



COMUNE DI SESTO CALENDE



PROVINCIA DI VARESE



REGIONE LOMBARDIA

***REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO
AD USO MENSA COME AMPLIAMENTO
DELLA SCUOLA ELEMENTARE
“GIUSEPPE UNGARETTI”***

D.G.R. n. IX/2616/2011

**“AGGIORNAMENTO DEI CRITERI ED INDIRIZZI PER LA DEFINIZIONE DELLA
COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT”**

DELIBERA GIUNTA REGIONALE LOMBARDIA N. X/5001/2016

**“APPROVAZIONE DELLE LINEE DI INDIRIZZO E COORDINAMENTO PER L’ESERCIZIO DELLE FUNZIONI TRASFERITE AI
COMUNI IN MATERIA SISMICA (ARTT. 3, COMMA 1 E 13, COMMA 1 DELLA L.R. 33/2013”**

DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018

“AGGIORNAMENTO DELLE «NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI»”

Consulente geologo



Via XX Settembre, 73 – 28041 ARONA (NO)
tel. 0322 241531 - fax 0322 48422
e-mail studio@geologoepifani.it
pec fulvio.epifani@pec.epap.it

dott. geol. Fulvio Epifani

Codice
042.23

Nome del file
Relazione.doc

Data
Maggio 2023

Scala

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
R1 – R3**

Committente:

COMUNE DI SESTO CALENDE
Piazza Cesare da Sesto, 1
Sesto Calende (VA)



revisione	oggetto	data	controllato
1			
2			
3			

SOMMARIO

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO	6
4.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
5.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	10
6.	ANALISI IDRAULICA DEL TORRENTE LENZA	11
7.	METODOLOGIA DI INDAGINE GEOGNOSTICA	13
8.	ANALISI DEI DATI GEOGNOSTICI	17
9.	PARAMETRAZIONE GEOTECNICA	19
10.	INDAGINE GEOFISICA IN SISMICA ATTIVA	21
10.1	GENERALITÀ SULLE ONDE SISMICHE	21
10.2	CARATTERISTICHE DEL METODO	23
10.3	ELABORAZIONE DEI DATI	26
10.4	CARATTERISTICHE DELL'INDAGINE ESEGUITA	28
10.5	CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO	30
11.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	32
12.	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	35
12.1	ANALISI DI 2° LIVELLO	35
12.2	ANALISI DI 3° LIVELLO	37
12.3	MODULO DI TAGLIO G E FATTORE DI SMORZAMENTO D	37
12.4	VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	37
12.4.1	Seed e Idriss	38
13.	PRESCRIZIONI E LIMITAZIONI	40
13.1	SOTTOCLASSE B1	40
13.2	SOTTOCLASSE D2	40
13.3	SOTTOCLASSE C8	40
14.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	41

ALLEGATI

- Corografia
- Estratto della carta di fattibilità geologica del PGT vigente in scala 1:5.000
- Estratto della carta litologica e della dinamica geomorfologica del PGT vigente in scala 1:5.000
- Estratto della carta idrogeologica del PGT vigente in scala 1:5.000
- Estratto della carta della pericolosità sismica locale del PGT vigente in scala 1:5.000
- Estratto della carta dei vincoli del PGT vigente in scala 1:5.000
- Estratti degli studi idraulici precedenti

- Ubicazione indagini geognostiche
- Tabulati, grafici e schede di correlazione delle prove penetrometriche
- Curve del modulo di taglio G e del fattore di smorzamento D

1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Sesto Calende intende procedere alla realizzazione di una struttura da adibire a mensa ad utilizzo della scuola primaria "Giuseppe Ungaretti" sita in via Vittorio Veneto n. 34.

Lo scrivente veniva incaricato di predisporre la relazione geologica e sismica, supportata da indagini geognostiche e geofisiche in situ, al fine di verificare la compatibilità del progetto con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche dell'area in esame.

Il presente elaborato rappresenta la sintesi esplicativa delle indagini effettuate e dei risultati ottenuti.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'area in oggetto risulta ascritta alla classe di fattibilità “III – Fattibilità con consistenti limitazioni” secondo quanto riportato nella “*Carta della fattibilità geologica*” del vigente PGT di cui si allega un estratto.

Alla classe III appartengono genericamente “*le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate. Queste condizioni possono essere per lo più rimosse con interventi idonei alla eliminazione o minimizzazione del rischio, realizzabili nell'ambito del singolo lotto edificatorio o di un suo intorno significativo*”.

In particolare l'area presenta le tipologie di pericolosità “*B1 – Aree ad alta vulnerabilità dell'acquifero superficiale*”, “*D2 – Aree con caratteristiche geotecniche mediocri*” e “*C8 – Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni*”.

Nelle aree B1 “*ogni intervento sull'esistente e ogni nuova opera devono assicurare e garantire il mantenimento e/o il miglioramento delle caratteristiche chimico fisiche delle acque di falda*”.

Alla classe C8 appartengono aree “*idonee all'utilizzazione urbanistica a condizione che vengano realizzati studi per approfondire le interazioni tra la vulnerabilità idraulica e gli interventi previsti al fine di fornire indicazioni progettuali per la loro mitigazione*”.

L'edificio in progetto rientra fra le opere e gli edifici strategici e rilevanti, così come definiti nel D.D.U.O. 21/11/2003 n. 19904.

Il presente elaborato è redatto ottemperando a:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*”.
- Delibera Giunta Regionale Lombardia n. IX/2616/2011 “*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT*”.
- Delibera Giunta Regionale Lombardia n. X/5001/2016 “*Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai Comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1 e 13, comma 1 della l.r. 33/2013*”.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di intervento è compresa nella Sezione "SESTO CALENDE" n° A5b2, scala 1:10.000, della Carta Tecnica Regionale Lombarda.

Le Prealpi Lombarde Occidentali, settore a cui appartiene il territorio del Comune di Sesto Calende, sono costituite da un basamento di rocce metamorfiche ercine ricoperto da unità di diversa natura che rappresentano un arco di tempo che va dal Paleozoico al Cenozoico.

La successione stratigrafica è così costituita: alla base si hanno rocce effusive (Permiano), per poi passare ad un'estesa sequenza di rocce prevalentemente carbonatiche (dolomie e calcari di età Triassico-Cretacea) mentre la chiusura della successione è rappresentata da marne, arenarie e conglomerati (Cretaceo- Cenozoico).

In particolare, l'area Prealpina lombarda occidentale (Varesotto) può essere suddivisa in due settori: la parte settentrionale in cui prevale la successione vulcanitico-carbonatica (Permiano-Cretaceo) e la parte meridionale (in cui ricade il territorio comunale di Sesto Calende) in cui si sviluppa la successione cenozoica.

Entrando ora nel dettaglio del settore in esame, il substrato roccioso è osservabile in affioramenti isolati e localizzati in concomitanza di tagli artificiali e naturali o in corrispondenza di rilievi morfologici in chiara evidenza nell'ambito di un dolce paesaggio collinare modellato essenzialmente in forme di origine glaciale.

La successione cenozoica, di chiara origine marina, è divisibile essenzialmente in tre porzioni, per natura, età e significato:

- la parte inferiore (Eocene superiore) affiora in prossimità di Oneda ed è nota in letteratura con il nome di «Calcari Nummulitici», anche se è stata recentemente definita come *Formazione di Ternate*;
- la parte mediana (Oligocene-Miocene medio), più estesa non solo nel territorio comunale, è costituita da arenarie e conglomerati e prende il nome di *Gonfolite*.
- infine la parte superiore, che però non affiora nell'area di studio, è costituita da lembi argilloso-sabbiosi di età pliocenica.

Tutta la successione cenozoica (Eocene sup.-Miocene medio) è stata coinvolta dagli eventi deformativi della fase neoalpina, com'è testimoniato della giacitura non più orizzontale degli strati che costituiscono la Formazione di Ternate e quella della Gonfolite. Le rocce cenozoiche in facies *detritica* sono costituite da clasti derivanti dallo smantellamento della catena alpina emersa e perciò in erosione: i ciottoli granodioritici e dioritici, di dimensione anche di alcuni metri cubi che costituiscono la Gonfolite, appartengono al Plutone della Val Masino-Val Bregaglia

(«Ghiandone» e «Serizzo»).

Questo substrato roccioso venne ricoperto, a partire dal Pleistocene, dai depositi riferibili alle grandi glaciazioni quaternarie, e modellato dal grande ghiacciaio del Lago Maggiore, fino a dare origine alla morfologia attuale.

Gran parte dei depositi quaternari sono costituiti da depositi di natura glaciale e fluvioglaciale di età Pleistocene medio e superiore (Riss e Würm), anche se si possono riconoscere depositi olocenici, talora anche estesi, in facies diverse.

Si passa infatti dai depositi di natura fluviale-alluvionale legata all'azione dei corsi d'acqua attuali (T. Lenza, T. Riale, Rio Capricciosa, ecc.) a depositi di origine detritico-colluviale fino a depositi di natura lacustre e sartumosa.

Sotto l'aspetto geomorfologico, i settori caratterizzati dalla presenza del substrato roccioso sono costituiti da rilievi più accentuati, mentre nei settori ove prevalgono i depositi quaternari si hanno morfologie nettamente più blande sino a pianeggianti.

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Nel territorio comunale di Sesto Calende sono presenti, come detto, unità litologiche costituite da depositi messi in posto dalla presenza dei ghiacciai quaternari, da materiali depositi dalle acque di fusione dei ghiacciai stessi, denominati "fluvioglaciali" e dal substrato lapideo di età terziaria.

Per le considerazioni che verranno di seguito illustrate, è possibile far riferimento all'estratto della *"Carta litologica e della dinamica geomorfologia"* redatta dallo STUDIO CONGEO di Varese a supporto dello strumento urbanistico.

Per la distinzione delle diverse unità litologiche si è fatto principalmente riferimento, a causa della scarsità di affioramenti, agli elementi morfologici desunti dal rilevamento di terreno.

SUBSTRATO LAPIDEO

Nella cartografia è presente in corrispondenza del limite nord ed è rappresentato da rocce appartenenti alla *FORMAZIONE DELLA GONFOLITE* (OligoceneMiocene Medio).

Si tratta essenzialmente di arenarie da fini a grossolane alternate a conglomerati con clasti delle dimensioni della ghiaia, ma anche di ciottoli e massi (da qualche centimetro ad 1 metro). I clasti sono arrotondati e provenienti dal basamento cristallino (granodioriti e dioriti). In genere il supporto è clastico con i granuli (ciottoli, ghiaia, etc.) a contatto tra loro; più sporadicamente è la matrice arenacea che prevale. La gonfolite si presenta, a volte, molto alterata con colori bruno-giallastro e verdastri con debole cementazione.

Costituisce l'ossatura dei rilievi a nord di Sesto Calende ed anche di Vergiate e Mercallo.

DEPOSITI QUATERNARI*Ciottoli, ghiaia e sabbia (fluvio glaciale e fluviale) - G2*

Si tratta di depositi costituiti da ciottoli, ghiaie e sabbie a volte debolmente limose. In genere in superficie prevalgono le frazioni sabbiose mentre, con la profondità, quelle ghiaiose e ciottolose con intercalazione di lenti sabbiose a volte laminate. I ciottoli, subarrotondati, calcarei e cristallini, hanno dimensioni massime di circa 15 cm. Non vi sono tracce di alterazione.

La genesi di tali depositi è legata all'azione dei fiumi derivanti dallo scioglimento dei ghiacciai durante la fase di ritiro. Questi materiali sono spesso disposti in lenti e la loro potenza non è valutabile con precisione anche per l'estrema dipendenza morfologica oltre che per l'assenza di affioramenti significativi.

Sabbie limose con ghiaia e ciottoli (alluvionale T.te Lenza) - A2

Si tratta di depositi litologicamente molto eterogenei che presentano una netta distinzione in livelli, si presentano come un'alternanza di lenti di vario spessore e differente continuità laterale. In generale si tratta di materiali sabbiosolimosi ed argillosi con intercalazioni di lenti ghiaiose e ciottolose in corrispondenza soprattutto dell'alveo attuale del Torrente Lenza.

Le prime sono perlopiù generate dall'esondazione del fiume in occasione di piene e alluvionamenti, mentre i secondi sono il risultato del deposito in alveo.

Limisabbiosi e sabbie limose con argilla e torbe (fluviolacustri) - A4

Sono depositi associati all'azione del F. Ticino e del Lago Maggiore. Sono costituiti da materiali a granulometria fine con presenza solo occasionale di ciottoli e ghiaia (lenti di spessore modesto). La sabbia, ricca di minerali micacei, presenta una granulometria da media a fine, e rappresenta la litologia più frequente unitamente al limo.

Massi, ciottoli, ghiaie e sabbie (depositi detritici) - DD1

Si tratta di accumuli detritici situati ai piedi di versanti incisi dall'erosione o comunque sottoposti a sgretolamento ad opera di processi esogeni di varia natura. Tali depositi hanno subito anche un'azione di rimaneggiamento da parte delle acque meteoriche e incanalate dei corsi d'acqua.

Sono costituiti in prevalenza da massi ghiaie e ciottoli; non sono selezionati ma presentano una gradazione diretta verso l'alto. Sono obliterati da una coltre di suolo moderatamente sottile a buon drenaggio.

L'area in esame è iscrivibile all'unità A4 costituita da limi sabbiosi e sabbie limose.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'aspetto attuale del paesaggio è il risultato della sovrapposizione di processi in atto, costituenti le forme attive, che possono conoscere temporanei stati di quiescenza o di definitiva stabilizzazione, e di forme relitte, ereditate da precedenti cicli di modellamento. In tutta l'area la morfologia attuale è il risultato dell'impronta glaciale spesso modificata e accidentata dai processi di evoluzione innescatesi dopo l'ultimo evento glaciale, nonché dall'intervento antropico.

Nella carta allegata, estratto dell'elaborato geologico del vigente PGT del Comune di Sesto Calende, è possibile osservare le seguenti forme e processi.

FORME FLUVIALI, FLUVIOGLACIALI E LACUSTRI

Orli di terrazzo - I terrazzi fluviali e i relativi orli rappresentano vecchie superfici di origine fluviale e le scarpate risultano dal relativo intaglio (erosione). Sono stati distinti in funzione dello stato di attività in attivi e inattivi:

- sono definiti attivi quando posto lungo corsi d'acqua attuali e le scarpate sono caratterizzate da significative tracce di erosione fluviale;
- sono definiti inattivi quando non più interessati direttamente dalla dinamica fluviale.

Deposito detritico in alveo/alveo sovralluvionato - Si tratta di accumuli detritici a granulometria molto variabile, in genere sabbiosa, ma anche ciottoli e ghiaie. La deposizione avviene nei tratti caratterizzati da minore energia, come il lato interno dei meandri o nei punti di rottura di pendenza.

Erosione di sponda - L'asportazione del materiale litoide dalla sponda d'alveo dei corsi d'acqua causata dall'azione prevalente delle acque provoca piccoli smottamenti delle sponde stesse. Si tratta di fenomeni localizzati situati principalmente dove si manifesta un aumento della velocità della corrente.

FORME E PROCESSI LEGATI ALLA GRAVITÀ

Accumulo detritico – si tratta di piccoli depositi detritici costituiti prevalentemente da ghiaia e sabbia, con minor apporto di ciottoli; si originano per effetto del trasporto solido operato dai corsi d'acqua minori in occasione di eventi meteorici intensi, in corrispondenza di particolari punti critici, quali strettoie e cambiamenti di pendenza.

Ruscellamento superficiale – In relazione al grado di permeabilità dei litotipi si osserva una abbondante ruscellamento in corrispondenza dei versanti collinari e lungo le scarpate fluviali. Queste aree sono evidenziate da superfici più o meno degradate (denudate) con piccoli solchi o strie dovute al ruscellamento delle acque non incanalate.

FORME ANTROPICHE

Tombinature – Sono evidenziati sulla cartografia allegata tramite tratteggio quei tratti dei corsi d'acqua principali incanalati per l'attraversamento in sotterraneo di strade ed edifici.

L'area in esame è individuata come area a pericolosità media o moderata (Em) per l'esondazione del Torrente Lenza. Per tali aree, l'articolo 9, comma 6bis delle Norme di Attuazione del PAI non prevede alcuna limitazione specifica ma prescrive che siano gli enti locali a regolamentare le attività consentite attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Anche in questo caso la carta allegata è un estratto della carta idrogeologica redatta dallo STUDIO CONGEO di Varese a supporto dello strumento urbanistico.

Le isopieze riportate nella carta idrogeologica, rappresentano una situazione media di riferimento del comportamento idrico sotterraneo della falda superficiale, vista la difficoltà nel reperire un numero soddisfacente di valori di soggiacenza riguardanti uno stesso intervallo di tempo.

La presente carta fornisce una serie di informazioni per la comprensione delle modalità di circolazione idrica sotterranea; si hanno notizie circa le direzioni di flusso della falda, il suo gradiente idraulico, l'indicazione di esistenza di spartiacque sotterranei e l'azione di drenaggio o di alimentazione svolta dai principali corsi d'acqua.

Le isopiezometriche sono orientate lungo diretrici NESW con un gradiente idraulico pari a circa l'1% nel settore in esame.

Dall'esame della sopra citata carta si ricava, per l'area in esame, una soggiacenza della falda pari a circa 3 m.

Relativamente alla vulnerabilità naturale degli acquiferi, definita come la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido od idroveicolato, lo studio ha utilizzato un metodo qualitativo che considera, quali elementi caratteristici, la *Soggiacenza*, lo *spessore del Nonsaturo* e la *Conducibilità idraulica dell'acquifero*.

Il settore in esame è ascritto all'area a vulnerabilità alta: si tratta delle aree ove le caratteristiche di bassa soggiacenza della falda freatica influenzano in modo determinante il grado di vulnerabilità.

6. ANALISI IDRAULICA DEL TORRENTE LENZA

Nel 2002, il Dott. Ing. Giorgio Amolari ha realizzato lo *“Studio per la ridelimitazione della fattibilità geologica dell’asta del torrente Lenza”*. Tale studio, come si evince dalla carta allegata, prevedeva l’allagamento dell’intera area occupata dal complesso scolastico già con eventi di piena con tempi di ritorno pari a 50 anni.

Questa situazione era legata alla presenza di un tratto tombinato subito a valle dell’attraversamento di via Vittorio Veneto.

Come descritto nella relazione, *“la corrente in transito raggiunge condizioni di moto in pressione già per portate con cadenza cinquantennale, con rilevanti perdite di carico e con l’effetto di creare un battente idrico di circa un metro sopra il piano stradale in corrispondenza dell’imbocco del tunnel”* e questa situazione causa *“il riempimento di una zona di vaste proporzioni, comprendente alcuni caseggiati, alcuni stabili e magazzini dell’area ex AVIR, i prati ed i piazzali antistanti le scuole ed alcuni magazzini comunali”*.

Successivamente, il Dott. Ing. Paolo Onida, dello studio associato Dizeta Ingegneria, ha realizzato un’analisi idraulica del torrente Lenza, finalizzata al dimensionamento e alla verifica dell’intervento per la riqualificazione dell’area industriale ex-Avir posta a valle dell’attraversamento di via Vittorio Veneto.

Sulla base di quanto evidenziato dalle simulazioni, è stato redatto e realizzato il progetto di sistemazione idraulica del Torrente Lenza. Come descritto nella relazione di progetto, gli interventi realizzati hanno diminuito *“il rischio d’esondazione dell’area delle scuole per effetto del rigurgito della tombinatura esistente”*, hanno eliminato completamente *“l’impatto negativo costituito dall’attraversamento di Via Vittorio Veneto”* e hanno diminuito *“il rischio esistente grazie a un generale miglioramento delle condizioni di deflusso di valle”*. Questi interventi hanno permesso, durante la realizzazione del nuovo piano di gestione del territorio, la riclassificazione dell’area da Ee (pericolosità molto elevata) a Em (pericolosità media o moderata) ed è stato quindi possibile ascriverla alla classe di fattibilità III.

Di seguito si riporta la quota del livello dell’acqua per una piena con tempo di ritorno pari a 200 anni, la quota della sponda destra e di quella sinistra (ove è ubicato l’intervento in progetto) delle sezioni dalla 6 alla 12 così come riportate nella relazione del Dott. Onida.

Tali sezioni, la cui ubicazione è riportata nell’estratto allegato, indagano il tratto che interessa l’area dell’edificio scolastico a seguito dei lavori realizzati.

Sezione	Quota piena (m s.l.m.)	Sponda sinistra (m s.l.m.)	Sponda destra (m s.l.m.)
6	202,05	202,14	201,41
7	201,82	202,03	202,11
8	201,48	201,68	202,20
9	200,70	201,53	201,95
10	200,59	201,86	201,86
11	199,34	202,07	202,07
12	198,49	201,99	201,99

Come si evince dalla tabella, la quota di piena risulta sempre inferiore a quella della sponda sinistra dove sorge il complesso scolastico, dalla sezione 9 è presente un franco superiore ai 50 cm.

Da tale studio, l'area in cui sarà realizzato il nuovo edificio non risulta inondabile per eventi di piena con tempi di ritorno pari a 200 anni.

7. METODOLOGIA DI INDAGINE GEOGNOSTICA

Al fine di determinare le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno, si è proceduto all'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche; per l'esecuzione di tali prove è stato utilizzato un penetrometro dinamico pesante TG 63/100 KN della Ditta PAGANI motorizzato e cingolato.

Si tiene a precisare che i dati ricavati tramite lo strumento in questione sono in tutto paragonabili a quelli della prova SPT (Standard Penetration Test) in foro di sondaggio. La prova penetrometrica dinamica (DP) consiste *nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di aste successive; l'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di dato peso.*

Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita; la resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta, del numero di colpi (N_{DP}) per una data penetrazione.

La prova penetrometrica dinamica per la sua semplicità di esecuzione ha una grande diffusione. Infatti, come è noto, la penetrazione dinamica di punte coniche battute nel terreno, in assenza di attrito laterale, consente il riconoscimento dei terreni attraversati.

Il maggior ostacolo alla precisione del metodo deriva dalla difficoltà ad isolare la componente della resistenza dovuta all'attrito laterale del terreno lungo la batteria delle aste; per ovviare a questo inconveniente si utilizzano punte con diametro maggiore rispetto a quello delle aste.

Le caratteristiche del penetrometro utilizzato sono le seguenti:

- diametro della punta = 51 mm
- angolo della punta = 60°
- sezione della punta conica = 20 cmq
- diametro delle aste = 32 mm
- lunghezza delle aste = 90 cm
- peso delle aste = 5,6 kg
- peso del maglio = 63,5 kg
- altezza di caduta = 760 mm
- penetrazione di riferimento = 300 mm

La resistenza alla penetrazione è definita come il numero di colpi richiesto per infiggere la punta conica per un tratto definito. L'energia cinetica propria di ciascun colpo è il prodotto della massa del maglio (M) per l'accelerazione di gravità (g) e per l'altezza di caduta (H).

I risultati di differenti prove penetrometriche dinamiche possono essere presentati (e/o paragonati) come valori di resistenza r_d secondo la seguente formula:

$$r_d = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}$$

dove:

- A è l'area della sezione trasversale della base della punta conica
- e è la penetrazione media per colpo.

Il penetrometro da noi utilizzato risulta standardizzato per cui è possibile utilizzare tutta la letteratura realizzata per la prova SPT ma per fare questo è però necessario effettuare due correzioni in funzione delle caratteristiche della macchina utilizzata.

La prima correzione è dovuta al rendimento della macchina: normalmente il rendimento dei dispositivi utilizzati per le prove SPT è pari al 60%, nel nostro caso il rendimento raggiunge valori pari al 80% e quindi si rende indispensabile effettuare una correzione secondo la relazione:

$$N_{60} = \frac{ER_{iM}}{60} \cdot N$$

dove:

N_{60} = numero di colpi corretto per riferirlo ad un rendimento del 60%

ER_{iM} = rendimento medio espresso in percentuale

N = numero di colpi misurato

nel nostro caso essendo $ER_{iM} = 80\%$ la formula diviene:

$$N_{60} = \frac{ER_{iM}}{60} \cdot N = 1,3 \cdot N$$

La seconda normalizzazione viene fatta tenendo in considerazione l'influenza della pressione del terreno soprastante, ottenendo quindi il valore corretto.

Apportate queste correzioni sarà quindi possibile utilizzare tutta la letteratura predisposta per la prova SPT.

7.1 PARAMETRI RICAVABILI DALLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

7.1.1 Densità relativa (DR)

Usualmente si adotta la correlazione di *Gibbs e Holtz* (1957) (fig. 2) valida per sabbie quarzose normal-consolidate, non cementate e che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace.

Nell'utilizzo del grafico è necessario tener conto che per $D_R < 70\%$ la densità ricavata dal grafico risulta tendenzialmente più alta del valore reale, mentre per bassi valori di pressione efficace $\sigma'_{vo} < 5 \text{ kPa}$ la densità relativa ricavata dal grafico risulta tendenzialmente troppo alta.

Disponendo del valore normalizzato di NSPT $[(N1)60]$ la migliore correlazione tra resistenza alla penetrazione e densità relativa, risulta quella proposta da *Terzaghi e Peck* (1948).

Di seguito vengono indicati i valori di Densità Relativa secondo Gibbs-Holtz (valori in percentuale) e Terzaghi-Peck (valori qualitativi):

DR %	15	35	50	65	85
0					
100					
Molto sciolta	Sciolta	Media	Addensata	Molto addensata	
0	3	8	15	25	42
58					
(N1) ₆₀					

Ai valori ottenuti è necessario apportare una riduzione di 55/60 nel caso di sabbie fini ed un incremento di 65/60 nel caso di sabbie grossolane.

7.1.2 Angolo di attrito efficace (Φ')

La correlazione proposta da *De Mello* (1971) (fig. 3) consente la valutazione dell'angolo di attrito Φ' in base al valore di N_{SPT} e dello sforzo efficace σ'_{vo} , presentando le stesse condizioni di validità della relazione proposta per la D_R da Gibbs e Holtz.

Per bassi valori dello sforzo verticale efficace ($\sigma'_{vo} < 10$ kPa) l'angolo di attrito risulta sopravalutato, così come per valori di $\Phi' > 38^\circ$.

7.1.3 Modulo elastico (E)

E' possibile utilizzare la formula proposta da *Schmertmann* (1970) per le sabbie in cui:

$$E = 8 \cdot N$$

7.1.4 Modulo di compressibilità edometrica (E_{ed})

Confronti tra il N_{SPT} ed il modulo di compressibilità $E_{ed} = 1/m_v$, sono stati condotti da *Shultze e Menzenbach* su numerosi provini di varia granulometria.

Essi hanno dato come risultato la seguente espressione:

$$E_{ed} = C_1 + (C_2 \cdot N_{SPT}) \pm S_E$$

dove C_1 e C_2 sono costanti che dipendono dal materiale ed s_E è la deviazione standard.

7.1.5 Stress ratio (τ/σ)

Rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ (tau) e la tensione verticale di consolidazione σ (sigma) per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie ed è stato definito da *Seed ed al.* (1985) come:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d$$

dove:

a_{max} = accelerazione massima al piano campagna.

σ_{vo} = pressione verticale totale agente alla profondità considerata.

σ'_{vo} = pressione verticale efficace agente alla profondità considerata.

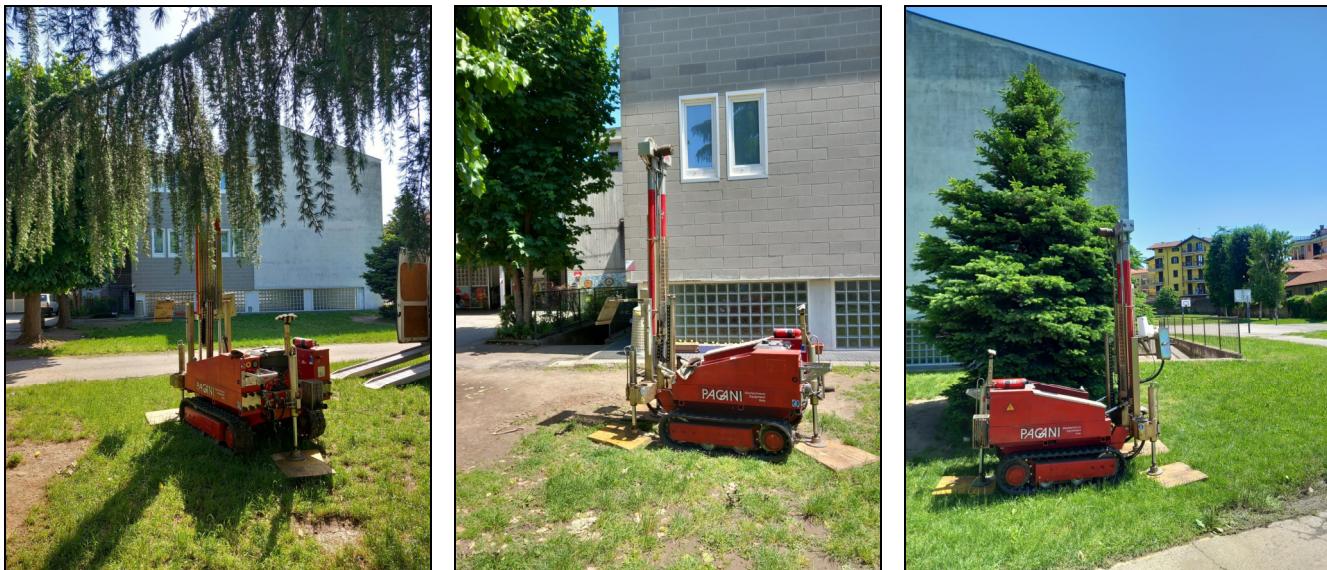
r_d = fattore dello sforzo che decresce dal valore di 1 al piano campagna al valore di 0,9 a 10 m di profondità.

Nella figura 4 è illustrata la relazione fra lo sforzo ciclico ed il valore N_{SPT} normalizzato, basata su siti sabbiosi con percentuale di fine $\leq 5\%$, che hanno e non mostrato fenomeni di liquefazione a seguito di terremoti di magnitudo dell'ordine di 7,5.

Le linea piena e quella tratteggiata indica il limite di separazione fra i terreni liquefacibili e non liquefacibili, rispettivamente proposte da *Seed ed al. (1985)* e *Tokimatsu e Yoshimi (1983)*.

8. ANALISI DEI DATI GEOGNOSTICI

Le indagini effettuate hanno permesso di determinare nel dettaglio le caratteristiche geotecniche del terreno. La profondità massima raggiunta dall'indagine è stata pari a 10,2 m. Per l'ubicazione planimetrica si potrà fare riferimento all'elaborato grafico allegato.



Di seguito, si riassumono i risultati delle prove effettuate.

Prova 1

- da 0 a 1,5 m da p.c.: riporto sabbioso limoso sciolto;
- da 1,5 a 2,4 m da p.c.: riporto sabbioso ghiaioso mediamente addensato;
- da 2,4 a 5,4 m da p.c.: sabbia limosa poco addensata;
- da 5,4 a 6,9 m da p.c.: limo e sabbia sciolto;
- da 6,9 a 8,1 m da p.c.: sabbia limosa poco addensata;
- da 8,1 a 10,2 m da p.c.: sabbia limosa ghiaiosa poco addensata.

La falda è stata rilevata a -3,4 m da p.c..

Prova 2

- da 0 a 1,2 m da p.c.: riporto sabbioso limoso sciolto;
- da 1,2 a 2,7 m da p.c.: riporto sabbioso ghiaioso mediamente addensato;
- da 2,7 a 6,3 m da p.c.: limo e sabbia sciolto;
- da 6,3 a 9,6 m da p.c.: sabbia limosa poco addensata;
- da 9,6 a 10,2 m da p.c.: sabbia limosa ghiaiosa poco addensata.

La falda è stata rilevata a -3,3 m da p.c..

Prova 3

- da 0 a 0,9 m da p.c.: riporto sabbioso limoso sciolto;

- da 0,9 a 2,1 m da p.c.: riporto sabbioso ghiaioso mediamente addensato;
- da 2,1 a 10,2 m da p.c.: sabbia limosa poco addensata.

La falda è stata rilevata a -3,1 m da p.c..

Le indagini eseguite hanno evidenziato una stratigrafia simile: sulla base dei dati ottenuti è stato definito un modello geologico che prevede circa 2,5 m di materiale di riporto al di sotto del quale sono presenti sabbie limose da sciolte a poco addensate con spessore superiore ai 6 m poggiante su subbie limose ghiaiose poco addensate.

9. PARAMETRAZIONE GEOTECNICA

Dalla modellazione geologica descritta nel precedente capitolo, che ha permesso di individuare la tipologia di depositi presenti, si è potuta determinare la parametrazione geotecnica del terreno e valutarne le caratteristiche. Per tale motivo facendo riferimento all'indagine eseguita, si sono ricavati alcuni parametri del terreno, che vengono di seguito elencati: si tratta della densità relativa, dell'angolo di attrito efficace di picco, del peso di volume secco e del valore medio degli N_{SPT} rilevati.

MATERIALE	DR	Φ' [°]	γ_d [t/mc]	N_{SPT}
Riporto sabbioso limoso sciolto	18÷22%	28,6÷28,9°	1,41÷1,43	5÷6
Riporto sabbioso ghiaioso med. add.	38÷52%	30,6÷33,1°	1,52÷1,60	12÷21
Sabbia limosa poco addensata	22÷25%	28,9÷29,2°	1,43÷1,45	6÷7
Limo e sabbia sciolti	15%	28,3°	1,39	4
Sabbia limoso-ghiaiosa poco add.	32÷37%	29,7÷30,3°	1,48÷1,51	9÷11

In conformità alla normativa vigente, devono essere definiti i valori "caratteristici" dei parametri geotecnici: con tale termine si intende "*quel valore a cui è fissata la probabilità di non superamento e rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori*".

Avendo a disposizione un numero ridotto di misure, si utilizza la seguente formula:

$$x_k = x_m - 1,645 \cdot \sigma_x$$

- x_m : valore medio;
- 1,645: costante relativa alla distribuzione normale;
- σ_x : deviazione standard.
- COV: coefficiente di variazione (da fonti bibliografiche, pari a 7 nel caso in esame).

A seguito delle elaborazioni sviluppate, nella tabella seguente viene riassunta la parametrazione geotecnica che sarà utilizzata nelle successive elaborazioni geotecniche. Per quanto concerne il peso di volume si ritiene più adeguato utilizzare un valore naturale, equivalente ad un peso parzialmente saturo in assenza di falda. La coesione è stata cautelativamente considerata pari a zero.

MATERIALE	Φ_K [°]	γ_N [t/mc]	c [kg/cmq]
Riporto sabbioso limoso sciolto	25,4°	1,6	0
Riporto sabbioso ghiaioso med. add.	28,0°	1,8	0

Sabbia limosa poco addensata	25,6°	1,6	0
Limo e sabbia sciolti	25,0°	1,6	0
Sabbia limoso-ghiaiosa poco add.	26,5°	1,7	0

Si precisa come la parametrizzazione determinata in modo statistico risulti congruente con le caratteristiche dei depositi presenti.

Le caratteristiche geotecniche risultano “mediocri” per la seconda unità e “scadenti” per le restanti.

10. INDAGINE GEOFISICA IN SISMICA ATTIVA

L'Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 ha individuato per ciascun comune una zona sismica di appartenenza (da 1 a 4) relativa alla maggiore (zona 1) o minore (zona 4) suscettività sismica del territorio comunale stesso.

Il Comune di Sesto Calende è individuato in Zona sismica 4 nell'elenco della zonazione sismica dei comuni italiani.

L'indagine eseguita viene sviluppata allo scopo di definire del parametro sismico V_{seq} medio negli strati di terreno, per meglio determinare il fattore di rischio sismico nel caso si manifestasse il sisma di riferimento. Al valore della velocità delle Onde Trasversali (Vs) corrisponde la propensione dei terreni ad esaltare/contenere (effetto di sito) le sollecitazioni provocate dalle onde sismiche superficiali, che sono le più pericolose nei confronti dei manufatti.

Come accennato in premessa, per lo studio delle Vs nel presente lavoro si è adottato il metodo MASW (acronimo di *Multichannel Analysis Surface Waves*).

10.1 GENERALITÀ SULLE ONDE SISMICHE

La prospezione sismica consiste in una serie di misure, condotte in superficie, sulla variazione nello spazio della proprietà fisica dei terreni denominata "elasticità".

Tale metodo non sfrutta campi di forze naturali ma richiede l'immissione artificiale nel terreno di una certa quantità di energia, la cui intensità, così come la distanza fra sorgente di energia e apparecchi di misura, può essere regolata al fine di rispondere al meglio ai quesiti posti dall'indagine.

Tale energia genera nel terreno delle onde sismiche che si dividono in due grandi categorie:

- onde di corpo (o di volume): onde P (Primarie) e onde S (Secondarie).
- onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love).

Tra le onde generate, per più di due terzi vengono trasmesse nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga: questa proprietà si chiama dispersione.

Onde di corpo

Le Onde P sono delle onde di corpo di compressione (o longitudinali) e corrispondono a compressioni e rarefazioni del mezzo in cui viaggiano: al loro passaggio le particelle di terreno

infatti oscillano in avanti e indietro nella stessa direzione di propagazione dell'onda.

Sono le onde più veloci generate da un sisma, quindi sono le prime avvertite, da cui il nome di Onda P (Primaria).

La velocità dell'onda può essere ricavata dall'equazione:

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

con :

- k che rappresenta il modulo di incompressibilità;
- μ è il modulo di rigidità;
- ρ la densità del materiale attraversato dall'onda.

Le Onde S sono onde di corpo che oscillano perpendicolarmente rispetto alla direzione di propagazione. Possono essere immaginate come le onde che si propagano su una corda che viene fatta oscillare. Un'importante caratteristica di queste onde è che non possono propagarsi in mezzi fluidi:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

con:

- μ che rappresenta il modulo di taglio del materiale;
- ρ la densità.

Dal confronto delle due relazioni sopra citate, è possibile osservare come la velocità delle onde S è necessariamente inferiore alla velocità delle onde P (in quanto manca il termine K) e raggiungono una velocità che si aggira solitamente intorno al 60-70% della velocità delle onde P. Per questo motivo giungono sempre dopo le Onde P (da cui onde S come Secondarie).

Onde superficiali

Le onde superficiali (o onde di superficie) vengono a crearsi a causa dell'intersezione delle onde di corpo con la superficie. Queste onde vengono trasmesse lungo la superficie e decadono esponenzialmente con la profondità (è questo il motivo per cui si dicono superficiali). Queste onde vengono generate facilmente nelle situazioni in cui la sorgente sismica è poco profonda. È da sottolineare che in caso di terremoto, dalla sorgente sismica vengono generate solo Onde P e Onde S, in quanto queste sono le onde di corpo, cioè le onde che si propagano all'interno della terra mentre non vengono generate direttamente le onde superficiali.

La velocità delle onde di superficie è inferiore alla velocità delle onde di corpo, per cui il loro arrivo è successivo all'arrivo delle Onde P ed S, al contrario l'ampiezza di queste onde è

notevolmente maggiore di quella delle onde di corpo.

Le *Onde di Rayleigh* vengono generate quando un'onda S, che incide sulla superficie libera, viene in parte riflessa, determinando un'ulteriore onda che si propaga sulla superficie stessa.

Queste onde esistono sia in semispazi omogenei (in questo caso la sua velocità è circa 0,92 volte la velocità delle onde S) che disomogenei (in cui risulta essere un'onda dispersa, cioè la sua velocità dipende dalla frequenza). Per meglio visualizzarle possono essere immaginate come molto simili a quelle che si creano gettando un sasso nello stagno, provocando quindi uno scuotimento o un sussulto del terreno. Il loro moto è vincolato in uno spazio verticale contenente la direzione di propagazione dell'onda.

Le *Onde di Love* sono anch'esse generate dalla riflessione delle Onde S sulla superficie libera del terreno, ma vengono generate solo nei mezzi in cui la velocità delle Onde S aumenta con la profondità (quindi siamo in presenza di un mezzo disomogeneo) e quindi sono sempre onde disperse. Le Onde di Love fanno vibrare il terreno sul piano orizzontale lungo la direzione ortogonale rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La velocità delle onde di Love è maggiore di quella delle onde S negli strati più superficiali della crosta, ma minore della stessa negli strati più bassi.

Nella figura è illustrato il movimento dei diversi tipi di onde di corpo e di superficie.

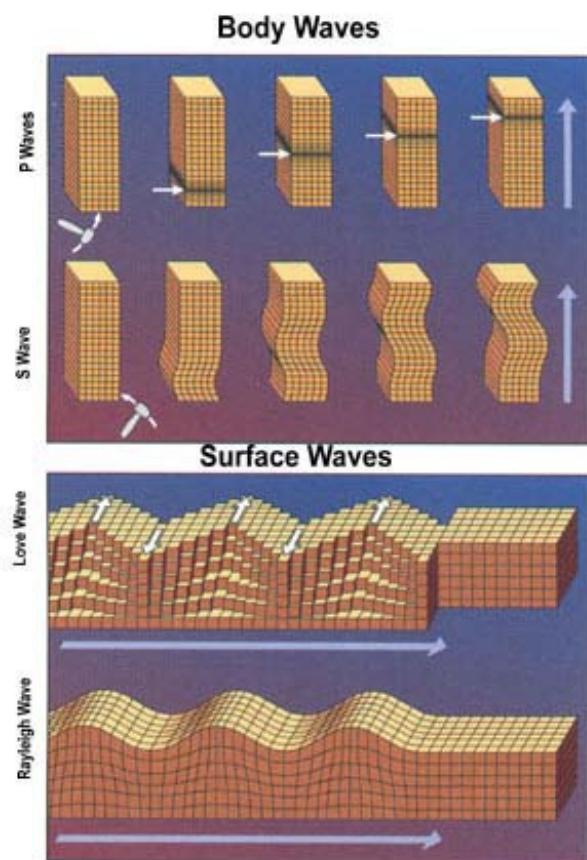
10.2 CARATTERISTICHE DEL METODO

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde di Rayleigh e di Love, è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

1. l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll),



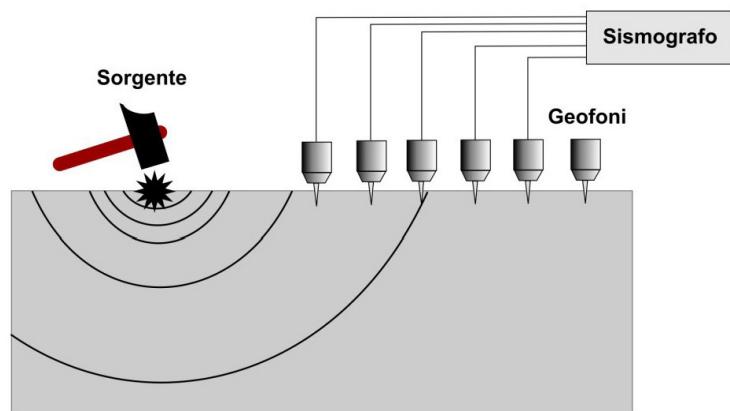
2. la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza)
3. l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Modalità di esecuzione, strumentazione e squadra

Per ottenere un profilo Vs è necessario produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

La base sismica (disegno a lato) è costituita da uno stendimento formato da un cavo multipolare cui sono collegati 12/24 geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz), tali geofoni vengono infissi nel terreno con un intervallo variabile.

Attraverso tali geofoni (ricevitori) vengono rilevati gli impulsi sismici



generati artificialmente da una sorgente di energia (mazza, fucile sismico, ecc.); gli impulsi sismici vengono poi trasformati in impulsi elettrici dal sismografo registratore che ha la possibilità di ampliarli e decodificarli.

Al fine di migliorare la qualità del segnale viene eseguita l'operazione di stacking: si tratta di sommare più acquisizioni pertinenti allo stesso stendimento, eseguendo un numero n di battute.

Il punto di energizzazione "P" è ubicato all'estremità dello stendimento, ad una distanza (offset) variabile dall'ultimo geofono; il tempo "zero", corrispondente all'attimo dell'energizzazione, viene inviato al sismografo registratore da un geofono starter, collegato via cavo.

Per ogni punto di energizzazione si effettua una registrazione dei tempi di arrivo ai geofoni degli impulsi generati per una finestra di ricezione di 2000 millisecondi (2,0 sec) sufficiente a captare

tutti gli arrivi d'onda e le relative attenuazioni.

La strumentazione utilizzata è la seguente:

- sismografo PASI 16S24U 24 canali;
- notebook ASUS per la registrazione dei dati;
- geofoni PASI ad asse orizzontale da 4,5 Hz;
- cavi sismici multipolari con 24 prese intervallate di 5 metri;
- massa battente;



- geofono starter, munito di "switch" per l'invio via cavo del "time break" al sismografo;
- cavi di prolunga e collegamento.

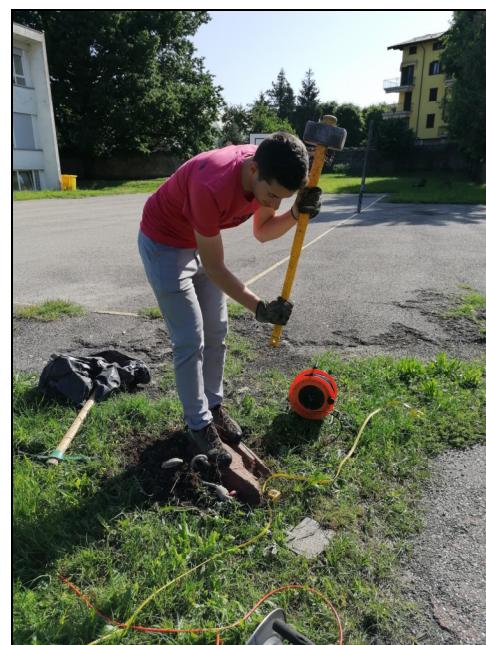
La squadra geofisica è stata composta da:

- geologo-geofisico responsabile dell'unità operativa;
- geologo.

Per una completezza di dati che consenta una migliore modellizzazione del sottosuolo, vengono effettuate molteplici acquisizioni per l'ottenimento sia delle onde di Rayleigh sia di quelle di Love. Come illustrato negli schemi sottostanti, per la registrazione delle diverse tipologie di onde si ha una diversa direzione di energizzazione ed un diverso posizionamento dei geofoni.

Onde di Rayleigh: l'energizzazione avviene perpendicolarmente alla superficie del terreno, acquisendo i dati con geofoni orizzontali con asse disposto parallelamente all'asse dello stendimento (Acquisizione RVF – Radial Vertical Force).

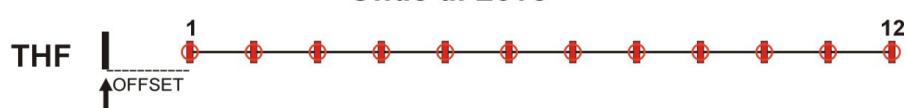
Onde di Love: l'energizzazione avviene parallelamente alla superficie del terreno (colpendo la piastra ortogonalmente all'asse dello stendimento) e l'asse dei geofoni viene disposto perpendicolarmente all'asse dello stendimento (Acquisizione THF – Transversal Horizontal Force).



Onde di Rayleigh



Onde di Love



10.3 ELABORAZIONE DEI DATI

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

Per le analisi dei dati acquisiti si è utilizzato il software winMASW 2018 Academy, prodotto dalla Società Eliosoft.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento.

Per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione è necessario conoscere i valori approssimati del rapporto di Poisson e della densità; tali valori vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali (stratigrafie di pozzi limitrofi).

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane ed infine le onde riverberate (back scattered), generate dalle disomogeneità superficiali, dal rumore ambientale e da quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale: le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni), mentre quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità.

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

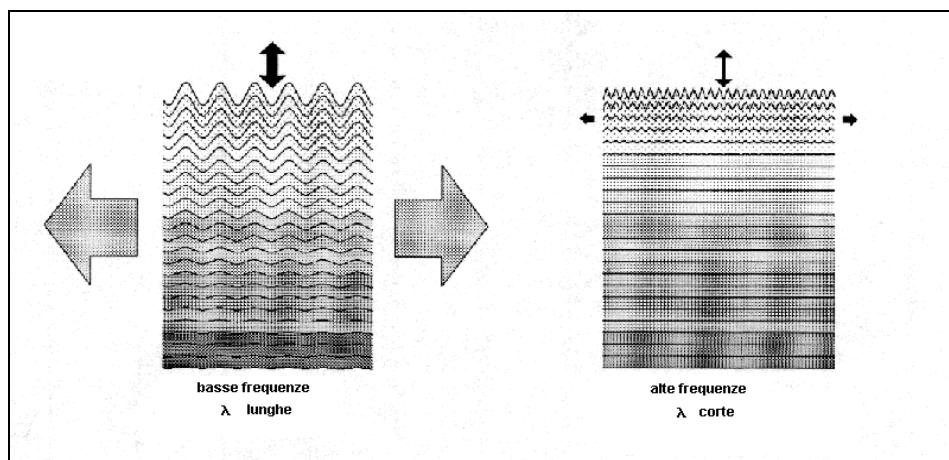
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali, quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative a ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione, così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x, y) il cui legame costituisce la curva di dispersione. È anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso la metodologia MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti Segnale/Disturbo (S/N). Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.

L'illustrazione sottostante mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori) sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.



L'analisi della dispersione delle onde di superficie per la determinazione del profilo V_s , si sviluppa essenzialmente in due operazioni svolte in successione:

1. determinazione dello spettro di velocità dal quale vengono, per così dire, estratte le proprietà dispersive delle onde di superficie (curve di dispersione);
2. inversione delle curve di dispersione precedentemente individuate.

L'analisi delle curve di dispersione viene svolta nel dominio $f-v$ (frequenza-velocità).

Il processo di inversione consente di passare dalla curva di dispersione al profilo verticale della velocità delle onde di taglio (Vs): poiché il dato che si va ad invertire non è un dato oggettivo ma un dato interpretato, una cattiva interpretazione del dato porta necessariamente ad un errore nel profilo Vs ricostruito.

Per effettuare l'interpretazione delle curve di dispersione si preferisce effettuare una modellazione diretta piuttosto che affidarsi in modo semplicistico alla procedura picking → inversione automatica.

Nella modellazione diretta occorre tenere in considerazione che le alte frequenze sono influenzate dalla porzione superficiale del terreno mentre le basse frequenze da quella profonda. Effettuare un'analisi congiunta, ad esempio utilizzando le onde di Rayleigh e quelle di Love, consente di ridurre l'incertezza del modello.

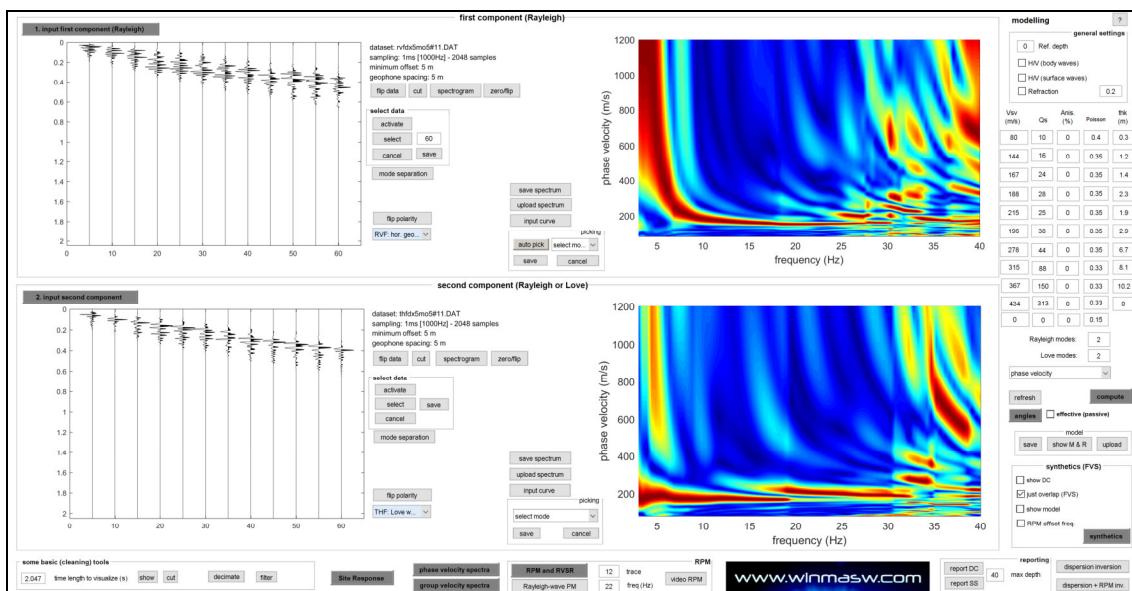


10.4 CARATTERISTICHE DELL'INDAGINE ESEGUITA

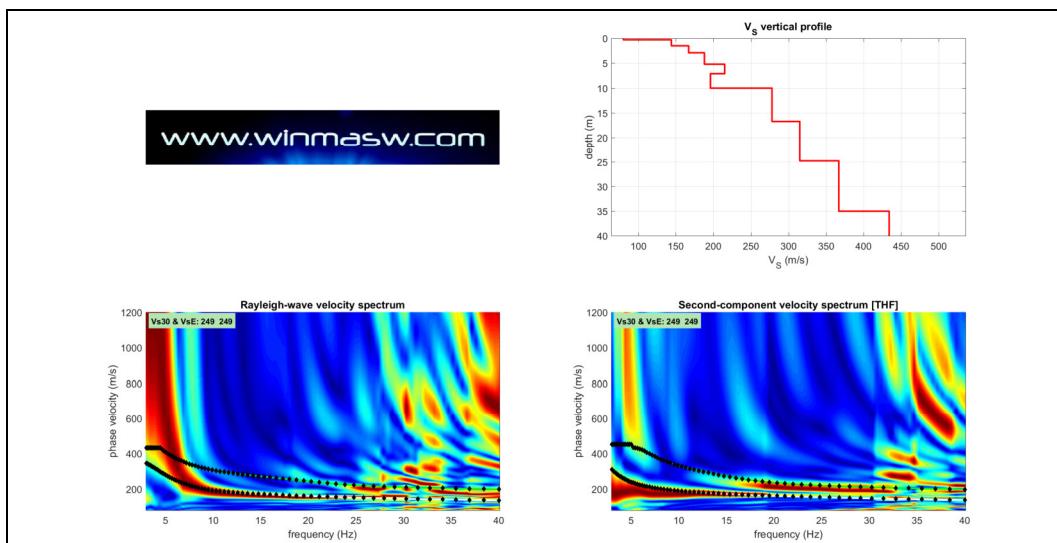
Il sito è costituito da depositi quaternari di tipo incoerente di genesi fluviolacustre.

L'indagine è stata realizzata mediante uno stendimento di 12 geofoni, con distanza intergeofonica pari a 5 m, per una lunghezza complessiva dello stesso di 55 m (immagine a lato). Le acquisizioni, sia di tipo RVF che THF, sono state effettuate con offset pari 6 m ed energizzazione mediante l'utilizzo di una massa battente di peso pari a 8 kg.

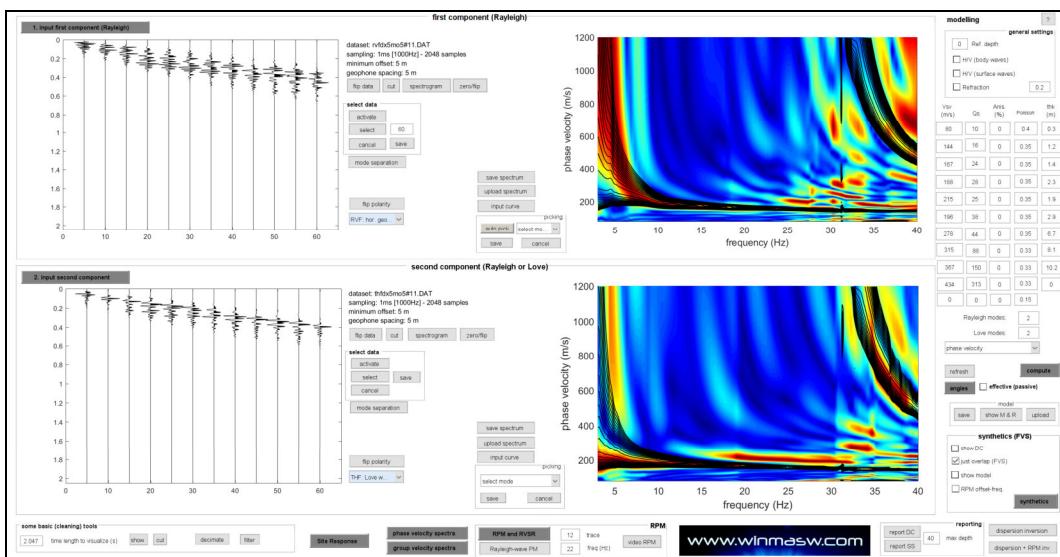
Per la definizione del modello del terreno si è proceduto all'analisi congiunta delle onde di Love e di quelle di Rayleigh di cui di seguito è riportata l'immagine che contiene la registrazione.



Nella figura di seguente vengono illustrati la curva di dispersione relative alle onde di Rayleigh e di Love ed il grafico con l'andamento delle velocità.



Nell'immagine sottostante sono infine riportati i modelli sintetici, che mostrano una buona corrispondenza con quanto registrato.



Di seguito viene proposta la tabella che riporta le velocità Vs per ciascuno strato:

Vs model (Vs30 & VsE: 249 249 m/sec)

layer	Vs {m/s}	thickness {m}	depth {m}
1	80	0.3000	0.3000
2	144	1.2000	1.5000
3	167	1.4000	2.9000
4	188	2.3000	5.2000
5	215	1.9000	7.1000
6	196	2.9000	10
7	278	6.7000	16.7000
8	315	8.1000	24.8000
9	367	10.2000	35
10	434	0	0

La $V_{s,eq}$ viene definita dalla formula:

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

dove:

h_i = spessore dello strato individuato con specifica velocità Vs.

V_i = velocità Vs dello strato h_i .

H = profondità del substrato, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s

Per il caso in esame è stato determinato un valore di $V_{s,eq}$ pari a 249 m/sec a piano campagna.

10.5 CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Il Decreto Ministeriale 17/01/2018 definisce, come detto, cinque categorie si sottosuolo in funzione del valore di $V_{s,eq}$.

CAT.	DESCRIZIONE

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

In funzione dei valori ottenuti, è possibile attribuire i terreni alla categoria dei suoli di fondazione di tipo "C" (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s*).

11. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Per l'analisi sismica specifica del sito di intervento occorre innanzitutto individuare la posizione dell'area, in modo da definire i relativi spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali e verticali delle azioni sismiche di progetto.

La definizione di tali spettri, relativi ad uno specifico Stato Limite, è articolata in tre fasi:

- **FASE 1** – individuazione della pericolosità del sito, sulla base dei risultati del progetto S1-INGV.
- **FASE 2** – scelta della strategia di progettazione.
- **FASE 3** – determinazione dell'azione di progetto.



FASI 1 E 2

Una volta provveduto all'individuazione geografica del sito (immagine di fianco), le variabili da considerare sono la classe dell'opera e la vita nominale della stessa.

Nel caso in esame si è fatto riferimento alla classe d'uso III *“Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi”* ed è stata considerata una vita nominale pari a 100 anni. Si ricorda che per Vita Nominale s'intende la “durata alla quale deve farsi espresso riferimento in sede progettuale, con riferimento alla durabilità delle costruzioni, nel dimensionare le strutture e i particolari costruttivi, nella

scelta dei materiali delle varie applicazioni e delle misure protettive per garantire il mantenimento della resistenza e della funzionalità”.

Le azioni sismiche vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU. Tale parametro riveste notevole importanza in quanto è utilizzato per valutare, fissata la probabilità di superamento P_{VR} corrispondente allo stato limite considerato, il tempo di ritorno (T_R) dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica.

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito al variare della classe d'uso, secondo quanto riportato nella sottostante tabella.

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

Nel caso in esame, essendo l'intervento ascrivibile in parte ad una classe d'uso III, avremo:

$$VR_{III} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ anni}$$

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PvR nel periodo di riferimento VR .

Ai fini dell’attuale normativa, 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:

ag : accelerazione orizzontale massima al sito;

FO : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Gli “stati limite” sono definiti di seguito:

- *Stato limite di Operatività (SLO)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d’uso significativi.
- *Stato Limite di Danno (SLD)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell’interruzione d’uso di parte delle apparecchiature.
- *Stato Limite di Salvaguardia (SLV)*: a seguito del terremoto, la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali. La costruzione conserva invece una parte della sua rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- *Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)*: a seguito del terremoto, la costruzione subisce gravi danni rotture e 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 e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

SLO e SLD appartengono agli “stati limite di esercizio”, mentre SLV e SLC fanno parte degli “stati

limite ultimi".

Come condizione di riferimento è stato scelto lo Stato Salvaguardia Vita (SLV); nella tabella seguente si riportano i dati ottenuti dai calcoli effettuati:

STATO LIMITE	Tr [anni]	a _g [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Salvaguardia della vita (SLV)	1424	0,049	2,728	0,313

FASE 3

Nelle elaborazioni si farà riferimento ad un sottosuolo di "Categoria C", così come determinato nell'indagine sismica effettuata in sito. Per quanto riguarda la categoria topografica, si dovrà fare riferimento alla tabella proposta in seguito:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i=15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i>15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Morfologicamente, essendo pianeggiante l'area è ascrivibile alla categoria "T1".

I parametri correttivi determinati sono quindi i seguenti:

PARAMETRI	VALORI
Amplificazione stratigrafica (Ss)	1,50
Coeff. funzione della categoria suolo (Cc)	1,54
Amplificazione topografica (St)	1,00

I valori del coefficiente sismico orizzontale e verticale, dell'accelerazione massima attesa al sito e del coefficiente di riduzione dell'accelerazione in sito, (riferiti allo SLU) si riassumono nella seguente tabella:

TIPO	kh	kv	A _{max}	Beta
Opere di fondazione, stabilità pendio	0,015	0,007	0,725	0,200

12. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Facendo riferimento alla Carta delle pericolosità sismica locale del vigente PGT, l'area in esame ricade all'interno dell'area "Z2b - Zona con depositi granulari fini saturi". Essa comprende "aree caratterizzate dalla presenza di limi sabbiosi e sabbie limose con argille e torbe, da limi argillosi con sabbia, sabbie limose e argille limose con torbe; l'acquifero, libero o sospeso, è spesso prossimo al piano campagna". L'area è anche classificata come "Z4a) Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi".

Le norme geologiche di attuazione del PGT vigente prevedono che per le opere e gli edifici strategici e rilevanti, così come definiti nel D.D.U.O. 21/11/2003 n. 19904, categoria a cui appartiene anche l'opera in progetto, "la documentazione di progetto dovrà comprendere la definizione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi secondo le procedure previste dai successivi livelli di approfondimento". Si procederà quindi all'analisi di secondo e terzo livello.

12.1 ANALISI DI 2° LIVELLO

La procedura per l'analisi di 2° livello è descritta nella D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/2011 e consiste "in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa).

Il Fattore di Amplificazione è calcolato a partire dalle schede di riferimento, pubblicate nella sopra citata legge e basate sulla litologia prevalente del sito. Una volta scelta quella più adatta, essa va verificata utilizzando profilo di andamento delle Vs ottenuto con l'indagine MASW sito specifica.

Nel caso in esame si è scelta la scheda per le litologie prevalentemente sabbiose, di seguito riportata, risultata valida dopo il confronto con il profilo delle Vs.

Si è quindi proceduto al calcolo della Vs dello strato equivalente corrispondente ai primi 5,2 m di profondità; in relazione alle risultanze dell'analisi, si è scelto di fare riferimento alla curva 2.

Per la scheda litologica scelta, i valori massimi della curva 2 nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s sono rispettivamente pari a 1,7 e 2; poiché questi valori sono comunque inferiori ai livelli di Fa di soglia dei rispettivi intervalli previsti per un sottosuolo di categoria C nel comune di Sesto Calende e vista la mancata individuazione del bedrock sismico, si è deciso di non calcolare T e di considerare come valori di Fa in situ quelli massimi possibili per la curva scelta.

Intervallo	Fa sito specifico	Fa soglia comunale
0,1-0,5 s	1,7	1,9
0,5-1,5 s	2,0	2,4

I valori Fa ottenuti sono inferiori ai Fa di soglia previsti per entrambi gli intervalli.

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:

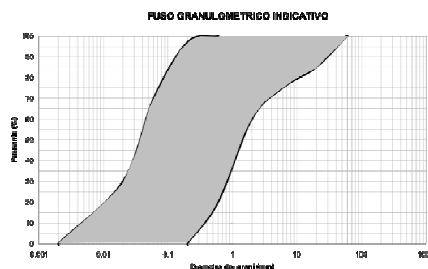
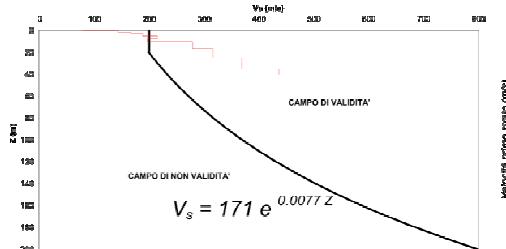
Comportamento granulare

Struttura granulo-sostenuta

Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%

Frazione ghiaiosa inferiore al 25%

Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

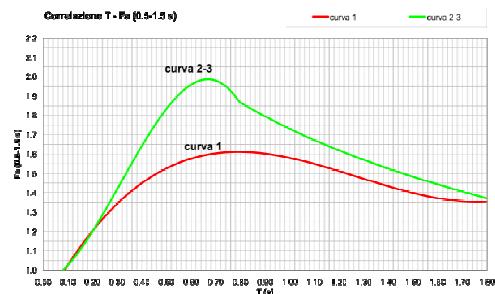
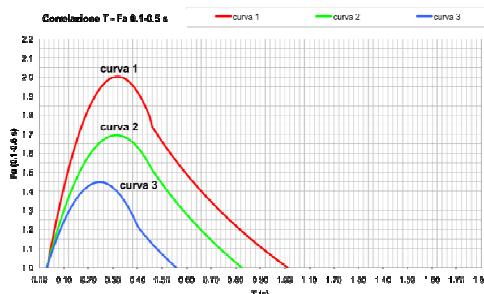
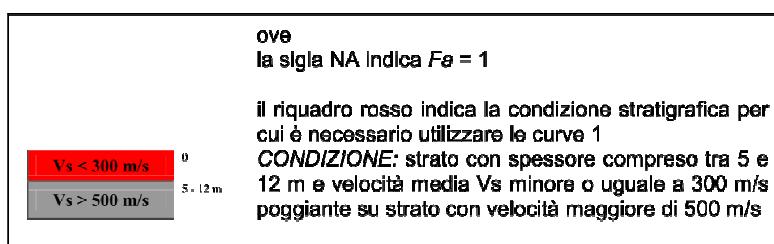
ANDAMENTO DELLE Vs CON LA PROFONDITÀ¹
LITOGOGIA SABBIOSA

Profondità primo strato (m)																						
1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	80	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	2	3	3	3	3	3	NA	NA	NA										
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	NA	NA	NA							
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA						
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	NA	NA	NA					
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA				
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA			
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA			
550	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA			
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA			
650	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA			
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA			

ove
la sigla NA indica $F_a = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.60$ $F_a_{0.03-0.60} = -12.21 T^3 + 7.79 T + 0.76$	$0.60 \leq T \leq 1.00$ $F_a_{0.60-1.00} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $F_a_{T>1.00} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $F_a_{0.03-0.45} = 8.86 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 \leq T \leq 0.80$ $F_a_{0.45-0.80} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $F_a_{T>0.80} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $F_a_{0.03-0.40} = -8.88 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.60 \leq T \leq 0.65$ $F_a_{0.60-0.65} = 0.82 - 0.85 \ln T$	$T > 0.65$ $F_a_{T>0.65} = 1.00$

Curva	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $F_a_{0.08-1.80} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $F_a_{0.08-1.80} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T \leq 0.80$ $F_a_{0.08-0.80} = -8.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $F_a_{0.80-1.80} = 1.73 - 0.81 \ln T$

12.2 ANALISI DI 3° LIVELLO

Il livello 3 dell'All. 5 della D.G.R. n. 9/2616 prevede la “*caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi, nel caso di aree caratterizzate da effetti di instabilità, sedimenti e/o liquefazioni (Z1 e Z2)*”. In funzione della tipologia dell'opera in progetto si procederà alla determinazione del modulo di taglio G, del fattore di smorzamento D e alla verifica della suscettibilità a liquefazione.

12.3 MODULO DI TAGLIO G E FATTORE DI SMORZAMENTO D

Per la realizzazione dell'analisi di terzo livello, Regione Lombardia ha messo a disposizione una banca dati contenente i valori del modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e del rapporto di smorzamento (D) in funzione della deformazione (γ), per diverse litologie. Tale documento è scaricabile dal sito di Regione Lombardia con il nome di *curve_lomb.xls*.

Da questa banca dati sono state estratte le due curve, G/G_0 e D, caratteristiche dei limi sabbiosi. Entrambi i grafici sono stati allegati alla presente relazione.

12.4 VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione interessa i depositi sabbiosi saturi che, nel corso di un evento sismico o più genericamente durante ed immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico, subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio.

È altresì ormai generalmente accettato che la causa principale della liquefazione dei terreni sabbiosi saturi, che si verifica nel corso degli eventi sismici, è riconducibile all'insorgere dell'incremento delle pressioni interstiziali indotte dalle sollecitazioni di taglio cicliche, le quali sono da attribuire alla propagazione nel terreno delle onde di taglio. L'applicazione di una successione di sforzi ciclici in condizioni drenate genera inizialmente una riduzione di volume; se tuttavia la sollecitazione avviene molto rapidamente rispetto alle capacità di drenaggio del deposito ne consegue che la riduzione di volume non può manifestarsi e l'elemento di volume risulterà assoggettato ad un processo di carico non drenato.

La deformazione volumetrica impedita sarà accompagnata da un innalzamento di pressione neutra e da una riduzione delle tensioni effettive, dovendo rimanere le tensioni totali costanti. L'incremento di pressione neutra dipende dal grado di addensamento iniziale del terreno e dall'entità della sollecitazione ciclica.

Se il terreno si trova in uno stato poco denso e la sollecitazione ciclica risulta sufficientemente elevata, l'incremento di pressione neutra che ne consegue può eguagliare la tensione efficace di confinamento e le particelle di terreno non risultano più sottoposte ad alcuno sforzo intergranulare.

In tali condizioni ed essendo nulla la coesione, il terreno non possiede più alcuna resistenza al taglio.

12.4.1 Seed e Idriss

Il metodo utilizzato dal software Loadcap per la valutazione della liquefabilità di un terreno sabbioso saturo durante un evento sismico è quello proposto da Seed e Idriss, il più noto e utilizzato dei metodi semplificati.

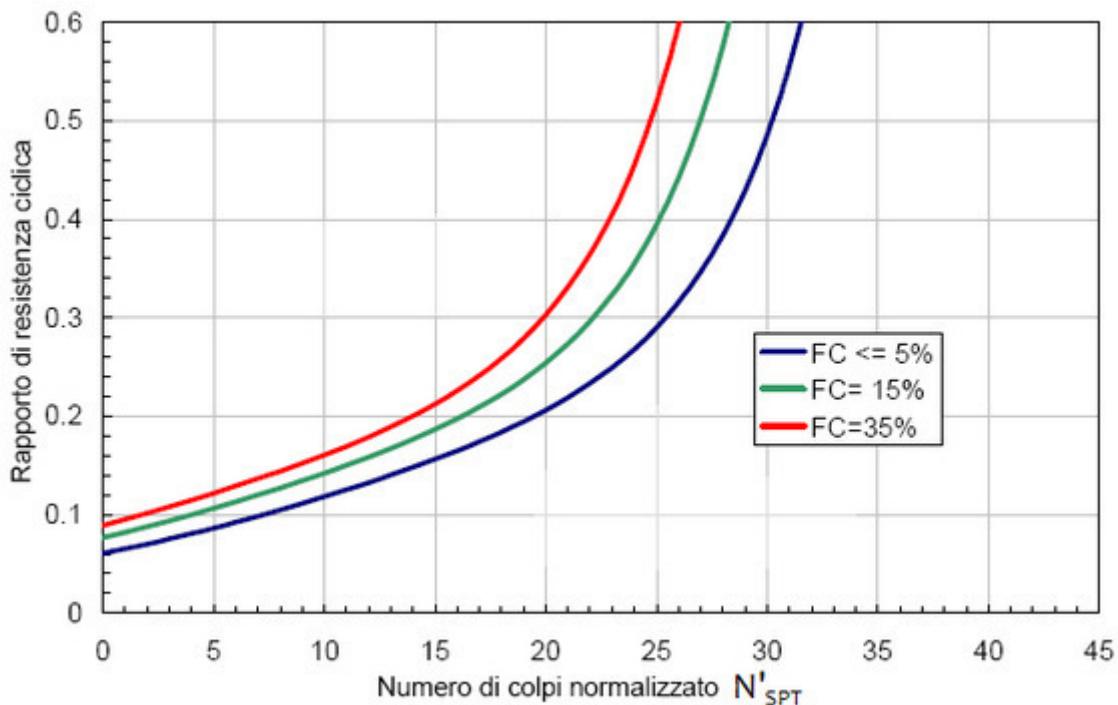
Si basa sul numero di colpi della prova Standard Penetration Test e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, la densità relativa, il peso di volume.

Con tale metodo il fattore di resistenza alla liquefazione (FS) viene valutato dal rapporto tra la capacità di resistenza normalizzata (R) e la domanda di resistenza ciclica (T), moltiplicato per un fattore di scala valutato considerando un evento sismico atteso di magnitudo M=6.5 che assume un valore costante pari a 1.19 (condizione peggiore).

La capacità di resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale viene espressa dalla seguente relazione:

$$R = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

e può essere determinata dal grafico rappresentato nella figura sottostante, funzione di parametri desunti da prove SPT opportunamente corretti e normalizzati.



Correlazione fra capacità di resistenza ciclica e numeri di colpi corretto della prova penetrometrica dinamica (N'_{SPT})

La domanda di resistenza ciclica viene espressa dalla relazione:

$$T = 0.65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

dove:

g = accelerazione di gravità;

σ e σ' = rispettivamente la tensione verticale totale e quella efficace alla profondità considerata;

$r_d = 1 - 0.015z$ = coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del terreno al passaggio delle onde sismiche di taglio.

Nell'espressione della domanda di resistenza (T), per tenere conto del carattere sporadico dei picchi di accelerazione, si corregge lo sforzo massimo ciclico indotto dall'evento sismico del 35% ottenendo un valore di "sforzo equivalente uniforme".

Se $FS > 1.3$ il deposito viene considerato non liquefacibile.

Per la verifica dell'area in esame è stata utilizzata come riferimento la stratigrafia della prova penetrometrica numero 2. Di seguito si riportano i risultati della verifica a liquefazione.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE - Metodo del C.N.R. - GNDR Da Seed e Idriss

=====

Svo: Pressione totale di confinamento; S'vo: Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Strato	Prof. strato (m)	Nspt	Nspt'	P0 (kN/m ²)	P0' (kN/m ²)	T	R	SF	Condizione
1	1.20	5.00	9.489	19.200	19.200	0.047	0.129	2.76	Livello non liquefacibile
2	2.70	14.00	21.476	46.899	40.034	0.053	0.370	6.95	Livello non liquefacibile
3	6.30	4.00	4.955	108.098	65.929	0.070	0.093	1.31	Livello non liquefacibile
4	9.60	6.00	6.318	164.197	89.665	0.074	0.105	1.41	Livello non liquefacibile
5	10.20	11.00	11.235	174.997	94.581	0.074	0.141	1.90	Livello non liquefacibile

Il terreno dell'area in esame non è soggetto a liquefazione.

13. PRESCRIZIONI E LIMITAZIONI

L'area in esame ricade all'interno classe III di fattibilità geologica, in particolare nelle sottoclassi B1, D2 e C8.

13.1 SOTTOCLASSE B1

Nella sottoclassificazione B1, in fase progettuale si dovrà tenere in considerazione l'interazione con la circolazione idrica sotterranea e lo smaltimento delle acque meteoriche e refluente. A tale proposito si rimanda ai *Regolamenti Regionali n° 2 e 4 del 24 marzo 2006*.

Relativamente a questo aspetto, si segnala che l'edificio in progetto non prevede la realizzazione di locali intinti.

Relativamente all'intervento in esame, si sottolinea come le NdA del PGT vigenti prescrivono che *"in tutte le aree urbanizzate (edificate e di nuova edificazione) devono essere presenti o previste adeguate opere di fognatura e collegamento e tutti i fabbricati vi devono essere regolarmente allacciati"*.

Lo smaltimento delle acque meteoriche dovrà avvenire nel rispetto del *Regolamento Regionale 7/2017 ss.mm.ii.* e delle *Norme di Attuazione* del PGT vigente.

13.2 SOTTOCLASSE D2

Vista la presenza di materiali dalle caratteristiche geotecniche scadenti, in fase progettuale dovrà essere valutata l'opportunità di realizzare un rilevato di bonifica geotecnica su cui andranno ad insistere le fondazioni.

13.3 SOTTOCLASSE C8

Sebbene la sponda sinistra del Torrente Lenza abbia una quota sempre superiore alla quota del livello idraulico di un evento di piena con tempi di ritorno pari a 200 anni, vista la presenza di un franco compreso fra i 20 e i 50 cm per la porta più a monte, si ritiene opportuno che la superficie calpestabile dell'edificio in progetto sia realizzata ad una quota di almeno 50 cm superiore a quella del piano campagna e comunque a una quota non inferiore ai 202,70 m s.l.m.. Tale quota è stata stabilita in modo da avere un franco di 50 cm sulla quota massima della sponda sinistra in corrispondenza della sezione 6.

In fase progettuale dovrà anche essere valutata la realizzazione di opere drenanti al fine di evitare sottopressioni idrostatiche nei terreni di fondazione, così come prescritto dalle NTA.

14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A conclusione del presente lavoro si evidenzia quanto segue:

- l'area in esame è ascritta alla classe "III" di fattibilità, secondo la cartografia del vigente PGT, in particolare alle sottoclassi B1, D2 e C8;
- l'edificio in progetto rientra fra le opere e gli edifici rilevanti, così come definiti nel D.D.U.O. 21/11/2003 n. 19904
- da un punto di vista geologico, l'area interessata dal progetto risulta impostata su depositi fluviolacustri;
- geomorfologicamente il sito di intervento risulta pianeggiate e ricade in un'area a pericolosità media o moderata (Em) per l'esondazione del Torrente Lenza;
- la falda freatica è stata rilevata durante l'esecuzione delle prove penetrometriche a circa 3 m da piano campagna;
- l'area in esame è ascritta all'area a *vulnerabilità alta* della falda freatica secondo la cartografia del PGT vigente;
- sulla base di quanto riportato nella relazione idraulica del Dott. Ing. Paolo Onida, la sponda sinistra del Torrente Lenza presenta nell'area in esame una quota sempre superiore a quella relativa ad un evento di piena con tempi di ritorno pari a 200 anni;
- per definire nel dettaglio le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del terreno sono state eseguite tre prove penetrometriche dinamiche che hanno raggiunto la profondità massima di 10,2 m da p.c.;
- sulla base dell'indagine eseguita è stato realizzato un modello geologico del terreno che prevede circa 2,5 m di materiale di riporto al di sotto del quale sono presenti sabbie limose da sciolte a poco addensate, con spessore superiore ai 6 m, poggiante su subbie limose ghiaiose poco addensate;
- sulla base delle indagini effettuate sono stati definiti i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

MATERIALE	Φ_k [°]	γ_N [t/mc]	c [kg/cmq]
Riporto sabbioso limoso sciolto	25,4°	1,6	0
Riporto sabbioso ghiaioso med. addensata	28,0°	1,8	0
Sabbia limosa poco addensata	25,6°	1,6	0
Limo e sabbia sciolti	25,0°	1,6	0
Sabbia limoso-ghiaiosa poco addensata	26,5°	1,7	0

- le caratteristiche geotecniche risultano “mediocri” per la seconda unità e “scadenti” per le restanti;
- l’indagine geofisica eseguita ha permesso di classificare il terreno alla tipologia “C”, determinando un valore di $V_{S,eq}$ pari a 249 m/s a piano campagna;
- è stata realizzata l’analisi di secondo livello per la pericolosità sismica locale che ha fornito valori di F_a massima inferiori a quelli di soglia previsti;
- dalla banca dati di Regione Lombardia sono state estratte le due curve, G/G0 e D, caratteristiche dei limi sabbiosi;
- è stata effettuata la verifica a liquefazione il cui risultato ha evidenziato la non liquefacibilità del terreno.

Premesso quanto sopra, dovranno essere rispettate le seguenti prescrizioni:

- l’edificio in progetto dovrà essere allacciato alla rete fognaria esistente;
- le acque meteoriche dovranno essere smaltite nel rispetto del *Regolamento Regionale 7/2017 ss.mm.ii.* e delle *Norme di Attuazione* del PGT vigente;
- in funzione delle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni, in fase progettuale dovrà essere valutata l’opportunità di realizzare un rilevato di bonifica geotecnica su cui andranno ad insistere le fondazioni;
- la superficie calpestabile dovrà essere realizzata ad almeno 50 cm sopra il piano campagna e comunque a una quota non inferiore ai 202,70 m s.l.m.;
- in fase progettuale dovrà essere valutata la realizzazione di opere drenanti.

A conclusione delle presenti note si ritiene di poter affermare che, se verranno osservate le indicazioni sopracitate, la realizzazione del progetto garantisce la stabilità della zona e l’intervento risulta compatibile con lo "status" geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell’area in esame.

ALLEGATI

Corografia

Estratto DBTR Lombardia scala 1 : 10.000

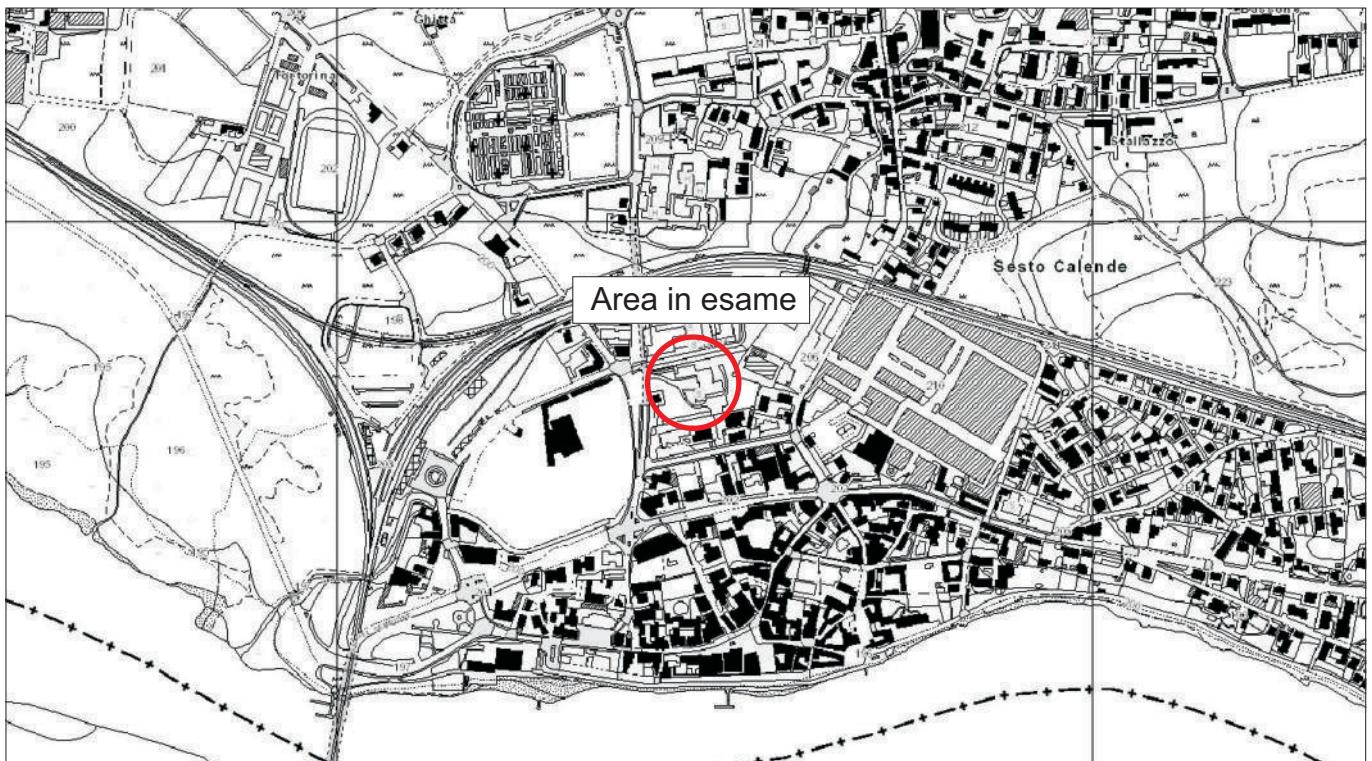
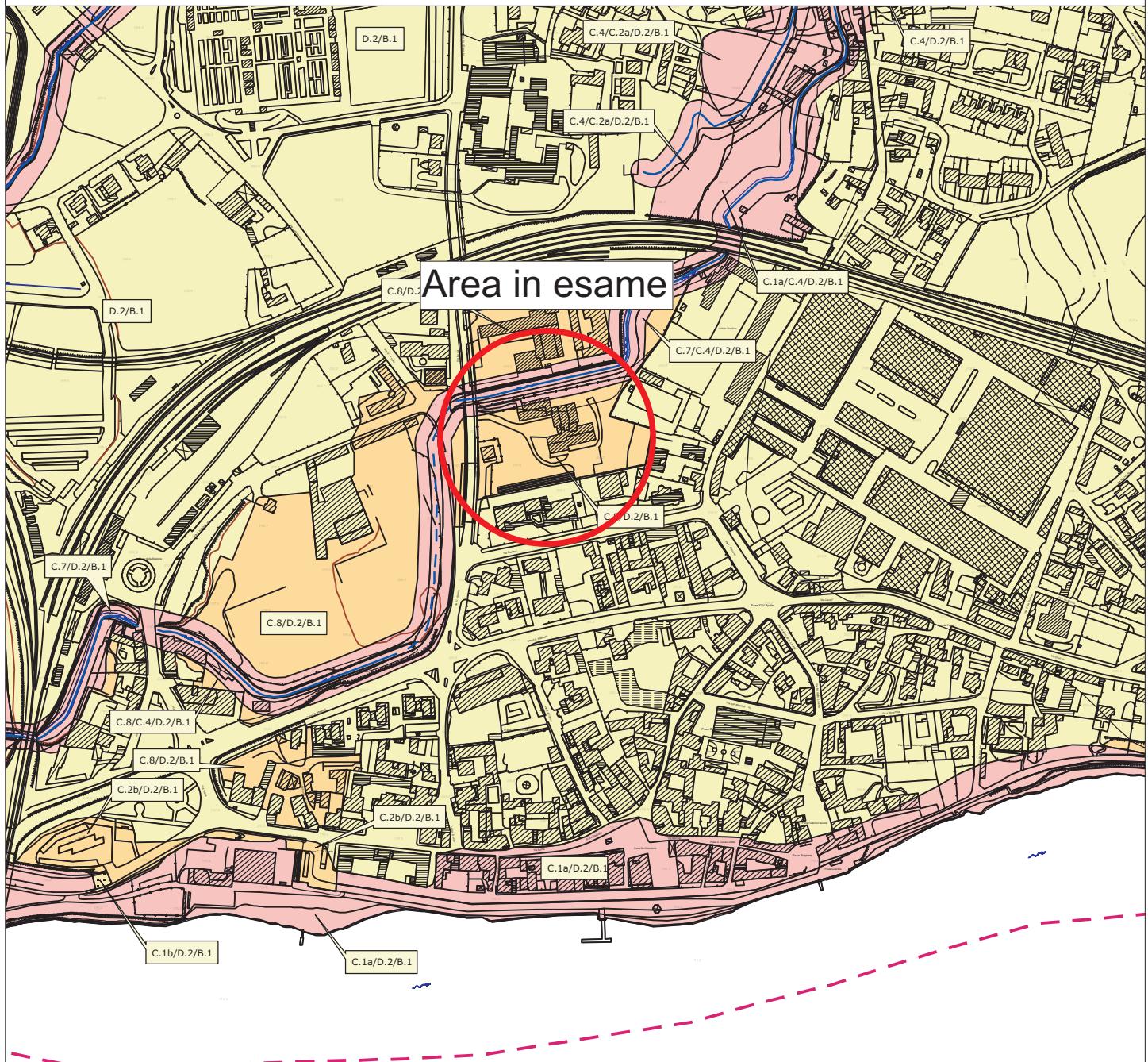


Immagine satellitare
scala 1:5.000



Estratto della carta della fattibilità geologica del PGT vigente

scala 1:5.000



Classi di fattibilità geologica

Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni

- A.4 - Aree di frana quiescente
- A.5 - Aree a fransosità superficiale diffusa
- B.2 - Aree con emergenze idriche diffuse
- C.1a - Aree frequentemente inondabili (Tr fino a 50/200 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido: pericolosità molto elevata
- C.4 - Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali
- C.7 - Aree di pertinenza dei corsi d'acqua

Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

- A.17 - Aree di versante alluvionale a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di fenomeni di dissesto
- C.2a - Aree allagabili con minore frequenza (Tr fino a 200 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche: pericolosità media o moderata
- C.2b - Aree allagabili con minore frequenza (Tr superiori a 200 anni) e con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche: pericolosità media o moderata
- C.5 - Aree soggette ad esondazione lacuale
- C.8 - Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni

Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

- C.1b - Aree frequentemente inondabili (Tr fino a 50/200 anni), con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua: pericolosità elevata

Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni

- A.18 - Aree di versante mediamente alluvionali
- B.1 - Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero superficiale
- D.2 - Aree con caratteristiche geotecniche mediocri

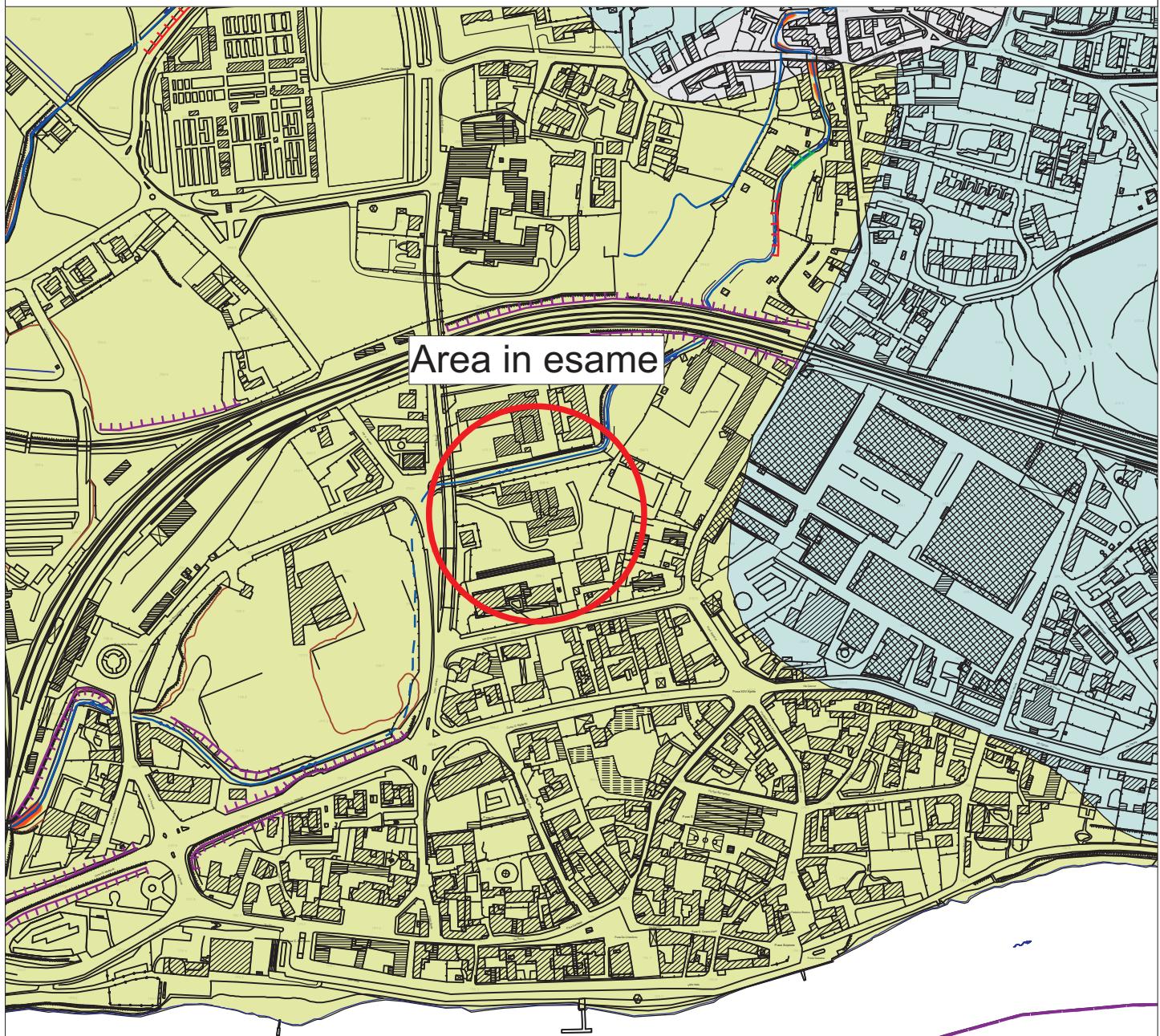
Corso d'acqua minore

Corso d'acqua minore tobinato

Confine comunale

Estratto della carta litologica e della dinamica geomorfologica del PGT vigente

scala 1:5.000



LEGENDA

Unità litologiche

	Massi, ciottoli e sabbia (depositi detritici eluvio-colluviali)
	Ciottoli, ghiaia e sabbia (depositi di conoide alluvionale)
	Limi sabbiosi e sabbie limose con argille e torbe (depositi fluvio-lacustri)
	Limi argillosi con sabbia e rari ciottoli (depositi alluvionali Rio Capricciosa, Fosso del Mojolo e Valdona)
	Sabbie limose con ghiaia e argille (depositi alluvionati T. Lenza)
	Argille limose con torbe (depositi alluvionali T. Riale)
	Ciottoli e ghiaia con sabbia (Fluvioglaciale Wurm)
	Limi sabbiosi con ghiaia e ciottoli (Morena Wurm)
	Conglomerati e arenarie (Formazione della Gonfolite)
	Calciruditi e marne (Formazione di Ternate)
	Giacitura strati (immersione e d'inclinazione)

Permeabilità

Elevata
Elevata
Bassa/quasi nulla
Bassa/quasi nulla
Variabile
Quasi nulla
Elevata
Medio-bassa
Bassa/quasi nulla
Bassa/quasi nulla

Dinamica geomorfologica

Forme glaciali
Massi erratici
Cordoni morenici
Forme fluviali, fluvioglaciali e lacustri
Orlo di terrazzo attivo
Orlo di terrazzo inattivo
Deposito detritico in alveo
Alveo sovralluvionato
Erosione di sponda
Alveo abbandonato
Area con fenomeni di ristagno
Linea di accrescimento fluviale
Area con elevata probabilità di esondazione
Corso d'acqua
Corso d'acqua tombinato
Confine comunale

Forme di versante (dovute a gravità)

	Smottamento superficiale
	Area soggetta a frane di scivolamento
	Accumulo detritico
	Creep e soliflusso

Forme di versante (dovute a dilavamento)

	Ruscellamento superficiale
	Erosione incanalata
	Area soggetta a franosità diffusa

Forme poligeniche naturali

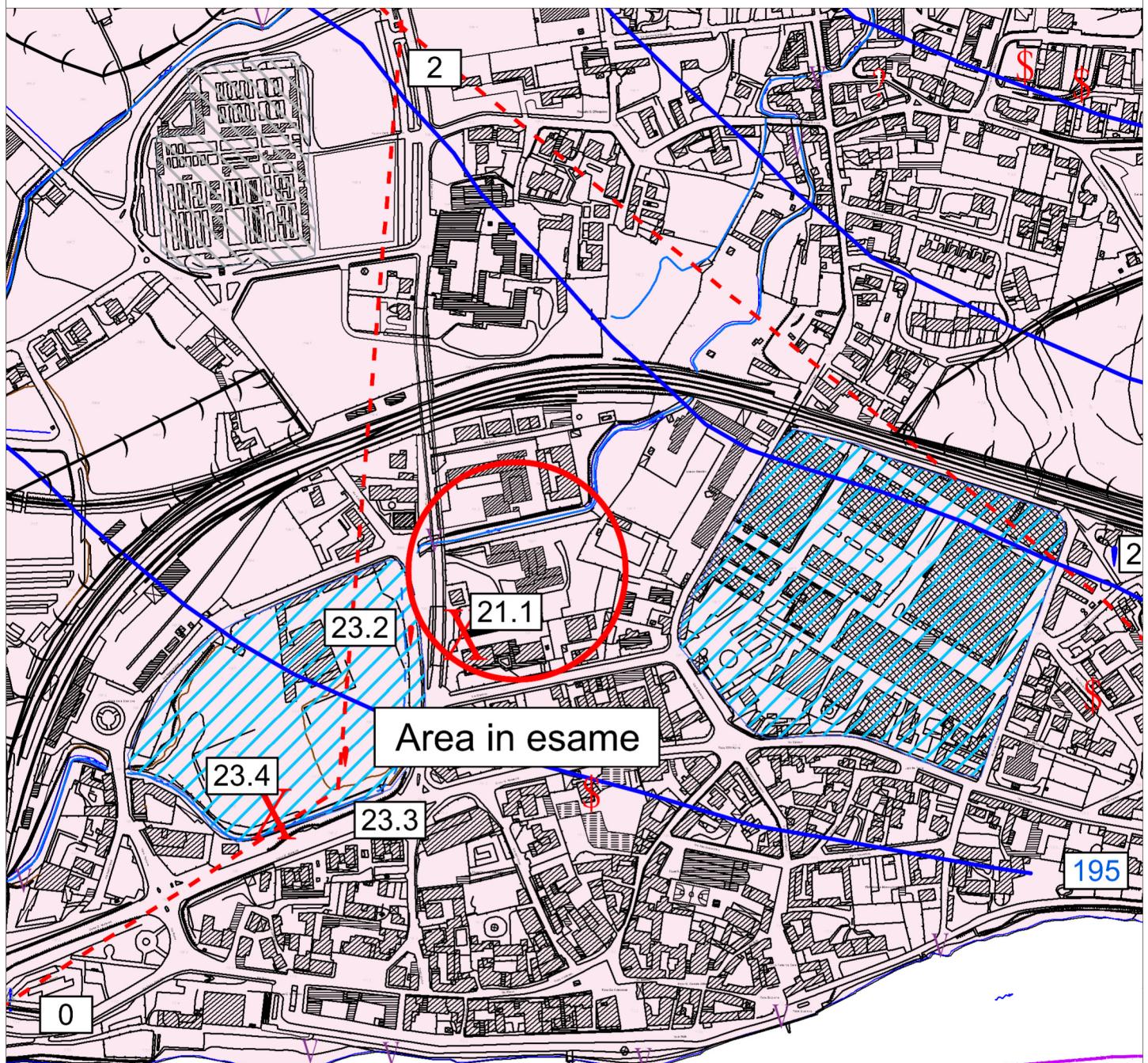
	Principali rotture di pendenza
--	--------------------------------

Forme antropiche

	Bacino di raccolta acque di scarico autostradali
	Scarpate antropiche (rilevi, terrapieni)

Estratto della carta idrogeologica del PGT vigente

scala 1:5.000



LEGENDA

Centri di pericolo

- Aree non servite da fognatura
- Aree sottoposte a bonifica ambientale
- Cimiteri esistenti
- Depuratore (con indicazione del punto di recapito in acque superficiali)
- Dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali o strade
- Stoccaggio di prodotti o sostanze chimiche pericolose
- Scarico in acque superficiali da scolmatori e troppo pieni stazione di sollevamento acque miste (nere e meteoriche)
- Scarico in acque superficiali da scolmatori e troppo pieni stazione di sollevamento solo acque nere
- Scarico in suolo o sottosuolo da scolmatori e troppo pieni stazione di sollevamento acque miste (nere e meteoriche)
- Corso d'acqua minore
- Corso d'acqua minore tombinato
- Confine comunale

Pozzi

Attivo	Chiuso

Pozzo pubblico con stratigrafia
Pozzo privato con stratigrafia
Pozzo pubblico senza stratigrafia
Pozzo privato senza stratigrafia

Sorgenti

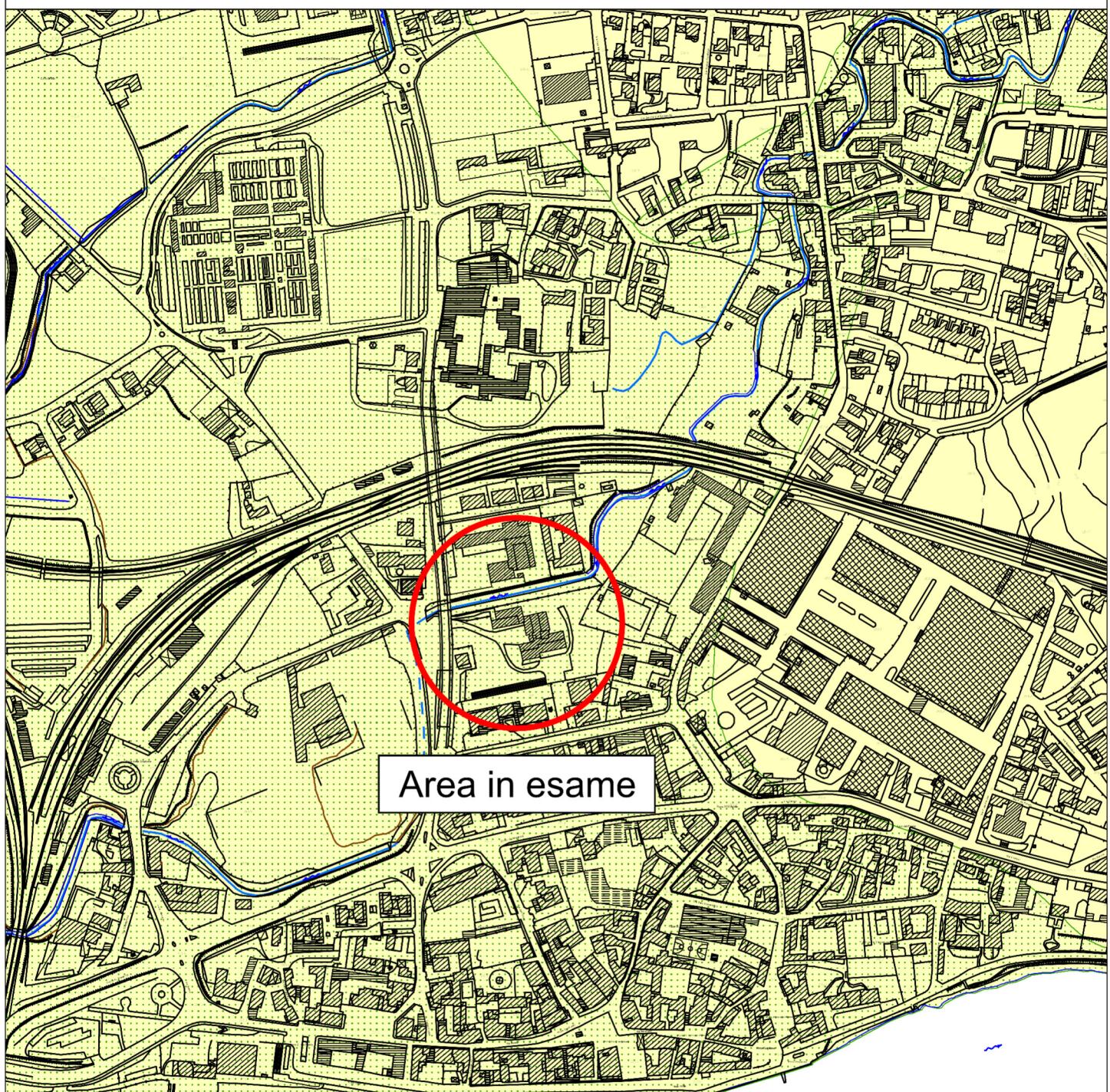
- Sorgente captata pubblica
- Sorgente captata privata
- Sorgente non captata
- Area con emergenze idriche diffuse
- Bacino di compensazione

Grado di vulnerabilità

- Vulnerabilità bassa
- Vulnerabilità media
- Vulnerabilità alta
- Linea isopiezometrica e relativa quota (m.s.l.m.)
- Direzione di deflusso
- Asse di drenaggio
- Traccia di sezione

Estratto della carta della pericolosità sismica locale del PGT vigente

scala 1:5.000



LEGENDA

Instabilità

- Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
- Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana

Liquefazioni

- Z2b - Zone con depositi granulari fini saturi

Amplificazioni topografiche

- Z3a - Zona di ciglio
- Z3b - Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo

Amplificazioni litologiche e geometriche

- Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi
- Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delitzio-lacustre
- Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi



Corso d'acqua minore



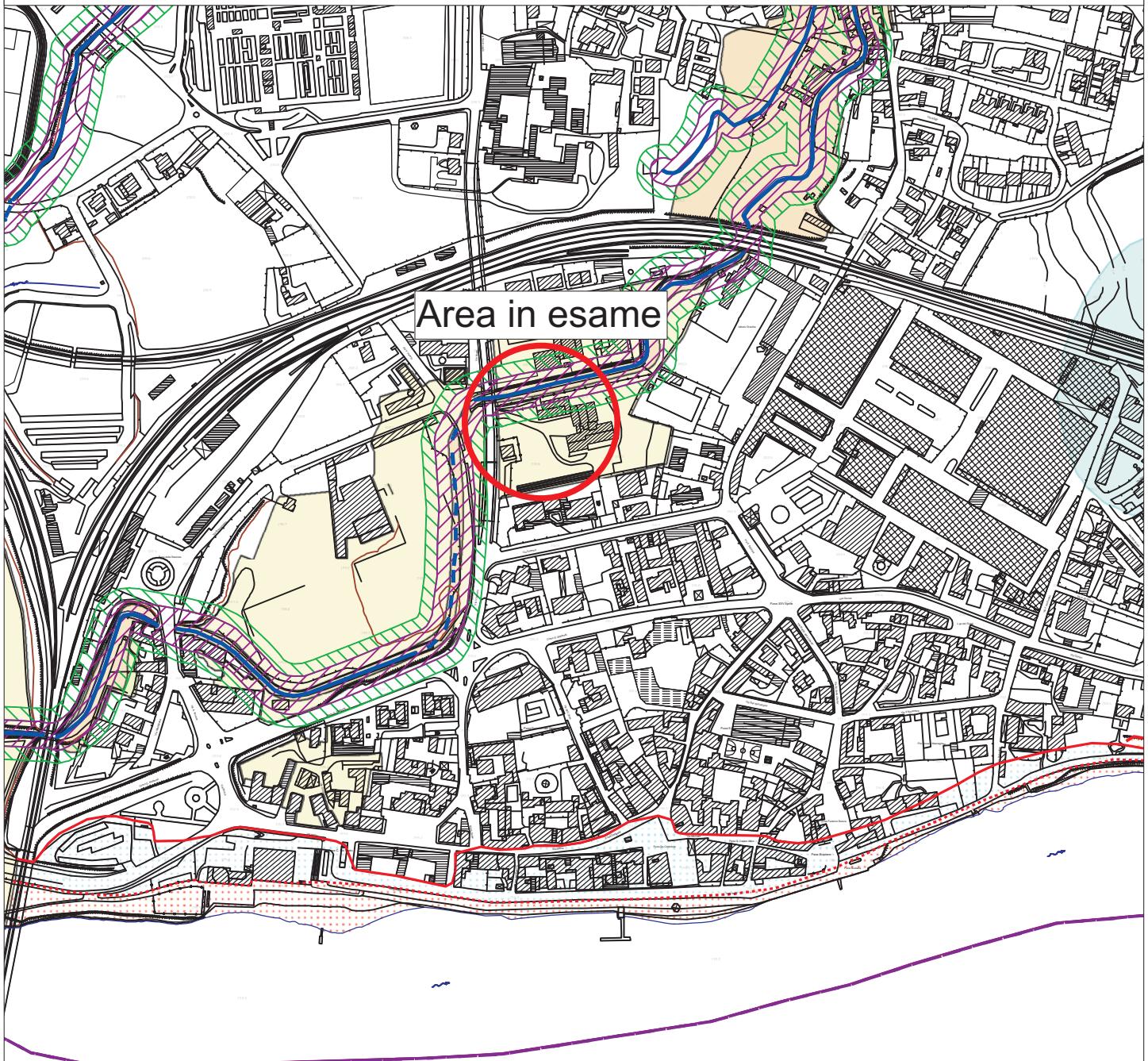
Corso d'acqua minore tobinato



Confine comunale

Estratto della carta dei vincoli del PGT vigente

scala 1:5.000



LEGENDA

Corso d'acqua

Corso d'acqua combinato

Confine comunale

AREE DI SALVAGUARDIA DELLE CAPTAZIONI AD USO IDROPOTABILE

Area di tutela assoluta (art. 5, comma 4 D.Lgs 258/2000) circonferenza di raggio 10 m

Area di rispetto (art. 5, commi 5-6-7 D.Lgs 152/2000) Isocrona 60 gg/circonferenza di raggio 200 m

VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA

Fascia di tutela assoluta (D.G.R. n. 7/13950 1 Agosto 2003)

Fascia di protezione (D.G.R. n. 7/13950 1 Agosto 2003)

GEOSITI

Preia Buia (D.G.R. 389525)

SIC "Sorgenti del Rio Capricciosa" (IT 2010009)

VINCOLI DERIVANTI DALLA PIANIFICAZIONE DI BACINO Flane

Fq - Area di flana quiescente (art. 9, comma 3 Norme di Attuazione PAI)

Esondazione e dissesti morfologici di carattere torrentizio

Ee - Area a pericolosità molto elevata (art. 9, comma 5 Norme di Attuazione PAI)

Eb - Area a pericolosità elevata (art. 9, comma 6 Norme di Attuazione PAI)

Em - Area a pericolosità media o moderata (art. 9, comma 6bis Norme di Attuazione PAI)

Delimitazione delle fasce fluviali

Fascia A - Fascia di deflusso della piena (art. 29 Norme di Attuazione PAI)

Fascia B - Fascia di esondazione (art. 30 Norme di Attuazione PAI)

Fascia C - Area di inondazione per piena catastrofica (art. 31 Norme di Attuazione PAI)

Limite tra la Fascia A e la Fascia B

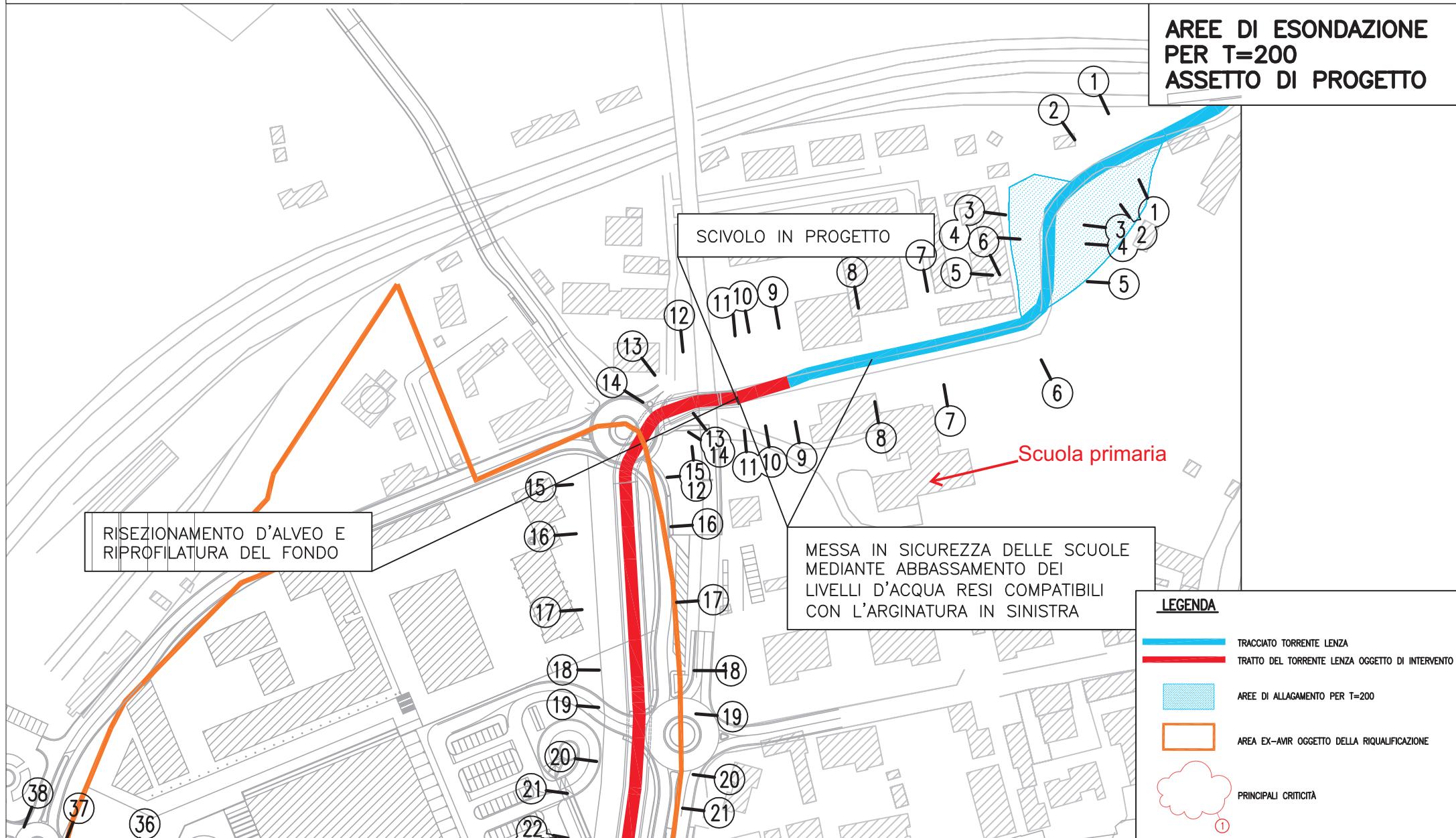
Limite tra la Fascia B e la Fascia C

Limite esterno della Fascia C



Planimetria delle opere in progetto e ubicazione delle sezioni idraliche

Estratto e modificato dalla relazione idraulica del Dott. Ing Paolo Onida



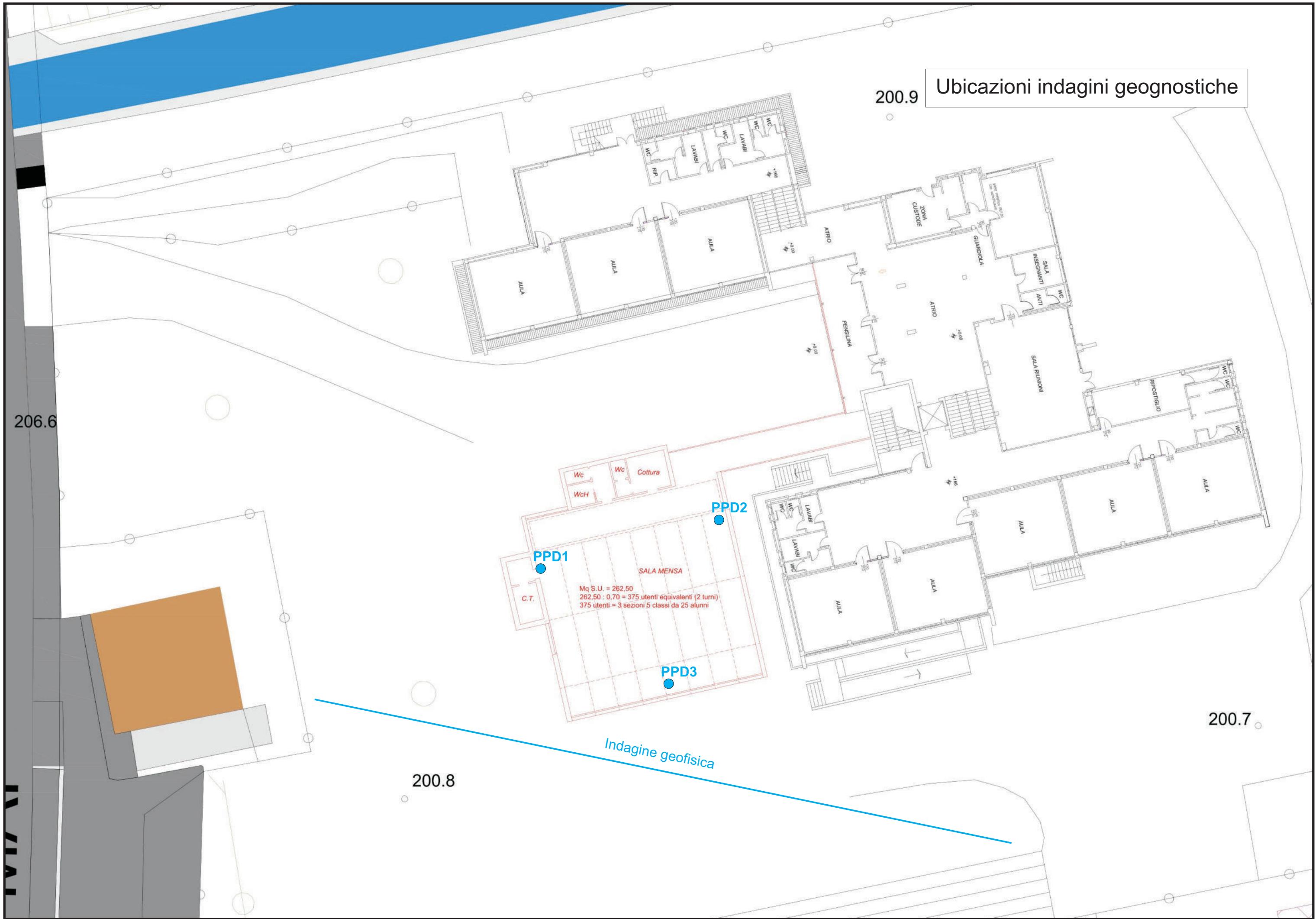
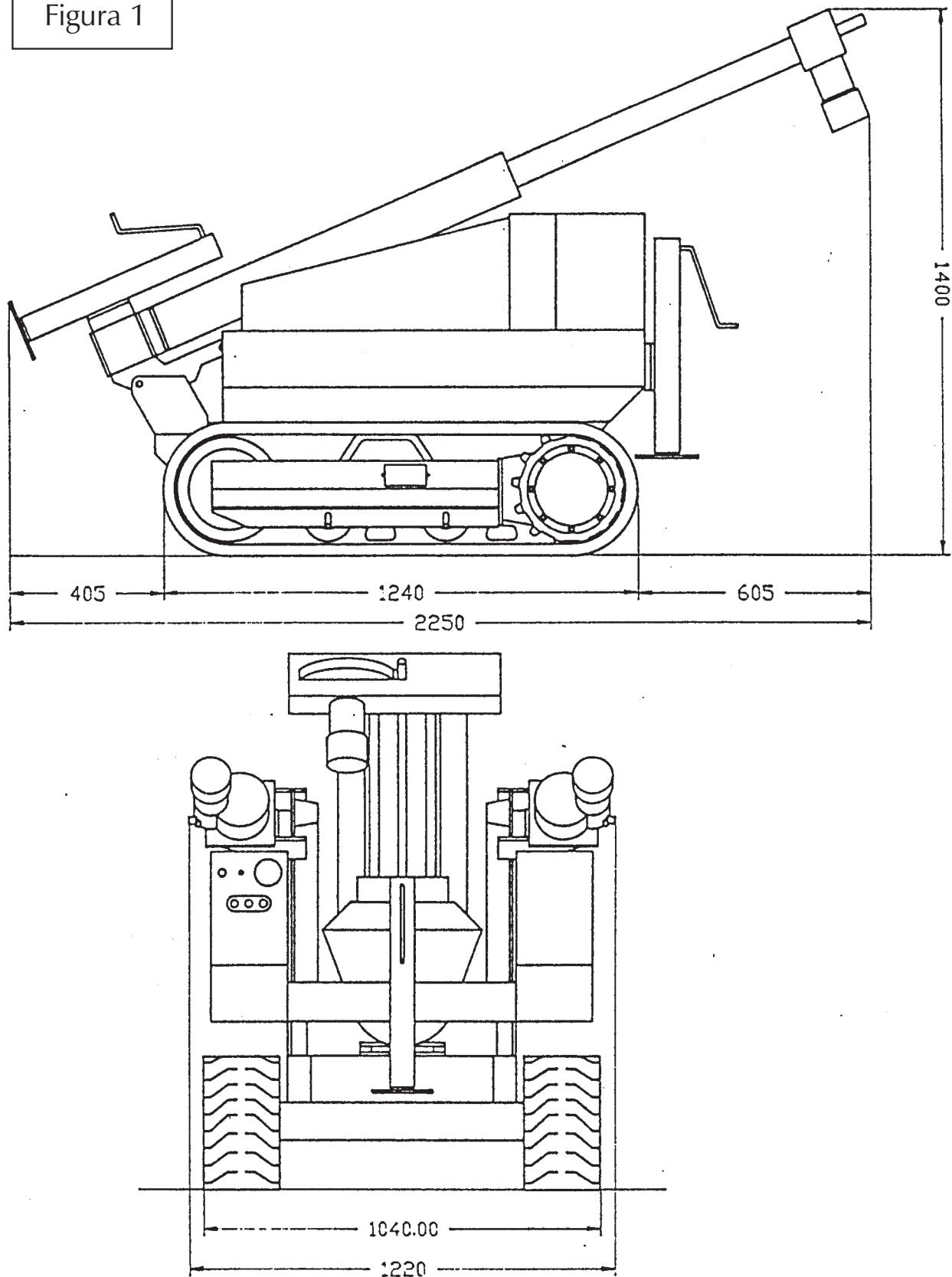


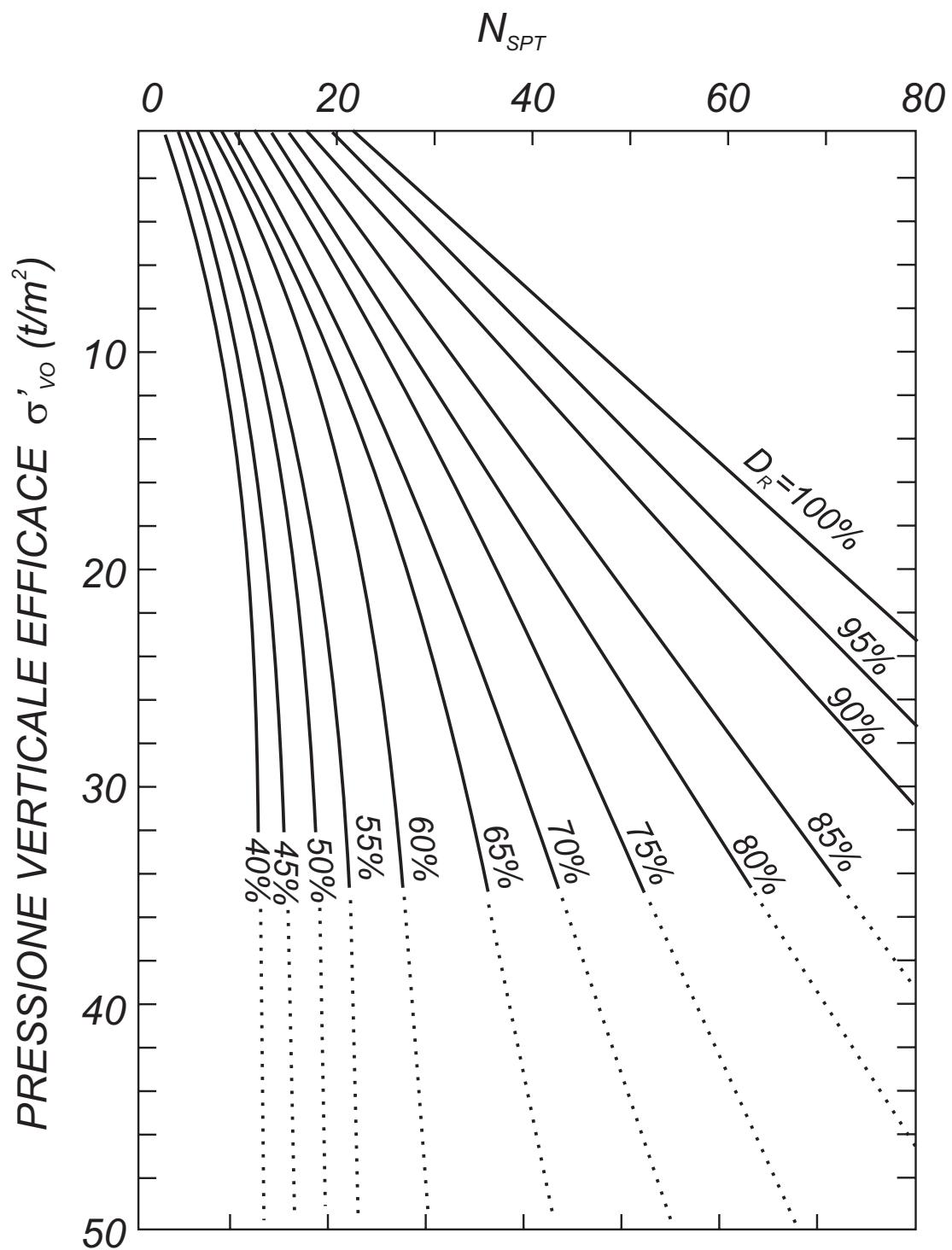
Figura 1



PENETROMETRO STATICO-DINAMICO TIPO TG 63/100 KN

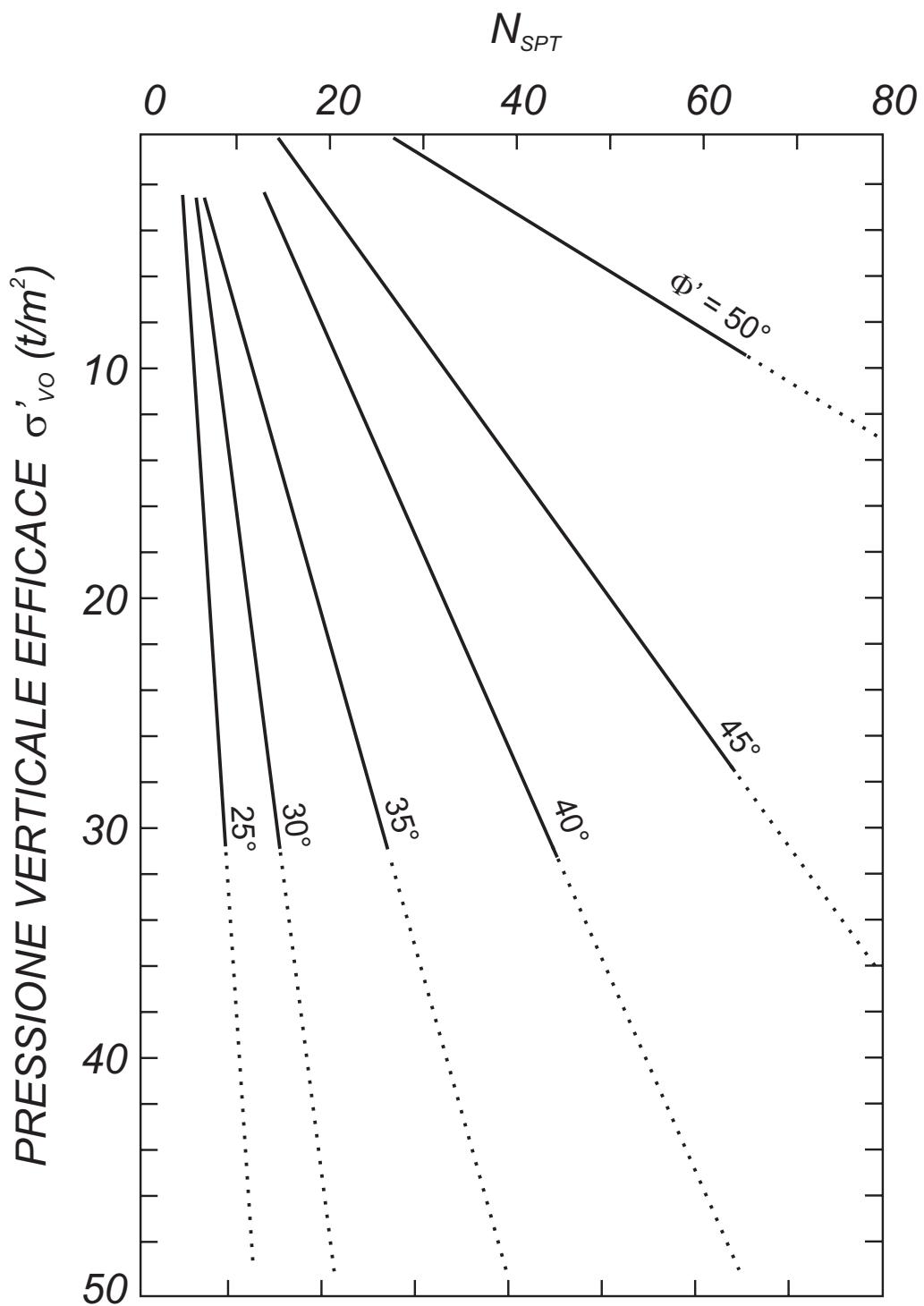
- Motore 16 HP
- Tiro in estrazione 10.000 kg
- Spinta in infissione 7.500 kg
- Corsa utile cilindri 1,25 mt
- Corsa maglio 0,75 mt (variabile)
- Peso maglio 63,5 kg (variabile)

Figura 2



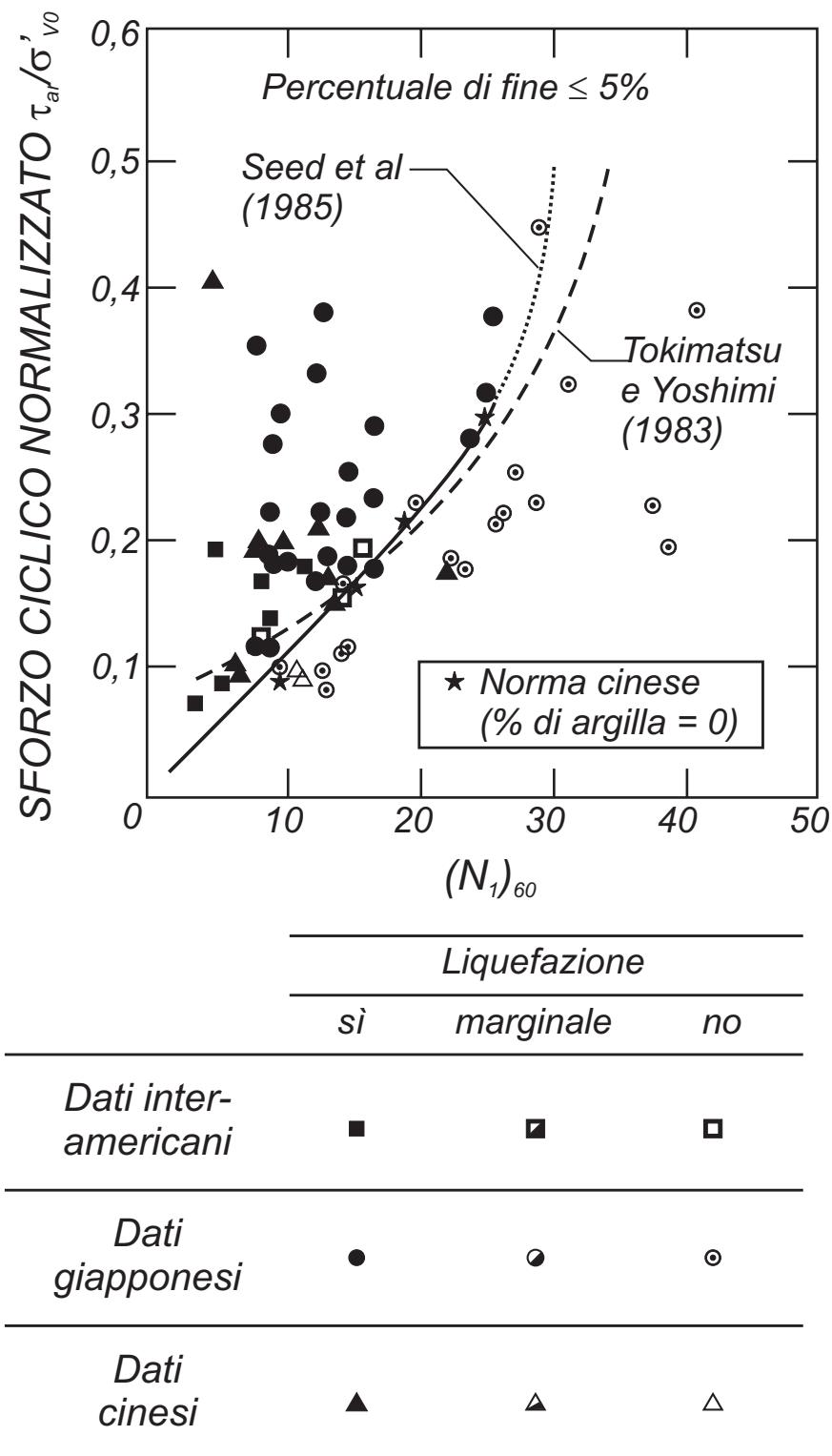
Relazione fra N_{SPT} e densità relativa (D_R) delle sabbie.
(Gibbs e Holtz, 1957)

Figura 3



Relazione fra angolo di attrito (Φ') delle sabbie e valori di NSPT, tenendo conto dell'influenza del peso del terreno sovrastante (σ'_{vo})
(De Mello, 1971)

Figura 4



Stima della potenzialità alla liquefazione delle sabbie in base al valore N_{SPT} normalizzato $[(N_1)_{60}]$
 (Seed e al. 1985; Tokimatsu e Yoshimi, 1983)

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN	1
Riferimento	017-2023

Committente Amm. Comunale
 Cantiere Scuola Ungaretti
 Località Sesto Calende

U.M.: **kg/cm²** Data esec. 26/05/2023
 Pagina 1
 Elaborato Falda -3,40 m da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0,30	1	3		1120,5					
0,60	1	7		2517,0					
0,90	1	5		1797,9					
1,20	2	4		1386,6					
1,50	2	1		346,7					
1,80	3	9		3119,9					
2,10	3	12		4015,7					
2,40	3	11		3681,1					
2,70	4	8		2677,1					
3,00	4	5		1617,1					
3,30	4	5		1617,1					
3,60	5	6		1940,6					
3,90	5	6		1877,7					
4,20	5	7		2190,6					
4,50	6	5		1564,7					
4,80	6	7		2121,8					
5,10	6	7		2121,8					
5,40	7	8		2424,9					
5,70	7	5		1469,4					
6,00	7	4		1175,5					
6,30	8	5		1469,4					
6,60	8	5		1426,0					
6,90	8	4		1140,8					
7,20	9	6		1711,2					
7,50	9	7		1939,1					
7,80	9	6		1662,1					
8,10	10	9		2493,2					
8,40	10	11		2962,2					
8,70	10	9		2423,6					
9,00	11	14		3770,0					
9,30	11	9		2357,8					
9,60	11	12		3143,8					
9,90	12	13		3405,7					
10,20	12	10		2550,6					

H = profondità

qcd = Resistenza dinamica punta

L1 = asta

L2 = punta

L3 = riv

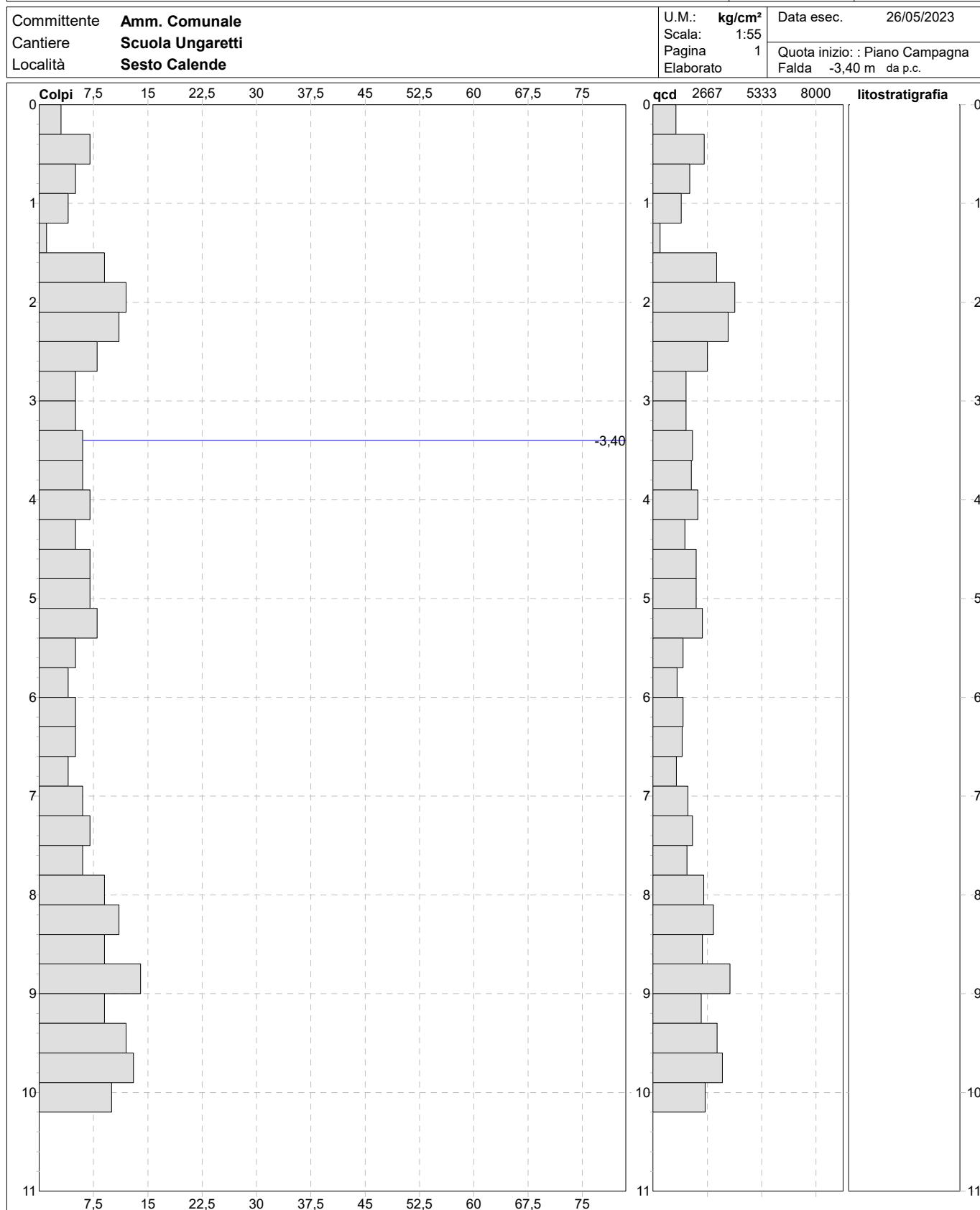
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

1

Riferimento

017-2023



Penetrometro:	TG63-100	sist.litologico:	Personalizzata	preforo	m
	63,50 kg	Responsabile::	Dr. Geol. Marco Marini	Corr.astine:	: kg/ml
	75,00 m	Assistente::		Cod.ISTAT:	0
	0,30 m				

FON132

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN**1**

Riferimento

017-2023

Committente **Amm. Comunale**
 Cantiere **Scuola Ungaretti**
 Località **Sesto Calende**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **26/05/2023**
 Pagina **1**
 Elaborato Falda -3,40 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità	statistica	VCA	β	Nspt	qcd	qc	Vs	G	Q	natura	descrizione
	m		colpi	-	colpi	kg/cm ²	kg/cm ²	m/sec	kg/cm ²	kg/cm ²		
1	0,00 : 1,50	Media	4	1,16	5	1434	1295	93	43	71,69	Coes./Gran.	Riporto sabbioso-liomoso sciolto
2	1,50 : 2,40	Media	11	1,10	12	3606	3328	130	88	180,28	Coes./Gran.	Riporto sabbioso-ghiaioso med. add.
3	2,40 : 5,40	Media	6	1,01	6	2015	1803	132	50	100,77	Coes./Gran.	Sabbia limosa poco add.
4	5,40 : 6,90	Media	5	0,92	4	1336	1217	135	36	66,81	Coes./Gran.	Limo e sabbia sciolto
5	6,90 : 8,10	Media	7	0,89	6	1951	1745	150	50	97,57	Coes./Gran.	Sabbia limosa poco add.
6	8,10 : 10,20	Media	11	0,84	9	2945	2701	167	70	147,24	Coes./Gran.	Sabbia limoso-ghiaiosa poco add.

NATURA COESIVA**NATURA GRANULARE**

n°	profondità	Nspt	Cu	Ysat	W	e	Mo	Dr	Ø	E'	Ysat	Yd	Mo	Liq.
	m	colpi	kg/cm ²	t/m ³	%	-	kg/cm ²	%	°	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	kg/cm ²	-
1	0,00 : 1,50	5	0,31	1,83	39,28	1,06	33	18	29	230	1,88	1,41	127	---
2	1,50 : 2,40	12	0,75	1,92	31,20	0,84	52	38	31	284	1,94	1,52	207	---
3	2,40 : 5,40	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36	22	29	238	1,89	1,43	139	---
4	5,40 : 6,90	4	0,25	1,80	41,67	1,13	30	15	28	222	1,87	1,39	116	---
5	6,90 : 8,10	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36	22	29	238	1,89	1,43	139	---
6	8,10 : 10,20	9	0,56	1,89	34,00	0,92	44	32	30	261	1,92	1,48	173	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN	2
Riferimento	017-2023

Committente Amm. Comunale
 Cantiere Scuola Ungaretti
 Località Sesto Calende

U.M.: **kg/cm²** Data esec. 26/05/2023
 Pagina 1
 Elaborato Falda -3,30 m da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0,30	1	3		1120,5					
0,60	1	6		2157,4					
0,90	1	6		2157,4					
1,20	2	3		1040,0					
1,50	2	10		3466,6					
1,80	3	17		5893,2					
2,10	3	11		3681,1					
2,40	3	13		4350,3					
2,70	4	11		3681,1					
3,00	4	3		970,3					
3,30	4	3		970,3					
3,60	5	3		970,3					
3,90	5	4		1251,8					
4,20	5	4		1251,8					
4,50	6	5		1564,7					
4,80	6	3		909,3					
5,10	6	5		1515,6					
5,40	7	6		1818,7					
5,70	7	5		1469,4					
6,00	7	4		1175,5					
6,30	8	5		1469,4					
6,60	8	6		1711,2					
6,90	8	6		1711,2					
7,20	9	8		2281,6					
7,50	9	8		2216,1					
7,80	9	7		1939,1					
8,10	10	7		1939,1					
8,40	10	9		2423,6					
8,70	10	7		1885,0					
9,00	11	5		1346,4					
9,30	11	8		2095,8					
9,60	11	10		2619,8					
9,90	12	14		3667,7					
10,20	12	13		3315,7					

H = profondità

qcd = Resistenza dinamica punta

L1 = asta

L2 = punta

L3 = riv

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

2

Riferimento

017-2023

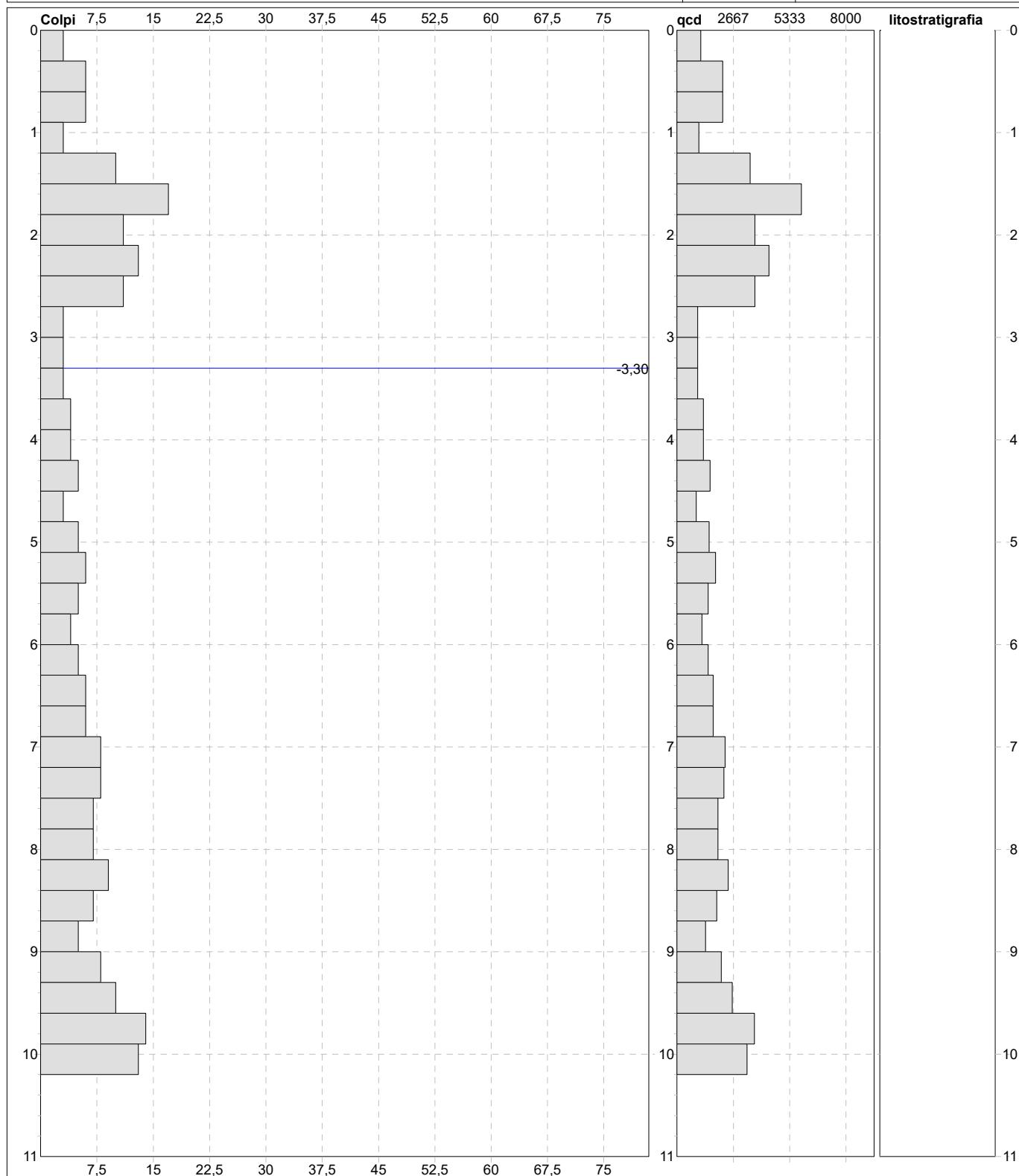
Committente Amm. Comunale
 Cantiere Scuola Ungaretti
 Località Sesto Calende

U.M.: kg/cm²
 Scala: 1:55
 Pagina 1
 Elaborato

Data esec.

26/05/2023

Quota inizio: : Piano Campagna
 Falda -3,30 m da p.c.



Penetrometro:	TG63-100 63,50 kg 75,00 m 0,30 m	sist.litologico: Personalizzata Responsabile: Dr. Geol. Marco Marini Assistente:	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 0
---------------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------

FON132

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN**2**

Riferimento

017-2023

Committente **Amm. Comunale**
 Cantiere **Scuola Ungaretti**
 Località **Sesto Calende**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **26/05/2023**
 Pagina **1**
 Elaborato Falda -3,30 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità	statistica	VCA	β	Nspt	qcd	qc	Vs	G	Q	natura	descrizione
	m		colpi	-	colpi	kg/cm ²	kg/cm ²	m/sec	kg/cm ²	kg/cm ²		
1	0,00 : 1,20	Media	5	1,17	5	1619	1456	89	43	80,94	Coes./Gran.	Riporto sabbioso-liomoso sciolto
2	1,20 : 2,70	Media	12	1,10	14	4215	3869	134	99	210,72	Coes./Gran.	Riporto sabbioso-ghiaioso med. add.
3	2,70 : 6,30	Media	4	0,98	4	1278	1174	127	36	63,90	Coes./Gran.	Limo e sabbia sciolto
4	6,30 : 9,60	Media	7	0,85	6	2015	1836	152	50	100,77	Coes./Gran.	Sabbia limosa poco add.
5	9,60 : 10,20	Media	14	0,82	11	3492	3183	176	82	174,59	Coes./Gran.	Sabbia limoso-ghiaiosa poco add.

NATURA COESIVA**NATURA GRANULARE**

n°	profondità	Nspt	Cu	Ysat	W	e	Mo	Dr	Ø	E'	Ysat	Yd	Mo	Liq.
	m	colpi	kg/cm ²	t/m ³	%	-	kg/cm ²	%	°	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	kg/cm ²	-
1	0,00 : 1,20	5	0,31	1,83	39,28	1,06	33	18	29	230	1,88	1,41	127	---
2	1,20 : 2,70	14	0,88	1,95	29,45	0,80	57	41	31	299	1,96	1,53	230	---
3	2,70 : 6,30	4	0,25	1,80	41,67	1,13	30	15	28	222	1,87	1,39	116	---
4	6,30 : 9,60	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36	22	29	238	1,89	1,43	139	---
5	9,60 : 10,20	11	0,69	1,91	32,11	0,87	50	37	30	276	1,94	1,51	196	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN	3
Riferimento	017-2023

Committente Amm. Comunale
 Cantiere Scuola Ungaretti
 Località Sesto Calende

U.M.: **kg/cm²** Data esec. 26/05/2023
 Pagina 1
 Elaborato Falda -3,10 m da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0,30	1	4		1494,0					
0,60	1	6		2157,4					
0,90	1	6		2157,4					
1,20	2	12		4159,9					
1,50	2	16		5546,6					
1,80	3	25		8666,5					
2,10	3	22		7362,1					
2,40	3	10		3346,4					
2,70	4	9		3011,8					
3,00	4	8		2587,4					
3,30	4	9		2910,9					
3,60	5	7		2264,0					
3,90	5	9		2816,5					
4,20	5	6		1877,7					
4,50	6	6		1877,7					
4,80	6	6		1818,7					
5,10	6	6		1818,7					
5,40	7	6		1818,7					
5,70	7	8		2351,1					
6,00	7	6		1763,3					
6,30	8	7		2057,2					
6,60	8	8		2281,6					
6,90	8	8		2281,6					
7,20	9	9		2566,8					
7,50	9	12		3324,2					
7,80	9	8		2216,1					
8,10	10	6		1662,1					
8,40	10	5		1346,4					
8,70	10	5		1346,4					
9,00	11	5		1346,4					
9,30	11	7		1833,9					
9,60	11	7		1833,9					
9,90	12	8		2095,8					
10,20	12	9		2295,5					

H = profondità

qcd = Resistenza dinamica punta

L1 = asta

L2 = punta

L3 = riv

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

3

Riferimento

017-2023

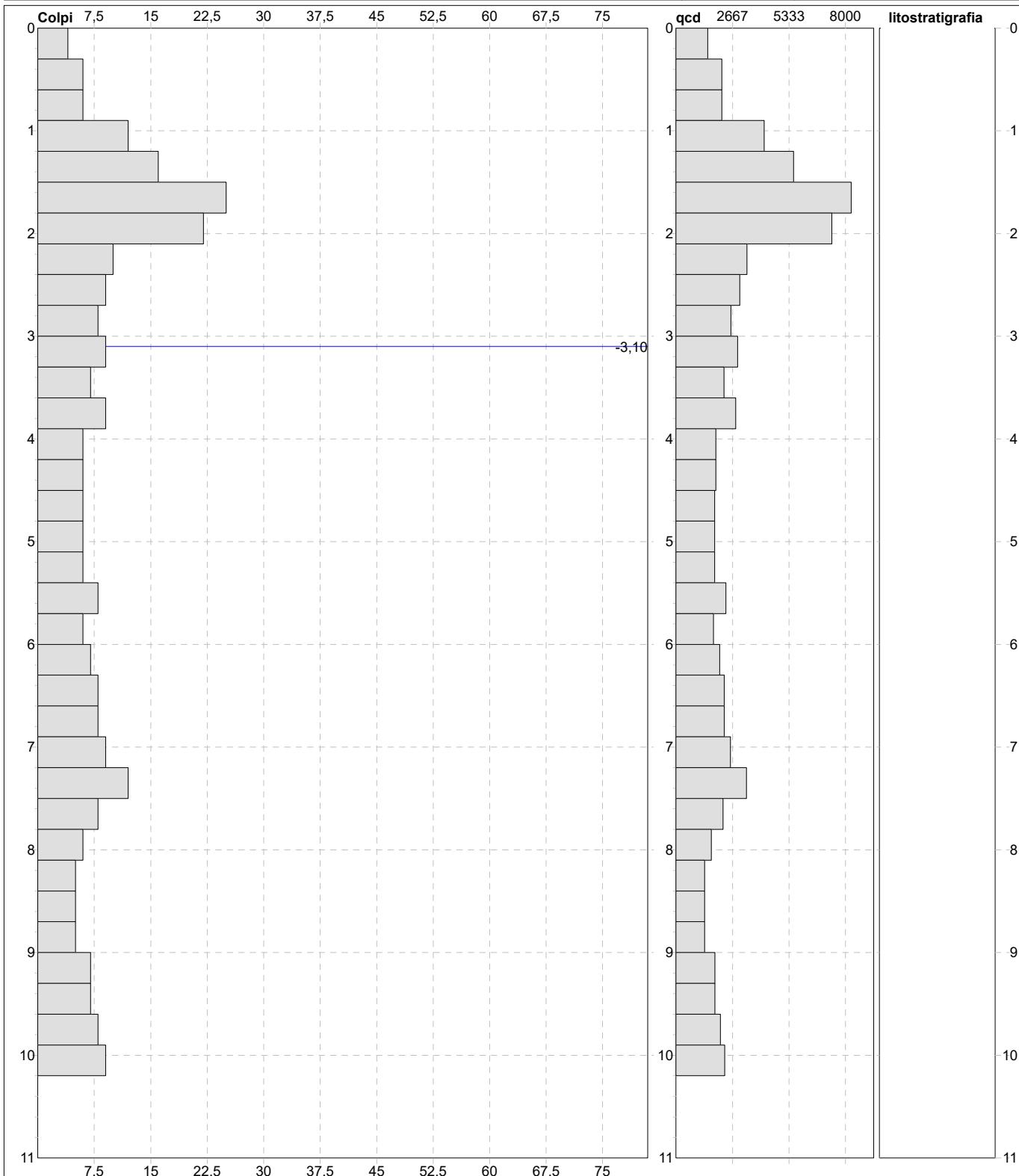
Committente Amm. Comunale
 Cantiere Scuola Ungaretti
 Località Sesto Calende

U.M.: kg/cm²
 Scala: 1:55
 Pagina 1
 Elaborato

Data esec.

26/05/2023

Quota inizio: : Piano Campagna
 Falda -3,10 m da p.c.



Penetrometro: TG63-100 63,50 kg 75,00 m 0,30 m	sist.litologico: Personalizzata Responsabile: Dr. Geol. Marco Marini Assistente:	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 0
---------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------

FON132

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN**3**

Riferimento

017-2023

Committente **Amm. Comunale**
 Cantiere **Scuola Ungaretti**
 Località **Sesto Calende**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **26/05/2023**
 Pagina **1**
 Elaborato Falda -3,10 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità	statistica	VCA	β	Nspt	qcd	qc	Vs	G	Q	natura	descrizione
	m		colpi	-	colpi	kg/cm ²	kg/cm ²	m/sec	kg/cm ²	kg/cm ²		
1	0,00 : 0,90	Media	5	1,18	6	1936	1726	87	50	96,81	Coes./Gran.	Riporto sabbioso-liomoso sciolto
2	0,90 : 2,10	Media	19	1,12	21	6434	5850	137	137	321,69	Coes./Gran.	Riporto sabbioso-ghiaioso med. add.
3	2,10 : 10,20	Media	7	0,89	7	2176	1959	148	57	108,80	Coes./Gran.	Sabbia limosa poco add.

NATURA COESIVA**NATURA GRANULARE**

n°	profondità	Nspt	Cu	Ysat	W	e	Mo	Dr	Ø	E'	Ysat	Yd	Mo	Liq.
	m	colpi	kg/cm ²	t/m ³	%	-	kg/cm ²	%	°	kg/cm ²	t/m ³	t/m ³	kg/cm ²	-
1	0,00 : 0,90	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36	22	29	238	1,89	1,43	139	---
2	0,90 : 2,10	21	1,31	2,03	23,98	0,65	71	52	33	353	2,00	1,60	301	---
3	2,10 : 10,20	7	0,44	1,86	36,00	0,97	39	25	29	245	1,90	1,45	150	---

