



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

Finanziamento dell'Unione europea - NextGenerationEU. Intervento finanziato con l'avviso n 48038 del 02/12/2021 del PNRR Missione 4: Istruzione e Ricerca Componente 1 - Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione:dagli asili nido alla università Intervento 1.2 "Piano di estensione del tempo pieno e mense".

I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia solo quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea e della Commissione europea. Né l'Unione europea né la Commissione europea possono essere ritenute responsabili per essi.



WeProject s.r.l.

Management for urban development

Via Valtellina, 6
20159 Milano
tel +39 02 48002752
mobile +39 3666274380
i.bresciani@weproject.it
www.weproject.it

P. IVA 07077100969



COMMITTENTE

COMUNE DI PALOSCO
Provincia di Bergamo

DESCRIZIONE

**REALIZZAZIONE DELLA NUOVA MENSA A SERVIZIO
DELLA SCUOLA PRIMARIA "SUOR VITAROSA ZORZA" E
DELLA SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO "F.LLI
TERZI" - PALOSCO (BG)**
Progetto definitivo - esecutivo

DATA

Gennaio 2023

ALLEGATO

RG

SCALA

CONTENUTO ALLEGATO

Relazione geologica con
inquadramento sismico e
relazione di modellazione
geotecnica

RISERVATO AGLI UFFICI

IL COMMITTENTE

Comune di Palosco (BG)

I PROGETTISTI

Ing. Ilaria Bresciani

TEAM DI PROGETTAZIONE:

Ing. Matteo Bertoni

Ing. Marie Fiocco

Ing. Silvia Rossi

Ing. Zeudi Bergomi

Ing. Sergio Consolandi

Dott. Geol. Marino Motta





Dott. Geol. Marino Motta
Studio Geologia ed Ambiente
Via Quinta Q.re G.C.Abbà, 23 - 25127 Brescia

PROVINCIA DI BERGAMO

COMUNE DI PALOSCO

**REALIZZAZIONE DELLA NUOVA MENSA A SERVIZIO DELLA SCUOLA PRIMARIA
"SUOR VITAROSA ZORZA" E DELLA SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO "F.LLI TERZI"**



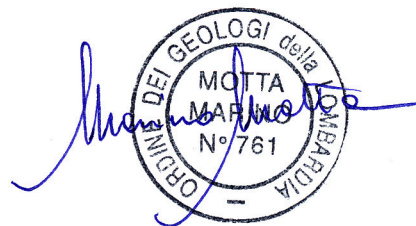
RELAZIONE GEOLOGICA CON INQUADRAMENTO SISMICO

E RELAZIONE DI MODELLAZIONE GEOTECNICA

(ai sensi della DGR IX/2616 del 30.11.2011 e D.M. 17.01.2018 NTC)

Il tecnico incaricato:

Dott. Geol. Marino Motta
Ordine dei Geologi della Lombardia
iscrizione n. 761



Brescia, 26 Gennaio 2023

SOMMARIO

1. PREMESSA

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E MORFOLOGICO

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO

3.1 Caratteri geologici e stratigrafici locali

4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO

4.1 Caratteristiche idrografiche generali

4.2 Caratteristiche idrografiche locali

4.3 Caratteristiche idrogeologiche

4.4 Valutazione del rischio di liquefazione dei terreni

5. CONFORMITA' CON LA COMPONENTE GEOLOGICA DEL PGT COMUNALE

6. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE CONDOTTE IN SITO

6.1 Saggi con escavatore

6.1.1 Stima della permeabilità del deposito ghiaioso-sabbioso alluvionale locale

6.2 Prove penetrometriche dinamiche

6.2.2 Considerazioni generali sulle risultanze delle prove penetrometriche

6.3 Indagini geognostiche di tipo sismico passivo

6.4 Il modello geologico locale

6.5 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

6.6 Verifica agli stati limite

6.6.1 Verifica agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

6.6.2 Verifica agli Stati Limite d'Esercizio (S.L.E.)

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI LOCALI

7.1 Normativa di riferimento

7.2 Spettro di risposta elastico secondo il D.M. 14 gennaio 2008

7.3 Tecnica di misurazione e strumentazione

7.4 Vulnerabilità sismica delle opere

7.5 Indagini sismiche eseguite e risultati

7.6 Analisi sismica di II livello secondo la Normativa Regionale vigente

8. CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI

1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto di realizzazione della nuova mensa a servizio della scuola primaria "Suor Vitarosa Zorza" e della scuola secondaria di I grado "F.lli Terzi", progetto a cura di WeProject S.r.l. per conto del Comune di Palosco (BG) è stata elaborata la presente relazione geologica e geotecnica con inquadramento sismico, ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011 e del D.M. 17 Gennaio 2018 (N.T.C. p.to 6.2.1), basata sia su un'indagine speditiva su base bibliografica (Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Palosco, a cura del Dott. Geol. A. Ferrario (Giugno 2008), quindi su un'indagine geognostica di campagna, consistente in n.1 scavo esplorativo, n.1 prova penetrometrica dinamica (funzione della tipologia dei terreni locali) ed n.1 indagine geognostica indiretta di tipo sismico passivo (HVSr).

La presente relazione di carattere esecutivo (basata sul piano di indagini geognostiche finalizzate a supportare il progetto di nuova costruzione) è volta a verificare la compatibilità delle previsioni progettuali con gli aspetti geologici, idrogeologici, geotecnici e sismici locali.

Nella presente si richiama la verifica della conformità delle previsioni di progetto rispetto alla più recente componente geologica del PGT, con esplicitazione del giudizio di conformità delle previsioni progettuali stesse rispetto alla classe di fattibilità geologica assegnata, nonché allo scenario di pericolosità sismica individuato nella suddetta componente geologica e verificato su base geognostica locale.

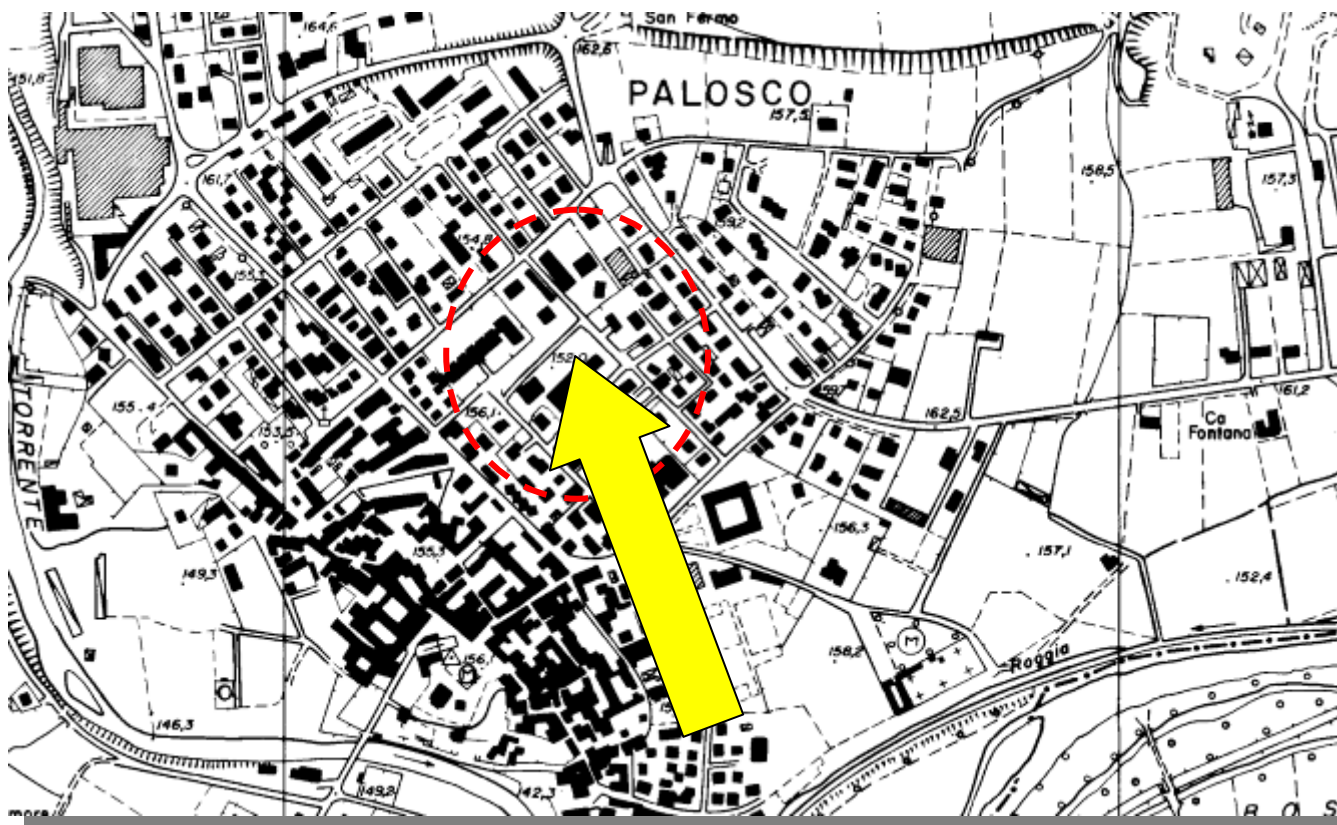
Inoltre è da considerare la zona sismica per il territorio di Palosco, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.2129 entrata in vigore il 10 aprile 2016. Secondo la classificazione vigente, il territorio comunale di Palosco appartiene alla zona sismica 3 (i Comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti) e risulta identificato da un valore di accelerazione massima orizzontale a_{gmax} su suolo di riferimento con la probabilità del 10% di essere superato nei prossimi 50 anni (periodo di ritorno uguale a 475 anni) compresa tra $0.05 < a_g \leq 0.15$. (g). Per quanto riguarda l'aspetto sismico, si ricorda La Giunta Regionale Lombardia ha approvato il 30 marzo 2016 -D.G.R. n. X/5001 le linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica, ai sensi degli artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015. La nuova zonazione sismica e la l.r. 33/2015 sono entrambe efficaci dal 10 aprile 2016. In particolare, la l.r. n. 33/2015 aggiorna la normativa sulle costruzioni in zona sismica adeguandola al D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 (Testo Unico in materia Edilizia). Le nuove norme si applicano ai lavori di cui all'art. 93, comma 1, del D.P.R. 380/2001 ("costruzioni, riparazioni e sopraelevazioni"), relativi a opere pubbliche o private localizzate nelle zone dichiarate sismiche, comprese le varianti influenti sulla struttura che introducano modifiche tali da rendere l'opera stessa, in tutto o in parte, strutturalmente diversa dall'originale o che siano in grado di incidere sul comportamento sismico complessivo della stessa.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E MORFOLOGICO

L'area in esame è ubicata nella porzione più o meno centrale del nucleo urbano, in corrispondenza della scuola primaria "Suor Vitarosa Zorza" e della scuola secondaria di I grado "F.lli Terzi".



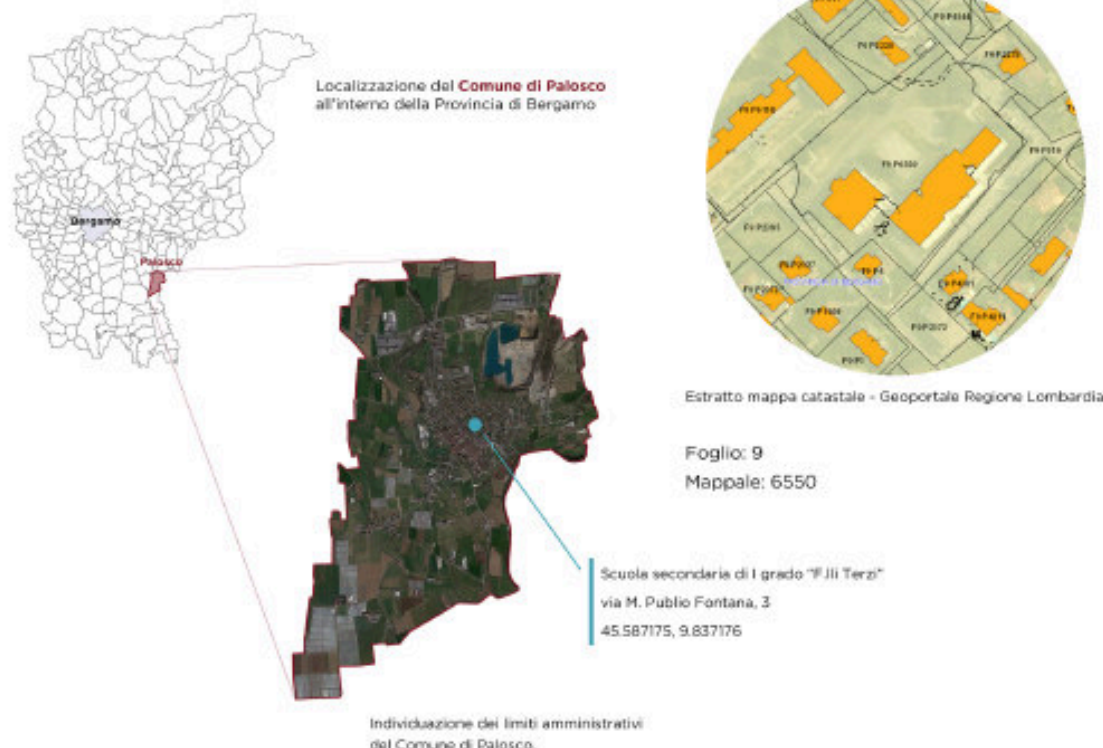
Segue localizzazione fotografica ingresso e inquadramento cartografico (C5D5) CTR Lombardia scala 1:10.000.



Di seguito si riporta inoltre un estratto planimetrico consistente nelle previsioni progettuali (progetto di nuova costruzione) a cura di WeProject S.r.l. : in esso è rappresentata l'area di interesse.

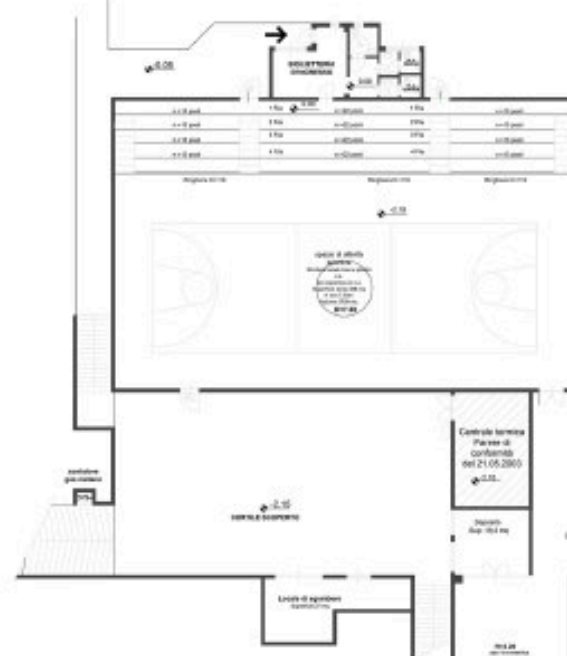
Il primo estratto progettuale si riferisce alla tavola di inquadramento generale e dello stato di fatto (estratto TAV.01), mentre il secondo estratto si riferisce alla tavola dello stato di progetto (estratto TAV.02).

INQUADRAMENTO TERRITORIALE



PLANIMETRIA DELLO STATO DI FATTO - refettorio Scuola Secondaria di I grado - Scala 1:200

Attualmente all'interno dell'edificio scolastico della Scuola Primaria, non esiste un servizio di refezione, pertanto vengono utilizzati gli spazi refettorio della Scuola Secondaria di I grado adiacente. Tali spazi non sono sufficienti a rispondere al fabbisogno di entrambe le scuole, quindi vengono eseguiti 3 turni di refezione, per un totale di 297 pasti serviti.

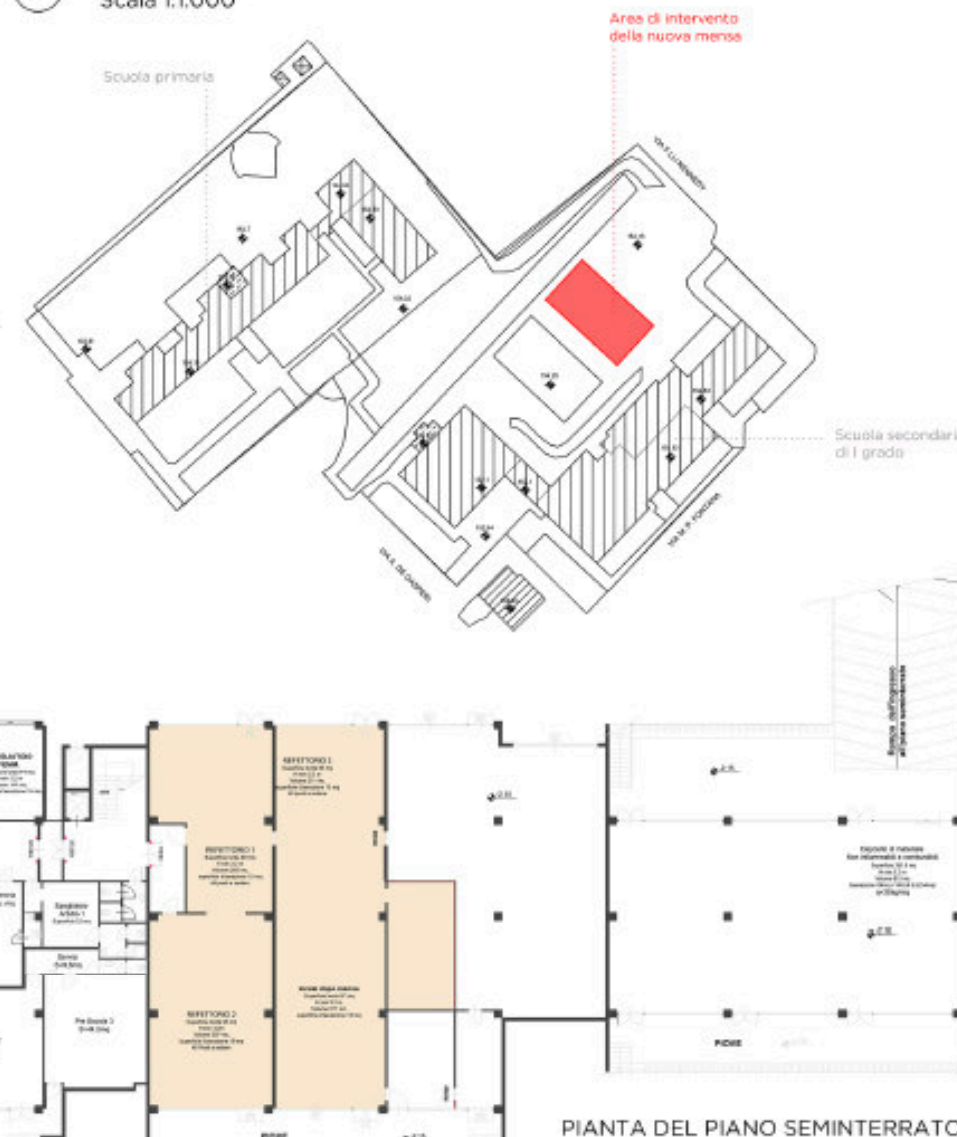


LEGENDA DELLO STATO DI FATTO

- Locali adibiti a refettorio per le scuole primaria e secondaria di primo grado da dismettere



RILIEVO ALTOPLANIMETRICO DEL COMPLESSO SCOLASTICO E DELL'AREA Scala 1:1.000

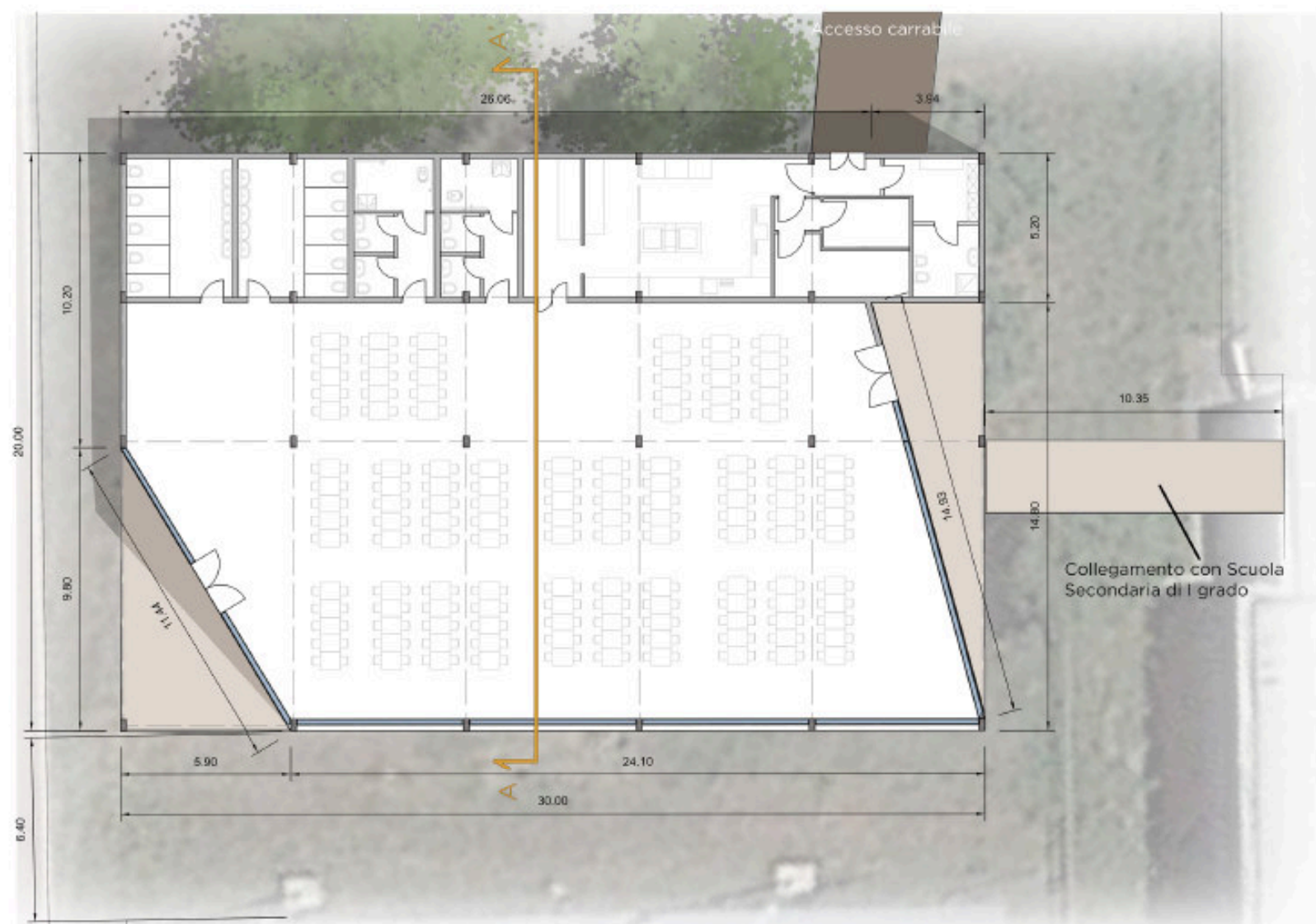


FOTOGRAFIE DELLO STATO DI FATTO



<p>WeProject s.r.l. Management for urban development</p> <p>Via Valbellina, 6 20159 Milano tel +39 02 48002752 mobile +39 3666274380 i.bresciani@weproject.it www.weproject.it</p> <p>P. IVA 07077100969</p>	COMUNE DI PALOSCO Provincia di Bergamo	
	<p>COMUNE DI PALOSCO (BG) Piazza Castello 24050 Palosco (BG)</p>	
	<p>REALIZZAZIONE DELLA NUOVA MENSA A SERVIZIO DELLA SCUOLA PRIMARIA "SUOR VITTORIOSA ZORZA" E DELLA SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO "F.lli TERZI"</p> <p>Progetto di fattibilità tecnico-economica</p>	
	<p>DATA Febbraio 2022</p> <p>SCALA Varie</p>	<p>TAV. N. 01</p> <p>CONTENUTO TAVOLA INQUADRAMENTO TERRITORIALE E STATO DI FATTO</p>

PLANIMETRIA MENSA - progetto Scala 1:100



SEZIONE AA' - Scala 1:100



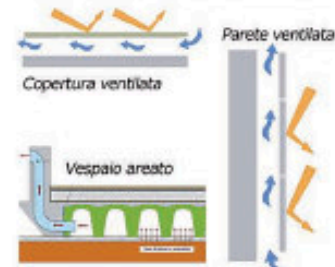
NUOVA MENSA SCUOLA PRIMARIA E SCUOLA SECONDARIA I GRADO Comune di Palosco (BG)			
Locale	Sup. mensa esistente nella Scuola Secondaria (mq)	Sup. post intervento (mq)	rispetto parametri L.M. 18/12/1975 (mq)
Sala mensa	318,5	386,7	Area minima per Scuole Primarie 0,70 mq/alunno - Area minima per Scuole Secondarie di Primo grado: 0,50 mq/alunno
Locale cucina	0	36	
Anticucina per il lavaggio delle stoviglie	0	10,5	
Dispensa e cella frigo	0	18,5	
Spogliatoi e servizi igienici per il personale	0	14,65	Alunni previsti: 300
Servizi igienici per gli alunni e gli insegnanti	0	72,8	
Ingresso di servizio per servizio mensa	22	3,55	Superficie minima: 180 mq
Portico d'ingresso	0	57,3	
Tot area mensa	340,5	600	

DESCRIZIONE PROGETTO

La nuova struttura verrà adibita a mensa scolastica dedicata alla Scuola Primaria, in quanto all'interno dell'edificio non esiste una mensa scolastica, e alla Scuola Secondaria di I grado in quanto si prevede di dismettere l'attuale refettorio sito al piano interrato dell'edificio. La nuova mensa avrà una superficie complessiva pari a 542,70 mq con l'aggiunta di 57,30 mq destinati a portico coperto per gli accessi pedonali alla struttura, per un totale di 600 mq.

La nuova mensa verrà realizzata con una struttura prefabbricata in legno lamellare, acciaio e vetro.

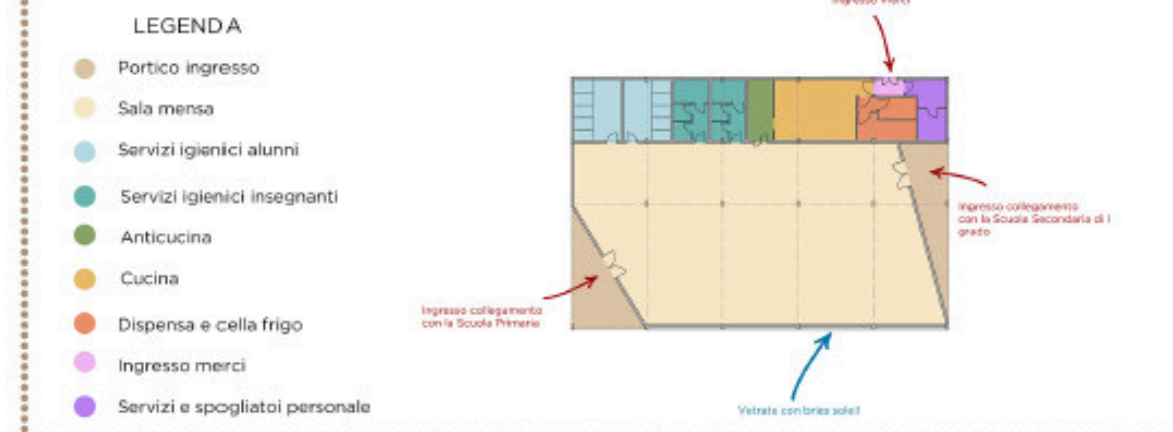
DETTAGLI COSTRUTTIVI



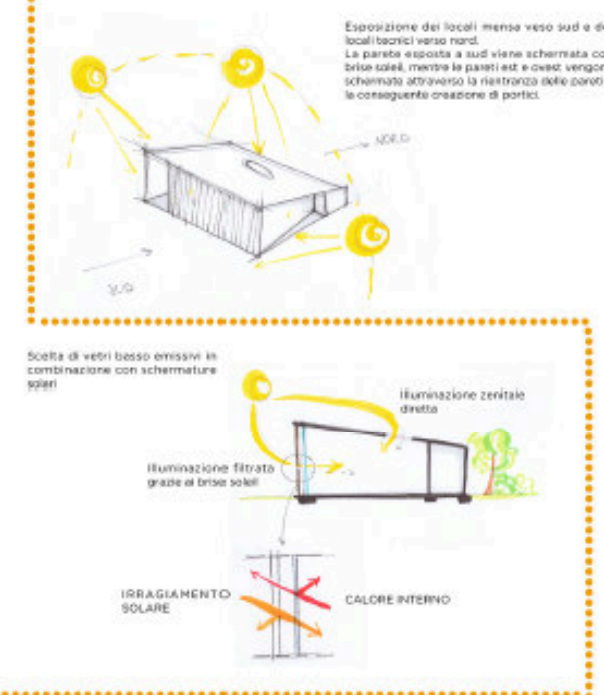
CONCEPT GRAFICO



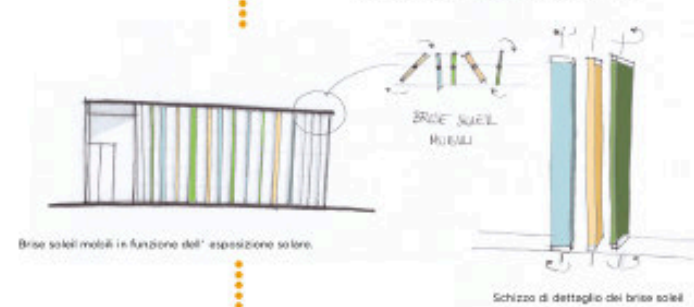
SCHEMA DISTRIBUTIVO E FUNZIONALE DELLA NUOVA MENSA



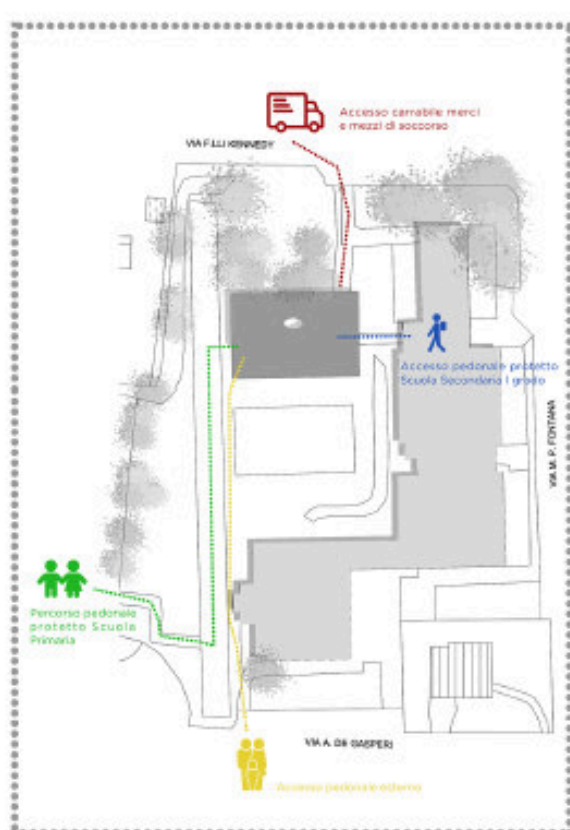
SCHEMI STUDIO ESPOSIZIONE SOLARE



STUDIO DEI BRISE SOLEIL



SCHEMA PLANIVOLUMETRICO E DEI PERCORSI



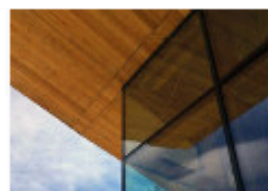
SUGGERIMENTI



Mensa scolastica - Bolzano arch. Francesco Luvè di Catania giunto 2° al concorso di progettazione - 2015



Mensa scolastica di Merano - GGMH Architetti - 2014



Mensa di Amatrice - Stefano Boeri Architetti - 2017



Mensa di Amatrice - Stefano Boeri Architetti - 2017

We project

WeProject s.r.l.

Management for urban development

Via Valsellina, 6
20159 Milano
tel +39 02 48002752
mobile +39 3666274380
l.arenani@weproject.it
www.weproject.it

P. IVA 07077100969

COMUNE DI PALOSCO
Provincia di Bergamo



COMUNE DI PALOSCO (BG)
Piazza Castello
24050 Palosco (BG)

REALIZZAZIONE DELLA NUOVA MENSA A SERVIZIO DELLA SCUOLA PRIMARIA "SUOR VITAROSA ZORZA" E DELLA SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO "F.LLI TERZI"

Progetto di fattibilità tecnico-economica

02 STATO DI PROGETTO

PROGETTISTI
Ing. Maria Elisabetta
Ing. Matteo Bazzani

A NORMA DI LEGGE QUESTO DOCUMENTO E' DI PROPRIETA' ESCLUSIVA DI WE PROJECT S.R.L. NESSUNA SUA PARTE POTRA' ESSERE UTILIZZATA, RIPRODOTTA O CEDUTA A TERZI SENZA ESPLICTA AUTORIZZAZIONE

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO

3.1 Caratteri geologici e stratigrafici locali

Esulando da una trattazione generale delle caratteristiche litostratigrafiche a più grande scala, non facente parte delle finalità del presente studio, si è fatto maggiormente riferimento alle caratteristiche litostratigrafiche locali, dalle quali dipende la fattibilità delle previsioni di progetto. Dal punto di vista bibliografico l'area si inquadra all'interno di aree denominate "depositi alluvionali di pianura" nell'ambito della Carta Geologica della Provincia di Bergamo – Foglio 3.

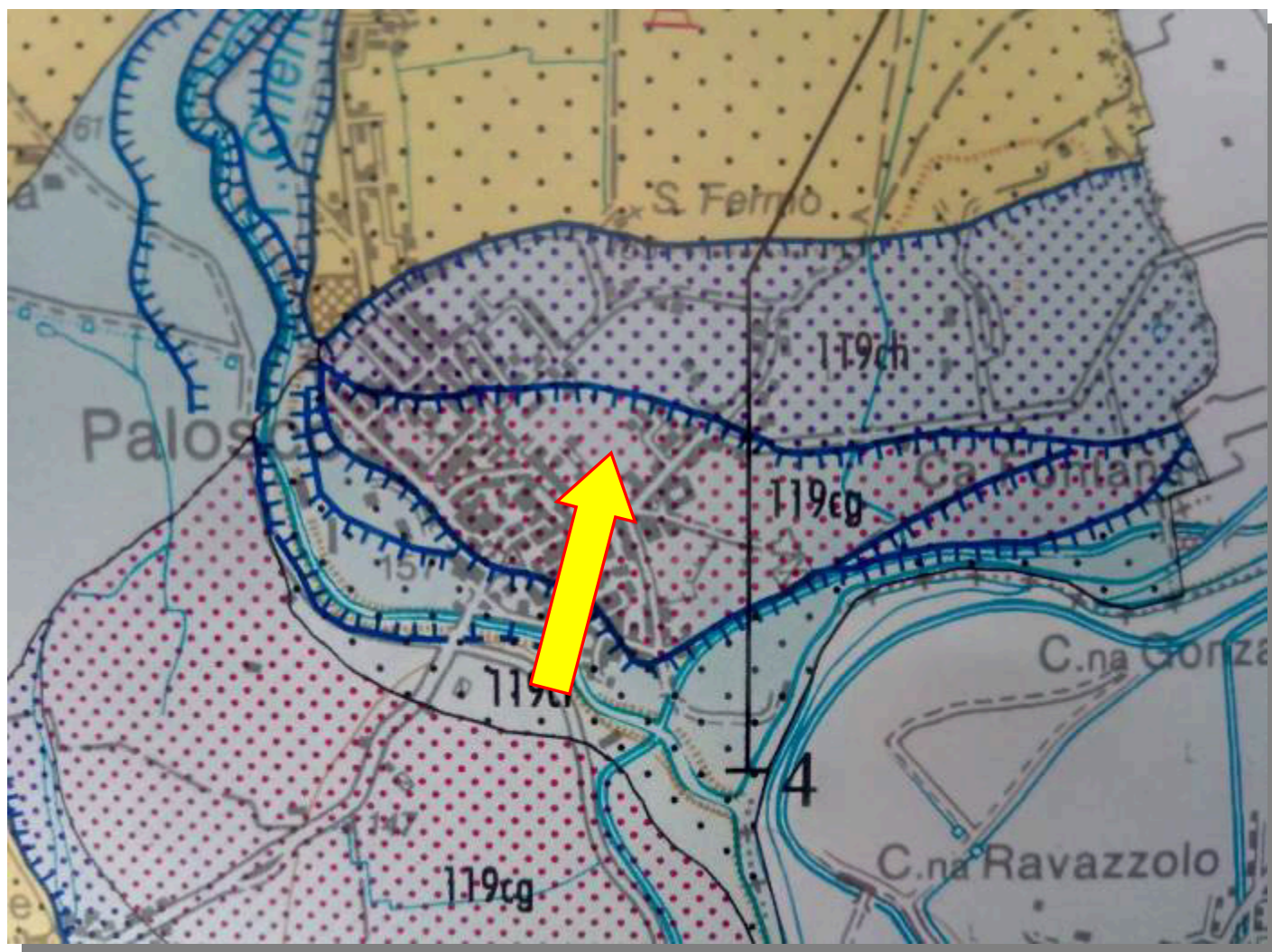
Dalle risultanze delle indagini geognostiche condotte, soprattutto per quanto riguarda lo scavo esplorativo condotto, tale inquadramento geolitologico è confermato: facendo riferimento infatti alla localizzazione dello scavo esplorativo condotto, di seguito indicata sull'estratto planimetrico progettuale, è stata rilevata la presenza di un esiguo spessore di suolo vegetale (30 cm), immediatamente seguito da ghiaie poligeniche sabbiose con ciottoli e blocchi o trovanti.

Tale inquadramento trova generale conferma nella cartografia allegata al PGT comunale, laddove viene segnalato, per la zona immediatamente limitrofa all'area interessata dall'intervento progettuale, la presenza di un orlo di terrazzo morfologico della limitata altezza di circa 2,5 – 3,0 mt.



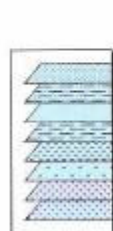
Individuazione dell'orlo di terrazzo morfologico nelle aree immediatamente limitrofe il piano di riferimento sondato

Nell'immagine seguente è riportato l'estratto dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo – Foglio 3.



LEGENDA DEI DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI E NEOGENICI

UNITÀ UBIQUITARIE

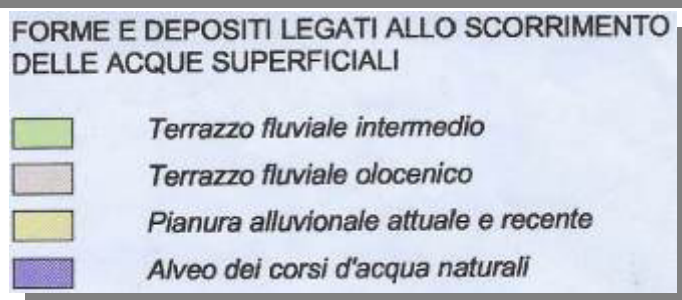


UNITÀ POSTGLACIALE (119)

- 119a) depositi di versante.
 - 119b) depositi di conoide.
 - 119c) depositi alluvionali.
 - 119d) depositi lacustri, palustri e di torbiera.
 - 119e) depositi glaciali.
 - 119cf) depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Entisuoli.
 - 119cg) depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Inceptisuoli.
 - 119ch) depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Inceptisuoli rubefatti o da Alfisuoli poco espressi.
- Morfologie ancora in evoluzione. *PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE*

Estratto dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo – Foglio 3

Nell'immagine seguente invece è riportato l'estratto dalla Carta Geomorfologica allegata al PGT comunale, a cura del Dott. Geol. A. Ferrario (Giugno 2008), nella quale si conferma il corretto inquadramento geomorfologico.



Estratto dalla Carta Geomorfologica allegata al PGT comunale: l'area di interesse si pone immediatamente al di sotto del Terrazzo Fluviale Intermedio (in verde), i corrispondenza dei depositi alluvionali del Terrazzo Fluviale Olocenico

Dal punto di vista geologico e geomorfologico non sono previste situazioni ostative rispetto alla realizzazione dell'intervento progettuale: nei capitoli seguenti sono esplicitati il modello geologico ed i valori caratteristici dei terreni cui fare riferimento ai fini del dimensionamento delle opere fondazionali delle strutture previste.

4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO

4.1 Caratteristiche idrografiche generali

Dal punto di vista della idrografia superficiale, l'area in esame si colloca tra il fiume Oglio ad est e il fiume Serio ad ovest, che in tale settore della pianura bergamasca distano tra loro circa 7,5 km. L'area pertanto ricade prevalentemente nel bacino idrografico dell'Oglio Sublacuale, tuttavia il settore occidentale fa parte del bacino del Serio.

L'Oglio trae origine dalla confluenza dei torrenti Frigidolfo e Narcanello, alla quota di 1375 m s.m. in comune di Ponte di Legno; esso attraversa la Vai Camonica, costituisce immissario ed emissario del Lago d'Iseo, ed infine, dopo un percorso di 280 Km, si versa nel Po presso Gazzuolo.

Il fiume è caratterizzato da un bacino di circa 1842 kmq e presenta dei serbatoi naturali e artificiali il cui volume complessivo ammonta a circa 104 M di mc. Esso è il secondo corso d'acqua della provincia di Bergamo per portata, che mediamente è di circa 58 mc/s calcolati su base annua; i deflussi sono controllati principalmente dalla diga di Sarnico, che ha una capacità di regolazione di 85,4 milioni di mc.

Appena al di fuori del territorio di Palosco si segnala la presenza di due dighe di competenza della Direzione Generale Opere Pubbliche e Protezione Civile della Regione Lombardia, ubicate nei comuni di Palazzolo sull'Oglio, in località Prati, e Pontoglio, in località Campiveri. La loro altezza è rispettivamente di 4 e 3 m, e il volume dell'invaso è di 45000 e 15000 mc. Nel comune di Palosco si segnala la presenza di una centrale a bassa caduta e portata di 25 mc/s.

L'andamento del fiume in senso NE-SO all'uscita dal Sebino, che contrasta con quello degli altri corsi d'acqua della zona, viene attribuito al risultato di una cattura fluviale per erosione di testata unitamente all'azione di altri fattori coagenti come l'esistenza dell'anfiteatro Sebino ad est dell'attuale tracciato. La presenza in alveo di conglomerati ha condizionato l'impostazione del primo sbocco del corso d'acqua in area pedemontana e l'evolversi delle successive fasi deposizionali ed erosive.

Il fiume Oglio per diversi tratti rappresenta il limite comunale SE di Palosco e descrive un'ansa cambiando direzione da est ad ovest a N-S; a sud dell'abitato vi è la confluenza del torrente Cherio con il fiume stesso.

L'area di indagine è attraversata da altri tre corsi d'acqua naturali oltre al fiume Oglio che sono i torrenti: Cherio, Rillo e Tirna; il torrente Zerra lambisce infine il settore occidentale della superficie comunale.

Il fiume Oglio e il torrente Cherio costituiscono comunque di gran lunga i due corsi d'acqua principali presenti nell'area di indagine.

Il torrente presenta un andamento meandriforme con una direzione all'incirca NNE-SSO. Esso definisce in particolare tre anse dove, durante le piene, il torrente alimenta maggiormente la sottostante falda freatica. Il corso del Cherio nel settore settentrionale risulta discretamente anastomizzato fino all'altezza del ponte sulla S.S. Ogliese. A sud del ponte, invece, a seguito delle opere di regimazione idraulica (brigliatura e arginatura) realizzate nei primi anni '80, il torrente presenta un unico alveo.

Il Cherio, emissario del lago di Endine, è uno dei principali corsi d'acqua che scorrono sul territorio della bergamasca, ed ha una lunghezza di circa 29,6 km dal lago alla confluenza con il fiume Oglio, in cui si immette nel territorio comunale di Palosco. Lungo l'asta del Cherio affluiscono alcuni torrenti di cui i principali sono il Tadone, il Malmera ed il Tina.

In comune di Gorlago, l'opera di presa delle rogge Bolgare, Gorlaga e Castrina, gestite dal Consorzio di Bonifica, consente di derivare dal Cherio una portata di concessione di 1,2 mc/s, che nella stagione estiva si riduce a 0.5-0,8 mc/s,

Il torrente Rillo, che ha origine dalla zona collinare di Grumello del Monte, risulta intubato in corrispondenza del suddetto centro abitato; esso scorre in direzione all'incirca NNE-SSO per confluire nel fiume Oglio a sud della località Ca' Fontana, in comune di Palosco. Nell'ambito del territorio comunale esso presenta un alveo pensile, ovvero sopraelevato rispetto alla pianura circostante, fino al limite meridionale della Cava Bosco.

Poco prima dell'immissione nell'Oglio, è stato costruito un manufatto in cls armato che passa al di sopra della Roggia Sale. Tale opera, che risulta sottodimensionata, è anche caratterizzata da un carente stato di manutenzione e in occasione di eventi alluvionali intensi potrebbe addirittura essere distrutta.

Il torrente Prua costituisce il corso d'acqua di maggior rilevanza del territorio di Chiuduno; esso nasce in località Fontane nella Valle del Fico, a NE del summenzionato centro abitato, attraversa il territorio di Telgate e quindi confluisce nel Cherio all'altezza del ponte sulla S.S. 573, nel settore settentrionale del territorio di Palosco.

I torrenti Rilo e Tirna sono caratterizzati da una portata non costante, che risente notevolmente dell'apporto delle precipitazioni meteoriche.

Appena al di fuori del limite comunale occidentale scorre un ulteriore corso d'acqua denominato torrente Zerra; esso viene incanalato artificialmente in corrispondenza di Mornico al Serio, e l'andamento meandriforme del corso d'acqua naturale è rettificato in tratti orientati prevalentemente in direzione N-S, alternati a più brevi tratti in senso E-O. Il torrente Zerra, per lunghi tratti artificializzato, viene utilizzato per l'irrigazione delle campagne attraversate fino a disperdersi in parte confluendo in altre rogge, e venendo quindi canalizzato nel Fosso Bergamasco nella zona di Romano di Lombardia.

Il fiume Oglio e i torrenti sopra citati rientrano nell'elenco dei corsi d'acqua facenti parte del reticolo idrico principale, ai sensi della DGR 25 gennaio 2002, N.717868. L'Oglio viene identificato dal codice BG191, mentre ai torrenti Cherio, Rillo, Tirna e Zerra corrispondono rispettivamente le sigle alfanumeriche BG192, BG145, BG144 e BG132.

L'andamento idrografico della zona è caratterizzato anche dalla presenza di una fitta rete di rogge e canali. La costruzione sia dei canali che di rogge è tipica di tutta la pianura bergamasca e ad essi è affidata la distribuzione delle acque di irrigazione.

L'alimentazione dei suddetti canali è affidata ai corsi d'acqua e, almeno nella bassa pianura, ai fontanili. I "fontanili" o "risorgive" sono emergenze della falda freatica in corrispondenza di locali depressioni della superficie topografica in gran parte artificiali o comunque modificate antropicamente. Spesso difatti sono escavazioni artificiali, di dimensioni variabili, realizzate per captare le acque sorgive naturali ed utilizzarle per l'irrigazione. Tale sistema irriguo è notevolmente diffuso nella pianura lombarda e piemontese e sembra risalga, nelle prime forme, alla seconda metà del XII secolo. Numerosi fontanili stanno tuttavia andando incontro a fenomeni di compromissione irreversibile e di totale scomparsa dovuti a interrimenti, inquinamenti, discariche di rifiuti, che ne hanno rapidamente ridotto il numero.

Dal punto di vista idrogeologico, l'origine dei fontanili è dovuta alla progressiva diminuzione delle dimensioni dei materiali alluvionali, da materiali prevalentemente granulari a terreni più fini. La presenza di livelli impermeabili o semi-impermeabili in prossimità della superficie topografica determina infatti una risalita delle acque della prima falda.

A partire dalla seconda metà del secolo scorso, il continuo aumento della quantità di acqua emunta dai pozzi per uso industriale ha provocato in molti casi un marcato abbassamento della falda freatica e una migrazione verso sud del limite settentrionale della fascia dei fontanili. Nel settore di pianura compreso tra l'Oglio e il Serio, la "linea dei fontanili" precedentemente si sviluppava grossomodo all'altezza di Martinengo e Palosco, cosicché anche alcune risorgive presenti nella zona in esame e in quelle limitrofe attualmente risultano estinte o asciutte.

Nella zona in esame non sono presenti segmenti idrografici superficiali che interferiscono con la previsioni progettuali, per cui l'assetto idrografico locale è compatibile con il progetto di nuova costruzione.

4.2 Caratteristiche idrografiche locali

La superficie interessata dall'iniziativa progettuale è localizzata all'interno del nucleo urbano del Comune di Palosco, nell'ambito di un'area non oggetto di presenza di alcun segmento idrografico di rilievo.

Per quanto riguarda lo strumento regionale del PGRA (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni), sono state effettuate le opportune verifiche di compatibilità rispetto alla versione più aggiornata del PGRA stesso (versione 2022, relativa al sessennio 2022-2027): Il PGRA, che ha come finalità la riduzione delle conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, costituisce variante alle Norme di Attuazione (NdA) del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), con la quale viene introdotto un nuovo Titolo V contenente "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)". Ciò al fine di tener conto dei nuovi elementi conoscitivi in base ai quali sono state redatte le Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni.

Come di seguito riportato in un estratto cartografico aggiornato al 2022 del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), l'area in esame risulta esclusa da qualsiasi area a rischio idrogeologico, rischio in questo caso confinato nelle aree perfluviali del torrente Cherio, del torrente Rillo e del Fiume Oglio.

Le previsioni progettuali risultano quindi compatibili e conformi.

4.3 Caratteristiche idrogeologiche

Relativamente alle caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale, si esula da una trattazione più generale a scala comunale e si riporta l'inquadramento idrogeologico a scala locale. Da quanto riportato nella componente geologica del PGT, i terreni interessati dal progetto risultano inquadrati all'interno di aree di affioramento di depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi di pianura, che costituiscono un acquifero di tipo freatico. In generale, i valori piezometrici della soggiacenza della falda locale mostrano una graduale decrescita da NNW verso SSE, passando da quote assolute di circa 150 mt s.l.m. nella zona più settentrionale a circa 130 mt s.l.m. in corrispondenza del settore meridionale del territorio comunale. L'andamento piezometrico infatti, ricalca l'andamento del tetto della base impermeabile dell'acquifero freatico, la quale risulta appunto orientata da NW verso SE tra Palosco e Civate.

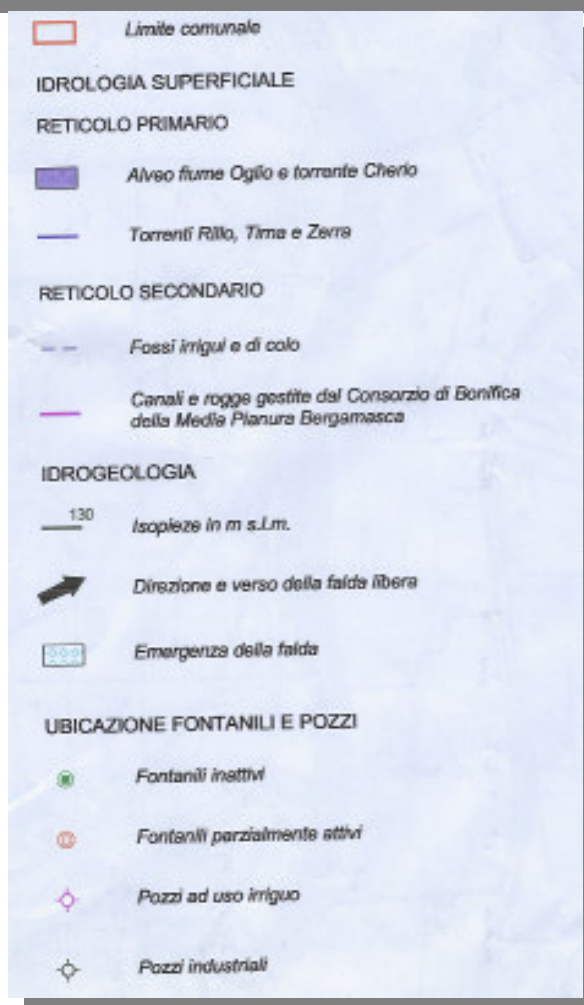
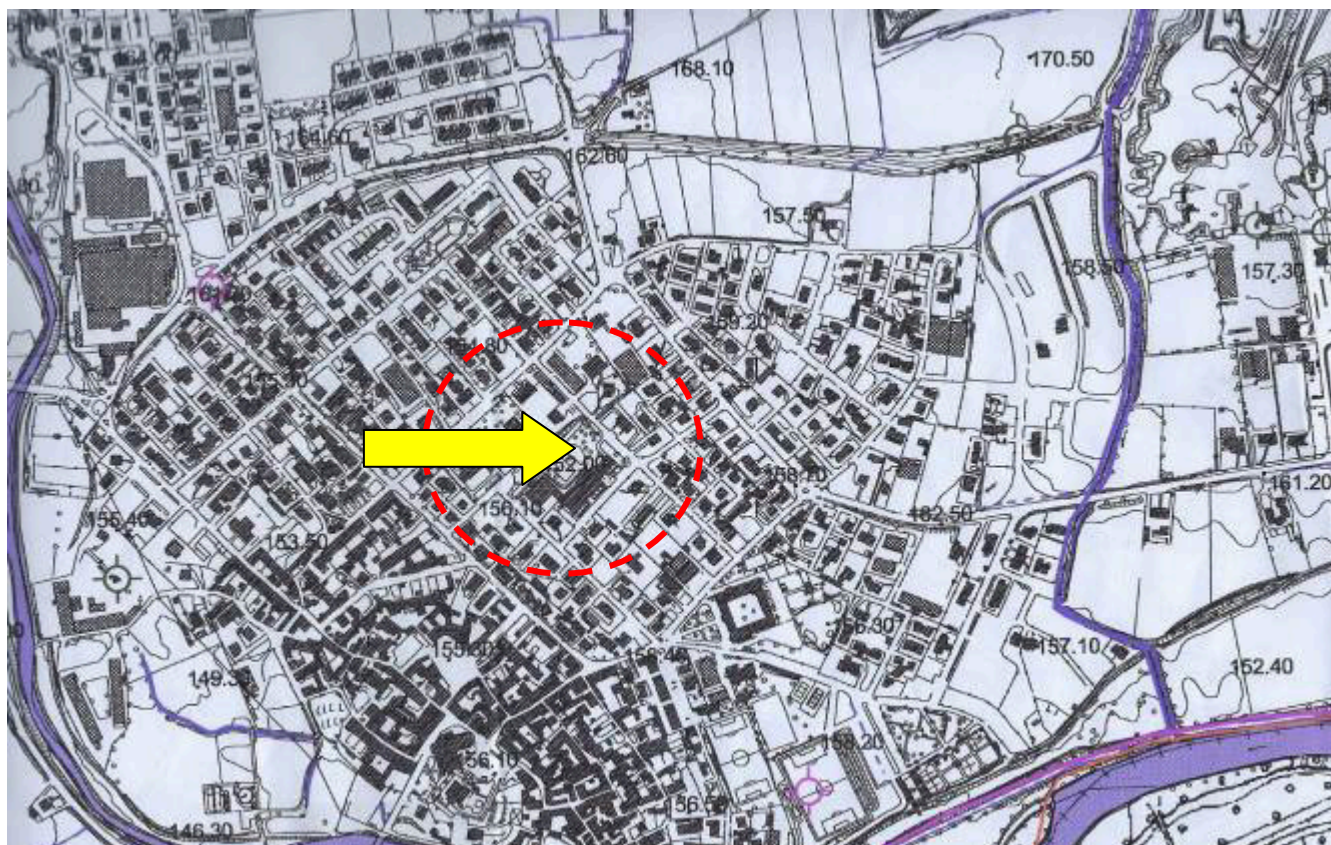
I terreni sondati con scavo esplorativo hanno mostrato una granulometria tipica delle ghiaie eterogenee con sabbia, ciottoli e blocchi, orientativamente con un'alto valore di permeabilità.



Granulometria dei depositi ghiaiosi soggiacenti le aree di progetto

La ricostruzione dell'andamento idrogeologico del territorio comunale in corrispondenza delle aree di progetto viene riportata nell'estratto dalla Carta Idrogeologica allegata al PGT comunale: in essa è evidenziato che anche relativamente alle aree urbane quali quella oggetto di indagine esiste continuità dell'acquifero freatico, costituito dai suddetti terreni granulari e la soggiacenza locale minima in corrispondenza dell'area di progetto è pari a circa -10 mt dal p.c., mentre le fluttuazioni stagionali portano ad una soggiacenza massima pari a -15 mt dal p.c. locale.

Di seguito l'estratto dalla Carta idrogeologica con relativa legenda a cura del Dott. Geol. A. Ferrario (Giugno 2008).



Estratto dalla Carta Idrogeologica allegata al PGT comunale

4.4 Valutazione del rischio di liquefazione dei terreni

Per quanto riguarda la verifica di cui alle NTC 2018 (verifica alla possibilità di liquefazione dei terreni), al paragrafo 7.11.3.4.2 è ribadito che tali analisi possono essere omesse in presenza di uno dei seguenti casi:

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

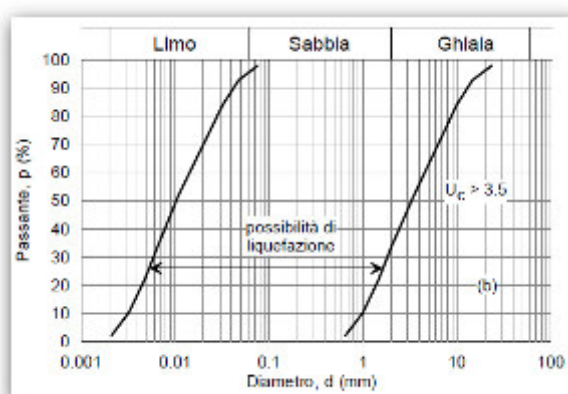
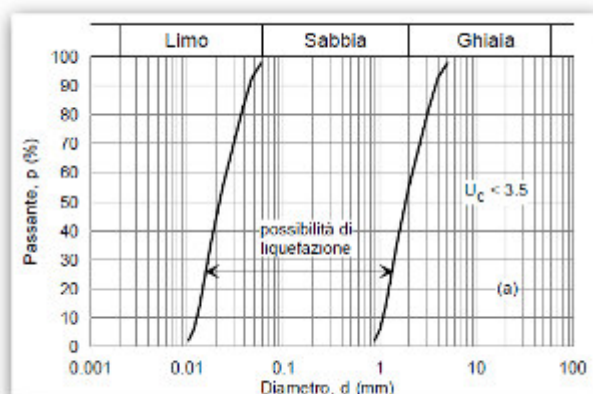
DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

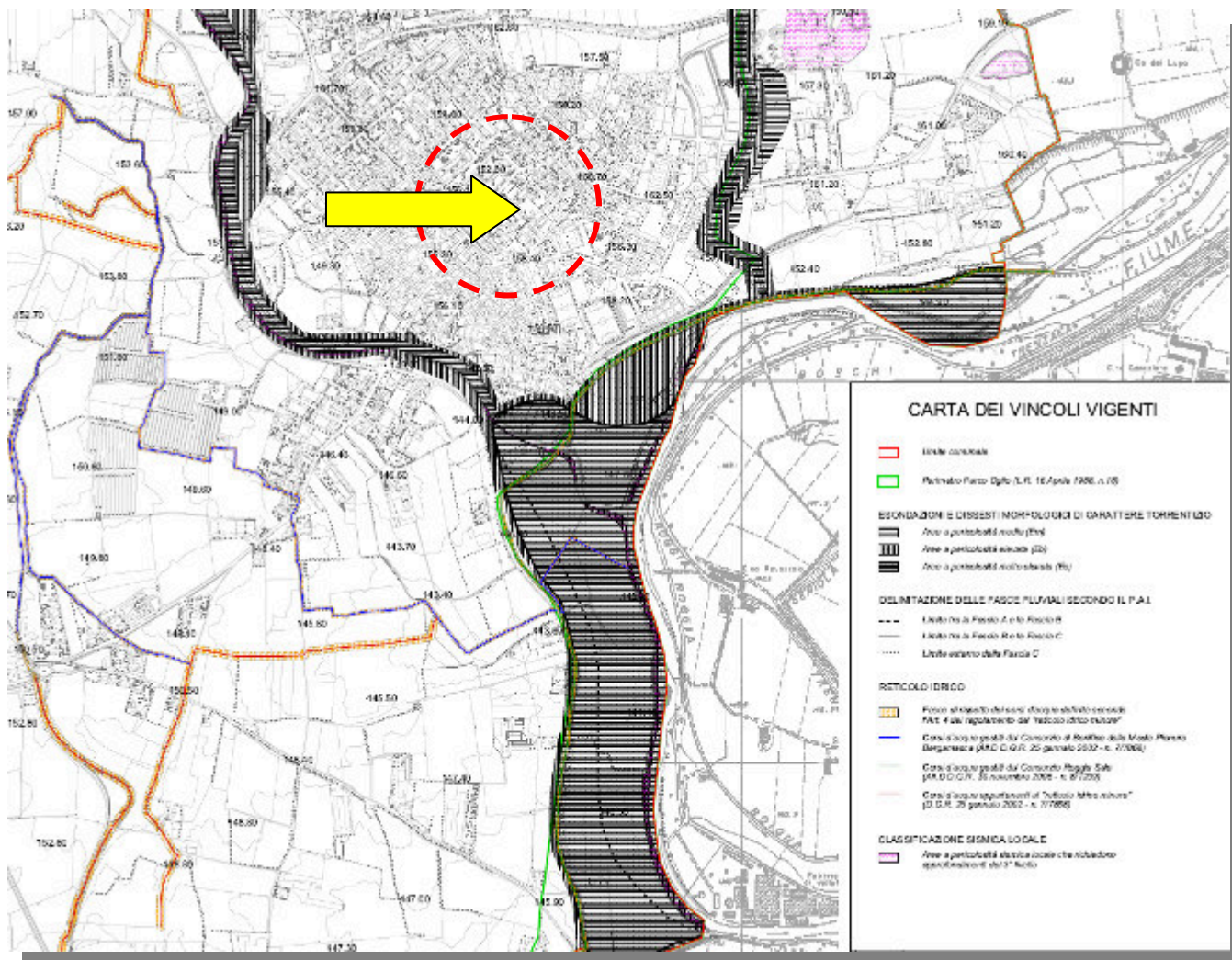


Dal punto di vista della possibilità della liquefazione dei terreni di fondazione esiste almeno una condizione che esclude in questo specifico caso tale possibilità:

- la condizione escludente si riferisce alla granulometria dei materiali costituenti il sottofondo esaminato, escludibile dal fuso granulometrico suscettibile di liquefazione in quanto costituita prevalentemente da ghiaie grossolane e ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi, ben diversi dalle granulometrie più sensibili al fenomeno della liquefazione, più francamente sabbiose ed in condizioni di saturazione d'acqua.

5. CONFORMITA' CON LA COMPONENTE GEOLOGICA DEL P.G.T. COMUNALE

Per quanto riguarda le previsioni di progetto dell'area in rapporto alla componente geologica del PGT comunale sono state elaborate le specifiche valutazioni sulla congruità delle stesse rispetto alle limitazioni introdotte dallo studio geologico comunale. In particolare è stato valutato quanto previsto dal progetto in rapporto alla "CARTA DEI VINCOLI VIGENTI" allegata al PGT comunale a cura del Dott. Geol. A. Ferrario (Giugno 2008).



Estratto dalla Carta dei Vincoli e relativa legenda

Per le aree di progetto in rapporto alla perimetrazione di aree vulnerabili dal punto di vista idraulico valgono le considerazioni finali riportate nel precedente paragrafo 4.2 (lista degli interventi ammissibili in aree vulnerabili dal punto di vista idraulico). Per quanto riguarda la vincolistica vigente in corrispondenza dell'area in esame, l'estratto cartografico evidenzia l'assenza di alcun tipo di vincolo ostativo. Le previsioni progettuali sono quindi compatibili con la situazione vincolistica locale.

In questo caso la limitazione per vulnerabilità alta della falda non rappresenta di fatto una limitazione (la realizzazione delle opere progettuali determinerà la trasformazione locale del suolo con una diminuzione consistente della permeabilità superficiale e quindi della vulnerabilità), bensì conferma la più che buona capacità di infiltrazione dei terreni nei confronti delle acque superficiali (quindi per una elevata permeabilità), funzionale allo smaltimento delle acque derivanti dalle coperture di progetto in accordo con il progetto di invarianza idraulica che verrà redatto a corredo del progetto generale.

The topographic map displays the study area with various elevation contours. A red dashed circle is drawn around a central point, and a yellow arrow points to this center. The map includes contour lines with numerical values such as 153.80, 155.30, 156.10, 156.20, 156.40, 156.50, 156.60, 156.70, 156.80, 156.90, 157.00, 157.10, 157.20, 157.30, 157.40, 157.50, 157.60, 157.70, 157.80, 157.90, 158.00, 158.10, 158.20, 158.30, 158.40, 158.50, 158.60, 158.70, 158.80, 158.90, 159.00, 159.10, 159.20, 159.30, 159.40, 159.50, 159.60, 159.70, 159.80, 159.90, 160.00, 160.10, 160.20, 160.30, 160.40, 160.50, 160.60, 160.70, 160.80, 160.90, 161.00, 161.10, 161.20, 161.30, 161.40, 161.50, 161.60, 161.70, 161.80, 161.90, 162.00, 162.10, 162.20, 162.30, 162.40, 162.50, 162.60, 162.70, 162.80, 162.90, 163.00, 163.10, 163.20, 163.30, 163.40, 163.50, 163.60, 163.70, 163.80, 163.90, 164.00, 164.10, 164.20, 164.30, 164.40, 164.50, 164.60, 164.70, 164.80, 164.90, 165.00, 165.10, 165.20, 165.30, 165.40, 165.50, 165.60, 165.70, 165.80, 165.90, 166.00, 166.10, 166.20, 166.30, 166.40, 166.50, 166.60, 166.70, 166.80, 166.90, 167.00, 167.10, 167.20, 167.30, 167.40, 167.50, 167.60, 167.70, 167.80, 167.90, 168.00, 168.10, 168.20, 168.30, 168.40, 168.50, 168.60, 168.70, 168.80, 168.90, 169.00, 169.10, 169.20, 169.30, 169.40, 169.50, 169.60, 169.70, 169.80, 169.90, 170.00, 170.10, 170.20, 170.30, 170.40, 170.50, 170.60, 170.70, 170.80, 170.90, 171.00, 171.10, 171.20, 171.30, 171.40, 171.50, 171.60, 171.70, 171.80, 171.90, 172.00, 172.10, 172.20, 172.30, 172.40, 172.50, 172.60, 172.70, 172.80, 172.90, 173.00, 173.10, 173.20, 173.30, 173.40, 173.50, 173.60, 173.70, 173.80, 173.90, 174.00, 174.10, 174.20, 174.30, 174.40, 174.50, 174.60, 174.70, 174.80, 174.90, 175.00, 175.10, 175.20, 175.30, 175.40, 175.50, 175.60, 175.70, 175.80, 175.90, 176.00, 176.10, 176.20, 176.30, 176.40, 176.50, 176.60, 176.70, 176.80, 176.90, 177.00, 177.10, 177.20, 177.30, 177.40, 177.50, 177.60, 177.70, 177.80, 177.90, 178.00, 178.10, 178.20, 178.30, 178.40, 178.50, 178.60, 178.70, 178.80, 178.90, 179.00, 179.10, 179.20, 179.30, 179.40, 179.50, 179.60, 179.70, 179.80, 179.90, 180.00, 180.10, 180.20, 180.30, 180.40, 180.50, 180.60, 180.70, 180.80, 180.90, 181.00, 181.10, 181.20, 181.30, 181.40, 181.50, 181.60, 181.70, 181.80, 181.90, 182.00, 182.10, 182.20, 182.30, 182.40, 182.50, 182.60, 182.70, 182.80, 182.90, 183.00, 183.10, 183.20, 183.30, 183.40, 183.50, 183.60, 183.70, 183.80, 183.90, 184.00, 184.10, 184.20, 184.30, 184.40, 184.50, 184.60, 184.70, 184.80, 184.90, 185.00, 185.10, 185.20, 185.30, 185.40, 185.50, 185.60, 185.70, 185.80, 185.90, 186.00, 186.10, 186.20, 186.30, 186.40, 186.50, 186.60, 186.70, 186.80, 186.90, 187.00, 187.10, 187.20, 187.30, 187.40, 187.50, 187.60, 187.70, 187.80, 187.90, 188.00, 188.10, 188.20, 188.30, 188.40, 188.50, 188.60, 188.70, 188.80, 188.90, 189.00, 189.10, 189.20, 189.30, 189.40, 189.50, 189.60, 189.70, 189.80, 189.90, 190.00, 190.10, 190.20, 190.30, 190.40, 190.50, 190.60, 190.70, 190.80, 190.90, 191.00, 191.10, 191.20, 191.30, 191.40, 191.50, 191.60, 191.70, 191.80, 191.90, 192.00, 192.10, 192.20, 192.30, 192.40, 192.50, 192.60, 192.70, 192.80, 192.90, 193.00, 193.10, 193.20, 193.30, 193.40, 193.50, 193.60, 193.70, 193.80, 193.90, 194.00, 194.10, 194.20, 194.30, 194.40, 194.50, 194.60, 194.70, 194.80, 194.90, 195.00, 195.10, 195.20, 195.30, 195.40, 195.50, 195.60, 195.70, 195.80, 195.90, 196.00, 196.10, 196.20, 196.30, 196.40, 196.50, 196.60, 196.70, 196.80, 196.90, 197.00, 197.10, 197.20, 197.30, 197.40, 197.50, 197.60, 197.70, 197.80, 197.90, 198.00, 198.10, 198.20, 198.30, 198.40, 198.50, 198.60, 198.70, 198.80, 198.90, 199.00, 199.10, 199.20, 199.30, 199.40, 199.50, 199.60, 199.70, 199.80, 199.90, 200.00, 200.10, 200.20, 200.30, 200.40, 200.50, 200.60, 200.70, 200.80, 200.90, 201.00, 201.10, 201.20, 201.30, 201.40, 201.50, 201.60, 201.70, 201.80, 201.90, 202.00, 202.10, 202.20, 202.30, 202.40, 202.50, 202.60, 202.70, 202.80, 202.90, 203.00, 203.10, 203.20, 203.30, 203.40, 203.50, 203.60, 203.70, 203.80, 203.90, 204.00, 204.10, 204.20, 204.30, 204.40, 204.50, 204.60, 204.70, 204.80, 204.90, 205.00, 205.10, 205.20, 205.30, 205.40, 205.50, 205.60, 205.70, 205.80, 205.90, 206.00, 206.10, 20

Estratto dalla Carta della Fattibilità geologica e relativa legenda

CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA



Limite comunale

CLASSE 2 - Fattibilità con modeste limitazioni

Aree nelle quali sono state rilevate puntuali o ridotte condizioni limitative alla modifica di destinazione d'uso dei terreni.



Sottoclasse 2a - aree interessate da problematiche idrogeologiche



Sottoclasse 2a1 - aree interessate da problematiche idrogeologiche con vulnerabilità della falda da media a medio-alta



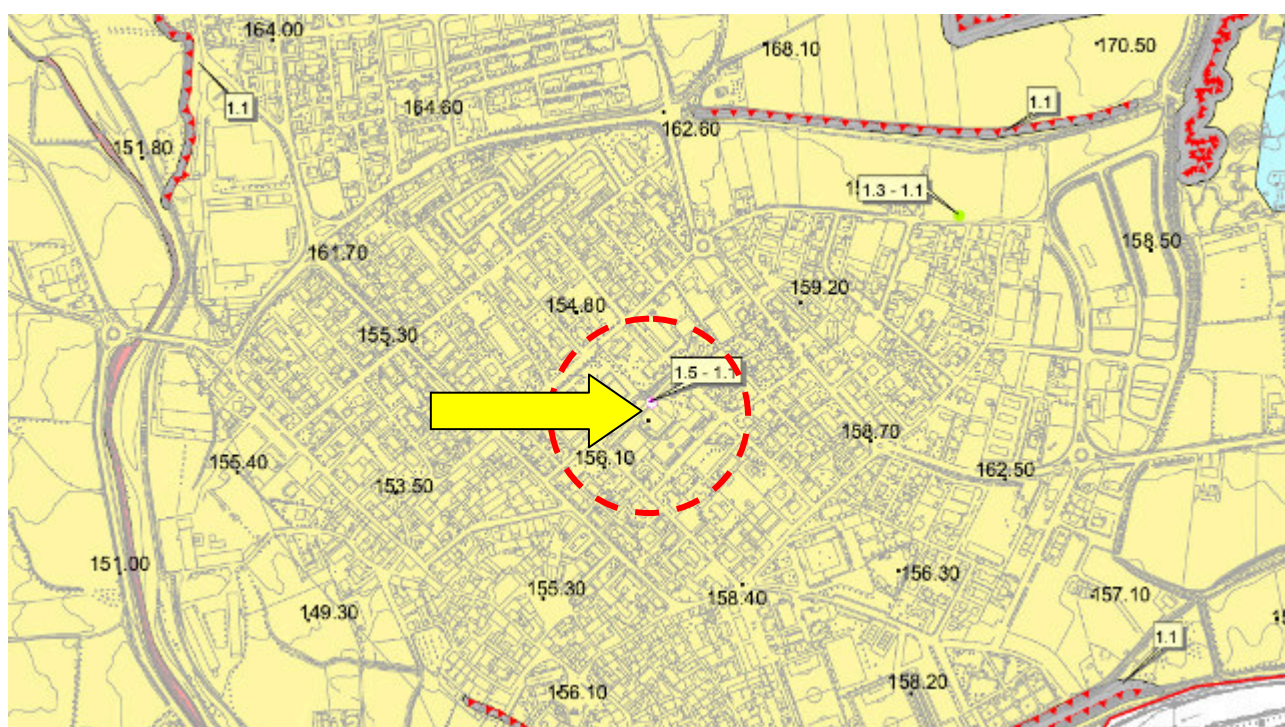
Sottoclasse 2a2 - aree interessate da problematiche idrogeologiche con vulnerabilità della falda alta



Sottoclasse 2b - aree interessate da problematiche geotecniche


Anche in questo caso, per quanto riguarda la Fattibilità Geologica valgono le considerazioni finali riportate nel precedente paragrafo 4.2 (lista degli interventi ammissibili in aree vulnerabili dal punto di vista idraulico ed idrogeologico). Le previsioni progettuali sono quindi compatibili con la fattibilità geologica.





Per quanto riguarda infine l'inquadramento dell'area di interesse rispetto alla pericolosità sismica locale, si è fatto riferimento alla "Carta di Pericolosità Sismica Locale o PSL" allegata al PGT comunale (estratto di seguito allegato): in essa l'area di interesse si colloca all'interno dello scenario sismico Z4 (possibile amplificazione di tipo litologico) di tipo a ("zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionale e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi").




CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

 *Limite comunale*


 **PUNTI INDAGINE** *Ubicazione dei punti di indagine geofisica con indicazione del valore di F_a calcolato*

	SIGLA	SCENARIO DI PSL	EFFETTI	LIVELLO
	Z1c	zone potenzialmente franose o esposte a rischio di frana	instabilità	3°
	Z2	zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti	cedimenti e/o liquefazioni	3°
	Z3a	zone di ciglio ($H > 10m$)	amplificazioni topografiche	2°
	Z4a	zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	amplificazioni litologiche e geometriche	2°

ELEMENTI MORFOLOGICI

 **CIGLIO** *Ciglio di scarpata con altezza superiore a 10 m*

AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE

 *Aree a pericolosità sismica locale con $F_a <$ fattore di soglia*

Per quanto riguarda la possibile amplificazione sismica di tipo litologico, si faccia riferimento al paragrafo 7.6, nell'ambito del quale sono esplicitati i valori dei fattori di amplificazione litologica locale basati sui calcoli e sulle misure sismiche effettuate in posto.

Nella componente geologica comunale, i fattori di amplificazione calcolati per il sito per i periodi di 0,1-0,5 sec e di 0,5-1,5 sec sono pari rispettivamente a 1,5 ed 1,1.

Come di seguito verificato, i fattori di amplificazione litologica calcolati (F_a) per il sito in esame sono inferiori ai valori soglia comunali (F_s) per il terreno di classe C verificato.

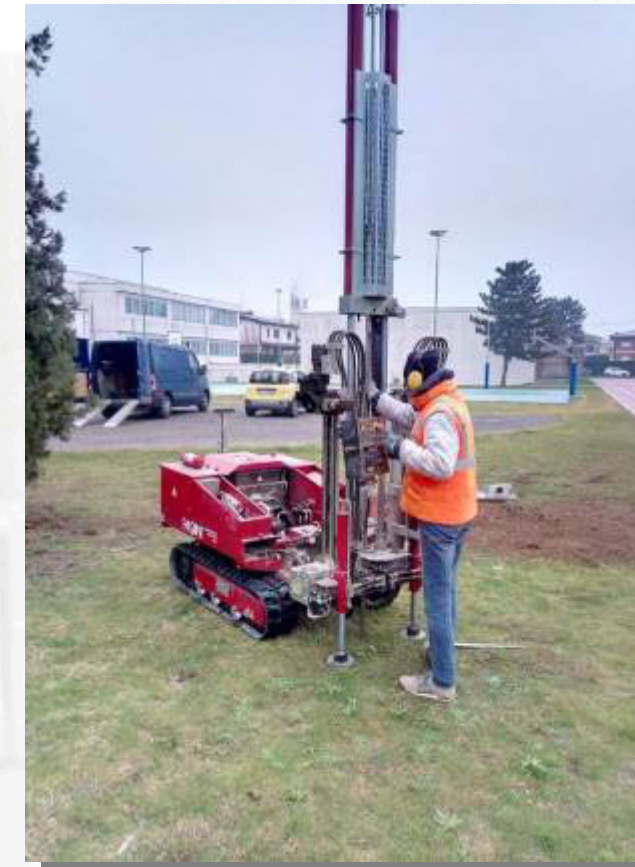
6. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE CONDOTTE IN SITO

La localizzazione planimetrica delle indagini geognostiche condotte è riportata nell'estratto planimetrico progettuale di seguito allegato, riportante la posizione rispettivamente della prova penetrometrica, del saggio con escavatore e delle misurazioni sismiche a stazione singola.

6.1 Saggio con escavatore

Ai fini della verifica visiva dell'assetto dei primi metri del sottosuolo locale è stato eseguito un saggio con escavatore. Questo ha permesso l'importante verifica dell'andamento della stratigrafia dei primi metri di sottosuolo al fine di calibrare anche la prova penetrometrica dinamica condotta.

Le risultanze grafiche dello scavo esplorativo, unitamente alle riprese fotografiche sono riportate di seguito all'estratto planimetrico.



NUOVA MENSA SCUOLA PRIMARIA E SCUOLA SECONDARIA I GRADO Comune di Polseio (BG)			
Locale	Sup. mensa esistente nella Scuola Secondaria [mq]	Sup. post intervento [mq]	RESIDUO (DIFFERENZA) 18/12/1975 [mq]
Sala mensa	319,5	396,7	Area minima di Primaria 0,70 mq Area minima Secondaria di 6 0,50 mq/
Locale cucina	0	36	
Anticucina per il lavaggio delle stoviglie	0	10,5	
Dispensia e cella frigo	0	18,2	
Spogliatoio e servizi igienici per il personale	0	14,85	Alunni prev.
Servizi igienici per gli alunni e gli insegnanti	0	72,8	
Ingresso di servizio per scarico merci	22	3,55	
Portico d'ingresso	0	57,3	Superficie min.
Tot. area mensa		340,5	600

La nuova struttura verrà adibita a mensa scolastica dedicata alla Scuola Primaria, in quanto all'interno dell'edificio non esiste una mensa scolastica, e alla Scuola Secondaria di I grado in quanto si prevede di dismettere l'attuale refettorio sito al piano interrato dell'edificio. La nuova mensa avrà una superficie di circa 1.000 mq, con l'aggiunta di un'altra mensa di 600 mq per gli alunni della Scuola Secondaria di I grado, per un totale di 600 mq.



PEN: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SCAV: SCAVO ESPLORATIVO
SISM: INDAGINE SISMICA A STAZIONE SINGOLA

Scavo esplorativo 1 (SCAV 1)



Stratigrafia in corrispondenza di SCAV 1:

- p.c. / - 0,30 mt: suolo argilloso bruno
- 0,30 mt / -5,1 mt: Ghiaie grossolane con sabbia, ciottoli e blocchi



Scavo esplorativo 1: granulometria delle ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi campionate

In corrispondenza dello scavo esplorativo sono state campionate le ghiaie sabbiose poligeniche appartenenti alla litologia delle alluvioni fluvioglaciali locali. L'analisi granulometrica del campione di ghiaie è stata realizzata allo scopo di poter stimare con metodo indiretto la permeabilità delle stesse, in vista del progetto di invarianza idraulica che sarà redatto nell'ambito delle previsioni progettuali, secondo quanto dettato dagli artt. 12 comma 1 lett.a) e art.6, comma 3, lett a) del Regolamento Regionale del 23 novembre 2017 – n°7, da successiva D.G.R. N°XI/1526 del 15.04.2019) e successivo Testo coordinato del Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n.7 (BURL S.O. n.51 del 21 dicembre 2019).

6.1.1 Stima della permeabilità del deposito ghiaioso-sabbioso alluvionale locale

Per quanto riguarda la stima della permeabilità del deposito ghiaioso-sabbioso alluvionale locale, è stata dapprima effettuata una analisi granulometrica del campione eseguito in corrispondenza dello scavo esplorativo (SCAV 1).

Per quanto riguarda la stima della permeabilità esistono in letteratura numerose correlazioni empiriche che permettono di stimare la permeabilità di un mezzo poroso, passando attraverso l'analisi della curva granulometrica. Tutte, per semplicità, vengono espresse nella forma:

$$K(m/s) = \frac{g}{\nu} C \phi(n) d_e^2$$

dove:

g	=accelerazione di gravità=9,81 (m/s ²);
ν	=coefficiente di viscosità dell'acqua, variabile in funzione della temperatura, secondo la seguente tabella:

Per quanto riguarda il coefficiente di viscosità, questo è in funzione della temperatura:

T (°C)	0	5	10	15	20	30	50
ν (mq/s)	1,78 10 ⁻⁶	1,52 10 ⁻⁶	1,31 10 ⁻⁶	1,14 10 ⁻⁶	1,01 10 ⁻⁶	0,81 10 ⁻⁶	0,55 10 ⁻⁶

C	= costante;
φ(n)	= funzione della porosità del terreno;
d_e	= diametro efficace dei granuli.

Le formule presentate differiscono fra loro per i diversi valori adottati delle grandezze C, φ(n) e d_e.

Si ricorda infine che la porosità del terreno può essere stimata in prima approssimazione attraverso la relazione empirica:

$$n = 0,255(1 + 0,83^\eta)$$

dove η= d₆₀/d₁₀ è il coefficiente di uniformità del terreno.

Con riferimento quindi all'analisi granulometrica riportata in precedenza, si può procedere alla determinazione del coefficiente di uniformità η e, conseguentemente, alla porosità $n = 0,255(1 + 0,83^\eta)$:

$$\eta = d_{60}/d_{10} \quad \Rightarrow \quad 30,56$$

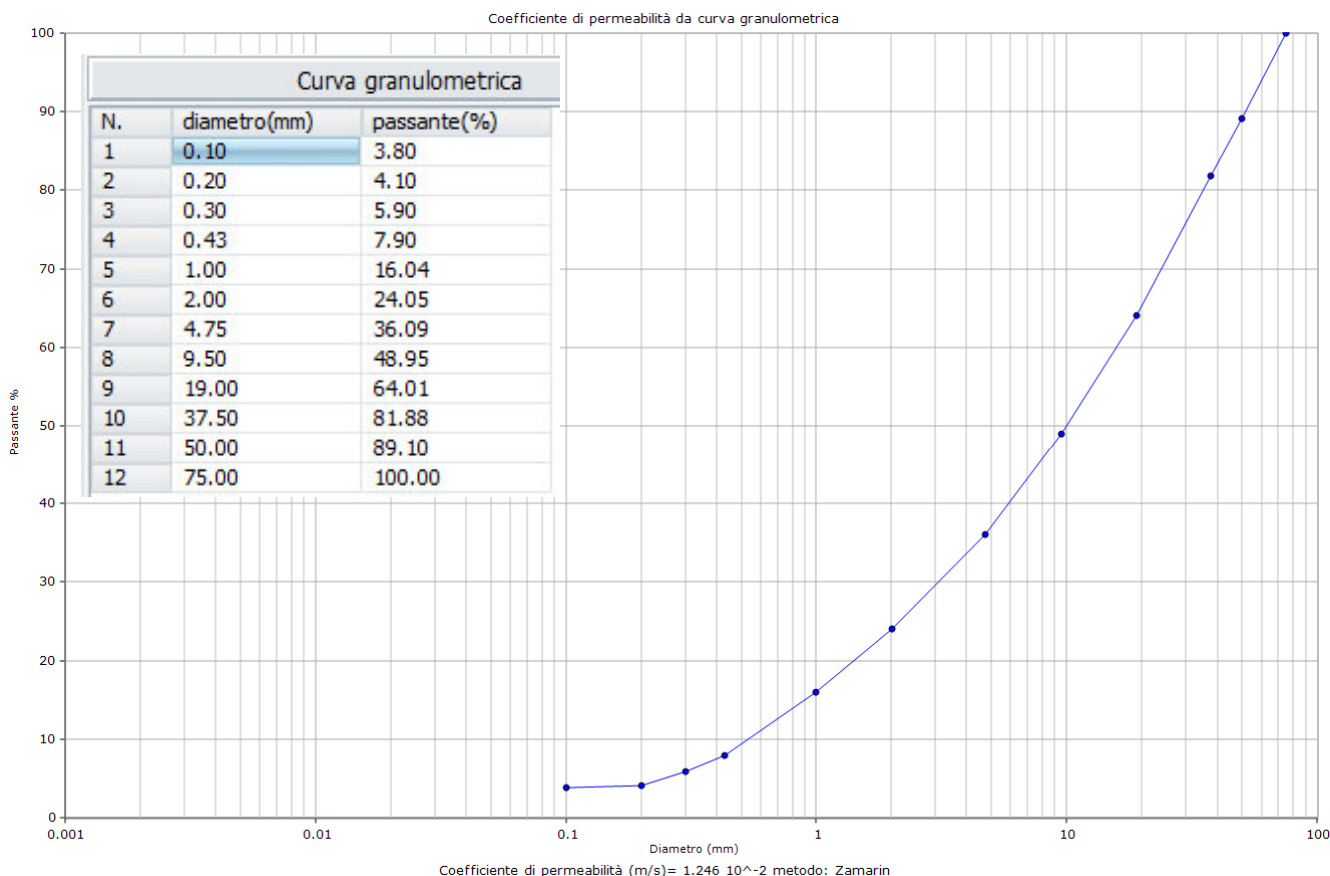
$$n = 0,255(1 + 0,83^\eta) = 0,2558$$

La formula utilizzata in questo caso è la Formula di Zamarin. Nella formula le grandezze da introdurre nella relazione di calcolo di K assumono i seguenti valori:

C	$= 8,3 \cdot 10^{-3}$
$\phi(n)$	$= \frac{n^3}{(1-n)^2} (1,275 - 1,5n)^2$
$1/d_e$	$= \frac{3}{2} \frac{\Delta g_i}{d_i} + \sum \Delta g_i \frac{\ln d_i^g - \ln d_i^d}{d_i^g - d_i^d}$ dove Δg_i è la frazione di peso del campione compresa fra il diametro maggiore e minore (d_i^g e d_i^d) dei granuli del passante i-esimo

La formula è applicabile nel caso di sabbie grossolane. L'applicazione del metodo descritto porta ad una stima delle permeabilità del substrato locale pari a **$K = 1,246 \times 10^{-2} \text{ m/sec}$**

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva relativa al calcolo effettuato:



Coefficiente di permeabilità (m/s) = $1.246 \cdot 10^{-2}$ metodo: Zamarin

6.2 Prove penetrometriche dinamiche

Come preventivato in fase iniziale, è stata organizzata una indagine geognostica dell'area di progetto, consistente in una indagine diretta di tipo penetrometrico dinamico; la scelta di eseguire prove penetrometriche dinamiche è stata condizionata dalla previsione secondo la quale i terreni locali erano litologicamente inquadrati come di tipo granulare (sottofondo ghiaioso alluvionale).

La prova penetrometrica dinamica è stata eseguita in corrispondenza dell'angolo nord occidentale dell'area esaminata e dell'edificio di progetto, su area vergine a prato, al limitare della pista da corsa.

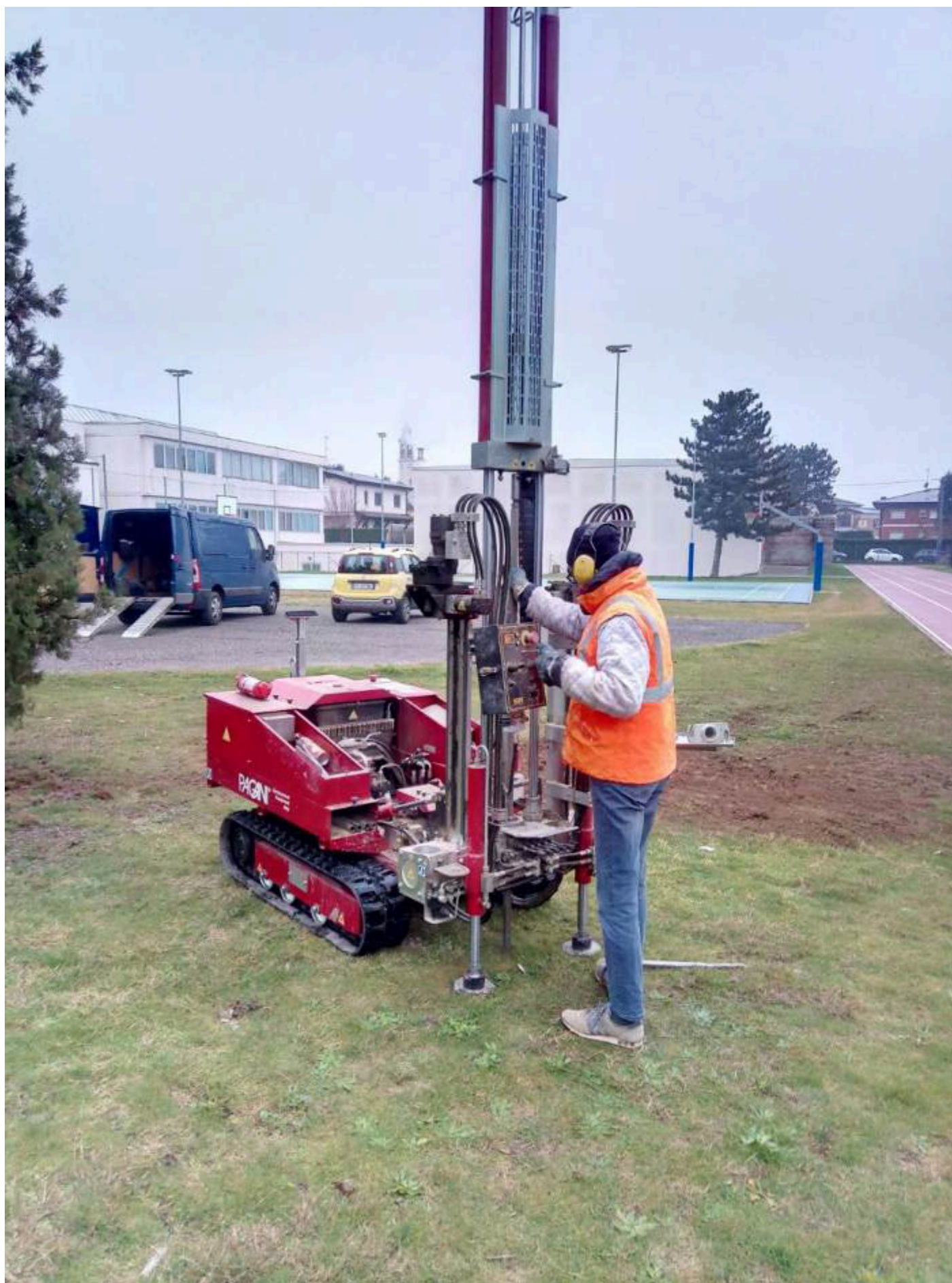
La prova penetrometrica è stata condotta con il duplice scopo di stimare i valori caratteristici dei terreni di fondazione, nonché di "ancorare" i dati della successiva indagine indiretta di tipo sismico passivo (HVSr) a stazione singola.

La prova è stata eseguita con penetrometro superpesante PAGANI TG 63/200 (secondo le procedure ISSMF del 1998 ed in conformità alle attuali norme A.G.I.) , con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7 mm
Angolo di apertura punta	60°
Area punta	10 cm ²
Superficie manicotto	150 cm ²
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10



Penetrometro PAGANI TG 63/200



Prova penetrometrica n.1 (PEN 1)

6.2.2 Considerazioni generali sulle risultanze delle prove penetrometriche

Con riferimento alle indagini geognostiche dirette condotte, è stato possibile elaborare un modello geologico locale, confrontandolo con quello desunto dalla lettura delle fonti bibliografiche.

Si riporta di seguito la rappresentazione grafica dell'andamento della prova eseguite in sito.

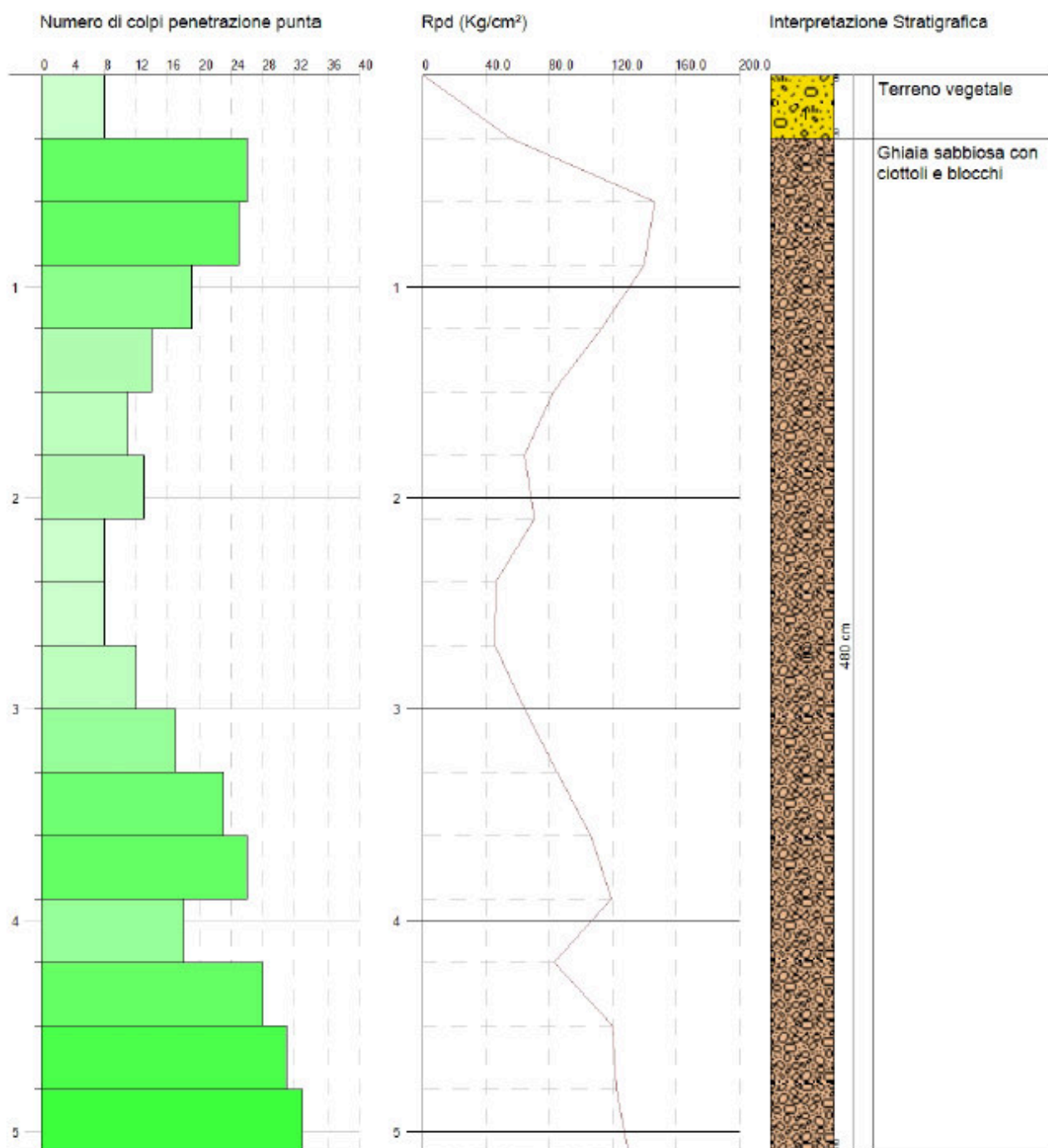
DOTT. GEOL. MARINO MOTTA
Via Quinta Q.re Abba 23 - 25125 Brescia (BS)
Tel/Fax: 030 3732424 Cell.: 348 9017999
Mail: marinoantonio.motta@tin.it PEC: marinomotta@pec.epap.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 1
Strumento utilizzato... SCPT 63-200 PAGANI

Committente:
Descrizione:
Località: Via Kennedy 25 - Palosco (BG)

13/12/2022

Scala 1:30



Nel diagramma sopra riportato (in ascisse la resistenza all'avanzamento di 30 cm della punta del penetrometro, in ordinate la profondità dal piano di prova), viene stimata anche la granulometria dei materiali del sottosuolo attraversato: gli stessi dati di resistenza all'avanzamento della punta penetrometrica, costituiscono i dati di base dai quali stimare e calcolare i principali valori caratteristici dei terreni.

6.4 Il modello geologico locale

Le risultanze delle prove penetrometriche, unitamente ai dati sismici elaborati a partire dalle indagini di sismica passiva (vedi capitolo specifico) confermano evidentemente la natura del sottosuolo locale e permettono di descrivere il modello geologico locale: il contesto geolitologico in cui l'area di progetto si pone risulta localizzato in corrispondenza delle aree di affioramento di "depositi ghiaioso-sabbiosi alluvionali di pianura". Tale inquadramento stratigrafico è già riportato anche nell'estratto dalla Carta Geologica allegata al PGT comunale, riportata nel paragrafo 3.1.

Modello geologico locale

Interpretando i valori della prova penetrometrica (attraverso l'interpretazione stratigrafica secondo Robertson, 1983), nonché la visione diretta del sottofondo in corrispondenza dello scavo esplorativo, si rileva una successione stratigrafica caratterizzata da 0.3 mt di suolo bruno argilloso, successivamente da -0.3 sino a -5.1 mt ghiaie sabbiose poligeniche consistenti con ciottoli e blocchi, che proseguono secondo la letteratura sino ad oltre i 50 mt dal p.c. ; ciò è confermato anche dalla presenza di una importante realtà estrattiva in falda costituita dall'ATE g17 del Comune di Palosco (piano Provinciale Cave della Provincia di Bergamo), la cui attività di estrazione delle ghiaie si spinge a 40 mt dal locale p.c..

Schema Modello geologico in PEN 1

-p.c. / - 0,30 mt: suolo argilloso bruno

-0,30 mt / -50 mt: ghiaie grossolane con sabbia, ciottoli e blocchi

Come già detto, in questa sede si riporta la descrizione della presenza di 2 strati ipotizzabili, anche se dal punto di vista della storia geologica locale (origine del sottosuolo) si potrebbe considerare la presenza di un unico strato ghiaioso-sabbioso, con alternanze di livelli più sabbiosi.

Dalle risultanze numeriche dell'indagine geognostica, soprattutto dai risultati relativi alla prova penetrometrica, è emerso un quadro stratigrafico che non si discosta da quello desunto dalle fonti bibliografiche (Componente geologica allegata al PGT comunale vigente) e che conferma la fattibilità dell'opera, tenendo in considerazione le previsioni progettuali in funzione del livello di substrato considerato.

6.5 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

La prova penetrometrica ed il campionamento eseguito nello scavo hanno fornito dei valori di resistenza all'avanzamento della punta in rapporto all'avanzamento in profondità: tali valori e la loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica, consentono di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con le altre indagini geognostiche per la caratterizzazione stratigrafica. Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della GeoStru Software.

PROVA SCPT 1

Strumento utilizzato... SCPT 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 13/12/2022
 Profondita' prova 5.10 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.30	8	0.853	55.65	65.26	2.78	3.26
0.60	26	0.747	146.84	196.58	7.34	9.83
0.90	25	0.742	140.16	189.02	7.01	9.45
1.20	19	0.786	112.95	143.65	5.65	7.18
1.50	14	0.781	82.69	105.85	4.13	5.29
1.80	11	0.826	64.04	77.50	3.20	3.87
2.10	13	0.772	70.67	91.59	3.53	4.58
2.40	8	0.817	46.06	56.36	2.30	2.82
2.70	8	0.813	45.81	56.36	2.29	2.82
3.00	12	0.809	64.00	79.15	3.20	3.96
3.30	17	0.755	84.62	112.12	4.23	5.61
3.60	23	0.701	106.32	151.70	5.32	7.58
3.90	26	0.697	119.56	171.49	5.98	8.57
4.20	18	0.744	83.00	111.60	4.15	5.58
4.50	28	0.690	119.84	173.60	5.99	8.68
4.80	31	0.637	122.45	192.20	6.12	9.61
5.10	33	0.634	129.72	204.60	6.49	10.23

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.3	8	65.26	Coesivo	0	1.94	2.13	0.03	1.15	9.18	Terreno vegetale
5.1	19.5	132.08	Incoerente	0	2.06	2.0	0.55	1.21	23.63	Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SCPT 1

TERRENI COESIVI (strato 1 – suolo vegetale)

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	Terzaghi-Peck	0.62

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	Robertson (1983)	18.36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	95.42

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	Apollonia	91.80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	Meyerhof	1.94

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	Meyerhof	2.13	

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno vegetale	9.18	0.00-0.30	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	69.61

TERRENI INCOERENTI (strato 2 – ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi)

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Meyerhof 1957	91.21

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	N1,60=0	Wolff (1989) N160	30

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Bowles (1982) Sabbia Media	193.15

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	76.00

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m³)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Terzaghi-Peck 1948	1.63

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità' Volume Saturo (t/m³)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Terzaghi-Peck 1948	2.02

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Ohsaki (Sabbie pulite)	1270.48

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Ohta & Goto (1978) Limi	143.21

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Navfac 1971-1982	4.66

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (2) Ghiaia sabbiosa con ciottoli e blocchi	23.63	0.30-5.10	23.63	Robertson 1983	47.26

**Trattandosi di indagini di tipo puntuale si premette che lo scrivente resta disponibile a verificare, all'atto della esecuzione degli scavi, che le condizioni del sottosuolo qui descritte risultino presenti sull'intera area di interesse. Eventuali difformità da quanto riportato nella presente che venissero rilevate in fase di esecuzione lavori andranno comunicate allo scrivente immediatamente.*

Riassumendo, i valori caratteristici da utilizzare dal progettista delle opere fondazionali saranno quelli relativi al secondo livello (**strato 2**), al netto dello strato 1 (suolo), non adatto come terreno di fondazione.

Escludendo quindi lo strato superficiale di terreno vegetale, si considerino quindi i valori caratteristici seguenti dello strato 2 :

Strato 2:

- | | | |
|---|---|---|
| - | peso dell'unità di volume γ : | 1.630 Kg/mc |
| - | peso dell'unità di volume saturo γ_{saturo} : | 2.020 Kg/mc |
| - | angolo di attrito interno ϕ : | 30° |
| - | modulo di deformazione E_k : | 193 Kg/cm ² (valore più cautelativo) |
| - | comportamento geotecnico: | incoerente |

6.6 Verifica agli stati limite

Gli Stati Limite di una struttura sono condizioni tali per cui, qualora superate, la struttura non soddisfa più determinate esigenze strutturali o funzionali definite in sede di progetto. La progettazione di una struttura deve quindi assicurare il non raggiungimento e superamento di tali Stati Limite durante il periodo di utilizzo dell'opera.

Esistono due principali categorie di Stati Limite:

- **SLU:** Stati Limite Ultimo. Il superamento di uno SLU ha in genere un carattere irreversibile e porta al cosiddetto collasso;
- **SLE:** Stati Limite di Esercizio. Il superamento di uno SLE può avere carattere sia reversibile che irreversibile.

Gli Stati Limite per le azioni sismiche, sviluppati al fine di rendere possibile una più puntuale definizione della pericolosità sismica, sono, in ordine di azione sismica crescente, i seguenti:

- **SLO:** Stato Limite di immediata Operatività. Costituisce il riferimento progettuale per le opere che debbono restare operative durante e subito dopo il sisma, consentendo la fornitura delle prestazioni; si tratta delle opere definite "strategiche" dal punto di vista della resistenza sismica, come ospedali, caserme, centri di protezione civile, ecc;
- **SLD:** Stato Limite di Danno. Permette di limitare l'inagibilità solo temporaneamente nelle condizioni post-sismiche;
- **SLV:** Stato Limite di Salvaguardia della Vita. A seguito del terremoto la costruzione subisce rotture, crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali. La costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- **SLC:** Stato Limite di Prevenzione del Collasso. A seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture, crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali. La costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

6.6.1 Verifica agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (Stati Limite Ultimi), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

Ed: sollecitazione o valore di progetto dell'azione e degli effetti dell'azione;

Rd: *valore di calcolo o di progetto di resistenza del terreno.*

Nelle verifiche di sicurezza devono essere considerati tutti i meccanismi di Stato Limite Ultimi, sia a breve che a lungo termine. Gli SLU delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa. Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio, includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti Stati Limite:

- *SLU di tipo geotecnico (GEO)*
 - *Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;*
 - *collasso per scorrimento sul piano di posa;*
 - *stabilità globale.*
- *SLU di tipo strutturale (STR)*
 - *Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.*

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali per le azioni e i parametri geotecnici e per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati (Tab.d, Tab.e e Tab.g).

APPROCCIO 1	Combinazione 1: A1+M1+R1				
	Combinazione 2: A2+M2+R2				
APPROCCIO 2	Combinazione 1: A1+M1+R3				

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. d. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. e. Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Tab. f. Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Tab. g. Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli SLU di fondazioni superficiali

Nelle verifiche effettuate con l'Approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto. Nel caso in oggetto, per la verifica degli SLU, è stato applicato l'APPROCCIO 2 combinazione 1, secondo quanto indicato nelle NTC 2018, nel quale è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche. Per il calcolo della capacità portante si utilizzano le seguenti formule di **Brinch - Hansen** (1970):

- Per terreni granulari o misti:

$$Rd = \frac{1}{2} * B * \gamma' * N_{\gamma} * s_{\gamma} * i_{\gamma} * b_{\gamma} * g_{\gamma} + c' * N_c * s_c * d_c * i_c * b_c * g_c + q' * N_q * s_q * d_q * i_q * b_q * g_q.$$

- Per terreni coesivi:

$$Rd = c_u * N_c * s_c^0 * d_c^0 * i_c^0 * b_c^0 * g_c^0 + q$$

I calcoli di seguito riportati riguardano la realizzazione del nuovo edificio, per il quale saranno realizzate fondazioni superficiali a travi rovesce, con quota di imposta a circa – 1,1 m da p.c., in corrispondenza dell'Unità geotecnica o Strato 2, in condizioni non drenate e in assenza totale di acqua di falda.

Di seguito si riportano le verifiche agli SLU determinate secondo i valori progettuali forniti dall'ingegnere progettista. Tali verifiche sono state realizzate mediante il Software LOADCAP della GEOSTRU:

VERIFICA FONDAZIONE A TRAVI ROVESCE

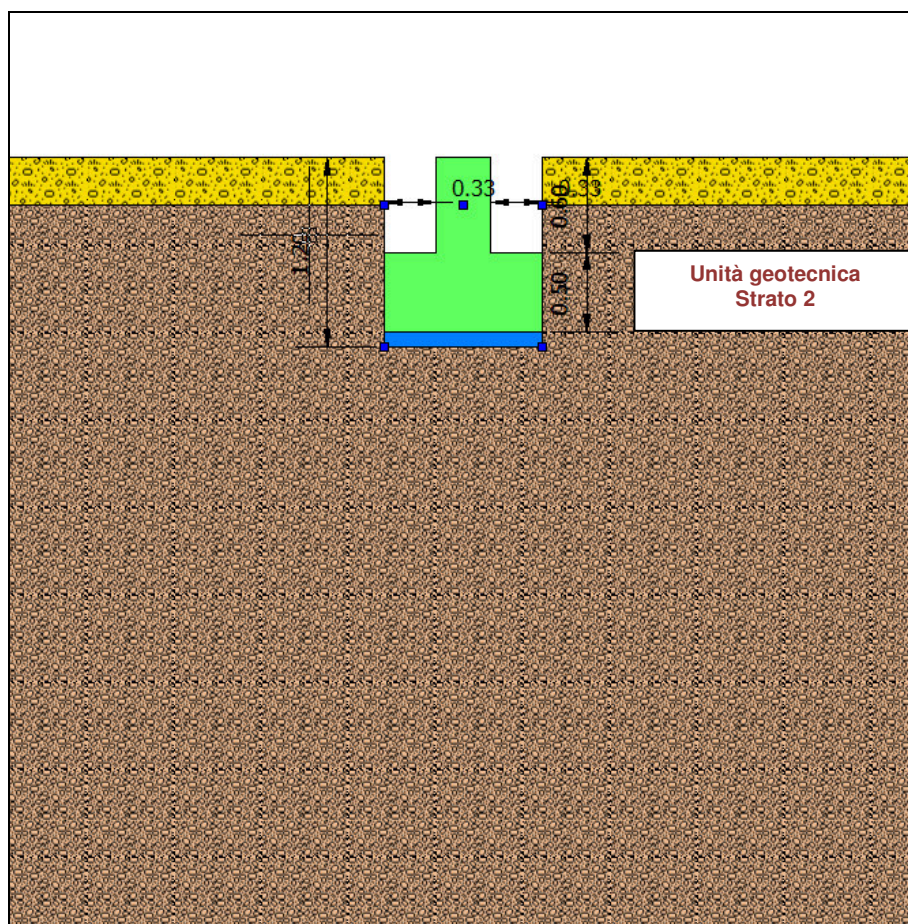


Figura 1. Schematizzazione litostratigrafica e imposta fondazione

VERIFICA 1:

FONDAZIONI CONTINUE A TRAVI ROVESCE (B = 1,0 m, H = 0,5 m), PIANO DI IMPOSTA – 1,1 m da p.c.

Carico massimo su fondazioni continue delle murature portanti

pari a 0,7 Kg/cm² allo SLE (= 1,1 Kg/cm² SLU);

CARICHI DI PROGETTO AGENTI SULLA FONDAZIONE

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm ²]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	A1+M1+R3	1,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	1,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

SISMA + COEFFICIENTI PARZIALI PARAMETRI GEOTECNICI + RESISTENZE

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazioni	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	1,8	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

Nelle tabelle di seguito riportate vengono indicati i valori della resistenza di progetto (Rd) e le condizioni di verifica, per fondazioni continue a travi rovesce, impostate nell'Unità geotecnica o **strato 2**, con caratteristiche geotecniche migliori, ad una profondità di circa 1,1 m da p.c..

XIV.a.a Carico limite fondazione - Combinazione fondamentale (condizioni statiche)

Fondazioni continue a travi rovesce	Condizione	Carico Limite (Qult)	Resistenza di Progetto (Rd)	Tensione (Ed)	Fattore di Sicurezza (Fs=Qult/Ed)	Condizione di verifica (Ed<=Rd)
B = 1,0 m L = 0,5 m	Non drenata	3,6 Kg/cm ²	1,5 Kg/cm ²	1,1 Kg/cm ²	3,3	Verificata

XIV.a.b Carico limite fondazione – combinazione sismica (condizioni dinamiche)

Fondazioni continue a travi rovesce	Condizione	Carico Limite (Qult)	Resistenza di Progetto (Rd)	Tensione (Ed)	Fattore di Sicurezza (Fs=Qult/Ed)	Condizione di verifica (Ed<=Rd)
B = 1,0 m L = 0,5 m	Non drenata	3,4 Kg/cm ²	2,0 Kg/cm ²	1,1 Kg/cm ²	3,1	Verificata

6.6.2 Verifica agli Stati Limite d'Esercizio (S.L.E.)

I principali Stati Limite di Esercizio sono:

- danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possono ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- corrosione e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità.

Nella verifica delle fondazioni è necessario considerare, oltre alla resistenza al taglio dei terreni, anche i cedimenti indotti dal carico applicato, che, se superiori ad un valore critico, potrebbero generare inconvenienti nella struttura. I cedimenti possono essere classificati come:

- cedimenti elastici o immediati: si verificano al momento dell'applicazione del carico e seguono le leggi dell'elasticità. La configurazione strutturale del terreno interessato non cambia, variando solo la deformazione dei granuli a contatto reciproco;

- cedimenti secondari o di consolidazione: si verificano in terreni fini saturi, successivamente all'applicazione del carico per la progressiva espulsione dell'acqua nei pori (drenaggio). Ne consegue una configurazione del terreno interessato più compatta. Seguono le leggi della consolidazione;
- cedimenti terziari per deformazione viscosa: si verificano nei terreni a comportamento reologico e risultano spesso non significativi rispetto ai cedimenti sopra citati.

Per i cedimenti assoluti che nell'ambito della stessa struttura di fondazione si sviluppano con valori diversi in diversi punti della stessa, si parla di **cedimenti differenziali**. Tali cedimenti possono indurre nella struttura di fondazione distorsioni e rotazioni.

La verifica degli Stati Limite di Esercizio implica l'analisi del problema di interazione terreno-struttura, al termine della costruzione e nel tempo. Il grado di approfondimento dell'analisi di interazione terreno-struttura è funzione dell'importanza dell'opera.

Per ciascun Stato Limite di Esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

E_d : valore di progetto dell'effetto delle azioni;

C_d : valore limite dell'effetto delle azioni (da stabilirsi in funzione del comportamento della struttura in elevazione).

XIV.b Calcolo dei cedimenti delle fondazioni superficiali

Per il calcolo dei cedimenti edometrici si utilizza il "*metodo di consolidazione monodimensionale di Terzaghi 1943*".

Se il terreno è normalmente consolidato ($\sigma'_{v0} = \sigma'_p$) le deformazioni avvengono nel tratto di compressione e il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta \sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

dove:

CR: rapporto di compressione;

H_0 : spessore iniziale dello strato;

σ'_{v0} : tensione verticale efficace prima dell'applicazione del carico.

$\Delta \sigma_v$: incremento di tensione verticale dovuto all'applicazione del carico.

I valori di seguito determinati sono riferiti a carichi verticali e centrati con momenti pari a zero, come da indicazioni progettuali.

VERIFICA 1: FONDAZIONI CONTINUE A TRAVI ROVESCE (B = 1,0 m, H = 0,5 m),

PIANO DI IMPOSTA – 1,1 m da p.c.

Fondazioni continue a travi rovesce	Pressione normale di Progetto (SLE)	Profondità piano di posa	Cedimento
<i>B = 1,0 m</i> <i>L = 0,5 m</i>	<i>0,7 Kg/cm²</i>	<i>1,1 m</i>	5 mm

I cedimenti indotti dalla nuova struttura sono quantificabili nei valori sopra riportati. Il cedimento calcolato corrisponde alla sola componente immediata, in quanto quella secondaria viene considerata trascurabile e dovrebbe esaurirsi totalmente nel corso della realizzazione dell'opera, man mano che il terreno viene caricato con l'avanzamento dei lavori, mentre non dovrebbero verificarsi cedimenti differenziali.

Calcolo dei cedimenti delle fondazioni superficiali indotte dal sisma

In terreni granulari le vibrazioni indotte dal sisma possono determinare un aumento del grado di addensamento degli strati posti sotto il piano fondazione. Tale fenomeno si riscontra in terreni che presentano una densità relativa inferiore al 20%.

Nel caso in esame la situazione litostratigrafica riscontrata permette di escludere tale fenomeno.

Costante di sottofondo di Winkler

Rappresenta la relazione che esiste fra la pressione esercitata dal carico in ogni punto della fondazione e la relativa deformazione o cedimento del terreno. Generalmente si considera l'ipotesi che il modulo k sia costante sotto ogni punto della fondazione, come proposto da Winkler. Tale ipotesi si può applicare, naturalmente, solo nel caso di fondazioni rigide, mentre per fondazioni elastiche non è più valida.

Per il calcolo della costante di sottofondo di Winkler si utilizza la formula di Bowles (1974):

$$k(kN/m^3) = 40 \cdot Q \cdot f_c$$

dove:

$f_c = 2,54/\text{cedimento della fondazione (cm)}$;

$Q = \text{carico per il quale è stato calcolato il cedimento (kPa)}$.

Nel caso in esame la **Costante k di Winkler** presenta i valori riportati in tabella.

VERIFICA 1: FONDAZIONI CONTINUE A TRAVI ROVESCE (B = 1,0 m, H = 0,5 m),

PIANO DI IMPOSTA – 1,1 m da p.c.

Fondazioni continue a travi rovesce	Pressione normale di Progetto (SLE)	Cedimento	Costante K di Winkler
<i>B = 1,0 m</i> <i>L = 0,5 m</i>	<i>0,7 Kg/cm²</i>	<i>5 mm</i>	<i>1,5 Kg/cm³</i>

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI LOCALI

7.1 Normativa di riferimento

La normativa di riferimento è costituita dall'O.P.C.M. n. 3274/2003, dal D.M. 159/2005, dall'O.P.C.M. n. 3519/2006 e dal D.M. 17 gennaio 2018 "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

Nell'ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" sono stati definiti i nuovi criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo. In particolare, sono state elaborate le seguenti classificazioni:

- classificazione dei Comuni nazionali, secondo quattro diversi gradi di pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La classificazione prevede 4 zone, numerate da 1 a 4. Le zone 1, 2 e 3 corrispondono rispettivamente alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$), bassa ($S=6$) definite nei decreti emessi fino al 1984, mentre la zona 4 include tutte le aree definite come non classificate.
- classificazione del sottosuolo, in "categorie di suolo di fondazione", basata sulla stima di alcuni parametri fondamentali (V_s , N_{spt} , c_u , profondità del *bedrock*). Ad ogni categoria, sono stati attribuiti i valori dei parametri dello spettro di risposta per la stima delle azioni sismiche di progetto. L'O.P.C.M. 3274/2003 non è mai entrata in vigore, ma le classificazioni sono state riprese nel D.M. 159/2005 e nel D.M. 17/01/2018.

Successivamente nell'Ordinanza n. 3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 2006 sono stati riportati la mappa della pericolosità sismica di riferimento per tutto il territorio nazionale e i valori di a_g orizzontale massima da utilizzarsi per la costruzione degli spettri di risposta, così come riportato nelle precedenti Norme Tecniche per le Costruzioni del 2005 (D.M. 159/2005). Il D.M. 159/2005 è risultato vigente soltanto per pochi giorni, sostituito dall'entrata in vigore (dal 5 marzo 2008, in "regime transitorio") delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018).

Con riferimento al "D.M. 17 gennaio 2018", le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che viene determinata in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale e di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T^*c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

La stima della pericolosità sismica è basata su una griglia di 10751 punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale, ove viene fornita la terna di valori a_g , F_0 e T^*c per nove distinti periodi di ritorno.

La normativa prevede inoltre che vengano definite le categorie di sottosuolo e le condizioni topografiche, brevemente descritte nel seguito.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, basato sull'individuazione delle seguenti categorie di sottosuolo di riferimento.

Il D.M. 14.01.2008 propone come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, il metodo di Borchardt (1994) basato sulla stima del parametro V_{s30} . Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

Sulla base del valore calcolato di V_{s30} vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico.

7.2 Spettro di risposta elastico secondo il D.M. 17 gennaio 2018

Nell'analisi sismica delle strutture si utilizza spesso come riferimento il moto di un oscillatore elastico ad un grado di libertà. Nell'ambito dell'inquadramento sismico locale diventa importante la stima dello spettro di risposta elastico delle accelerazioni del terreno in caso di sisma, in rapporto alle possibili oscillazioni di una struttura di progetto. L'importanza dello spettro di risposta elastico del terreno deriva dal fatto che se, durante un evento sismico, il terreno vibra con periodo che corrisponde a T_0 (primo modo di oscillazione), l'edificio entra in risonanza e subisce un'accelerazione sismica data dal valore di a_g letto in ordinata nello spettro in corrispondenza del periodo T_0 . Si va quindi in questa sede a calcolare il valore caratteristico dello spettro di risposta elastico locale. Nel D.M. 17 gennaio 2018 viene proposto uno spettro di risposta elastico dell'accelerazione, per la componente orizzontale del moto, caratterizzato dal seguente andamento:

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta F_0} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right] \text{ per } 0 \leq T < T_b$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \text{ per } T_b \leq T < T_c$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c}{T} \right) \text{ per } T_c \leq T < T_d$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c T_d}{T^2} \right) \text{ per } T_d \leq T.$$

La grandezza a_g esprime l'accelerazione di picco nel bedrock in g, ricavabile dalle tabelle allegate al D.M. (allegato B). Il parametro η è il fattore di correzione per lo smorzamento viscoso ed è dato da:

$$\eta = \left[\frac{10}{5 + \xi} \right]^{0.5} \geq 0.55.$$

S è una grandezza data dal prodotto:

$$S = S_s S_t$$

dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_t il coefficiente di amplificazione topografico, ricavabili dalle tabelle che seguono.

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 a_g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 a_g \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 a_g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 a_g \leq 1,60$

Le classi A, B, C, D e E si riferiscono alla classificazione del sito da un punto di vista stratigrafico e litologico secondo il D.M. 17 gennaio 2018.

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.	-	1,00
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.	Sommità del pendio	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,40

F_0 è l'amplificazione spettrale massima, su bedrock orizzontale, e ha un valore minimo di 2,2; si ricava, come a_g , dalla tabella allegata al D.M. (allegato B).

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_c = C_c T_c^*$$

in cui T_c^* è un parametro fornito nell'allegato B del D.M., mentre C_c si ottiene, in funzione della categoria del sottosuolo, con la seguente tabella:

Categoria sottosuolo	C_c
A	1,00
B	$1,10(T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,05(T_c^*)^{-0,33}$
D	$1,25(T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,15(T_c^*)^{-0,40}$

I parametri T_b e T_d sono correlati a T_c attraverso le seguenti relazioni:

$$T_b = \frac{T_c}{3}; T_d = 4,0 a_g + 1,6$$

Dallo spettro di risposta elastico dell'accelerazione si ricava lo spettro di risposta dello spostamento, applicando, per ogni periodo T, la relazione:

$$u = a(g)g\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

dove g è l'accelerazione di gravità (981 cm/s²).

Lo spettro di risposta elastico verticale si ottiene con le stesse relazioni viste per quello orizzontale, sostituendo il parametro F₀ con la grandezza F_v, data da:

$$F_v = 1,35F_0a_g^{0,5}.$$

Si ricorda che i parametri a_g, F₀ e Tc* vanno ricavati dall'allegato B del D.M. in funzione del tempo di ritorno (Tr) preso in considerazione. Il parametro Tr viene ricavato dalla seguente relazione:

$$Tr(anni) = -\frac{V_r}{\ln(1 - P_{V_r})};$$

in cui V_r è la vita di riferimento dell'opera e P_{V_r} la probabilità di superamento legata allo stato limite di calcolo.

La vita di riferimento (V_r) dell'opera si ottiene con la formula:

$$V_r(anni) = C_u V_n$$

dove V_n è la vita nominale dell'opera (Tabella I) e C_u un fattore moltiplicativo funzione della classe d'uso della struttura in progetto (Tabella II e III).

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V _N (in anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza	≥50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥100

Tabella I

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n.6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella II

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella III

Il parametro P_{vr} è invece funzione dello stato limite considerato, secondo la seguente tabella:

Stati Limite	P_{vr}
Stato Limite di Operatività (SLO):	0,81
Stato Limite di Danno (SLD):	0,63
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):	0,10
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):	0,05

Tabella IV

Mediante applicazione del software Sicodes ver.1.2 della ProgramGeo s.r.l. si è proceduto al calcolo dello spettro di risposta elastico secondo il D.M. 17 gennaio 2018: si consideri, a tale proposito, quanto segue.

- le categorie di sottosuolo locale risultano di tipo "C" (come evidenziato nelle risultanze delle indagini di sismica passiva condotte in sito);
- la categoria topografica locale risulta la T1;
- il tipo di opera prevede una vita nominale ≥ 50 anni;
- la classe di appartenenza dell'opera è di III classe;
- lo stato limite di esercizio cui si fa riferimento per l'opera è lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Segue una tabella riepilogativa del calcolo per la prova SISM 1:

	Sistema:	WGS84
	Latitudine°	45.5477035
	Longitudine°	10.5456681
	Stato limite	S.L.V.
	Vita nominale opera (anni)	50
	Classe opera	III
	Coef.di smorzamento %	5.0
	Fattore di struttura orizz.le q	3
	Fattore di struttura vert.le qv	1.5
	Categoria sottosuolo	C
	Categoria topografica	T1
	Altezza totale dell'opera (m):	5.5
	Tipo opera:	Opera in c.a.
	Contesto geotecnico:	Fondazione

Stato	agh base(g)	F0	Tc*	agv base(g)	Fv	Tr(anni)	Pr(%)	agh max(g)	agv max(g)
S.L.C.	0.1710	2.48	0.28	0.1710	1.39	975	0.05	0.2472	0.1710
S.L.V.	0.1327	2.43	0.27	0.1327	1.2	475	0.1	0.1990	0.1327
S.L.D.	0.0476	2.39	0.23	0.0476	0.7	50	0.63	0.0713	0.0476
S.L.O.	0.0356	2.42	0.20	0.0356	0.62	30	0.81	0.0534	0.0356

Parametri sismici secondo le NTC2018

khs	kvs	beta	khi	kvi	T(s)
0.059	0.030	0.24	0.204	0.095	0.27
0.048	0.024	0.24	0.161	0.063	0.27
0.014	0.007	0.20	0.171	0.020	0.27
0.011	0.005	0.20	0.129	0.013	0.27

Per la lettura delle soprastanti tabelle si faccia riferimento alla sottostante legenda.

Legenda:	
agh base:	Accelerazione sismica orizzontale di base;
F0:	Max fattore di amplificazione spettrale orizzontale;
Tc*:	Periodo inizio tratto a velocità costante;
agv base:	Accelerazione sismica verticale di base;
Fv:	Max fattore di amplificazione spettrale verticale;
Tr:	Tempo di ritorno;
Pr:	Probabilità di superamento;
agh max:	Accelerazione sismica orizzontale in superficie;
agv max:	Accelerazione sismica verticale in superficie;
khs:	Coefficiente sismico orizzontale del terreno;
kvs:	Coefficiente sismico verticale del terreno;
beta:	Coefficiente di riduzione di agh max.
khi:	Coefficiente sismico orizzontale dell'opera;
kvi:	Coefficiente sismico verticale dell'opera;
T:	Periodo di risonanza dell'opera;

7.3 Tecnica di misurazione e strumentazione

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc..

Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui.

La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un velocimetro triassiale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

- ❑ valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito (risposta sismica locale e suscettibilità alla liquefazione del terreno);
- ❑ ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità e calcolare il parametro V_{s30} ;
- ❑ analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

Una valutazione del parametro V_{s30} può essere condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il velocimetro triassiale. In pratica viene utilizzata la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (V_s):

$$f(Hz) = \frac{V_s}{4h}$$

dove h è la profondità della base dello strato. Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, solitamente il primo, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata. Normalmente i picchi alle alte frequenze (>10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche profonde.

Poiché le inversioni di velocità, cioè il passaggio andando in profondità da livelli veloci a livelli meno veloci, non da origine a picchi nello spettro H/V, queste non possono essere rilevate direttamente. Un indizio della presenza di inversioni di velocità può essere fornito però, indirettamente, dall'andamento dello spettro H/V: ampi intervalli di frequenza in cui costantemente il rapporto H/V si mantiene minore di uno sono spesso associabili a variazioni negative delle velocità con la profondità. Si tenga presente infine che in realtà i microtremori sono costituiti in parte da onde di superficie e non solo quindi da onde di taglio, ma poiché le velocità dei due tipi di oscillazione sono confrontabili la procedura descritta può essere impiegata senza introdurre errori significativi.

7.4 Vulnerabilità sismica delle opere

Per vulnerabilità sismica s'intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma. E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di edificazione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende a aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura. In particolare se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera.

Nel caso di edifici in fase di progettazione o di realizzazione la frequenza di risonanza fondamentale dell'opera può essere valutata con formule semplificate, quale quella indicata nel D.M. 17.01.2018:

$$f_s = \frac{1}{C_1 Z^{\frac{3}{4}}}$$

in cui C_1 è un fattore che dipende dalla tipologia costruttiva.

Tipologia	C_1
Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	0,085
Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato	0,075
Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura	0,050

La relazione è valida per edifici con Z non superiore ai 40 metri e massa distribuita, approssimativamente, in maniera uniforme lungo l'altezza.

Negli edifici esistenti il valore della frequenza fondamentale di risonanza può essere invece misurato direttamente con il velocimetro triassiale. In questo caso è necessario misurare il rapporto H_i/H_0 , dove H_0 è lo spettro della componente orizzontale, lungo X o Y, riferita al piano terra e H_i la stessa componente misurata al piano i-esimo. Nella pratica spesso si eseguono solo due misure, ubicate lungo la stessa verticale, una al piano terra e una all'ultimo piano dell'edificio. Il picco positivo massimo dello spettro H_i/H_0 indica direttamente la frequenza di risonanza fondamentale della struttura.

7.5 Indagini sismiche eseguite e risultati

E' stata condotta una indagine di sismica passiva con strumentazione consistente in un velocimetro triassiale (Echo Tromo HVSR 3).



Tromografo digitale utilizzato mod. ECHO TROMO HVSR 3 (Ambrogeo srl)



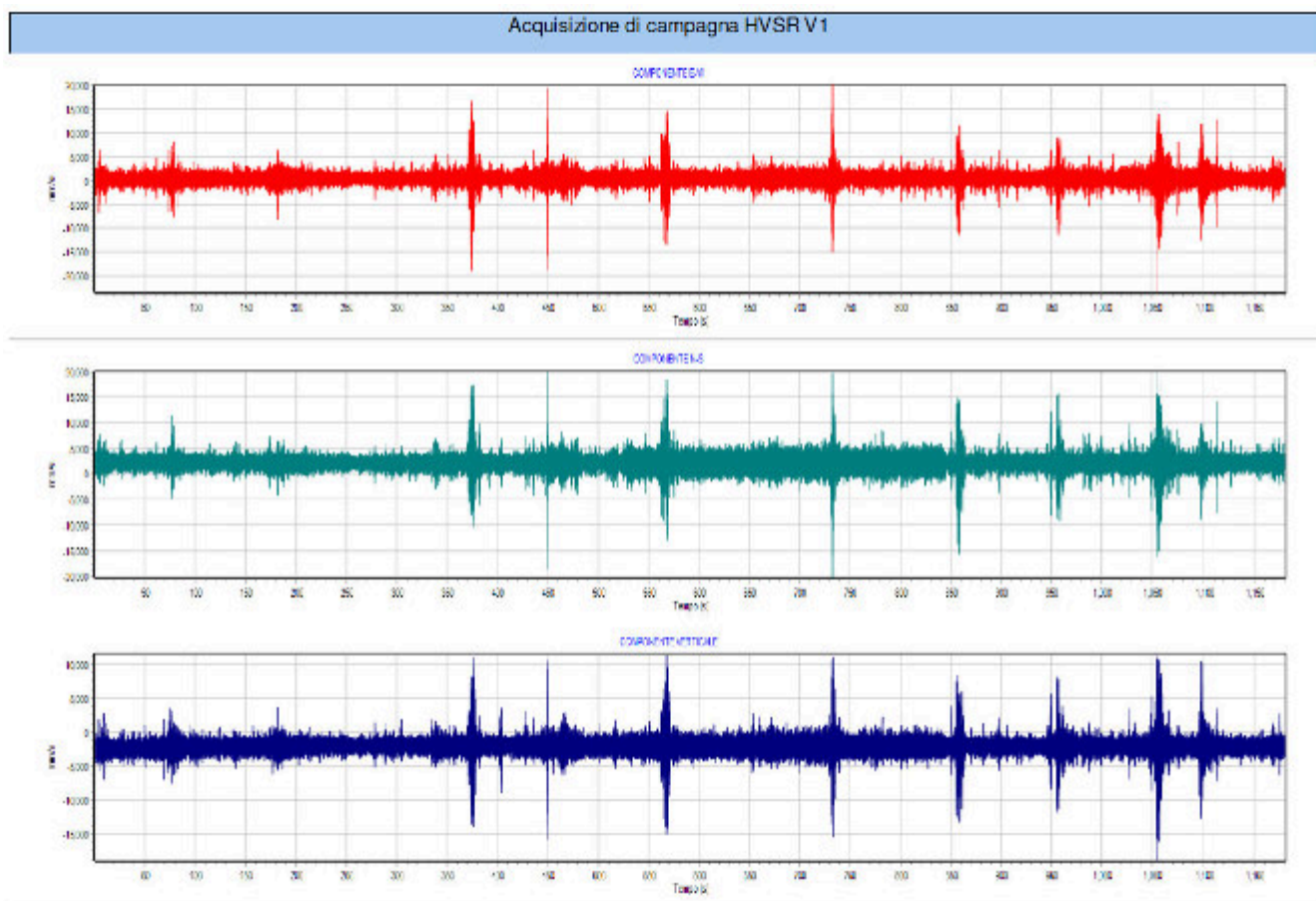
Indagine sismica a stazione singola n.1



Le rilevazioni sismiche sono state confrontate ed “ancorate” ai valori di resistenza riferiti all’avanzamento della punta nella prova penetrometrica, in modo tale da calibrare il profilo nei primi metri di suolo e poterne estrapolare le caratteristiche a profondità maggiori.

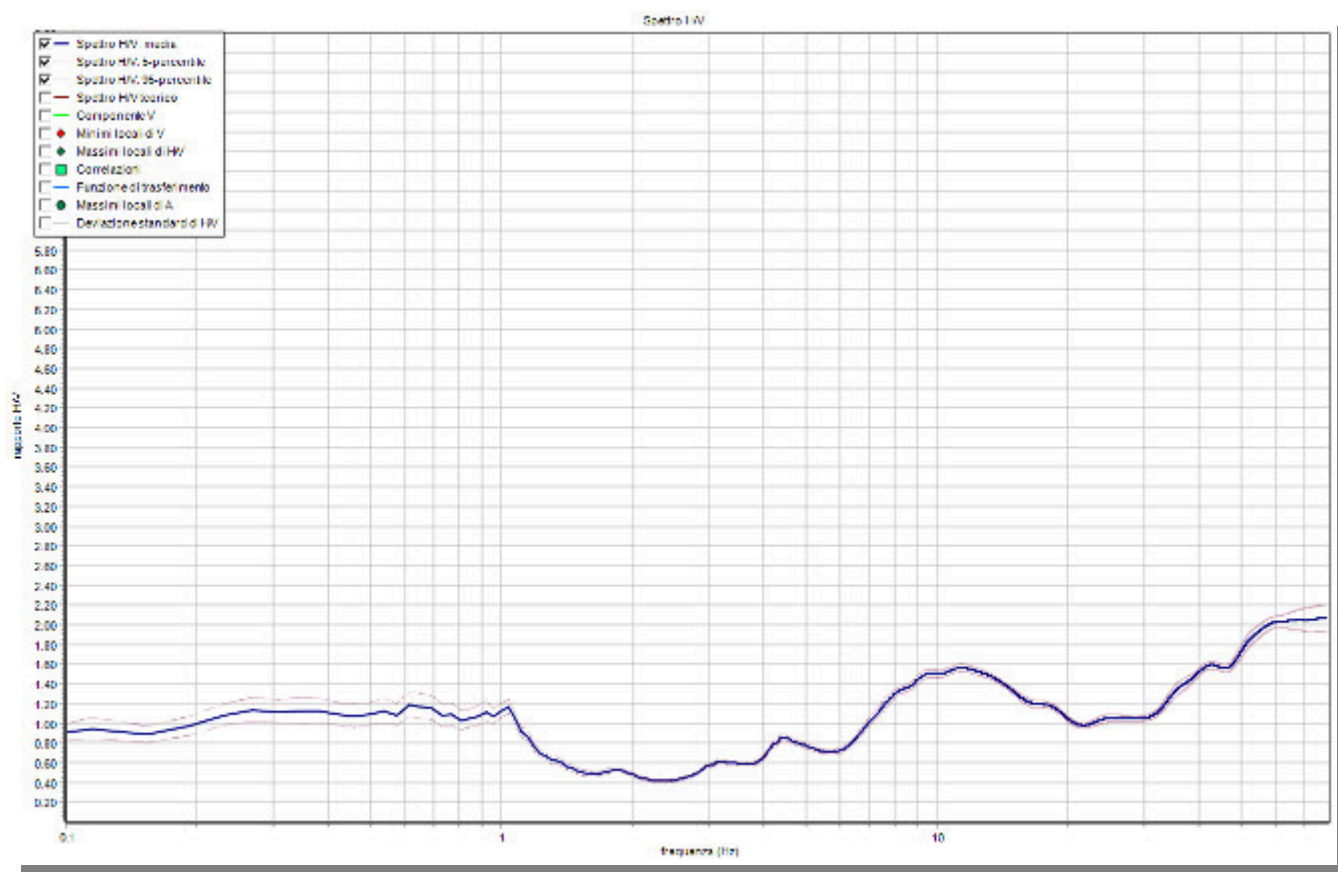
Di seguito si riportano i risultati della rilevazione sismica HVSr-1 effettuata in corrispondenza della prova penetrometrica PEN1.

Incarico:	Dr. Geol.Marino Motta
Denominazione:	HVSr-1 in corrispondenza di Pen-1
Località:	Comune di Palosco – BS
Data:	13/12/2022



Microtremori lungo le componenti Est-Ovest, Nord-Sud e Verticale. Durata della registrazione: 20 minuti

Le tracce rilevate sulle 3 componenti evidenziano un rumore di fondo accettabile: la bontà del segnale e la corretta interpretazione hanno permesso la caratterizzazione locale. Si riporta di seguito anche lo spettro del rapporto H/V medio.



La frequenza fondamentale del sito associata al picco del rapporto H/V è pari a 11,42 Hz (associata ad un rapporto massimo di H/V pari a 1,56). La frequenza fondamentale del sito è da individuarsi nell'intervallo di frequenze compreso tra 1 e 10 Hz (o poco più) intervallo considerato di interesse ingegneristico. Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V (Up-Down component in legenda), fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno. L'indice di vulnerabilità del sito (K_g) viene calcolato facendo riferimento ai soli picchi stratigrafici dello spettro H/V posti a frequenze inferiori o prossime a 10 Hz, in quanto quelli presenti a frequenze superiori non sono significativi dal punto di vista della vulnerabilità sismica. Nel caso in esame i picchi H/V stratigrafici individuati hanno fornito un valore massimo di K_g uguale a 1,31. Il sito può essere perciò classificato come a bassa pericolosità sismica locale.

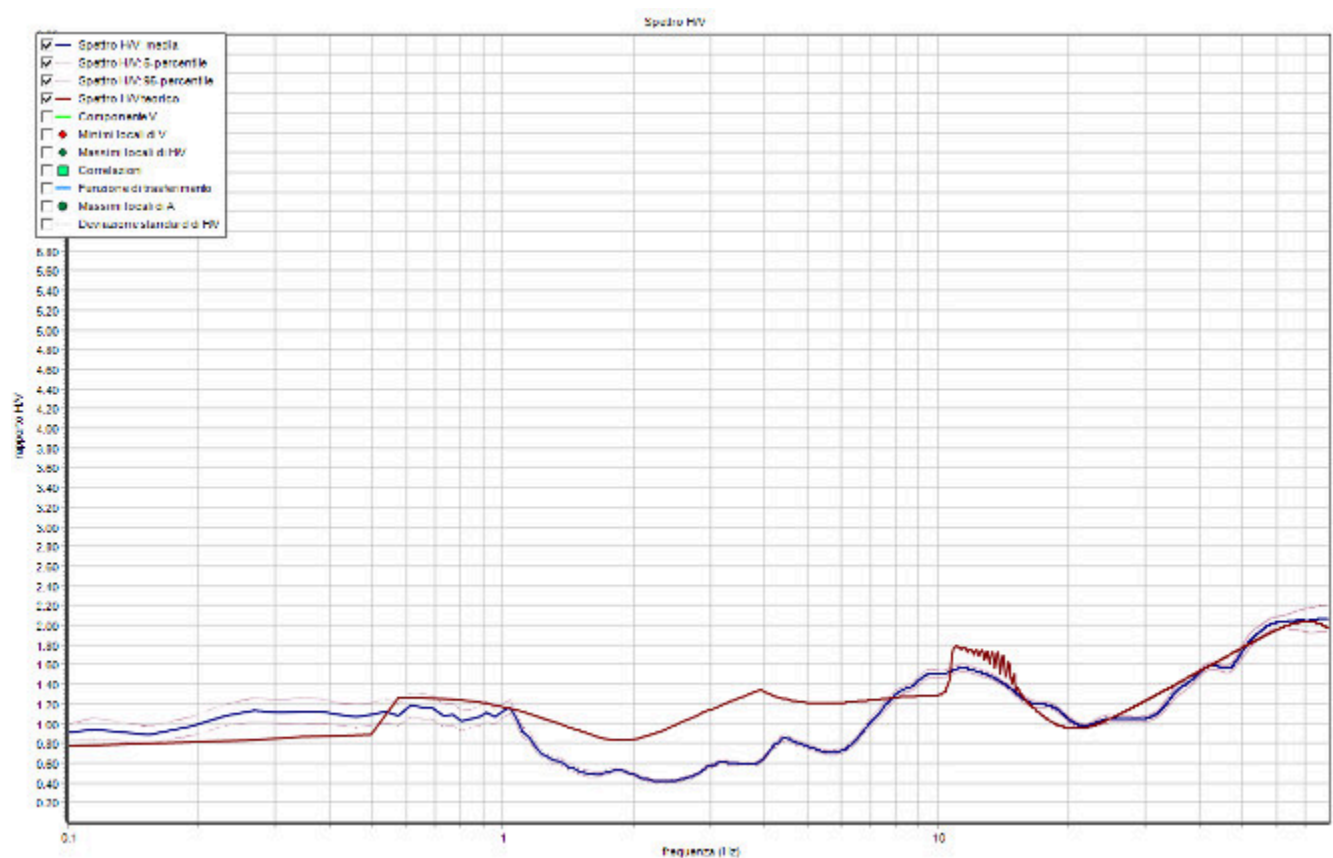
N.	fz(Hz)	HV	Ka
1	1.03	1.17	1.31
2	1.88	0.52	0.15
3	3.22	0.61	0.12
4	4.45	0.85	0.16
5	9.58	1.51	0.24
6	11.42	1.56	0.21
7	17.4	1.19	0.08
8	25.18	1.05	0.04
9	42.85	1.59	0.06
10	61.48	2.03	0.07
11	78.16	2.07	0.05

**condizioni SESAME rispettate*

Criteri SESAME(2005) per una curva HV attendibile S1: $f_p > 10/L_w$ - S2: $L_w \times N_w \times f_p > 200$ - S3: $sa < 2$ per $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA: L_w =lunghezza della finestra (s) - N_w =n. finestre - f_p (Hz)=frequenza del picco stratigrafico - sa =deviazione standard

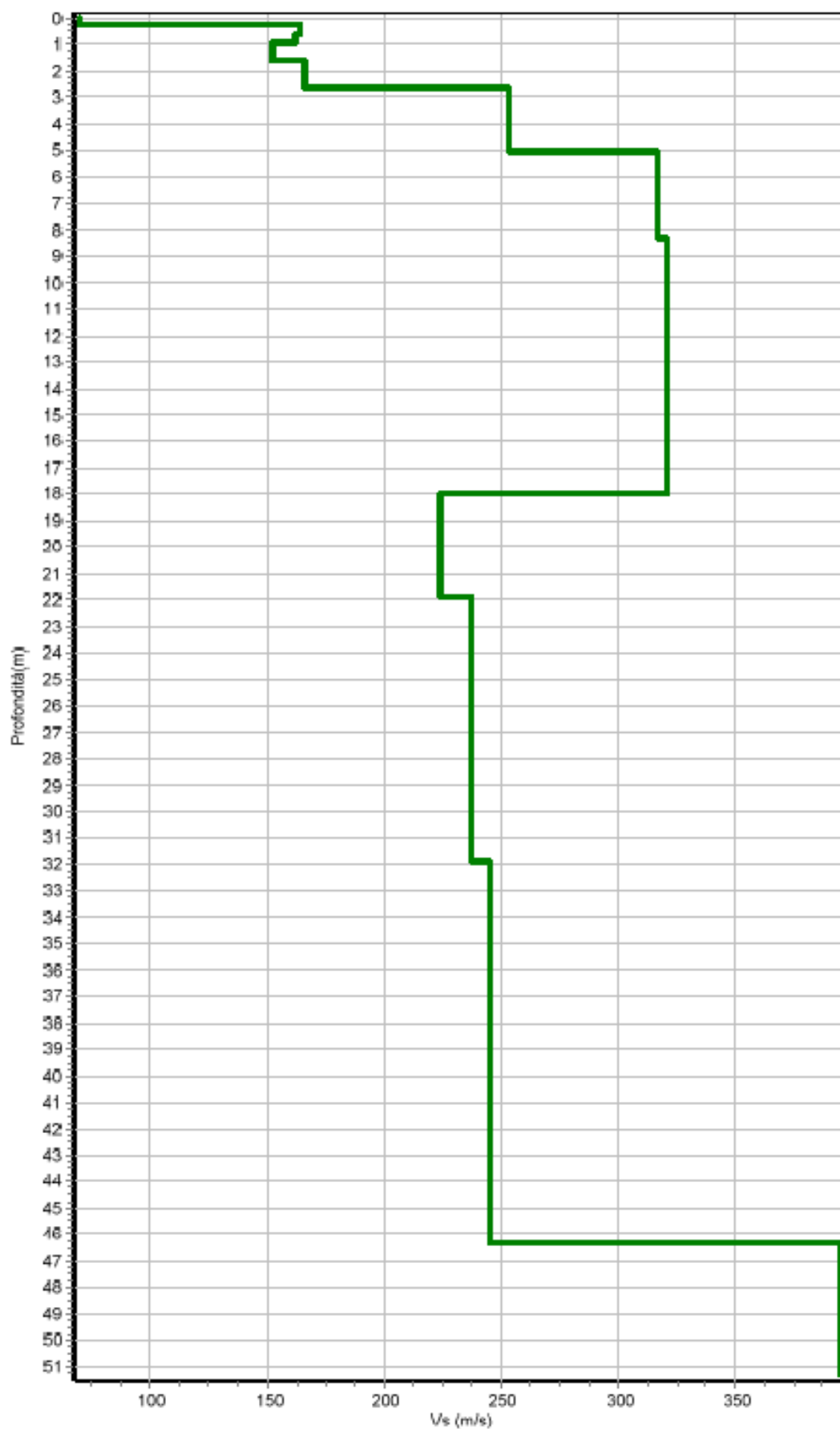
La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati.



L'inversione ha consentito di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità. Si è ricavato il seguente profilo di velocità:

N.	Da (m)	a (m)	dz (m)	Vs(m/s)
1	0.0	0.22	0.22	70
2	0.22	0.6	0.38	164
3	0.6	0.91	0.31	162
4	0.91	1.6	0.69	152
5	1.6	2.63	1.03	166
6	2.63	5.05	2.42	253
7	5.05	8.3	3.25	317
8	8.3	18.0	9.7	321
9	18.0	21.88	3.88	224
10	21.88	31.88	10.0	237
11	31.88	46.3	14.42	245

Il valore di V_{eq} , riferito al p.c., è risultato uguale a 250,6 m/s, valore che pone il sito nella categoria di sottosuolo C secondo il D.M. 17.01.2018.



— Vs media — Spettro HV teorico

Classe sito: C - Vseq.(m/s)= 250.6

Per quanto riguarda la vulnerabilità sismica dell'opera in progetto, la frequenza di risonanza fondamentale è stata stimata con la relazione del D.M.17.01.2018 in funzione dell'altezza complessiva dell'edificio rispetto al piano di posa delle fondazioni (Z). Sulla base delle frequenze dei picchi stratigrafici H/V individuati si è stimata l'altezza dell'opera rispetto alla quale si può verificare il rischio della doppia risonanza terreno-edificio. Sono stati esclusi dal calcolo i picchi H/V posti a frequenze superiori ai 10 Hz che corrispondono a edifici di altezza minore di 2,5-3,0 metri.

N.	fz(Hz)	HV	Kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)
1	1.03	1.17	1.31	51.81	30.18	25.54
2	1.88	0.52	0.15	23.41	13.63	11.54
3	3.22	0.61	0.12	11.41	6.65	5.63
4	4.45	0.85	0.16	7.42	4.32	3.66
5	9.58	1.51	0.24	2.67	1.55	1.31
6	11.42	1.56	0.21	2.11	1.23	1.04
7	17.4	1.19	0.08	1.2	0.7	0.59
8	25.18	1.05	0.04	0.74	0.43	0.36
9	42.85	1.59	0.06	0.36	0.21	0.18
10	61.48	2.03	0.07	0.22	0.13	0.11
11	78.16	2.07	0.05	0.16	0.09	0.08

* H1 (mt) con $C_1 = 0,050$

H2 (mt) con $C_1 = 0,075$

H3 (mt) con $C_1 = 0,086$

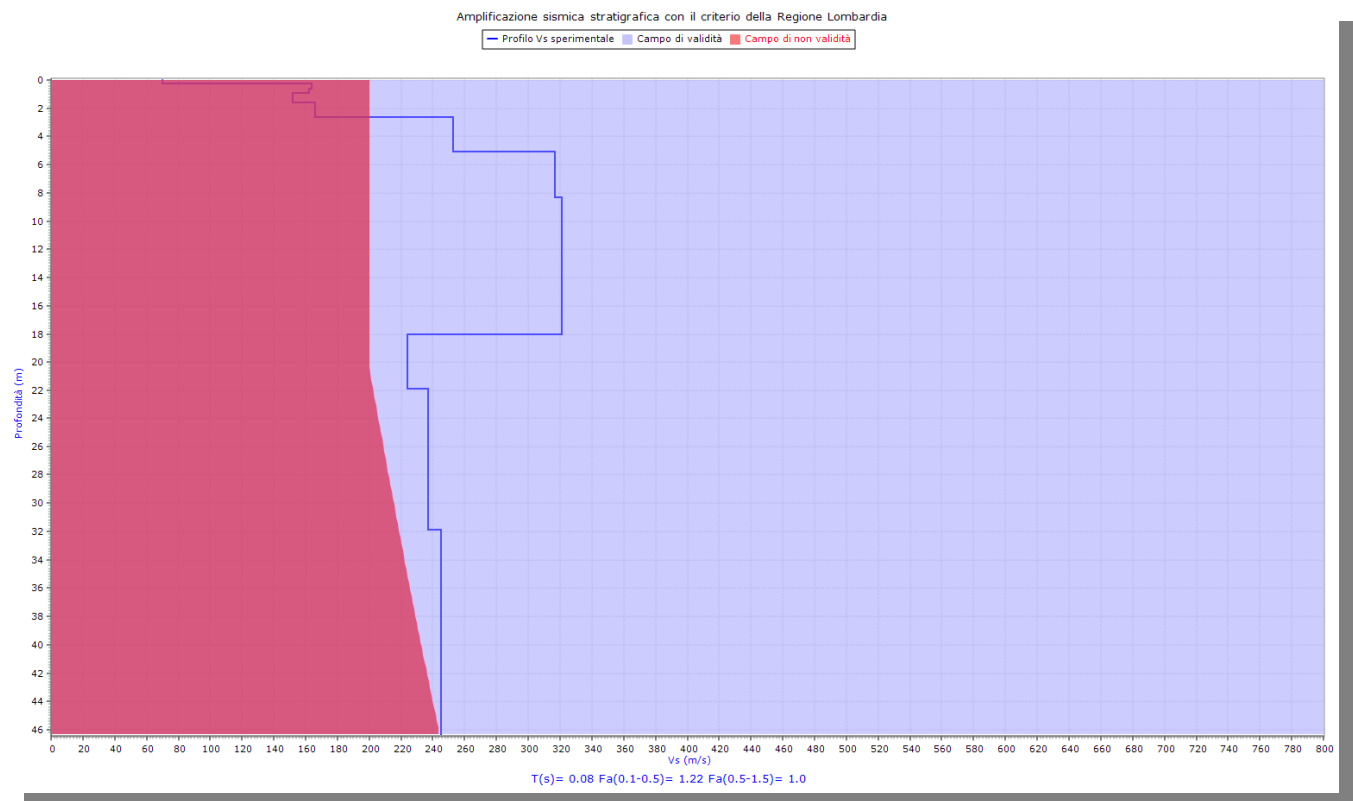
con 11,42 Hz quale frequenza fondamentale

Nella fase progettuale esecutiva saranno quindi da verificare le altezze, H in mt, complessive delle strutture di progetto (da quota fondazione) ai fini della verifica suddetta (doppia risonanza terreno-struttura).

7.6 Analisi sismica di II livello secondo la Normativa Regionale vigente

Adottando il criterio previsto dalla normativa regionale Regione Lombardia, sulla base dell'andamento del profilo della velocità delle onde S ricavato con le indagini geofisiche, si è selezionata la scheda litologica sabbiosa. Il periodo di oscillazione fondamentale della colonna lito-stratigrafica è stato misurato direttamente con le indagini geofisiche ($T_0 = 0.08$ sec). Utilizzando questi dati si sono ricavati i seguenti valori di Fa (fattori di amplificazione spettrali).

PROVA SISM1:



F_{ac} (nell'intervallo 0.1-0.5 s) = **1.22** < FAS 1,9 (soglia comunale per la categoria C)

F_{ac} (nell'intervallo 0.5-1.5 s) = **1.0** < FAS 2,4 (soglia comunale per la categoria C)

Il valore dell'amplificazione stratigrafica F_a calcolato, per un sottosuolo di tipo C, riferito all'intervallo 0,1-0,5 sec (1,22) è inferiore al valore soglia comunale FAS ($f_{a0,1-0,5} = 1,9$).

Il valore dell'amplificazione stratigrafica F_a calcolato, per un sottosuolo di tipo C, riferito all'intervallo 0,5-1,5 sec (1,0), è inferiore al valore soglia comunale FAS ($f_{a0,5-1,5} = 2,4$).

Per gli edifici di progetto, con periodo di oscillazione compreso tra 0,1 e 0,5 sec può essere adottato lo spettro di suolo tipo "C". Per eventuali strutture ulteriori con periodo di oscillazione compreso tra 0,5 e 1,5 sec può comunque essere adottato lo spettro di suolo tipo "C".

I valori dei fattori di amplificazione sismica sono compatibili con quelli riportati nella componente geologica del PGT, considerando però che localmente l'indagine condotta ha qualificato i terreni locali di tipo "C".

8. CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI

In base a quanto osservato ed esposto nella presente relazione, si esprime parere favorevole alla realizzazione dell'intervento in progetto, purché vengano adottati i suggerimenti di seguito esposti.

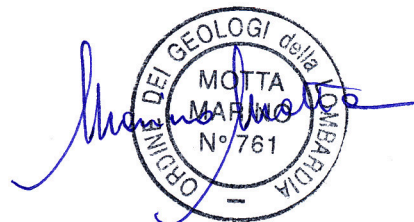
Assetto del sottosuolo

I dati raccolti durante la campagna di indagini geognostiche hanno permesso di delineare il modello geologico locale e di verificare la situazione geotecnica del sito. La fase geognostica è stata realizzata preventivamente alla progettazione esecutiva delle opere edilizie.

Smaltimento acque meteoriche dalle coperture di progetto

Si raccomanda di smaltire correttamente le acque meteoriche provenienti dalle coperture di progetto. A tale proposito si sottolinea che l'intervento progettuale sarà soggetto agli obblighi normativi ai sensi degli artt. 12 comma 1 lett.a) e art.6, comma 3, lett a) del Regolamento Regionale del 23 novembre 2017 – n°7, successiva D.G.R. N°XI/1526 del 15.04.2019) e successivo Testo coordinato del Regolamento Regionale 23 novembre 2017, n.7 (BURL S.O. n.51 del 21 dicembre 2019), che prevede la redazione dello studio di invarianza idrologica ed idraulica.

Il tecnico incaricato



A handwritten signature in blue ink is written over a circular professional stamp. The stamp contains the text: "ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA", "MOTTA MARINO", and "N° 761".