



Ing. Giorgio Gianarro

Studio di Ingegneria

C.so G. Ferraris, 2 - 10121 TORINO Tel.: 011/18733969-347/2204653 E-mail: gianarrogiorgio@gmail.com

COMMITTENTE:

COMUNE DI VOLPIANO

INDIRIZZO COMMITTENTE:

P.zza Vittorio Em II, 12 - 10088 Volpiano (TO)

UBICAZIONE INTERVENTO:

Via Roma ang. Via Botta - Volpiano (TO)

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)- MISSIONE 5 COMPONENTE 2 INVESTIMENTO/SUB INVESTIMENTO 2.1 " RIGENERAZIONE URBANA"

PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE IMMOBILE EX EDIFICIO SCOLASTICO DI VIA CARLO BOTTA

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA

ELABORATO:

R02

REV.:

0

FASE:

PROGETTO ESECUTIVO

FILE:

W:\COMUNE DI VOLPIANO (TO)\BIBLIOTECA\0 PROGETTO
ESECUTIVO\+ R-02 - RELAZIONI SPECIALISTICHE.DOC

4				
3				
0	05/04/2023	PRIMA EDIZIONE	M- Canepa	DOTT. M CANEPA
REV.	DATA	DESCRIZIONE	EDITATO	CONTROLLATO



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

COMUNE DI VOLPIANO
PROVINCIA DI TORINO
REGIONE PIEMONTE

PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE IMMOBILE EX
EDIFICIO SCOLASTICO DI VIA CARLO BOTTA

COMMITTENTE

Dott. Ing. Giorgio GIANARRO

TIMBRO E FIRMA:

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE AI SENSI
DEI PARAGRAFI 6.2.1 E 6.2.2 DELLE N.T.C. 2018

ELABORATO:

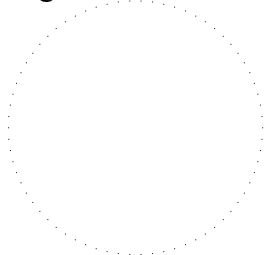
geo 1

SCALA:

PRATICA:

REVISIONE	DATA	OGGETTO	SIGLA	VISTO
0	Aprile 2023			

dr. geol. Maurizio Canepa



Studio di Geologia dr. Maurizio Canepa

Cod. Fisc. CNP MRZ 61H11 L219 I – Part. IVA 0646550013

Via Montenero n.26 - 1086 RIVAROLO C.SE (TO) - tel 0124 424728 cell.: 335 6686844 - Email: maurizio.canepa@gmail.com

QUESTO ELABORATO NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO, NE' UTILIZZATO ALTROVE, NE' CEDUTO A TERZI IN TUTTO O IN PARTE SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELL'AUTORE

SOMMARIO

1.	Introduzione	2
2.	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito.....	4
2.1.	Idrogeologia.....	7
2.2.	Analisi del rischio geomorfologico (sintesi dati da PRGC Comune di Volpiano).....	9
3.	Relazione geotecnica (caratterizzazione fisico meccanica del sottosuolo) - litostratigrafia di dettaglio e deduzione dei parametri geotecnici caratteristici	10
3.1.	Determinazione dei parametri geotecnici	13
4.	Caratterizzazione sismica. Esecuzione di stendimento sismico “MASW”	25
4.1.	Introduzione.....	26
4.2.	Strumentazione utilizzata	27
4.3.	Cenni sulla metodologia MASW	27
4.4.	Interpretazione dei dati.....	27
4.5.	Acquisizione ed elaborazione dei dati	28
4.6.	Risultati	32
5.	Considerazioni di sintesi	33

1. Introduzione

La presente indagine geologico - tecnica viene redatta a supporto del “**Progetto di ristrutturazione di immobile ex edificio scolastico di via via Carlo Botta**” del comune di Volpiano.

La stesura della presente relazione viene redatta su incarico conferito al sottoscritto dall'Ing. Gianarro, in qualità di progettista dell'opera. Per quanto attiene la descrizione dell'intervento in progetto si rimanda agli elaborati progettuali a firma dell'Ing. Gianarro.



Figura 1: inquadramento dell'area di intervento con indicazione di due piezometri di monitoraggio della falda freatica (immagine non in scala).

Si precisa che nel 2010 il sottoscritto aveva redatto la “Relazione Geologica – Geotecnica”, redatta in adempimento alla normativa vigente all'epoca. La presente relazione riprende in gran parte quanto già trattato nella precedente e viene redatta in adempimento alla seguente normativa:

- D.M. LL. PP. 11/03/1988 n. 47 recante “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” e relative Istruzioni applicative con Circ. LL.PP. 24/09/1988 n. 30483;

- D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” e succ. Circ. Espl.;
- Piano Regolatore Generale – Variante strutturale di adeguamento al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.);
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e succ. modifiche del 2005, contenente “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica”;
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 riferita all’adozione della mappa di pericolosità a livello nazionale predisposta dall’INGV e aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte di cui alla D.G.R. del 30 dicembre 2019, n.6-887.

In particolare, per quanto di maggiore attinenza con gli aspetti geologico tecnici, si evidenzia che il progetto contempla, inoltre, il consolidamento strutturale dell’edificio esistente, comprese le strutture di fondazione.

Nel seguito si espongono le fasi di indagine e di valutazione eseguite a supporto della progettazione delle opere e dei sistemi geotecnici:

- caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- caratterizzazione fisico-meccanica del terreno e definizione del modello geotecnico di sottosuolo;
- caratterizzazione sismica con determinazione della V_{seq} e della categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018.

Vista la conoscenza della natura litostratigrafica e del comportamento geotecnico dei litotipi che costituiscono il sottosuolo dell’area, per le numerose indagini geognostiche eseguite nell’ambito del territorio comunale, nonché il tempo ristretto a disposizione, il sottoscritto ha deciso di eseguire la caratterizzazione richiesta sulla base di alcune prove in sito eseguite per il comune stesso di Volpiano nell’ambito del progetto di realizzazione della nuova struttura di copertura dell’area sportiva della scuola G. Ghirotti (progetto facente capo al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 5, Componente 2, Investimento/Subinvestimento 2.1 “Rigenerazione Urbana”). Nell’ambito di tale incarico sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche dinamiche continue da superficie che hanno permesso di evidenziare la stratigrafia dell’area e di derivare i parametri geotecnici caratteristici del terreno. Inoltre, avendo eseguito altre prove di questo tipo nell’areale volpianese, si è potuto rilevare una notevole omogeneità sia della stratigrafia che dei parametri geotecnici del terreno, per cui il sottoscritto ritiene ammissibile utilizzare i risultati di tali prove anche per l’intervento di cui si tratta in questa relazione.

Per quanto riguarda gli aspetti legati all’assetto idrogeologico e di compatibilità con la pericolosità geomorfologica ci si rifà alla ricostruzione eseguita dal dr. Accotto nell’ambito delle verifiche geologiche allegate al PRGC di Volpiano e ai dati misurati in corrispondenza di un piezometro esistente nella piazza compresa tra Via S. Guglielmo e Via Provana (denominata Piazza ex caserma dei Carabinieri nel seguito) e distante appena una trentina di metri dall’edificio oggetto di intervento.

Il comune di Volpiano rientra nella zona sismica 3 come indicato nella Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887.

Infine è stato eseguito un profilo sismico MASW per la determinazione della V_s eq, in adempimento alla normativa sismica attualmente in vigore.

2. Caratterizzazione e modellazione geologica del sito

Il territorio comunale è impostato in piccola parte sui terreni dell'alto terrazzo ondulato coincidente con la paleoconoide Mindeliana della Stura di Lanzo e in parte sulla sottostante pianura di natura parzialmente alluvionale e parzialmente fluvio glaciale di età da recente a Rissiana (Figura 2).

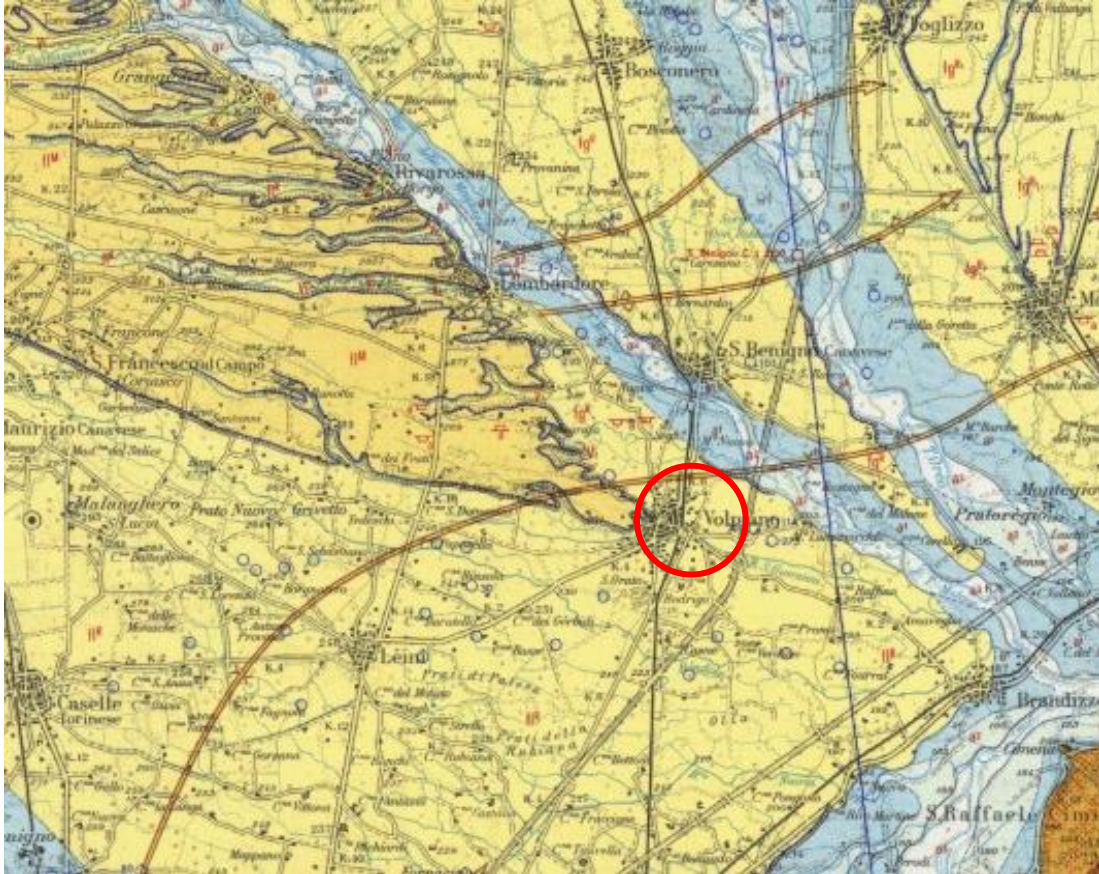


Figura 2: inquadramento geologico generale (F. 56 Carta Geologica d'Italia) e localizzazione dei dati di sondaggio disponibili

In particolare la conoide della Stura costituisce una dorsale a forma triangolare confinata nell'ambito occidentale del territorio comunale.

La legenda della Carta Geologica d'Italia, per il settore in esame è:

- vi: depositi di origine fluvio – lacustre, senza limite netto con il Pliocene sottostante, costituiti da ghiaie e sabbie quarzose, frequentemente alternanti con banchi di argille grige, verdi e rossicce e contenenti talora deboli livelli lignitiferi (villafranchiano);
- flm: depositi fluviali costituenti i lembi relitti delle antiche conoidi della Dora Riparia e della Stura di Lanzo (fluviale mindel);
- fgr: depositi ghiaioso – sabbiosi con paleosuolo rosso – arancio, per lo più terrazzati, corrispondenti al livello fondamentale dell'alta pianura, raccordantisi con le cerchie moreniche rissiane (fluvioglaciale riss);
- a1: alluvioni ghiaioso sabbiose postglaciali, ricoprenti in parte i precedenti depositi del fluviale – fluvioglaciale Wurmiano (alluvioni antiche);
- a2: depositi ghiaiosi con lenti sabbioso argillose, fiancheggianti i principali corsi d'acqua, talora debolmente terrazzati, anche attualmente inondabili (alluvioni medio – recenti);

- a3: alluvioni ghiaioso – sabbiose recenti ed attuali.
- I primi terreni sono geneticamente connessi con l'attività torrentizia della Stura di Lanzo che ha depositato l'ingente quantità di depositi terrigeni (essenzialmente ghiaie con intercalazioni e lenti di sabbie) successivamente incisa dagli scolatoi che traggono alimentazione in bacini imbriferi localizzati esclusivamente sulla conoide stessa, oppure in parte anche nei rilievi collinari che sovrastano la zona apicale della conoide stessa nella zona di Balangero (ad es. T. Fisca).

Tuttavia la maggior parte del territorio di Volpiano, è impostata in gran parte sui depositi fluviali rissiani di rimaneggiamento dei più vecchi depositi fluvioglaciali mindeliani e, in misura minore, sulle alluvioni recenti, medio recenti ed attuali connesse al T. Malone.

Il limite tra i depositi fluvioglaciali rissiani e le alluvioni più antiche del T. Malone risulta individuabile sulla base di evidenze morfologiche (essenzialmente orlo di terrazzo), ma, a volte, tale limite risulta di più difficile individuazione, soprattutto dove le pratiche agricole hanno portato ad un rimodellamento generalizzato della superficie topografica.

Il sito oggetto della presente relazione si trova ca. 1.6 km a nord del cimitero comunale, dove la Regione Piemonte ha fatto trivellare un piezometro nell'acquifero superficiale per il monitoraggio dei livelli piezometrici e della qualità delle acque. La stratigrafia di tale piezometro è riportata in Figura 3 e viene riassunta nel seguito:

Prof. da – a (m)	Terreno
0.0 – 3.2	Sabbia debolmente limosa marrone con ghiaia e ciottoli poligenici subarrotondati
3.2 – 3.3	Limo sabbioso
3.3 – 4.7	Ghiaia e ciottoli poligenici, sub arrotondati in matrice sabbiosa, localmente debolmente limosa
4.7 – 11.5	Ghiaia e ciottoli poligenici sub arrotondati in matrice sabbioso limosa
11.5 – 12.7	Trovanti
12.7 – 15.5	Ghiaia e ciottoli poligenici sub arrotondati in matrice sabbiosa, localmente debolmente limosa
15.5 – 16.0	Limo sabbioso
16.0 – 20.0	Sabbia limosa marrone chiaro ocre con ghiaia e ciottoli poligenici subarrotondati

Talora i depositi fluvio glaciali sono caratterizzati da un livello sommitale costituito da limi argillosi potenti in genere ca. 1.0 – 2.0 m.

La stratigrafia del piezometro mette in evidenza una potente successione prevalentemente ghiaiosa con ciottoli che si estende da piano campagna sino a 15.5 m. Al di sotto di tale profondità inizia una sequenza a granulometria più fine che esordisce con un livello a grana fine (limo sabbioso) e che può essere ascritta ai depositi fluvio – lacustri “Villafranchiani”.

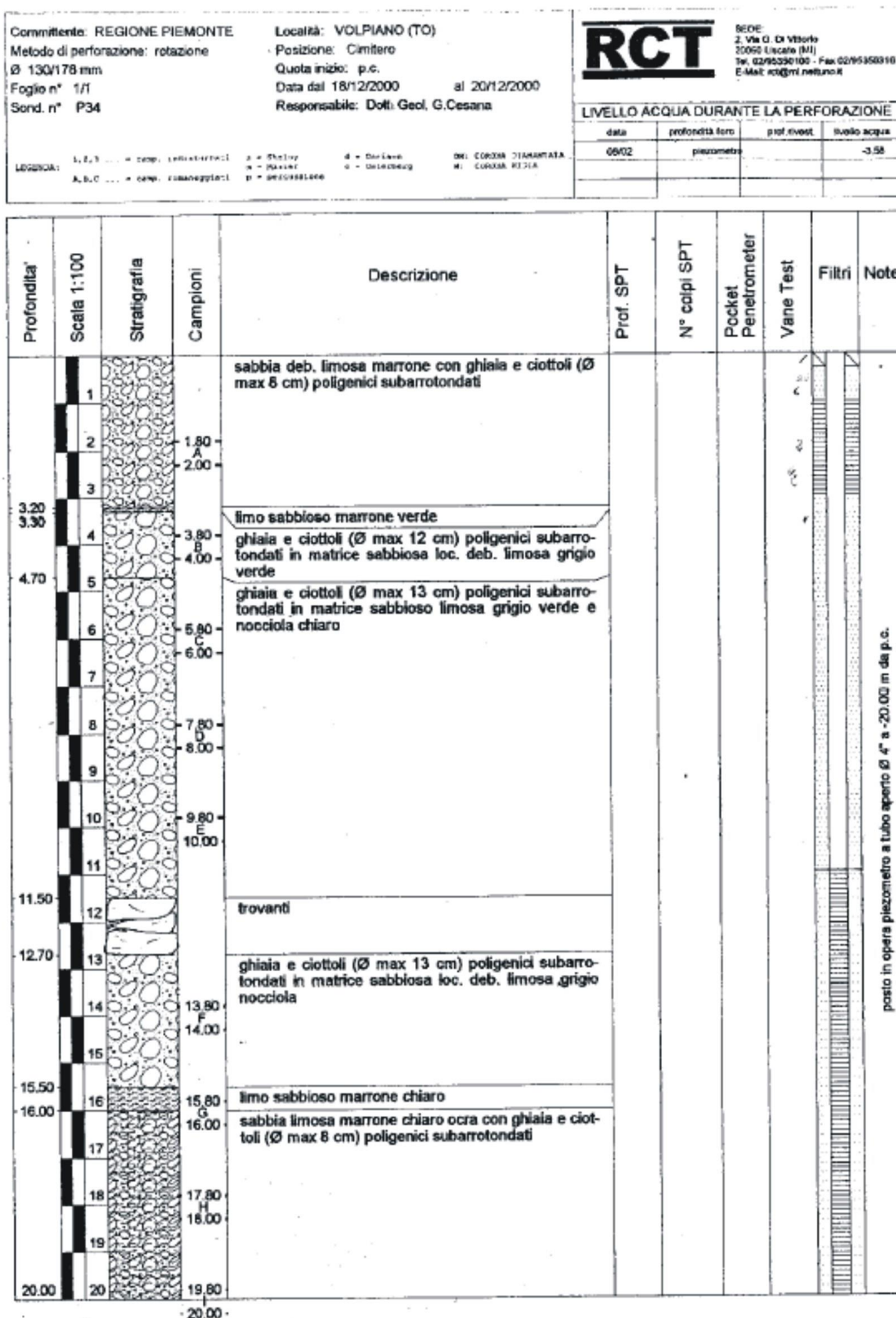


Figura 3: stratigrafia del piezometro della Regione Piemonte situato presso il cimitero comunale di Volpiano

2.1. Idrogeologia

L'assetto idrogeologico della zona è organizzato in funzione della ripartizione verticale ed orizzontale dei terreni che presentano gradi di permeabilità variabili.

In generale è possibile ricostruire il seguente assetto idrogeologico:

- **falda freatica superficiale:** permea i depositi ghiaioso – ciottolosi afferenti indifferentemente al fluvioglaciale / fluviale mindel, riss e i depositi alluvionali antichi, recenti ed attuali dei corsi d'acqua. Nonostante sia possibile una ripartizione verticale in livelli discontinui aventi una permeabilità differente gli uni dagli altri, l'acquifero può venire, a grande scala, considerato omogeneo, anche se la definizione più corretta per esso è quella di *acquifero semiconfinato a strato conduttore*.
- **Inferiormente la ripartizione dei livelli acquiferi** segue fedelmente la stratificazione di livelli impermeabili (o scarsamente permeabili, argille e limi argillosi) e livelli permeabili (sabbie e ghiaie). Il grado di confinamento è variabile in funzione della continuità laterale dei livelli impermeabili. Ad una continuità laterale significativa si accompagna una effettiva difficoltà al mescolamento dei livelli acquiferi. Tale continuità, consente di ipotizzare un grado di protezione sicuramente elevato (e quindi di bassa vulnerabilità all'inquinamento) dei livelli acquiferi più profondi. Per quanto riguarda i livelli più superficiali, a quanto noto allo scrivente da dati in possesso in zone geologicamente e idrogeologicamente confrontabili con quella in esame, è verosimile ipotizzare un'alimentazione anche a carico della falda freatica, come dimostrato dalla notevole risalienza talora mostrata dalla prima falda villafranchiana che si trova in semiequilibrio piezometrico con la freatica.

Inoltre negli anni passati, il comune di Volpiano ha eseguito due piezometri di monitoraggio del livello piezometrico della falda freatica nell'ambito del concentrico comunale, uno dei quali si trova a ca. 30 m di distanza dall'edificio oggetto di intervento (piazza ex caserma dei Carabinieri, denominato PZ1).

Le misure piezometriche eseguite hanno consentito di evidenziare una soggiacenza della falda mediamente pari 5.0 – 5.5 m nel PZ1. Utilizzando il DTM della Regione Piemonte, si rileva che la quota del piano campagna dove è presente il PZ1 è pari a 220 m s.l.m. ca., mentre la quota dove è ubicato l'edificio è pari a ca. 218.50 m s.l.m., con un dislivello di ca. 1.5 m. Di conseguenza, considerando una soggiacenza di 5 m in corrispondenza del piezometro, si ottiene una soggiacenza di ca. 3.5 m in corrispondenza del fabbricato oggetto di intervento. Si sconsiglia, quindi l'utilizzo di locali interrati che abbiano una profondità maggiore di 2.5 m rispetto al piano campagna.



2.2. Analisi del rischio geomorfologico (sintesi dati da PRGC Comune di Volpiano)

La morfologia del territorio comunale fa sì che i principali e più importanti elementi di rischio geomorfologico siano rappresentati dall'attività fluviale e torrentizia dei corsi d'acqua che lo solcano. Questi, in ordine di importanza sono:

T. Malone;
il T. Bendola;
il Rio San Giovanni;
il Rio Ritano.

Tutti i corsi d'acqua hanno una direzione di sviluppo approssimativa est – ovest, con un verso di scorrimento da ovest verso est. L'area in questione non risulta sia mai stata interessata da fenomeni di dissesto. Di ciò si ha conferma anche sulla base delle verifiche eseguite dal Comune di Volpiano nell'ambito della variante strutturale n. 6 al P.R.G.C. (v. Figura 5).

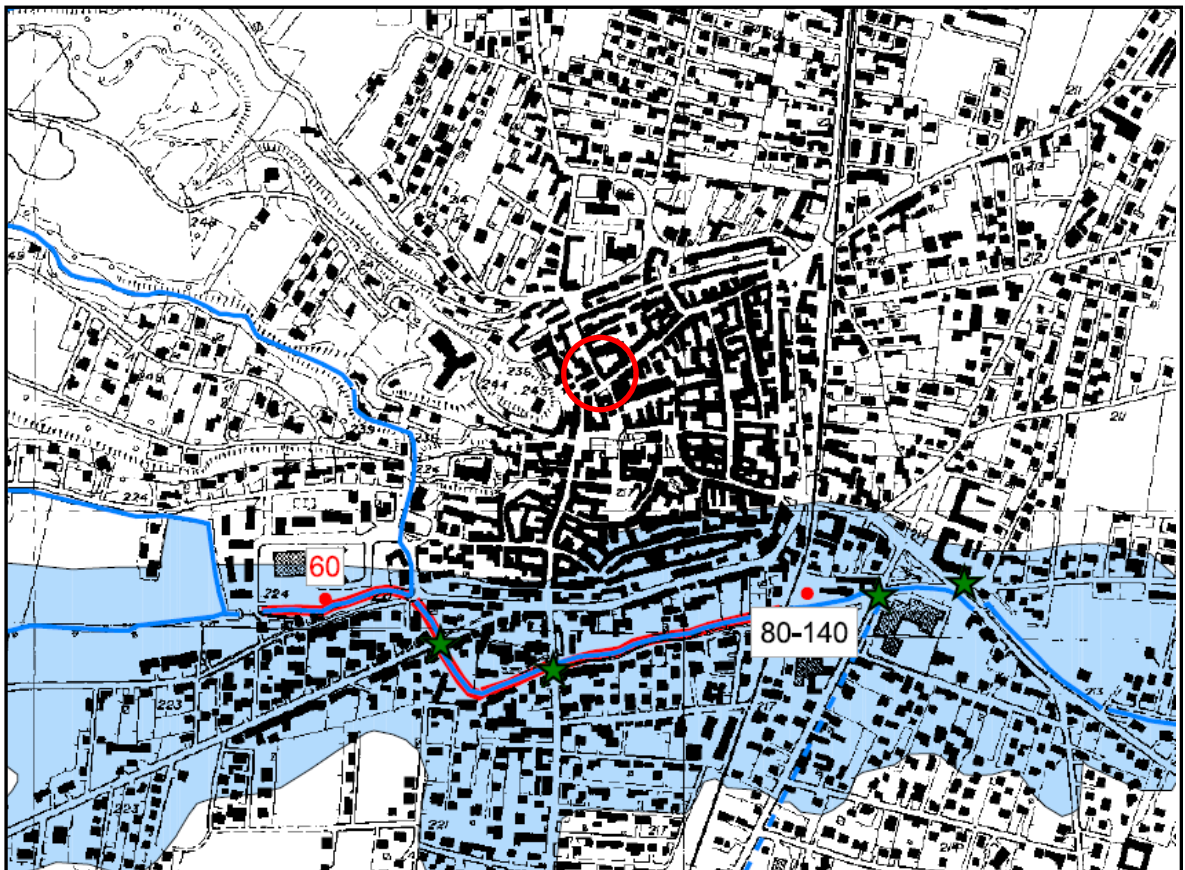


Figura 5: stralcio della carta degli effetti dell'evento alluvionale del 1994 (da P.R.G.C. di Volpiano). Non in scala

Nella carta di sintesi della pericolosità geomorfologica allegata al P.R.G.C. del comune di Volpiano, l'area di interesse ricade in classe II, caratterizzata da moderata pericolosità legata a modesta soggiacenza della falda freatica (Figura 6).

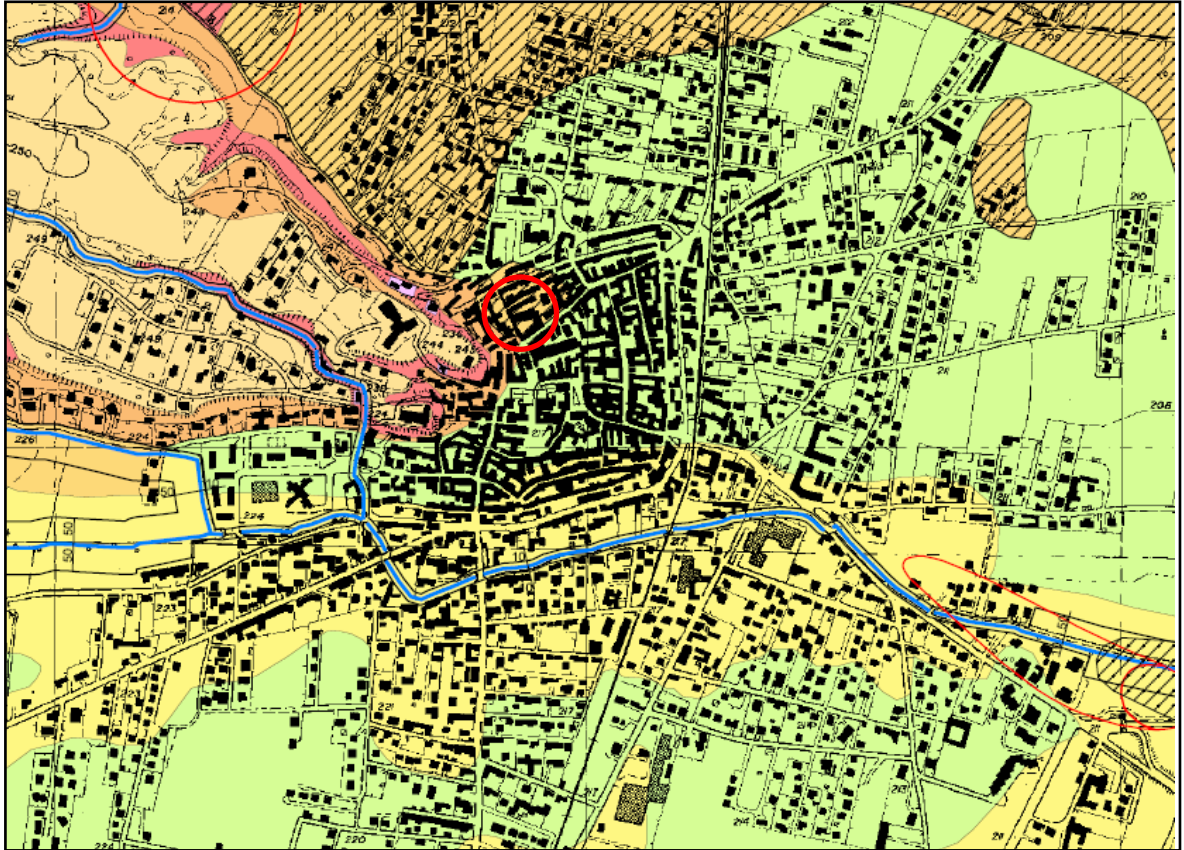


Figura 6: stralcio della carta di sintesi della pericolosità geomorfologica allegata alla 6 Variante del P.R.G.C. del comune di Volpiano

3. Relazione geotecnica (caratterizzazione fisico meccanica del sottosuolo) - litostratigrafia di dettaglio e deduzione dei parametri geotecnici caratteristici

Come accennato in premessa, la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione è stata eseguita tramite i risultati delle 3 prove penetrometriche continue da superficie eseguite nel dicembre 2022 presso la scuola G. Ghirotti, per conto del comune di Volpiano. Le prove distano dal sito di attuale intervento circa 260 m. Sempre nello stesso sito sono stati eseguiti due scavi geognostici. Come già accennato in premessa, avendo eseguito altre prove di questo tipo nell'areale volpianese, si è potuto rilevare una notevole omogeneità sia della stratigrafia che dei parametri geotecnici del terreno, per cui il sottoscritto ritiene ammissibile utilizzare i risultati di tali prove anche per l'intervento di cui si tratta in questa relazione.

La profondità degli scavi è stata limitata ai primi 1.20 m di terreno, considerando che la caratterizzazione geotecnica dei livelli più profondi sarebbe stata eseguita tramite le prove penetrometriche.

Le stratigrafie nei due scavi sono le seguenti:

SC1

Da piano campagna sino a 0.90 m: terreno di riporto mediamente addensato costituito da ciottoli di fiume in matrice sabbioso – limosa con frammenti di mattoni;
da 0.90 a 1.20 m: limi sabbiosi scarsamente addensati, autoctoni.

SC2

Da piano campagna sino a 0.90 m: terreno di riporto con ciottoli di fiume, misto a ghiaia, passante a terreno limoso con frammenti di mattoni;
da 0.90 a 1.20 m: limi sabbiosi scarsamente addensati, autoctoni.

Lo strumento utilizzato per l'esecuzione delle prove è descritto nel seguito:

CARATTERISTICHE TECNICHE PENETROMETRO DINAMICO "PAGANI 63/100"	
Peso massa battente	73 kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base della punta	20,43 cm ²
Angolo di apertura della punta	60°
Lunghezza delle aste	1,00 m
Peso di 1 asta	6.31 Kg/m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero colpi	N ₍₃₀₎
Lavoro specifico per colpo	265 KJ/m ²
Norma di riferimento	A.G.I. 1977

Figura 7: Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Le tre prove evidenziano la presenza di terreni geotecnicamente scadenti per i primi 2 m di profondità, raggiunti i quali le prove non hanno potuto essere proseguite a causa della consistenza del terreno che ha portato al rifiuto all'infissione delle aste.

La prova DPSH3 è stata condotta in prossimità allo scavo SC1 per poter verificare il comportamento geotecnico dei primi 90 cm di terreno di riporto. Questo è caratterizzato da livelli di resistenza medio bassi, che denotano un leggero maggior grado di addensamento rispetto ai limi sottostanti.

I penetrogrammi sono riportati nel seguito.

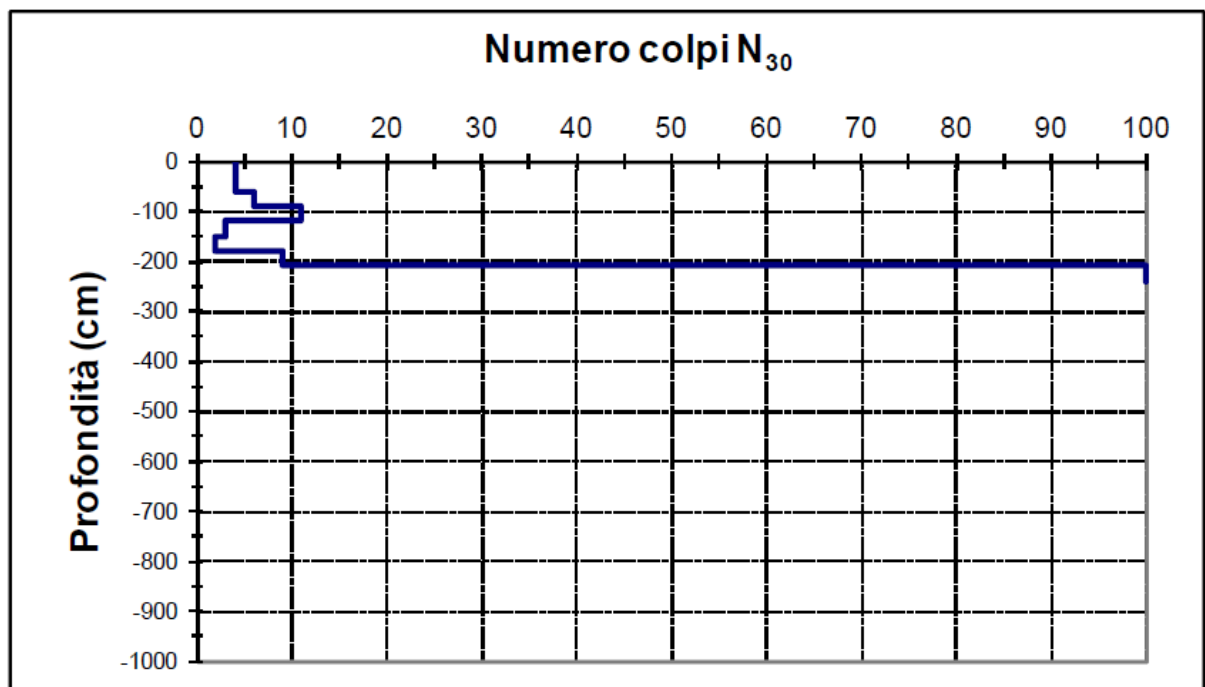


Figura 8: la prima prova penetrometrica realizzata presso la piscina (DPSH2)

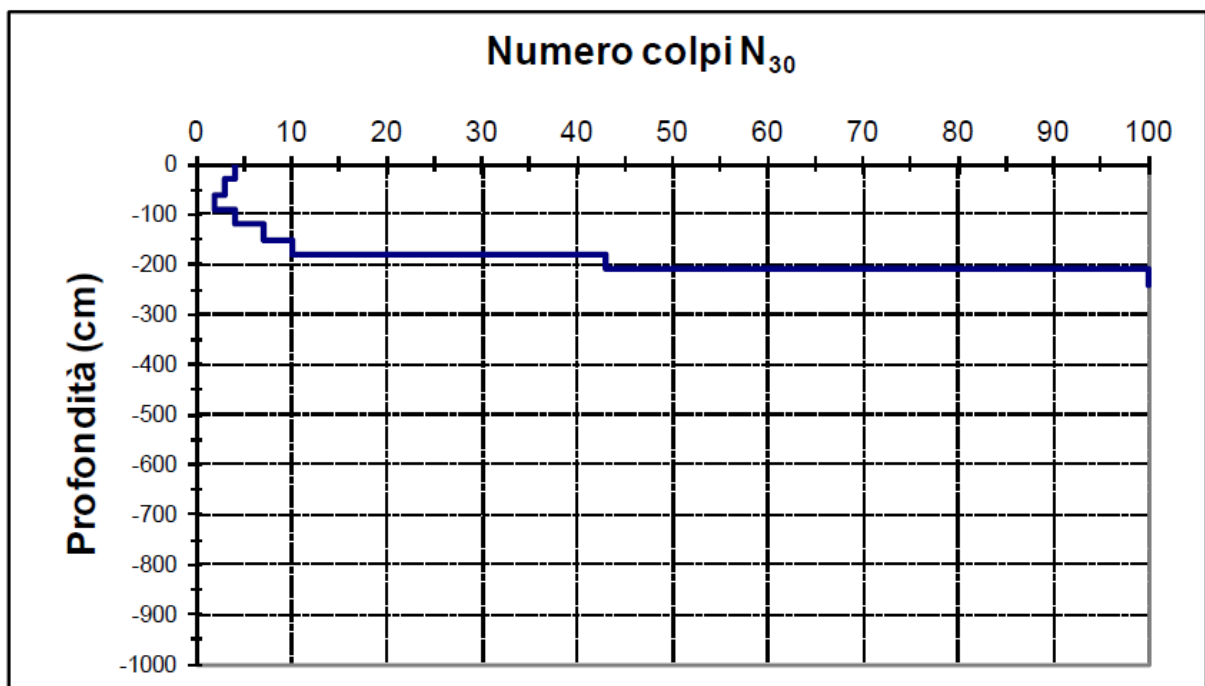


Figura 9: la seconda prova penetrometrica realizzata presso la piscina comunale (DPSH3)

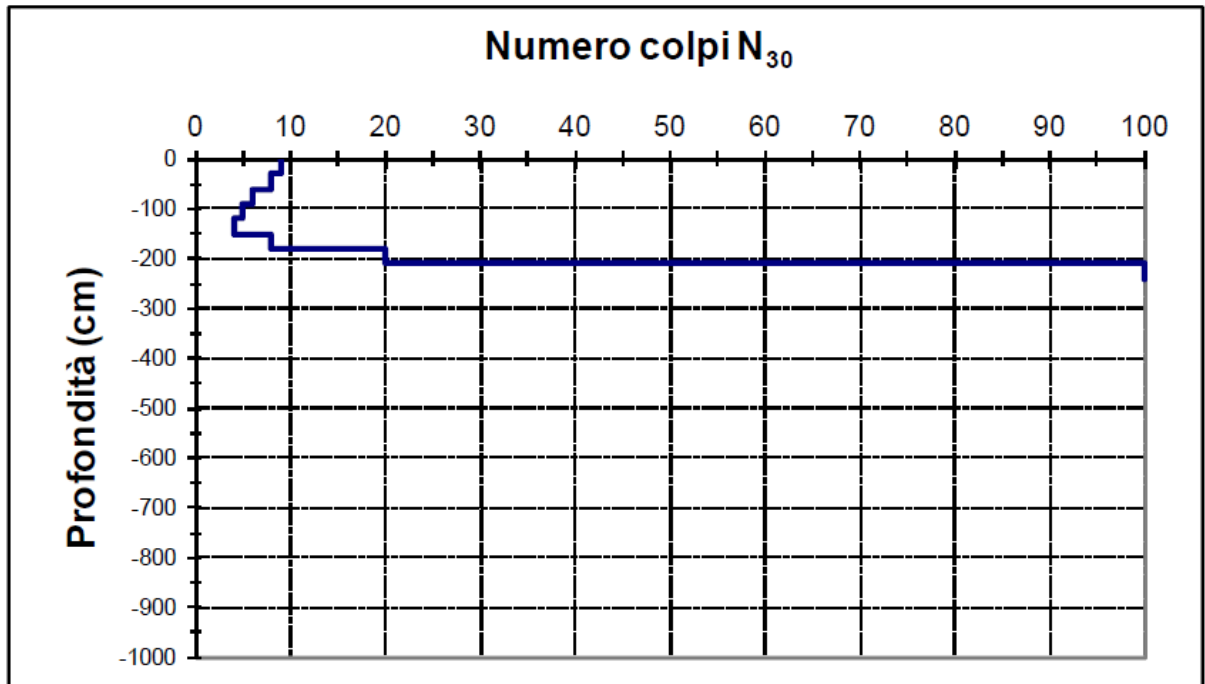


Figura 10: la prova penetrometrica DPSH3

3.1. Determinazione dei parametri geotecnici

La determinazione dei parametri geotecnici è stata eseguita tramite il software Geostru “Dynamic Probing”. Nel seguito si espone la teoria alla base dell'interpretazione delle prove.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) d
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	M £10	8
Medio	DPM (Medium)	10<M <40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40£M <60	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	M°60	25

Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE) massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE) massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE) massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento d=30 cm, punta conica (a = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA) massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento d=20-30 cm, punta conica conica (a = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da: $N_{spt} = b_t N$

Dove:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

in cui

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- d = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);
e = infissione media per colpo (d/ N);
M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N 1)60

(N1)60 è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$(N1)60 = CN \times N60$ con $CN = \sqrt{Pa/s'vo}$ $CN < 1.7$ $Pa = 101.32 \text{ kPa}$ (Liao e Whitman 1986)

$N60 = NSPT \times (ER/60) \times Cs \times Cr \times Cd$

ER/60: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

Cs: Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

Cd: Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

Cr: Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media – s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt..

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di SHI-MING (1982), applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di SHI-MING.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda) .

Angolo di Attrito

Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $s > 5$ t/mq.

De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .

Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).

Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.

Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.

Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .

Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.

Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Meyerhof (1957).

Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (Ey)

Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.

Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .

Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.

D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).

Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio t e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_o)

Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983. Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.

Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.

Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.

(U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).

Schmertmann 1975 C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.

Schmertmann 1975 C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .

Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.

Begemann.

De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

Robertson 1983 Qc

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.

Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .

Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Qc/Nspt=1.5-2.0$).

Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ($Nspt < 30$) medie e molli ($Nspt < 4$) e argille sabbiose ($Nspt=6-12$).

Modulo Di Young (EY)

Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

Meyerhof ed altri.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA dpsh1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	Meyerhof 1957	80.88
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	Meyerhof 1957	36.66
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	Meyerhof 1957	67.09

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	28.35
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	21.57
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27.46

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	51.87
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33.38
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	48.72

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	Meyerhof ed altri	1.79
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	Meyerhof ed altri	1.44
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	Meyerhof ed altri	1.74

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.87
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	(A.G.I.)	0.33
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	(A.G.I.)	0.35
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	(A.G.I.)	0.33

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	11.88	1.20	11.88	Navfac 1971-1982	2.50
[2] - Strato	2.88	1.80	2.88	Navfac 1971-1982	0.48
[3] - Strato	10.35	2.10	10.35	Navfac 1971-1982	2.18

PROVA ... DPSH2

Strumento utilizzato... PAGANI TG73-200 (Superpesante)
 Prova eseguita in data 18/11/2022
 Profondità prova 2.10 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.30	4	0.853	26.92	31.57	1.35	1.58
0.60	3	0.847	20.05	23.68	1.00	1.18
0.90	2	0.842	11.98	14.23	0.60	0.71
1.20	4	0.836	23.81	28.47	1.19	1.42
1.50	7	0.831	41.41	49.82	2.07	2.49
1.80	10	0.826	58.81	71.17	2.94	3.56
2.10	43	0.622	190.23	306.02	9.51	15.30

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1.5	4	29.55	Incoerente	0	1.52	1.88	0.11	1.15	4.6	Strato
2.1	26.5	188.59	Incoerente	0	2.14	2.5	0.29	1.15	30.47	Strato

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH2

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	Meyerhof 1957	49.92
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	23.31
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	36.38

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
-------------	------	------------------	----------------------------------	--------------	---

[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	36.91
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	90.05

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	Meyerhof ed altri	1.52
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	Meyerhof ed altri	2.14

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.88
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	(A.G.I.)	0.34
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	(A.G.I.)	0.29

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	4.6	1.50	4.6	Navfac 1971-1982	0.89
[2] - Strato	30.47	2.10	30.47	Navfac 1971-1982	5.67

PROVA ... DPSH3

Strumento utilizzato... PAGANI TG73-200 (Superpesante)
 Prova eseguita in data 18/11/2022
 Profondità prova 2.10 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)

0.30	9	0.853	60.56	71.03	3.03	3.55
0.60	8	0.847	53.48	63.13	2.67	3.16
0.90	6	0.842	35.93	42.70	1.80	2.14
1.20	5	0.836	29.76	35.58	1.49	1.78
1.50	4	0.831	23.66	28.47	1.18	1.42
1.80	8	0.826	47.05	56.93	2.35	2.85
2.10	20	0.772	109.83	142.33	5.49	7.12

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0.9	7.67	58.95	Incoerente	0	1.69	1.91	0.08	1.15	8.82	Strato
1.5	4.5	32.03	Incoerente	0	1.55	1.89	0.2	1.15	5.17	Strato
2.1	14	99.63	Incoerente	0	1.91	1.96	0.3	1.15	16.1	Strato

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH3

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	Meyerhof 1957	70.8
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	Meyerhof 1957	50.37
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	Meyerhof 1957	84.16

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26.5
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	23.81
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	30.54

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	45.58
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	38.08
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	60.53

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	Meyerhof ed altri	1.69
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	Meyerhof ed altri	1.55
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	Meyerhof ed altri	1.91

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.89
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	(A.G.I.)	0.34
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	(A.G.I.)	0.34
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	(A.G.I.)	0.32

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Strato	8.82	0.90	8.82	Navfac 1971-1982	1.85
[2] - Strato	5.17	1.50	5.17	Navfac 1971-1982	1.03
[3] - Strato	16.1	2.10	16.1	Navfac 1971-1982	3.34

In definitiva i parametri geotecnici del sottosuolo della zona in esame possono essere riassunti come esposto nella Tabella 1.

Tabella 1

prof. (m)	litotipo	fi (°)				gamma (t/m³)				ed (kg/m²)			
		DPSH 1	DPSH 2	DPSH 3	Val medio	DPSH 1	DPSH 2	DPSH 3	Val medio	DPSH 1	DPSH 2	DPSH 3	Val medio
0.00 - 1.80	Terreno superficiale rimaneggiato e limi sabbiosi scarsamente addensati	21.57	23.31	23.81	22.90	1.44	1.52	1.55	1.50	33.38	36.91	38.03	36.11
1.80 - 2.10	Livello di passaggio a ciottoli con ghiaia in matrice sabbiosa	27.46	36.38	30.54	31.46	1.74	2.14	1.91	1.93	48.72	90.05	60.53	66.43

Risulta corretto precisare quanto indicato a tal proposito nelle NTC 2018, che consentono l'uso dei parametri medi quando debba essere preso in considerazione un elevato volume di terreno, come nello specifico, con possibile compensazione delle eterogeneità.

Inferiormente alla profondità di 2.10 m si prevede un ulteriore incremento delle caratteristiche di resistenza del terreno.

La verifica a liquefazione può essere omessa, in accordo a quanto indicato al par. 7.11.3.4.2 (Esclusione della verifica a liquefazione), se nel sito in esame si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nello specifico si verifica sicuramente la condizione di cui al punto 1 (accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti in condizioni di campo libero minori di 0,1g). Infatti in questo caso si ha $a_g = 0.046g$ (per lo stato limite SLV).

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,046 g	
Fo:	2,715	
Tc*:	0,275	[s]

Non risulta pertanto necessaria la verifica a liquefazione.

4. Caratterizzazione sismica. Esecuzione di stendimento sismico “MASW”

In data 04/04/2023 è stato eseguito uno stendimento sismico ubicato in via C. Botta. Viene descritto nel seguito.



Figura 11: esecuzione dello stendimento sismico

4.1. Introduzione

La presente relazione tecnica illustra e descrive le indagini geofisiche di tipo sismico (MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzato presso:

Regione: Piemonte

Comune: Volpiano

Zona: 3

Coordinate UTM WGS84

- E: 403.842
- N: 5.006.183



Figura 12 – ubicazione stendimento MASW

4.2. Strumentazione utilizzata

Per l'acquisizione dei dati sismici è stato utilizzato un sismografo multicanale per geofisica DoReMi della SARA electronic instruments a 12 canali.

I geofoni utilizzati possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5Hz.
L'energizzazione è stata ottenuta con massa battente di 10 Kg su piastra.

4.3. Cenni sulla metodologia MASW

L'indagine si realizza disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale una mazza battente su piastra metallica, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, e l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni, quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione matematica con algoritmi finalizzati a minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata dall'indagine, di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento.

Il metodo MASW sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. Il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale. La massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

4.4. Interpretazione dei dati

Dal sismogramma è possibile risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione

$$VR(f)=f/k,$$

dove f = frequenza e k = numero d'onda.

Il processo di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame è eseguito tramite software. La successiva fase di elaborazione-interpretazione è condotta eseguendo una "analisi spettrale", e consiste sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a

partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

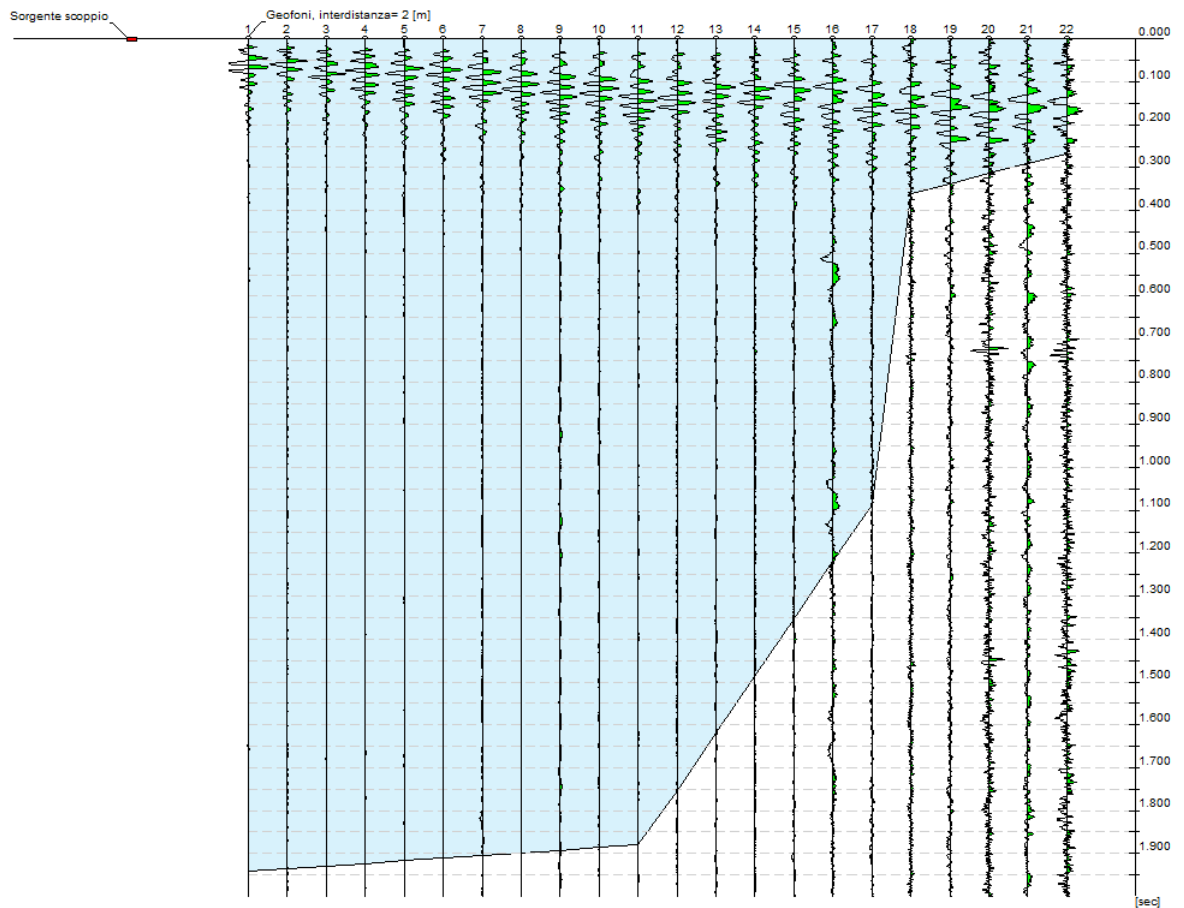
- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- Fase di pre-processing per “ottimizzare” i record stessi in modo da migliorare la qualità dell’interpretazione cioè eventuale filtraggio o “pulizia” dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza i massimi assoluti/relativi dello spettro FK, ed è finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell’onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare eventuali modi superiori.
- Estrazione della curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è effettuata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d’inversione, con inserimento di strati, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante prove dirette o più frequentemente osservazioni di campagna, ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale
- Ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), e ottenendo un modello finale ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi.

4.5. Acquisizione ed elaborazione dei dati

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

La prova è stata eseguita in ambiente urbano, disturbata dal traffico automobilistico e dai sottoservizi presenti (fogne, acquedotto, ecc) pertanto nell’elaborazione è stata esclusa la prima battuta ed inoltre sono state eliminate dalle tracce le porzioni maggiormente disturbate dal rumore di fondo.

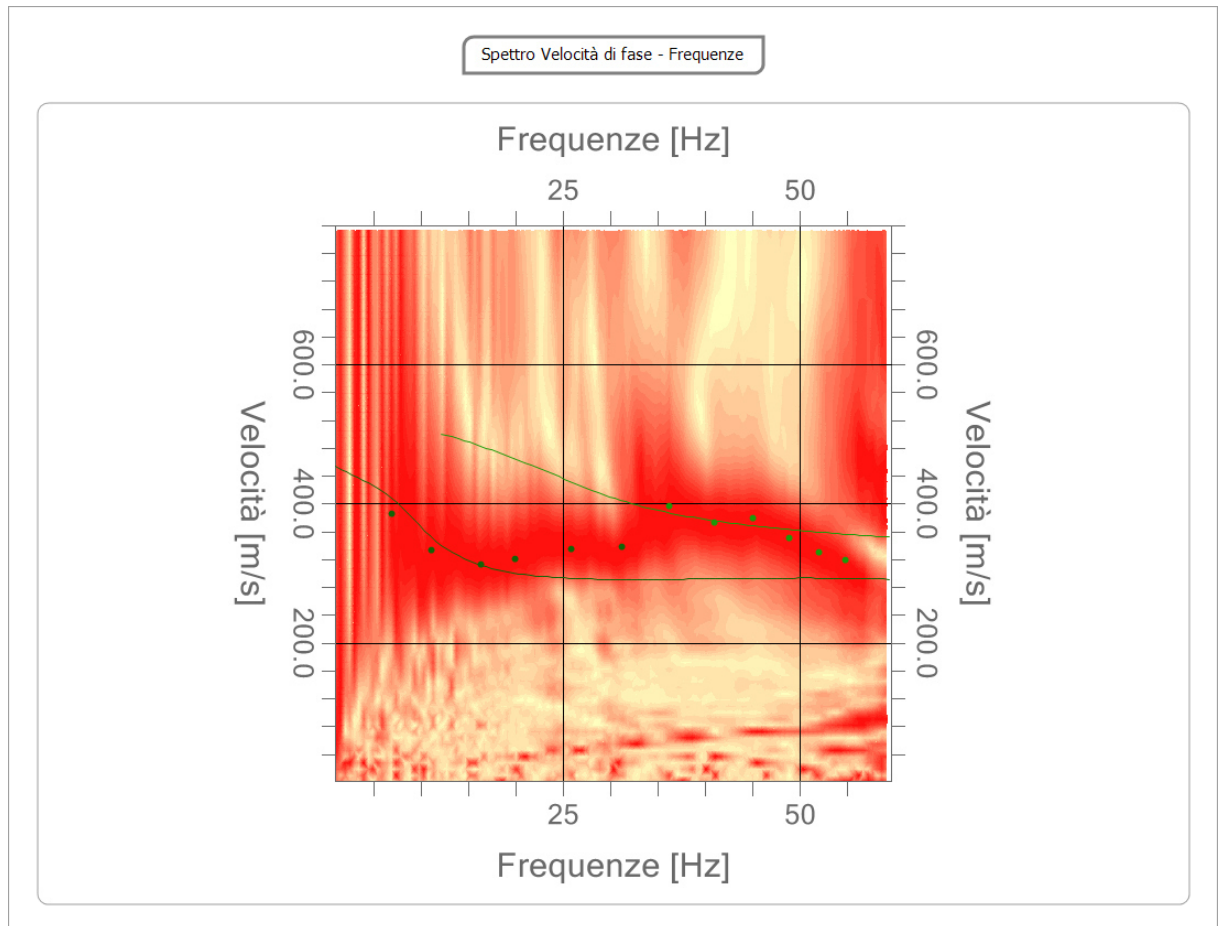


Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	6.9	384.8	0
2	11.2	333.5	0
3	16.4	312.0	0
4	20.0	320.3	0
5	25.9	335.2	0
6	31.3	338.5	0
7	36.2	396.4	0
8	41.0	373.2	0
9	45.1	379.8	0
10	48.9	350.0	0
11	52.0	330.2	0
12	54.8	318.6	0

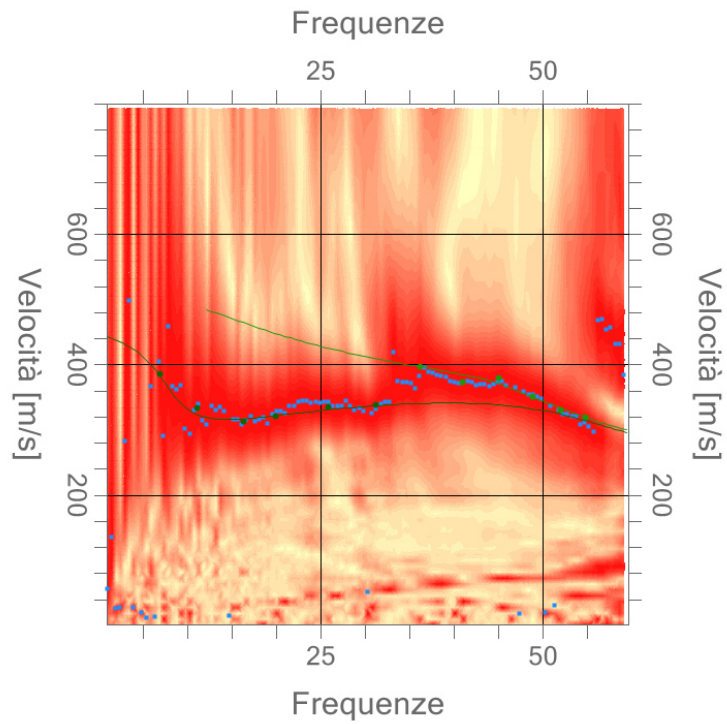


Inversione

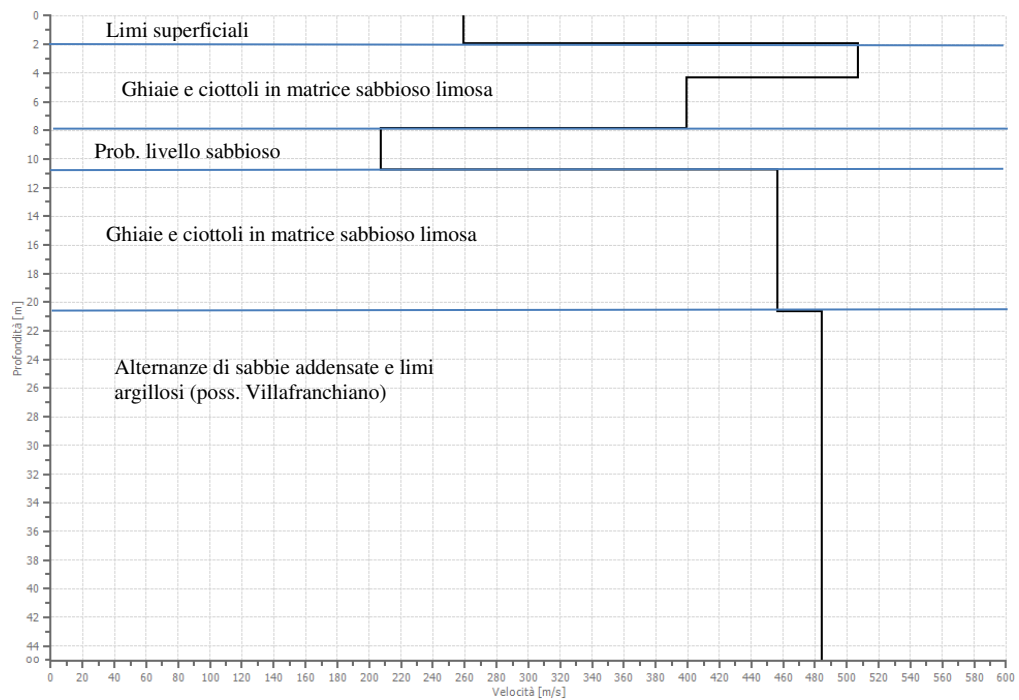
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.95	1.95	0.3	484.9	259.2
2	4.36	2.41	0.3	947.9	506.7
3	7.85	3.49	0.3	747.5	399.5
4	10.74	2.90	0.3	387.7	207.2
5	20.65	9.91	0.3	854.2	456.6
6	oo	oo	0.3	905.7	484.1

Percentuale di errore 0.027 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.016

Inversione



Profilo di velocità



4.6. Risultati

L'analisi del profilo stratigrafico, evidenzia un assetto sismostratigrafico descritto nella tabella seguente:

Livello	Profondità	Descrizione	Velocità Vs
1	Ca. 2 m	Materiale fine	$V_s < 260$ m/s
2	Da ca. 2 a 7 m	Ghiaie	$500 > V_s > 400$ m/s
3	Da 7 a 11 m	Limi e sabbie fini	V_s ca. 210 m/s
4	Oltre 11 m	Ghiaie e ciottoli	$V_s > 400$ m/s

Il valore di Vs equivalente calcolato al piano campagna è pari a 394.75 m/s. pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

Profondità piano di posa	0
[m]	
Vs,eq [m/sec] (H=30.0 m)	394.75
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

5. Considerazioni di sintesi

Facendo riferimento al lavoro svolto nel 2010 per un intervento di ristrutturazione dell'edificio di cui alla presente relazione, si è aggiornata la relazione redatta all'epoca, sulla base delle intervenute modifiche normative. In particolare è stato possibile per quanto riguarda gli aspetti di caratterizzazione geotecnica, fare riferimento a indagini svolte dal sottoscritto per conto del comune di Volpiano nell'ambito del progetto di realizzazione della nuova struttura di copertura dell'area sportiva della scuola G. Ghirotti in comune di Volpiano (TO). Tale progetto fa capo al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 5, Componente 2, Investimento/Subinvestimento 2.1 “Rigenerazione Urbana”. In particolare si precisa che nell'ambito di tale incarico sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche dinamiche continue da superficie (distanza dal sito attuale di circa 250 m, che hanno permesso di evidenziare la stratigrafia dell'area e di derivare i parametri geotecnici caratteristici del terreno. Inoltre, avendo eseguito altre prove di questo tipo nell'areale volpianese, si è potuto rilevare una notevole omogeneità sia della stratigrafia che dei parametri geotecnici del terreno, per cui il sottoscritto ritiene ammissibile utilizzare i risultati di tali prove anche per l'intervento di cui si tratta in questa relazione.

La relazione è stata aggiornata in base alle modifiche introdotte con la normativa sismica ed è stato eseguito un MASW in corrispondenza del sito, lungo via Botta (nel cortile del fabbricato non c'è spazio a sufficienza per eseguire uno stendimento lungo ca. 50 m) ed è stata calcolata la V_s eq.. Sulla base dei risultati ottenuti il sottosuolo a fini sismici è classificabile come suolo di categoria B (V_s eq. = 394.75 m/s).

Si precisa che la relazione tratta la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica del sito senza entrare nel merito di verifiche di calcolo geotecnico, di competenza ingegneristica. Peraltro si precisa che nella relazione sono indicati i principali parametri geotecnici dei terreni di fondazione, da utilizzare nelle verifiche geotecniche, in adempimento ai par. 6.2.1 e 6.2.2 delle NTC 2018.

Per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica, lo studio condotto ha evidenziato l'assenza di fenomeni di dissesto in atto o potenziali gravanti sulla zona di intervento. In particolare l'area si trova in zona edificata storicamente nella quale gli edifici presenti non manifestano alcun tipo di lesione che possa essere riconducibile a fenomeni geologici, né hanno subito danni derivanti da fenomeni meorfoevolutivi di alcun tipo. In riferimento al vigente P.R.G.C. del comune di Volpiano, la zona è classificata in classe II di pericolosità geomorfologica.

Aprile 2023

Dr. Geol. Maurizio CANEPA
N. 314 Ordine Geologi Regione Piemonte
Documento firmato digitalmente