



FERRARI DE NOBILI S.r.l.

Capitale Sociale € 10.000,00 i.v.

Sede Legale: Via Levante n. 9 19126 La Spezia

Sede Amm.va: Via Arzelà n. 76 19123 La Spezia

Tel. 0187 713950/717589 Fax 0187 717589

C.F. e P.Iva I.T. 01141690113

e-mail: ferraridenobili@gmail.com

Committente: SOCIETA' LOTTI S.p.A.



**PORTO TURISTICO LOTTI (SP): AMPLIAMENTO A MARE CON
REALIZZAZIONE DI NUOVI PONTILI**

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOLOGICO-TECNICA ESECUTIVA
INTEGRAZIONE RELAZIONE PER ADEGUAMENTO AL D.M. 18-01-2018

Dott. Geol. Iacopo De Nobili

La Spezia 05 Aprile 2023

1) PREMESSA

Il presente elaborato ha la finalità di adeguare alle NTC 2018, e successive circolari esplicative, la “Relazione geologica e geologico-tecnica esecutiva” realizzata nel mese di settembre dell’anno 2008 relativa ad un ampliamento a mare con realizzazione di nuovi pontili da edificare nello specchio acqueo antistante i pontili attualmente esistenti di Porto Lotti a La Spezia.

Per far ciò lo scrivente, oltre a prendere in esame tutte le indagini già svolte in precedenza negli anni passati all’interno dell’area di progetto e nelle zone limitrofe, per adeguare alle nuove normative vigenti la relazione sopra citata, ha predisposto il seguente piano di indagini e approfondimenti a completamento di quanto già svolto in precedenza:

- 1) Realizzazione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche pesanti tipo DPSH per la caratterizzazione geotecnica dei primi livelli di sedimenti marini;
- 2) Realizzazione di una indagine sismica MASW per la definizione della categoria di suolo di fondazione e dei parametri sismici di base;
- 3) Valutazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni di fondazione in caso di sisma.

2) INTEGRAZIONE RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

2.1) DESCRIZIONE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI TIPO DPSH

Le prove penetrometriche dinamiche DPSH sono prove geotecniche puntuali e consistono nell’infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all’estremità di un’asta di acciaio.

Tale asta è prolungabile tramite una batteria di aste di diametro di 36 mm le quali possono scorrere all’interno ed in modo alternato ad un rivestimento esterno, anch’esso in acciaio, avente un diametro di 48 mm.

L’energia di infissione è fornita da un maglio del peso di 63,5 kg che, battendo a caduta libera sulle aste, cade da un’altezza costante pari a 75,0 cm, per mezzo di un dispositivo di sganciamento automatico, compiendo per ogni battuta un lavoro specifico pari a 234 kJ/m². Nel corso della prova si rileva il numero di colpi necessari per la penetrazione di 20 cm della punta ed alternativamente del rivestimento. La resistenza del terreno dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche nel quale esso si trova allo stato naturale e pertanto per terreni incoerenti dipende prevalentemente dallo stato di addensamento dei granuli, mentre per terreni coesivi dipende dal contenuto di umidità naturale.

Le informazioni fornite dalle prove penetrometriche dinamiche DPSH sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l’infissione. Il campo di

utilizzazione è molto vasto, potendo essere eseguita praticamente in tutti i tipi di terreno e fornendo una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

2.2) RISULTATI ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DPSH

Questo supplemento di indagini si è reso necessario per meglio caratterizzare, soprattutto sotto l'aspetto geotecnico, i primi 10 metri di sedimenti marini presenti nell'area di progetto, poiché il nuovo progetto, a differenza del vecchio che prevedeva la realizzazione del pontile su pali, prevede la realizzazione del nuovo pontile in cassoni poggiati direttamente sul fondale esistente in seguito ad un probabile consolidamento dello stesso se si dovesse rendere necessario.

Da quanto emerso dai sondaggi svolti nel 2008 nei primi 10 metri di terreno a partire dal fondale marino sono stati rilevati due differenti orizzonti litologici denominati nella relazione STRATI A e B e descritti come segue:

STRATO A *E' lo strato più superficiale ritrovato nei sondaggi S2, S3 e S4, ha spessore uniforme di 2 metri e sia dalle prove penetrometriche che dai campioni indisturbati è risultato a caratteristiche geotecniche praticamente nulle saturo con una percentuale di acqua superiore al 60%. Infatti durante la realizzazione delle S.P.T. il campionatore si è infisso nel terreno con il solo peso delle aste senza neppure poter appoggiare il maglio da 63,5 Kg necessario per l'esecuzione della prova stessa, inoltre nel campione superficiale prelevato nel sondaggio S2 non è stato possibile effettuare prove meccaniche di laboratorio (Prova di taglio diretto ecc.) a causa del forte rammollimento del campione stesso.*

STRATO B *E' uno strato con spessore variabile da sondaggio a sondaggio tra i 5 e i 13 metri costituito prevalentemente da argilla sabbiosa con limo o sabbia limosa con presenza di resti di conchiglie a caratteristiche geotecniche molto mediocri che comunque tendono a migliorare con la profondità. Il terreno si presenta sempre piuttosto molle plastico e saturo d'acqua con un contenuto di H₂O anche superiore al 50%. Sul campione prelevato nel sondaggio S3 a quota -4,0 metri dal fondo marino non è stato possibile neppure fare prove speditive tipo scissometro o poket penetrometrico né tantomeno altri tipi di prove (Taglio diretto o Triassiale) se non una prova ELL dalla quale è stato possibile ricavare la "resistenza a compressione" risultata di circa 40 Kpa pari a 0,2 kg/cm² di coesione (vedi analisi di laboratorio campione S3 c1). Quindi le caratteristiche geotecniche di questo strato sono state ricavate quasi esclusivamente dalle prove penetrometriche S.P.T. effettuate a varie profondità che evidenziano comunque un miglioramento del grado di compattezza con l'aumentare della profondità; infatti nella prova fatta a 3 metri di profondità nel sondaggio S4 sono stati necessari 3 colpi per infiggere il campionatore Raymond per 30 cm nel terreno che equivale ad un angolo di attrito interno di 21,7 gradi, mentre nel sondaggio S2 l'elaborazione della prova a 5 metri ha dato valore di angolo di attrito interno di 22,7 gradi. Da mettere in evidenza invece che nel sondaggio S1, poiché questo strato si ritrova sotto un livello*

superficiale di sabbia e ghiaia di colore marrone, la prova S.P.T. eseguita a quota 7,5 metri ha dato valore di angolo di attrito interno pari a 23,7 gradi.

A conferma di quanto sopra, anche dall'elaborazione delle 3 prove penetrometriche DPSH eseguite per la redazione di questa relazione è stato possibile stabilire che nei primi 10 metri di sedimenti marini è presente un terreno omogeneo al di sotto di tutta l'area di progetto le cui principali caratteristiche geotecniche sono le seguenti:

STRATO 1 (Argilla con limo)

- Angolo di attrito interno 21 gradi;
- Coesione 0,0 Kg/cmq;
- Peso di volume naturale 1,86 T/mc;

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche e stratigrafiche oltre che le correlazioni dei vari STRATI più profondi si rimanda all'attenta lettura della relazione del 2008.

3) RELAZIONE SISMICA

3.1) CLASSIFICAZIONE SISMICA

La nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria inserisce il Comune della Spezia in zona sismica 3 con conseguente $PGA = 0,15g$ (valore massimo o picco di accelerazione del suolo attesa).

Il D.M. 17-01-2018 "Nuovo Testo Unico per le Costruzioni" introduce le direttive relative ad una analisi sismica di prevenzione per le nuove opere edilizie ove compito del professionista è quello di fornire un modello geologico del sito in funzione della V_{S30} (velocità delle onde di taglio (Onde "s") dei primi 30 metri di terreno al di sotto del piano di fondazione) e della V_s equivalente.

Nel caso specifico il modello geologico è stato elaborato utilizzando informazioni riportate sulla Carta Geologica d'Italia (1:10.000) ed informazioni più di dettaglio derivanti dal rilevamento geologico di campagna, dai sondaggi e dalle prove penetrometriche realizzate in loco e da precedenti esperienze in aree limitrofe. Tali informazioni sono state integrate e validate da un'indagine sismica tipo MASW.

La stratigrafia della zona in cui è stata realizzata la prova MASW è caratterizzata, al di sotto del primo strato di terreno di riporto, dalla presenza di depositi marini, alluvionali e colluviali con caratteristiche geotecniche differenti tra strato e strato ma che nel complesso tendono a migliorare con la profondità così come tende a migliorare con la profondità anche il grado di compattezza dei materiali.

3.2) INDAGINE SISMICA MASW – GENERALITA'

L'indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di sismica attiva non invasiva che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali effettuata in corrispondenza dei diversi sensori (geofoni).

Nella maggior parte delle indagini sismiche attive, nelle quali si utilizzano onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, che vengono generate dall'iterazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. 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.

Per ottenere un profilo della Vs bisogna quindi produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore sismico ambientale, questa fase detta di "energizzazione" consiste nella battuta di una mazza da 8 kg su una piastra metallica poggiata al suolo.

I dati acquisiti, dallo stendimento dei geofoni posti ad una determinata interdistanza, vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, e quindi la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k.

Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere ciò che viene chiamato in letteratura "curva di dispersione per le onde di Rayleigh", la cui velocità è associata ai massimi dello spettro f-k. può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh (V_r) determinabile, in base alla teoria delle onde, dalla relazione:

$$V_r(f) = \frac{2\pi f}{k}$$

Riportando le coppie di valori V_r -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere tuttavia preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco – elastico a strati piano paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche e fisiche degli strati, quali ad esempio spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P.

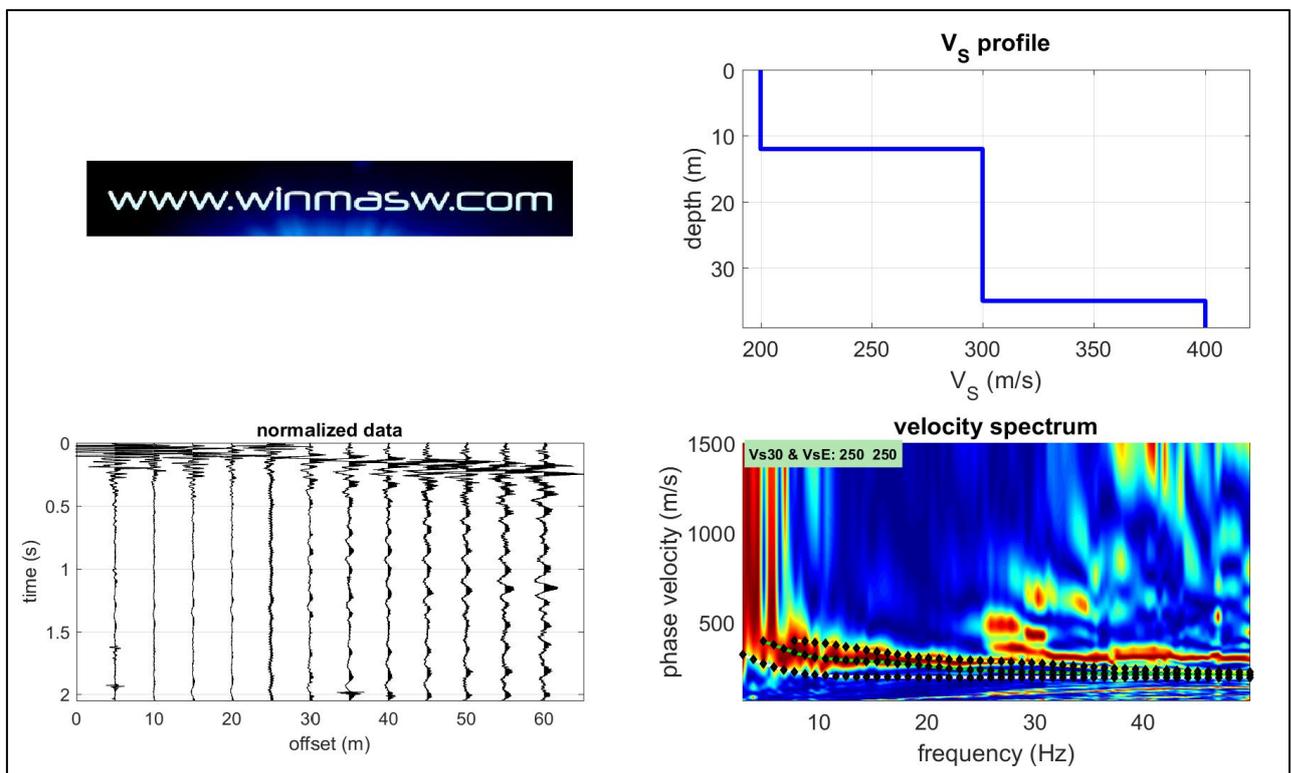
Il processo che consente di determinare il profilo di velocità delle onde sismiche in relazione alla profondità è detto di inversione ed è basato su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati, per cui: partendo da un profilo di prova, costruito sulla base di metodi semplificati e dell'esperienza, il profilo di velocità viene elaborato diverse volte variando i parametri che definiscono il modello di sottosuolo, fintanto che non viene individuato quel set di parametri del modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica).

Infine, ricavata la velocità delle onde di Rayleigh, ed essendo noto dalla letteratura che tale velocità è circa il 15% più bassa della velocità delle onde di taglio (V_s), si ricava il profilo di quest'ultime con la profondità.

Dati generali della prova

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

N. geofoni: 12; Interasse geofoni: 5,0 m; Lunghezza stendimento: 60 m



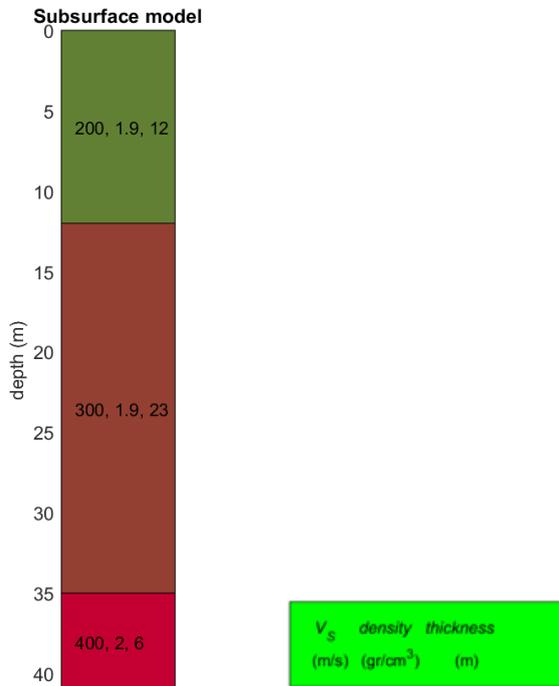
Sulla sinistra del grafico sopra riportato sono visibili le tracce sismiche relative alle componenti ZVF, sulla destra in basso il relativo spettro di velocità mentre, in alto è visibile il profilo di velocità del sottosuolo in funzione della profondità.

Modello di sottosuolo

V_s (m/s): 200 300 400

Spessori (m): 12.0, 23.0, 6.0

Vp (m/s): 490 624 833



3.3) RISPOSTA SISMICA LOCALE (D.M. 17/01/2018)

Con il termine “**Risposta Sismica Locale**” si intende lo studio della risposta del terreno ad una determinata sollecitazione sismica, finalizzato alla previsione del moto sismico atteso in superficie da applicare alle strutture. Pertanto ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale deve essere valutato utilizzando uno tra i seguenti 2 metodi:

- 1) Approccio rigoroso, che per mezzo di un’analisi numerica della risposta sismica locale fornisce in modo più accurato i valori dei parametri necessari per definire gli spettri di risposta in accelerazione per il sito della costruzione;
- 2) Approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo e l’individuazione, mediante apposite tabelle (Tab. 3.2.II e Tab. 3.2.III) fornite dalla normativa, del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S , del coefficiente di amplificazione topografica S_T nonché del coefficiente C_C che modifica il periodo T_C e di conseguenza gli altri periodi notevoli dello spettro (NTC 2018, §3.2.2-3).

L’approccio rigoroso deve essere utilizzato ogni qual volta i terreni in oggetto non siano riconducibili alle casistiche definite nelle Tab. 3.2.II e Tab. 3.2.III. Tuttavia le categorie di sottosuolo delle NTC 2018 e le azioni sismiche corrispondenti tengono conto soltanto delle amplificazioni stratigrafiche (1D) nei primi 30 m di sottosuolo, trascurando i casi particolari di terreni con forti contrasti di

impedenza e/o con inversioni di velocità, per i quali la stima degli effetti di sito mediante l'utilizzo di un approccio semplificato, e quindi della V_{seq} , risulta affetta da incertezze.

In seguito al modello ricavato dall'elaborazione della prova sismica MASW si è proceduto avvalendosi l'approccio semplificato.

3.4) CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 17/01/2018)

Il D.M. 17-01-2018 "Nuovo Testo Unico per le Costruzioni" introduce le direttive relative ad una analisi sismica di prevenzione per le opere edilizie ove compito del professionista è quello di fornire un modello geologico del sito in funzione della V_s equivalente ($V_{s,eq}$) definita tramite la seguente espressione:

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

dove:

- h_i = spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 m, come nel nostro caso, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base; il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_s all'interno delle coperture.

Benché la prova sismica sia stata realizzata a partire da piano banchina (+2 metri sul l.m.m.), ovvero da 12 metri al di sopra del fondale marino originario, si ritiene che la $V_{s,eq}$ debba essere calcolata a partire dal fondale marino, trascurando tutta la porzione sovrastante costituita da terreno di riporto.

In base a quanto ricostruito si osserva quanto segue:

- il substrato rigido caratterizzato da velocità di propagazione delle onde S maggiore di 800 m/s si individua a profondità superiori a 30 metri dal fondale marino;
- **la $V_{s,eq}$ calcolata avvalendosi del parametro V_{s30} , e considerando la velocità dei terreni posti a partire dal fondale marino (-10 metri circa dal piano campagna), è risultata pari a 318,6 m/s.**

A seguito di quanto sopra si è potuto classificare il profilo del terreno di fondazione nelle categorie previste dal D.M. 17-01-2018 “Nuovo Testo Unico per le Costruzioni”; (vedi tabella riportata di seguito) come PROFILO C: “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”.

TABELLA CLASSIFICAZIONE TIPOLOGIA DI SOTTOSUOLO (D.M. 17-01-2018)

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

3.5) PARAMETRI SISMICI DI BASE

Sempre in accordo con il D.M. 17/01/2018, la pericolosità sismica di base, riferita al punto di riferimento in esame (WGS84 Lat. 44,0955887, Long. 9,8573923) ed al T_R (compreso fra 30 e 975 anni) è stata ottenuta utilizzando il software Geostru PS advanced che permette di ricavare i seguenti parametri sismici:

- a_g (accelerazione orizzontale massima al sito),
- F_o (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),

necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito oggetto di studio in relazione agli Stati Limite: di Esercizio **SLO** (stato limite di operatività), di Danno **SLD** (Stato Limite di Danno) e Ultimi **SLV** (stato di salvaguardia della Vita) **SLC** (Stato limite di prevenzione del Collasso):

Tr	Ag	Fo	Tc*
30 (SLO)	0.040	2.538	0.223
50 (SLD)	0.049	2.521	0.244
475 (SLV)	0.121	2.404	0.291
975 (SLC)	0.156	2.380	0.298

Considerata la morfologia del terreno sul quale insiste l'area di studio, la sua categoria topografica di appartenenza è:

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

A tale categoria è associato il seguente coefficiente di amplificazione topografica ST:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	ST
<i>T1</i>	----	1,0
<i>T2</i>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
<i>T3</i>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
<i>T4</i>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

In allegato si riporta il report completo fornito dal software comprensivo dei coefficienti sismici in accordo alle NTC 2018.

3.6) VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno si intende la perdita della resistenza al taglio dello stesso, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i depositi saturi e prevalentemente sabbiosi e dipendono dai seguenti fattori:

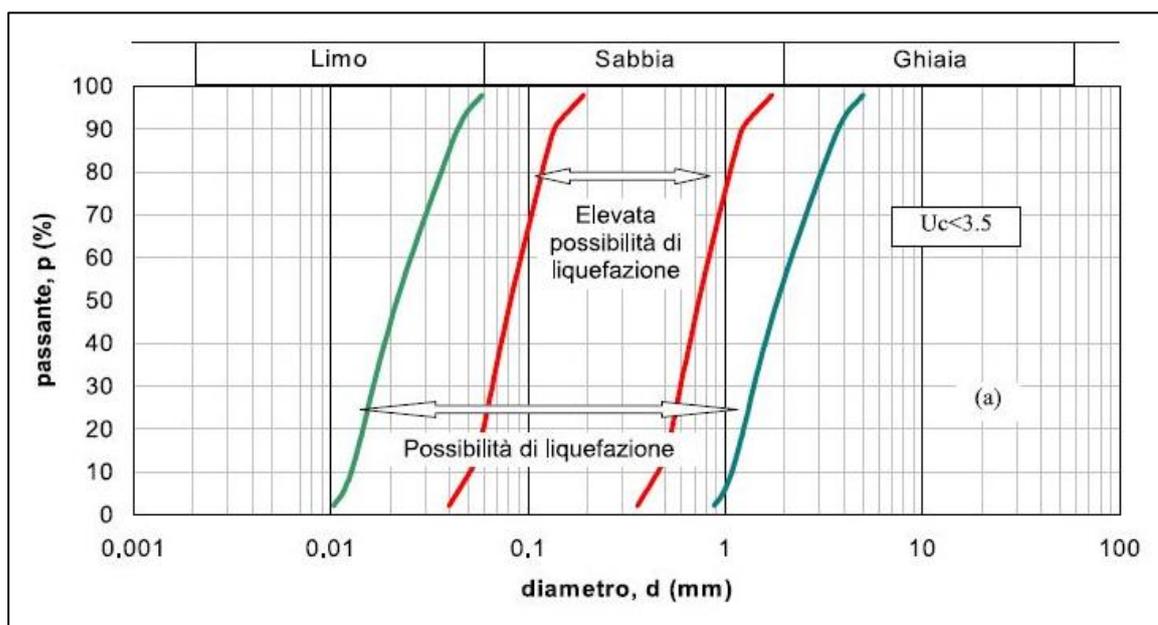
- proprietà geotecniche dei terreni (indice dei vuoti, composizione granulometrica);
- caratteristiche del sisma (intensità e durata);
- genesi e storia geologica dei terreni (età e deformazioni pregresse).

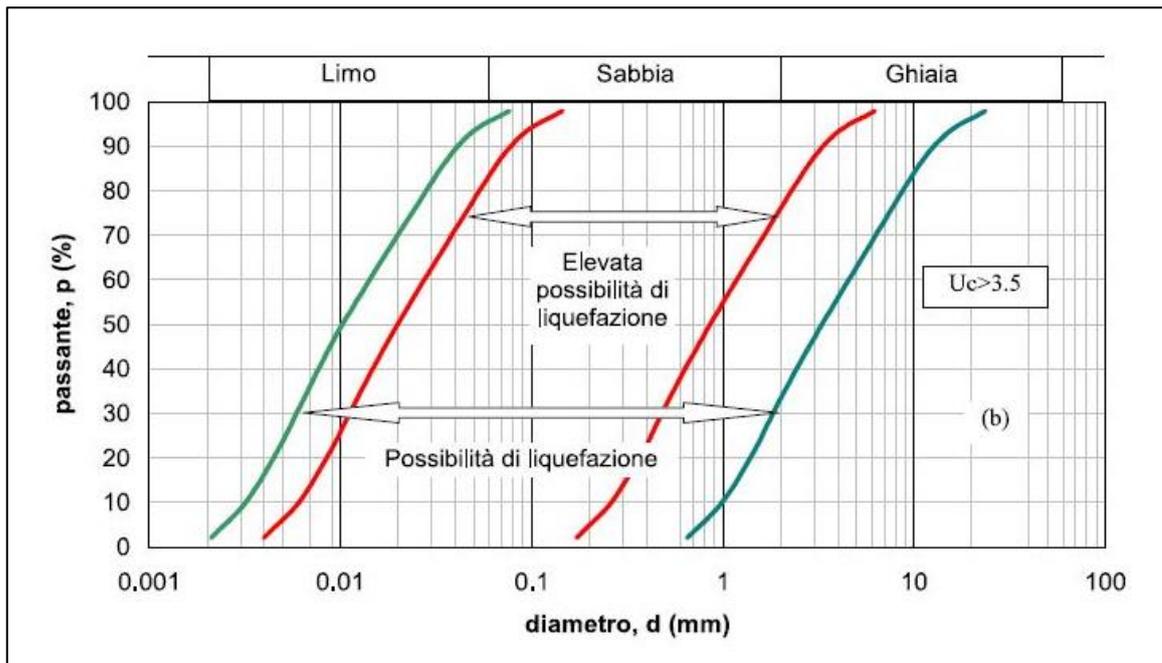
Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto alla sola pressione litostatica dovuta al peso degli strati sovrastanti (in campo libero e con superficie piana). Durante un terremoto invece vengono indotte delle sollecitazioni di taglio cicliche, dovute alla propagazione delle onde sismiche. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di

sforzi tangenziali: se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento (quindi in assenza di una via di drenaggio), si possono generare fenomeni di liquefazione.

In accordo con le NTC 2018 **la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si verifica almeno una delle seguenti circostanze:**

- Punto 1 accelerazioni massime attese al piano campagna (PGA) in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- Punto 2 profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Punto 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;
- Punto 4 distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel grafico (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ con U_c (indice di conformità) = D_{60}/D_{10} con D_{60} (diam. dei granuli corrispondente al 60% di passante) e D_{10} (diam. dei granuli corrispondente al 10% di passante).





Dall'analisi delle stratigrafie relative a tutti i sondaggi realizzati nel 2008 sono stati riconosciuti 6 STRATI principali a caratteristiche geotecniche differenti tra loro e presenti al di sotto di tutta l'area di progetto (vedi relazione anno 2008).

Questa correlazione stratigrafica, fatta anche sulla base delle prove geotecniche di laboratorio, oltre a consentirci di ricostruire con buon dettaglio l'andamento stratigrafico al di sotto di tutta l'area di progetto, ha permesso anche di poter affermare che tutti i terreni indagati con le indagini, ovvero fino alla profondità di 40 metri a partire dal fondale marino, non sono suscettibili di liquefazione in caso di sisma dal momento che nessuno di essi soddisfa il PUNTO 4 sopra riportato poiché la percentuale di argilla e limo è risultata essere sempre maggiore del 20% in tutti i campioni analizzati uscendo quindi dai fusi granulometrici sopra riportati.

4) CONCLUSIONI

La presente relazione è stata elaborata per ottemperare alla richiesta della Regione Liguria che ha richiesto quanto sotto riportato:

“Alla luce del modello geologico di dettaglio implementato, di cui alla Relazione geologica e geologico-tecnica eseguita nel 2008, dovrà essere sviluppato il modello geotecnico ed effettuate le verifiche, considerate le azioni sismiche, conformemente alle norme tecniche per le costruzioni vigenti (D.M. 17.01.2018)”.

Per fare ciò sono state eseguite le seguenti indagini suppletive:

- 1) Esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche pesanti tipo DPSH per una migliore caratterizzazione dei primi 10 metri di sedimenti marini che probabilmente alla luce del nuovo progetto dovranno essere oggetto di consolidamento;
- 2) Esecuzione di un'indagine sismica MASW per la corretta definizione della categoria di suolo di fondazione e dei parametri sismici di base;
- 3) Valutazione della possibilità dei terreni di fondazione di essere oggetto di liquefazione in caso di sisma.

Da questa indagine suppletiva, che comunque conferma i risultati dell'indagine precedente (2008), è stato possibile fornire le seguenti nuove indicazioni di carattere geotecnico e sismico a cui i progettisti dovranno attenersi:

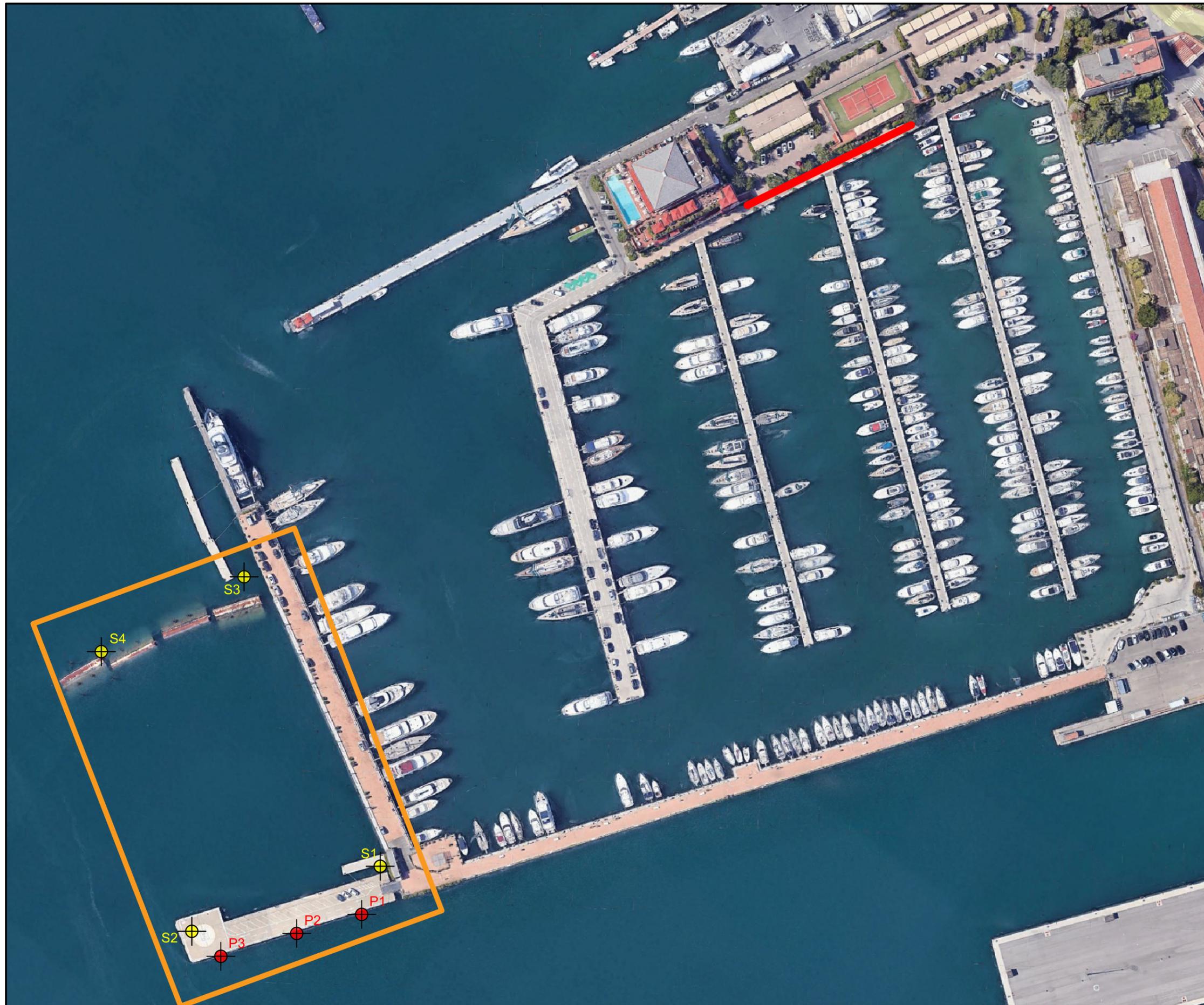
- 1) Caratteristiche particolarmente scadenti dei primi 10-12 metri di sedimenti marini costituiti prevalentemente da argilla limosa plastica e molle (in allegato si riportano i grafici e le tabelle relative a ciascuna prova effettuata a cui si rimanda per una corretta interpretazione dei valori geotecnici ricavati con l'elaborazione delle prove);
- 2) Categoria sismica di suolo di fondazione C: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*;
- 3) Tutti i livelli litologici ritrovati a partire dal fondale marino e fino alla profondità di 40 metri non sono suscettibili alla liquefazione in caso di sisma.

La Spezia 05 Aprile 2023

ALLEGATI:

- 1) UBICAZIONE INDAGINI
- 2) FOTO INDAGINI
- 3) GRAFICI E TABELLE PROVE PENETROMETRICHE
- 4) RELAZIONE PARAMETRI SISMICI DI BASE

UBICAZIONE INDAGINI



LEGENDA

-  Prova penetrometrica dinamica DPSH
-  Traccia prova sismica MASW
-  Sondaggi geognostici campagna di indagini relazione 2008
-  Area di intervento



PROVE PENETROMETRICHE DPSH

P1



P2



P3



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Soc. LOTTI S.p.A.

Cantiere: realizzazione nuovo pontile

Località: La Spezia

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

Rif. Norme: DIN 4094

Peso Massa battente: 63,5 Kg

Altezza di caduta libera: 0,75 m

Peso sistema di battuta: 0,63 Kg

Diametro punta conica: 51,00 mm

Area di base punta: 20,43 cm²

Lunghezza delle aste: 1 m

Peso aste a metro: 6,31 Kg/m

Profondità giunzione prima asta: 0,20 m

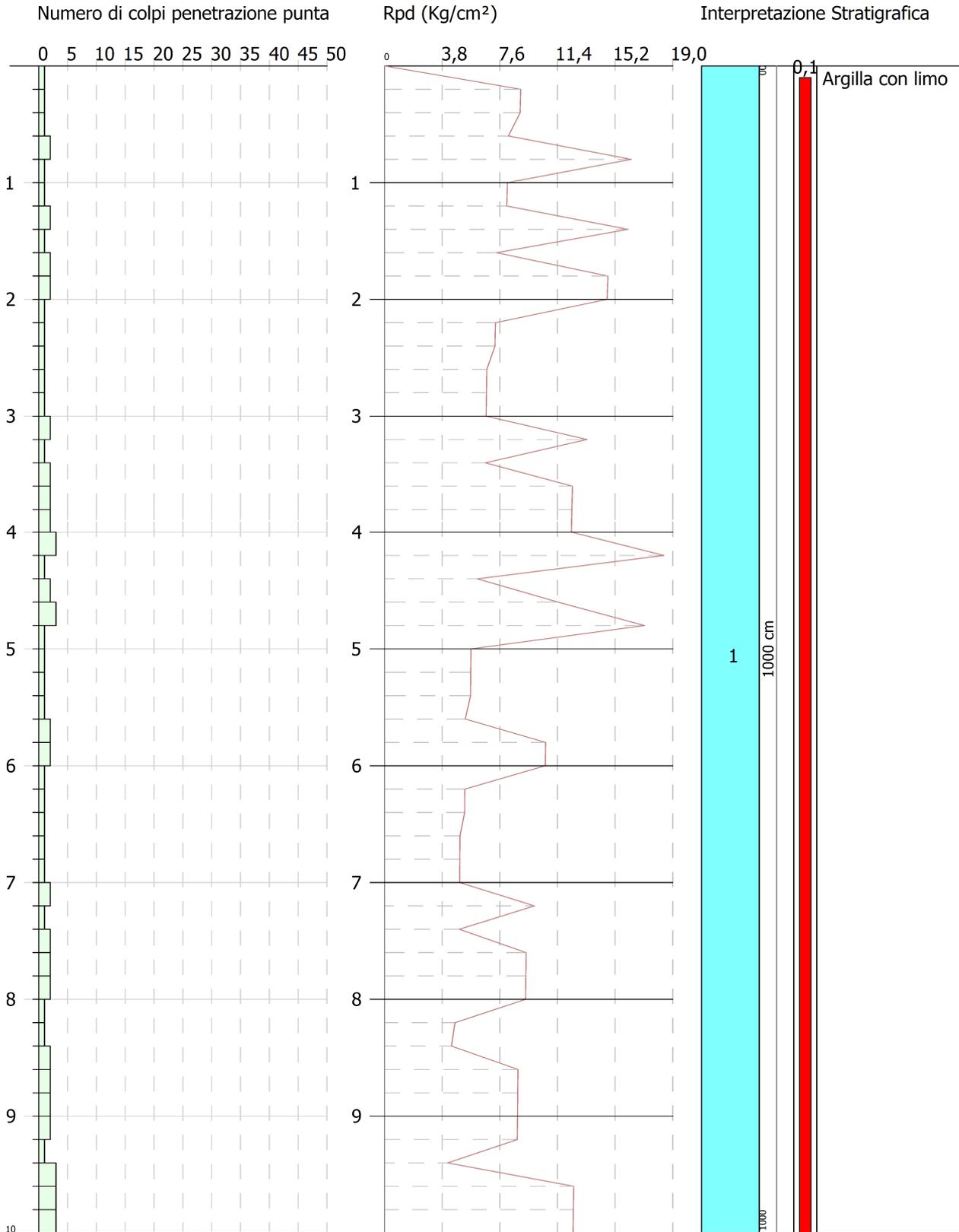
Avanzamento punta: 0,20 m

Numero colpi per punta: N(20)

Coeff. Correlazione: 1,47

Rivestimento/fanghi: No

Angolo di apertura punta: 60°



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr. 1

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Skempton (1986)	13,48

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Shioi-Fukuni (1982)	20,96

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Schmertmann (1978) Limi	13,1

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Begemann (1974)	32,33

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Terzaghi-Peck 1948	1,86

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	(A.G.I.)	0,35

Modulo di deformazione a taglio dinamico

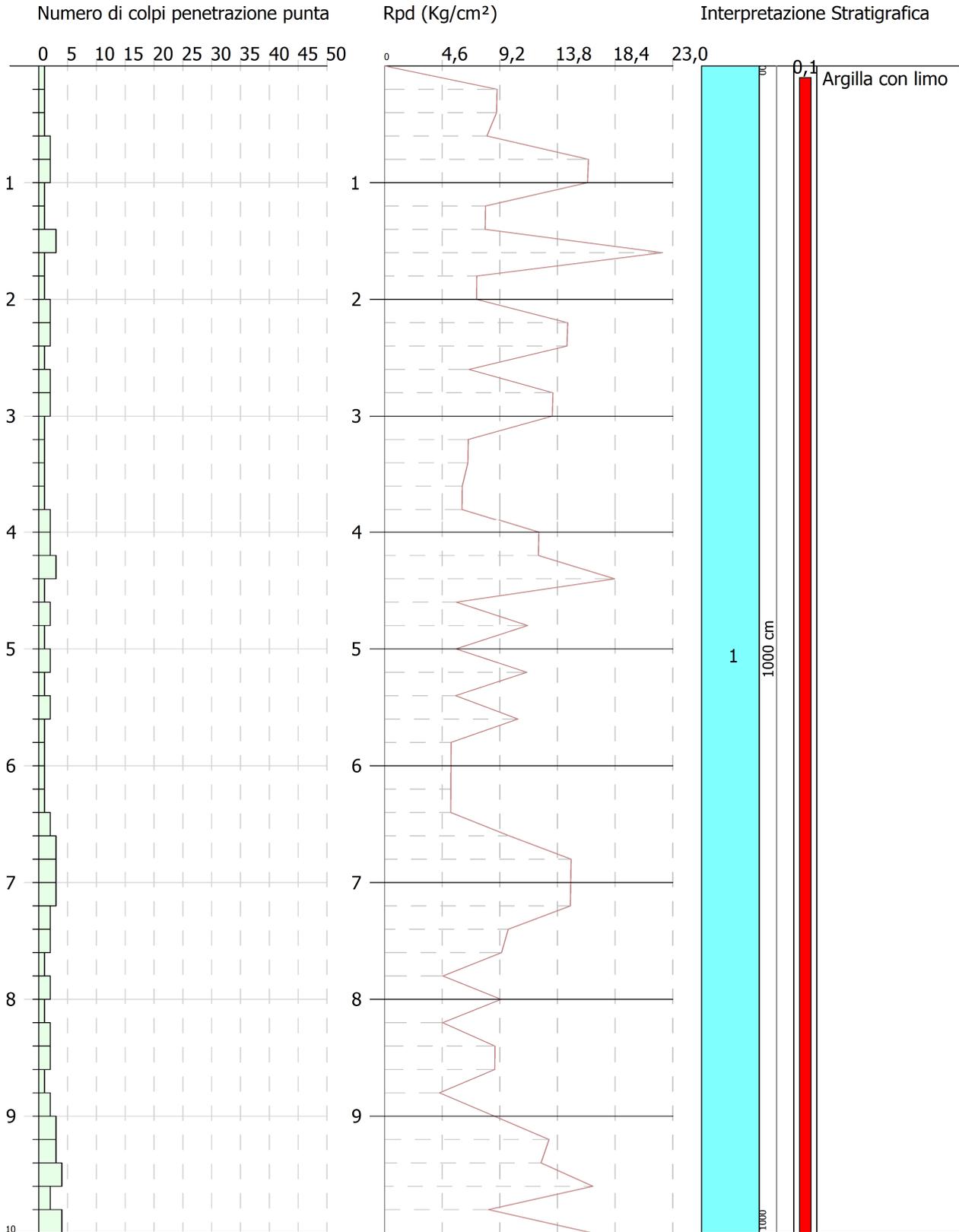
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Ohsaki & Iwasaki	227,73

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Navfac 1971-1982	0,36

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,37	0.00-10,00	2,37	Robertson 1983	4,74



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr. 2

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Skempton (1986)	14,35

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Shioi-Fukuni (1982)	21,33

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Schmertmann (1978) Limi	14,99

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Begemann (1974)	32,95

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Terzaghi-Peck 1948	1,86

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	(A.G.I.)	0,35

Modulo di deformazione a taglio dinamico

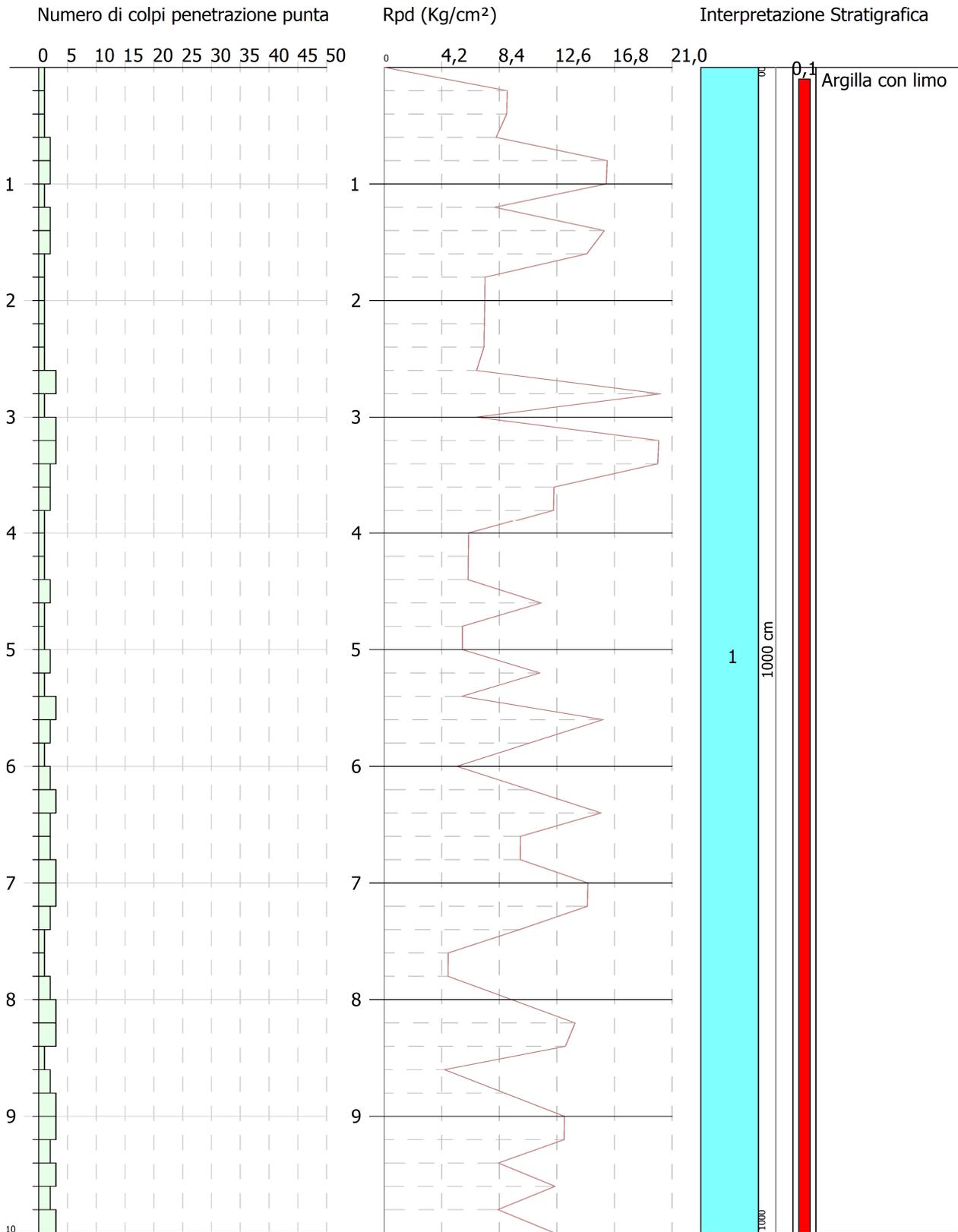
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Ohsaki & Iwasaki	249,33

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Navfac 1971-1982	0,43

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,67	0.00-10,00	2,67	Robertson 1983	5,34



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr. 3

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Skempton (1986)	14,7

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Shioi-Fukuni (1982)	21,47

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Schmertmann (1978) Limi	15,75

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Begemann (1974)	33,2

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Terzaghi-Peck 1948	1,86

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	(A.G.I.)	0,35

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Ohsaki & Iwasaki	257,8

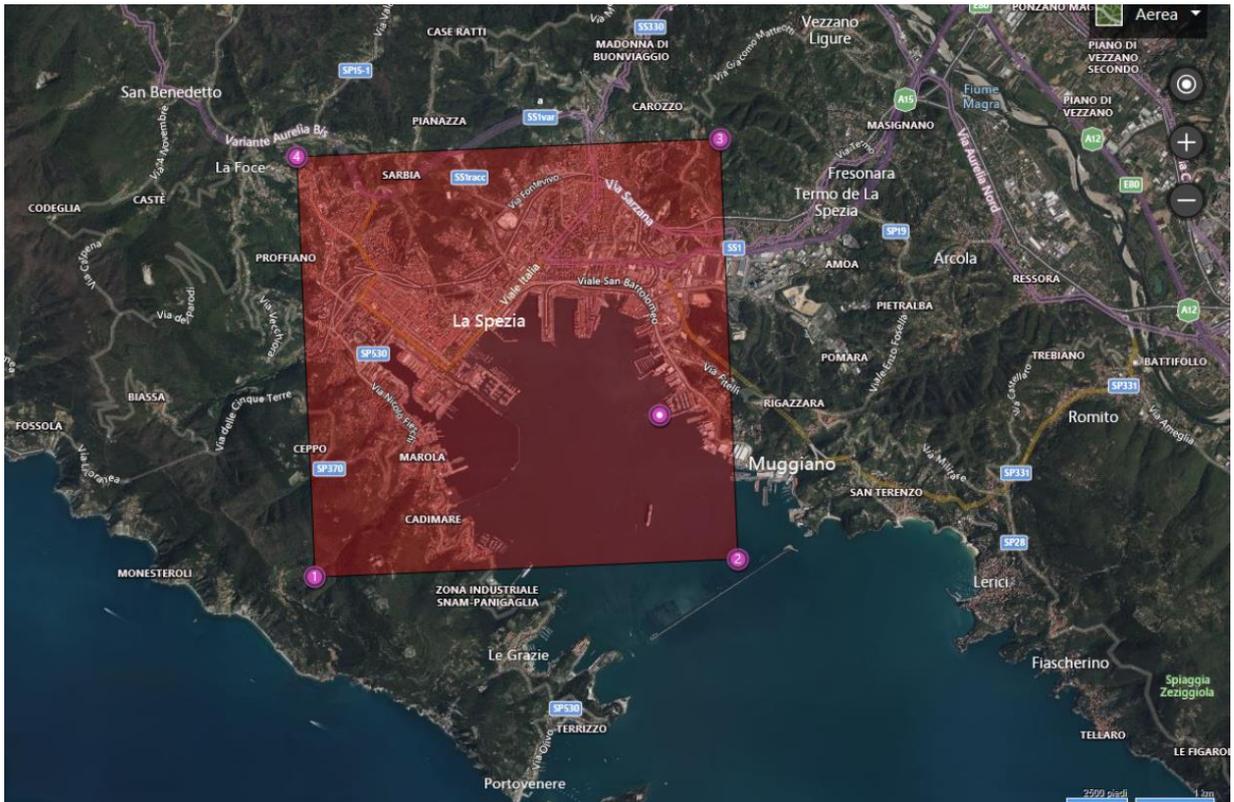
Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Navfac 1971-1982	0,46

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla con limo	2,79	0.00-10,00	2,79	Robertson 1983	5,58

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Vita nominale (V_n): 50 [anni]
 Classe d'uso: II
 Coefficiente d'uso (C_u): 1
 Periodo di riferimento (V_r): 50 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLO: 30 [anni]
 Periodo di ritorno (T_r) SLD: 50 [anni]
 Periodo di ritorno (T_r) SLV: 475 [anni]
 Periodo di ritorno (T_r) SLC: 975 [anni]
 Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 44,0955887 [°]
 Longitudine (WGS84): 9,8573923 [°]
 Latitudine (ED50): 44,0965500 [°]
 Longitudine (ED50): 9,8584127 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	18484	44,077220	9,801764	5009,06
2	18485	44,079380	9,871231	2166,37
3	18263	44,129330	9,868282	3729,20
4	18262	44,127180	9,798735	5856,61

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,037	2,549	0,214
SLD	50	0,046	2,534	0,244
SLV	475	0,111	2,404	0,293
SLC	975	0,144	2,386	0,299

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,039	2,547	0,223
SLD	50	0,049	2,523	0,244
SLV	475	0,120	2,404	0,291
SLC	975	0,154	2,381	0,298

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,042	2,512	0,227
SLD	50	0,053	2,510	0,245
SLV	475	0,130	2,406	0,290
SLC	975	0,167	2,372	0,299

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,039	2,539	0,223
SLD	50	0,050	2,516	0,243
SLV	475	0,122	2,400	0,290
SLC	975	0,157	2,381	0,297

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,040	2,538	0,223
SLD	50	0,049	2,521	0,244
SLV	475	0,121	2,404	0,291
SLC	975	0,156	2,380	0,298

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

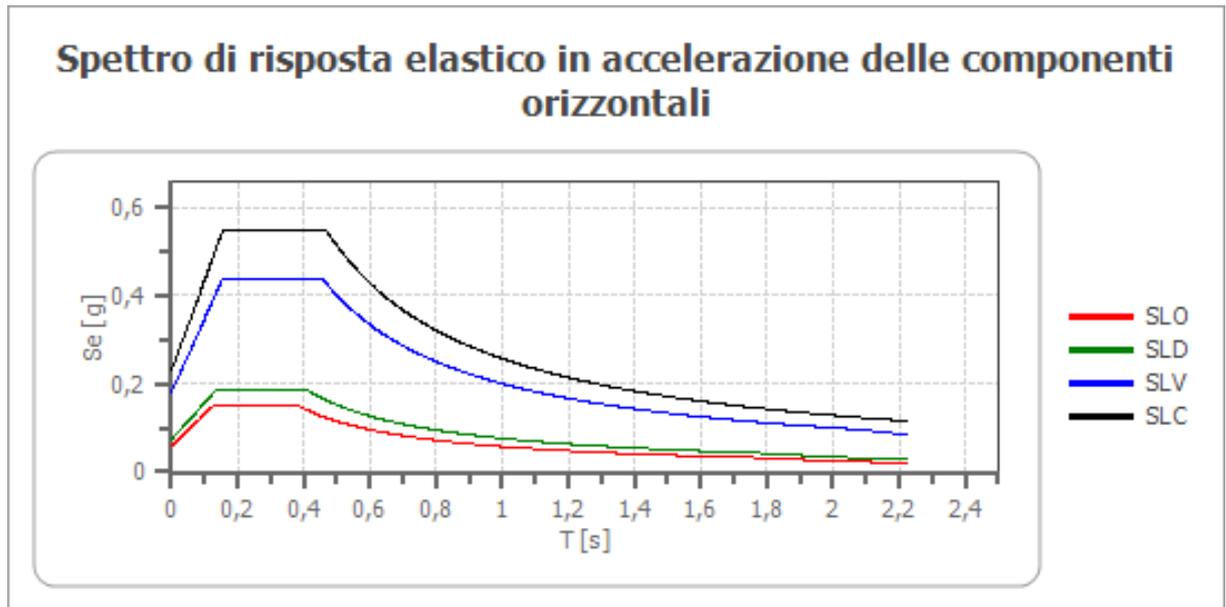
Categoria sottosuolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Categoria topografica: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°.

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,015	0,044	0,055
kv	0,006	0,007	0,022	0,028
amax [m/s ²]	0,582	0,726	1,779	2,263
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

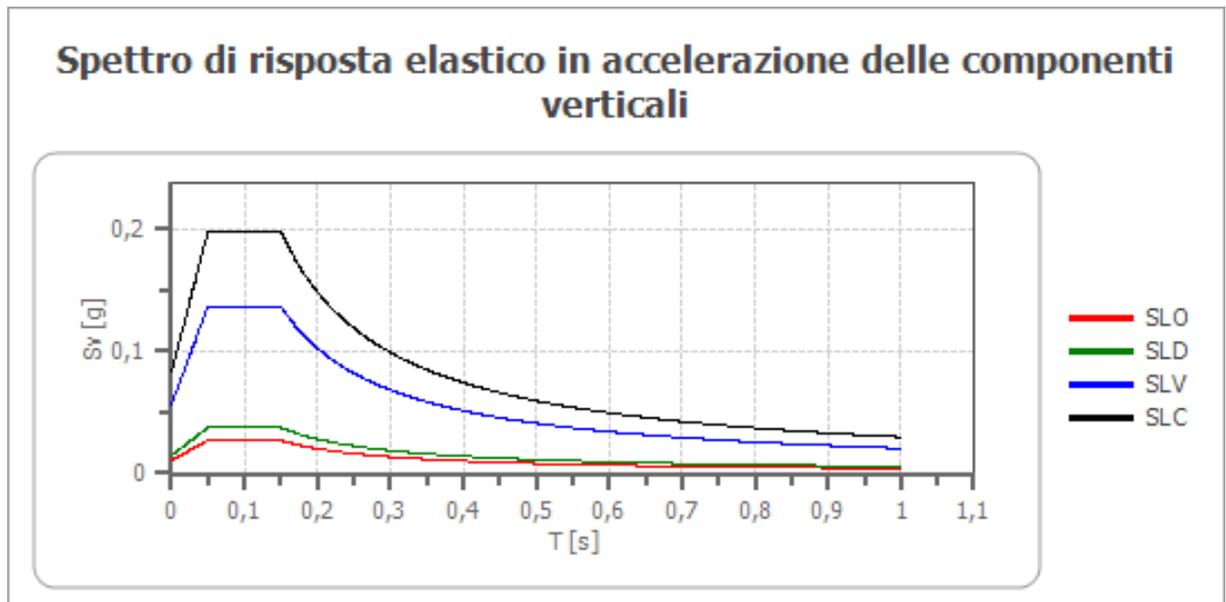


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,040	2,538	0,223	1,500	1,720	1,000	1,500	1,000	0,128	0,383	1,758	0,059	0,151
SLD	1,0	0,049	2,521	0,244	1,500	1,670	1,000	1,500	1,000	0,136	0,408	1,798	0,074	0,187
SLV	1,0	0,121	2,404	0,291	1,500	1,580	1,000	1,500	1,000	0,153	0,460	2,084	0,181	0,436
SLC	1,0	0,156	2,380	0,298	1,480	1,570	1,000	1,480	1,000	0,156	0,468	2,224	0,231	0,549

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2}$: 1,000



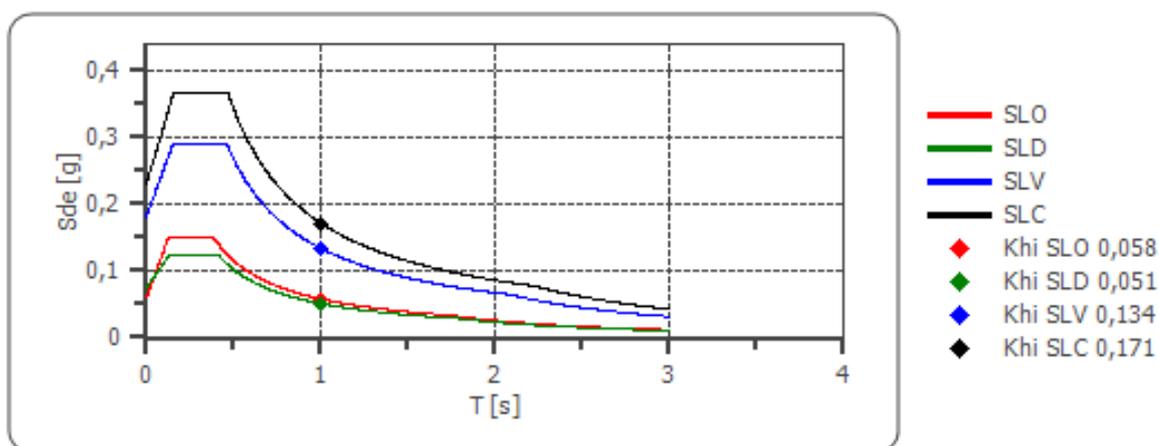
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,040	2,538	0,223	1	1,720	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,011	0,027
SLD	1,0	0,049	2,521	0,244	1	1,670	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,037
SLV	1,0	0,121	2,404	0,291	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,057	0,136
SLC	1,0	0,156	2,380	0,298	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,083	0,198

Spettro di progetto

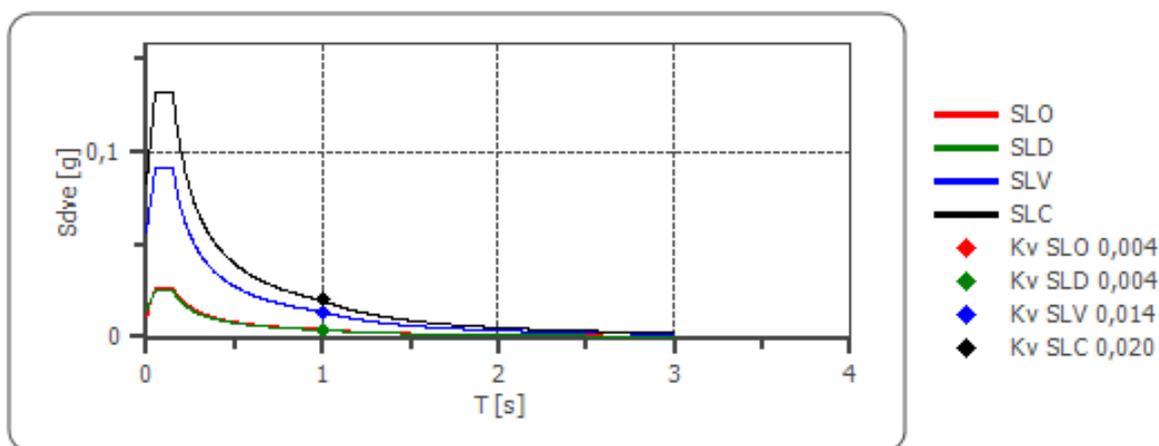
Periodo fondamentale T: 1,0 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,058	0,051	0,134	0,171
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,004	0,004	0,014	0,020

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,040	2,538	0,223	1,500	1,720	1,000	1,500	1,000	0,128	0,383	1,758	0,059	0,151
SLO verticale	1,0	0,040	2,538	0,223	1,500	1,720	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,011	0,027
SLD orizzontale	1,0	0,049	2,521	0,244	1,500	1,670	1,000	1,500	1,500	0,136	0,408	1,798	0,074	0,124
SLD verticale	1,0	0,049	2,521	0,244	1,500	1,670	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,015	0,025
SLV orizzontale	1,0	0,121	2,404	0,291	1,500	1,580	1,000	1,500	1,500	0,153	0,460	2,084	0,181	0,291
SLV verticale	1,0	0,121	2,404	0,291	1,500	1,580	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,057	0,091
SLC orizzontale	1,0	0,156	2,380	0,298	1,480	1,570	1,000	1,480	1,500	0,156	0,468	2,224	0,231	0,366
SLC verticale	1,0	0,156	2,380	0,298	1,480	1,570	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,083	0,132