

COMUNE
DI



SIZIANO

Provincia di Pavia

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

PER ADEGUAMENTO DELL'ASILO NIDO COMUNALE
ALLA NORMATIVA PREVENZIONE INCENDI

Novembre 2018

TAV.
A08

RELAZIONE GEOLOGICA

SCALA --

I disegni e le informazioni in essi contenute sono proprietà esclusiva della Società Arch+ Engineering s.r.l. e non possono essere modificati, riprodotti, resi pubblici o utilizzati per usi differenti da quelli per cui sono stati redatti, salvo autorizzazione scritta.

PROPRIETA'

COMUNE DI SIZIANO
Provincia di Pavia
Piazza Giacomo Negri, 1
tel. 0382.6780284 - fax. 0382.617660 C.F. 00478370182

PROGETTISTA

Arch+ ENGINEERING S.R.L.
P.IVA - C.F. - 02295550186
Via F. Cossa, 26 Tel. 0382-530403
27100 Pavia Fax. 0382-1851511

ARCH. MONICA CASTOLDI
ARCH. PAOLO SCAPOLO

CONSULENTI

BLU S.r.l.
a socio unico Via Emilia, n.354/b - 27043 Brorì (PV)
Tel: 0385.090760 - PEC: Info@pec.blusrl.net
Ing. Matteo Magnani - port. 335/6345018 - email: matteo.magnani@blusrl.net

Ing. Massimo Buscaglia



Studio Tecnico Associato di Architettura, Ingegneria e Urbanistica
Ing. Massimo Buscaglia - Arch. Davide Buscaglia
Corso della Repubblica, 19 - 27029 Vigevano (PV)
tel +39 0381 73908 - mail progetti@buscagliaassociati.it

ECOGIS
Studio geologico associato
Gianluca Nasclmbene
Gluseppe Zuffada

sede legale via A. Moro,5
27028 S. Martino Siccomario (PV)
tel. 0382/1750334
fax 0382/1752557
e-mail: ecogis@ecogis.it
P.iva/c.f. 02300900186



ECOGIS
studio geologico associato

Gianluca Nascimbene
Giuseppe Zuffada

Sede legale e Uffici :
Via A. Moro, 5
27028 S. Martino Siccomario (PV)
Tel. 0382/1750334 - Fax
0382/1752557
Email : ecogis@ecogis.it
P.Iva/C.F. 02300900186

REGIONE: Lombardia

PROVINCIA: Pavia

COMUNE: Siziano

Scala Antincendio
via Fratelli Cervi,
Siziano

A CURA DI:

Dott. Geol.
Gianluca Nascimbene

*Iscritto all'Ordine dei
Geologi della Lombardia*



RELAZIONE GEOLOGICA SISMICA

DATA:
novembre 2018

COMMITTENTE :

Amministrazione Comunale di Siziano

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. INQUADRAMENTO DEL SITO	4
2.1 COMPONENTE GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA	5
2.2 COMPONENTE IDROGRAFICA E IDROGEOLOGICA	6
2.3. Idrografia sotterranea	6
3. CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA COMUNALE E VINCOLISTICA	9
4. SISMICITÀ DELL'AREA	10
4.1 Misura della Vs30 tramite la tecnica "MASW"	14
4.1.1 Analisi dei risultati	14
4.1.2 Risultati	25
4.1.3 Altri parametri	25
4.2 Parametri sismici	26
4.3 Valutazione della suscettibilità sismica dell'area (Verifica di II livello)	29
4.4 Fenomeno della liquefazione	33
4.5 Analisi del rischio alla liquefazione	35
5. INDAGINI IN SITO	37
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LITOSTRATIGRAFICA	38
7. SCAVI	42
8. TERRE E ROCCE DA SCAVO	44
9. CONCLUSIONI	46

1. INTRODUZIONE

La presente relazione geologica e sismica, redatta a supporto del progetto di realizzazione di una nuova scala antincendio presso l'asilo nido comunale di Siziano, illustra i risultati dell'indagine geologica e sismica realizzata, al fine di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione.

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e, la consultazione di alcune prove pregresse eseguite in prossimità dell'area di studio.

Alla luce delle NTC 2018, per definire la categoria del sottosuolo da un punto di vista sismico (determinazione delle V_{seq}) è stato consultato uno stendimento sismico (MASW) eseguito in prossimità dell'attuale area di studio.

Lo studio e le indagini eseguite hanno permesso di :

- individuare i principali lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto e/o potenziali;
- definire le locali condizioni litologiche, la presenza di acque sotterranee e valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni indagati;
- suggerire eventuali opere di salvaguardia al fine di assicurare la stabilità del complesso costruzione - terreno, tali da evitare gli impatti esercitati dalla edificazione in progetto.

Al fine di definire la categoria del sottosuolo da un punto di vista sismico sono state consultate le risultanze di un'indagine sismica progressa (MASW) eseguita dallo scrivente in prossimità dell'area.

NORMATIVA NAZIONALE DI RIFERIMENTO

- ✓ **D.M.LL.PP. 11/03/88** 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.
- ✓ **D.M. 9 Gennaio 1996** Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi
- ✓ **D.M.16 Gennaio 1996** Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- ✓ **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003** Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.05.2003)
- ✓ **Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003** Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003
- ✓ **OPCM 3 maggio 2005** Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche" (Ordinanza n. 3431)-(G.U.n.107del10 maggio2005-Suppl.Ord.n. 85)
- ✓ **D.M. 14 gennaio 2008** Nuove norme tecniche per le costruzioni 2008
- ✓ **Eurocodice 7** Progettazione geotecnica
- ✓ **Eurocodice 8** Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- ✓ **D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001** Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)
- ✓ D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- ✓

2. INQUADRAMENTO DEL SITO

L'area oggetto d'indagine è ubicata nella porzione centrale dell'abitato di Sizzano, in una zona completamente urbanizzata, ad una quota topografica di circa 92.0 m s.l.m ed è cartografata nella sezione B7b1 della C.T.R della Regione Lombardia a scala 1:10.000 e nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 nel Foglio 59 "Pavia".

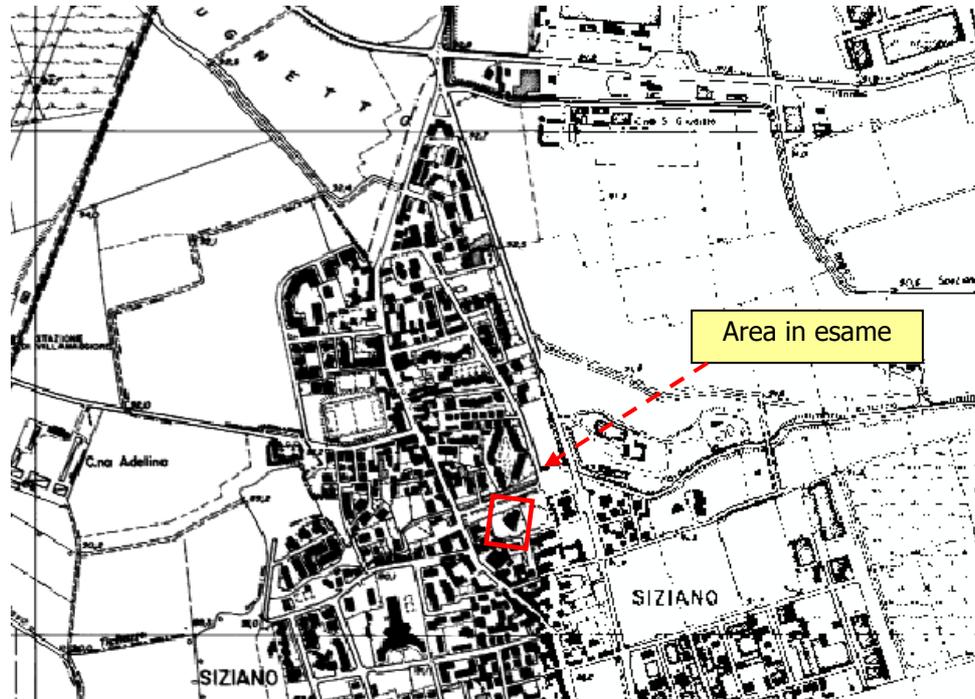


Fig. 1 – Stralcio CTR regionale ed immagine satellitare (fonte: Google Earth) dell'area in studio.

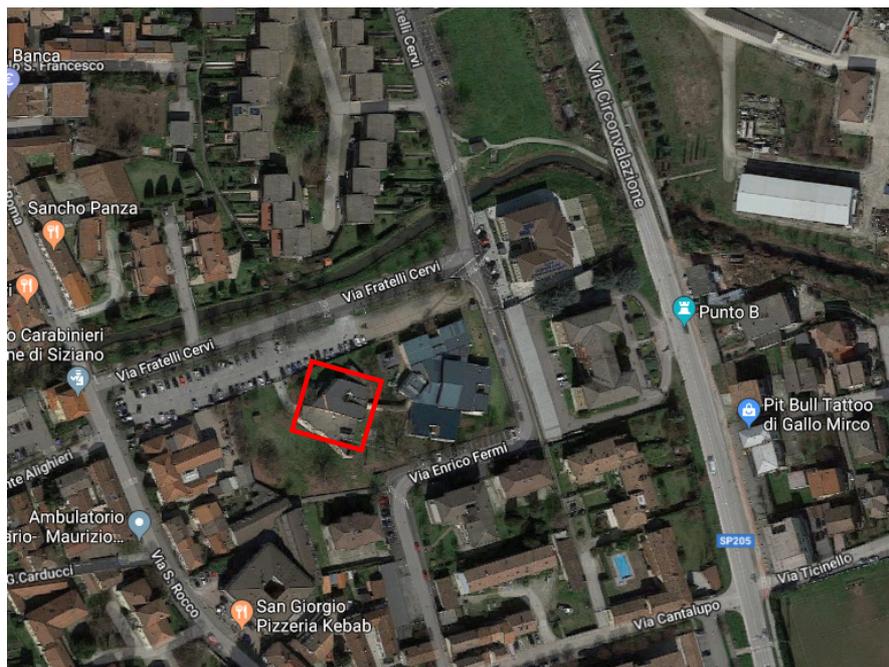


Fig. 2 – Foto satellitare dell'area di studio (Google Earth)

2.1 COMPONENTE GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA

Le uniche irregolarità geomorfologiche sono date dalle incisioni dei canali irrigui e dai terrazzamenti dei fondi agricoli. L'unico elemento morfologico rilevante risulta essere l'incisione naturale del Fiume Lambro Meridionale, la cui azione è comunque ininfluenza ai fini di questa relazione.

I terreni che caratterizzano l'area appartengono alle alluvioni della superficie principale della pianura Fluviale Wurm (Diluvium - Pleistocene sup.); tali depositi sono caratterizzati da ghiaietto e sabbie prevalenti aventi superficialmente limi argillosi alterati nella parte superficiale.

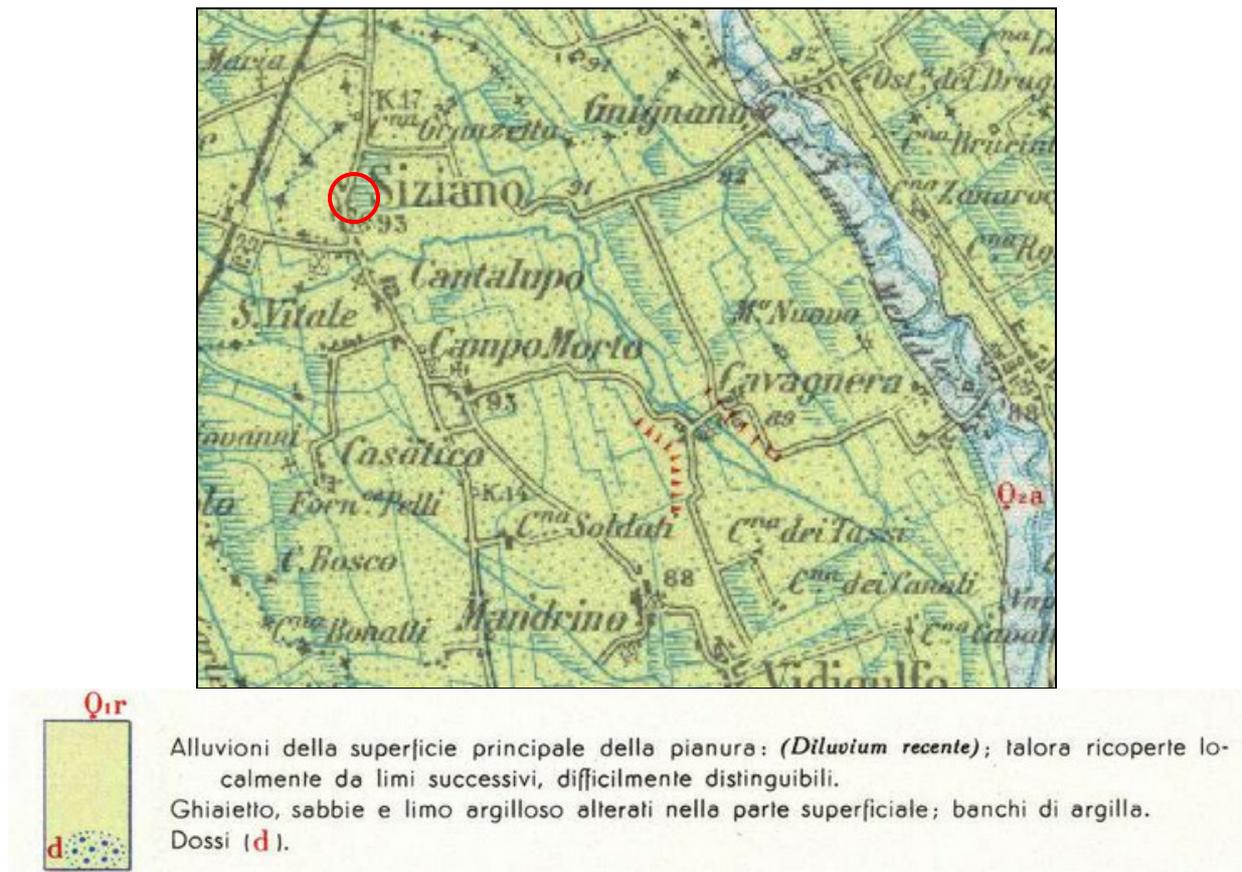


Fig. 3 - Carta geologica d'Italia alla scala 1.100.000 – Foglio 59 "Pavia"

Più in dettaglio, dall'osservazione della carta pedologica-geotecnica allegata al PGT di Sizzano, si apprende come i terreni afferenti l'area di indagini siano caratterizzati dalla alternanza di orizzonti limosi argillosi e limosi sabbiosi, circostanza riscontrata peraltro dall'esecuzione della prova penetrometrica eseguita.

2.2 COMPONENTE IDROGRAFICA E IDROGEOLOGICA

Dal punto di vista idrografico l'elemento più importante dall'area in oggetto è rappresentato dalla Fiume Lambro Meridionale, che scorre a circa 2,6 km.

La falda freatica più superficiale è soggetta alle variazioni stagionali per opera dei numerosi canali di irrigazione che, nei periodi estivi, alimentano l'irrigazione dei terreni agricoli, ammettendo una massima escursione della falda in prossimità del piano campagna.

2.3. Idrografia sotterranea

Il sottosuolo della pianura pavese - milanese è costituito da sedimenti appartenenti al sistema deposizionale plio - pleistocenico padano; l'intera successione continentale raggiunge spessori variabili in funzione della presenza di morfostrutture sepolte, modellate nel basamento marino e localizzate in corrispondenza dei fronti di sovrascorrimento appenninici.

Dall'analisi della figura seguente è possibile riconoscere a partire dall'unità litologica più vecchia la seguente successione :

- ✓ basamento sedimentario marino (Pliocene-Pleistocene inf.) è costituito da marne argillose siltose ed argille siltose;
- ✓ sequenza di depositi continentali (Pleistocene medio-sup.-Olocene) così distinti:
 - depositi di origine palustre-lacustre (corrispondenti al Villafranchiano) costituiti dall'alternanza di orizzonti limoso argillosi con ricorrenti livelli sabbiosi;
 - depositi di origine fluviale (Pleistocene medio-sup.) per lo più costituiti da ghiaie e sabbie, a cui si intercalano orizzonti limosi e argillosi (materasso alluvionale).

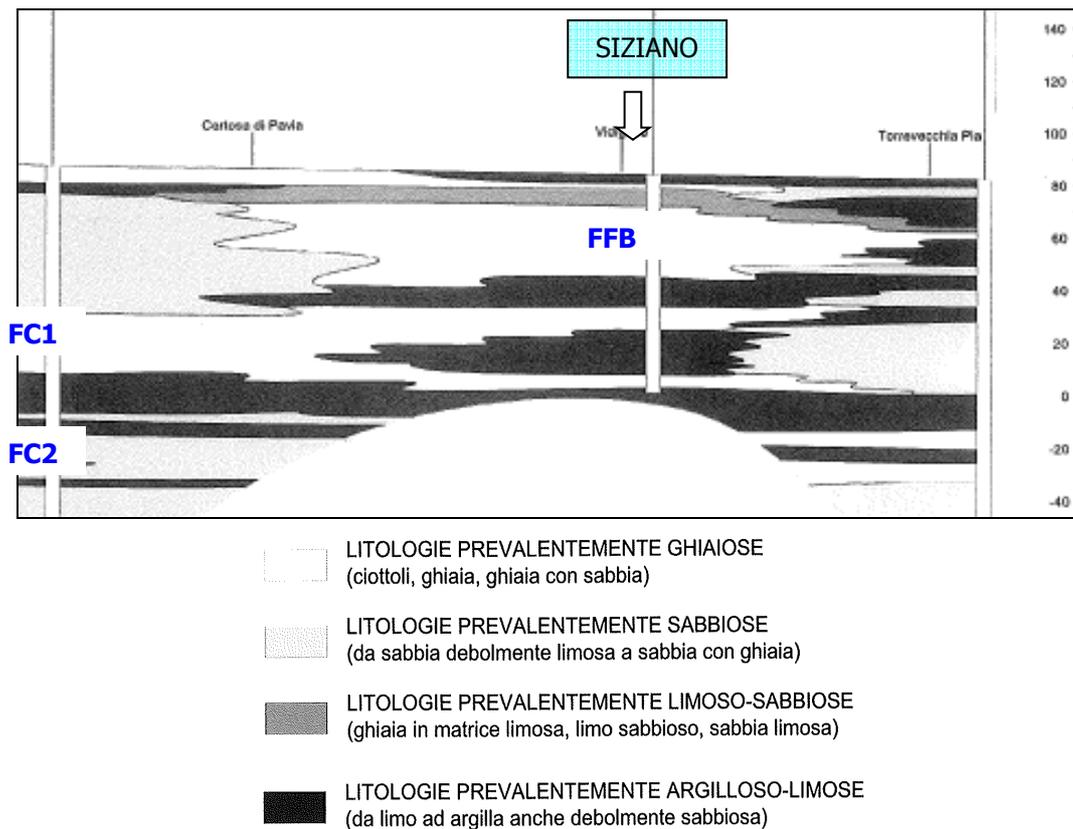


Fig. 4 – Sezione idrogeologica

Nella pianura pavese-milanese, all'interno del materasso alluvionale si possono distinguere una falda libera superficiale (falda freatica sospesa FFS, falda freatica di base FFB), la cui soggiacenza è prossima alla superficie topografica, ed in profondità, un sistema sovrapposto di falde confinate (FC1 –FC2 –FC 3).

Nell'ambito del **primo acquifero** (a pelo libero) (**FFS**) sono spesso rilevabili falde sospese assai prossime al piano campagna che traggono la propria alimentazione dall'infiltrazione delle acque di precipitazione e, in particolar modo, dalle pratiche irrigue.

La **falda freatica** di base (**FFB**) sottostante costituisce un serbatoio a livello regionale ma presenta un grado elevato di vulnerabilità per l'assenza di copertura a bassa conducibilità idraulica, quindi facilmente accessibile alle sostanze inquinanti.

Nella fattispecie il corpo idrico insito nel materasso alluvionale, ad elevata permeabilità, risulta normalmente contraddistinto da un regime palesemente freatico, fatte eccezioni dovute a fenomeni di semiconfinamento legati alla presenza di un tetto argilloso.

La locale presenza di discontinui livelli semipermeabili può provocare la stagionale formazione di ulteriori falde sospese a quote topografiche superiori a quella normalmente individuata.

Le sequenze litologiche che caratterizzano gli acquiferi conseguono potenze di oltre 200 m e le perforazioni testimoniano la presenza di almeno quattro falde sovrapposte con caratteristiche idrogeologiche peculiari dipendenti dal mezzo che le contiene.

Circa l'alimentazione delle falde che permeano il sottosuolo di questa porzione di pianura si ritiene che l'apporto più consistente derivi da zone dell'alto milanese.

La locale presenza di discontinui livelli semipermeabili soprastanti l'orizzonte che sostiene la prima falda libera può provocare la stagionale formazione di ulteriori falde "sospese" a quote topografiche superiori; mentre in alcuni casi la locale assenza dell'orizzonte sostenente la prima falda libera può portare alla scomparsa della falda stessa, che viene a trovarsi in diretta connessione con la seconda falda libera (**FFB**) (Vd. Fig.4).

L'andamento delle curve isopiezometriche evidenzia un senso di deflusso della falda più superficiale verso sud-est a causa dell'effetto drenante operato dal Fiume Po.

In particolare, come è possibile osservare dalla figura 5, la falda in prossimità dell'area in esame, si dovrebbe attestare alla profondità di circa 3,0-4,00 m di profondità dal piano campagna; durante l'indagine era stata rilevata la falda acquifera alla profondità di circa 5,00-6,00 m dall'attuale piano di esecuzione delle prove.

Occorre ricordare la stagionale oscillazione della falda che, durante l'anno, è di circa 1.0-1.5 metro (con minimo in marzo-aprile e massimo tra giugno ed agosto), influenzata notevolmente anche dall'azione di ricarica artificiale generata dall'irrigazione delle risaie.

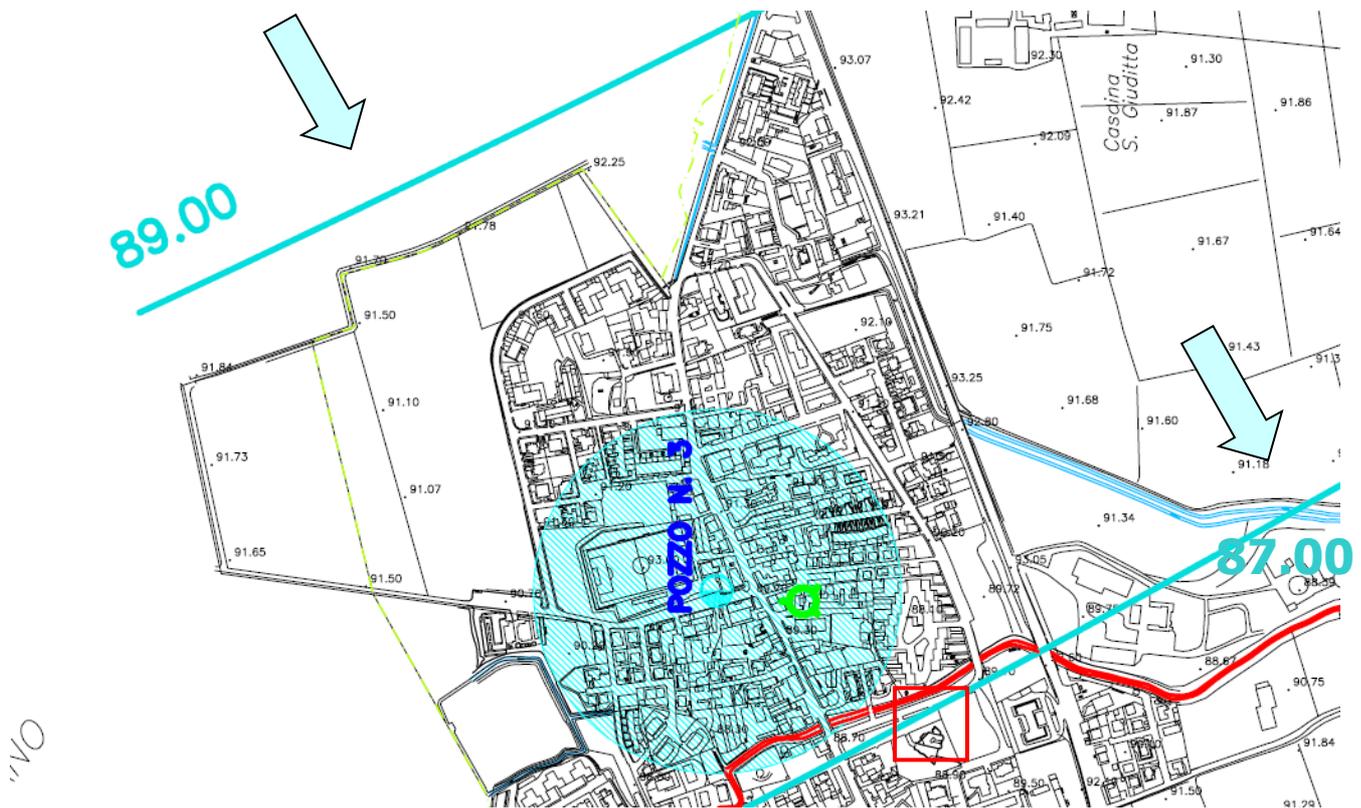
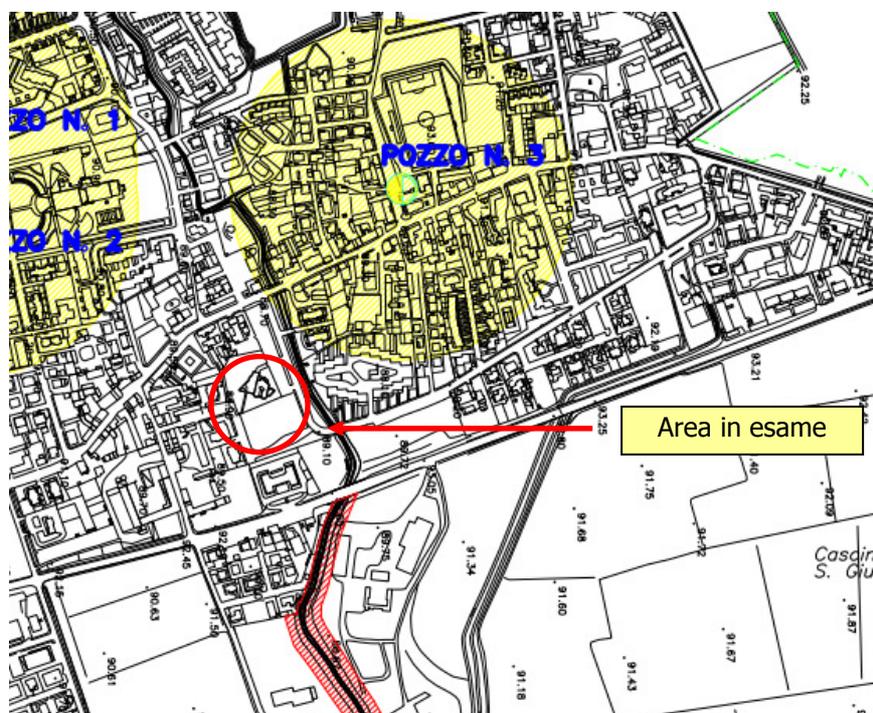


Fig. 5 - Carta idrogeologica allegata al PGT di Siziano

Dall'analisi della sezione idrogeologica riportata in figura 4 e dalle stratigrafie note dei pozzi presenti in zona, si ricava una successione litostratigrafica caratterizzata fino alla profondità di 20-30 m da p.c. da litologie prevalenti limoso - sabbiose alternate ad orizzonti argillosi.

3. CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA COMUNALE E VINCOLISTICA

Dall'analisi dello studio geologico (Rev. Settembre 2011) allegato al PGT del comune di Siziano redatto dal dott. geol. Alberto Pagano, l'area in esame ricade in classe 2 di fattibilità geologica "Fattibilità con modeste limitazioni".



 CLASSE 2 – FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI.

IN QUESTA CLASSE E' GEOGRAFICAMENTE COMPRESO LA QUASI TOTALITA' DEL TERRITORIO COMUNALE. LE LIMITAZIONI SONO DA ATTRIBUIRSI ALLE SCADENTI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI PRIMI STRATI DEL SOTTOSUOLO. QUESTE CONDIZIONI SONO AGGRAVATE DALLA PRESENZA DI LOCALI FALDE SOPSESE. LA REALIZZAZIONE DI NUOVI INSEDIAMENTI ABITATIVI O PRODUTTIVI E' SUBORDINATA QUINDI ALL'ACQUISIZIONE DI DATI GEOLOGICO TECNICI DI MAGGIORE DETTAGLIO CHE DOVRANNO PERMETTERE LA DEFINIZIONE DELLA SITUAZIONE IDROGEOLOGICA LOCALE E LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE. TALI STUDI DI DETTAGLIO DOVRANNO ESSERE PROGRAMMATI E REALIZZATI IN FASE DI PROGETTAZIONE DEI PIANI DI LOTTIZZAZIONE PER LE NUOVE AREE A DESTINAZIONE URBANISTICA. DOVRANNO INVECE ESSERE CONTEMPLATI NEI SINGOLI PROGETTI EDIFICATORI NEI CASI NON RICADENTI IN NUOVI PIANI. QUESTE INDAGINI DOVRANNO ESSERE ESEGUITE IN SEDE DI PROGETTO ESECUTIVO DEI SINGOLI INTERVENTI E COSTITUIRANNO PARTE INTEGRANTE DEGLI ELABORATI DI PROGETTO CONFORMEMENTE A QUANTO PRESCRITTO DAL D.M. 14 GENNAIO 2008.

Fig. 6 – Carta della fattibilità geologica e relativa legenda

Dalla relazione geologica allegata al PGT Comunale si apprende che tutto il territorio comunale ricade nello scenario di pericolosità sismica locale Z4a, definita come: "zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi".

Essendo il Comune classificato in classe 3 da un punto di vista sismico, in relazione allo Scenario di Pericolosità Sismica Locale (Z4a - Effetti: AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE) in fase progettuale, al fine di caratterizzare gli effetti di amplificazione sismica locale (ai sensi della DGR 8/7374/2008 e DGR IX/2616 del 30 Novembre 2011), si dovrà applicare il 2° LIVELLO di approfondimento non solo per Opere strategiche e rilevanti (d.d.u.o. n. 19904/2003), ma per ogni tipologia di edificio.

4. SISMICITÀ DELL'AREA

La normativa sismica (D.M. 16 Gennaio 1996) in Italia, anteriormente al Marzo 2003 suddivideva il territorio nazionale in tre categorie di pericolosità (elevata, media e bassa). Per ciascuna categoria sono assegnati un grado di sismicità (S) ed un coefficiente di intensità sismica ($C=(S-2)/100$). Lo spettro di progetto $S_a(T)$ si ottiene moltiplicando il coefficiente C (pari a 0.10g - 0.07g - 0.04g in ordine decrescente di pericolosità sismica) per una forma spettrale $R(T)$ indipendente dalle condizioni del sottosuolo. Queste normative sismiche non tengono conto del ruolo del terreno sulla modifica di forme ed ordinate spettrali, se non con la moltiplicazione dello spettro per il coefficiente di fondazione e che di regola è unitario, salvo che per "terreni particolarmente compressibili" per i quali si consiglia di incrementare e fino a 1.3.

Si specifica che a seguito della D.G.R 11 Luglio 2014 – n. X/2129 – "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", entrata in vigore dal 10 Aprile 2016 (D.G.R 10 ottobre 2014 – n. X/2489) il Comune di Siziano è passato in classe sismica 3.

In ogni caso la normativa sismica ed i parametri relativi a ciascun territorio risultano in veloce e continua revisione, soprattutto nell'ambito della convenzione tra INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e DPC (Dipartimento Protezione Civile) che prevede l'assistenza per il completamento e la gestione della "mappa di pericolosità sismica" prevista dall'OPCM 3274.

Già l'Ordinanza PCM 3519 del 27/04/06 fornisce una revisione dei valori di a_g sul territorio nazionale ed inserisce il territorio di **SIZIANO** nella sottozona caratterizzata da valori di a_g compresi tra 0.050 e 0.075 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

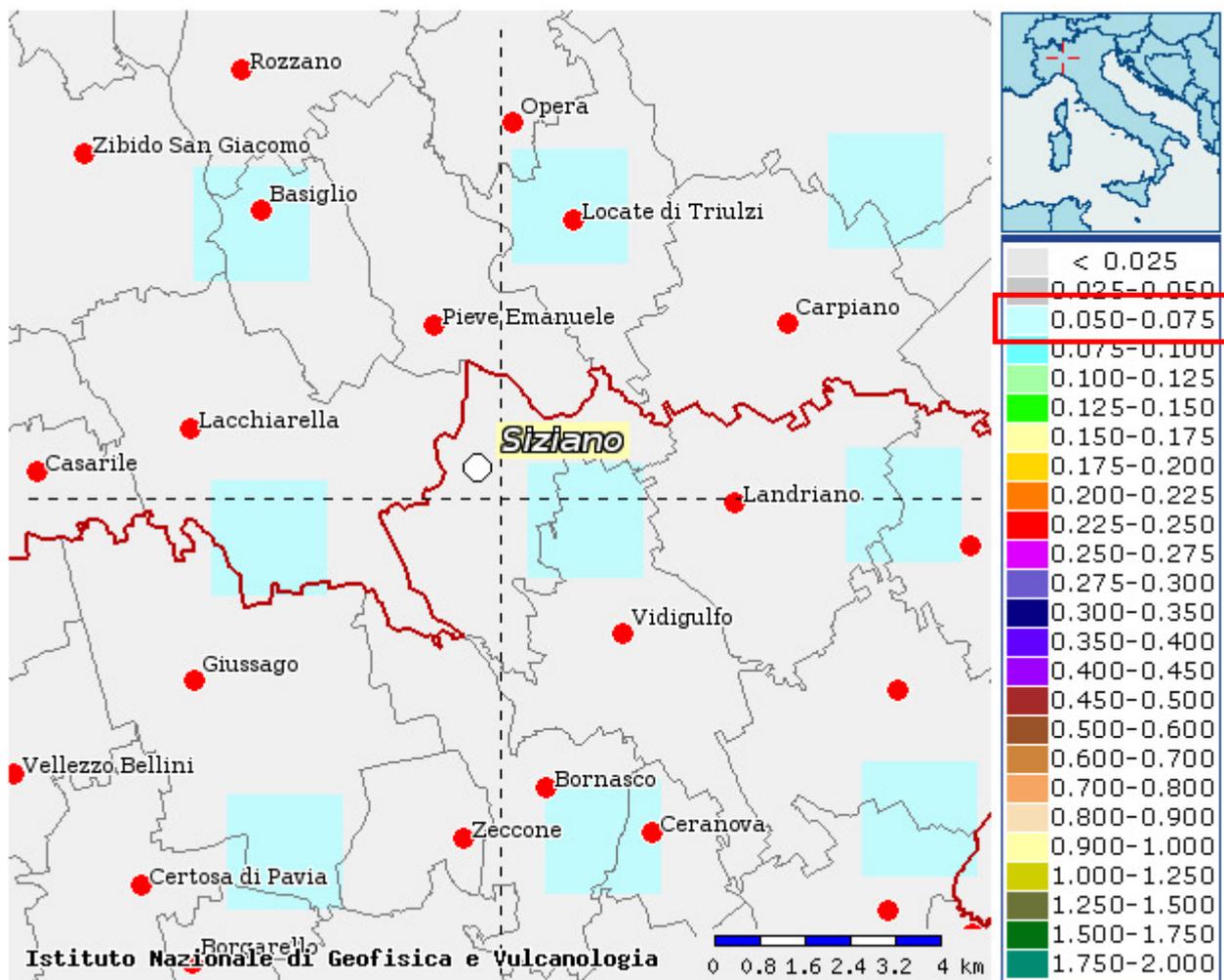


Fig. 7 – Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

Più recentemente nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa. La Regione Lombardia ha stabilito nella D.G.R. n°8/7374 del 28/05/2008 (punto 1.4.3) che "la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'OPCM 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria" e specifica altresì che ai sensi del D.M. 17/01/2018, la determinazione delle azioni sismiche fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti; pertanto in fase di progettazione la determinazione delle azioni sismiche non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito.

Tali indicazioni coincidono per lo più con quelli riportati nell'Ord. 3519/2006, e sono in ogni caso determinabili mediante le coordinate geografiche e l'utilizzo di programmi applicativi.

Per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, secondo le NTC 2018, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, mentre con l'utilizzo della VSeq, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che nelle NTC08 erano definite con $V_{s,30} < 180$ m/sec) viene classificata con valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 e 180 m/sec. Inoltre, come è possibile osservare dalla seguente tabella, non si ricava più la categoria di sottosuolo usando o $NSPT_{30}$ o CU_{30} .

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

Tabella 1 - Categorie di sottosuolo

Nelle definizioni precedenti V_{seq} è la velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

h_i = spessore dello stato i -esimo;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come praticamente appare nel nostro caso, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In base a quanto prescritto nelle NTC 2018, la velocità delle onde di taglio, V_{seq} , va "determinata mediante apposite misure dirette, derivanti da indagini geofisiche di tipo sismico". Nel nostro caso la definizione della categoria di sottosuolo da un punto di vista sismico è stata dedotta da un'indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, con modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde Rayleigh) pregressa eseguita a poche centinaia di metri ad Ovest rispetto all'attuale area di studio. Tale indagine, realizzata sui medesimi terreni da un punto di vista di genesi sia geologica che geomorfologica di quelli che contraddistinguono l'area di interesse, ben si presta a caratterizzare il valore delle V_{seq} che, in questo caso per assenza di substrato, viene definita dal parametro $V_{s,30}$.

4.1 Misura della Vs30 tramite la tecnica "MASW"

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J.1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

4.1.1 Analisi dei risultati

La definizione del tipo di suolo ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni, è stata possibile mediante l'esecuzione di indagini indirette basate sulle tecniche della sismica a rifrazione (misura diretta delle Vs30 con metodologia MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves).

A tale scopo, è stato consultato uno stendimento sismico lineare pregresso, con le seguenti caratteristiche:

S 1 - lunghezza pari a **33 m** con 12 geofoni a distanza intergeofonica di 3,0 m;

Il profilo M.A.S.W., sulla base dei modelli medi, indicava una Vs30 pari a **259,76 m/s.**

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" il profilo stratigrafico dei terreni coinvolti nel progetto permette di classificare il sito come:

- **suolo tipo "C"** : Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)

Si riportano di seguito, i profili con le velocità V_{s30} relativi ai singoli stendimenti:

STENDIMENTO 1

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	1000
Interdistanza geofoni [m]	3.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131

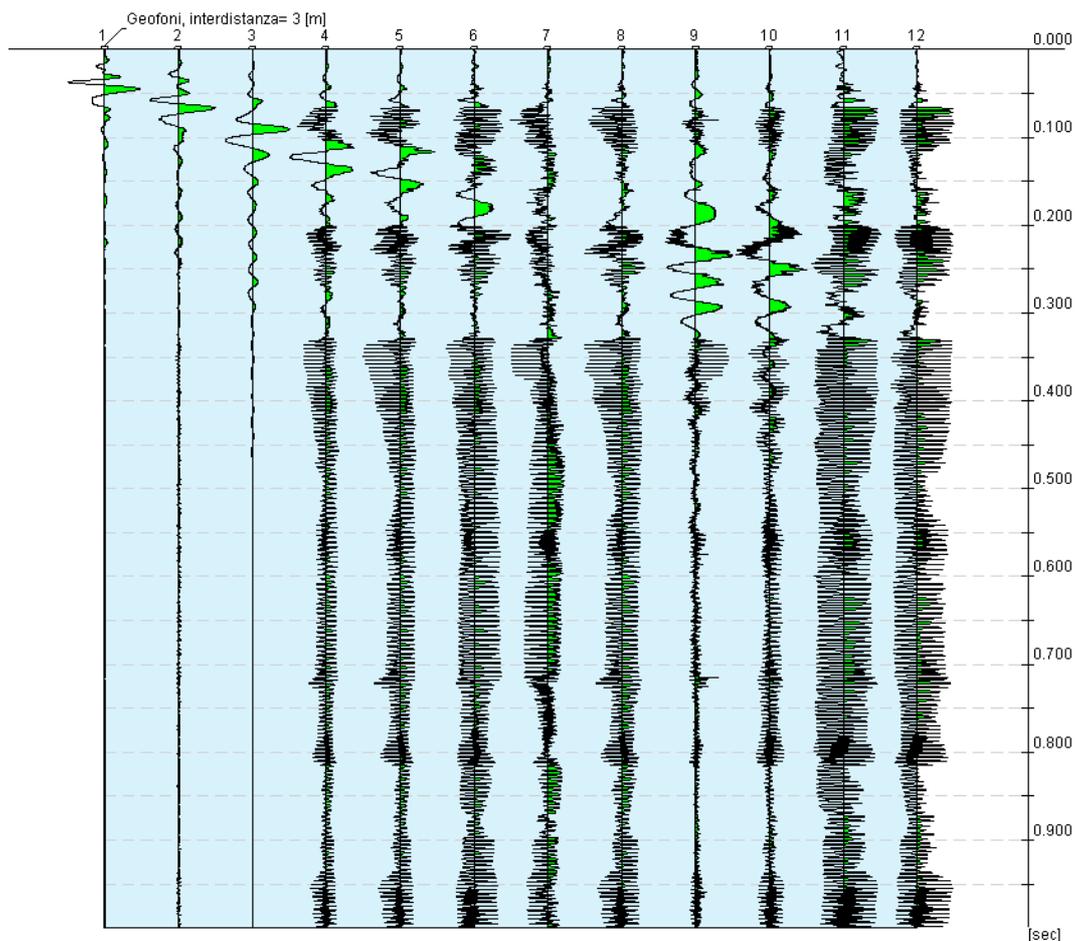


Figura 8 - Sismogramma stendimento MASW 1

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

Spettro Velocità di fase - Frequenze

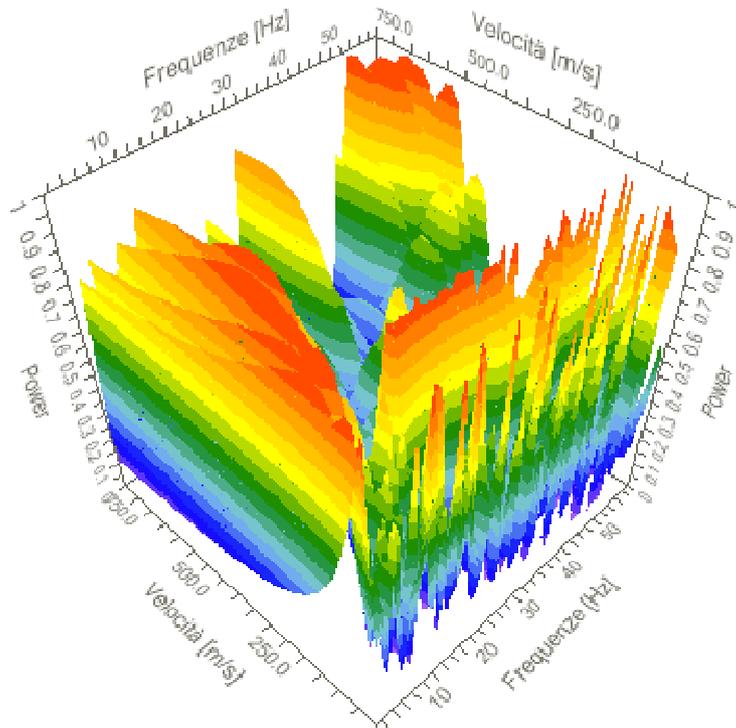


Figura 9- Analisi spettrale

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.9	252.5	0
2	8.6	214.6	0
3	10.8	195.2	0
4	14.2	181.3	0
5	17.1	176.1	0
6	19.7	172.9	0
7	22.3	172.9	0
8	25.6	168.2	0
9	29.3	166.5	0
10	31.6	160.2	0
11	34.4	157.0	0
12	37.3	147.4	0
13	40.1	144.2	0
14	42.4	141.1	0
15	45.9	147.4	0
16	48.7	141.1	0
17	52.2	137.9	0
18	54.3	134.7	0
19	57.6	141.1	0
20	5.9	252.5	0

Tabella 2 - Parametri della curva di dispersione

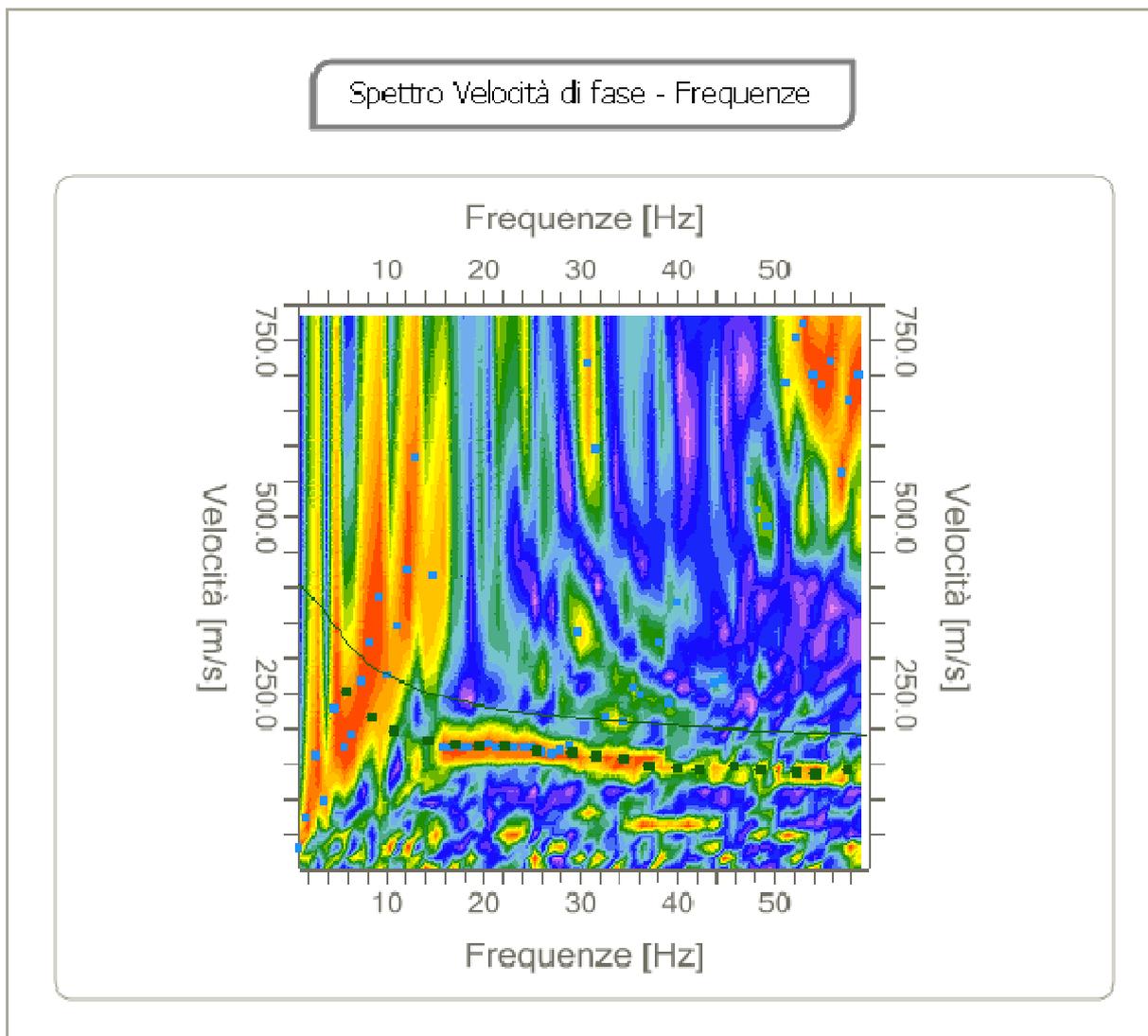


Figura 10 -Curva di dispersione stendimento masw 1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.67	1.67	1700.0	0.3	Si	267.5	143.0
2	8.48	6.81	1700.0	0.3	Si	383.6	205.0
3	11.95	3.46	1800.0	0.3	Si	466.4	249.3
4	18.40	6.46	1800.0	0.3	Si	553.8	296.0
5	25.67	7.27	1800.0	0.3	Si	610.7	326.5
6	oo	oo	1900.0	0.3	Si	641.8	343.1

Percentuale di errore

0.025 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.018

Tabella 3 - Valori dell'inversione

Inversione

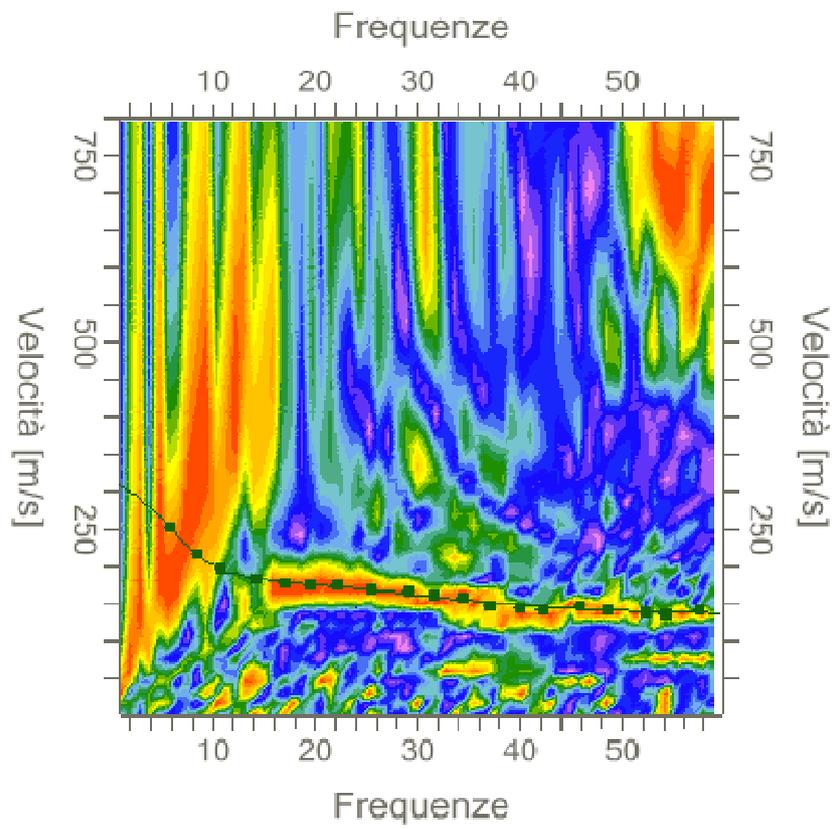


Figura 11-Inversione

Profilo di velocità

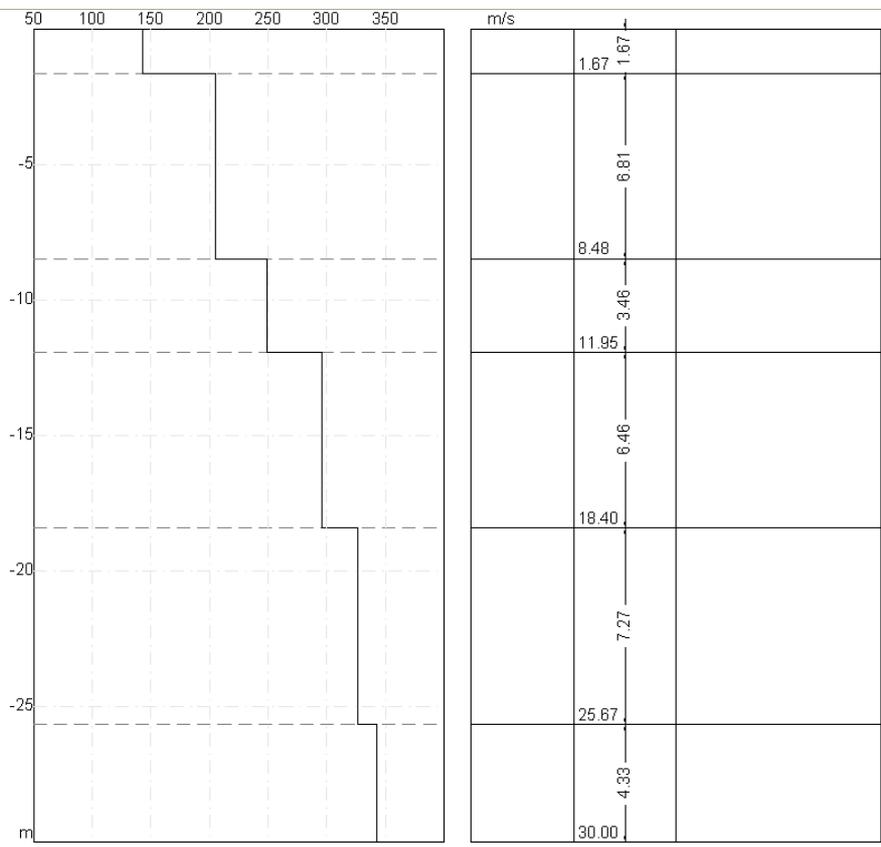
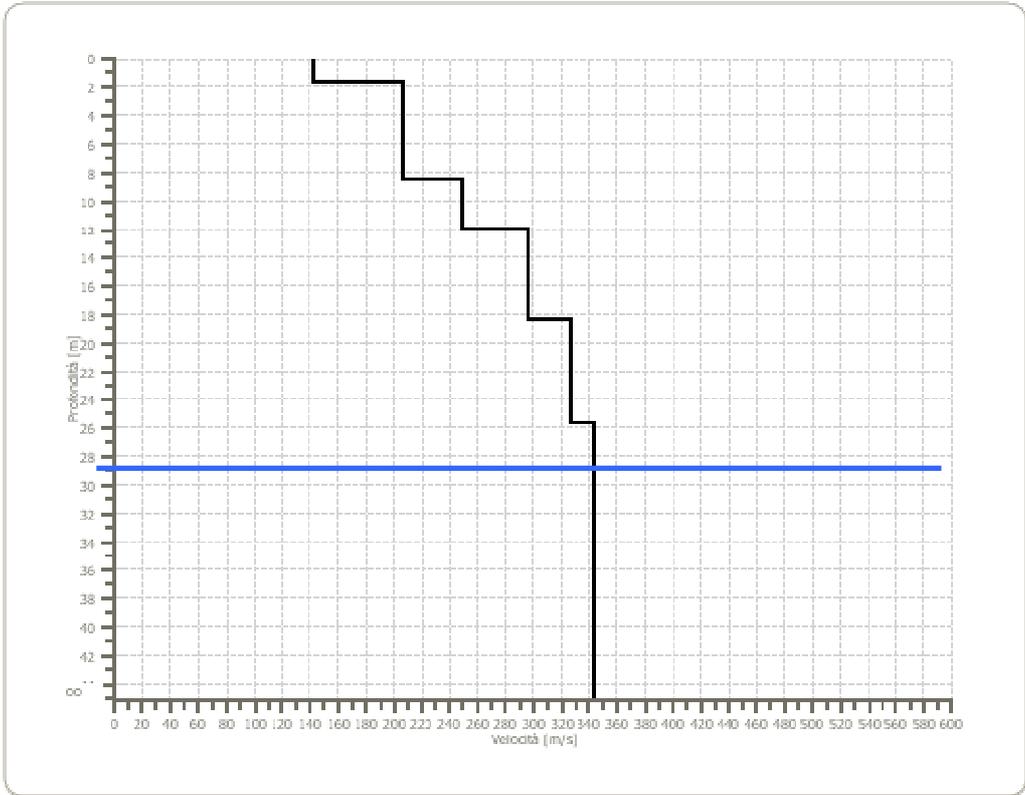


Figura 12-13 - Modello risultante dall'inversione dei dati - Sismostratigrafia

4.1.2 Risultati

A partire dal modello sismico mono-dimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove Hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Vs30 [m/sec]	259.76
Categoria del suolo	C

4.1.3 Altri parametri

I valori delle Vs sono stati ricavati dall'indagine sismica di tipo MASW, consentendo, tramite formule empiriche, di eseguire una prima stima dei principali parametri elastici dei terreni investigati, con:

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.67	1.67	143.01	267.54	1800.00	0.30	36.81	128.84	79.76	95.71
2	8.48	6.81	205.04	383.59	1800.00	0.30	75.67	264.85	163.96	196.75
3	11.95	3.46	249.30	466.40	1900.00	0.30	118.09	413.31	255.86	307.03
4	18.40	6.46	296.04	553.84	1900.00	0.30	166.52	582.80	360.78	432.94
5	25.67	7.27	326.46	610.74	1900.00	0.30	202.49	708.71	438.73	526.47
6	oo	oo	343.08	641.84	2000.00	0.30	235.41	823.92	510.05	612.06

Tabella 4 - Schema riassuntivo parametri estrapolati dalla MASW

4.2 Parametri sismici

Da un punto di vista topografico, l'area ricade nella classe T1 (Tab. 3.2.III - NTC 2018).

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

Tabella 5: Tab 3.2.III NTC 2018 - caratteristiche della superficie topografica

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Nel nostro caso la vita nominale V_N è posta pari a 100 anni (costruzioni con livelli di prestazioni elevati).

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 6: Tab. 2.4.I NTC 2018 - Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Pertanto, gli elementi fondamentali dell'area di interesse ed i parametri sismici del sito in esame, trattandosi di un edificio residenziale (classe d'uso II), sono:

SITO IN ESAME	VALORE
latitudine:	45,318093
longitudine:	9,204416
Vita nominale:	100
Classe d'uso dell'edificio:	III
PARAMETRI SISMICI	VALORE
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Coefficiente c_u :	1,5

Tabella 7: dati del sito di riferimento

Le azioni sismiche di ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U):

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

Tabella 8: Tab. 2.4.II NTC 2018– Valori del coefficiente d'uso C_U

A partire dai parametri di input sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento p_{VR} e del periodo di ritorno t_R , sono calcolati, per i diversi stati limite richiesti dalla norma, i valori a_g , f_0 , t_c^* e gli ulteriori parametri necessari per la caratterizzazione sismica locale:

		P_{VR}	T_R	Valori interpolati			Valori ricavati da a_g , F_0 , e T_c^*						
		[adm]	[anni]	a_g	F_0	T_c^*	S_s	C_c	S_t	T_B	T_C	T_D	F_v
				[g]	[adm]	[s]	[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO	81%	90	0,033	2,56	0,22	1,50	1,73	1,00	0,11	0,33	1,68	0,49
	SLD	63%	151	0,039	2,58	0,24	1,50	1,66	1,00	0,12	0,36	1,70	0,56
SLU	SLV	10%	1424	0,078	2,62	0,30	1,50	1,56	1,00	0,15	0,45	1,82	0,83
	SLC	5%	2475	0,091	2,63	0,30	1,50	1,55	1,00	0,15	0,46	1,88	0,93

Tabella 10 – Parametri e coefficienti sismici del sito

Si riportano di seguito i principali parametri e riferimenti che entrano in gioco:

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento in riferimento ai vari stati limite;

T_R = periodo di ritorno;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (valore nominale);

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

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

CC = coefficiente di categoria di sottosuolo

ST = coefficiente di amplificazione topografica

TB = tratto ad accelerazione costante

TC = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

TD = periodo inizio tratto a spostamento costante

FV = fattore di amplificazione spettrale

SS = coefficiente di amplificazione stratigrafica

SLE = stati limite di esercizio:

- **(SLO) Stato Limite di Operatività:** 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;
- **(SLD) Stato Limite di Danno:** 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 ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLU= stati limite ultimi:

- **(SLV) Stato Limite di salvaguardia della Vita:** 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 resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **(SLC) Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture 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 ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I tre valori ottenuti di a_g , f_0 e t_c^* definiscono le varie forme spettrali. per calcolare il valore di a_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (s) secondo la seguente relazione:

$$A_{MAX} = A_G (M/S^2) * S$$

Poiché l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 , dai valori nominali di a_g trovati in precedenza si determina il valore di accelerazione massima attesa al sito moltiplicando prima i valori di a_g per $9,81 m/s^2$ e successivamente, per ottenere il valore finale di a_{max} relativo ad ogni stato limite, occorre moltiplicare a_g (m/s^2) per i coefficienti di amplificazione sismica s , con $s = s_s \times s_t$ (in questo caso $s = 1,5$ poiché $s_s=1,50$ e $s_t=1,00$).

		a_g (accelerazione orizzontale massima)	a_g x 9,81 (m/s ²)	S (coefficiente di amplificazione sismica)	A max (accelerazione massima)
		[G]	M/S²		M/S²
SLE	SLO	0,033	0,32	1,5	0,48
	SLD	0,039	0,38	1,5	0,57
SLU	SLV	0,078	0,77	1,5	1,14
	SLC	0,091	0,90	1,5	1,34

Tabella 11 – Determinazione dell'accelerazione massima per i diversi stati limite

I coefficienti Kh (coefficiente sismico orizzontale riferito al sito) e Kv (coefficiente sismico verticale riferito al sito) hanno i seguenti valori:

		Kh	Kv
SLE	SLO	0,009	0,004
	SLD	0,010	0,005
SLU	SLV	0,021	0,011
	SLC	0,025	0,012

Tabella 12–Valori del coefficiente sismico orizzontale (Kh) e verticale (Kv), riferiti al sito

4.3 Valutazione della suscettibilità sismica dell'area (Verifica di II livello)

Effetti litologici

Dall'elaborazione dello stendimento geofisico con metodo MASW e con l'utilizzo di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia, contenute nella D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008, si è calcolato il valore di F_a (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Per ottenere il suddetto F_a è necessario ricavare il valore di Vs₃₀ (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità V_s degli strati intercettati mediante la formula precedentemente riportata. In questo modo si risale al tipo di suolo, che come precedentemente indicato si tratta di **tipo C**.

Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questo dato si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente nella D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);

- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie sabbiose.

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento. I dati ottenuti in campagna e riportati in Tabella 4 vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per la litologia "sabbiosa".

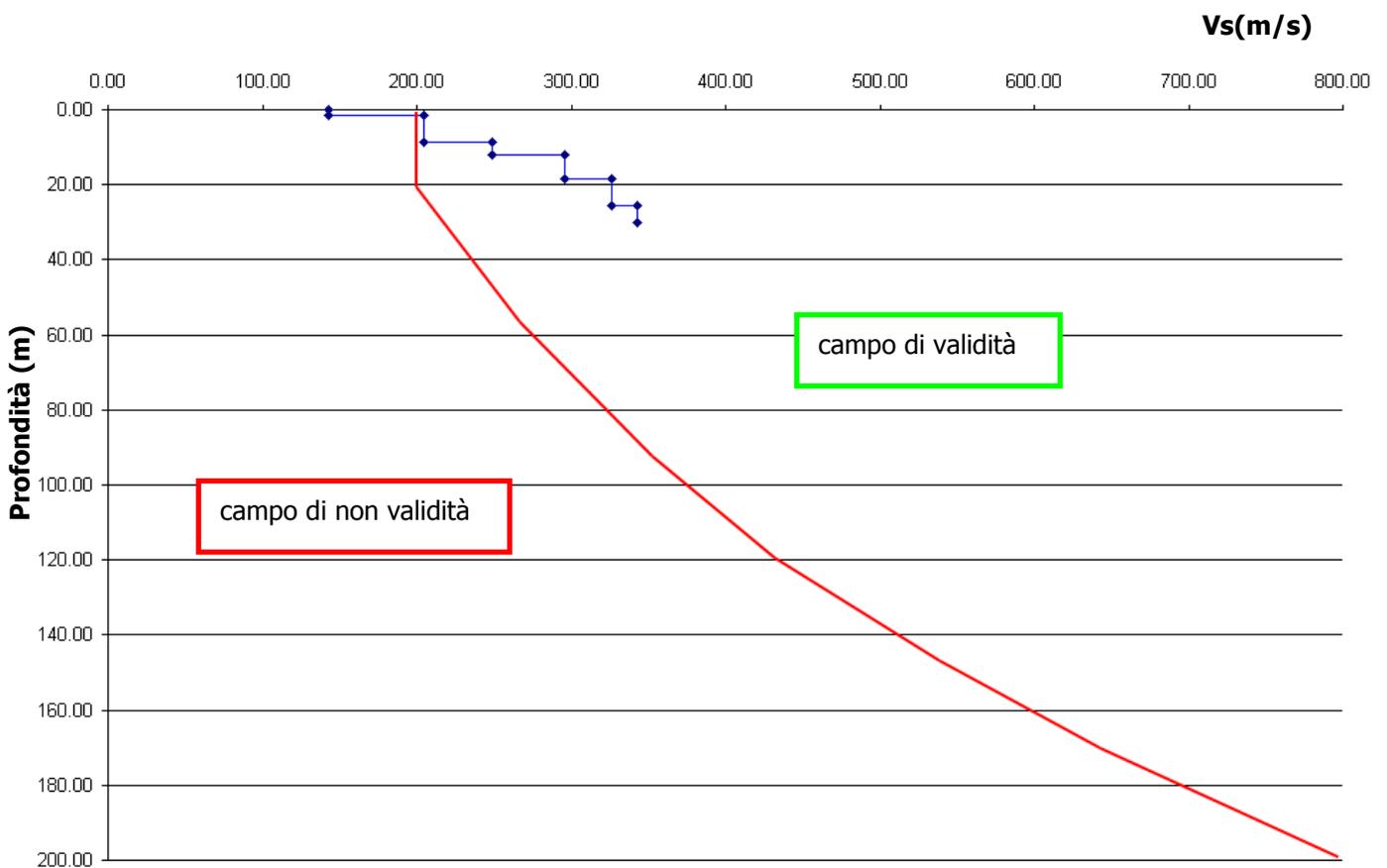


Fig 14 - Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica sabbiosa

Profondità primo strato (m)

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

Fig.15 - Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di Fa, grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Dall'analisi sismica condotta emerge come il "primo strato" abbia spessore pari a circa 8,5 m ed una velocità delle onde assimilabile a 200 m/s.

Ricadendo nel campo evidenziato in rosso non ci sono i presupposti per utilizzare, come indicato dalla normativa, la curva 1 (curva rossa), poiché la 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" non è rispettata. Infatti nel nostro caso abbiamo uno strato superficiale con velocità inferiore a 300 m/s avente uno spessore compreso tra 5 e 12 m, poggiante su uno strato con velocità inferiore a 500 m/s, pertanto si utilizzerà la curva 2 (curva verde).

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_{s_i} = Velocità dell'onda di taglio i-esima

Valore del periodo T
calcolato
0,60 s

Tabella 11 - recante il valore del periodo T calcolato

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento di Fig. 17 e Fig. 18 per la litologia.

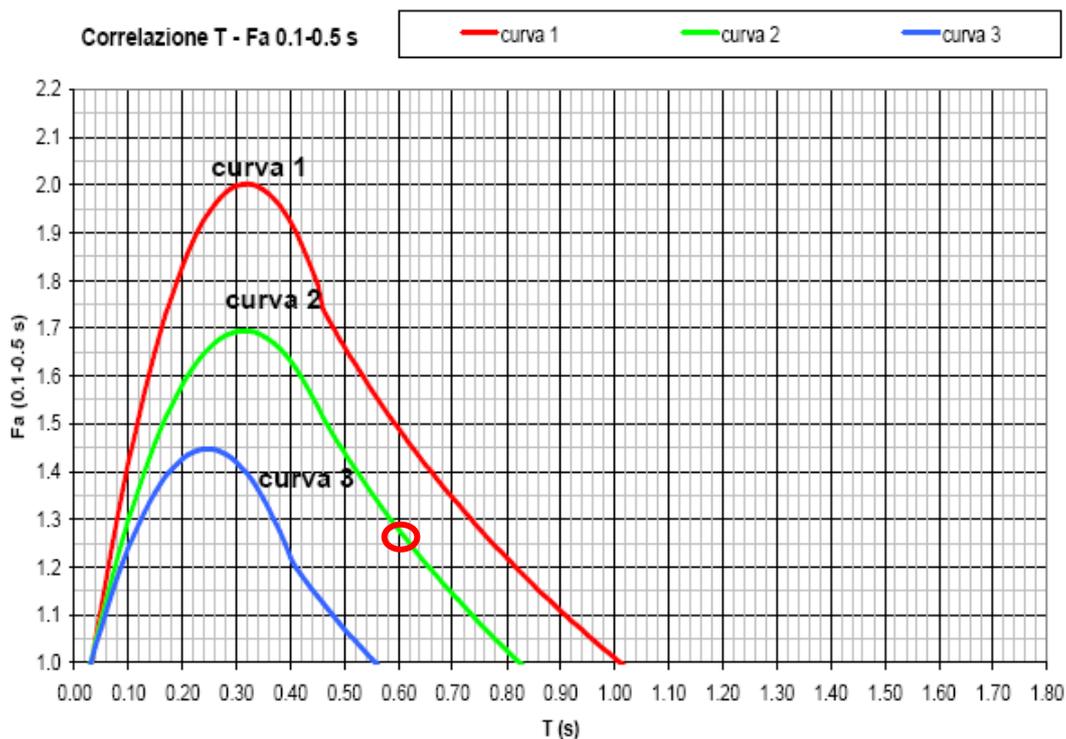


Fig. 16– Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi)

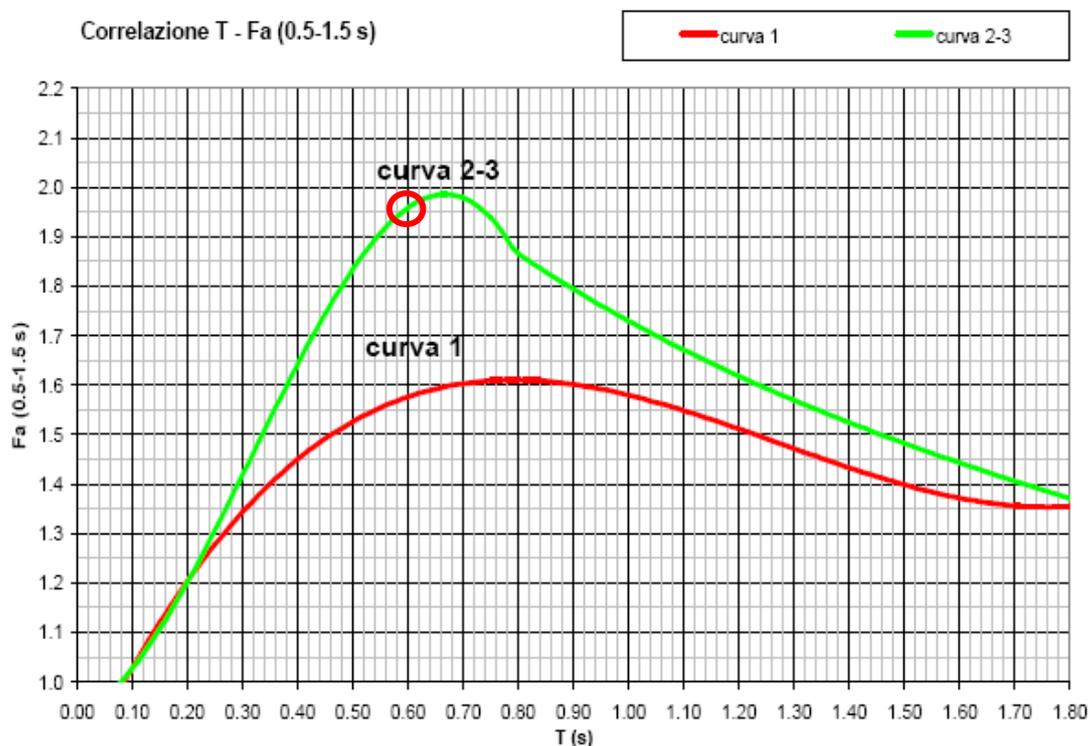


Fig. 17 – Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti)

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo ($T=0,60$), identifichi sulla curva verde un valore di **Fa =1,25 per edifici bassi (Fa di riferimento per i terreni di tipo C =1,80) e Fa = 1,95 per edifici alti (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 2,40).**

Nel nostro caso il valore di Fa calcolato risulta essere inferiore al valore di Fa di riferimento per la categoria del suolo C, sia per edifici alti che per edifici bassi, pertanto i valori calcolati di Fa sono accettabili e conformi alla categoria di suolo individuata.

Le tabelle sottostanti riportano i valori di Fa relativi, nel primo caso ad edifici bassi (max 4 piani), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (5 o più piani) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di Siziano.

VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
SIZIANO	3	Suolo tipo B 1.4	Suolo tipo C 1.8	Suolo tipo D 2.2	Suolo tipo E 2.0

Tabella 12 - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici bassi

VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
SIZIANO	3	Suolo tipo B 1.7	Suolo tipo C 2.4	Suolo tipo D 4.2	Suolo tipo E 3.1

Tabella 13 - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici alti

4.4 Fenomeno della liquefazione

La liquefazione di un terreno è rappresentata dal quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. La predisposizione a tale fenomeno rappresenta un elemento da tenere in considerazione soprattutto in chiave di progettazione antisismica.

La liquefazione interessa soprattutto i depositi sabbiosi sciolti, posti sottofalda, che presentano le seguenti caratteristiche:

- Sabbie da fini a medie con contenuti in materiale fine variabile fra 0 e 25%;
- Grado di saturazione pari a 1 (terreni sotto falda);
- Da poco a mediamente addensati;
- Profondità del deposito entro i 15 m dal piano campagna.
- Valori di N_{spt} inferiori a 10 nei primi 10 m di profondità.

Il D.M. 14/01/08 e l'OPCM 3274/03 riportano le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione, in particolare la verifica è da omettere nei seguenti casi :

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

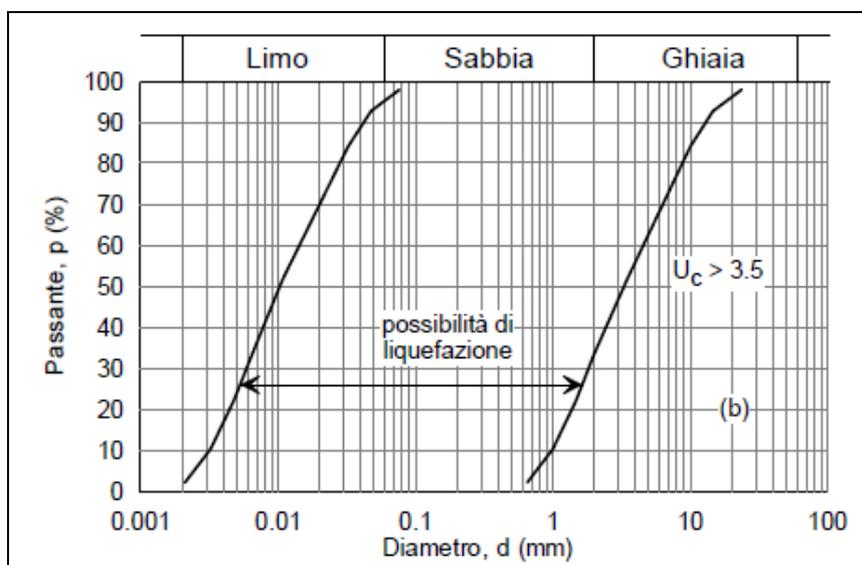
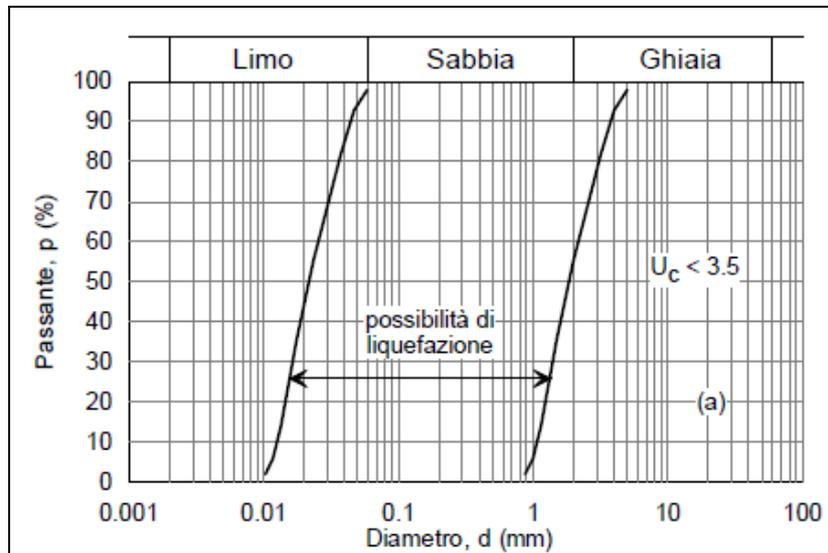


Fig.18– Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando nessuna delle precedenti condizioni è verificata, la suscettibilità alla liquefazione deve essere verificata utilizzando metodologie di tipo statico-empirico, con riferimento al D.M. 14/01/08 (*punto* 7.11.3.4.3).

4.5 Analisi del rischio alla liquefazione

Il calcolo è stato eseguito sulla base dei risultati ottenuti dalla prova MASW, eseguita nell'ambito della presente indagine, che ha fornito i valori della velocità delle onde sismiche secondarie nella parte più superficiale (V_{s30}) del terreno nel sito in esame. E' stato utilizzato il metodo di Andrus & Stokoe.

Per la stima della magnitudo si è utilizzato il metodo delle zone sismogenetiche con le modalità suggerite in "Indirizzi e criteri per la zonazione microsismica" della Protezione Civile.

Il sito è ubicato poco al di fuori del limite nord-occidentale della ZS9 911 (Tortona-Bobbio) con $M = M_{wMax2} = 6.14$; tuttavia la zona sismogenetica di maggior interesse per il sito è la ZS9 906 (Garda-Veronese), con $M = M_{wMax2} = 6.60$ (cfr. le figure); poiché la distanza minima tra il sito e quest'ultima zona risulta di circa $R = 71$ km, applicando la $M_s = 1 + 3 \cdot \log(R)$ suggerita dalla citata Protezione Civile, la magnitudo apparente al sito risulta $M_s = 6.55$, anche se di pochissimo inferiore alla M di detta zona. Per il calcolo si è perciò assunta la magnitudo M_{wMax2} della zona ZS9-915, pari a 6.6.

Per quanto attiene l'accelerazione attesa, secondo la normativa NTC, per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per una struttura di progetto di Tipo III con vita nominale di 100 anni, sul sito in esame (categoria di suolo C, categoria topografica T1, coefficiente c_u 1.5) l'accelerazione massima al suolo in free-field (PGA) raggiunge il valore 0.117 g.

Si è adottato come minima soggiacenza della falda la quota di -3.0 m dal p.c.

I calcoli sono stati eseguiti mediante un codice di calcolo in-house. I risultati del calcolo (cfr il documento Siziano_asiloNido_allegato_liquefazione) indicano che, per quanto attiene la suscettibilità alla liquefazione il terreno in esame è da classificare "NON LIQUEFACIBILE" con rischio di liquefazione "Da Nullo a Molto Basso"

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO Metodo di Andrus e Stokoe (Vs)

Siziano Asilo Nido

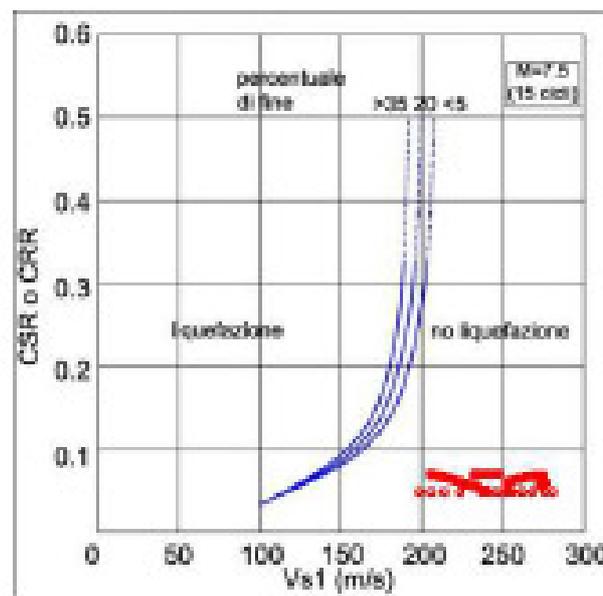
Modello stratigrafico

Strato	Descrizione	FC (%)	Spessore (m)	gamma umido (kN/m ³)	gamma saturo (kN/m ³)	V _s (m/s)	Validità
1		4.0	1.7	17.00	18.00	140	SI
2		4.0	6.8	18.00	19.00	205	SI
3		4.0	3.5	18.00	19.00	240	SI
4		4.0	6.5	18.00	19.00	225	SI
5		4.0	1.5	18.00	19.00	325	SI

Parametri sismici di ingresso

Magnitudo di riferimento (M _w)	6.50
Accelerazione massima (g)	0.12
Soggiacenza falda (m)	3.00
MSF (EC8 (Ambroseys))	1.56

Risultati dell'elaborazione



Relazione tra CSR 6.50 e Vs1 (semplificato da Youd et al., 2001)

Indice del potenziale di liquefazione (Iwasaki et al., 1978):

LPI = 0.00 - Potenziale di rottura molto basso (calcolato fino alla profondità di 20.00 m)

Fig.19– Valutazione del potenziale di liquefazione

5. INDAGINI IN SITO

Al fine di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche reologiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, sono state consultate n. 2 prove penetrometriche statiche (CPT1-CPT2) eseguite in prossimità dell'area utilizzando un penetrometro statico/dinamico (200 kN) avente una spinta di infissione di 20 t, un maglio da 73,0 kg, volata 0,75 m, angolo di apertura punta 60°, aste lunghe 1 m.

La prova penetrometrica statica (CPT) consiste nello spingere nel terreno, ad una velocità costante di 2 cm/sec, una serie di aste cilindriche con un cono alla base (punta meccanica Begemann) e misurarne continuamente o ad intervalli non superiori a 20 cm la resistenza alla penetrazione.

La resistenza viene misurata nel momento in cui manicotto e punta conica sono spinti verso il basso mentre gli altri elementi del penetrometro rimangono fermi.

- Resistenza alla punta conica q_c :

la resistenza al cono è letta direttamente sul display della cella di carico montata sul gruppo di spinta dell'attrezzatura:

$$q_c = R_p$$

misurata in kg/cm².

- Attrito laterale o locale f_s :

l'attrito unitario locale che si ottiene sottraendo al valore di R_l (resistenza laterale letta sul display) il valore di R_p , diviso per la superficie laterale del manicotto (S_l):

$$f_s = (R_l - R_p) / S_l$$

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LITOSTRATIGRAFICA

L'elaborazione dei dati desunti dalla prova penetrometrica statica ha permesso di ricostruire l'assetto litostratigrafico con maggiore precisione e, contestualmente, di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni investigati.

Modello litostratigrafico di dettaglio

L'interpretazione litostratigrafica delle prove, si fonda sulla correlazione dei valori di resistenza alla punta q_c e di attrito laterale f_s , attraverso un confronto dei risultati ottenuti con i grafici interpretativi proposti da vari autori (vedi figure sottostanti), si ottiene una classificazione litologica e la determinazione dei principali parametri geotecnici.

Modello litostratigrafico e geomeccanico del sito

In particolare, è stato individuato fino alla profondità di 0.8-1.0 m dal p.c., un orizzonte superficiale costituito da terreno di riporto, soggetto alle variazioni stagionali del contenuto d'acqua.

Dalla profondità di circa 0.8-1.0 m dal p.c. fino alla profondità di 5,80-6,00 da p.c. è stato individuato un **orizzonte B** costituito da sabbia limosa ($Q_c=20\div129$ Kg/cm²)

Tale orizzonte è caratterizzato dalla presenza di locali livelli limoso-argillosi teneri individuati in particolare dalla prof. di 2,00 a 2,60m e da 3,60 m a 4,00 m in corrispondenza della prova CPT 1 e dalla prof. di 2,20m a 2,80m e da 3,60m a 4,00 m in corrispondenza della prova CPT 2 ($Q_c=3\div20$ Kg/cm²).

Sottostante il suddetto orizzonte si individua fino alla profondità di 6,60-6,80 m dal p.c. un **orizzonte B** costituito da limi sabbiosi debolmente argillosi ($Q_c= 10\div20$ Kg/cm²).

Dalla profondità di 6,60-6,80 m e fino alla profondità di 9,60 m si individua un **orizzonte C** costituito da sabbia debolmente limosa mediamente addensata ($Q_c= 29 \div 91$ Kg/cm²).

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO GEOMECCANICO	Qc medio (kg/cm) CPT1	Qc medio (kg/cm ²) CPT2
0,00÷0,80/1,00 m	Terreno di riporto/vegetale		
0,80/1,00 m ÷ 5,80/6,0 m	Sabbia limosa con locali livelli limoso-argillosi*	48 *5	52 *12
5,80/6,0 m ÷ 6,60/7,00 m	Limo sabbioso argilloso	14	12
6,60/7,00 ÷ 9,60 m	sabbia debolmente limosa	46	54

All'interno del *range* di riferimento è possibile identificare il valore medio, considerato come valore medio spaziale ovvero, la media dei valori relativi ad un determinato volume di terreno (esempio : volume di terreno interessato dal cuneo di rottura o da una superficie di scivolamento).

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE			
ORIZZONTE A TERRENO DI RIPORTO/VEGETALE			
ORIZZONTE B – SABBIA CON LOCALI LIVELLI LIMOSO ARGILLOSI			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			Incoerente/coesivo
Densità relativa	Dr	%	40-60
Consistenza			media
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	kN/m ³	18,0-19,0
Peso di volume immerso	γ_{imm}	kN/m ³	8,0-9,0
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	29-31
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	20-40
PARAMETRI ELASTICI	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
coefficiente di Poisson	μ	-	0,30
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	120-170
Modulo edometrico	M	Kg/cm ²	50-70
• Parametri livelli limoso argillosi			
ORIZZONTE C – LIMO SABBIOSO ARGILLOSO			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			Coesivo
Densità relativa	Dr	%	/
Consistenza			tenero
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	kN/m ³	17,0-17,5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	/
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	/
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	30-50
PARAMETRI ELASTICI	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
coefficiente di Poisson	μ	-	0,30
Modulo edometrico	M	Kg/cm ²	50-70

ORIZZONTE D – SABBIA LOC. LIMOSA			
CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	Simbolo	Unità di misura	Valore
Classificazione			incoerente
Densità relativa	Dr	%	-
Consistenza			media
PESI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di volume	γ	kN/m ³	18,5-19,5
Peso di volume immerso	γ_{wet}	kN/m ³	/
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	Simbolo	Unità di misura	Valore
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	30-32
Coesione efficace	C'	KPa	-
Coesione non drenata	Cu	KPa	-
PARAMETRI ELASTICI	Simbolo	Unità di misura	Valore
coefficiente di Poisson	μ	-	0,30
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	150-180

6.1 Determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici

Il valore caratteristico di un parametro geotecnico è considerato come stima ragionata e cautelativa del valore del parametro stesso nello stato limite considerato.

Nel caso specifico, è stato identificato, come parametro geotecnico appropriato ai fini progettuali per le verifiche al collasso per capacità portante agli **SLU l'angolo di attrito efficace ϕ** .

Nelle considerazioni relative al raggiungimento degli **SLE** del terreno i valori di progetto devono essere assunti uguali ai valori caratteristici.

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

Fig. 20 -Tab. 6.2.II NTC 2018– Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Nella seguente tabella, viene riportato il valore medio, il valore caratteristico e il valore di progetto dell'orizzonte B.

Il valore caratteristico di un parametro geotecnico è considerato come stima ragionata e cautelativa del valore del parametro stesso nello stato limite considerato.

Nel caso specifico, è stato identificato, come parametro geotecnico appropriato ai fini progettuali per le verifiche al collasso per capacità portante agli **SLU l'angolo di attrito efficace ϕ** .

Nelle considerazioni relative al raggiungimento degli **SLE** del terreno i valori di progetto devono essere assunti uguali ai valori caratteristici.

Nella seguente tabella, viene riportato il valore medio, il valore caratteristico e il valore di progetto dell'orizzonte B:

		M1	M2*
ORIZZONTE B			
Parametro	Valore medio kg/cmq	Valore Caratteristico kg/cmq	Valore di progetto* kg/cmq
Angolo d'attrito	29	29	23,9
<ul style="list-style-type: none"> Questo valore è da utilizzare esclusivamente nell' <i>approccio 1 - combinazione 2</i>, mentre per l'<i>approccio 1 - combinazione 1</i> e per l'<i>approccio 2</i> $Vd\phi = V\phi$ 			

7. SCAVI

In considerazione del fatto che il progetto possa prevedere sbancamenti di terreno si rende necessaria (oltretutto obbligatoria per Norma) la protezione degli sbancamenti aventi altezza del fronte di scavo superiore a 1,50 m; tale accorgimento impedirà che possano verificarsi cedimenti nei terreni sul fronte di scavo e permetterà di poter lavorare all'interno dello scavo in assoluta sicurezza, come previsto dal *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'Art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e del Decreto Ministeriale 14 gennaio 08 "Norme tecniche sulle costruzioni"*.

Si riportano di seguito gli articoli più significativi.

➤ *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, e' vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.*

➤ *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, alla applicazione delle necessarie armature di sostegno.*

➤ *D.Lgs 81/2008, art. 120: E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.*

DM 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.

Al fine di evitare il franamento e/o spostamento dei terreni di scarpata si consiglia di ricorrere ad una delle seguenti soluzioni da dimensionare in fase progettuale :

- scavo tradizionale con angolo di sbancamento adeguato tale da garantire le condizioni di massima sicurezza (da definire in fase progettuale). Questa soluzione potrà essere completata dalla formazione di gradoni utili alla diminuzione della pendenza e dell'altezza di fronti di scavo verticali molto estesi.

Al termine delle operazioni di scavo si dovranno adottare adeguate protezioni necessarie per prevenire eventuali fenomeni di dilavamento da parte delle acque piovane.

- utilizzo di opportune strutture di sostegno (paratie, berlinese di micropali, ecc)

8. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Il 22 agosto 2017 è entrato in vigore il DPR 13 giugno 2017, n. 120, ovvero il nuovo regolamento sulla "Disciplina semplificata delle terre e rocce da scavo", il quale abroga sia il DM n. 161/2012, che l'art. 184-bis, comma 2bis del TUA, nonché gli artt. 41, c.2 e 41-bis del DL n. 69/2013.

La nuova disciplina riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo sia come sottoprodotti sia come rifiuti con un ampliamento dei limiti quantitativi per il deposito temporaneo.

Il D.P.R. n. 120/2017 secondo quanto sancito nell'art. 1 disciplina:

- La gestione delle terre e rocce da scavo escluse dalla normativa sui rifiuti, limitatamente ad alcuni cantieri.
- La gestione delle terre e rocce da scavo riutilizzate come sottoprodotti in relazione a qualunque cantiere.
- La gestione delle terre e rocce da scavo per il deposito temporaneo delle stesse come rifiuti.

Assunto che per terre e rocce da scavo si intende il suolo escavato derivante da attività finalizzate alla realizzazione di un'opera, e che la qualifica di sottoprodotti non viene meno se le terre sono frammiste a materiali il cui utilizzo è fisiologico in talune attività di scavo, vale a dire il calcestruzzo, la bentonite, il PVC, la vetroresina, le miscele cementizie e gli additivi per scavo meccanizzato.

L'art. 2 continua con altre definizioni fondamentali quali quella di sito: un'area o porzione di territorio geograficamente definita e perimetrata; di sito di produzione: il sito in cui le terre sono generate; e quella di opera: il risultato di un insieme di lavori che di per sé esplica una funzione economica o tecnica.

Restano espressamente estranei alla normativa i rifiuti da demolizione e il refluito in mare di cui all'art. 109, D.Lgs 152/2006 (art. 3).

All'art. 4 sono definiti i criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti. Il comma 3 dedicato ai materiali di riporto stabilisce che la presenza di quest'ultimi, non farà perdere la qualifica di sottoprodotti alle terre in cui la quantità massima di materiali di origine antropica corrisponda al 20% in peso. Le terre e rocce da scavo dovranno inoltre rispettare le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) e superare il test di cessione da condurre con il metodo di cui al D.M. 5/02/1998 da confrontare con le CSC per le acque sotterranee.

L'articolo 5 è dedicato al deposito intermedio. Esso potrà avvenire nel sito di produzione, in quello di destinazione o in altro sito a condizione che siano rispettati 5 requisiti:

- 1 Compatibilità di destinazione urbanistica tra sito di produzione e sito di deposito.
- 2 Preventiva indicazione di luogo e durata.
- 3 Durata non superiore al termine di validità del piano o della dichiarazione di utilizzo.
- 4 Separazione fisica e autonoma gestione rispetto ad altre terre, siano esse sottoprodotti considerati in altri piani o dichiarazioni, siano esse rifiuti.
- 5 Conformità al piano o alla dichiarazione e presenza di apposita segnaletica con tutte le informazioni del caso.

È possibile variare il sito di deposito intermedio purché vi sia un tempestivo aggiornamento del piano o della dichiarazione. In caso di sfioramento dei tempi, le terre temporaneamente depositate diverranno rifiuti.

Gli articoli da 8 a 19 normano le terre e rocce da scavo prodotti in cantieri oltre i 6.000 m³ per opere sottoposte a VIA/AIA. In tali cantieri è necessario redigere il piano di utilizzo che deve essere conforme alle disposizioni previste nell'allegato 5 del decreto.

Gli art. 20-22 riguardano i cantieri fino ai 6.000 m³ e in quelli oltre i 6.000 m³ non sottoposti a VIA/AIA, dove la dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà assolve la funzione del piano di utilizzo. Essa va inviata almeno 15 giorni prima l'inizio dello scavo, utilizzando il modulo presente all'allegato 6 del decreto, al comune del luogo di produzione e all'ARPA, indicando quantità, siti di deposito intermedio e di destinazione, estremi delle autorizzazioni e tempi per l'utilizzo.

L'art. 23 riguarda la disciplina del deposito temporaneo di terre e rocce da scavo qualificate come rifiuti.

L'art. 24 riguarda invece la possibilità di riutilizzare nel sito di produzione di terre e rocce da scavo escluse disciplina dei rifiuti.

Per potersi considerare escluse dall'ambito di applicazione della normativa sui rifiuti le terre e rocce da scavo devono essere prive di contaminazione (art. 185 comma 1 lett. C del D.Lgs. 152/06).

Gli art. 25 e 26 riguardano rispettivamente le modalità e le cautele da attuare per condurre l'attività di scavo nei siti di bonifica già caratterizzati e il riutilizzo delle terre provenienti da un sito in bonifica all'interno dello stesso sito.

Gli ultimi cinque articoli (27-31) si riferiscono alle disposizioni intertemporali, transitorie e finali. In particolare il regime transitorio considera diverse situazioni:

- I piani e i progetti già approvati prima dell'entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente che dovrà essere applicata anche alle modifiche e agli aggiornamenti che possono intervenire dopo il 22 Agosto 2017.

- I progetti con procedura in corso alla data di entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente, tuttavia, entro 180 giorni dall'entrata in vigore del D.P.R., è fatta salva la volontà di passare al nuovo regime presentando il piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o la dichiarazione di cui all'articolo 21.

- In caso di riutilizzo nello stesso sito previsto in procedure di VIA già avviate nelle quali non sia intervenuto il provvedimento finale si applica, su richiesta del proponente, l'art. 24.

- In caso di riutilizzo nei siti di bonifica restano valide le autorizzazioni rilasciate in approvazione dei progetti di bonifica.

L'articolo 28 rimarca la necessità che gli enti di controllo competenti effettuino controlli, ispezioni e prelievi per verificare il rispetto di quanto previsto nei piani di utilizzo e di quanto espresso nelle dichiarazioni di utilizzo e di avvenuto utilizzo. Il D.P.R. si chiude con l'art. 31 che sancisce le norme espressamente abrogate:

- D.M. n. 161/2012;

- L'art. 184/bis, comma 2bis, D.Lgs. 152/06;

- Gli artt. 41, comma 2 e 41bis, D.L. 69/13 convertito, con modificazioni, dalla legge n. 98/2013.

9. CONCLUSIONI

La presente relazione geologica e geotecnica, redatta a supporto del progetto di realizzazione di una nuova scala antincendio presso l'asilo comunale di Siziano, illustra i risultati dell'indagine geologica e sismica realizzata, al fine di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione.

Ai fini della eventuale valutazione della risposta sismica locale per le verifiche sotto azione sismica con il metodo agli stati limite, si espone quanto segue:

- ◆ Il sottosuolo da un punto di vista sismico è da assumere in categoria C (Tab. 3.2.II delle NTC); le condizioni morfologiche sono da inserire nella categoria T1;
- ◆ I terreni di fondazione, non sono suscettibili di liquefazione;
- ◆ L'area in esame appartiene alla classe 2 di fattibilità geologica, fattibilità con modeste limitazioni. In questa classe sono comprese le zone ove sono state rilevate condizioni limitative, anche se di lieve entità, all'edificabilità. Si tratta, in specifico, di aree sub-pianeggianti, non inondabili, ove le informazioni a disposizione indicano la probabile interferenza tra falda e primo sottosuolo .
- ◆ Durante l'indagine pregressa (16/01/2018), era stata rilevata la presenza della falda acquifera superficiale all'interno dei fori geognostici alla profondità alla profondità di circa 5,00-6,00 m dall'attuale piano di esecuzione delle prove.
- ◆ Dall'analisi della cartografia allegata al PGT la falda si dovrebbe attestare alla profondità di circa 3,00-4,00 m di profondità dal piano campagna
- ◆ L'elaborazione dei dati, ha permesso di evidenziare una successione stratigrafica composta da **4 orizzonti** principali distinti per natura litologica, granulometria e grado di addensamento; in particolare, il modello litostratigrafico - geomeccanico ottenuto dall'analisi dei risultati delle prove penetrometriche è così definito:

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO GEOMECCANICO		Qc medio (kg/cm) CPT1	Qc medio (kg/cm ²) CPT2
0,00÷0,80/1,00 m	Terreno di riporto	-		
0,80/1,00 m ÷ 5,80/6,0 m	Sabbia limosa con intercalazioni limoso- argillose*	orizzonte A	48 *5	52 *12
5,80/6,0 m ÷ 6,60/7,00 m	Limo sabbioso debolmente argilloso	orizzonte B	14	12
6,60/7,00 ÷ 9,60/7,60 m	sabbia debolmente limosa	orizzonte C	46	54

Al fine di non alterare l'attuale equilibrio dell'area investigata nonché la stabilità dell'area circostante, si raccomanda di:

- ✧ regimare le acque superficiali e d'infiltrazione sia in fase di scavo che in fase esecutiva.
- ✧ in considerazione del fatto che il progetto preveda sbancamenti di terreno, si rende necessaria (oltreché obbligatoria per Norma) la protezione degli sbancamenti con fronte di scavo avente altezza superiore a 1,5 m, utilizzando opportune strutture di sostegno (scavo a campione, scavo tradizionale con pendenza adeguata) ai sensi del Decreto Legislativo 9 aprile 2008, num. 81 Attuazione dell'Art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche sulle costruzioni".
- ✧ Al fine di evitare il franamento e/o spostamento dei terreni superficiali, si consiglia di ricorrere ad una delle seguenti soluzioni da dimensionare in fase progettuale:
 - scavo a campione con l'accortezza di scavare per tratte di lunghezza limitata;
 - scavo tradizionale con angolo di sbancamento adeguato tale da garantire le condizioni di massima sicurezza (da definire in fase progettuale);
 - realizzazione di sistemi di contenimento quali paratie, berlinese di micropali (da definire in fase progettuale).
 -

Il quadro geologico-geomorfologico-idrogeologico definito dall'indagine non evidenzia particolari controindicazioni per l'attuazione dell'intervento in progetto; ma occorrerà prestare particolare attenzione alle criticità emerse nello studio geologico.

In particolare si dovrà prestare attenzione:

- ⇒ alla regimazione generale delle acque superficiali
- ⇒ scelta delle più idonee tipologie fondazionali

San Martino Siccomario, Novembre 2018



dott. geol. Gianluca Nascimbene

ordine dei geologi della Lombardia n.1076