

A.P.E.S. s.c.p.a.

AZIENDA PISANA EDILIZIA SOCIALE

via E. Fermi n. 4 - 56126 PISA

AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2000

**PROGETTO DEFINITIVO
PER LA REALIZZAZIONE DI N°18 ALLOGGI
DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA
DISPOSTI SU DUE BLOCCHI IN LINEA
VIA PIETRASANTINA - PISA**

RELAZIONE SISMICA

Geol. Massimiliano Perini

RESPONSABILE PROCEDIMENTO:

dott. G. Federici

PROGETTISTA ARCHITETTONICO:

Ing. C. Cristiani

PROGETTISTA STRUTTURALE:

Ing. S. Carani

Rev. Ottobre 2018



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI N°18 ALLOGGI DI ERP
 DISPOSTI SU DUE BLOCCHI IN LINEA
 VIA PIETRASANTINA - LOCALITÀ CAPOLUOGO
 COMUNE DI PISA**

RELAZIONE SISMICA

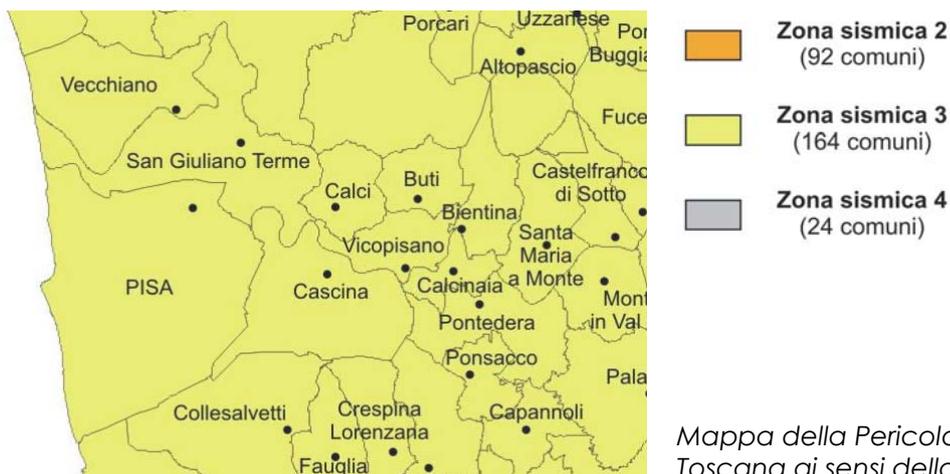
COMMITTENTE: **A.P.E.S. s.c.p.a.**

PREMESSA

La presente relazione costituisce l'aggiornamento di quanto già a suo tempo prodotto a supporto del progetto definitivo in data 2012.

La struttura in progetto, che non ha subito modifiche specifiche rilevanti, avrà destinazione residenziale e sarà edificata nel capoluogo comunale tra Via Pietrasantina e la linea ferroviaria.

Poiché il Comune di Pisa rientra tra quelli classificati sismici in Zona 3 ai sensi della Del.G.R.T. 421/2014 in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006, si è reso necessario procedere alla caratterizzazione sismica dei terreni sui quali sarà edificata la struttura.



Mappa della Pericolosità sismica della Regione Toscana ai sensi della D.G.R.T. 421/2014

E' stato quindi eseguito un esame finalizzato al corretto inserimento dell'opera nel contesto geologico-sismico in cui andrà a collocarsi.

Tale analisi è stata redatta in conformità alle specifiche delle nuove NTC 2018 di cui al DM 17/01/2018, nonché secondo i disposti normativi regionali ed in particolare ai sensi degli artt. 6 e 7 del D.P.G.R.T. n.36R/2009 in materia di "Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico".

Sulla base di quanto definito al Par. 2.4.2 del D.M. 17/01/2018, trattandosi di costruzione di Tipo 2, il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, l'opera rientra nella **Classe d'Uso II**.

Per la caratterizzazione sismica del sito in esame è stata condotta un'analisi geofisica in foro tipo Down-Hole che ha consentito di determinare la velocità delle onde di taglio e gli spessori dei domini caratterizzanti il sottosuolo nell'ambito d'interesse.

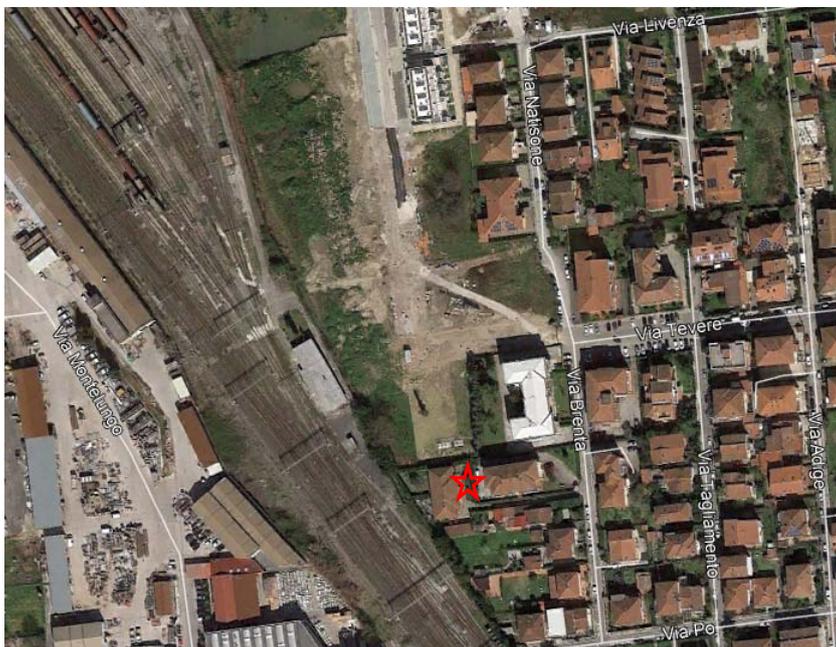


1 - UBICAZIONE

La zona d'intervento è rappresentata nella cartografia tecnica ufficiale nell'elemento 18F33 alla scala 1:2.000. Essa è approssimativamente individuata dalle coordinate



WGS84
 10,385312° E,
 43,727196° N



ED 50
 10,386314° E,
 43,728162° N

Gli elaborati cartografici del P.S. del Comune di Pisa, non sono aggiornati rispetto alla normativa vigente in materia di pianificazione territoriale, così come disciplinato dal vigente regolamento DPGR 53R/11, pertanto non è possibile fare riferimento ad una classificazione di Pericolosità in ambito Comunale.



2 – CAMPAGNA INDAGINI SISMICHE

Per la ricostruzione del modello sismico del sottosuolo si è fatto riferimento ai dati acquisiti nel corso di un'indagine geofisica appositamente realizzata all'interno del comparto d'intervento. L'indagine ha previsto la realizzazione di una prospezione sismica in foro di tipo **Down-Hole** e di una misura di rumore con tecnica **HVSR**. Ciò ha consentito l'individuazione dei domini in cui è suddiviso il sottosuolo e la determinazione della categoria di suolo mediante il calcolo del parametro V_{seq} così come definito ai sensi del D.M. 17/01/2018.

La prospezione verticale è stata preceduta – come meglio specificato nella relazione geologica – dall'esecuzione di un sondaggio spinto sino alla profondità di 33 metri dal piano campagna. Il foro di sondaggio è stato successivamente attrezzato fino ad una profondità di 33,0 metri con tubi di rivestimento in PVC ($\varnothing=3''$) e l'intercapedine opportunamente cementata tramite tubo-guida dal fondo foro fino al p.c. con boiaccia cementizia. Una volta trascorso il tempo necessario alla maturazione del cemento è stata quindi eseguita la prova sismica in foro DH.

2.1 - STRUMENTAZIONE

Rimandando per ulteriori dettagli alla quanto specificato nella *Relazione descrittiva delle indagini*, di seguito si evidenzia la strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei DH:

Energizzatore	massa battente 10 Kg	generazione segnale
Geofoni da foro SS-BH 5 Canali	1 Verticale + 4 Orizzontali (4.5Hz)	conversione segnale sismico in elettrico
Sismografo SARA Do.Re.Mi.	digitalizzatori - 16 bit	conversione segnale elettrico in digitale e registrazione
Interfaccia Do.Re.Mi. master		alimentazione, collegamento PC, erogazione del segnale start
Batteria al Piombo	12,5 V	alimentazione
Computer	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione elaborazioni dati

La strumentazione è composta da un sensore SS-BH, specifico per misure di vibrazione in foro (DownHole, CrossHole etc.), realizzato con struttura in acciaio inox e equipaggiato con 5 sensori da 4.5 Hz.



Strumentazione utilizzata per acquisizione sismica Down_Hole. A sinistra il sensore SS-BH, al centro l'interfaccia master, a destra particolare del dispositivo di ancoraggio.

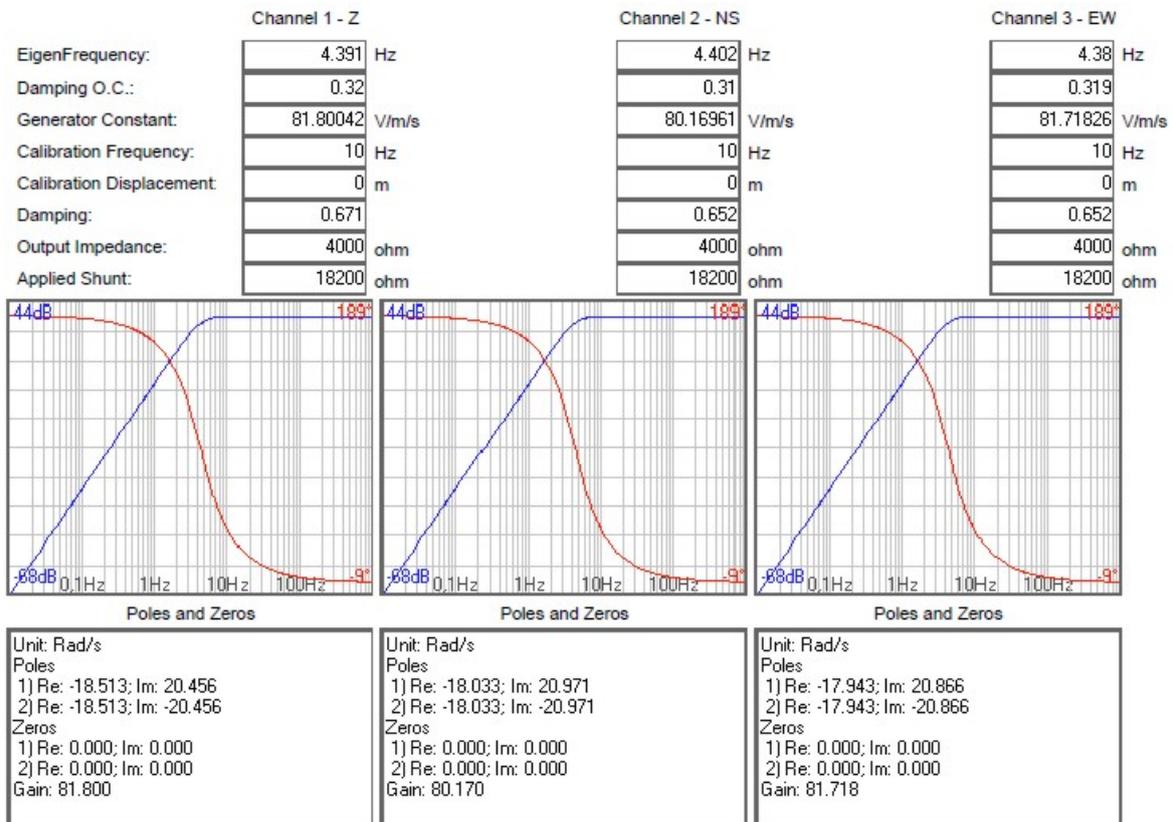


I sensori consentono la ricezione del segnale analogico associato al treno di onde prodotte in superficie dal sistema di energizzazione.

Il dato acquisito viene registrato nell'unità di memoria interna dei 5 canali collegati al sensore da foro. Esso è quindi disponibile per il download affidato interfaccia master mediante il programma di acquisizione installato su pc portatile. L'interfaccia master, oltre a permettere l'acquisizione dei dati, registra con precisione il segnale di start proveniente dalla fonte di energizzazione e garantisce la corretta comunicazione tra il personal computer e i canali di acquisizione. Il sensore SS-BH utilizza un sistema di bloccaggio (interruttore blocca-sblocca) ad azionamento elettrico, inoltre l'uso di quattro sensori orizzontali garantisce la lettura dei primi arrivi in ogni condizione. Il sensore SS-BH utilizza elementi di alta stabilità e l'assemblaggio nel contenitore metallico, lavorato con macchine a controllo numerico, garantisce il perfetto posizionamento angolare dei sensori orizzontali e l'assoluta ortogonalità di quello verticale.

Il dispositivo sismico utilizzato in questa sede per le misure di vibrazione ambientale consiste in un digitalizzatore a 24 bit 3 canali ad altissima risoluzione collegato a un personal computer per il controllo dello strumento e la registrazione dei dati. Tre supporti a vite regolabili e una livella consentono il posizionamento dello strumento secondo il piano orizzontale; l'alimentazione è garantita da una piccola batteria interna ricaricabile.

I dati acquisiti dai sensori sono trasferiti al PC mediante un cavo elettrico collegato a una porta seriale (RS232) e registrati in digitale da un software dedicato (modulo SEISMOLOG-MT della suite SEISMOWIN) per mezzo di un convertitore con frequenza di campionamento fino a 600 Hz. Attraverso la specifica funzione di trasferimento è possibile, nel dominio delle frequenze, una correzione strumentale del dato. Di seguito si riporta quella specifica dello strumento utilizzato:





Measurement uncertainties		
EigenFrequency:	+/-	0.1 Hz
Damping O.C.:	+/-	5 %
Generator Constant:	+/-	1 %
Calibration Frequency:	+/-	0.1 Hz
Calibration Displacement:	+/-	0.000002 m
Damping:	+/-	5 %
Output Impedance:	+/-	5 %
Applied Shunt:	+/-	1 %



Funzione di trasferimento dei sensori del tromografo digitale.

2.2 TECNICA DOWNHOLE

La prospezione sismica in foro con il metodo "DownHole" (DH) consente la determinazione diretta in sito delle velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali (V_p) e trasversali (V_{sh}) lungo una direzione sub-verticale.

I dati così acquisiti possono essere utilizzati anche per ricavare, in modo indiretto, alcune proprietà elastiche delle litologie investigate.

Le prove sismiche in foro sono utili per determinare in modo dettagliato la sismostratigrafia del sottosuolo. Esse si dividono secondo varie metodologie:

- 1) UpHole
- 2) DownHole
- 3) CrossHole

Il metodo DownHole, in genere il più utilizzato per la praticità d'esecuzione, prevede la sistemazione della sorgente in superficie e il sensore di misura delle onde d'arrivo in foro. Il sensore, al cui interno sono allocati i geofoni di registrazione (1 verticale e da 2 a 4 orizzontali) è bloccato, meccanicamente o pneumaticamente, alle pareti del tubo in PVC all'interno del foro di sondaggio.

Il tubo di rivestimento è reso preventivamente solidale al terreno circostante per mezzo della cementazione effettuata con opportune malte introdotte per risalita all'interno del perforo.

La sorgente sismica è costituita da una massa battente (generalmente mazza da 8-10 kg) mentre il tempo zero del segnale è registrato tramite geofono starter o dispositivo elettrico collegato direttamente al sistema di energizzazione.

La pratica di esecuzione consiste nel piazzare il geofono da foro a profondità progressivamente crescenti (o decrescenti) fissandolo a intervalli regolari contro la parete del tubo di rivestimento del foro. Una volta prodotta l'energizzazione in superficie (sia in senso ortogonale che parallelo, in direzioni opposte, al p.c.) si registrano i tempi di arrivo delle onde "P" ed "S" ai geofoni in foro.

La sollecitazione prodotta dalla massa battente genera nel terreno onde elastiche longitudinali e trasversali che si propagano in tutte le direzioni, compresa quella in direzione parallela al foro d'indagine. Di conseguenza il mezzo "terreno" viene sottoposto a sforzi trasversali o di compressione e dilatazione.

Le velocità delle onde variano in funzione delle caratteristiche del mezzo attraversato.

Nelle fasi di elaborazione eseguite tramite appositi software dedicati, è possibile determinare la velocità dei litotipi investigati e i relativi parametri elastici.



2.3 TECNICA HVSR (metodo Nakamura)

Lo scopo di questa particolare tecnica è l'individuazione, attraverso il metodo proposto da Nakamura sul rapporto spettrale H/V, delle discontinuità sismiche nel sottosuolo e la ricerca dell'eventuale *bedrock* geofisico. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, rapida e può essere applicata ovunque non necessitando di alcun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

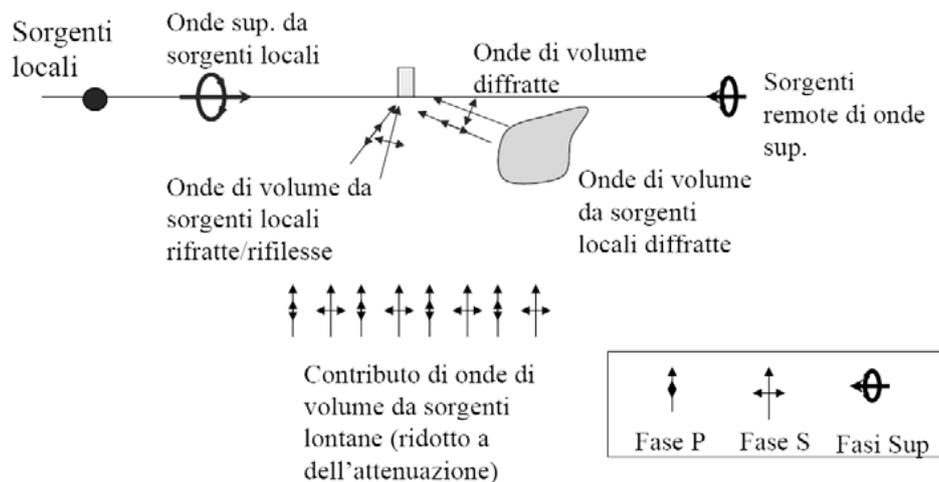
- la frequenza caratteristica di risonanza di un sito;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s (solo se già noti gli spessori dei sismostrati);
- gli spessori della coltre di copertura del substrato litoide (solo se già note le V_s dei sismostrati).

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un determinato sito dallo strumento dipende: dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ; dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni); dalle rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda; dalla risposta dello strumento; ovvero:

$$\text{segnale registrazione al sito} = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento etc...) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Il rumore sismico viene denominato microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, sensibilmente inferiori a quelle prodotte dai terremoti.

I metodi che si basano sull'acquisizione delle vibrazioni ambientali vengono detti di tipo passivo, in quanto il segnale non è appositamente generato (come avviene per esempio con le energizzazioni della sismica attiva).



Percorsi e tipi di sorgenti dei microtremori.



Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Di conseguenza l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica.

Diversamente con la tecnica dei microtrempi è possibile registrare una parte del segnale di partenza che contiene informazioni relative al percorso effettuato ovvero alla struttura sismostratigrafica in prossimità del sensore. In questo modo il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale da scartare nella sismologia tradizionale, viene sfruttato per ottenere utili informazioni per le analisi sismiche del sottosuolo. Queste risultano mascherate dal rumore casuale e possono essere estratte solo attraverso opportune tecniche di filtraggio.

Una di queste è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente HVSR che consente di fornire stime affidabili delle frequenze fondamentali dei sottosuoli.

2.4 METODOLOGIA DI ACQUISIZIONE

Le caratteristiche adottate per l'indagine DownHole eseguita in questa sede sono le seguenti:

Foro d'indagine	DH1
n° geofoni sensore	5
passo campionamento	1
n° punti di scoppio	32
profondità indagine (m)	32
tempo di acquisizione	0,4 s
intervallo	5000 Hz

In questa sede si è operato eseguendo la prova DH con passo di campionamento pari a 100 cm ed energizzazione a 1,5 m di distanza dal bocca-pozzo.

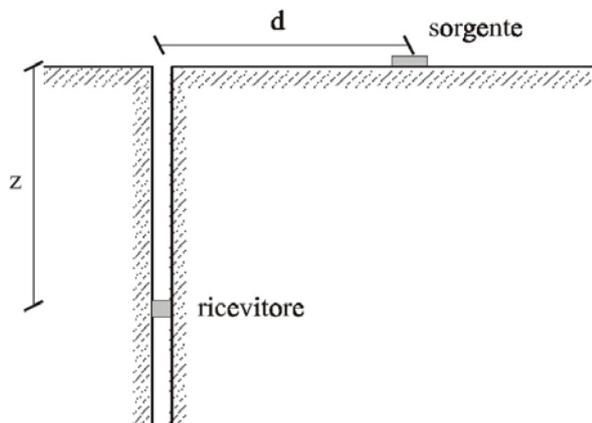
L'energizzazione longitudinale e trasversale è stata ottenuta tramite la percussione con mazza da 10 Kg rispettivamente di una piattella metallica (per le onde "P") e di una trave in legno resa solidale al terreno mediante sormonto con il retrotreno di un automezzo (per le onde "SH").

I dati ottenuti sono stati memorizzati in campagna su supporto magnetico ed elaborati tramite software dedicato.

2.5 RISULTATI DOWNHOLE

Per l'interpretazione dei risultati è stato utilizzato un foglio di calcolo appositamente realizzato mediante il quale si è potuto operare sui dati utilizzando il "**Metodo Diretto**".

Nel *metodo diretto* è necessario correggere i tempi di transito (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde.



Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e i sensori e z la profondità di misura, è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione

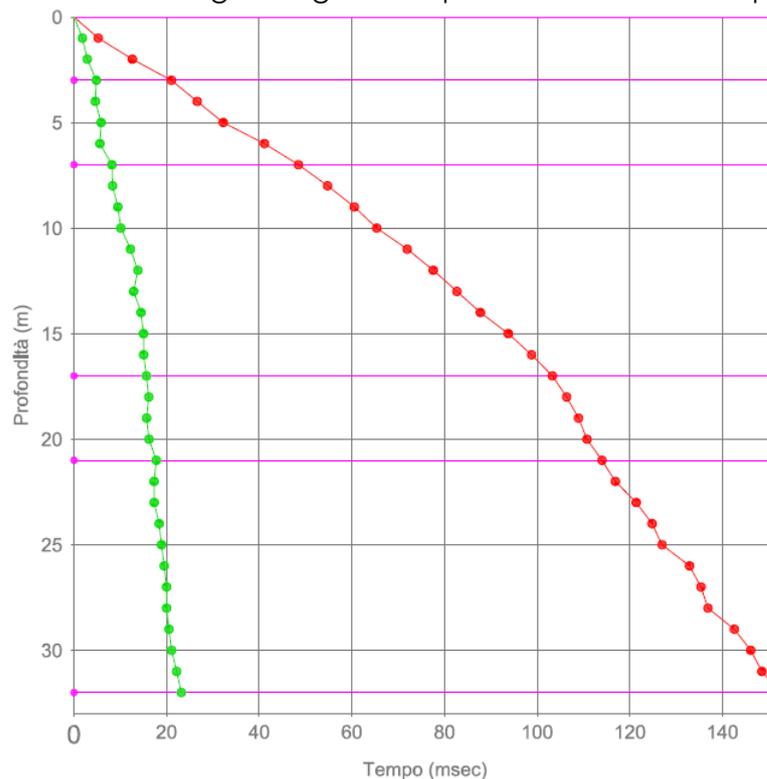
$$t_{\text{corr}} = \frac{z}{r} t$$

Schema della prova DH.



Registrazione N°	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)	SR (m)	Tp corr (msec)	Ts corr (msec)
1	1,0	8,0	23,0	3,1623	2,5298	7,2732
2	2,0	7,2	31,6	3,6056	3,9938	17,5285
3	3,0	9,5	41,4	4,2426	6,7175	29,2742
4	4,0	8,0	46,3	5,0000	6,4000	37,0400
5	5,0	9,5	52,3	5,8310	8,1462	44,8469
6	6,0	8,7	64,0	6,7082	7,7815	57,2433
7	7,0	12,4	73,4	7,6158	11,3974	67,4653
8	8,0	12,4	81,4	8,5440	11,6105	76,2172
9	9,0	13,9	88,8	9,4868	13,1867	84,2431
10	10,0	14,7	95,0	10,4403	14,0801	90,9935
11	11,0	17,6	103,8	11,4018	16,9798	100,1425
12	12,0	19,8	111,3	12,3693	19,2088	107,9769
13	13,0	18,4	118,1	13,3417	17,9288	115,0756
14	14,0	20,6	124,9	14,3178	20,1427	122,1275
15	15,0	21,3	133,1	15,2971	20,8864	130,5153
16	16,0	21,3	139,9	16,2788	20,9352	137,5038
17	17,0	22,1	146,0	17,2627	21,7637	143,7784
18	18,0	22,8	150,1	18,2483	22,4898	148,0577
19	19,0	22,1	153,5	19,2354	21,8296	151,6216
20	20,0	22,8	155,9	20,2238	22,5478	154,1752
21	21,0	25,0	160,3	21,2132	24,7487	158,6889
22	22,0	24,3	164,2	22,2036	24,0772	162,6943
23	23,0	24,3	170,4	23,1948	24,0959	168,9687
24	24,0	25,8	175,1	24,1868	25,6008	173,7479
25	25,0	26,5	178,0	25,1794	26,3112	176,7321
26	26,0	27,3	186,2	26,1725	27,1201	184,9727
27	27,0	28,0	189,6	27,1662	27,8287	188,4404
28	28,0	28,0	191,6	28,1603	27,8407	190,5096
29	29,0	28,7	199,5	29,1548	28,5477	198,4410
30	30,0	29,5	204,4	30,1496	29,3536	203,3856
31	31,0	31,0	207,7	31,1448	30,8559	206,7342
32	32,0	32,4	213,4	32,1403	32,2586	212,4684

Una volta calcolati i tempi corretti, sia per le onde P che per le onde SH, si realizza il grafico di correlazione $t_{corr} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno sia rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali. Di seguito il grafico $V_p - V_s$ in funzione della profondità





I dati raccolti ed elaborati per ogni metro di profondità sono stati quindi discretizzati attraverso l'interpretazione delle dromocrone al fine di ricavare i domini omogenei in cui è suddiviso il sottosuolo. Tale interpretazione è stata eseguita mediante l'osservazione dei punti principali di rottura (cambio di pendenza) delle dromocrone. Il risultato dell'analisi interpretativa è quello di un sottosuolo diviso in strati omogenei con velocità e caratteristiche elastiche ben distinte.

Conseguiti graficamente i sismostrati si ricava la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i parametri elastici.

I valori dei tempi di arrivo corretti rispetto alla verticale ed i valori delle velocità V_p e V_{sh} e dei relativi moduli elastici (γ = densità di Bulk, ν = Poisson, E = modulo di Young, G = modulo di def. al taglio) calcolati per ogni step di lettura sono riportati nella tabella seguente.

Parametri elastici - valori medi

Strato	Profondità (m)	V_p medio (m/s)	V_s medio (m/s)	V_p/V_s	γ medio (KN/m ³)	ν medio	G medio (MPa)	E medio (MPa)
1	3	446,43	102,49	4,36	16,28	0,47	17	51
2	7	854,70	104,71	8,16	16,07	0,49	18	54
3	17	965,25	131,04	7,37	16,12	0,49	28	84
4	21	1337,79	268,28	4,99	19,76	0,48	145	429
5	32	1464,71	204,54	7,16	17,80	0,49	76	226

La prospezione eseguita in questa sede ha dunque permesso di determinare gli spessori, le velocità sismiche e i moduli elastici dinamici dei singoli sismostrati riscontrati sulla verticale del sondaggio investigato tramite prospezione DH.

Il modello conseguito dall'elaborazione dei sismogrammi individua infine per la verticale DH un valore di V_{seq} (ovvero V_{S30} in quanto il substrato con $V_s > 800$ m/s non è stato raggiunto nei primi 35 m d'indagine) **pari a 148 m/sec** misurato rispetto al piano campagna. Il valore V_{seq} misurato invece a -2 m dal pdc vale **155 m/sec**.

2.6 RISULTATI HVSR

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale a 3 canali con capacità di registrazione a 24 bit. Attraverso lo strumento, che racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ad alta definizione ortogonali tra loro, si sono registrate le vibrazioni ambientali i cui valori sono stati salvati in tempo reale nella memoria interna di un computer portatile. Gli assi di oscillazione dello strumento sono stati allineati a quelli geografici mediante l'utilizzo di una bussola.

I dati registrati sono stati convertiti in file ASCII nel formato .SAF mediante il software Seismolog-MT e successivamente elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

Durante il campionamento lo stesso software ha permesso di visualizzare in tempo reale la curva H/V e gli spettri assoluti sulle componenti sia verticale che orizzontale e di salvare un secondo file di registrazione già depurato dei transienti individuati durante il campionamento.

Per la postazione di registrazione il rumore sismico è stato acquisito per un periodo di 30 minuti. In fase di elaborazione la registrazione è stata suddivisa manualmente in intervalli della durata compresa tra 20 e 30 sec all'interno dei quali si è operato un'analisi spettrale nelle tre componenti (Verticale, N-S e E-W).

Per ciascun segmento si è quindi calcolato il rapporto spettrale fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale. Dei valori così ottenuti è stata calcolata la media.



Infine, per verificare che le misure ottenute dall'elaborazione dei dati di campagna fossero una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh si è proceduto a verificare che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente risultassero stabili, e frutto di un campionamento statistico adeguato,
- gli effetti di sorgente fossero effettivamente mediati, ovvero al netto di eventuali sorgenti dominanti,
- la misura non contenesse errori sistematici (come per esempio quelli generati da un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Definendo i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore di frequenza caratteristica per ogni postazione del sito. Sapendo che a ogni picco in frequenza corrisponde una profondità in metri dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica rappresentativa del sottosuolo.

E' stata quindi individuata la **frequenza di risonanza del sito**, definita da un picco di frequenza (f_0 Hz) con un valore di ampiezza medio (A_0) generato dalla discontinuità nel sottosuolo.

Tipologia	Coord. WGS84		Z (m)	f_0 (Hz)	A_0	CLASSE
	lat	lon				
HVSR	43.7282	10.3863	2	0.34	2	B1

3 – SISMICITA' DI SITO

Con riferimento alle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni 2018", dalle indagini geofisiche eseguite in sito è possibile attraverso la modellazione sismica dei risultati risalire alla classificazione del sottosuolo sismico di riferimento.

Nella condizioni di contesto stratigrafico e proprietà dei terreni chiaramente riconducibile alle categorie di cui alla tabella 3.2.II delle NTC2018, la normativa corrente consente di valutare l'effetto della risposta sismica locale anche facendo riferimento a un approccio semplificato basato sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità equivalente (V_{eq}) di propagazione delle onde di taglio.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.II delle NTC2018 – Categorie di sottosuolo che permettono l'approccio semplificato.



La velocità equivalente viene calcolata fino ad una profondità H che può essere pari a 30 m dal piano d'imposta delle fondazioni o ad un valore minore. A decretare il valore di H è il raggiungimento o meno del "substrato sismico", caratterizzato da velocità delle onde di taglio superiori agli 800 m/s.

L'azione sismica di progetto, sulla base della quale si valuterà il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione, viene definita partendo dalla "Pericolosità di Base" del sito d'indagine che costituisce l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Nell'ambito della presente indagine, l'analisi dell'azione sismica è stata dunque valutata applicando il metodo semplificato. Per la definizione della categoria di sottosuolo si è fatto riferimento alle caratteristiche elastiche e fisiche dei domini in cui è stato discretizzato il terreno in profondità grazie ai risultati di un'indagine geofisica.

L'analisi, eseguita mediante tecnica Down-Hole, ha indicato valori di V_{seq} fino alla profondità di 30 m a partire dal piano di campagna pari a:

$$V_{seq=30} = 148 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la **categoria di suolo D** secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008.

La condizione topografica superficiale del sito risulta semplice e tale da consentire l'adozione della classificazione di cui alla tabella seguente:

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 $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.III delle NTC2018 – Categorie topografiche.

Per la definizione dello spettro di risposta elastico in accelerazione si fa riferimento a coefficienti dipendenti alla categoria di sottosuolo di riferimento:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Quindi i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR:

a_g = accelerazione massima di sito;

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

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

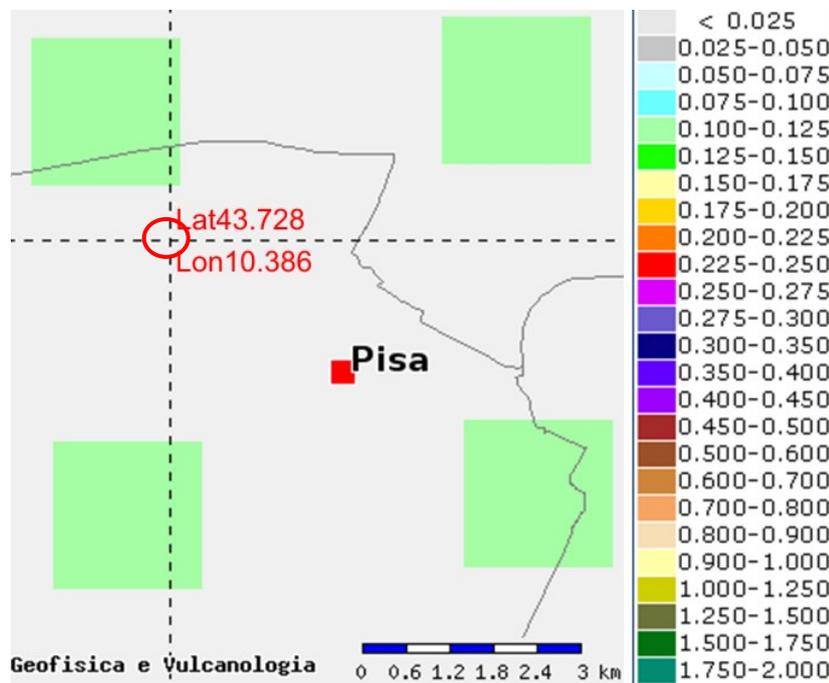
Il valore di a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornita dall'INGV, mentre F_0 e T_c^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.



Lo scuotimento del suolo così individuato, viene corretto per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e della morfologia della superficie (come visto in precedenza con la determinazione della Categoria di sottosuolo D e dei coefficienti di amplificazione topografica $S_T=1,0$ e stratigrafica $S_S=1,8$).

CATEGORIA DI SUOLO	Da V_{S30}	D
COEFFICIENTE AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA S_T	Da tabella 3.2.III	1,0
COEFFICIENTE AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA S_S	Da tabella 3.2.IV	1,8
FATTORE S = $S_T \cdot S_S$		S = 1,8

Per l'individuazione dei nodi del reticolo di riferimento si fa riferimento alla Mappa interattiva di pericolosità sismica dell'INGV



Nodi del reticolo di riferimento e ubicazione dell'intervento.

Una volta individuato il Tipo di Costruzione, la Vita Nominale VN, la Classe d'Uso, il Coefficiente d'Uso e il periodo di riferimento si determinano i parametri sismici.

Siti di riferimento				
Sito 1	ID: 20046	Lat: 43,7435	Lon: 10,3757	Distanza: 1909
Sito 2	ID: 20047	Lat: 43,7453	Lon: 10, 4450	Distanza: 5084
Sito 3	ID: 20269	Lat: 43,6954	Lon: 10, 4474	Distanza: 6116
Sito 4	ID: 20268	Lat: 43,6936	Lon: 10, 3783	Distanza: 3900

Sito in esame	
Coordinate Ed50	Lat: 10,386314
	Lon: 43,728162
Classe d'uso	II
Vita nominale	50 anni



Coefficiente Cu	1,0
Categoria sottosuolo	D
Categoria topografica	T1

Parametri sismici	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Vita (SLV)	Collasso (SLC)	Unità misura
Probabilità di superamento	81	63	10	5	%
Tr	30	50	475	975	[anni]
α_g	0,038	0,047	0,119	0,153	g
F ₀	2,576	2,551	2,382	2,380	
T _C *	0,219	0,249	0,280	0,283	[s]

Coefficienti sismici	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Vita (SLV)	Collasso (SLC)
S _s	1,800	1,800	1,800	1,800
C _c	2,670	2,500	2,360	2,350
S _t	1,000	1,000	1,000	1,000
K _h	0,014	0,017	0,051	0,066
K _v	0,007	0,009	0,026	0,033
A _{max}	0,674	0,835	2,094	2,695
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

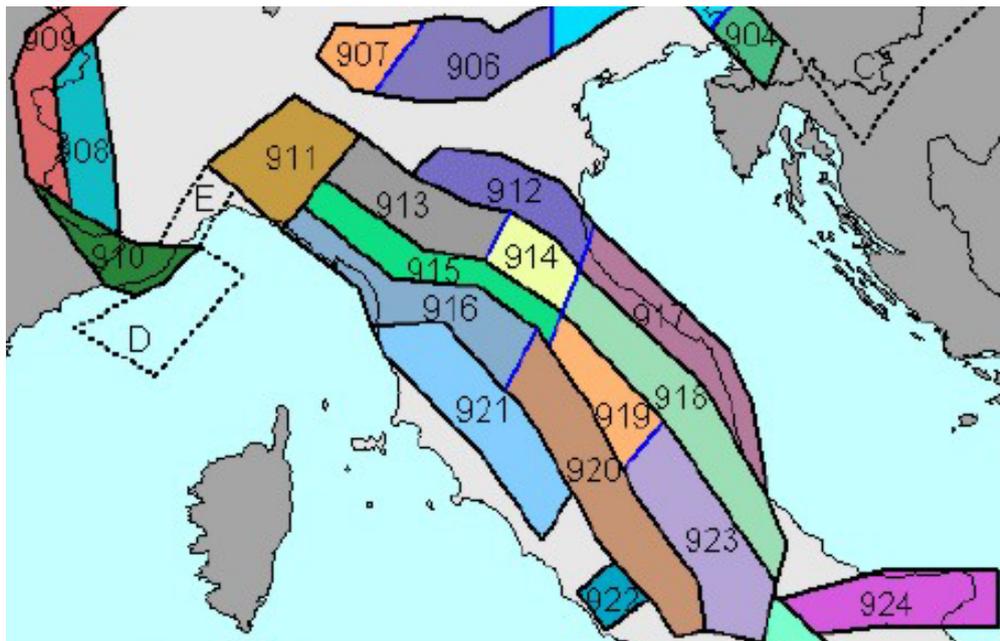
4 – STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

In relazione alla possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione, in terreni prevalentemente sabbiosi, la norma consente di escludere procedure di analisi avanzate o semplificate qualora siano verificate almeno una delle seguenti circostanze:

1. *Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;*
2. *Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;*
3. *Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:*
 - *frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità PI > 10;*
 - *FC ≥ 35% e resistenza (N1)₆₀ > 20;*
 - *FC ≤ 5% e resistenza (N1)₆₀ > 25**dove (N1)₆₀ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.*
4. *Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle Figure a e b 7.11.1 del DM2008 rispettivamente nel caso di materiale con coefficiente di uniformità Uc < 3.5 e per coefficienti di uniformità Uc > 3.5.*
5. *Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.*

Al verificarsi di almeno una di tali condizioni la verifica alla liquefazione può essere omessa ai sensi di quanto stabilito al punto 7.11.3.4.2 delle NTC2008.

Per la valutazione dei valori di Magnitudo di riferimento è necessario basarsi su Valori di Magnitudo massima ($M_{w_{max2}}$) indicati facendo riferimento al "Rapporto conclusivo del GdL per la redazione della mappa di pericolosità sismica" prodotto dall'INGV con riferimento all'OPCM 3274/03. Nell'ambito di tale studio è stata redatta la mappa della pericolosità sismica che prevede la suddivisione del territorio nazionale in zone simili per comportamento sismo genetico (rif. fig. seguente).



Zonazione
sismogenetica ZS9.

Il sito d'intervento ricade nella Zona sorgente di ZS9: **Versilia-Chianti n° 916** - Appennino settentrionale, settore di distensione tirrenica (transizione alla distensione peritirrenica) – caratterizzata da sismicità di bassa energia, che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.

I valori di Magnitudo massima di riferimento sono quelli indicati con la sigla Mw_{max2} nella seguente tabella tratta dal sopracitato lavoro:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 Mw_{Max}	CPTI2 Mw_{Max}	CPTI2 Mw_{Max} (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37
Appennino Umbro	919	6.0	6.33	6.37	6.37		6.37		6.37
Val di Chiana-Ciociaria	920		5.57	5.68	5.45	+1(b)	5.68	+3(d)	6.14
Etruria	921		5.91	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Colli Albani	922		5.53	5.45	5.45		5.45		5.45
Appennino Abruzzese	923	6.7	6.99	7.06	7.06		7.06		7.06

Mw_{Max1} 5.45 dopo l'applicazione degli intervalli di completezza, aumentato per motivi particolari a Mw_{Max1} 5.68 ulteriormente aumentato fino alla Mw_{Max2} **6.14** per ragioni di cautela.



Alla luce di quanto sopra e di quanto emerso nel corso delle indagini in sito sulle caratteristiche granulometriche dei sedimenti e la collocazione della falda si ha:

CONDIZIONE	VERIFICA	NON VERIFICATA
M<5		X
A _{max} <0.1g		X
A _{max} <0.15g e FC come da punto 3		X
Condizioni granulometriche		X
Falda<15 m pdc		X

Matrice della possibilità di esclusione di Verifica ai sensi del §7.11.3.4.2 NTC.

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione si è fatto ricorso (come previsto dal §C7.11.3.4 della Circolare CSLPP n°617 del 02.02.2009) al metodo semplificato proposto da Robertson e Wride (1998) con il quale, attraverso l'analisi dei risultati delle prove geotecniche e geofisiche in sito, è stato possibile valutare nell'ambito dei primi 20 m del sottosuolo il coefficiente di sicurezza alla liquefazione (F_L) definito dal rapporto:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR_{7.5}} \cdot MSF \quad (1)$$

in cui

$CRR = \frac{F_{ult}}{\sigma'_{vc}}$ è il *cyclic resistance ratio* (resistenza al taglio mobilante del terreno)

$CSR_{7.5} = \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{v,0}}$ è il *cyclic shear ratio* (sforzo tagliante indotto dal sisma) al sisma di Magnitudo

7,5

MSF è il fattore correttivo di scala della magnitudo raccomandato dal *National Center for Earthquake Engineering Research*

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_c che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (c)$$

dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n=1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_c con l'equazione (a).



Se $I_c > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se $I_c \leq 2,6$ vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando l'equazione (b) usando come esponente $n = 0,5$.

Se è ancora $I_c \leq 2,6$ significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $I_c > 2,6$ vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dall'equazione (b) ponendo $n = 0,75$.

Calcolato I_c si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (d)$$

dove l'esponente di sforzo n è lo stesso utilizzato nel calcolo di I_c .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

Robertson e Wride classico:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (2b)$$

Robertson e Wride modificato mediante la procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (3b)$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%) essendo:

$$\begin{aligned} K_c &= 0 && \text{per } FC \leq 5 \\ K_c &= 0,0267(FC - 5) && \text{per } 5 < FC \leq 35 \\ K_c &= 0,8 && \text{per } FC > 35 \end{aligned}$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC(\%) = 1,75(I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 ($CRR_{7,5}$) si calcola con le espressioni seguenti:

$$\text{se } (q_{c1N})_{cs} < 50$$



$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5)$$

se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 ($CSR_{7,5}$) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d \quad (7)$$

Per magnitudo diverse si introduce il fattore correttivo MSF (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (8)$$

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Tabella 1- Fattore di scala della magnitudo derivato da NCEER

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d vengono utilizzate le formule raccomandate dal NCEER:

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (9)$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (10)$$

Il **fattore di sicurezza alla liquefazione** F_L viene quindi determinato dalla relazione:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \quad (11)$$

Lo strato di terreno è considerato liquefacibile se $F_L \leq 1$.

L'**indice di liquefazione** I_L , indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere all'interno del deposito, si ricava con il metodo di Iwasaki et alii (1978; 1984):

$$I_L = \int_0^{20} F W(z) dz \quad (12)$$

dove:

$$F(z) = 1 - F_L \quad \text{per } F_L \leq 1$$

$$F(z) = 0 \quad \text{per } F_L > 1$$

$$W(z) = 10 - 0,5z$$



Nella tabella seguente viene riportata la classificazione del rischio liquefazione secondo il metodo Iwasaki et alii:

I_L	Rischio di Liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Tabella 2- Classificazione del rischio

In allegato si riporta il report di calcolo per le verifiche effettuate su ciascuna verticale in condizioni *free field*.

Cascina, ottobre 2018


Geol. Massimiliano Perini



DATI GENERALI

Data 23.10.2018
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 1.5 m

CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA

Base 0 m
Lunghezza 0 m
Carico in superficie 0 kPa
Metodo calcolo stato tensionale -
Coefficiente di Poisson -

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.121
Fattore amplificazione 2.5

Tipo Suolo: D-Terreni granulari sciolti e poco addensati, coesivi consistenti $V_{s30} < 180$
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.8
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (M_w) 6.14
Peak ground acceleration (PGA) 0.1815

PARAMETRI GEOTECNICI – VERTICALE DI VERIFICA N°1

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unia volume (KN/mc)	Peso unita volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocita onde di taglio Vs (m/s)
1	limi argillosi	0	1	17.42	18.2	0	0	613	53	102.5
2	limi argillosi	1	2.2	17.39	18.17	0	0	618	74	102.5
3	limi argillosi	2.2	3.5	17.92	18.71	0	0	869	72	102.5
4	argille limose	3.5	4.2	17.09	17.88	0	0	561	56	104.7
5	sabbie fini limose	4.2	8	17.41	18.19	0	0	704	30	104.7
6	sabbie fini limose	8	11	18.64	19.43	3	0	1434	37	131
7	sabbie e limi	11	12.4	15.9	16.68	0	0	437	24	131

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67



Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1.70	29.749	27.788	21.170	12.580	3.159	1.7	91.285	0.987	0.151	0.075	2.017	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
1.90	33.383	29.460	19.844	12.658	3.180	1.7	94.277	0.985	0.158	0.079	2.000	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.10	37.017	31.133	18.661	12.737	3.200	1.7	97.215	0.984	0.165	0.083	2.000	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.30	40.705	32.860	25.207	8.693	2.990	1.7	98.006	0.982	0.168	0.086	1.947	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.50	44.447	34.640	23.803	8.732	3.009	1.7	101.076	0.981	0.176	0.089	1.978	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.70	48.189	36.421	22.537	8.772	3.027	1.7	104.098	0.979	0.185	0.092	2.018	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.90	51.931	38.202	21.388	8.812	3.044	1.7	107.075	0.978	0.194	0.094	2.066	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.10	55.673	39.982	20.342	8.853	3.061	1.7	110.011	0.976	0.204	0.096	2.120	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.30	59.415	41.763	19.385	8.893	3.077	1.7	112.908	0.975	0.214	0.098	2.181	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.50	63.157	43.544	18.507	8.935	3.093	1.7	115.769	0.973	0.224	0.100	2.247	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.70	66.733	45.158	10.945	11.330	3.329	1.7	106.482	0.972	0.192	0.102	1.894	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.90	70.309	46.773	10.491	11.412	3.344	1.7	108.854	0.970	0.200	0.103	1.939	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



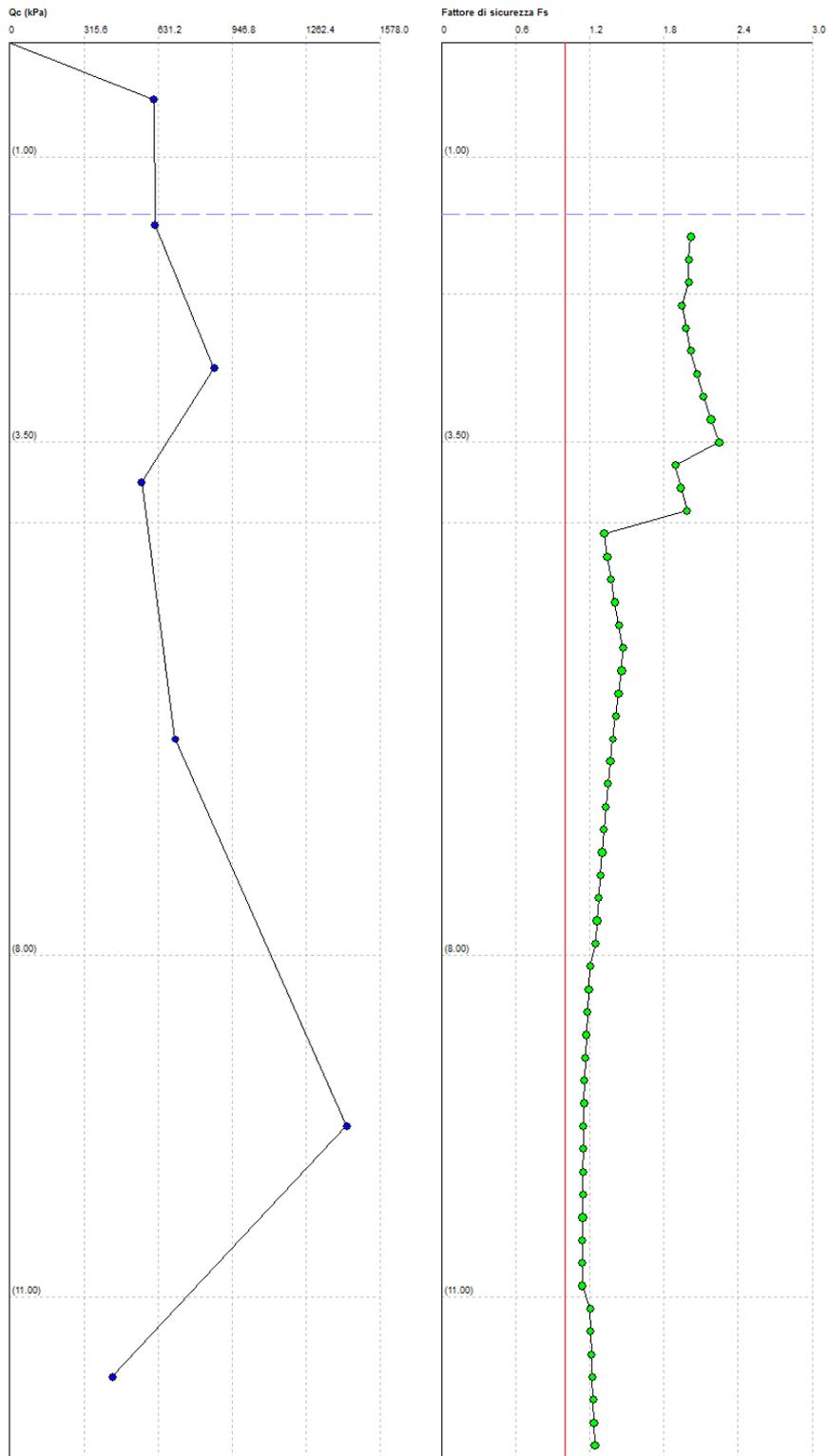
4.10	73.885	48.388	10.067	11.496	3.360	1.7	111.211	0.969	0.208	0.105	1.988	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.30	77.492	50.033	12.522	4.788	3.040	1.7	86.107	0.967	0.139	0.106	1.316	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.50	81.130	51.710	12.045	4.816	3.054	1.7	88.185	0.966	0.144	0.107	1.342	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.70	84.768	53.387	11.599	4.845	3.069	1.7	90.253	0.964	0.148	0.108	1.371	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.90	88.406	55.063	11.180	4.873	3.083	1.7	92.314	0.963	0.153	0.109	1.402	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.10	92.044	56.740	10.785	4.902	3.097	1.7	94.366	0.961	0.158	0.110	1.435	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.30	95.682	58.417	10.413	4.932	3.110	1.7	96.412	0.959	0.163	0.111	1.470	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.50	99.320	60.093	10.062	4.961	3.124	1.664076	96.371	0.958	0.163	0.112	1.458	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.70	102.958	61.770	9.730	4.991	3.137	1.618907	95.692	0.956	0.161	0.113	1.433	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.90	106.596	63.447	9.416	5.022	3.150	1.576125	95.044	0.955	0.160	0.113	1.409	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.10	110.234	65.123	9.118	5.052	3.162	1.535546	94.426	0.953	0.158	0.114	1.387	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.30	113.872	66.800	8.834	5.084	3.175	1.497004	93.835	0.952	0.157	0.115	1.367	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.50	117.510	68.477	8.565	5.115	3.187	1.46035	93.270	0.950	0.155	0.115	1.348	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.70	121.148	70.153	8.308	5.147	3.199	1.425447	92.730	0.949	0.154	0.116	1.331	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



6.90	124.786	71.830	8.064	5.179	3.211	1.392174	92.214	0.947	0.153	0.116	1.314	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.10	128.424	73.507	7.830	5.212	3.223	1.360419	91.719	0.946	0.152	0.117	1.299	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.30	132.062	75.183	7.607	5.245	3.235	1.33008	91.246	0.944	0.151	0.117	1.285	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.50	135.700	76.860	7.394	5.279	3.246	1.301065	90.793	0.943	0.150	0.118	1.271	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.70	139.338	78.537	7.190	5.313	3.258	1.273289	90.358	0.941	0.149	0.118	1.259	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.90	142.976	80.213	6.994	5.347	3.269	1.246674	89.942	0.940	0.148	0.118	1.247	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.10	146.738	82.014	15.696	2.874	2.827	1.219302	87.681	0.938	0.143	0.119	1.202	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.30	150.624	83.939	15.289	2.883	2.837	1.191344	87.183	0.937	0.142	0.119	1.192	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.50	154.510	85.863	14.901	2.892	2.846	1.16464	86.703	0.935	0.141	0.119	1.182	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.70	158.396	87.788	14.530	2.901	2.856	1.139106	86.241	0.933	0.140	0.119	1.173	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.90	162.282	89.713	14.175	2.909	2.865	1.114668	85.794	0.932	0.139	0.119	1.164	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.10	166.168	91.637	13.835	2.918	2.875	1.091257	85.363	0.930	0.138	0.119	1.155	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.30	170.054	93.562	13.509	2.927	2.884	1.068809	84.946	0.926	0.137	0.119	1.152	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.50	173.940	95.487	13.196	2.936	2.893	1.047265	84.543	0.920	0.136	0.119	1.149	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



9.70	177.826	97.411	12.896	2.945	2.902	1.026573	84.152	0.915	0.135	0.118	1.147	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.90	181.712	99.336	12.607	2.955	2.911	1.006683	83.775	0.910	0.135	0.118	1.145	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.10	185.598	101.261	12.329	2.964	2.919	0.9875489	83.409	0.904	0.134	0.117	1.143	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.30	189.484	103.186	12.061	2.973	2.928	0.9691285	83.054	0.899	0.133	0.117	1.142	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.50	193.370	105.110	11.803	2.982	2.936	0.9513829	82.710	0.894	0.133	0.116	1.141	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.70	197.256	107.035	11.555	2.992	2.945	0.9342754	82.376	0.888	0.132	0.116	1.140	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.90	201.142	108.960	11.315	3.001	2.953	0.9177722	82.053	0.883	0.131	0.115	1.140	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.10	204.753	110.609	2.100	10.334	3.860	0.9040844	85.465	0.878	0.138	0.115	1.202	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.30	208.089	111.984	2.044	10.484	3.873	0.8929862	85.627	0.872	0.138	0.115	1.207	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.50	211.425	113.359	1.990	10.639	3.887	0.8821571	85.800	0.867	0.139	0.114	1.213	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.70	214.761	114.733	1.937	10.799	3.900	0.8715876	85.986	0.862	0.139	0.114	1.220	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.90	218.097	116.108	1.885	10.964	3.913	0.8612684	86.185	0.856	0.140	0.114	1.227	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.10	221.433	117.483	1.835	11.133	3.927	0.8511906	86.397	0.851	0.140	0.113	1.234	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.30	224.769	118.857	1.786	11.308	3.940	0.8413459	86.621	0.846	0.140	0.113	1.242	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



Variazione del coefficiente di sicurezza con la profondità – VERTICALE 1



DATI GENERALI

Data 23.10.2018
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 1.5 m

CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA

Base 0 m

Lunghezza 0 m

Carico in superficie 0 kPa

Metodo calcolo stato tensionale -

Coefficiente di Poisson -

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.121

Fattore amplificazione 2.5

Tipo Suolo: D-Terreni granulari sciolti e poco addensati, coesivi consistenti $V_{s30} < 180$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.8

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (M_w) 6.14

Peak ground acceleration (PGA) 0.1815

PARAMETRI GEOTECNICI – VERTICALE DI VERIFICA 2

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	limi argillosi	0	1	17.34	18.13	0	0	586	47	102.5
2	limi argillosi	1	2.2	17.13	17.92	0	0	533	55	102.5
3	limi argillosi	2.2	3.5	17.84	18.63	0	0	830	67	102.5
4	argille limose	3.5	4.2	16.68	17.46	0	0	449	41	104.7
5	sabbie fini limose	4.2	8	16.18	16.97	0	0	384	21	104.7
6	sabbie fini limose	8	11	19.61	20.39	3	0	2453	35	131
7	limi argilloso sabbiosi	11	12.46	15.81	16.59	0	0	425	19	131

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67



Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1.70	29.489	27.528	18.291	10.923	3.158	1.7	78.644	0.987	0.125	0.075	1.675	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
1.90	33.073	29.150	17.150	11.002	3.180	1.7	81.314	0.985	0.130	0.079	1.644	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.10	36.657	30.773	16.129	11.081	3.201	1.7	83.942	0.984	0.135	0.083	1.629	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.30	40.312	32.467	24.323	8.484	2.993	1.7	94.102	0.982	0.157	0.086	1.826	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.50	44.038	34.231	22.960	8.525	3.012	1.7	97.089	0.981	0.165	0.089	1.850	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.70	47.764	35.996	21.731	8.565	3.030	1.7	100.030	0.979	0.173	0.092	1.884	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.90	51.490	37.761	20.617	8.606	3.048	1.7	102.929	0.978	0.181	0.094	1.924	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.10	55.216	39.525	19.602	8.648	3.065	1.7	105.788	0.976	0.190	0.096	1.971	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.30	58.942	41.290	18.674	8.689	3.082	1.7	108.610	0.975	0.199	0.098	2.024	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.50	62.668	43.055	17.822	8.732	3.097	1.7	111.398	0.973	0.209	0.100	2.082	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.70	66.160	44.585	8.587	10.709	3.390	1.7	92.851	0.972	0.154	0.102	1.515	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



3.90	69.652	46.116	8.226	10.808	3.407	1.7	94.984	0.970	0.160	0.104	1.541	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.10	73.144	47.647	7.888	10.908	3.423	1.7	97.111	0.969	0.165	0.105	1.571	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.30	76.587	49.128	6.257	6.831	3.372	1.7	77.417	0.967	0.123	0.107	1.155	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.50	79.981	50.561	6.013	6.907	3.388	1.7	79.219	0.966	0.126	0.108	1.169	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.70	83.375	51.994	5.782	6.985	3.405	1.7	81.027	0.964	0.129	0.109	1.184	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.90	86.769	53.426	5.563	7.065	3.421	1.7	82.842	0.963	0.133	0.111	1.202	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.10	90.163	54.859	5.356	7.147	3.437	1.7	84.664	0.961	0.136	0.112	1.222	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.30	93.557	56.292	5.160	7.230	3.453	1.7	86.495	0.959	0.140	0.113	1.243	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.50	96.951	57.724	4.973	7.316	3.469	1.7	88.335	0.958	0.144	0.114	1.267	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.70	100.345	59.157	4.795	7.403	3.485	1.690415	89.676	0.956	0.147	0.115	1.282	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.90	103.739	60.590	4.626	7.493	3.501	1.650445	89.362	0.955	0.146	0.116	1.266	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.10	107.133	62.022	4.464	7.585	3.516	1.612321	89.073	0.953	0.146	0.116	1.251	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.30	110.527	63.455	4.310	7.679	3.532	1.575918	88.809	0.952	0.145	0.117	1.238	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



6.50	113.921	64.888	4.162	7.776	3.547	1.541123	88.568	0.950	0.145	0.118	1.226	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.70	117.315	66.320	4.021	7.874	3.562	1.507832	88.350	0.949	0.144	0.119	1.215	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.90	120.709	67.753	3.886	7.976	3.578	1.475948	88.155	0.947	0.144	0.119	1.204	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.10	124.103	69.186	3.757	8.080	3.593	1.445385	87.981	0.946	0.143	0.120	1.195	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.30	127.497	70.618	3.632	8.187	3.608	1.416061	87.828	0.944	0.143	0.121	1.186	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.50	130.891	72.051	3.513	8.297	3.623	1.387904	87.695	0.943	0.143	0.121	1.179	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.70	134.285	73.484	3.398	8.410	3.638	1.360845	87.582	0.941	0.142	0.122	1.172	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.90	137.679	74.916	3.288	8.525	3.653	1.334821	87.488	0.940	0.142	0.122	1.165	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.10	141.415	76.691	28.011	1.514	2.460	1.141899	72.109	0.938	0.115	0.122	0.939	Terreno suscettibile di liquefazione	3.93	Basso
8.30	145.493	78.808	27.632	1.517	2.465	1.126459	71.819	0.937	0.114	0.122	0.936	Terreno suscettibile di liquefazione	4.20	Basso
8.50	149.571	80.924	27.268	1.519	2.470	1.11163	71.541	0.935	0.114	0.122	0.933	Terreno suscettibile di liquefazione	4.46	Basso
8.70	153.649	83.041	26.919	1.522	2.476	1.097371	71.275	0.933	0.114	0.122	0.931	Terreno suscettibile di liquefazione	4.71	Basso
8.90	157.727	85.158	26.582	1.525	2.480	1.083647	71.018	0.932	0.113	0.122	0.928	Terreno suscettibile di liquefazione	4.96	Basso

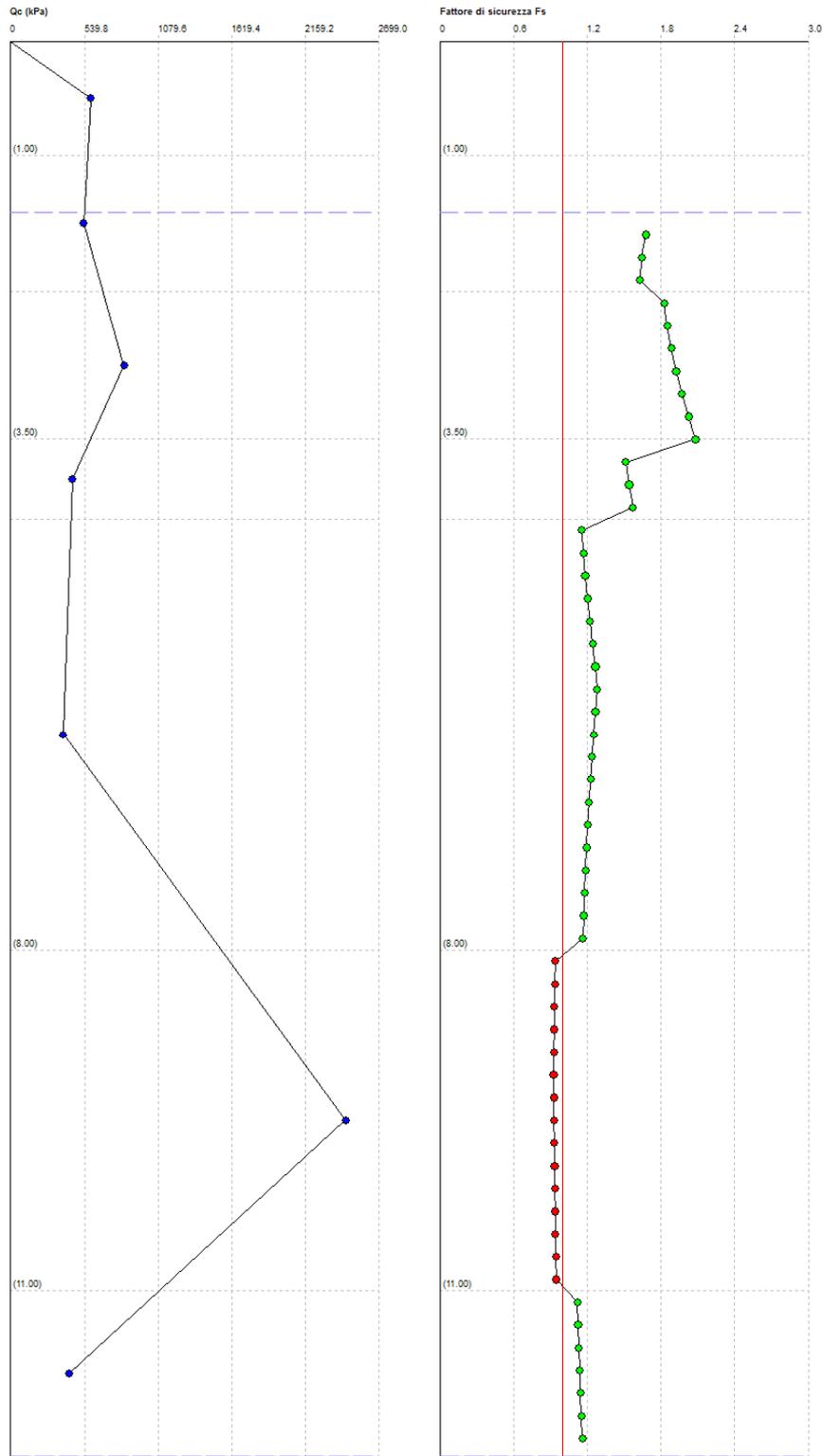


9.10	161.805	87.274	26.258	1.528	2.485	1.070426	70.772	0.930	0.113	0.122	0.926	Terreno suscettibile di liquefazione	5.19	Alto
9.30	165.883	89.391	25.945	1.530	2.490	1.057676	70.534	0.926	0.113	0.121	0.927	Terreno suscettibile di liquefazione	5.19	Alto
9.50	169.961	91.508	25.643	1.533	2.495	1.045372	70.305	0.920	0.112	0.121	0.929	Terreno suscettibile di liquefazione	5.13	Alto
9.70	174.039	93.624	25.351	1.536	2.499	1.033488	70.084	0.915	0.112	0.120	0.931	Terreno suscettibile di liquefazione	5.05	Alto
9.90	178.117	95.741	25.070	1.539	2.504	1.022	69.871	0.910	0.112	0.120	0.934	Terreno suscettibile di liquefazione	4.95	Basso
10.10	182.195	97.858	24.797	1.541	2.508	1.010886	69.665	0.904	0.111	0.119	0.936	Terreno suscettibile di liquefazione	4.83	Basso
10.30	186.273	99.974	24.533	1.544	2.512	1.000128	69.466	0.899	0.111	0.118	0.939	Terreno suscettibile di liquefazione	4.69	Basso
10.50	190.351	102.091	24.277	1.547	2.517	0.9897055	69.274	0.894	0.111	0.118	0.941	Terreno suscettibile di liquefazione	4.54	Basso
10.70	194.429	104.208	24.030	1.550	2.521	0.9796025	69.088	0.888	0.111	0.117	0.944	Terreno suscettibile di liquefazione	4.37	Basso
10.90	198.507	106.325	23.789	1.552	2.525	0.9698026	68.908	0.883	0.110	0.117	0.947	Terreno suscettibile di liquefazione	4.18	Basso
11.10	202.205	108.061	2.062	8.528	3.819	0.9254019	81.320	0.878	0.130	0.116	1.120	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.30	205.523	109.418	2.006	8.657	3.833	0.9139279	81.523	0.872	0.130	0.116	1.125	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.50	208.841	110.775	1.951	8.790	3.846	0.9027349	81.738	0.867	0.131	0.116	1.132	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



11.70	212.159	112.131	1.898	8.927	3.860	0.8918128	81.966	0.862	0.131	0.115	1.138	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.90	215.477	113.488	1.846	9.068	3.874	0.8811517	82.206	0.856	0.132	0.115	1.145	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.10	218.795	114.845	1.796	9.214	3.888	0.8707426	82.460	0.851	0.132	0.115	1.153	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.30	222.113	116.201	1.746	9.365	3.902	0.8605765	82.726	0.846	0.133	0.114	1.161	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



Variazione del coefficiente di sicurezza con la profondità – VERTICALE 2



DATI GENERALI

Data 23.10.2018
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 1.5 m

CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA

Base 0 m

Lunghezza 0 m

Carico in superficie 0 kPa

Metodo calcolo stato tensionale -

Coefficiente di Poisson -

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.121

Fattore amplificazione 2.5

Tipo Suolo: D-Terreni granulari sciolti e poco addensati, coesivi consistenti $V_{s30} < 180$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.8

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (M_w) 6.14

Peak ground acceleration (PGA) 0.1815

PARAMETRI GEOTECNICI – VERTICALE DI VERIFICA 3

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unia volume (KN/mc)	Peso unita volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocita onde di taglio Vs (m/s)
1	limo-argilloso	0	1	16.88	17.67	0	0	444	53	102.5
2	limi-argillosi	1	2.2	16.79	17.57	0	0	435	60	102.5
3	limi-argillosi	2.2	3.5	17.49	18.27	0	0	675	74	102.5
4	argille-limose	3.5	4.2	16.54	17.32	0	0	415	49	104.7
5	sabbi fini limose	4.2	8	16.52	17.3	0	0	447	24	104.7
6	sabbie fini limose	8	11	18.92	19.71	3	0	1668	42	131
7	sabbie e limi	11	12.5	15.66	16.45	0	0	402	23	131
8	limi-argilloso sabbiosi	12.5	15	15.89	16.68	0	0	465	21	131

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67



Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1.70	28.789	26.828	15.141	14.771	3.309	1.7	80.328	0.987	0.128	0.075	1.712	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
1.90	32.303	28.380	14.189	14.900	3.332	1.7	82.914	0.985	0.133	0.079	1.677	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.10	35.817	29.933	13.336	15.031	3.353	1.7	85.463	0.984	0.138	0.083	1.658	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.30	39.401	31.556	20.142	11.643	3.149	1.7	98.212	0.982	0.168	0.087	1.938	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.50	43.055	33.248	19.007	11.710	3.168	1.7	101.153	0.981	0.176	0.090	1.962	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.70	46.709	34.941	17.981	11.778	3.187	1.7	104.047	0.979	0.185	0.093	1.996	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2.90	50.363	36.634	17.051	11.847	3.205	1.7	106.898	0.978	0.194	0.095	2.037	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.10	54.017	38.326	16.203	11.917	3.222	1.7	109.710	0.976	0.203	0.097	2.084	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.30	57.671	40.019	15.426	11.987	3.239	1.7	112.486	0.975	0.212	0.099	2.138	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.50	61.325	41.712	14.712	12.059	3.255	1.7	115.229	0.973	0.222	0.101	2.197	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.70	64.789	43.214	8.104	13.992	3.487	1.7	97.687	0.972	0.167	0.103	1.618	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3.90	68.253	44.717	7.754	14.131	3.504	1.7	99.879	0.970	0.173	0.105	1.649	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



4.10	71.717	46.220	7.427	14.274	3.521	1.7	102.066	0.969	0.179	0.106	1.683	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.30	75.179	47.720	7.792	6.455	3.282	1.7	79.289	0.967	0.126	0.108	1.173	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.50	78.639	49.219	7.484	6.515	3.298	1.7	81.173	0.966	0.130	0.109	1.189	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.70	82.099	50.718	7.195	6.577	3.314	1.7	83.056	0.964	0.133	0.110	1.208	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4.90	85.559	52.216	6.922	6.640	3.330	1.7	84.941	0.963	0.137	0.112	1.228	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.10	89.019	53.715	6.664	6.704	3.345	1.7	86.827	0.961	0.141	0.113	1.251	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.30	92.479	55.214	6.421	6.770	3.361	1.7	88.716	0.959	0.145	0.114	1.275	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.50	95.939	56.712	6.190	6.836	3.376	1.7	90.609	0.958	0.149	0.115	1.302	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.70	99.399	58.211	5.971	6.904	3.391	1.7	92.505	0.956	0.154	0.115	1.330	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5.90	102.859	59.710	5.764	6.974	3.406	1.674769	93.005	0.955	0.155	0.116	1.331	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.10	106.319	61.208	5.566	7.045	3.420	1.633762	92.561	0.953	0.154	0.117	1.313	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.30	109.779	62.707	5.378	7.117	3.435	1.594716	92.143	0.952	0.153	0.118	1.296	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.50	113.239	64.206	5.198	7.191	3.449	1.557493	91.752	0.950	0.152	0.119	1.281	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6.70	116.699	65.704	5.027	7.266	3.464	1.521968	91.385	0.949	0.151	0.119	1.267	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



6.90	120.159	67.203	4.863	7.343	3.478	1.488027	91.042	0.947	0.150	0.120	1.254	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.10	123.619	68.702	4.707	7.422	3.492	1.455567	90.722	0.946	0.149	0.120	1.242	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.30	127.079	70.200	4.557	7.502	3.506	1.424493	90.423	0.944	0.149	0.121	1.231	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.50	130.539	71.699	4.414	7.584	3.520	1.394718	90.146	0.943	0.148	0.121	1.221	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.70	133.999	73.198	4.276	7.668	3.534	1.366162	89.889	0.941	0.148	0.122	1.211	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7.90	137.459	74.696	4.144	7.753	3.548	1.338752	89.652	0.940	0.147	0.122	1.202	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.10	141.160	76.436	19.975	2.751	2.731	1.308282	92.316	0.938	0.153	0.122	1.250	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.30	145.102	78.417	19.421	2.758	2.742	1.275237	91.693	0.937	0.152	0.123	1.238	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.50	149.044	80.397	18.893	2.765	2.752	1.243821	91.094	0.935	0.150	0.123	1.226	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.70	152.986	82.378	18.391	2.772	2.762	1.213915	90.519	0.933	0.149	0.123	1.215	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8.90	156.928	84.359	17.912	2.779	2.772	1.185413	89.966	0.932	0.148	0.123	1.205	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.10	160.870	86.339	17.456	2.787	2.782	1.158219	89.433	0.930	0.147	0.123	1.195	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.30	164.812	88.320	17.020	2.794	2.791	1.132245	88.920	0.926	0.145	0.122	1.190	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.50	168.754	90.301	16.603	2.801	2.800	1.10741	88.424	0.920	0.144	0.122	1.186	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

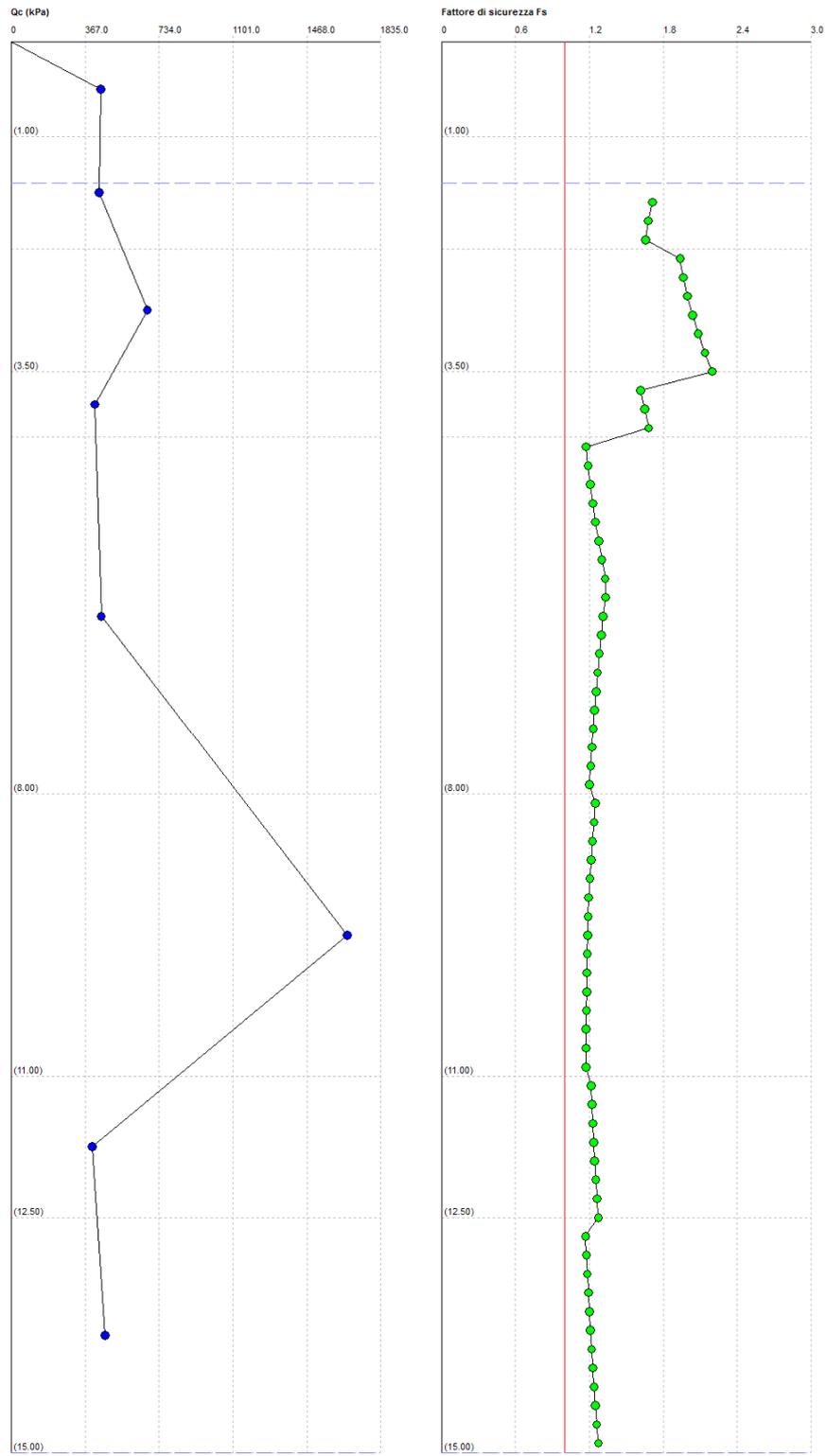


9.70	172.696	92.281	16.204	2.809	2.810	1.083641	87.947	0.915	0.143	0.121	1.183	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9.90	176.638	94.262	15.821	2.816	2.819	1.060871	87.485	0.910	0.142	0.121	1.180	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.10	180.580	96.243	15.455	2.824	2.827	1.039039	87.039	0.904	0.141	0.120	1.178	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.30	184.522	98.223	15.103	2.831	2.836	1.018087	86.607	0.899	0.140	0.119	1.176	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.50	188.464	100.204	14.765	2.839	2.845	0.9979628	86.189	0.894	0.140	0.119	1.174	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.70	192.406	102.185	14.440	2.846	2.853	0.978619	85.784	0.888	0.139	0.118	1.173	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10.90	196.348	104.166	14.128	2.854	2.862	0.9600108	85.392	0.883	0.138	0.118	1.172	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.10	199.964	105.820	1.909	11.384	3.918	0.9449995	87.452	0.878	0.142	0.117	1.213	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.30	203.254	107.149	1.855	11.573	3.933	0.9332814	87.683	0.872	0.143	0.117	1.220	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.50	206.544	108.478	1.802	11.767	3.947	0.9218501	87.929	0.867	0.143	0.117	1.227	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.70	209.834	109.806	1.750	11.969	3.962	0.9106956	88.191	0.862	0.144	0.116	1.235	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11.90	213.124	111.135	1.700	12.177	3.976	0.8998079	88.468	0.856	0.144	0.116	1.244	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.10	216.414	112.464	1.650	12.393	3.991	0.8891773	88.761	0.851	0.145	0.116	1.253	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.30	219.704	113.792	1.602	12.617	4.006	0.8787949	89.070	0.846	0.146	0.115	1.262	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso



12.50	222.994	115.121	1.555	12.849	4.021	0.8686524	89.396	0.840	0.146	0.115	1.272	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.70	226.330	116.496	2.049	8.799	3.829	0.8584021	83.444	0.835	0.134	0.115	1.169	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
12.90	229.666	117.870	1.997	8.923	3.842	0.8483909	83.632	0.830	0.134	0.114	1.176	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13.10	233.002	119.245	1.946	9.052	3.854	0.8386105	83.831	0.824	0.135	0.114	1.184	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13.30	236.338	120.620	1.896	9.184	3.867	0.8290531	84.042	0.819	0.135	0.113	1.192	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13.50	239.674	121.994	1.847	9.320	3.880	0.819711	84.264	0.814	0.136	0.113	1.200	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13.70	243.010	123.369	1.799	9.460	3.893	0.8105773	84.497	0.808	0.136	0.113	1.209	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13.90	246.346	124.744	1.753	9.604	3.906	0.8016447	84.743	0.803	0.137	0.112	1.218	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
14.10	249.682	126.118	1.707	9.753	3.920	0.7929069	85.000	0.798	0.137	0.112	1.228	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
14.30	253.018	127.493	1.663	9.907	3.933	0.7843575	85.270	0.792	0.138	0.111	1.238	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
14.50	256.354	128.868	1.619	10.065	3.946	0.7759905	85.553	0.787	0.138	0.111	1.249	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
14.70	259.690	130.242	1.576	10.228	3.960	0.7678002	85.848	0.782	0.139	0.110	1.260	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
14.90	263.026	131.617	1.535	10.397	3.973	0.7597809	86.157	0.776	0.139	0.110	1.272	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



Variation of the safety coefficient with depth – VERTICALE 3