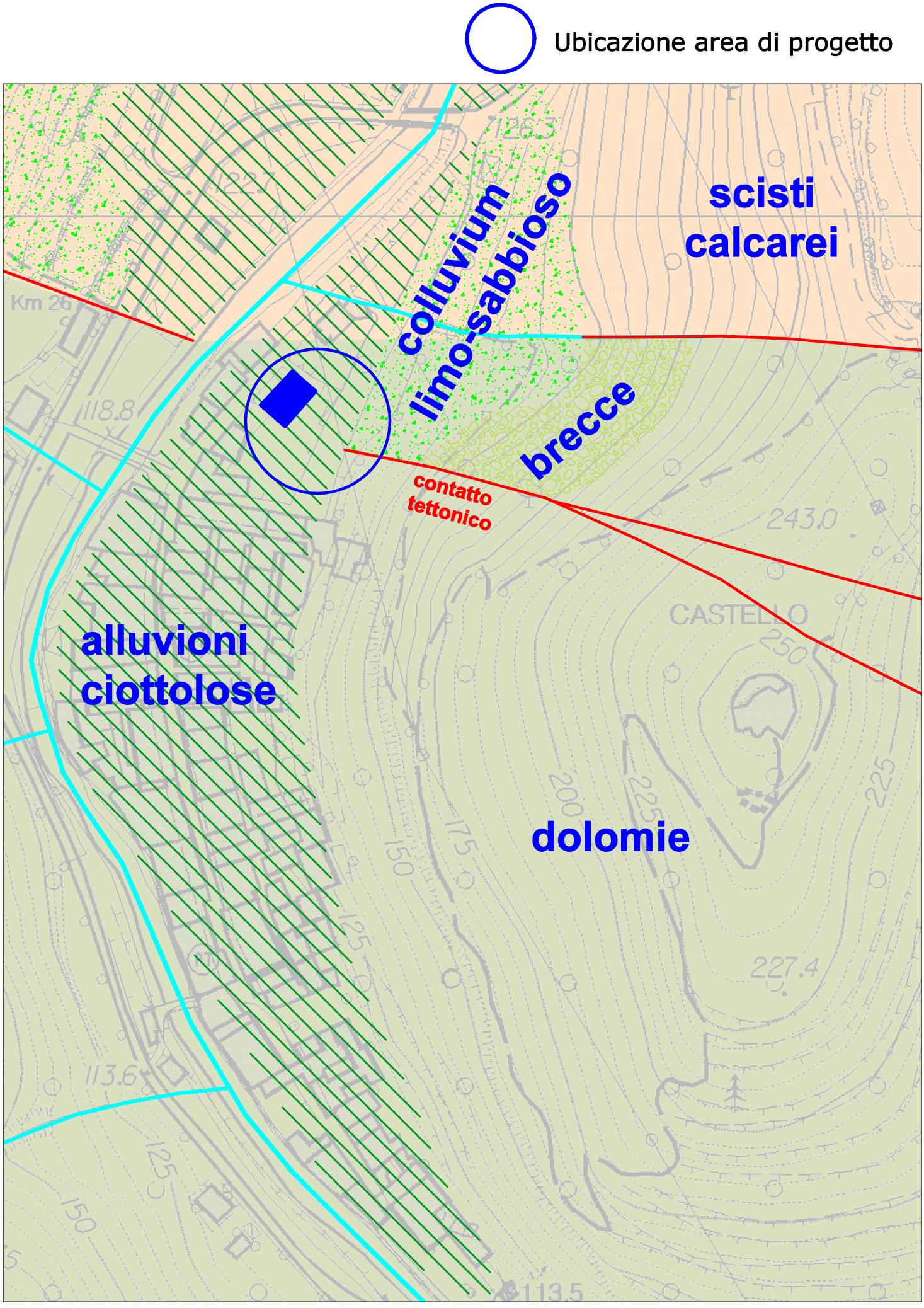
dott. Alessandro Scarpati

Ubicazione area di progetto



STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE
scala 1:5000

All.1

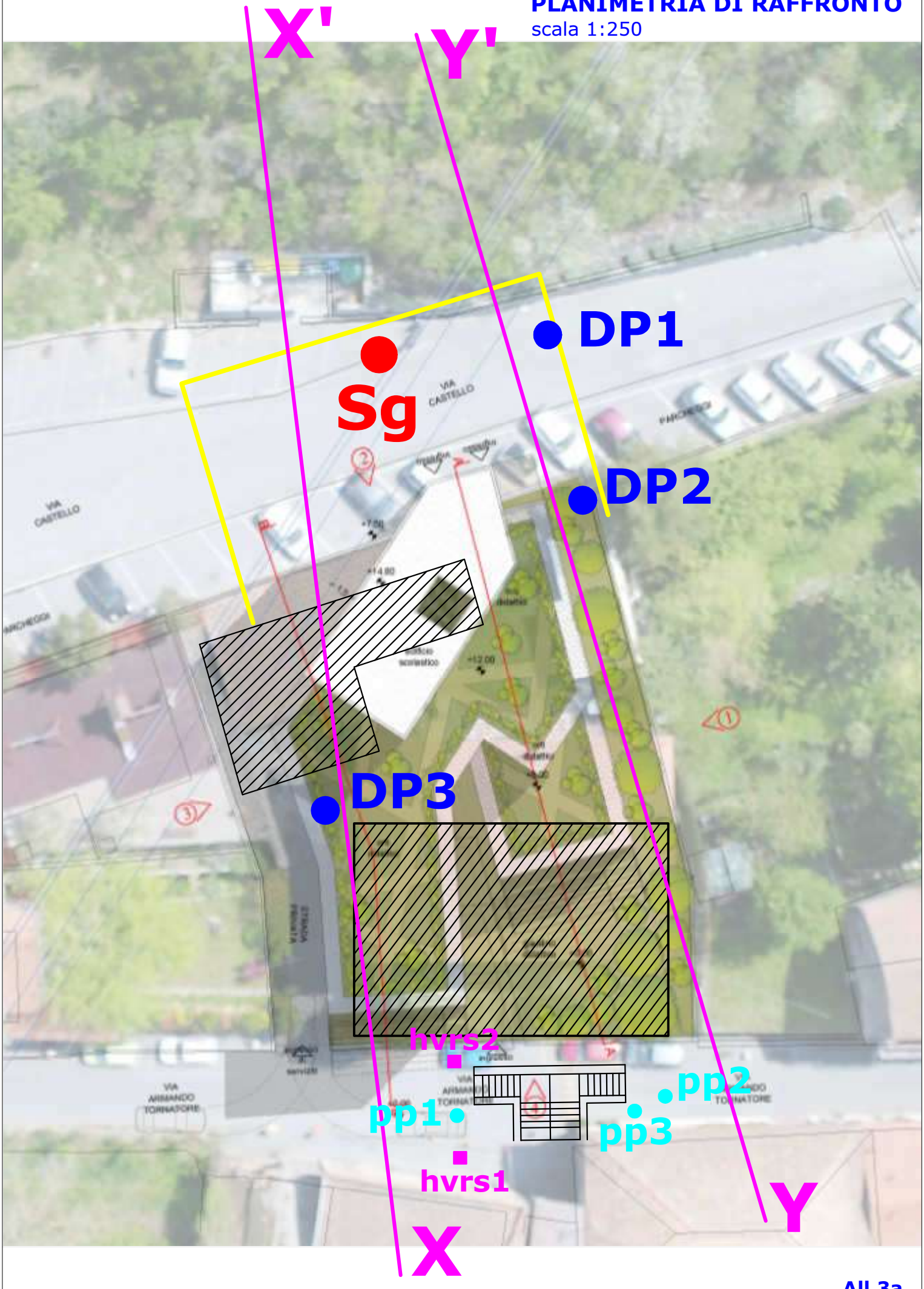


CARTA GEOLOGICA - scala 1:2000

All.2

PLANIMETRIA DI RAFFRONTO

scala 1:250



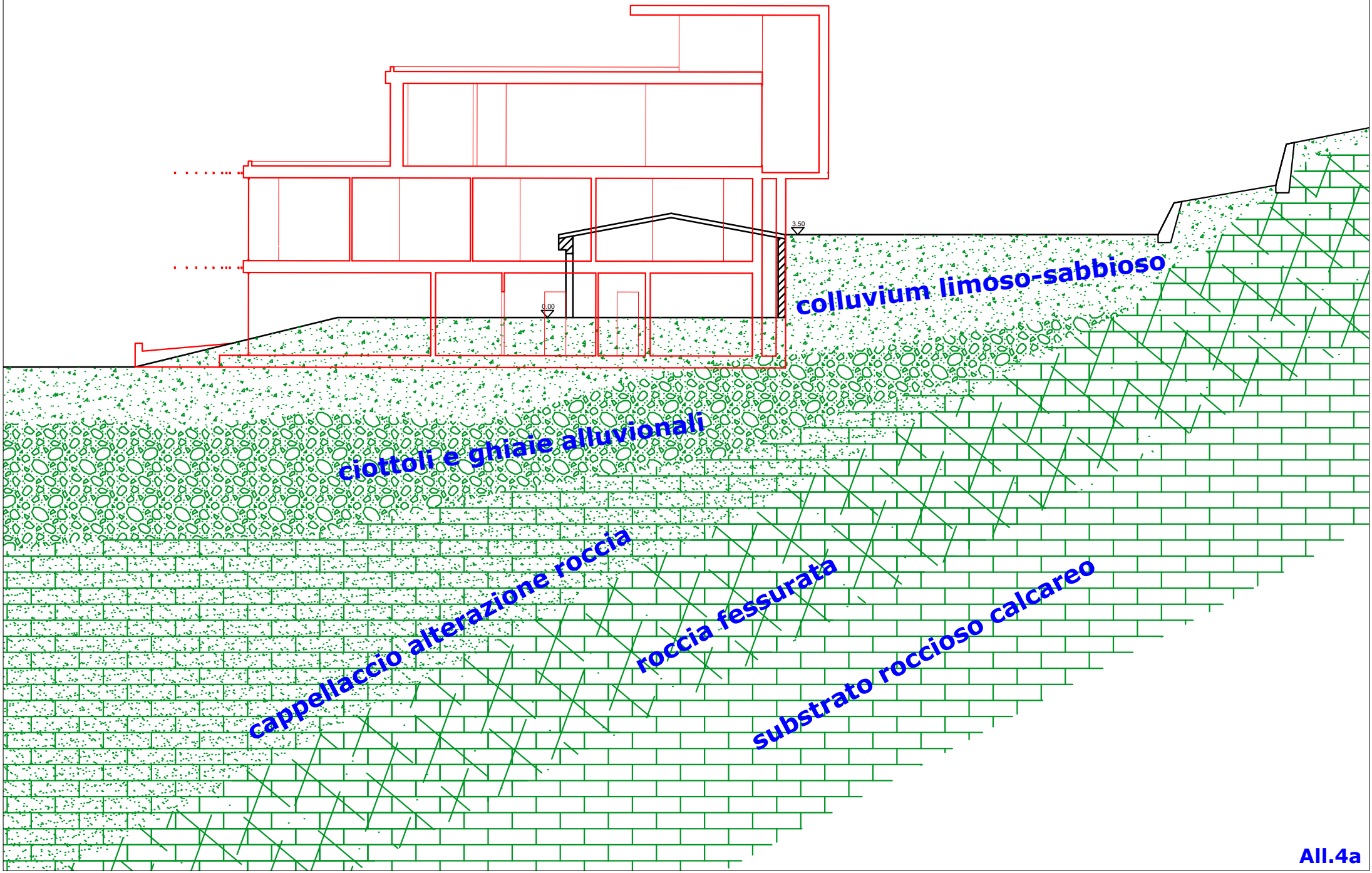
All.3a

LEGENDA

X'	sezioni geologiche interpretative
Sg	sondaggio geognostico a carotaggio continuo
DP1	prove penetrometriche dinamiche pesanti
pp1	prove penetrometriche dinamiche leggere
hvrs1	indagine geofisica HVRS

SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA X-X'

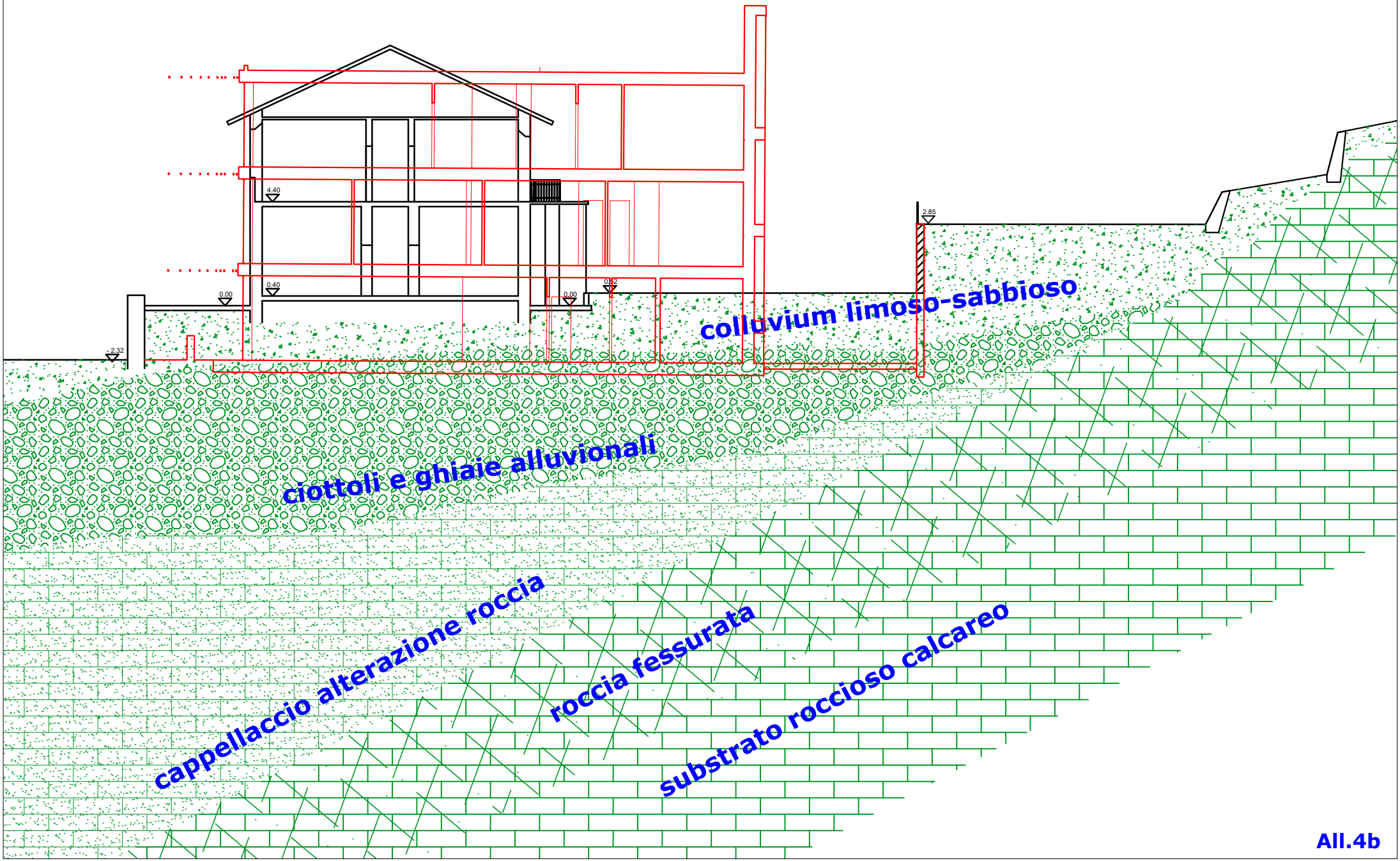
scala 1:200



All.4a

SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA Y-Y'

scala 1:200



All.4b

APPENDICE A - RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOTECNICHE

INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

A.1 - Parametri geotecnici del terreno sciolto

Committente: Comune di Zuccarello
Intervento: Realizzazione di edificio scolastico

Il modello geologico del sottosuolo risulta schematizzato come da sezioni geologiche interpretative X-X' e Y-Y' di cui agli allegati 4a-4b.
I parametri geotecnici medi del terreno sciolto sono stati determinati utilizzando i risultati delle prove penetrometriche dinamiche pesanti e leggere (appendice A4-A5), sulla base delle correlazioni empiriche riportate nella bibliografia geotecnica.

I parametri geotecnici medi sono stati individuati principalmente sulla base di correlazioni empiriche presenti in bibliografia geotecnica:

Parametro φ (angolo di attrito) *Correlazioni empiriche da misure in sito o valori di bibliografia (relazione Road Bridge Specification)*

Parametro γ (peso di volume) *Correlazione empirica da misure di Cu (formula di Meyerhof $\gamma = 1.6 + 0.168 \log (Cu) + 0.373$*

Parametro E_{ed} (modulo edometrico) *Correlazioni empiriche da misure in sito confrontati con valori di bibliografia (metodi di MENZEBACH E MALCEV e di STROUD E BUTLER)*

Parametro E' (modulo di elasticità o di Young drenato) *Correlazione $E_S=Eed[(1+v)(1-2v)/(1-v)]$*

Parametro Eu (modulo di elasticità o di Young non drenato) *Correlazione $E_u=(3*E')/2*(1-v)$*

Parametro Cu (coesione non drenata) *Correlazione di Shoi-Fukui*

Parametro G (modulo di taglio) *Correlazione G=E/2*(1+v)*

Coefficiente di spinta a riposo Ko *Correlazione dall'angolo di attrito*

Determinazione dei parametri caratteristici:

- *al parametro γ è stato assegnato un coefficiente di variazione ricavato dalla bibliografia (COV=5%)*
- *al parametro Φ è stato assegnato un coefficiente di variazione ricavato dalla bibliografia (COV=10%)*
- *al parametro c' è stato assegnato un coefficiente di variazione ricavato dalla bibliografia (COV=30%)*

[1] **CORRELAZIONI EMPIRICHE PER LA STIMA DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO (MODULO DI WINKLER):**

Parametro $k_{w,z}$ (modulo di Winkler verticale in condizioni statiche)

Valore di $k_{w,z}$ caratteristico direttamente derivato da Ed_k nella relazione di Bowles. B è la larghezza della fondazione (in cm) - Bowles 1991 $k_{w,z} \approx Ed/B(1-\nu^2)$

Parametro $k_{w,x-y}$ (modulo di Winkler orizzontale in condizioni statiche)

Valore approssimato con la relazione suggerita da Bowles, 1991: $k_{w,x-y} = 2\ k_{w,z}$

Parametri $k_{w,z,e}$ e $k_{w,x-y,e}$ (modulo di Winkler verticale e orizzontale in condizioni dinamiche)

A.1.1 - Colluvium limoso-sabbioso in parte riportato (tabella parametri geotecnici)

	Unità	Metodo	Valore Medio	Metodo	Valore Caratteristico
Angolo di attrito (φ')	**gradi**	correlazioni empiriche	**24**	statistica della varianza nota COV 10%	**22.8**
Coesione efficace (c')	**kPa**	-	non determinato	statistica della varianza nota COV 30%	
	kg/cmq		non determinato		
Coesione non drenata (Cu)	**kPa**	correlazioni empiriche	**10.0**	statistica della varianza nota COV 40%	**8.0**
	kg/cmq		**0.10**		**0.080**
Peso di volume (γ)	**kN/mc**	correlazioni empiriche	**18.50**	statistica della varianza nota COV 5% (per verifiche fondazionali)	**18.04**
	t/mc		**1.85**		**1.8**
Modulo di Poisson (υ)	**kg/cmq**	valori bibliografia	**0.30**	-	**0.30**
Modulo di elasticità drenato (E')	**MPa**	correlazioni empiriche	**3.7**	statistica della varianza nota COV 40%	**3.0**
	kg/cmq		**37**		**30**
Modulo di elasticità non drenato (Eu)	**MPa**	correlazioni empiriche	**4.3**	statistica della varianza nota COV 40%	**3.4**
	kg/cmq		**43**		**34**
Modulo edometrico (E_{ed})	**MPa**	correlazioni empiriche	**5.0**	statistica della varianza nota COV 40%	**4.0**
	kg/cmq		**50**		**40**
Modulo di taglio (G)	**MPa**	correlazioni empiriche	**1**	statistica della varianza nota COV 40%	**1**
	kg/cmq		**14**		**11**
Coefficiente spinta a riposo (Ko) in condizioni normalconsolidate	**-**	correlazioni empiriche	**0.54**	-	**0.54**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z}$) verticale (statico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**47 /B**
	N/cmc				**471 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y}$) orizzontale (statico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**94 /B**
	N/cmc				**942 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z,e}$) verticale (dinamico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**33 /B**
	N/cmc				**330 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y,e}$) orizzontale (dinamico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**66 /B**
	N/cmc				**659 /B**

A.1.2 - Ciottoli e ghiaie (tabella parametri geotecnici)

	Unità	Metodo	Valore Medio	Metodo	Valore Caratteristico
Angolo di attrito (φ')	**gradi**	correlazioni empiriche	**32**	statistica della varianza nota COV 10%	**30.4**
Coesione efficace (c')	**kPa**		non determinato	statistica della varianza nota COV 30%	
	kg/cmq		non determinato		
Coesione non drenata (Cu)	**kPa**	correlazioni empiriche	**0.0**	statistica della varianza nota COV 40%	**0.0**
	kg/cmq		**0.00**		**0.000**
Peso di volume (γ)	**kN/mc**	correlazioni empiriche	**18.50**	statistica della varianza nota COV 5% (per verifiche fondazionali)	**18.04**
	t/mc		**1.85**		**1.8**
Modulo di Poisson (υ)	**kg/cmq**	valori bibliografia	**0.30**	-	**0.30**
Modulo di elasticità drenato (E')	**MPa**	correlazioni empiriche	**14.9**	statistica della varianza nota COV 40%	**11.9**
	kg/cmq		**149**		**119**
Modulo di elasticità non drenato (Eu)	**MPa**	correlazioni empiriche	**17.1**	statistica della varianza nota COV 40%	**13.7**
	kg/cmq		**171**		**137**
Modulo edometrico (E_{ed})	**MPa**	correlazioni empiriche	**20.0**	statistica della varianza nota COV 40%	**16.0**
	kg/cmq		**200**		**160**
Modulo di taglio (G)	**MPa**	correlazioni empiriche	**6**	statistica della varianza nota COV 40%	**5**
	kg/cmq		**57**		**46**
Coefficiente spinta a riposo (Ko) in condizioni normalconsolidate	**-**	correlazioni empiriche	**0.42**	-	**0.42**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z}$) verticale (statico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**188 /B**
	N/cmc				**1884 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y}$) orizzontale (statico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**377 /B**
	N/cmc				**3768 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z,e}$) verticale (dinamico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**132 /B**
	N/cmc				**1319 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y,e}$) orizzontale (dinamico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**264 /B**
	N/cmc				**2637 /B**

A.1.3 - Cappellaccio di alterazione (tabella parametri geotecnici)

	Unità	Metodo	Valore Medio	Metodo	Valore Caratteristico
Angolo di attrito (φ')	**gradi**	correlazioni empiriche	**30**	statistica della varianza nota COV 10%	**28.5**
Coesione efficace (c')	**kPa**		non determinato	statistica della varianza nota COV 30%	
	kg/cmq		non determinato		
Coesione non drenata (Cu)	**kPa**	correlazioni empiriche	**50.0**	statistica della varianza nota COV 40%	**40.0**
	kg/cmq		**0.50**		**0.400**
Peso di volume (γ)	**kN/mc**	correlazioni empiriche	**21.00**	statistica della varianza nota COV 5% (per verifiche fondazionali)	**20.48**
	t/mc		**2.10**		**2.0**
Modulo di Poisson (ν)	**kg/cmq**	valori bibliografia	**0.30**	-	**0.30**
Modulo di elasticità drenato (E')	**MPa**	correlazioni empiriche	**22.3**	statistica della varianza nota COV 40%	**17.8**
	kg/cmq		**223**		**178**
Modulo di elasticità non drenato (Eu)	**MPa**	correlazioni empiriche	**25.7**	statistica della varianza nota COV 40%	**20.6**
	kg/cmq		**257**		**206**
Modulo edometrico (E_{ed})	**MPa**	correlazioni empiriche	**30.0**	statistica della varianza nota COV 40%	**24.0**
	kg/cmq		**300**		**240**
Modulo di taglio (G)	**MPa**	correlazioni empiriche	**9**	statistica della varianza nota COV 40%	**7**
	kg/cmq		**86**		**69**
Coefficiente spinta a riposo (Ko) in condizioni normalconsolidate	**-**	correlazioni empiriche	**0.45**	-	**0.45**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z}$) verticale (statico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**283 /B**
	N/cmc				**2826 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y}$) orizzontale (statico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**565 /B**
	N/cmc				**5651 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z,e}$) verticale (dinamico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**198 /B**
	N/cmc				**1978 /B**
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y,e}$) orizzontale (dinamico)	**kg/cmc**	correlazioni empiriche [1]			**396 /B**
	N/cmc				**3956 /B**

APPENDICE A - RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOTECNICHE
INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Committente: Comune di Zuccarello
Intervento: Realizzazione di edificio scolastico
Litotipo: Dolomie

STAZIONE GEOMECCANICA - FOTO N.1



STAZIONE GEOMECCANICA - FOTO N.2



APPENDICE A - RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOTECNICHE
INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA
A.2 Parametri di resistenza della roccia

Committente: Comune di Zuccarello
Intervento: Realizzazione di edificio scolastico
Litotipo: Dolomie

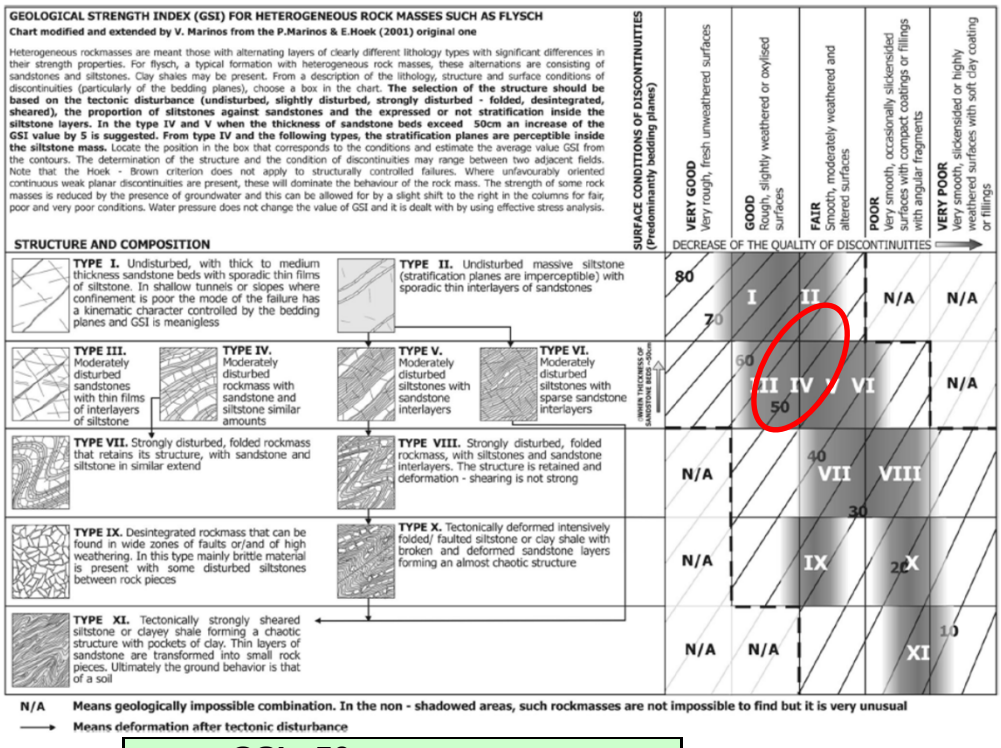
A.2.1 Parametrizzazione ammasso roccioso

CLASSIFICAZIONE ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI,1989) - Indice Q_{Barton} (Cameron-Clarke e Budavari,1981)

Resist. compressione monoassiale (kg/cmq) (roccia intatta)	**> 2500** *15*	**1000-2500** *12*	**500-1000** *7*	**250-500** *4*	**50-250** *2*	**10-50** *1*	**< 10** *0*
RQD (%)	**90-100** *20*	**75-90** *17*	**50-75** *13*	**25-50** *8*	**< 25** *3*		
Spaziatura discontinuità	**> 2 m.** *20*	**0.6-2 m.** *15*	**0.2-0.6 m.** *10*	**6-20 cm.** *8*	**< 6 cm.** *5*		
Condizioni discontinuità	Superfici molto scabre, non continue. Discontinuità serrate. Pareti inalterate. *25*	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti poco alterate. *20*	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti molto alterate. *12*	Superfici lisce o riempimento < 5 mm. o apertura 1-5 mm. Giunti continui. *6*	Riempimento tenero di spessore > 5 mm. o apertura > 5 mm. Giunti continui. *0*		
Condizioni idrauliche	Assenza di acqua *15*	Umidità *10*	Infiltrazioni *7*	Deboli venute d'acqua *4*	Problematiche idrauliche elevate *0*		
BRMR= 55 RMR Basic		**RMR = 5*lnQ + 60.8**		**Indice Q_{Barton}= 0.313**			

BRMR	**0-25**	**25-50**	**50-70**	**70-90**	**90-100**
Classe	**V**	**IV**	**III**	**II**	**I**
Qualità ammasso rocc.	**molto scadente**	**scadente**	**discreta**	**buona**	**ottima**
Coesione ammasso (di picco)	**<1 kg/cmq**	**1-1.5 kg/cmq**	**1.5-2 kg/cmq**	**2-3 kg/cmq**	**>3 kg/cmq**
Phi ammasso (di picco)	**< 30°**	**30°-35°**	**35°-40°**	**40°-45°**	**> 45°**

GEOLOGICAL STRENGHT INDEX (GSI) per rocce flyschoidi (Marinos, 2017)



GSI= 50 **Indice GSI**

Modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso:
(relazione di Mahrotra, Mitra, Agrawl, 1991) **2500** Mpa

A.2.2 Tabella parametri geotecnici della roccia

	Unità	Metodo	Valore Medio	Metodo	Valore Caratteristico
AMMASSO ROCCIOSO					
Angolo di attrito (f')	gradi	classificazione BRMR	40.0	varianza nota COV 10%	38.0
Coesione (c')	kPa	classificazione BRMR	200.00	varianza nota COV 30%	170.000
	kg/cmq		2.0		1.70
Peso di volume (g)	kN/mc	valore di archivio	25.0	varianza nota COV 5%	24.4
	t/mc		2.5		2.4
Modulo di Poisson (n)	kg/cmq	valore di letteratura	0.35	-	0.35
Modulo di deformabilità (Ed)	MPa	relazione di Mahrotra, Mitra, Agrawl, 1991	2500	varianza nota COV 40%	2000
	kg/cmq		25000		20000
Modulo di taglio (G)	MPa	correlazioni empiriche [1]	926	varianza nota COV 40%	741
	kg/cmq		9259		7407
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z}$) verticale (statico)	kg/cmc			correlazioni empiriche [2]	2849 /B
	N/cmc				28490 /B
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y}$) orizzontale (statico)	kg/cmc			correlazioni empiriche [2]	5698 /B
	N/cmc				56980 /B
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,z,e}$) verticale (dinamico)	kg/cmc			correlazioni empiriche [2]	1994 /B
	N/cmc				19943 /B
Coefficiente di sottofondo ($k_{w,x-y,e}$) orizzontale (dinamico)	kg/cmc			correlazioni empiriche [2]	3989 /B
	N/cmc				39886 /B

[1] **CORRELAZIONI EMPIRICHE PER IL CALCOLO DEL MODULO DI TAGLIO:** G=Ed/2*(1+n)

[2] **CORRELAZIONI EMPIRICHE PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO (MODULO DI WINKLER):**

Parametro $k_{w,z}$ (modulo di Winkler verticale in condizioni statiche) -
Valore di $k_{w,z}$ caratteristico direttamente derivato da Ed_k nella relazione di Bowles. B è la larghezza della fondazione (in cm) - Bowles 1991 $k_{w,z} \approx Ed/B(1-n^2)$

Parametro $k_{w,x-y}$ (modulo di Winkler orizzontale in condizioni statiche) - Valore approssimato con la relazione suggerita da Bowles, 1991: $k_{w,x-y} = 2\ k_{w,z}$

Parametri $k_{w,z,e}$ e $k_{w,x-y,e}$ (modulo di Winkler verticale e orizzontale in condizioni dinamiche) - Valore approssimato con la relazione suggerita da Bowles, 1991: k_w dinamico = 0.7*k_w statico

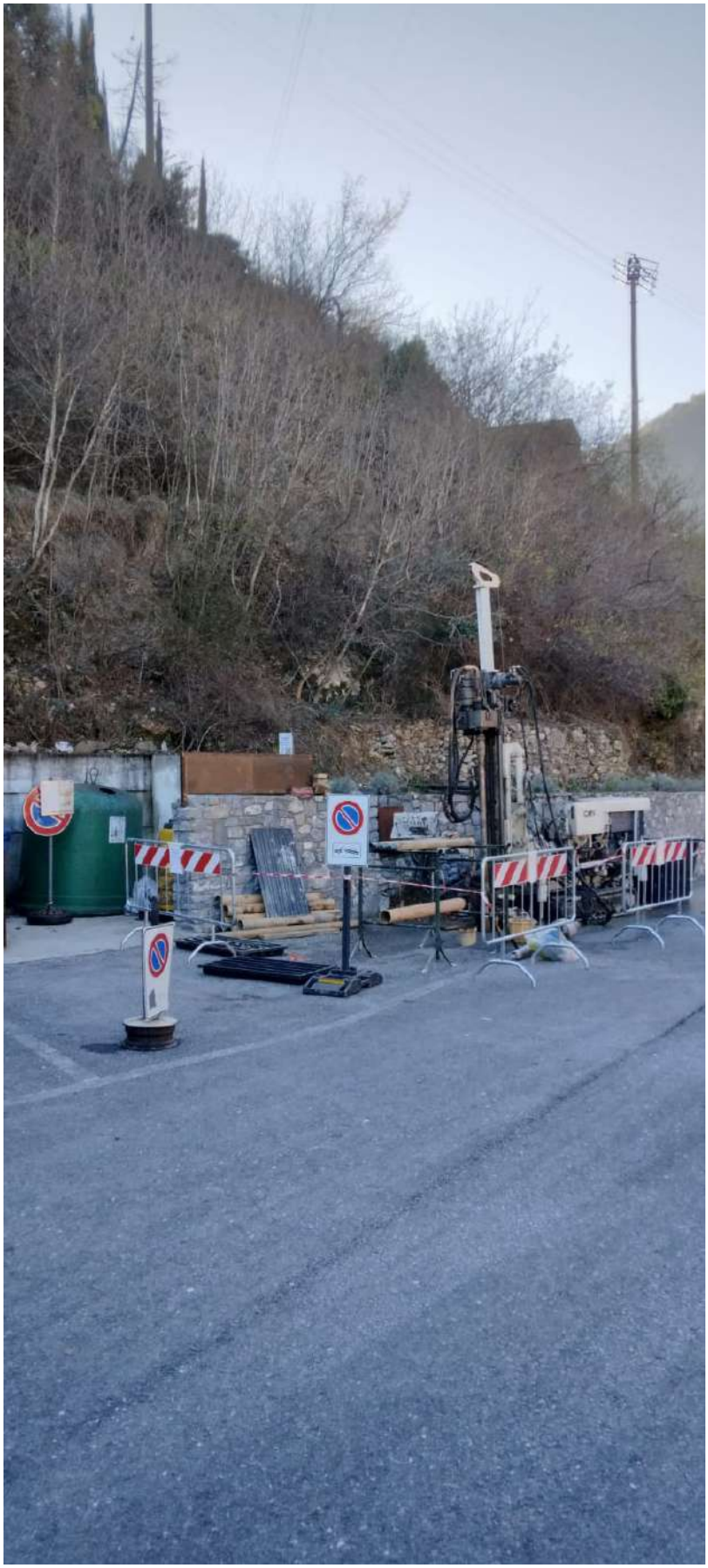
APPENDICE A3

SONDAGGI GEOGNOSTICI
ESEGUITI NEL COMUNE DI ZUCCARELLO



Committente: Studio di Geologia Alessandro Scarpati

27/12/2021



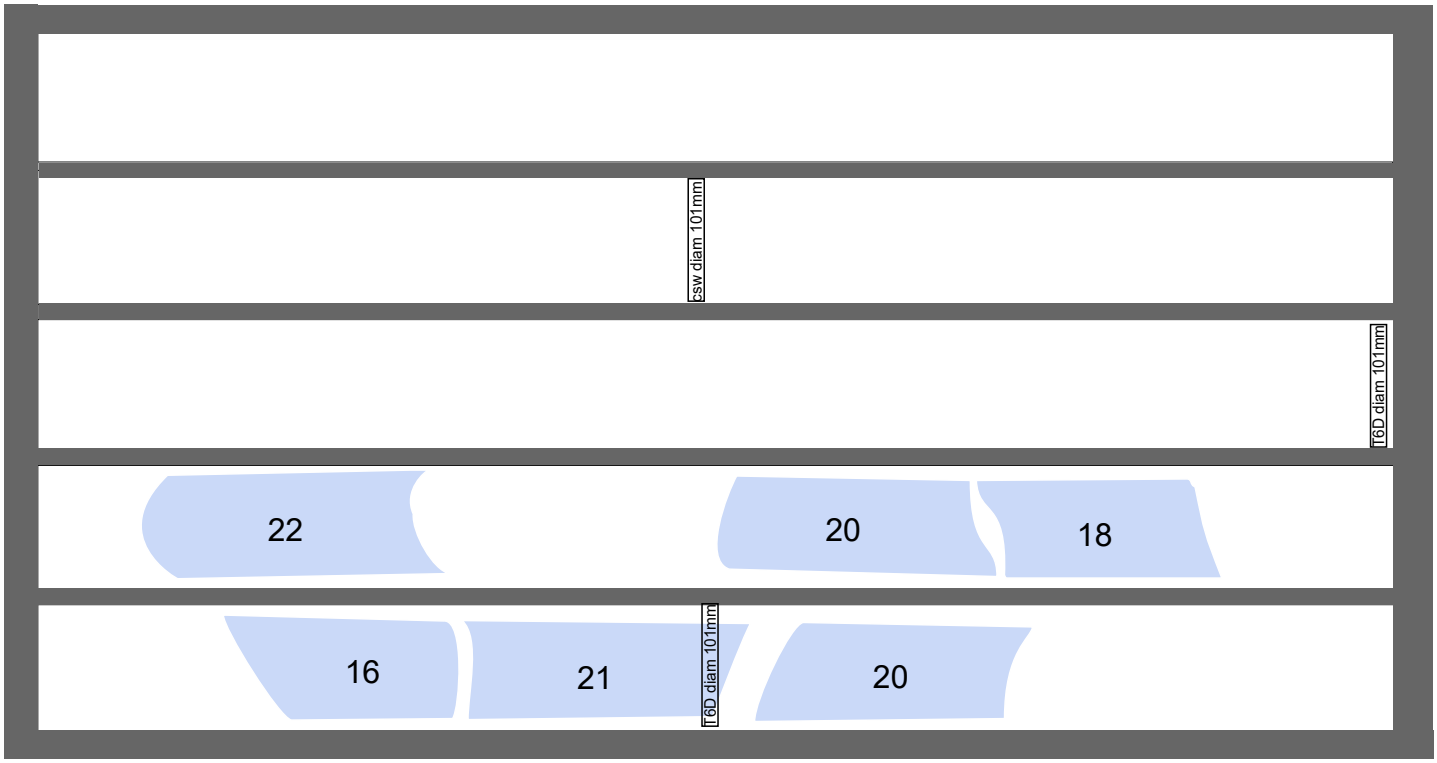
Geofisica e Ambiente srls Cascina Mimia inf 56 sub 2 presso civ. 49 – Tagliolo Monferrato (Al) - P.I. 02588190062 - Tel. 3482658650-649
lauraspalluto@geofisicaeambiente.com - giovannibaudoino@geofisicaeambiente.com - geofisicaeambientesrls@gmail.com

GEOFISICA
E AMBIENTE

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E FONDAZIONI SPECIALI



Sondaggio S1C1 Cassetta da 0,00 a 5,00 m



0,00 mt 1,00 mt

MANOVRE

T6D diam 101mm	Carotiere doppio corona diamante
csw diam 101mm	Carotiere semplice corona widia
Rivw diam127mm	Rivestimento corona widia

Spezzoni di carota validi per RQD

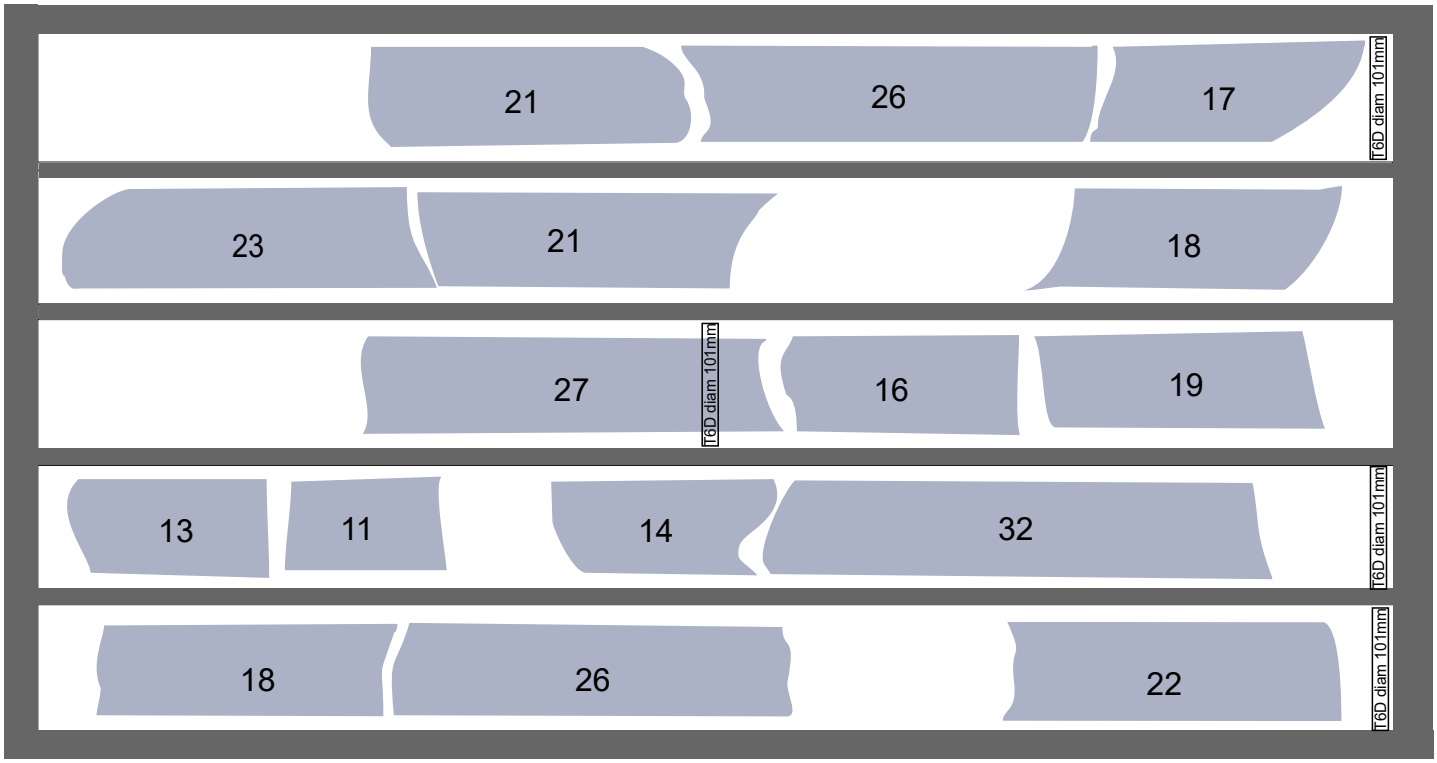
Geofisica e Ambiente srls Cascina Mimia inf 56 sub 2 presso civ. 49 – Tagliolo Monferrato (Al) - P.I. 02588190062 - Tel. 3482658650-649
lauraspalluto@geofisicaeambiente.com - giovannibaudoino@geofisicaeambiente.com - geofisicaeambientesrls@gmail.com

GEOFISICA
E AMBIENTE

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E FONDAZIONI SPECIALI



Sondaggio S1C2 Cassetta da 5,00 a 10,00 m



0,00 mt 1,00 mt

MANOVRE
T6D diam 101mm Carotiere doppio corona diamante
csw diam 101mm Carotiere semplice corona widia
Rivw diam127mm Rivestimento corona widia

Spezzoni di carota validi per RQD

Geofisica e Ambiente srls Cascina Mimia inf 56 sub 2 presso civ. 49 – Tagliolo Monferrato (Al) - P.I. 02588190062 - Tel. 3482658650-649
lauraspalluto@geofisicaeambiente.com - giovannibaudoino@geofisicaeambiente.com - geofisicaeambientesrls@gmail.com

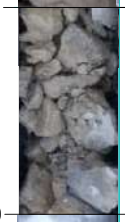
GEOFISICA E AMBIENTE

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E FONDAZIONI SPECIALI

Committente	Geol. Alessandro Scarpati
Cantiere	Via Castello
Località	Zuccarello
Data Inizio	16/12/2021
Data Fine	16/12/2021

SONDAGGIO	FOGLIO
S1	1

GEOLOGO
Laura Spalluto

Scala 1:50	Rivestimento	carotiere	manovre	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	R.Q.D.
0.5			CSW			GHIAIA CON SABBIA LIMOSO ARGILLOSA E CIOTTOLI, COLORE MARRONE	20 40 60 80
1.0	127						
				1.00		LIMO SABBIOSO COMPATTO CON GHIAIA E POCHI CIOTTOLI, COLORE MARRONE SCURO.	
1.5		101		1.50			
2.0			T6D			CALCARE MARNOSO ESTREMAMENTE ALTERATO E FRATTURATO, COLORE GRIGIO MARRONE.	
2.5							
3.0				2.90			
3.5		101	T6D			CALCARE MARNOSO FRATTURATO CON VENE CALCITICHE, COLORE GRIGIO CHIARO. PRESENZA DI ALMENO DUE FAMIGLIE DI FRATTURAZIONE.	
4.0							
4.5		101	T6D				
5.0							
5.5							
6.0		101	T6D				
6.5							
7.0							
7.5		101	T6D				
8.0							
8.5							
9.0		101	T6D				
9.5							
10.0		101		10.00			

INDAGINE GEOGNOSTICA mediante esecuzione di prove DPSH

Comune di ZUCCARELLO
Progetto NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO



INDAGINE PENETROMETRICA

L'indagine penetrometrica è stata eseguita con penetrometro dinamico superpesante PAGANI DPSH TG63-100 per quattro piazzole di prova individuate dalle sigle DPSH1, DPSH2, DPSH3, DPSH4.
Le quattro prove sono state approfondite nel sottosuolo fino alla profondità in corrispondenza della quale si è verificato l'arresto alla penetrazione dello strumento con fenomeni di rimbalzo della colonna di aste infisse.
L'arresto alla penetrazione è ragionevolmente avvenuto in corrispondenza di un livello impenetrabile costituito dalla porzione più superficiale alterata e fratturata del substrato roccioso.
La prova DPSH1 è stata approfondita nel sottosuolo fino alla profondità di -1,00 metri p.c.
La prova DPSH2 è stata approfondita nel sottosuolo fino alla profondità di -5,00 metri p.c.
La prova DPSH3 è stata approfondita nel sottosuolo fino alla profondità di -4,20 metri p.c.
La prova DPSH4 è stata approfondita nel sottosuolo fino alla profondità di -1,40 metri p.c.

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 Nspt 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 Nspt degli orizzonti di terreno sono stati determinati sulla base della seguente correlazione:

$$Nspt = N [Q/Qspt] = bt N$$

ove:
bt = Q/Qspt = 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 -> ø' (ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE) (Terreni granulari) - Yukitake Shioi e Jiro Kukuni (1982)

$$ø(°) = ([\ 15 * Nspt\ ]^{1/2})+15$$

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	Nspt	Ysat	Yd	Nspt	Ysat	Yd	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) -

	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)	Nspt	E'(kg/cm²)
SABBIE e GHIAIE N.C.	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	Ms	=	0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D	=	51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A	=	20,43 cm²
ANGOLO APERTURA PUNTA	α	=	90 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	=	1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma	=	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1ª ASTA	P1	=	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA	δ	=	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)/(Aδ) = 11,66 kg/cm² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	βt	=	Q/Qspt = 1,489 (teoricamente : Nspt = βt N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

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

Rpd = 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 : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :

- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	3	31,5	----	1
0,20 - 0,40	2	21,0	----	1
0,40 - 0,60	2	19,3	----	2
0,60 - 0,80	19	183,2	----	2
0,80 - 1,00	60	578,6	----	2

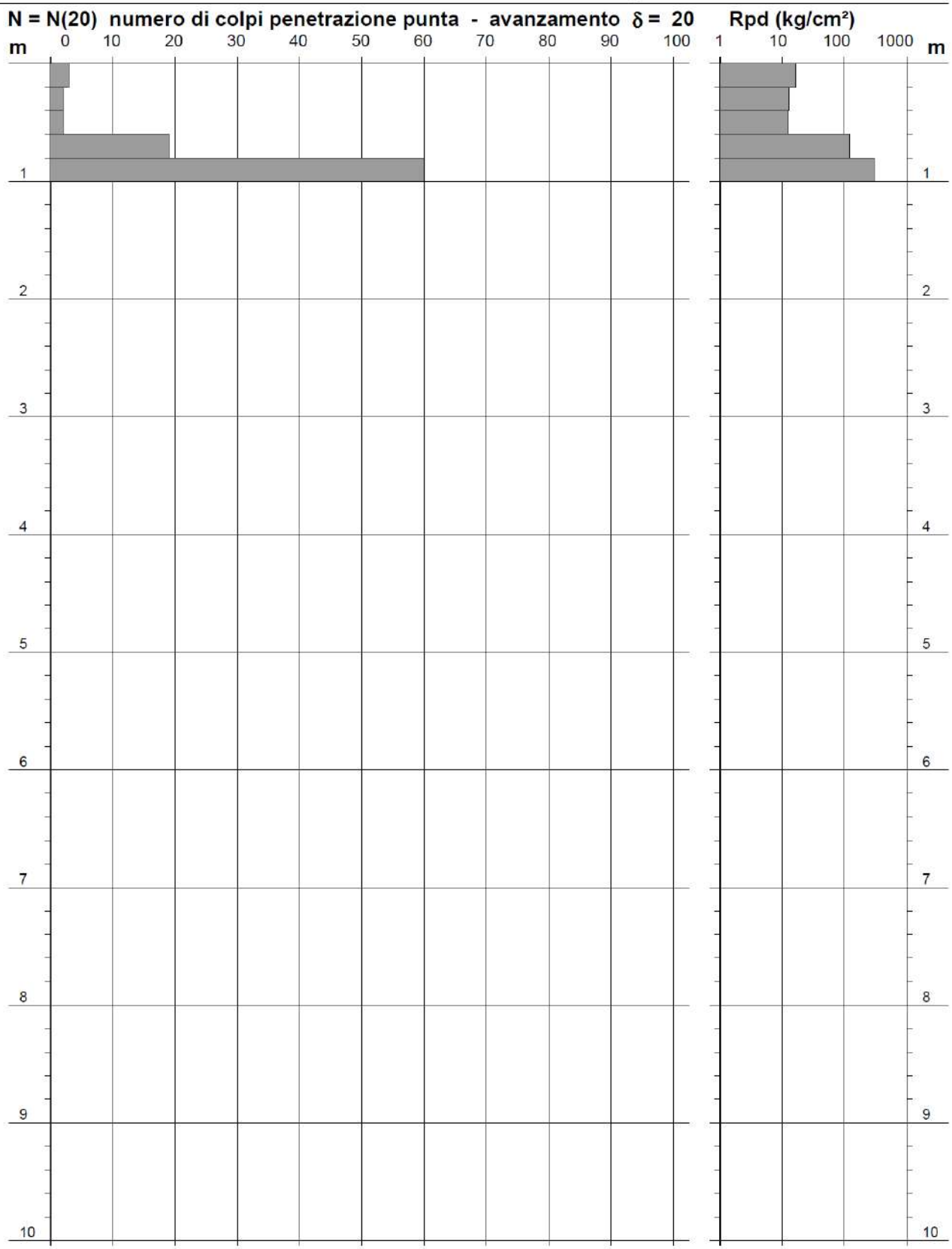
- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**
- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 1

Scala 1: 50

- indagine :	Indagine stratigrafica e geotecnica	- data :	15/12/2021
- cantiere :	Nuovo edificio scolastico	- quota inizio :	p.c.
- località :	Zuccarello	- 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**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA

n° 1

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :
- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VC A	β	Nspt
				M	min	Max	½(M+min)	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,60	N	2,3	2	3	2,2	----	----	----	2	1,49	**3**
			Rpd	23,9	19	32	21,6	----	----	----	21		
2	0,60	0,80	N	19,0	19	19	19,0	----	----	----	19	1,49	**28**
			Rpd	183,2	183	183	183,2	----	----	----	183		
3	0,80	1,00	N	60,0	60	60	60,0	----	----	----	60	1,49	**89**
			Rpd	578,6	579	579	578,6	----	----	----	579		

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

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :

- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.60		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
2	0.60	0.80		28	62.0	35.5	407	2.04	1.67	----	----	----	----
3	0.80	1.00		89	99.6	51.5	877	2.24	1.98	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

DR % = densità relativa ø' (°) = 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 : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :

- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	7	73,6	----	1
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1
0,40 - 0,60	2	19,3	----	2
0,60 - 0,80	3	28,9	----	2
0,80 - 1,00	2	19,3	----	2
1,00 - 1,20	3	28,9	----	2
1,20 - 1,40	5	48,2	----	2
1,40 - 1,60	5	44,6	----	3
1,60 - 1,80	3	26,7	----	3
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3
2,00 - 2,20	1	8,9	----	3
2,20 - 2,40	2	17,8	----	3
2,40 - 2,60	3	24,8	----	4
2,60 - 2,80	5	41,4	----	4
2,80 - 3,00	16	132,5	----	4
3,00 - 3,20	9	74,5	----	4
3,20 - 3,40	8	66,3	----	4
3,40 - 3,60	11	85,1	----	5
3,60 - 3,80	5	38,7	----	5
3,80 - 4,00	8	61,9	----	5
4,00 - 4,20	12	92,8	----	5
4,20 - 4,40	13	100,6	----	5
4,40 - 4,60	14	101,6	----	6
4,60 - 4,80	9	65,3	----	6
4,80 - 5,00	11	79,8	----	6

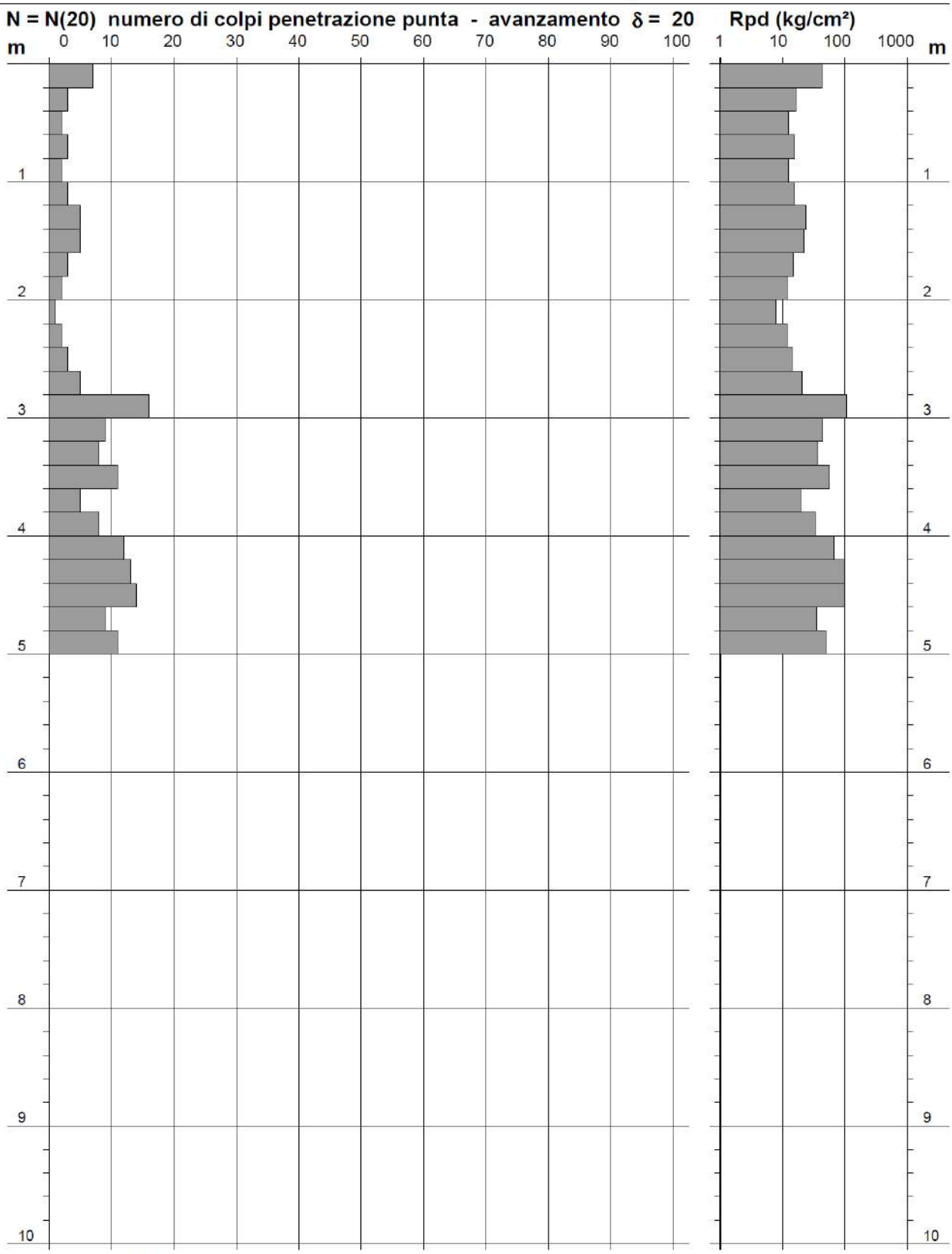
- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 ISM.C**
- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 2

Scala 1: 50

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- data : 15/12/2021
- 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**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA

n° 2

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :
- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VC A	β	Nspt
				M	min	Max	½(M+min)	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,40	N	5,0	3	7	4,0	----	----	----	5	1,49	**7**
			Rpd	52,5	32	74	42,0	----	----	----	53		
2	0,40	0,60	N	2,0	2	2	2,0	----	----	----	2	1,49	**3**
			Rpd	19,3	19	19	19,3	----	----	----	19		
3	0,60	1,20	N	2,7	2	3	2,3	----	----	----	3	1,49	**4**
			Rpd	25,7	19	29	22,5	----	----	----	29		
4	1,20	1,60	N	5,0	5	5	5,0	----	----	----	5	1,49	**7**
			Rpd	46,4	45	48	45,5	----	----	----	46		
5	1,60	2,00	N	2,5	2	3	2,3	----	----	----	2	1,49	**3**
			Rpd	22,3	18	27	20,0	----	----	----	18		
6	2,00	2,20	N	1,0	1	1	1,0	----	----	----	1	1,49	**1**
			Rpd	8,9	9	9	8,9	----	----	----	9		
7	2,20	2,60	N	2,5	2	3	2,3	----	----	----	2	1,49	**3**
			Rpd	21,3	18	25	19,6	----	----	----	17		
8	2,60	2,80	N	5,0	5	5	5,0	----	----	----	5	1,49	**7**
			Rpd	41,4	41	41	41,4	----	----	----	41		
9	2,80	3,00	N	16,0	16	16	16,0	----	----	----	16	1,49	**24**
			Rpd	132,5	133	133	132,5	----	----	----	133		
10	3,00	3,60	N	9,3	8	11	8,7	----	----	----	9	1,49	**13**
			Rpd	75,3	66	85	70,8	----	----	----	73		
11	3,60	3,80	N	5,0	5	5	5,0	----	----	----	5	1,49	**7**
			Rpd	38,7	39	39	38,7	----	----	----	39		
12	3,80	4,00	N	8,0	8	8	8,0	----	----	----	8	1,49	**12**
			Rpd	61,9	62	62	61,9	----	----	----	62		
13	4,00	4,60	N	13,0	12	14	12,5	----	----	----	13	1,49	**19**
			Rpd	98,3	93	102	95,6	----	----	----	98		
14	4,60	5,00	N	10,0	9	11	9,5	----	----	----	10	1,49	**15**
			Rpd	72,6	65	80	68,9	----	----	----	73		

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

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :

- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.40		7	25.0	25.2	245	1.90	1.45	----	----	----	----
2	0.40	0.60		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
3	0.60	1.20		4	15.0	22.7	222	1.87	1.39	----	----	----	----
4	1.20	1.60		7	25.0	25.2	245	1.90	1.45	----	----	----	----
5	1.60	2.00		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
6	2.00	2.20		1	3.8	18.9	199	1.84	1.34	----	----	----	----
7	2.20	2.60		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
8	2.60	2.80		7	25.0	25.2	245	1.90	1.45	----	----	----	----
9	2.80	3.00		24	56.0	34.0	376	2.01	1.63	----	----	----	----
10	3.00	3.60		13	39.5	29.0	292	1.95	1.53	----	----	----	----
11	3.60	3.80		7	25.0	25.2	245	1.90	1.45	----	----	----	----
12	3.80	4.00		12	38.0	28.4	284	1.94	1.52	----	----	----	----
13	4.00	4.60		19	48.5	31.9	338	1.98	1.58	----	----	----	----
14	4.60	5.00		15	42.5	30.0	307	1.96	1.54	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

DR % = densità relativa ø' (°) = 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 n° 3
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :
- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

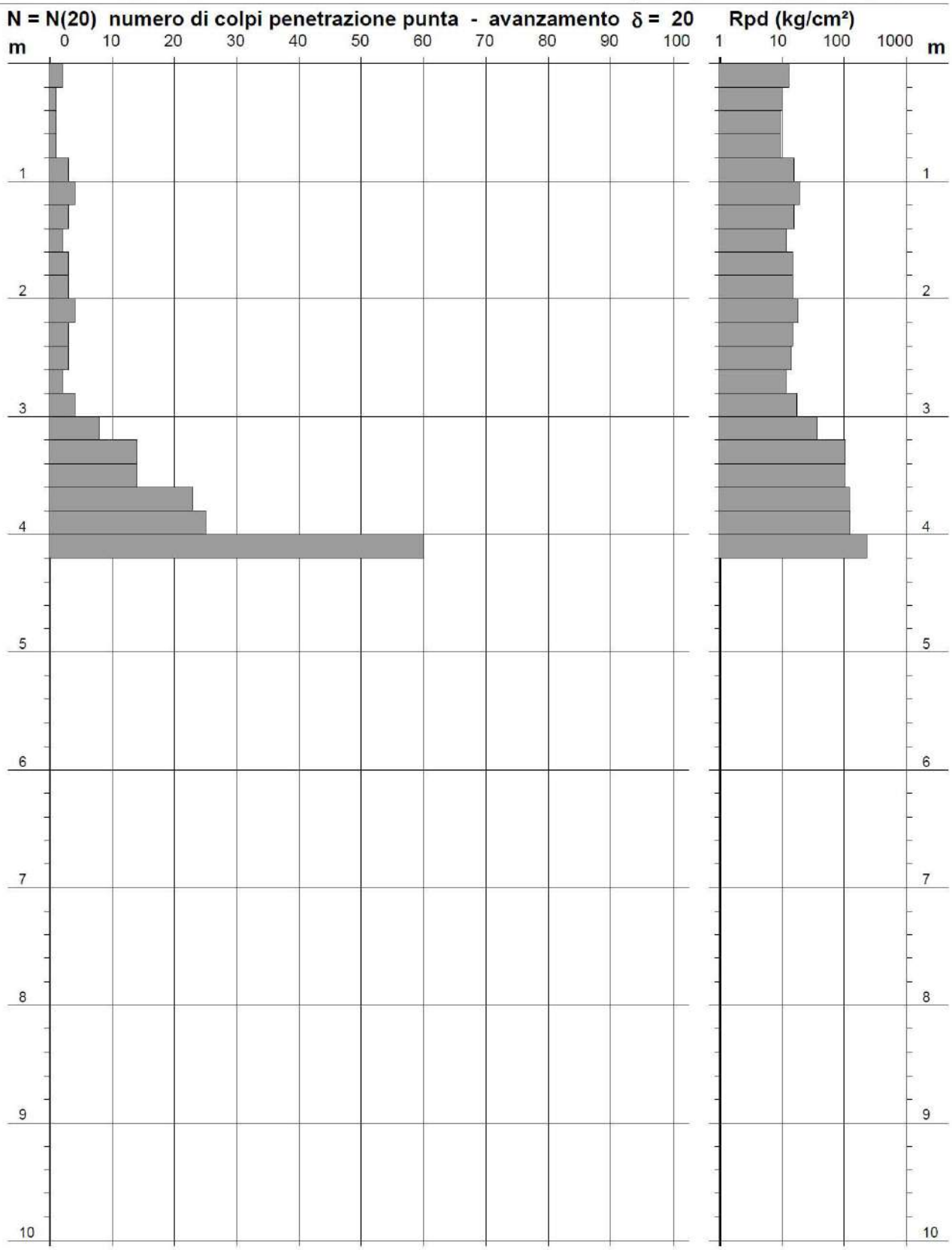
Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	2	21,0	----	1
0,20 - 0,40	1	10,5	----	1
0,40 - 0,60	1	9,6	----	2
0,60 - 0,80	1	9,6	----	2
0,80 - 1,00	3	28,9	----	2
1,00 - 1,20	4	38,6	----	2
1,20 - 1,40	3	28,9	----	2
1,40 - 1,60	2	17,8	----	3
1,60 - 1,80	3	26,7	----	3
1,80 - 2,00	3	26,7	----	3
2,00 - 2,20	4	35,6	----	3
2,20 - 2,40	3	26,7	----	3
2,40 - 2,60	3	24,8	----	4
2,60 - 2,80	2	16,6	----	4
2,80 - 3,00	4	33,1	----	4
3,00 - 3,20	8	66,3	----	4
3,20 - 3,40	14	115,9	----	4
3,40 - 3,60	14	108,3	----	5
3,60 - 3,80	23	177,9	----	5
3,80 - 4,00	25	193,4	----	5
4,00 - 4,20	60	464,1	----	5

- 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 n° 3
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 50

- indagine :	Indagine stratigrafica e geotecnica	- data :	15/12/2021
- cantiere :	Nuovo edificio scolastico	- quota inizio :	p.c.
- località :	Zuccarello	- 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**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 3
ELABORAZIONE STATISTICA

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :
- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VC A	β	Nspt
				M	min	Max	½(M+min)	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,80	N	1,3	1	2	1,1	----	----	----	1	1,49	**1**
			Rpd	12,7	10	21	11,2	----	----	----	10		
2	0,80	2,60	N	3,1	2	4	2,6	----	2,5	3,7	3	1,49	**4**
			Rpd	28,3	18	39	23,1	6,0	22,3	34,3	27		
3	2,60	2,80	N	2,0	2	2	2,0	----	----	----	2	1,49	**3**
			Rpd	16,6	17	17	16,6	----	----	----	17		
4	2,80	3,00	N	4,0	4	4	4,0	----	----	----	4	1,49	**6**
			Rpd	33,1	33	33	33,1	----	----	----	33		
5	3,00	3,20	N	8,0	8	8	8,0	----	----	----	8	1,49	**12**
			Rpd	66,3	66	66	66,3	----	----	----	66		
6	3,20	3,60	N	14,0	14	14	14,0	----	----	----	14	1,49	**21**
			Rpd	112,1	108	116	110,2	----	----	----	112		
7	3,60	4,00	N	24,0	23	25	23,5	----	----	----	24	1,49	**36**
			Rpd	185,7	178	193	181,8	----	----	----	186		
8	4,00	4,20	N	60,0	60	60	60,0	----	----	----	60	1,49	**89**
			Rpd	464,1	464	464	464,1	----	----	----	464		

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

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :

- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.80		1	3.8	18.9	199	1.84	1.34	----	----	----	----
2	0.80	2.60		4	15.0	22.7	222	1.87	1.39	----	----	----	----
3	2.60	2.80		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
4	2.80	3.00		6	21.7	24.5	238	1.89	1.43	----	----	----	----
5	3.00	3.20		12	38.0	28.4	284	1.94	1.52	----	----	----	----
6	3.20	3.60		21	51.5	32.7	353	2.00	1.60	----	----	----	----
7	3.60	4.00		36	71.0	38.2	469	2.08	1.74	----	----	----	----
8	4.00	4.20		89	99.6	51.5	877	2.24	1.98	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

DR % = densità relativa ø' (°) = 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 n° 4
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :
- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

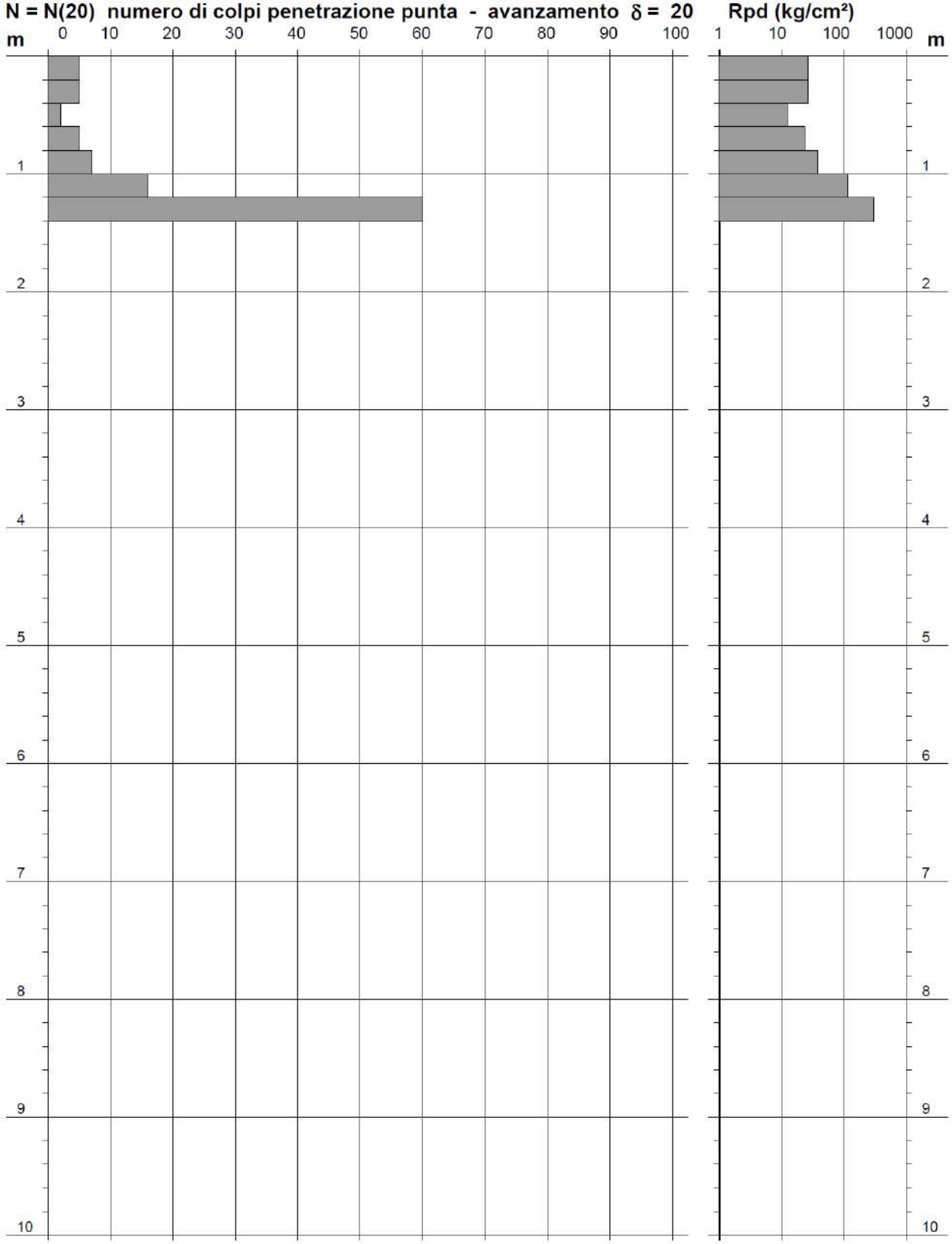
Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	5	52,5	----	1
0,20 - 0,40	5	52,5	----	1
0,40 - 0,60	2	19,3	----	2
0,60 - 0,80	5	48,2	----	2
0,80 - 1,00	7	67,5	----	2
1,00 - 1,20	16	154,3	----	2
1,20 - 1,40	60	578,6	----	2

- 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 n° 4
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 50

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- data : 15/12/2021
- 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**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 4
ELABORAZIONE STATISTICA

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :

- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VC A	β	Nspt
				M	min	Max	½(M+min)	s	M-s	M+s			
1	0,00	0,40	N	5,0	5	5	5,0	----	----	----	5	1,49	**7**
			Rpd	52,5	53	53	52,5	----	----	----	53		
2	0,40	0,60	N	2,0	2	2	2,0	----	----	----	2	1,49	**3**
			Rpd	19,3	19	19	19,3	----	----	----	19		
3	0,60	1,00	N	6,0	5	7	5,5	----	----	----	6	1,49	**9**
			Rpd	57,9	48	68	53,0	----	----	----	58		
4	1,00	1,20	N	16,0	16	16	16,0	----	----	----	16	1,49	**24**
			Rpd	154,3	154	154	154,3	----	----	----	154		
5	1,20	1,40	N	60,0	60	60	60,0	----	----	----	60	1,49	**89**
			Rpd	578,6	579	579	578,6	----	----	----	579		

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

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- indagine : Indagine stratigrafica e geotecnica
- cantiere : Nuovo edificio scolastico
- località : Zuccarello
- note :

- data : 15/12/2021
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.40		7	25.0	25.2	245	1.90	1.45	----	----	----	----
2	0.40	0.60		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	----	----	----	----
3	0.60	1.00		9	31.7	26.6	261	1.92	1.48	----	----	----	----
4	1.00	1.20		24	56.0	34.0	376	2.01	1.63	----	----	----	----
5	1.20	1.40		89	99.6	51.5	877	2.24	1.98	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)

DR % = densità relativa ø' (°) = 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

APPENDICE A5

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE IN SITU

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE LEGGERE

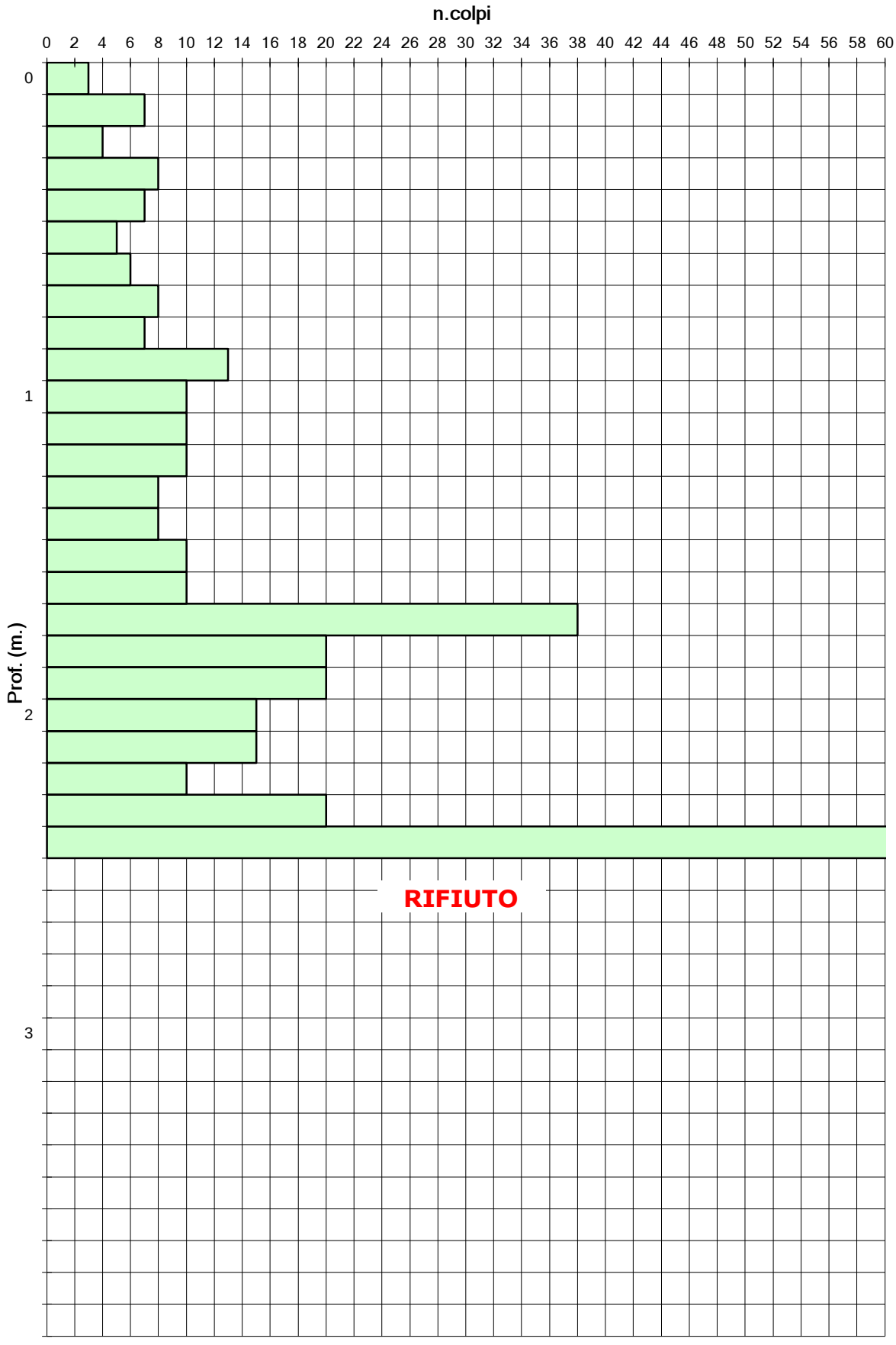
Per la determinazione della profondità tetto del substrato roccioso e delle caratteristiche geotecniche del terreno sciolto sono state effettuate n.2 prove penetrometriche dinamiche leggere, per l'ubicazione delle quali si rimanda alla planimetria all'allegato 3.

La strumentazione utilizzata è un penetrometro dinamico medio Sunda DL030 con le seguenti caratteristiche tecniche:

- *Peso Massa battente 30 Kg*
- *Altezza di caduta libera 0,20 m*
- *Peso sistema di battuta 18 Kg*
- *Frequenza di caduta 55 colpi/min*
- *Diametro punta conica 35,68 mm*
- *Area di base punta 10 cm²*
- *Lunghezza delle aste 1 m*
- *Peso aste a metro 2,4 Kg/m*
- *Diametro aste 20 mm*
- *Avanzamento punta 0,10 m*
- *Numero colpi per punta N(10)*
- *Coeff. Correlazione 0,761*
- *Rivestimento/fanghi: No*
- *Angolo di apertura punta 60 °*

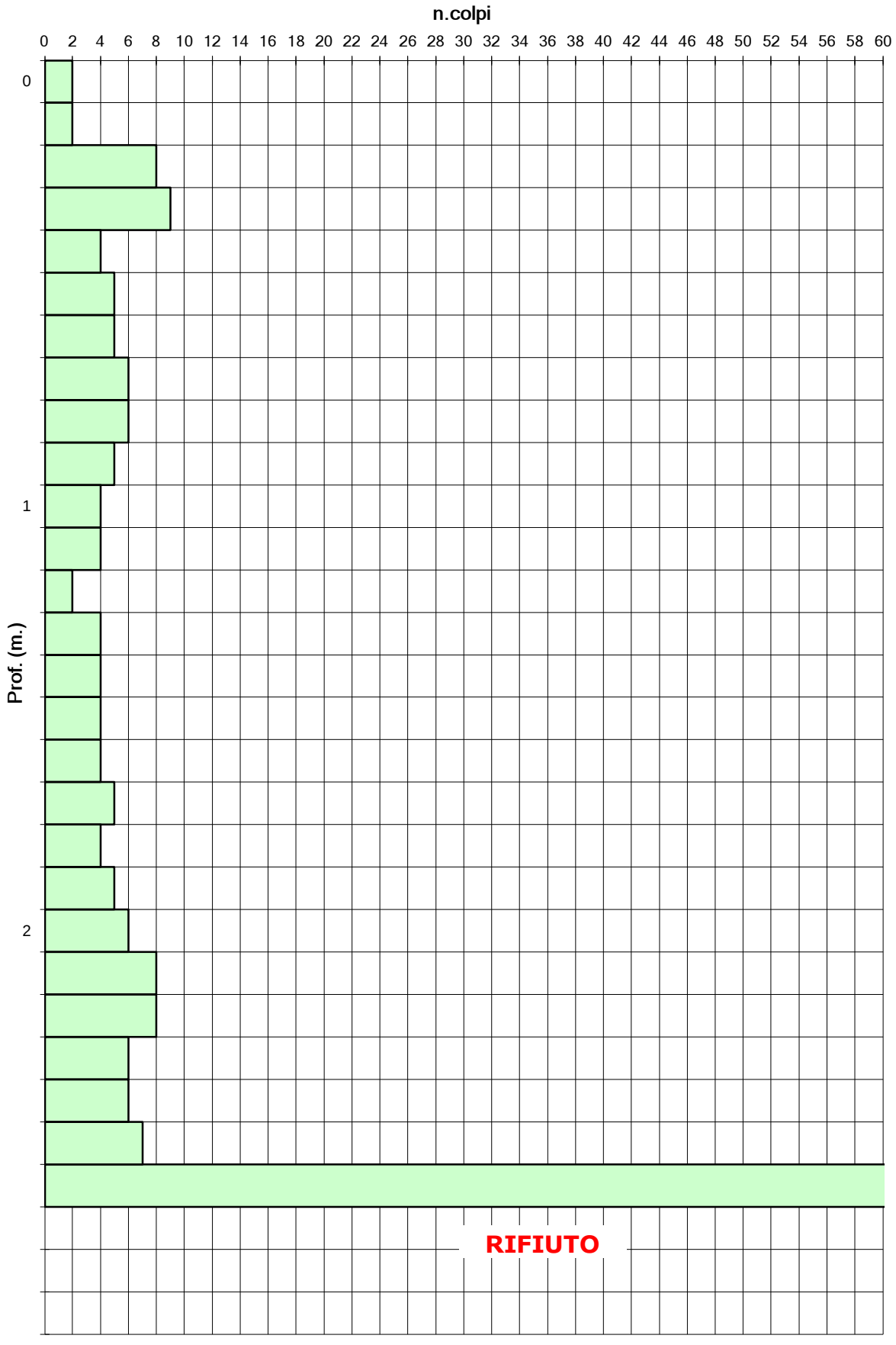
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.1

GRAFICO N. COLPI / 10 CM



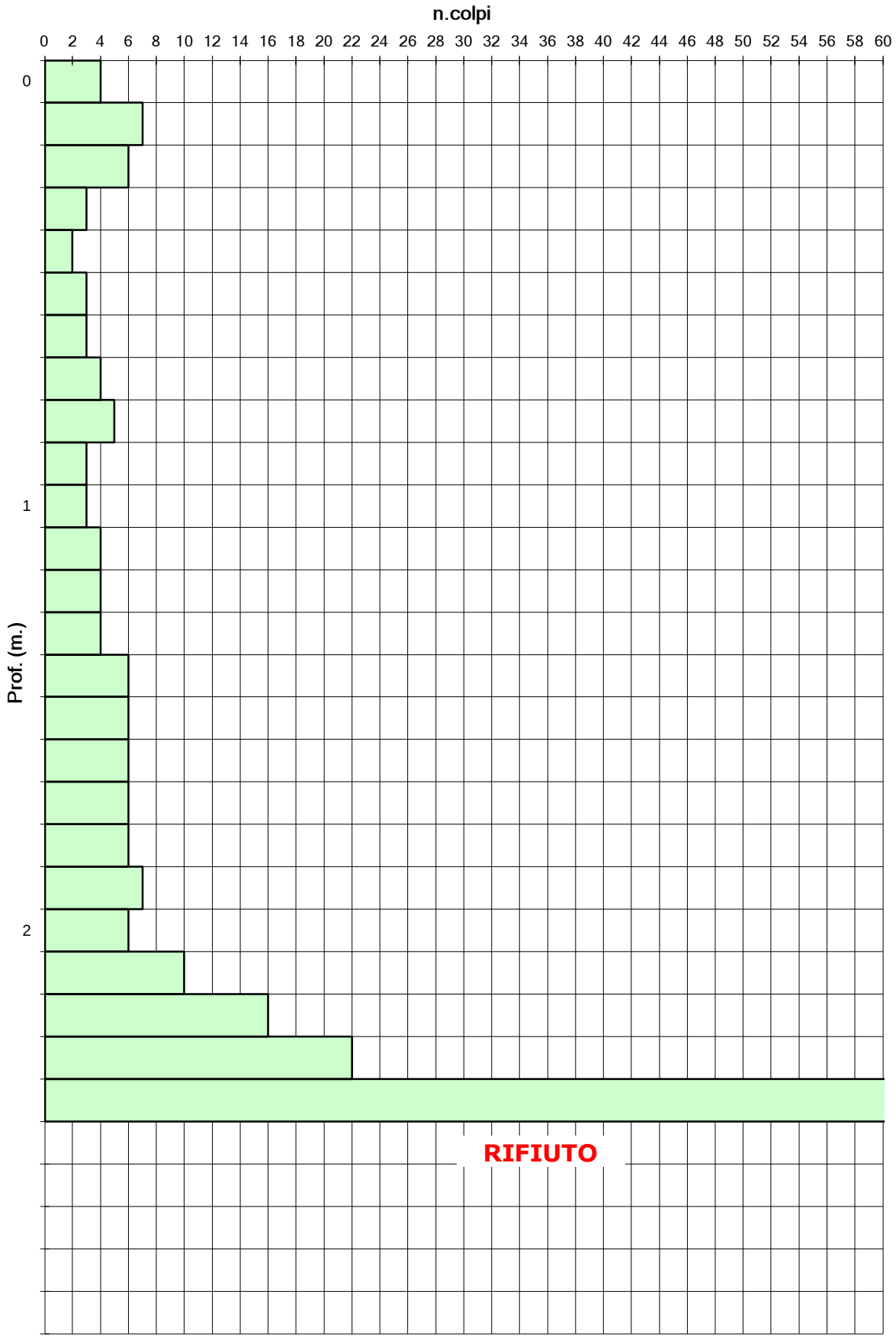
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.2

GRAFICO N. COLPI / 10 CM



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.3

GRAFICO N. COLPI / 10 CM



Appendice B

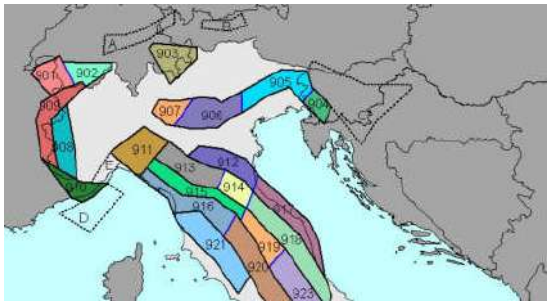
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

paragrafo 3.2 – D.M.17.1.2018

PERICOLOSITA' SISMICA REGIONALE

Zonazione sismogenetica

La pericolosità sismica regionale è basata sullo schema proposto dal Gruppo Nazionale Difesa Terremoti (G.N.D.T.), considerando i terremoti che ricadono nella zona sismogenetica di competenza.



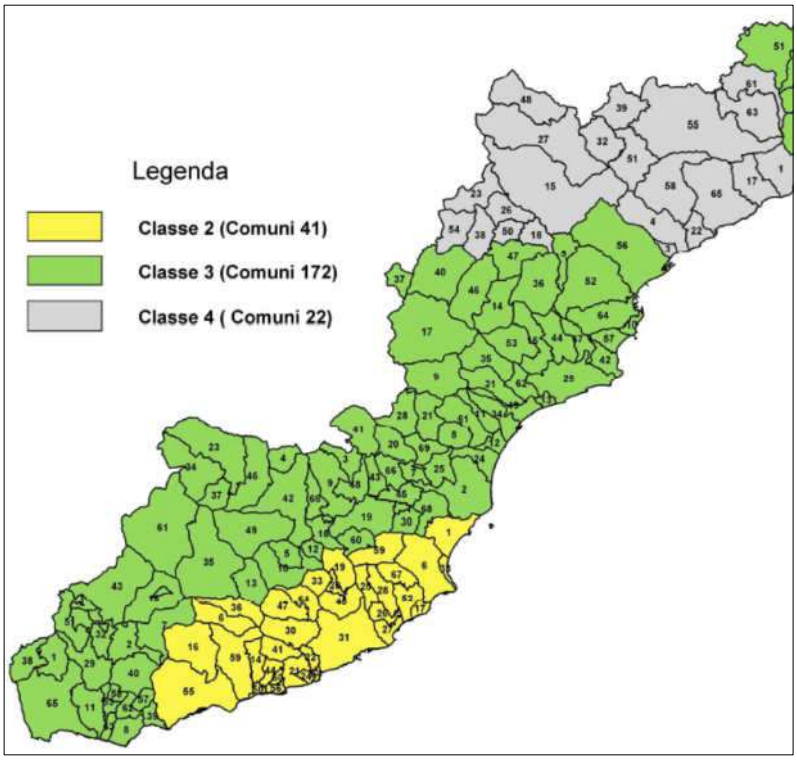
Le zone sismogenetiche si individuano sulla base dell'omogeneità delle caratteristiche geologiche, geofisiche e di sismicità storica.

Ciascuna zona è caratterizzata da un sistema di strutture sismogenetiche consistente in uno o più sistemi di faglie maggiori, responsabili degli eventi a più alta energia, e numerose faglie minori, responsabili degli eventi a più bassa energia.

Il principale terremoto storico verificatosi nel Ponente Ligure è rappresentato dall'evento del 23 Febbraio 1887 (Ms=6.4), la cui ubicazione dell'epicentro (Provincia di Imperia) è ancora incerta. Un altro evento di notevole importanza risulta essere il terremoto delle Alpi Marittime del 1564 (Ms=5.9), la cui posizione è controversa poiché non trova un chiaro riscontro in nessuna delle strutture "attive" presenti nell'area. Incertezze esistono anche per i terremoti verificatisi in Mar Ligure nel 1963, di cui una delle due scosse principali ha avuto una magnitudo pari a Ms=5.9 (Eva et alii, 1999).

Classificazione sismica della Regione Liguria

Il Comune di Zuccarello (SV) è stato classificato zona a grado 3 ai sensi della D.G.R. 216/2017 "Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria", emanata sulla base della O.P.C.M. 3519/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

La "pericolosità sismica di base" sito-dipendente introdotta dalle NCT è stata ricavata:

· in termini di valori di accelerazione orizzontale massima ag e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;

· in corrispondenza dei punti di un reticolo (*reticolo di riferimento) i cui nodi sono* sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);

· per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un *intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;*

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

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, ovvero mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. (Tab 3.2.II delle NTC – 18)

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

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

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

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

dove: h_i e $Vs_{,i}$ indicano rispettivamente lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato, N il numero di strati, H la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

"Per depositi con profondità H del substrato superiori a 30 m, la velocità equivalente delle onde Vs_{eq} è definita dal parametro Vs 30, ottenuto ponendo H =30 m. nell'espressione precedente e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità "(§ 3.2.2 NTC - 18)

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

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti Ss e Cc valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti Ss e Cc possono essere calcolati, in funzione dei valori di Fo e Tc* relativi al sottosuolo di categoria A.

Categoria	Ss	Cc
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40\ Fo\ a_g/g \leq 1,20$	$1,00\ (Tc^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60\ Fo\ a_g/g \leq 1,50$	$1,05\ (Tc^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50\ Fo\ a_g/g \leq 1,80$	$1,25\ (Tc^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2.00 - 1,10\ Fo\ a_g/g \leq 1,60$	$1,15\ (Tc^*)^{-0,40}$

A seguito delle indagini geofisiche riportate nella presente relazione geologica (appendice B2-B3) è stato possibile stimare la velocità media delle onde di taglio S compresa fra

360 m/s e 800 m/s

che ha permesso di classificare il sito nella

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "B"

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA S_T

Il valore di accelerazione orizzontale può risultare ulteriormente amplificato a causa della configurazione topografica del piano campagna.

Infatti può verificarsi la modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno, con focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizza il valore del coefficiente topografico St, riportato nella sottostante tabella, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Le esposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

TABELLA RELATIVA ALLE CATEGORIE TOPOGRAFICHE SUPERFICIALI SEMPLICI (D.M.2018)

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

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**

A seguito di analisi morfologica dell'area di progetto è possibile classificare il sito nella Categoria "T1", attribuendo un

Coefficiente di amplificazione topografica S_T=1.0

APPENDICE B2

PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA MASW
(Multichannel Analisys of Surface Waves)

1. PREMESSA

La prospezione sismica con metodologia MASW (Multichannel Analisys of Surface Waves) permette di definire le caratteristiche sismiche del sottosuolo ricostruendo l'andamento della velocità delle onde di taglio in relazione alla profondità.

Il modello sismico monodimensionale permette, inoltre, una stima della velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) (D.M. 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni).

L'indagine sismica tipo MASW è stata eseguita nel sito di interesse in data 12/11/2021, attraverso il sismografo DoReMi a 12 canali, ed interpretata attraverso i software open source "*Geopsy e Dinver*".

2. CENNI TEORICI

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare l'andamento della velocità delle onde di taglio S in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si distinguono in "attivi" e "passivi" in base al tipo di sorgente con la quale viene prodotta la perturbazione sismica da osservare (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

- ✓ nel "*metodo attivo*" (MASW) le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica);
- ✓ nel "*metodo passivo*" (ReMi) lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremore") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali, ecc...).

Le tecniche di indagine MASW consentono di determinare una classificazione del suolo in modo speditivo e non invasivo generando, mediante una sorgente artificiale (generalmente una mazza battente su piastra) onde che si propagano lungo un piano verticale. Come nella prospezione sismica a rifrazione, tali energizzazioni possono essere ripetute più volte nello stesso punto, sommando in modo aritmetico i segnali per ottenere un aumento del rapporto segnale/rumore.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

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

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione e registrazione delle onde superficiali; la costruzione di una curva di dispersione; l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni allineati a spaziatura regolare, l'obbiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza, la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Dato che le onde superficiali mostrano le ampiezze e le durate maggiori nel dominio spazio-tempo, anche nel dominio frequenza-velocità di fase, i massimi dello spettro saranno relativi alle differenti frequenze con cui si propagano le onde superficiali stesse.

Dall'estrazione delle coppie frequenza velocità di fase corrispondenti ai massimi d'intensità dello spettro si deriva la curva di dispersione sperimentale. In realtà, l'interpretazione degli spettri risulta spesso complicata dall'intrecciarsi dei modi superiori rispetto a quello fondamentale e/o alla generazione e propagazione di onde guidate.

Per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione per ottenere un modello delle proprietà fisiche del sottosuolo. Un miglioramento nell'individuazione di un modello più accurato può essere ottenuto utilizzando, nel processo di inversione, curve relative a più modi di vibrazione

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata per la registrazione dei segnali sismici si compone dei seguenti elementi.

- *Sistema energizzante*: la sorgente è costituita da una mazza metallica del peso di 5 Kg battente verticalmente su una piastra circolare del diametro di 25 cm posta direttamente sul piano campagna. Laddove necessario per ogni shot point viene preparata nel terreno una piazzola, asportando i primi centimetri di suolo vegetale scadente, in cui si posiziona la piastra, in questo modo si ottiene una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore.

- *Sistema di ricezione*: costituito da 12 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5 Hz. I trasduttori di velocità sono in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente.

- *Sistema trigger*: la metodologia utilizzata, in quanto attiva, prevede che l'inizio della registrazione sia individuato mediante un trigger, il quale consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato ad un sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

- *Sistema di trasferimento del segnale*: il trasferimento del segnale dal sistema di ricezione (geofono) al sistema di acquisizione dati (sismografo) è effettuato tramite cavo sismico, costituito da un cavo elettrico bipolare schermato, collegato al geofono. Il segnale acquisito dai geofoni sarà trasferito al sistema di acquisizione senza nessuna perdita di informazione.

- *Computer*: i dati relativi a ciascuna energizzazione vengono memorizzati istantaneamente su di un computer portatile, collegato al sismografo attraverso interfaccia USB, al fine di consentire la visualizzazione delle registrazioni effettuate e la regolazione dei parametri di acquisizione prima di ogni

registrazione. Il software consente di codificare i dati nei formati utilizzati dai diversi programmi di elaborazione (SEG-2, SEG-Y, ecc...).

- *Sistema di acquisizione dati*: si tratta di un sismografo digitale DoReMi (distribuito dalla Sara Electronic Instruments S.r.l.) a 12 canali, collegato a ciascuno dei geofoni ed al sensore del trigger, consentendo in questo modo di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger. Di seguito le principali caratteristiche dello strumento.

No. of Bits	24
A/D Converter Type	SIGMA DELTA
Converter Input Span	5 V
S/N Ratio @ 500 SPS	140 dB
S/N Ratio @ 5000 SPS	130 dB
S/N Ratio @ 20000 SPS	105 dB
Input Type	Unipolar Differential
Input Impedance	20 kΩ
Commot Mode Rejection	> 80dB
Low Pass Filter	400 Hz
High Pass Filter	None
Max Sampling Lag Between Ch.	< 30 ppm
Max Error Between Trigger Ch.	< 1 ns
Ch. Memory	128000 byte
Maximum Samples	30000
Sampling Rates	200 Hz to 20000 Hz
Maximum Connectable Channels	255
Power Consumption	≈ 0.3 W per Ch.
Instrument Chain Max Length	1000 m
Recommended Geophones	4.5 Hz High Gain 80 V/m/s
Diagnosis	Memory Status (OK / Vdc)
Baud Rate	115200/230400, N, 8, 1

4. ACQUISIZIONE DATI E OPERAZIONI DI CAMPAGNA

L'acquisizione è stata condotta mediante uno stendimento di geofoni superficiali. Dopo aver posizionato i geofoni e dopo il collegamento di questi ultimi ai cavi elettrici, tramite appositi morsetti bipolari, son stati realizzati alcuni *shots* di prova allo scopo di tarare i parametri del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo e taratura delle amplificazioni dei singoli canali di registrazione.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alle energizzazioni su ciascun punto di impatto prestabilito, posto ad una distanza ottimale dai geofoni (*Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008*), acquisendo e registrando il segnale sul sismografo per la successiva elaborazione. L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento da uno *shock-sensor (trigger*) posto direttamente sul terreno.

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando il già citato sismografo DoReMi (distribuito dalla Sara Electronic Instruments S.r.l.) tramite il quale, dopo una conversione digitale, che consente di non sporcare il segnale nel tragitto, sono stati registrati nell'hard disk del computer esterno e trasformati in formato SEG-2, per l'elaborazione attraverso i software open source "Geopsy e Dinver".

Nel caso specifico l'indagine geofisica è stata condotta attraverso l'utilizzo del metodo MASW, attraverso una stesa sismica disposta sul terreno secondo un array lineare, visibile nella foto posta lateralmente.



L'acquisizione dei dati sismici e stata condotta secondo la seguente configurazione:

- n° geofoni 12 verticali con Fo = 4.5 Hz;
- distanza intergeofonica di 3.00 m per complessivi 33 m;
- 1 sorgente mazza battente da 5 kg su piastra circolare;
- n° 4 punti di energizzazione distanti 3 m, 4.5 m, 6 m e 10 m dal primo geofono dello stendimento, tra questi è stato considerato il più rappresentativo;
- n° 3/5 shot per ogni punto di energizzazione al fine di confrontare e migliorare la qualità delle acquisizioni in termini di rapporto segnale/rumore di fondo, le registrazioni di scarsa qualità o quelle caratterizzate dalla presenza di rumore sono state scartate;
- tempo di acquisizione 2 s;
- frequenza di campionamento 1000 Hz con tempo passo di campionamento 1 ms.

Di seguito l'ubicazione dell'indagine geofisica.



5.ELABORAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati sperimentali relativi all'indagine sismica MASW sono stati utilizzati i software di elaborazione open source "Geopsy e Dinver", trasformando i dati acquisiti e trasferiti sul computer esterno in formato SEG-2.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi: acquisizione, ovvero registrazione e osservazione delle onde superficiali per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze; processing, ovvero il trattamento dei dati con filtraggi e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza (curva di dispersione); l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs in funzione della profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale *velocity-frequency*, che consente di analizzare l'energia di propagazione del rumore in un'unica direzione della linea sismica rappresentando poi lo spettro di frequenza su un grafico che mette in relazione la velocità e la frequenza dell'onda.

Dallo spettro così ottenuto viene eseguito un picking i cui valori sono poi riportati sul software Dinver per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva di dispersione calcolata in modo da ottenere un buon *fitting* con i valori sperimentali assumendo tale modello come interpretativo.

Il software Dinver utilizza il metodo del Neighbourhood Algorithm, che minimizza la funzione di errore tra la curva calcolata e quella misurata, attraverso una ricerca diretta nello spazio dei modelli. Questo algoritmo genera un numero Ns0 di modelli di Vs iniziali, da questi modelli ricava una curva di dispersione che confronta con quella misurata e ne deduce un valore di misfit; da questi modelli seleziona quelli che hanno restituito il minor misfit e li varia minimamente generando nuovi Ns modelli da cui genera la curva di dispersione, calcola nuovamente i misfit rispetto alla curva misurata, seleziona quelli con il misfit minore e continua seguendo questo schema fino a trovare la curva di dispersione che più si avvicina a quella misurata.

La peculiarità di questo algoritmo è che non cerca casualmente nello spazio dei modelli quello che meglio interpola i dati misurati, ma lo cerca seguendo uno schema, basato sulle celle di Voronoi, che velocizza molto la ricerca e diminuisce la possibilità di cadere in minimi locali.

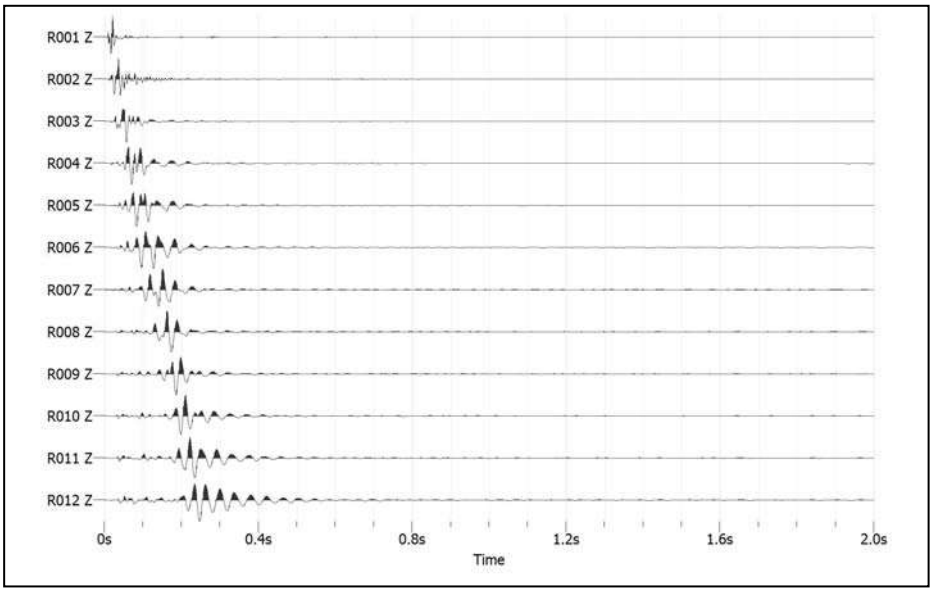
6. RISULTATI OTTENUTI

Dall'acquisizione attraverso l'indagine sismica MASW e dalla successiva elaborazione è stato possibile ricavare il modello medio di distribuzione della velocità delle onde S con la profondità.

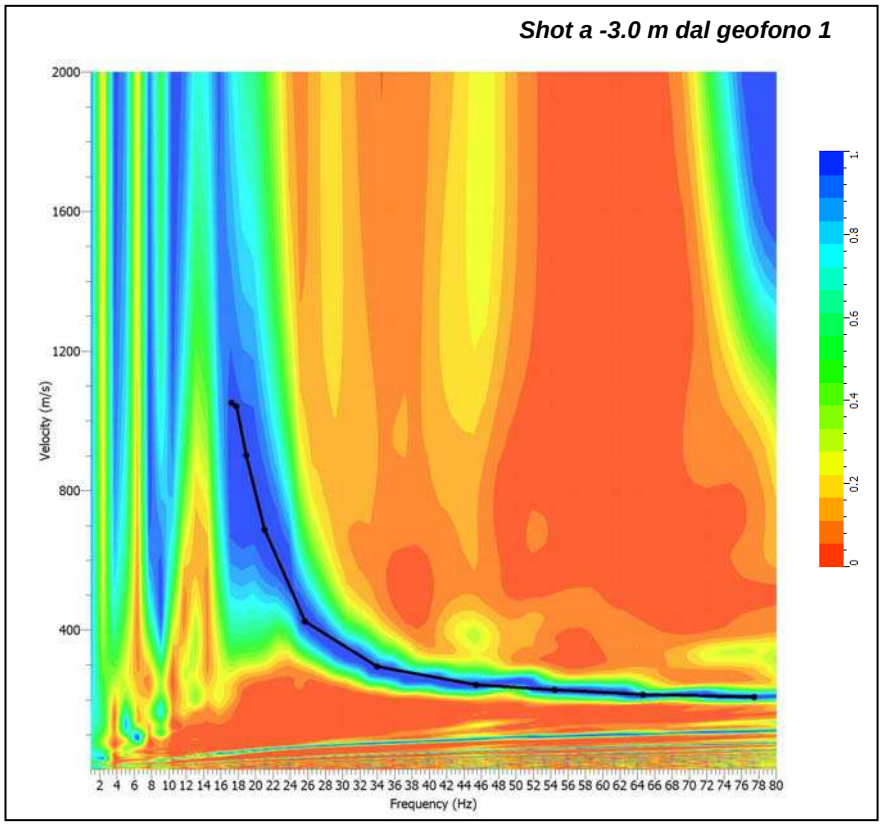
I risultati ottenuti vengono riportati di seguito:

- sismogramma del segnale acquisito;
- curva di dispersione misurata (diagramma frequenza-velocità) e relativo picking;
- profilo di velocità Vs;
- tabella riepilogativa dell'andamento delle velocità delle onde S con la profondità per i sismostrati individuati.

SISMOGRAMMA DEL SEGNALE ACQUISITO



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA E RELATIVO PICKING



PROFILO VERTICALE DI VELOCITA' VS

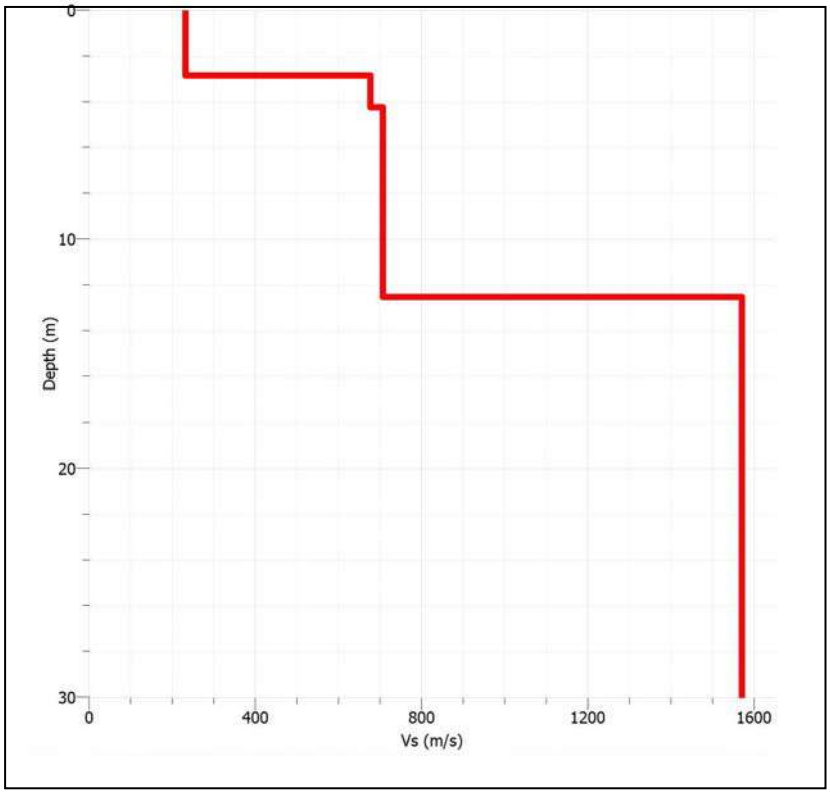


TABELLA DELL'ANDAMENTO DELLE VS CON LA PROFONDITA'

Profondità (m)	Spessore (m)	VS (m/s)
~ 2.8	~ 2.8	~ 232
~ 4.2	~ 1.4	~ 677
~ 12.5	~ 8.3	~ 707
Inf.	Inf.	~ 1571

Attraverso il modello medio della distribuzione della velocità delle onde S è possibile stimare la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs).

Il calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio (Vs,eq in m/s) è definita dalla seguente espressione (D.M. 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni):

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

dove: h_i e $Vs,_i$ indicano rispettivamente lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato, N il numero di strati, H la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando la profondità degli strati di terreno fino a tale profondità.

L'applicazione della suddetta formula, tenendo in considerazione quando esposto in precedenza, ha fornito il seguente valore di Vseq.

V_{Seq} ~ 483 m/s

APPENDICE B3

INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI O HVSR

La presente indagine geofisica si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V, ed è finalizzata alla caratterizzazione sismica del sottosuolo, con l'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità del bedrock geofisico. Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs30) come esplicitamente richiesto dal D.M. 17.1.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

1. Cenni teorici

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

• la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

• la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

• la **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal D.M. 14.1.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

• la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso;

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

2. Strumentazione e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "*Tromino"* che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in altra risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

I dati vengono convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti);
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;

3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale, ottenendo in tal modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

3. Risposta sismica locale e frequenza fondamentale di risonanza

Per risposta sismica locale si intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

Nel presente lavoro viene utilizzata la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V=1) con quello effettivamente misurato in superficie. La rappresentazione di un moto sismico può essere espressa sia nel campo del tempo che delle frequenze.

Per capire la procedura per il calcolo del moto sismico in superficie analizziamo un caso semplificato di un deposito di terreno omogeneo di spessore H, poggiante su un basamento roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale. Se le onde di taglio verticali incidenti sono sinusoidali di frequenza f, l'accelerazione sull'affioramento rigido è una sinusoidale di frequenza f e ampiezza a_{maxr} mentre la corrispondente accelerazione alla superficie del deposito, anch'essa sinusoidale di frequenza f, ha ampiezza paria ad a_{maxs}. Il rapporto a_{maxr} / a_{maxs} prende il nome di *fattore di amplificazione "A",* e dipende dalla frequenza dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto $I=(\sigma bVb)/(\sigma sVs)$ tra l'impedenza sismica della roccia di base σbVb e quella del deposito σsVs.

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione A(f) del deposito. Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali *fn* di vibrazione del deposito:

$$fn = 1 / Tn = (Vs*(2n - 1)) / (4*H) \text{ con } n = 1, 2, \ldots\ldots, \qquad [3.1]$$

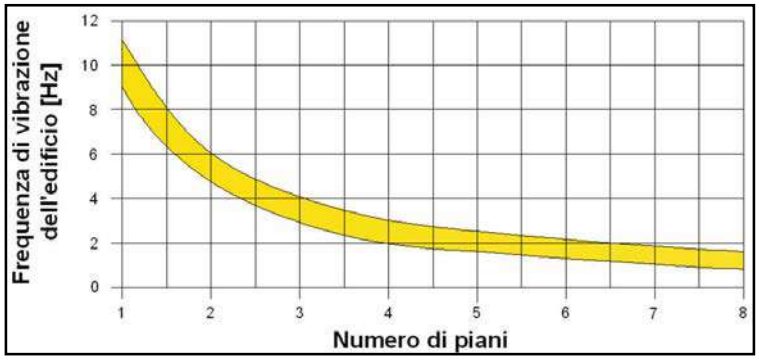
mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito *f1*, denominata **frequenza fondamentale di risonanza**:

$$\mathbf{f1 = 1 / T1 = Vs / 4H} \qquad [3.2]$$

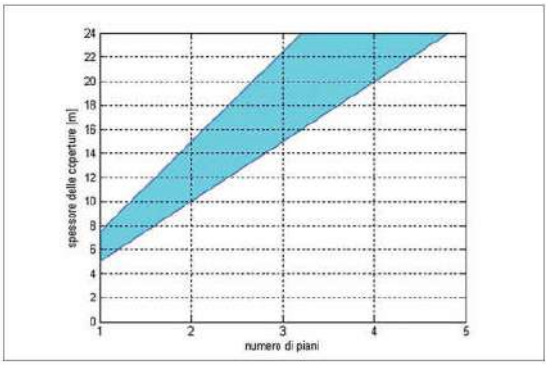
E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, a dir poco, gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\textbf{\textit{freq. Naturale edificio} ≈ \textit{10 Hz / numero piani}} \qquad [3.3]$$



La coincidenza di risonanza tra terreno e struttura è particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



Il grafico seguente riporta una stima empirica del rischio di doppia risonanza tra la frequenza di risonanza del sito, dipendente dallo spessore delle coperture, e la frequenza di risonanza dell'edificio.

4. Interpretazione delle misure eseguite

L'interpretazione delle misurazioni eseguite ha consentito di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del bedrock geofisico e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell' onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, è stato possibile ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La registrazione di microtremore effettuata sul sito di progetto ha dato luogo alla curva H/V rossa (grafico HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO di seguito riportato).

Per determinare il modello di sottosuolo viene individuata la curva teorica H/V evidenziata in blu (grafico EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V di seguito riportato).

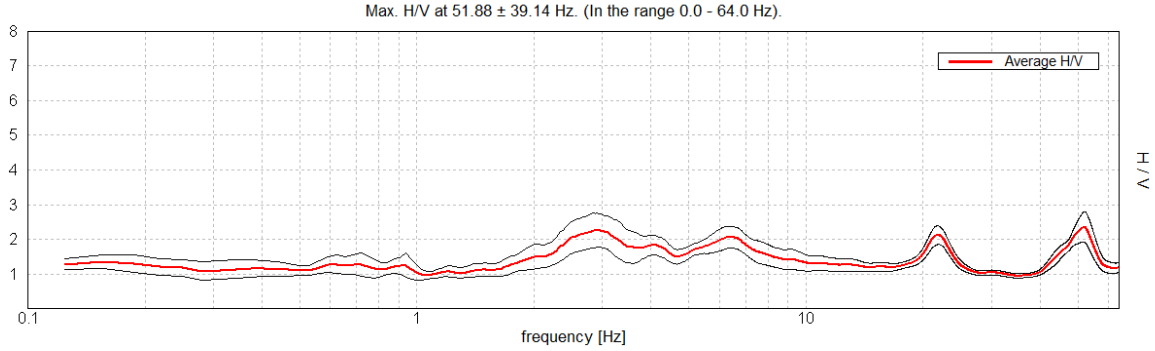
TROMINO
www.moho.world

INDAGINE GEOFISICA – MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V

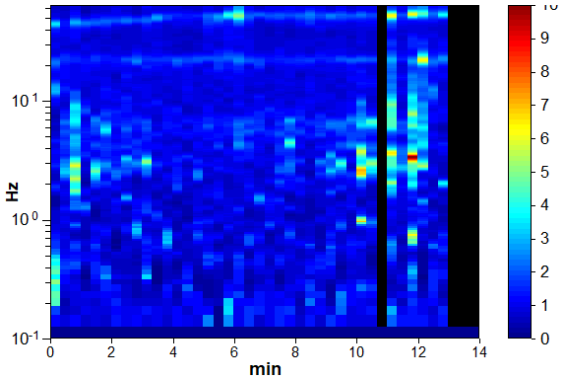
Zuccarello, via Castello, area Caserma – MISURA N.1

Instrument: TRZ-0015/01-09
Data format: 16 bit
Full scale [mV]: 51
Start recording: 31/12/2021 08:47:09 End recording: 31/12/2021 09:01:09
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h14'00''. Analyzed 90% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

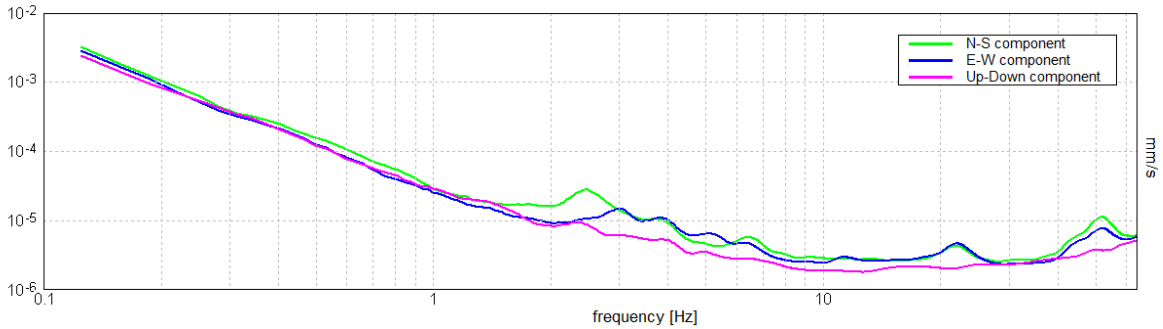
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



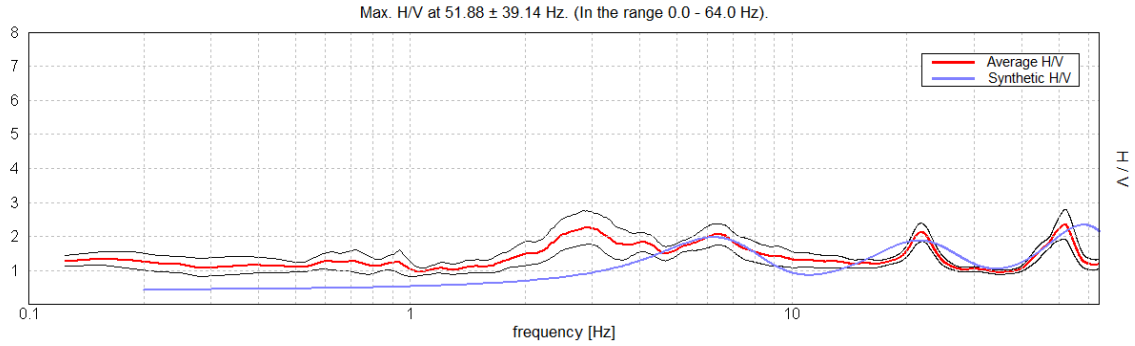
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

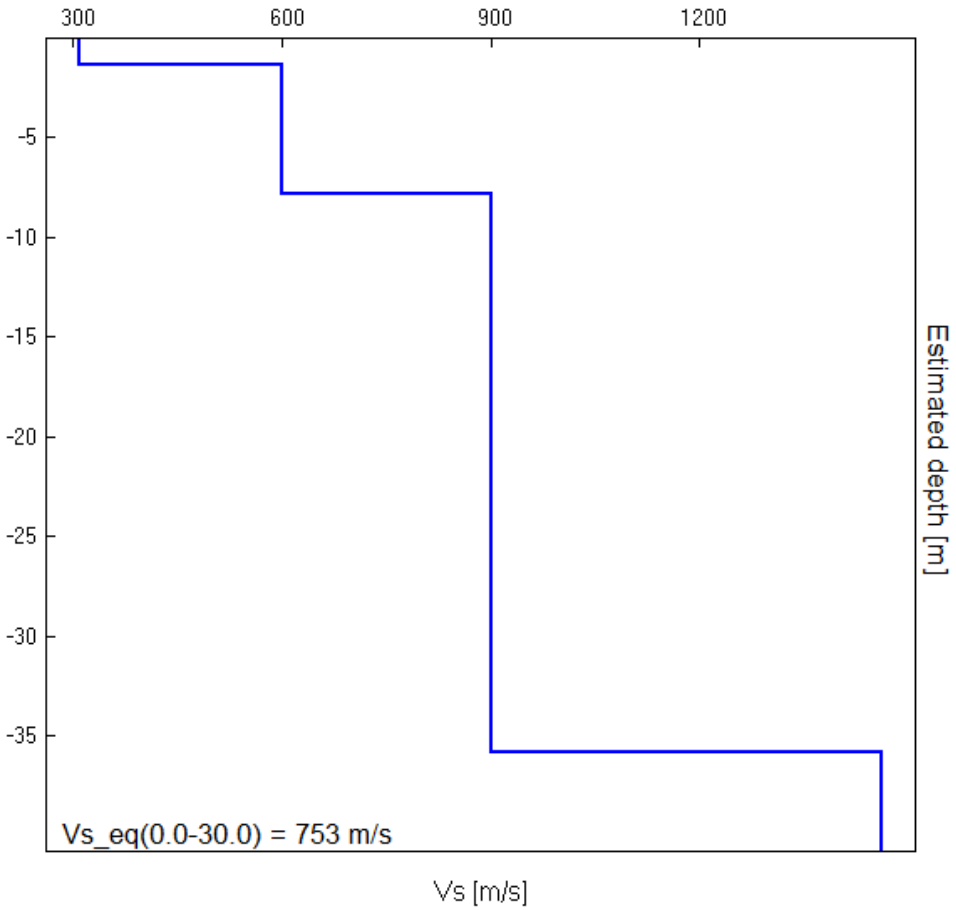


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.40	1.40	310	0.45
7.80	6.40	600	0.45
35.80	28.00	900	0.42
inf.	inf.	1460	0.42

Vs_eq(0.0-30.0) = 753 m/s

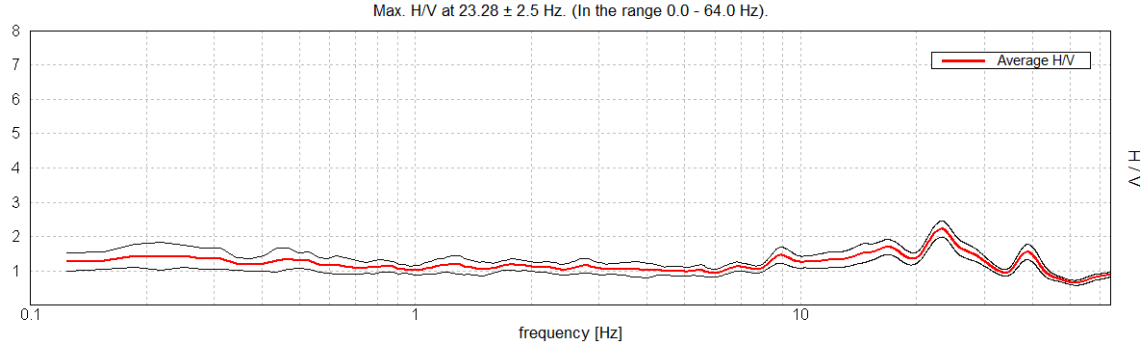


INDAGINE GEOFISICA – MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V

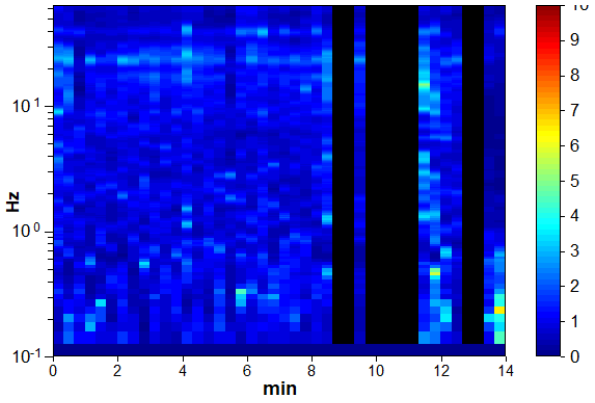
Zuccarello, via Castello, area Caserma – MISURA N.2

Instrument: TRZ-0015/01-09
Data format: 16 bit
Full scale [mV]: 51
Start recording: 31/12/2021 09:02:48 End recording: 31/12/2021 09:16:48
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h14'00''. Analyzed 79% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

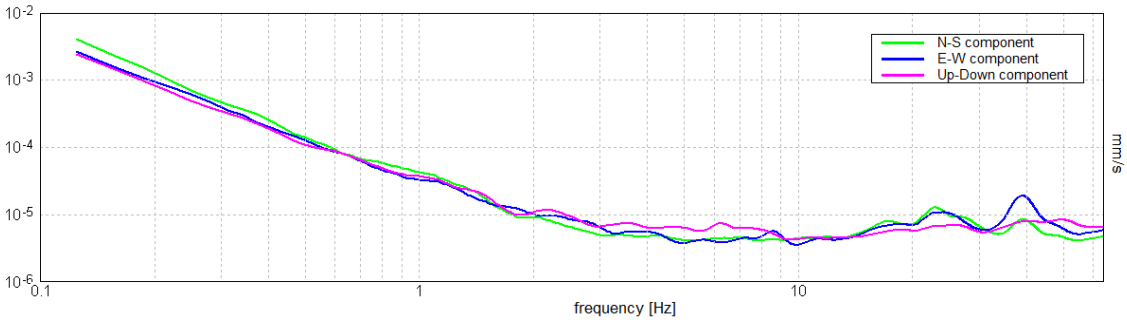
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



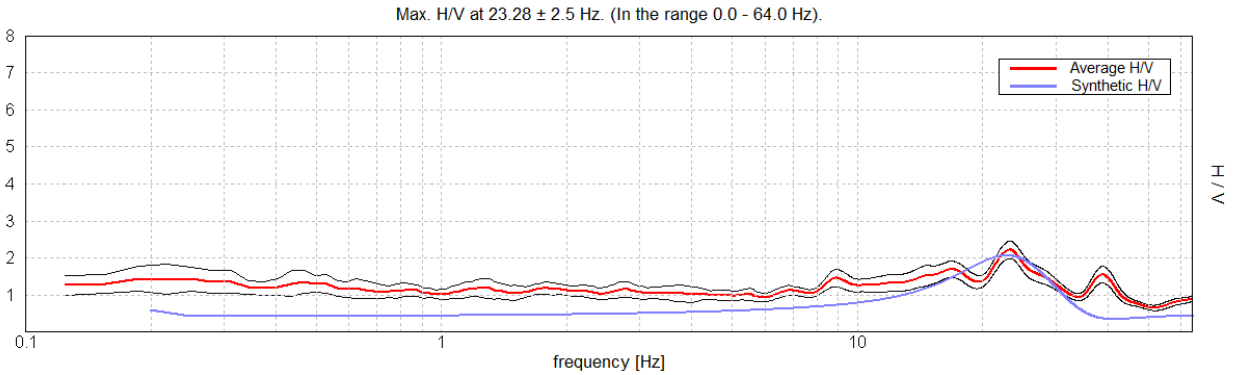
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

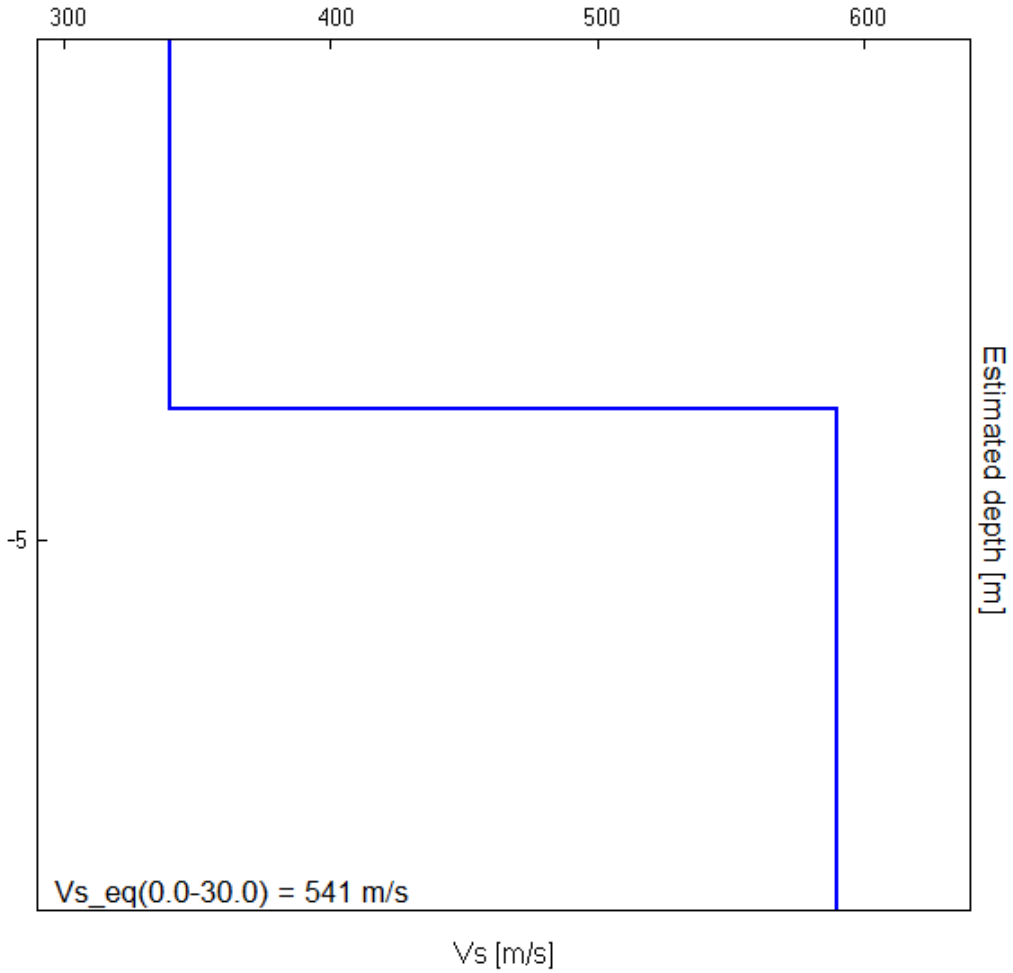


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.70	3.70	340	0.42
inf.	inf.	590	0.42

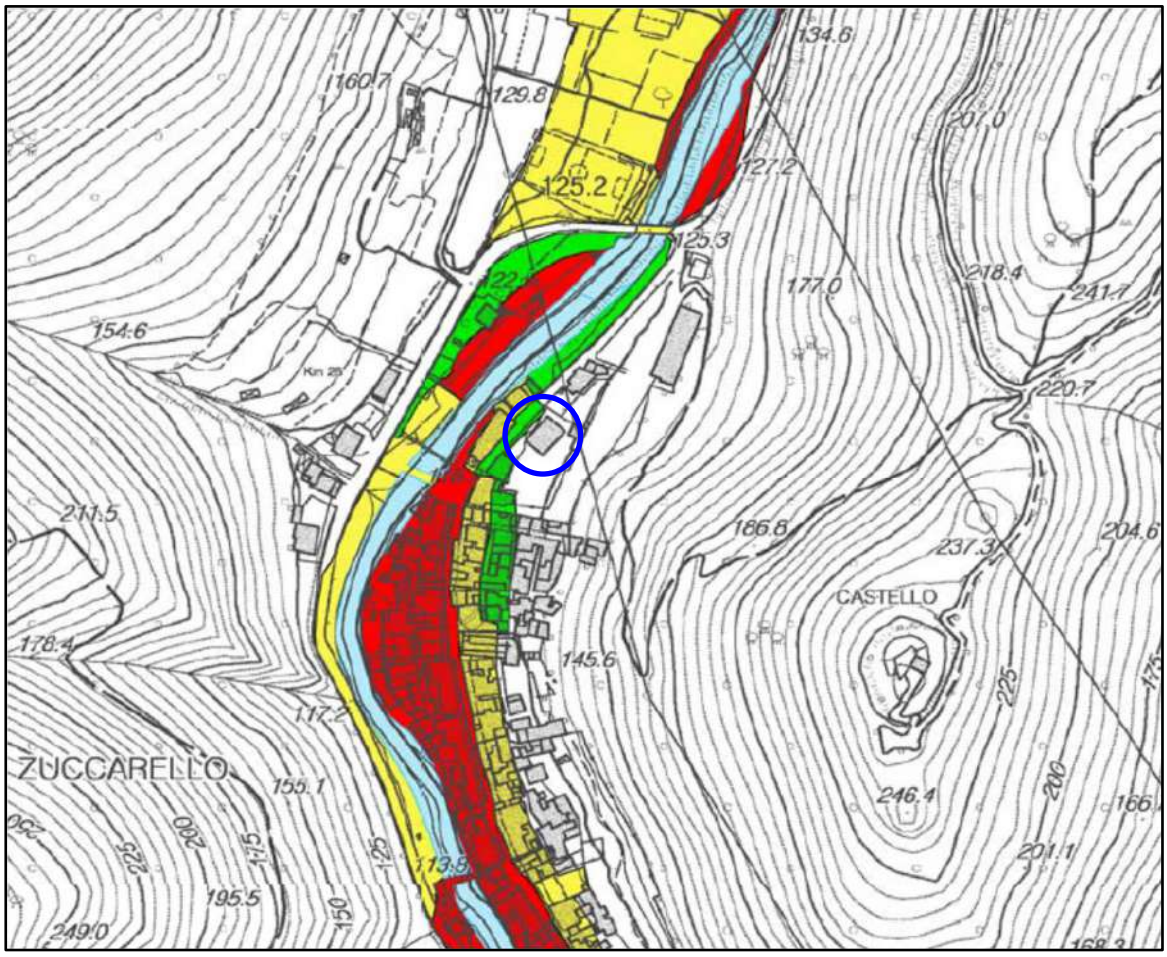
Vs_eq(0.0-30.0) = 541 m/s



APPENDICE C1

CONFORMITA' CON IL PIANO DI BACINO SUL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Carta delle Fasce Inondabili: l'area è stata perimetrata non inondabile



LEGENDA

- Fascia A
- Fascia A*
- Fascia B
- Fascia C
- -
- Alveo attivo
- -
- Aree normate anche da altro piano di bacino. Vale la norma più restrittiva
- Limite del bacino

scala 1:5.000

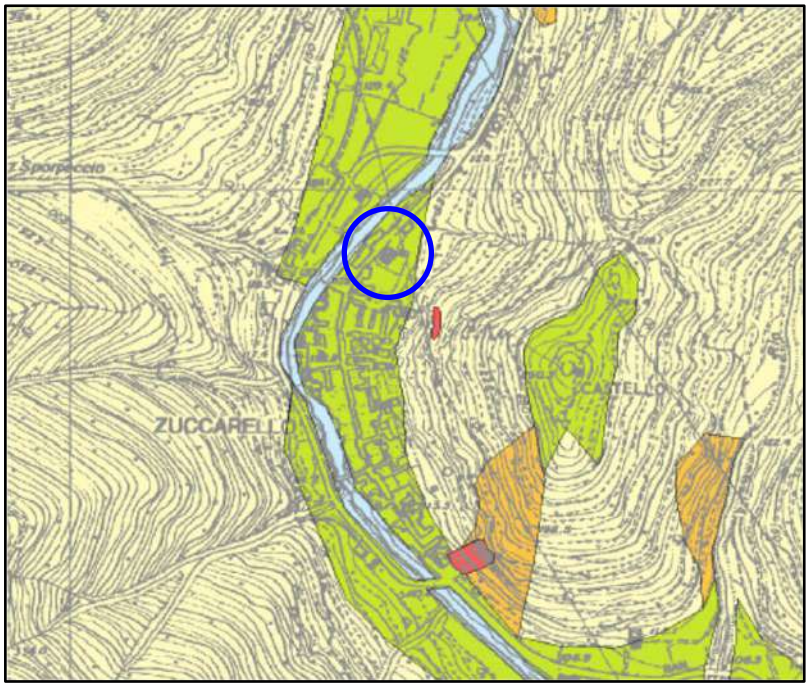
Area in oggetto

APPENDICE C2

CONFORMITA' CON IL PIANO DI BACINO SUL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Carta di Suscettività al Dissesto: l'area di progetto è ubicata nella categoria "area a suscettività bassa Pg1"

Art.16 comma 10 della normativa di Piano di Bacino*: nelle aree a suscettività al dissesto media (Pg2), bassa (Pg1) e molto bassa (Pg0) si demanda ai Comuni, nell'ambito della normativa geologica di attuazione degli strumenti urbanistici o in occasione dell'approvazione sotto il profilo urbanistico edilizio di nuovi interventi insediativi e infrastrutturali, la definizione della disciplina specifica di dette aree, attraverso indagini specifiche, che tengano conto del relativo grado di suscettività al dissesto.*



Area in oggetto

scala 1:10.000

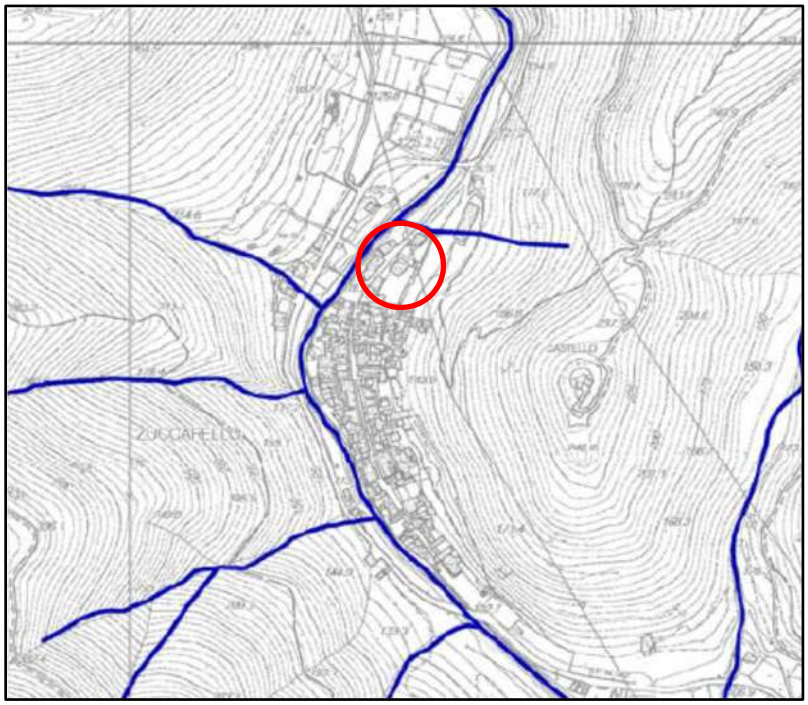
LEGENDA



APPENDICE C3

CONFORMITA' CON IL PIANO DI BACINO SUL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Carta del Reticolo Idrografico Regionale: l'area di progetto non è ubicata nella fascia di rispetto di corsi d'acqua facenti parte del reticolo idrografico regionale



Area in oggetto

scala 1:10.000

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
Dott. Geol.
ALESSANDRO SCARPATI
A.P. n. 247
data iscr. 15-04-1993

A seguito di esame della cartografia del Piano di Bacino per la Tutela dal Rischio Idrogeologico nei bacini idrografici della Provincia di Savona scolanti nel Mar Tirreno, redatto ai sensi dell'art.1 comma 1 del D.L. 180/98, approvato dalla Provincia di Savona con D.C.P. n°47 del 25/11/03 e successivamente aggiornato, e secondo il Regolamento Regionale n. 3/11 e n.1/16, si attesta che

LE OPERE IN PROGETTO RISULTANO CONFORMI ALLE PREVISIONI DEL PIANO DI BACINO SUL RISCHIO IDROGEOLOGICO