



**REGIONE
LOMBARDIA**



PROVINCIA DI PAVIA



**COMUNE DI
TRAVACÒ
SICCOMARIO**



**COMUNE DI SAN MARTINO
SICCOMARIO**

**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO TRA VIA MADONNA
IN COMUNE DI SAN MARTINO SICCOMARIO E VIA DEL
TOVO IN COMUNE DI TRAVACÒ SICCOMARIO**

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

A cura di:



S.G.P.

SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sggp@iol.it

Il tecnico:

Vercesi Prof. Pier Luigi
Ordine dei Geologi della Lombardia n°1015

**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO
TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO
SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI
TRAVACÒ SICCOMARIO**

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 17/01/2018 - D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/2011)

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
3. INQUADRAMENTO IDROGEOMORFOLOGICO	4
3.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	5
3.2 IDROGEOLOGIA	5
3.3 IDROGRAFIA.....	9
3.4 SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CLASSIFICAZIONE SISMICA (EX O.P.C.M. N. 3274 DEL 20/03/2003).....	9
3.5 RISCHIO SISMICO E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE.....	11
4. FATTIBILITÀ GEOLOGICA	13
4.1 COMUNE DI SAN MARTINO SICCOMARIO	13
4.2 COMUNE DI TRAVACÒ SICCOMARIO	13
5. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI.....	13
6. INDAGINI DI DETTAGLIO	14
6.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE	15
6.2 TRINCEE GEOGNOSTICHE ESPLORATIVE	18
6.3 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA.....	18
6.4 RILIEVI FREATIMETRICI.....	19
6.5 PROVE DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO SUPERFICIALE.....	20
6.6 INDAGINE SISMICA	23
6.7 ANALISI SISMICA DI 2° LIVELLO.....	25
6.8 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	29

7. AZIONE SISMICA DI PROGETTO	31
7.1 CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO (EX D.M. 17/01/18)	33
7.2 CATEGORIA TOPOGRAFICA (EX D.M. 17/01/18).....	33
7.3 PARAMETRI SITO SPECIFICI	33
8. INDICAZIONI PROGETTUALI.....	35

ALLEGATI

TAVOLA 1	COROGRAFIA (scala 1:10.000)
TAVOLA 2	CARTA GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA (scala 1:10.000)
TAVOLA 3	UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE (scala 1:1.000)
ALLEGATO 1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT1 – CPT4)
ALLEGATO 2	TRINCEE GEOGNOSTICHE ESPLORATIVE (Tr1÷Tr3)
ALLEGATO 3	INDAGINE SISMICA MASW
ALLEGATO 4	STRATIGRAFIE POZZI
ALLEGATO 5	VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

1. PREMESSA

La presente relazione geologica è stata redatta supporto del Progetto di fattibilità tecnica ed economica relativo alla realizzazione di una nuova strada di collegamento tra Via Madonna, a nord, in comune di San Martino Siccomario (PV), e Via del Tovo - S.P. 64, a sud, nel territorio comunale di Travacò Siccomario (PV).

Le indagini e analisi sono state condotte in ottemperanza ai contenuti delle N.T.C. di cui al D.M. 17/01/2018 (relativi alla definizione del “modello geologico” ed alla redazione della Relazione Geologica) nonché ai criteri regionali di cui alla D.G.R. 30/11/2011 - n. IX/2616 (in merito alla verifica della fattibilità dell’intervento in rapporto alle previsioni delle Norme geologiche del PGT comunale, con specifico riferimento alle prescrizioni richieste per la classe di fattibilità geologica ed agli approfondimenti sismici dettati dagli scenari di pericolosità individuati).

Si precisa che per la stesura del presente elaborato si è fatto riferimento ad apposite indagini di dettaglio, condotte nel luglio 2023 ai fini della caratterizzazione litologica, idrogeologica, sismica e geotecnica dell’area d’indagine e di un suo adeguato intorno.

Il percorso conoscitivo delle caratteristiche geologiche, litostratigrafiche e geotecniche della fascia di territorio che sarà interessata dall’opera si è svolto secondo le seguenti fasi di studio:

- acquisizione dei dati bibliografici di carattere geologico ed idrogeologico ed analisi delle indagini pregresse relativi all’area di intervento e ad un suo adeguato intorno. In particolare, si è fatto riferimento ai seguenti lavori:
 - Piano di Governo del Territorio, variante parziale 2018, del Comune di San Martino Siccomario (PV), a firma del Dott. Geol. Gianluca Nascimbene (Novembre 2018);
 - Piano di Governo del Territorio, variante parziale 2011, del Comune di Travacò Siccomario (PV), redatto dal Dott. Geol. Adriano Zorzoli (Novembre 2011);
 - Piano Cave della Provincia di Pavia (Giugno 2004)
- analisi foto-interpretativa dell’area in esame e di un suo adeguato intorno;
- analisi della sismicità del territorio (in linea con le disposizioni nazionali introdotte dall’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003), con valutazione della risposta sismica locale;
- rilevamenti di campagna di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell’area di interesse e di un suo adeguato intorno;
- esecuzione di n.4 prove penetrometriche statiche, ai fini della caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica generale del substrato, con indicazioni relative al livello piezometrico;
- realizzazione di n.3 trincee geognostiche esplorative, eseguite mediante escavatore meccanico, ai fini della caratterizzazione litostratigrafica diretta degli orizzonti più superficiali del substrato d’imposta del tracciato stradale;
- esecuzione di n.3 prove di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale, eseguite in sito ai fini della stima diretta delle caratteristiche di permeabilità degli orizzonti più superficiali dei terreni, in supporto alla progettazione degli interventi di gestione delle acque meteoriche ai sensi del R.R. 23/11/17 n.7 (“Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica...”) e del R.R. 19/04/19

n.8 (*“Disposizioni sull’applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n.7”*).

- esecuzione di n.1 indagine sismica, consistita in uno stendimento sismico con l’Analisi multicanale di onde di superficie [MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves] per la misura, tramite lo studio della componente verticale delle onde di Rayleigh (ZVF), dell’andamento della velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo allo scopo di definire il valore del parametro V_{seq} e la relativa categoria di sottosuolo ai sensi DM 17/01/2018;
- esecuzione analisi di 2° livello degli effetti sismici per la valutazione delle amplificazioni litologiche con la procedura semplificata indicata dai criteri regionali di cui alla D.G.R. 30 novembre 2011 - n. IX/2616, in funzione dei risultati dell’indagine sismica eseguita;
- valutazione della suscettibilità alla liquefazione, ai sensi delle N.T.C. D.M. 17/01/2018;
- verifica della fattibilità degli interventi prospettati in relazione al locale assetto idrogeomorfologico, litostratigrafico e sismico, con individuazione delle eventuali problematiche e delle possibili soluzioni.

La relazione è corredata dai seguenti elaborati:

TAVOLA 1	INQUADRAMENTO COGNOGRAFICO (scala 1:10.000)
TAVOLA 2	CARTA GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA (scala 1:10.000)
TAVOLA 3	UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE (scala 1:10.000)
ALLEGATO 1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT1 – CPT4)
ALLEGATO 2	TRINCEE GEOGNOSTICHE ESPLORATIVE (Tr1 – Tr3)
ALLEGATO 3	INDAGINE SISMICA MASW
ALLEGATO 4	STRATIGRAFIE POZZI
ALLEGATO 5	VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il tracciato della nuova strada inizia, a settentrione, in corrispondenza della diramazione di Via Madonna derivante dalla rotatoria sulla S.P.181, e si sviluppa, con direzione grossomodo NO-SE, per circa 1,5 Km, fino a raccordarsi con Via Tovo – S.P.64, in corrispondenza dell’incrocio con Via Giacomo Matteotti.

La prima parte, per gli iniziali 1.000 m ca., si estende sul territorio comunale di San Martino Siccomario (PV), mentre i restanti 500 m ca. attraversano quello di Travacò Siccomario (PV).

La fascia di territorio interessata dagli interventi è interamente pianeggiante, con quote assolute del piano campagna comprese tra 60 e 62 m s.l.m. (v. Tav. 1 realizzata su base cartografica derivata dalla Sezione B7b5 del Data Base Topografico regionale – DBT).

3. INQUADRAMENTO IDROGEOMORFOLOGICO

I paragrafi seguenti descrivono i tratti salienti del territorio all’interno del quale ricade la strada in progetto per quanto riguarda i suoi caratteri geologico-strutturali, geolitologici, geomorfologici, idrogeologici, idrografici e sismici.

3.1 Geologia e geomorfologia

L'area in esame, cartografata al Foglio 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, si colloca all'interno del ripiano alluvionale olocenico presente alla confluenza Ticino-Po, corrispondente all'area di divagazione post-glaciale degli stessi.

Nell'ambito di tale ripiano, ribassato in zona di circa 15 m rispetto al livello fondamentale della pianura o Piano Generale Terrazzato, su un cui lembo relitto (creato dall'azione erosiva combinata del Ticino e del Po nella fase cataglaciale wurmiana) si collocano gli abitati di San Martino Siccomario e Travacò Siccomario, si possono individuare, in dettaglio, una serie di superfici progressivamente degradanti verso l'alveo dei due fiumi, ovvero i ripiani delle Alluvioni antiche, medie ed attuali/recenti (v. Tav. 2).

Tali ripiani sono separati tra loro da scarpate di altezza modesta, spesso difficilmente distinguibili in quanto ormai smantellate dall'erosione o dalle profonde trasformazioni agrarie subite dal territorio.

Dal punto di vista litologico, le alluvioni oloceniche sono rappresentate da materiali di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa con più o meno diffuse intercalazioni limose, corrispondenti a depositi di esondazione durante le piene o di riempimento di lanche relitte (cfr. stratigrafie di pozzi idrici raccolti nell'All. 4).

Per quanto riguarda il sito d'intervento, esso ricade nell'ambito del ripiano delle Alluvioni recenti, caratterizzate da sabbie e ghiaie talora in matrice limosa e locali livelli torbosi.

Dal punto di vista geomorfologico, il piano di campagna risulta regolarizzato dalle attività antropiche connesse alle usuali pratiche agronomiche, che hanno portato alla formazione di appezzamenti regolari, i quali mascherano, almeno parzialmente, l'originaria morfologia del ripiano. In corrispondenza della zona di interesse, le quote assolute medie sono comprese tra ca. 62 m s.l.m. (a ovest) e ca. 60 m s.l.m. (a est).

3.2 Idrogeologia

Le caratteristiche idrogeologiche della zona esaminata riflettono ovviamente l'assetto geologico e litostratigrafico messo in luce dalle ricerche bibliografiche effettuate e dall'analisi delle stratigrafie disponibili.

L'ambito territoriale in esame presenta, infatti, una successione litostratigrafica caratterizzata da corpi sedimentari a granulometria grossolana dotati di buona permeabilità (sabbie, sabbie ghiaiose, ecc.), a cui si alternano corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine che sono più frequenti negli orizzonti superficiali delle successioni alluvionali (limi, argille, talora torbe, ecc.).

All'interno di questa idro-struttura, la circolazione dell'acqua avviene ovviamente soprattutto nei depositi grossolani che, grazie alla loro permeabilità, svolgono le funzioni di condotta delle acque sotterranee.

In bibliografia, il sottosuolo della pianura lombarda è stato classificato a seconda degli Autori interessati considerando i differenti approcci di partenza nella descrizione di questa architettura sotterranea (stratigrafici, idrostratigrafici e idrogeologici).

Nella figura seguente sono messe a confronto le interpretazioni classiche proposte dai diversi autori (tratto da Avanzini et al., 1995 - modificato).

DENOMINAZIONI UTILIZZATE PER LA DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO							
	UNITA' LITOLOGICHE		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		UNITA' STRATIGRAFICHE	ETA'	UNITA' IDROGEOLOGICHE
	Mazzarella S. e Martinis B.		Francani V. e Pozzi R.		A.G.I.P.		Avanzini M. et Al.
	LITOZONA GHIAIOSO-SABBIOSA	ACQUIFERO TRADIZIONALE	FLUVIOGLACIALE WÜRM AUCT. (Diluvium recente)	I ACQUIFERO	ALLUVIONE	PLEISTOCENE SUPERIORE	UNITA GHIAIOSO-SABBIOSA
			FLUVIOGLACIALE RISS-MINDEL AUCT. (Dil. Medio-Antico)	II ACQUIFERO		PLEISTOCENE MEDIO	UNITA GHIAIOSO-SABBIOSO-LIMOSA
			CEPPO AUCT.			PLEISTOCENE INFERIORE	UNITA A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI
	LITOZONA SABBIOSO-ARGILLOSA	ACQUIFERI PROFONDI	VILLA FRANCHIANO	III ACQUIFERO	SABBIE DI ASTI		UNITA SABBIOSO-ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)
	LITOZONA ARGILLOSA					(CALABRIANO)	UNITA ARGILLOSA (facies marina)

Per quanto attiene ai caratteri litostratigrafici dell'area in esame, adottando il classico schema strutturale del sottosuolo dell'area milanese e del settore pavese settentrionale (Martinis e Mazzarella, 1971), si possono distinguere dall'alto in basso le seguenti tre litozone principali, che presentano caratteri granulometrici decrescenti con la profondità:

- a) "litozona ghiaioso-sabbiosa" che si estende fino alla profondità di circa 70 m dal p.c. e costituita da prevalenti depositi ghiaioso-sabbiosi;
- b) "litozona sabbioso-argillosa" presente tra i 70 ed i 150 m di profondità, costituita in zona da argille alternate a sabbie e sabbie ghiaiose;
- c) "litozona argillosa", al di sotto della precedente.

Nell'area d'intervento l'analisi riguarda la litozona ghiaioso-sabbiosa.

A sua volta tale litozona può essere distinta secondo la classificazione di Francani e Pozzi (1981) in:

- I acquifero, fluvioglaciale Würm;
- II acquifero, fluvioglaciale Riss e Mindel.

Questi due settori sono stati definiti da Avanzini et Al. (1995) come:

- Unità ghiaioso-sabbiosa;
- Unità ghiaioso-sabbioso-limosa

Negli studi idrogeologici più recenti ("Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" realizzata a cura della Regione Lombardia e dell'ENI - 2002) gli acquiferi della pianura lombarda vengono distinti e raggruppati in Unità Idrostratigrafiche Sequenziali (UIS), ovvero corpi litologici costituiti da una o più sequenze deposizionali, definite e sostenute da un basamento scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquitcludo), arealmente continuo.

Nel settore di pianura in esame sono state distinte quattro Unità Idrostratigrafiche Sequenziali, definite da soglie di permeabilità ad estensione regionale, denominate Gruppo Acquifero A, B, C e D a partire da piano campagna.

La tabella seguente mette in relazione i rapporti intercorrenti tra le Unità Idrostratigrafiche Sequenziali sopracitate con le Unità Idrostratigrafiche e Idrogeologiche tradizionali (descritte nella figura precedente), qui corrispondenti alla successione dei tre acquiferi in cui veniva normalmente suddiviso l'insieme deposizionale lombardo.

UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE ED IDROGEOLOGICHE TRADIZIONALI		NUOVE UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE	
ACQUIFERO TRADIZIONALE	I ACQUIFERO	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSA	A
	II ACQUIFERO	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSO-LIMOSA	B
UNITA' A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI			
ACQUIFERI PROFONDI	III ACQUIFERO	UNITA' SABBIOSO ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)	C
		UNITA' ARGILLOSA	D

Gli studi propedeutici condotti da Regione Lombardia a supporto della revisione Piano di Gestione del Distretto idrografico del fiume Po (PdG Po 2015) e quindi del Piano di Tutela e Uso delle Acque, denominato PTUA 2016, hanno portato ad un aggiornamento del modello concettuale della struttura idrogeologica dei settori di pianura e di fondovalle in Lombardia.

In particolare, l'individuazione dei corpi idrici sotterranei è stata condotta a seguito dell'identificazione delle principali idrostrutture (subcomplessi idrogeologici) ossia dei principali sistemi idrogeologici definiti dalle relazioni geometriche tra complessi e dalle condizioni di flusso idrico sotterraneo; tali sistemi sono composti da unità con differente litologia ma con simile comportamento idrogeologico cioè simile comportamento in riferimento al flusso idrico sotterraneo.

Si è arrivati così alla ricostruzione del modello concettuale della struttura idrogeologica dei settori di pianura e di fondovalle in Lombardia con la definizione di alcuni subcomplessi idrogeologici, ulteriormente suddivisi in modo più specifico in singoli corpi idrici.

Tali ricostruzioni mantengono comunque come riferimento la suddivisione derivata dallo studio Eni-Divisione Agip 2002, con l'identificazione delle quattro Unità Idrostratigrafiche Sequenziali, corrispondenti ai Gruppi Acquiferi A, B, C e D.

Il limite di passaggio tra Gruppi Acquiferi è stato identificato dalle superfici di base degli stessi, maggiormente dettagliate rispetto alla precedente interpretazione sulla base delle informazioni litostratigrafiche e sedimentologiche desunte dai dati stratigrafici puntuali.

Inoltre si è reso necessario differenziare il Gruppo Acquifero A, a partire dal limite tra alta e media pianura, in 2 sottogruppi, denominati A1 e A2. La differenziazione in sottogruppi ha permesso di delimitare gli acquiferi superficiali, in comunicazione diretta con la superficie, generalmente sede dell'acquifero libero, dagli acquiferi intermedi e profondi, comunicanti solo localmente con gli acquiferi superficiali per interruzione degli acquitardi di separazione (in corrispondenza di paleoalvei o di eteropie laterali) o drenanza dagli stessi.

Sono quindi state identificate tre idrostrutture principali di seguito elencate:

- ISS (Idrostruttura Sotterranea Superficiale) comprendente la porzione superiore del Gruppo Acquifero A (denominata Unità A1) nella media e bassa pianura.
- ISI (Idrostruttura Sotterranea Intermedia), sede di acquiferi da semiconfinati a confinati, comprendente la porzione profonda del Gruppo Acquifero A (denominata Unità A2) e il Gruppo Acquifero B presente nella media e bassa pianura.
- ISP (Idrostruttura sotterranea profonda), sede di acquiferi confinati comprendente il Gruppo Acquifero C nei settori di alta e media pianura in cui esso è conosciuto tramite indagini dirette e captato.

I limiti tra idrostrutture sono stati posti in corrispondenza del tetto dell'acquitarzo / acquicludo di separazione tra le due idrostrutture, in genere in corrispondenza del tetto di un livello significativamente spesso e continuo di argille e/o limi.

Per l'area in esame, l'analisi delle stratigrafie dei pozzi profondi presenti nel territorio dei comuni interessati e di quelli limitrofi, permette di riconoscere nel settore in esame la litozona ghiaioso-sabbiosa (Unità A1) sino alla profondità di circa 40-60 m, corrispondente all'Idrostruttura Sotterranea Superficiale, caratterizzata dall'alternanza di depositi sabbiosi e ghiaiosi intercalati da lenti e livelli di argille e limi sabbiosi. Al di sotto l'Unità A2 presenta in genere depositi complessivamente a granulometria più fine attribuibili al "secondo acquifero".

La prima falda, a carattere eminentemente freatico, si estende sino a circa 20-30 m di profondità.

Le falde sottostanti, si rinvengono a maggiori profondità e sono protette dagli strati impermeabili o semipermeabili soprastanti.

L'assetto piezometrico locale, desunto a scala territoriale da indagini bibliografiche, è rappresentato dalla piezometria della prima falda contenuta nella Tav.2. In particolare, la piezometria riportata nella tavola è stata desunta dal "Piano Cave della Provincia di Pavia – Tav. 5, Assetto idrogeologico – Giugno 2004".

Questo assetto è stato confrontato con quello dei singoli PGT Comunali e risulta, a scala territoriale, grossomodo coerente per quanto riguarda l'andamento e con qualche lieve scostamento per ciò che attiene alle quote assolute.

In sintesi, l'andamento della superficie piezometrica e la direzione principale di flusso delle acque sotterranee dell'area di specifico interesse sono condizionati dal corso dei Fiumi Ticino e Po, la cui confluenza rappresenta il principale asse di drenaggio locale, evidenziando in corrispondenza della zona di diretto interesse un senso di flusso diretto circa O-E, con quote comprese tra 61,5 m s.l.m. (a ovest) e 60,5 m s.l.m. (a est).

In considerazione delle quote del locale piano campagna, la soggiacenza della falda, in determinati periodi di particolare impinguamento della stessa, risulta quindi nell'ordine di 1-2 m circa. Occorre rilevare che la superficie piezometrica è naturalmente soggetta a variazioni stagionali correlate all'andamento pluviometrico ed all'esercizio delle pratiche irrigue, con la conseguente ricarica dell'acquifero nei periodi di irrigazione dei terreni.

Infatti, dato il regime idrologico che caratterizza la falda superficiale, le oscillazioni stagionali possono essere anche marcate, raggiungendo i massimi nel corso della stagione irrigua estiva e i minimi nel periodo tardo-invernale.

Tali informazioni di carattere bibliografico sono state sostanzialmente confermate dalle indagini geognostiche eseguite nell'area di diretto interesse (v. successivo paragrafo 6.2).

3.3 Idrografia

Per quanto concerne il reticolo idrico superficiale, gli elementi principali risultano ovviamente essere i fiumi Ticino, che scorre ca. 3,3 Km a NE dell'area in esame, e Po, ca. 3,0 Km a SE.

Per quello che riguarda il contesto di più stretto interesse, esso è costituito dalla presenza di un fitto sistema di canali artificiali (rogge, cavi, ecc.), di vecchia o più recente impostazione, utilizzati per soddisfare le locali necessità irrigue agricole.

Tra questi, si segnala principalmente il Canale Rotta, che scorre nella zona di interesse con andamento ca. N-S ed incontra il tracciato stradale in corrispondenza del confine tra i due Comuni.

La strada in progetto, inoltre, incontrerà altri canali e rogge minori, la cui individuazione e modalità di attraversamento sarà definita in dettaglio in fase di progettazione definitiva-esecutiva.

Nelle rogge principali il flusso delle acque è pressoché continuo, mentre nei canali secondari il deflusso è discontinuo e regolato dai fabbisogni idrici delle colture.

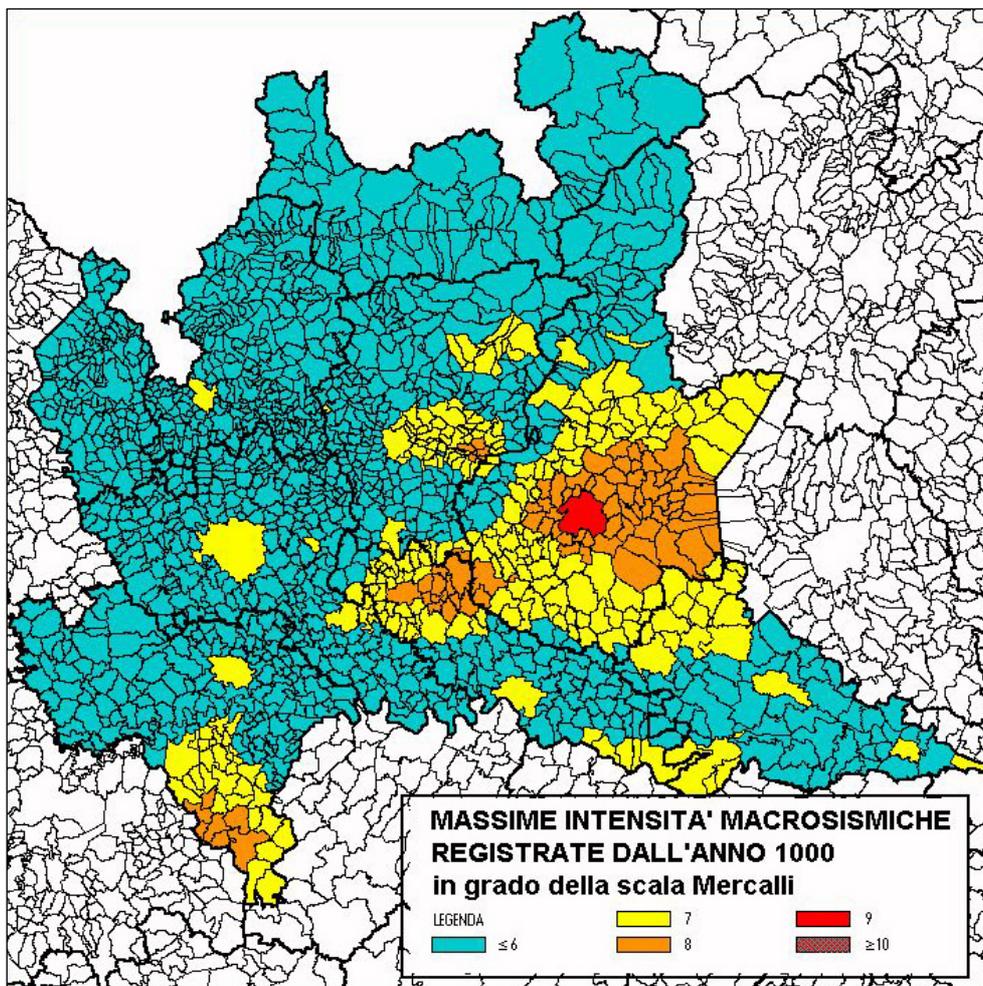
Esiste ovviamente una stretta correlazione tra l'esercizio delle pratiche irrigue ed il regime idrologico delle acque sotterranee, a causa della ricarica verticale diretta dell'acquifero ad opera delle acque di irrigazione.

Nella Tav. 2 sono visibili i principali elementi della rete idrografica presenti in questo settore, come definiti dai singoli PGT e dalle varie cartografie reperite a livello bibliografico.

3.4 Sismicità del territorio e classificazione sismica (ex O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/203)

L'attività sismica storica di questo settore della pianura padana appare come la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria, interessata da deboli deformazioni, dove l'attività neotettonica profonda è determinata dalla collisione tra le unità alpine sud-vergenti e quelle appenniniche nord-vergenti.

La carta delle "*Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia*", predisposta sulla base dei dati contenuti nella banca dati macrosismici del GNDT e di quelli contenuti nel Catalogo dei forti terremoti in Italia di ING/SGA, mostra come l'intensità massima dei terremoti verificatisi in epoca storica nell'area in esame sia stata pari al VI grado della scala MCS (v. figura seguente).



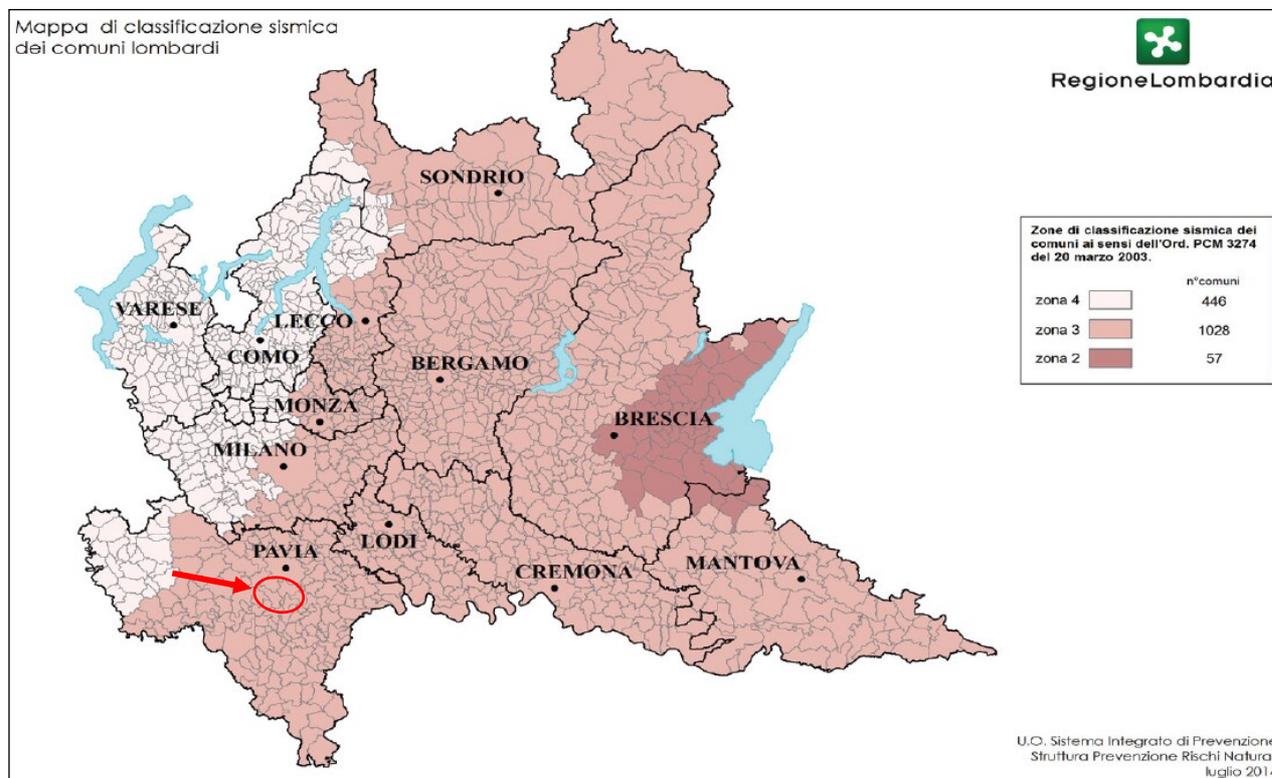
Carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia – Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (Molin, Stucchi, Valensise - 1996).

I Comuni di San Martino Siccomario e Travacò Siccomario, sulla base del D.M. del 5 marzo 1984 (“*Dichiarazione di sismicità di alcune zone della Regione Lombardia*”), riguardante l’aggiornamento delle zone sismiche della Regione Lombardia, non rientravano tra i Comuni lombardi classificati come sismici e quindi assoggettati (ai sensi della L. n° 64/74) alla specifica normativa nazionale emanata in merito alle norme tecniche relative alle costruzioni sismiche (D.M. 19 giugno 1984, D.M. 29 gennaio 1985, D.M. 29 Gennaio 1985, D.M. 26 Gennaio 1986 e D.M. 16 Gennaio 1996).

Con l’Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri (pubblicata sulla G.U. n. 105, S.o.n. 72 del 08/05/2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”), è stata effettuata una riclassificazione sismica dell’intero territorio italiano; i Comuni di San Martino Siccomario e Travacò Siccomario ricadevano in zona sismica 4, ovvero in quella a minor grado di sismicità (zona definita a «sismicità bassa») per cui l’assoggettamento o meno a norme antisismiche è demandato alla regione di appartenenza.

La Regione Lombardia, a tal proposito, ha emesso la D.G.R. 07/11/2003 n. 7/14964, che ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla Ordinanza 3274/2003.

La riclassificazione operata recentemente dalla Regione Lombardia con D.G.R. 11/07/2014 n. X/2129 ha riclassificato i Comuni interessati in **zona sismica 3** (v. figura seguente).



Riclassificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014. La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata.

3.5 Rischio sismico e pericolosità sismica locale

La pericolosità sismica di un'area dipende dalle caratteristiche sismiche e dalle condizioni geologiche e morfologiche locali.

Le caratteristiche sismiche di un'area sono definite dalle sorgenti sismogenetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti. Questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica di base" e sono quelli considerati per la classificazione sismica. Da queste caratteristiche deriva il moto di input atteso, per il calcolo del quale non vengono considerate le caratteristiche locali e il territorio è trattato come se fosse uniforme ed omogeneo cioè pianeggiante e costituito da suolo rigido in cui la velocità di propagazione delle onde S (V_s) è maggiore di 800 m/s (suolo A dell'Eurocodice 8 - parte 1, EN 1998-1, 2003, dell'OPCM 3274/2003 e del D.M. 14/09/2005, ripreso dal D.M. 17/01/2018).

Il moto sismico può essere però modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali. Alcuni depositi e forme del paesaggio possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni dovute alle caratteristiche locali sono comunemente definite "effetti locali".

La Regione Lombardia con la D.G.R. n. VIII/1566 del 22 dicembre 2005 ripresa e integrata dalle successive D.G.R. VIII /7374 del 28 maggio 2008, ha definito la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, in adempimento a quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 «Norme tecniche per le costruzioni», dalla D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e dal D.D.U.O. n. 19904 del 21 novembre 2003.

La metodologia utilizzata, in base a quanto previsto dalla successiva D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011, si fonda sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate su alcune aree campione della Regione Lombardia, i cui risultati sono contenuti in uno «Studio-Pilota» redatto dal Politecnico di Milano – Dip. di Ingegneria Strutturale, reso disponibile sul SIT regionale.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale definiti nell'Allegato 5 della D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011.

Si ricorda a questo proposito, che a partire dal D.M. 14 gennaio 2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'Allegato B al citato D.M.; la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento.

I livelli di approfondimento, in conformità a quanto previsto dalla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, sono di seguito di richiamati:

- 1° livello: riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti: redazione della Carta della pericolosità sismica locale, con perimetrazione areale e lineare delle “aree a Pericolosità Sismica Locale – PSL”.
- 2° livello: caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).
- 3° livello: definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite da effettuare in fase progettuale.

L'analisi sismica di 1° livello effettuata dagli specifici studio geologici a supporto dei singoli PGT dei Comuni interessati dal tracciato stradale oggetto d'intervento ha fornito le seguenti indicazioni:

- **Comune di San Martino Siccomario:** l'intero territorio (e quindi anche l'area oggetto d'indagine) ricade nella situazione corrispondente allo scenario **Z4a** “Zona di fondovalle, con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi”, in grado di determinare gli effetti sismici locali per amplificazioni litologiche e geometriche. Inoltre, nella porzione occidentale del territorio comunale, sono state individuate zone riconducibili allo scenario **Z3a** “Zona di ciglio $H > 10\text{ m}$ (scarpa, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)”; che corrispondono ad una scarpata di origine fluviale che presenta, localmente, altezze di ca. 18 m;
- **Comune di Travacò Siccomario:** l'intero territorio (e quindi anche l'area oggetto d'indagine) ricade nella situazione corrispondente allo scenario **Z4a** “Zona di fondovalle, con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi”, in grado di determinare gli effetti sismici locali per amplificazioni litologiche e geometriche.

Per lo scenario **Z4a** (amplificazioni litologiche e geometriche), la normativa regionale (D.G.R. 30 marzo 2016 – n. X/5001), nei Comuni ricadenti in zona sismica 3, richiede l'applicazione del 2° livello di approfondimento degli effetti sismici in fase di progettazione.

Pertanto, si è provveduto a svolgere l'analisi sismica di 2° livello a partire dai risultati dell'indagine sismica eseguita in corrispondenza del tracciato della strada in progetto. (v. paragrafo 6.6 ed All. 3).

In questa fase di analisi è stata altresì effettuata una valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione, con riferimento alle indicazioni delle N.T.C. di cui al D.M. 17/01/2018 (v. successivo paragrafo 6.7).

4. FATTIBILITÀ GEOLOGICA

4.1 Comune di San Martino Siccomario

Il “Piano di Governo del Territorio, variante parziale 2018”, del Comune di San Martino Siccomario (PV), a firma del Dott. Geol. Gianluca Nascimbene (Novembre 2018), in merito alla fattibilità geologica per le azioni di piano, classifica il territorio attraversato dal nuovo tracciato stradale nella **classe 3 di fattibilità**, dove sono state riscontrate **consistenti limitazioni** alla modifica della destinazione d’uso dei terreni. Sono aree prevalentemente agricole, nelle quali le consistenti limitazioni riscontrate sono principalmente riconducibili all’assetto idrogeologico degli stessi e corrispondenti ad ambiti con caratteristiche geotecniche scadenti dei terreni.

4.2 Comune di Travacò Siccomario

Il “Piano di Governo del Territorio, variante parziale 2011”, del Comune di Travacò Siccomario (PV), a firma del Dott. Geol. Adriano Zorzoli (Novembre 2011), classifica il territorio attraversato dal tratto finale del tracciato stradale oggetto d’intervento nella **classe 2 di fattibilità**, che comprende le zone in cui sono state riscontrate **modeste limitazioni** alla modifica della destinazione d’uso dei terreni. Sono aree dove si rende necessario realizzare approfondimenti di carattere geotecnico e idrogeologico limitati al singolo progetto ed all’immediato intorno, al fine di verificare le eventuali disomogeneità areali dei terreni di ondatazione dei nuovi fabbricati e di identificare le corrette tipologie fondazionali adottabili in relazione all’entità dell’intervento, predisponendo quando necessario eventuali opere di bonifica e sistemazione che non dovranno incidere negativamente sulle aree limitrofe.

Il tratto del tracciato stradale a ridosso del Canale Rotta ricade in un’area identificata come appartenente alla **classe 3 di fattibilità**, dove sono state riscontrate **consistenti limitazioni** alla modifica della destinazione d’uso dei terreni a causa dell’elevata vulnerabilità idrogeologica dei terreni.

In ogni caso, l’intervento in progetto risulta compatibile con le problematiche individuate.

5. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dal D. Lgs. 49/2010, in attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l’ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni è stato approvato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Po con deliberazione n.2 del 03/03/2016 e con D.P.C.M. del 27/10/2016. Con deliberazione n.5 del 07/12/2016, il Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del F. Po ha adottato la Variante alle Norme di Attuazione del PAI e del PAI Delta, per il coordinamento tra il PAI ed il PGRA, approvata con D.P.C.M. del 22/02/2018.



In ottemperanza alle disposizioni della D.G.R. X/7581 del 18/12/2017 concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni in campo urbanistico, è stata effettuata la verifica della congruità dell'intervento in progetto con i contenuti (classificazione e norme) derivanti dal PGRA.

Nello specifico, è stata valutata l'eventuale interferenza tra le aree potenzialmente interessate da alluvioni (aree allagabili), individuate dal PGRA, ed il tracciato stradale oggetto dell'intervento in progetto.

Le *mappe di pericolosità* del PGRA evidenziano le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali secondo gli scenari di bassa permeabilità (P1/L – alluvioni rare con T=500 anni), di media probabilità (P2/M – alluvioni poco frequenti con T=100-200 anni) e alta probabilità (P3/H – alluvioni frequenti con T=20-50 anni).

Nella figura precedente si riporta la mappa di pericolosità relativa all'ambito territoriale in esame, in cui si evidenzia come il tracciato stradale oggetto dell'intervento in progetto **interessi un'area P2/M, soggetta ad alluvioni poco frequenti del RSP (Canale Rotta).**

6. INDAGINI DI DETTAGLIO

Al fine di ricostruire le caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche di dettaglio dei primi metri del substrato della fascia di territorio interessata dalla nuova strada, sono state realizzate le seguenti indagini di dettaglio:

- **n. 4 prove penetrometriche statiche**, spinte sino alla profondità massima di 11,8 m (rifiuto), con penetrometro dinamico-statico Pagani modello "TG 63-100" tipo meccanico (Begemann), ai fini della caratterizzazione geotecnica preliminare del substrato, con indicazioni litostratigrafiche; nel corso dell'esecuzione delle prove si è inoltre proceduto al controllo del livello piezometrico locale mediante l'installazione di micro-piezometri temporanei;
- **n. 3 trincee geognostiche superficiali**, eseguite mediante escavatore meccanico, sino alla profondità massima di ca. 3,30 m, ai fini della caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica diretta degli orizzonti più superficiali del substrato d'imposta del tracciato stradale;

- **indagine geofisica**, consistente in uno stendimento sismico con l'analisi multicanale di onde di superficie (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves) per la misura, tramite lo studio della componente verticale delle onde di Rayleigh (ZVF), dell'andamento della velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo allo scopo di definire il valore del parametro V_{seq} e la relativa categoria di sottosuolo ai sensi del DM 17/01/2018;
- **n. 3 prove di permeabilità** a carico variabile in pozzetto superficiale, ai fini della stima diretta delle caratteristiche di permeabilità degli orizzonti più superficiali dei terreni.

Per l'ubicazione di tutti i punti di indagine si rimanda alla Tav.3.

Nell'Allegato 1 sono raccolti tutti i dati relativi alle 4 prove penetrometriche eseguite il giorno 24 luglio 2023 ed alla loro elaborazione ed interpretazione (grafici di prova e parametri geotecnici).

Nell'Allegato 2 sono raccolte le colonnine stratigrafiche e la relativa documentazione fotografica delle trincee geognostiche, eseguite nella giornata del 18 luglio 2023.

Nell'Allegato 3 è riportato il report relativo all'indagine sismica (MASW) eseguita nella giornata del 24 luglio 2023.

Inoltre, ai fini della caratterizzazione litostratigrafica ed idrogeologica generale dell'ambito territoriale in cui ricade l'area d'interesse, preliminarmente alle indagini eseguite di cui sopra, sono state analizzate anche le indagini pregresse disponibili, facendo riferimento alle banche dati eventualmente predisposte a supporto dei singoli PGT comunali.

6.1 Prove penetrometriche statiche

L'Allegato 1 raccoglie tutti i dati relativi alle 4 prove penetrometriche eseguite lungo il nuovo tracciato stradale (denominate CPT1÷CPT4), alla loro elaborazione ed interpretazione. L'ubicazione delle prove è riportata nella Tav.3.

La prova penetrometrica statica standard (C.P.T. – Cone Penetrometer Test) è basata sull'infissione di una punta nel terreno tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste su cui è montata la punta a velocità costante di 20 mm al secondo.

Le prove in questione sono state svolte con penetrometro dinamico-statico Pagani modello "TG 63-200" tipo meccanico (Begemann), che genera un carico di spinta pari a 20 tonnellate. Il contrasto è fornito da appositi vitoni di ancoraggio al suolo.

Lo strumento, posto alla base della batteria di aste, è costituito da una punta e da un manicotto di attrito che misurano rispettivamente la resistenza alla punta (q_c) e la resistenza laterale (f_s). Dal rapporto tra questi due valori è possibile ricostruire una stratigrafia del sottosuolo.

Il sistema tipo "Begemann" prevede che il manicotto di attrito si muova indipendentemente rispetto alla punta; essa viene conficcata nella prima fase della lettura (lettura di punta), quindi si spinge il manicotto (lettura laterale). Infine, la batteria delle aste viene fatta avanzare sino al ricongiungimento della punta e del manicotto. Tale procedura viene ripetuta ogni 20 cm.

La batteria di aste è doppia, una cava, del diametro di circa 36 mm, e l'altra piena, di diametro inferiore, che scorre all'interno delle aste cave. La lettura avviene attraverso appositi manometri che forniscono, su di un apposito display, la pressione di spinta del pistone idraulico.

Le principali caratteristiche tecniche sono le seguenti:

- Lunghezza aste 1,00 m
- Area di punta 10 cm²
- Angolo di apertura punta conica 60°
- Diametro punta 35,70 mm
- Superficie manicotto di frizione 150 cm²

I dati penetrometrici sono stati elaborati utilizzando il programma di elaborazioni geotecniche messo a punto dalla Società Geostru denominato "Static", che calcola il rapporto delle energie trasmesse tramite le elaborazioni proposte da diversi autori per estrapolare i parametri geotecnici dei terreni investigati.

Allo scopo di individuare i parametri geotecnici caratteristici (per valore caratteristico si intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento del 5% - fattile 5%) da utilizzare nelle verifiche geotecniche, così come prescritto dalle NTC 2018, si è fatto riferimento al valore di $q_{c,k}$ e di $f_{s,k}$ (dove "k" sta per "Caratteristico"), calcolato sulla base della distribuzione normale o gaussiana R.C., trattando i valori medi di Q_c e F_s , distribuiti normalmente, secondo le seguenti formule (distribuzione normale R.C.):

$$q_{c,k} = q_{c,medio} - 1,645 (\sigma q_c) / \sqrt{n}$$

$$f_{s,k} = f_{s,medio} - 1,645 (\sigma f_s) / \sqrt{n}$$

dove " σq_c " e " σf_s " rappresentano la deviazione standard di q_c e di f_s e "n" il numero di campioni.

Tale distribuzione normale R.C. restituisce valori prossimi ai valori medi.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori di $q_{c,k}$ e di $f_{s,k}$ relativi agli orizzonti rilevati sulle verticali di ciascuna prova con le interpretazioni litologiche derivate ed i valori caratteristici dei principali parametri geotecnici (i tabulati completi delle prove ed i relativi grafici sono visibili, come già precedentemente descritto, nell'Allegato 1).

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT1

Strato (n)	Prof. Strato (m)	q_c Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	f_s Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	Incoerente-Coesivo	Limo sabbioso e sabbia limosa
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	Coesivo	Limo argilloso e argilla limosa
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	Incoerente	Sabbia ghiaiosa
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT1

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,0-1,2	CI	1,4	1792	71,9	297,9	1,8	--	41,5	31,5	95,9
2	1,2-2,8	C	0,6	414,7	23,0	124,3	1,7	2,0	--	--	--
3	2,8-8,2	I	--	--	220,8	591,1	1,8	2,1	81,4	34,9	294,3
4	8,2-11,8	I	--	--	148,2	463,3	1,8	2,1	62,7	33,6	197,6

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT2

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	fs Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	Incoerente-Coesivo	Limo sabbioso e sabbia limosa
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	Coesivo	Argilla, argilla organica e torba
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	Incoerente	Sabbia limosa
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT2

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,0-0,8	CI	0,8	780,4	41,8	179,3	1,8	--	22,9	28,1	41,8
2	0,8-3,8	C	0,2	163,1	11,8	72,2	1,6	1,8	--	--	--
3	3,8-9,4	I	--	--	75,4	266,3	1,8	2,1	36,7	30,8	79,8
4	9,4-11,6	I	--	--	163,1	491,3	1,9	2,2	76,7	33,9	217,5

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT3

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	fs Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	Incoerente-Coesivo	Limo sabbioso e sabbia limosa
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	Coesivo	Argilla, argilla organica e torba
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	Incoerente	Sabbia limosa
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT3

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,0-0,6	CI	0,8	858,9	45,9	190,0	1,8	--	23,6	28,1	45,9
2	0,6-3,8	C	0,2	145,1	10,5	67,3	1,6	1,8	--	--	--
3	3,8-9,8	I	--	--	82,3	283,9	1,8	2,1	39,2	31,5	88,6
4	9,8-10,2	I	--	--	177,4	517,2	1,8	2,2	78,4	34,1	236,5

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT4

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	fs Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	Incoerente	Sabbia ghiaiosa
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	Coesivo	Limo argilloso e argilla limosa
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	Incoerente	Sabbia limosa
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT4

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,0-1,2	I	--	--	130,7	429,2	1,8	--	59,8	33,5	174,3
2	1,2-3,6	C	0,6	472,0	26,2	134,7	1,7	--	--	--	--
3	3,6-7,4	I	--	--	72,2	298,7	1,8	2,1	41,4	31,6	96,3
4	7,4-11,6	I	--	--	143,8	454,8	1,8	2,2	72,6	33,6	191,7

Legenda Parametri Geotecnici

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo, I: Incoerente, CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (kg/cm ²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (kg/cm ²)
Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (kg/cm ²)

Le prove hanno raggiunto la profondità massima di 11,80 m da p.c., profondità alla quale si è andati “a rifiuto” a causa della presenza di elementi litoidi di grandi dimensioni che hanno impedito l’infissione ulteriore della punta.

Per l’interpretazione litologica e geotecnica dei dati di campagna si rimanda al successivo paragrafo 6.3.

6.2 Trincee geognostiche esplorative

Nell’Allegato 2 sono riportate le colonnine stratigrafiche e la relativa documentazione fotografica, mentre nella Tav. 3 è indicata l’ubicazione delle singole trincee geognostiche realizzate nella giornata del 18 luglio 2023 mediante mezzo meccanico (escavatore).

Le trincee hanno raggiunto la profondità massima di ca. 3,30 m da p.c., permettendo di valutare in dettaglio la soggiacenza della falda superficiale e di definire la successione litostratigrafica locale nei primi livelli del sottosuolo; questa non risulta peraltro dissimile da quella interpretata con le prove penetrometriche.

La successione superficiale dell’area esaminata risulta complessivamente regolare, caratterizzata, al di sotto del terreno agrario in genere a tessitura limoso (dello spessore variabile tra 30 e 60 cm), da livelli costituiti da limi sabbiosi e sabbie limose, osservati fino a profondità in genere comprese tra 3,0 e 3,3 m.

Solo in corrispondenza della Tr1 l’orizzonte sabbioso-limoso evolve rapidamente, a partire da ca. 2,2 m, verso sabbie fini con locale presenza di ghiaietto sino a fondo scavo.

La falda freatica è stata intercettata rispettivamente a -2,25 m nella Tr1 e a -2,80 nella Tr2, mentre non è stata osservata presenza di acqua nella Tr3 sino alla massima profondità raggiunta.

6.3 Caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica

La caratterizzazione litostratigrafica preliminare del substrato dell’area d’intervento è stata effettuata oltre che in base all’analisi visiva diretta delle pareti di scavo delle trincee geognostiche (limitatamente ai primi metri della successione), anche a seguito dell’interpretazione delle prove penetrometriche statiche.

Infatti, dal rapporto tra la resistenza alla punta (q_c) e la resistenza laterale (f_s) è possibile trarre informazioni indirette sulle caratteristiche litologiche del sottosuolo (v. tabelle dell’interpretazione litologica, paragrafo 6.1).

In generale, il substrato dell’area d’interesse risulta costituito da depositi in cui predomina la componente incoerente, sebbene siano presenti livelli a comportamento misto incoerente-coesivo attribuibili a depositi limosi e limoso-sabbiosi e, in subordine, a livelli limoso argillosi, in cui non si esclude la presenza di una significativa componente organica e/o torbosa.

In funzione dei valori caratteristici della resistenza alla punta q_c è possibile differenziare la successione litostratigrafica in orizzonti distinti, la cui distribuzione latero-verticale risulta tuttavia non regolare all’interno dell’area d’intervento.

In superficie, è stato definito l’*Orizzonte 1*, analizzato anche con le trincee geognostiche, costituito da terreno agrario e dai sottostanti depositi limoso-sabbiosi di copertura.

Tale orizzonte presenta uno spessore variabile (minimo CPT3 con circa 0,60 m e massimo di circa 1,20 m in corrispondenza della CPT1), con valori di resistenza alla punta q_c bassi, in genere dell'ordine di 20 Kg/cm²; in corrispondenza di livelli o intercalazioni sabbiose più grossolane, localmente ghiaiose (come in corrispondenza della CPT4), la resistenza alla punta q_c cresce sino a valori dell'ordine di 50-90 Kg/cm².

Il sottostante *Orizzonte 2*, presente sino a profondità comprese tra 2,80 e 3,80 m dal p.c., corrisponde a depositi prevalentemente coerenti riconducibili a livelli limosi ed argillosi, con un ulteriore abbassamento della resistenza di punta, con valori dell'ordine di 10-15 Kg/cm².

Tuttavia, la continuità laterale di tale orizzonte risulta interrotta da locali intercalazioni argillo-torbose, come si può osservare in corrispondenza delle prove CPT2 e CPT 3. Tali terreni, probabilmente da ricondursi ad antichi paleo-meandri, sono caratterizzati da valori di resistenza alla punta q_c ulteriormente inferiori, nell'ordine di ca. 4 Kg/cm².

Nei livelli intercettati a profondità comprese tra la base del sovrastante orizzonte sino a profondità medie comprese tra 7,40 e 9,80 m dal p.c. (*Orizzonte 3*) si osserva un netto aumento della resistenza di punta, con valori di q_c dell'ordine di 40-50 Kg/cm², riconducibili a livelli prevalentemente incoerenti sabbioso-limosi.

Anche in questo caso la continuità laterale risulta interrotta dalla presenza (v. prova CPT1) di un orizzonte sabbioso-ghiaioso che si estende fino a ca. 8,20 m di profondità, con valori di resistenza alla punta molto elevati nell'ordine di ca. 150 Kg/cm².

Al di sotto di tali livelli, sino a alla massima profondità raggiunta dalle prove (11,80 m), la successione risulta caratterizzata nell'*Orizzonte 4* da livelli sabbiosi presumibilmente caratterizzati da frazioni più grossolane (ghiaia e ghiaietto), con un sostanziale incremento dei valori di resistenza alla punta q_c (in media dell'ordine di 95-120 Kg/cm²).

6.4 Rilievi freaticometrici

I rilievi freaticometrici condotti all'interno dei fori di sondaggio delle prove penetrometriche statiche e, soprattutto, durante l'apertura delle trincee geognostiche esplorative, hanno permesso di misurare la soggiacenza della falda più superficiale.

Nelle trincee, la falda, è stata intercettata alla profondità di:

- Tr1 = -2,25 m da p.c.;
- Tr2 = -2,80 m da p.c.;
- Tr3 = non intercettata sino a -3,30 m da p.c.

Nelle prove penetrometriche il livello idrico nei micropiezometri temporanei si è livellato a profondità leggermente differenti:

- CPT1 = -2,4 m da p.c.;
- CPT2 = -1,60 m da p.c.;
- CPT3 = -1,60 m da p.c.;
- CPT4 = -5,10 m da p.c.

È necessario ricordare, come già precedentemente precisato, che la superficie piezometrica è naturalmente soggetta a variazioni stagionali correlate all'andamento pluviometrico e all'esercizio delle pratiche irrigue con la conseguente ricarica dell'acquifero nei periodi di irrigazione dei terreni.

Dato il regime idrologico che caratterizza la falda superficiale, le oscillazioni stagionali possono essere anche marcate, raggiungendo i massimi nel corso della stagione irrigua estiva ed i minimi nel periodo tardo-invernale.

6.5 Prove di permeabilità in pozzetto superficiale

Come anticipato, in data 27 luglio 2023 sono state eseguite n.3 prove di permeabilità in sito a carico variabile in pozzetto superficiale, allo scopo di ottenere una stima diretta delle caratteristiche di permeabilità degli orizzonti più superficiali del substrato, di supporto alla progettazione degli interventi di gestione delle acque meteoriche ai sensi del R.R. 23/11/17 n.7 (“Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica...”) e del R.R. 19/04/19 n.8 (“Disposizioni sull’applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n.7”), descritti nella Relazione Tecnica, a cura del Dott. Ing. M. Cassani.

Le prove sono state condotte secondo le modalità dettate dalle *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche – Giugno 1977 – Associazione Geotecnica Italiana*.

Le stesse sono state eseguite in pozzetto quadrato, provvedendo a saturare preventivamente il terreno di prova (per 15/20 minuti primi) in modo da stabilire le condizioni di flusso permanente.

La prova a carico variabile consiste nel riempimento del pozzetto e nella successiva misura della velocità di abbassamento del livello dell’acqua nello stesso in funzione del tempo.

Per la valutazione del coefficiente di permeabilità si utilizza la seguente formula empirica:

$$k = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1 + \frac{2 \cdot h_m}{b}}{\frac{27 \cdot h_m}{b} + 3}$$

con:

k : coefficiente di permeabilità (m/s);

b : lato del pozzetto a base quadrata (m);

h_m : altezza media dell’acqua nel pozzetto durante la prova a carico variabile (m);

h_1 e h_2 : altezze dell’acqua nel pozzetto, misurate dalla base del pozzetto, intervallo di durata della prova a carico variabile (m);

$t_2 - t_1$: intervallo di durata della prova a carico variabile (s).

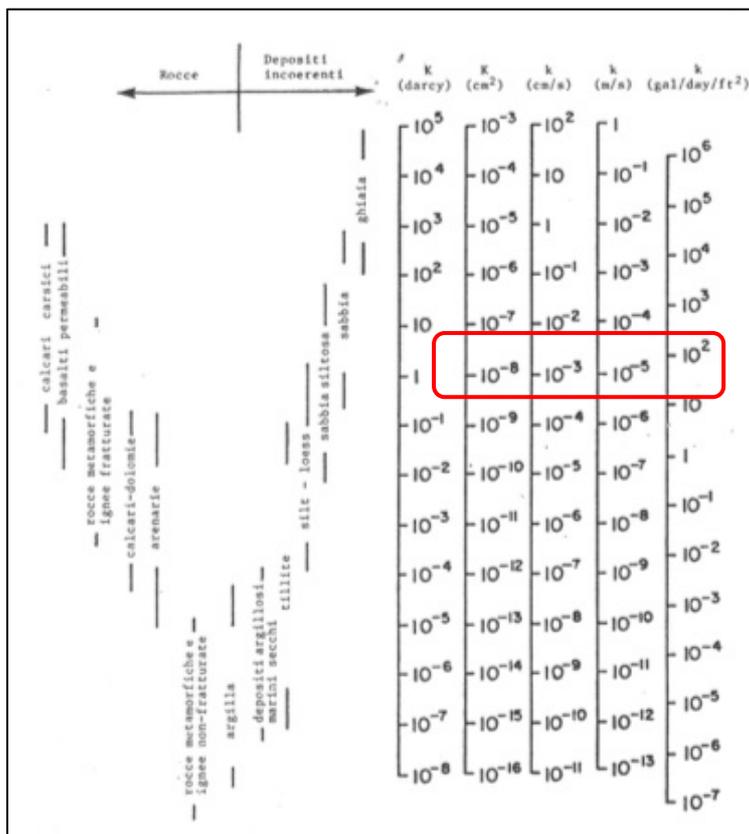
Per l’ubicazione dei punti ove sono state eseguite le prove di permeabilità si rimanda alla Tavola 3.

Le prove sono state eseguite nell’intervallo -0,00 ÷ -0,50 m dal p.c. all’interno dei terreni caratterizzati da una matrice limoso-sabbiosa.

Il *coefficiente di permeabilità* k ottenuto è compreso tra un minimo di $8,75 \times 10^{-6}$ m/s ed un massimo di $1,75 \times 10^{-5}$ m/s.

Il range di valori ottenuti nelle singole prove conferma la natura prevalentemente limoso-sabbiosa dei depositi esaminati ed il loro discreto grado di permeabilità.

A tal proposito, il grafico riportato nella figura successiva (tratto da G.P. Beretta – *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee – Tecniche per lo studio e la progettazione degli interventi di prevenzione, controllo, bonifica e recupero – 1992*) illustra la relazione tra i valori di permeabilità (**K**) e quelli del coefficiente di permeabilità (**k**) per i diversi tipi di terreni, in cui è stato evidenziato il campo in cui rientrano i depositi del substrato presente nell'area oggetto dell'indagine.



Di seguito vengono riportati i tabulati delle prove eseguite, contenenti sia i dati di campo che le elaborazioni per la stima del coefficiente di permeabilità *k*.



Prova di permeabilità in pozzetto superficiale K1



Prova di permeabilità in pozzetto superficiale K2



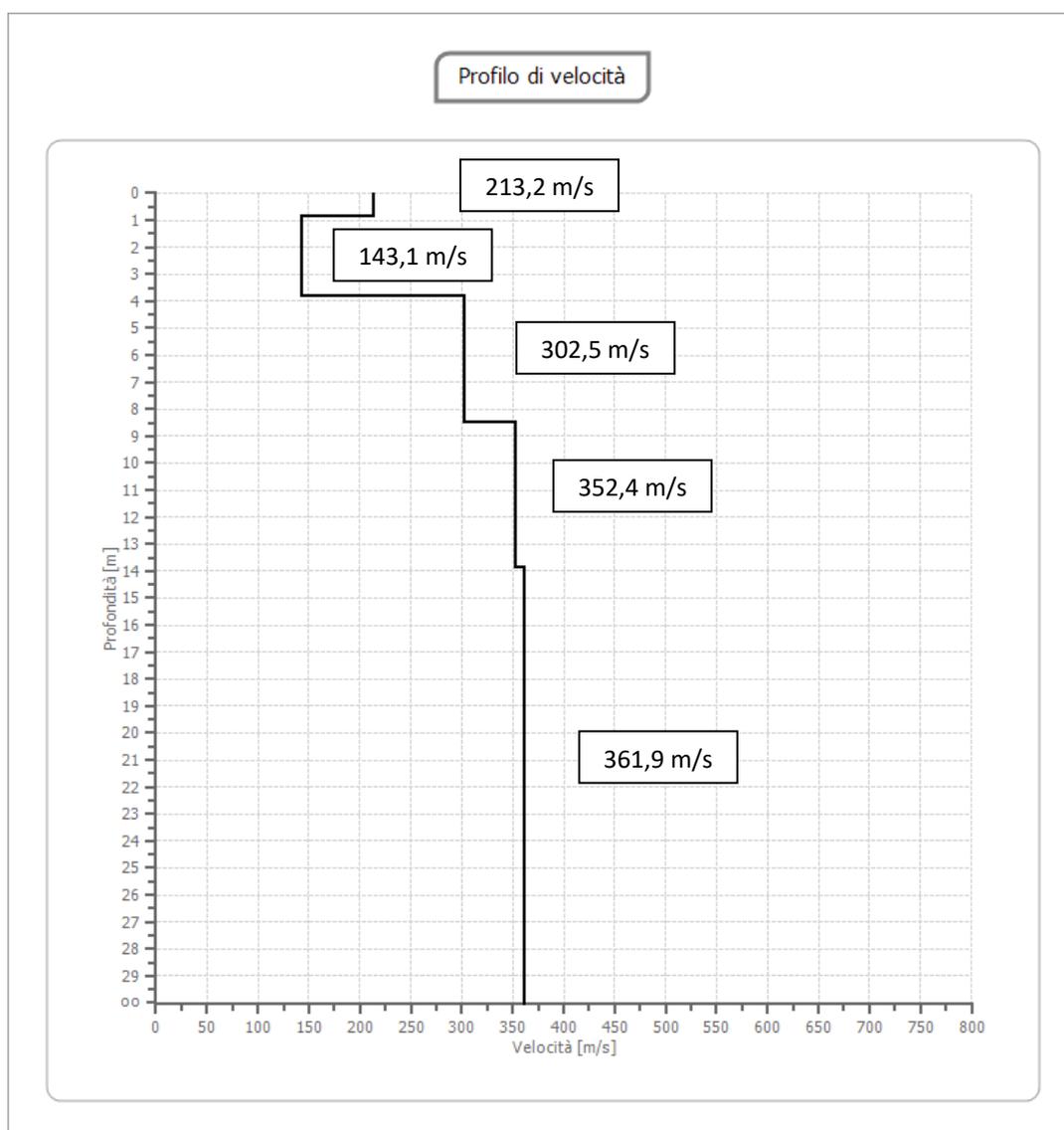
Prova di permeabilità in pozzetto superficiale K3

Dall'elaborazione dei dati ricavati dall'indagine MASW non è stato individuato il substrato sismico (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s). Pertanto la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dalla velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo V_{s30} , che è risultata pari a **299,76 m/s**.

Il sottosuolo dell'area investigata appartiene, pertanto, alla seguente categoria di suolo (D.M. 17/01/2018):

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.

Si precisa che la categoria di sottosuolo da utilizzare nelle verifiche geotecniche deve essere definita in funzione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello (si veda il paragrafo successivo).



6.7 Analisi sismica di 2° livello

Come illustrato nel precedente paragrafo 3.4, i comuni di San Martino Siccomario e Travacò Siccomario, secondo la riclassificazione sismica operata recentemente dalla Regione Lombardia con D.G.R. 11/07/2014 n.X/2129, ricadono in zona sismica 3.

Come già evidenziato nel precedente paragrafo 3.5, l'analisi sismica di 1° livello effettuata negli studi geologici dei PGT dei predetti Comuni, ha permesso di individuare la situazione corrispondente allo scenario **Z4a** "Zone di fondovalle e di pianura, con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi", di cui all'Allegato 5 della precedente D.G.R. VIII/7374 del 28 maggio 2008 (ripreso dalla D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011), in grado di determinare gli effetti sismici locali per amplificazioni litologiche e geometriche.

Nello specifico, per lo scenario di pericolosità **Z4a** (amplificazioni litologiche e geometriche), la normativa regionale (anche ai sensi della L.R. n. 33/2015 e della D.G.R. 30 marzo 2016 – n. X/5001 concernente al rilascio dell'autorizzazione sismica) richiede per i Comuni ricadenti in zona sismica 3, l'applicazione del 2° livello di approfondimento degli effetti sismici in fase di pianificazione o, qualora non eseguiti, in fase di progettazione.

Pertanto, si è provveduto a svolgere l'analisi sismica di 2° livello relativamente alla fascia di territorio interessata dal nuovo tracciato stradale in progetto, a partire dai risultati dell'indagine sismica eseguita in sito.

L'analisi sismica di 2° livello prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate in base ad uno specifico scenario di "pericolosità sismica locale", e fornisce la stima della risposta dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione (**Fa**).

Gli studi sono stati condotti utilizzando i metodi semi-quantitativi semplificati per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche, in funzione del **Fa**, che sono stati proposti dalla Regione Lombardia con i "Criteri attuativi L.R. 12/05 per il governo del territorio" di cui all'Allegato 5 della D.G.R. VIII/7374 del 28 maggio 2008 e successive integrazioni (D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011).

La Regione Lombardia ha fissato i valori soglia dei Fattori di Amplificazione (**Fa_s**) per ogni Comune; questi valori sono stati calcolati dal Politecnico di Milano in base alle diverse categorie di suolo e in funzione di due intervalli di periodo. I due intervalli nei quali viene calcolato il **Fa** sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti sul territorio regionale; in particolare, l'intervallo tra 0,1 – 0,5 s si riferisce a strutture basse, regolari, piuttosto rigide (come le strutture in progetto), mentre l'intervallo tra 0,5 – 1,5 s si riferisce a strutture più alte e flessibili.

I valori di soglia **Fa_s**, che costituiscono il riferimento per gli approfondimenti di 2° (e di 3°) livello per i Comuni interessati dal tracciato stradale sono riportati nelle tabelle seguenti:

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,1-0,5 S					
Comune	Classificazione sismica	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
SAN MARTINO SICCOMARIO	3	1,4	1,9	2,2	2,0
TRAVACÒ SICCOMARIO	3	1,4	1,9	2,2	2,0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,5-1,5 S					
Comune	Classificazione sismica	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
SAN MARTINO SICCOMARIO	3	1,7	2,4	4,2	3,1
TRAVACÒ SICCOMARIO	3	1,7	2,4	4,2	3,1

Per la definizione del Fattore di Amplificazione (**F_{ac}**), la normativa regionale propone una serie di schede di valutazione che correlano tale fattore con il periodo proprio del sito **T**, calcolato utilizzando la seguente equazione:

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

dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del profilo geofisico.

La procedura semplificata proposta prevede di ricostruire l'andamento delle V_s con la profondità sino a valori pari o superiori a 800 m/s. In mancanza del raggiungimento del bedrock con le indagini sismiche dirette, è necessario applicare un opportuno gradiente di V_s con la profondità, tale da raggiungere il valore di 800 m/s, sulla base dei risultati delle indagini supportati da informazioni litostratigrafiche sito-specifiche.

Il valore del periodo proprio del sito **T** è stato calcolato facendo riferimento ai risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area d'intervento e dettagliatamente descritte nel paragrafo precedente. È stato ottenuto un valore di periodo proprio pari a **T = 0,628 s**.

La procedura definita dalla Regione Lombardia si basa sull'utilizzo di schede di riferimento per le seguenti litologie:

- una per litologie prevalentemente ghiaiose,
- due per litologie prevalentemente limoso-sabbiose,
- due per le litologie limoso-argillose,
- una per litologie prevalentemente sabbiose.

La scheda di riferimento utilizzata è quella per **litologie sabbiose**, la cui validità è stata verificata attraverso il confronto tra l'andamento delle V_s proposto dalla Regione e quello reale ricavato dal profilo geofisico analizzato.

All'interno della scheda di riferimento, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale (*media pesata delle velocità relative almeno ai primi 4 m di profondità*), è stata scelta la curva T-Fa più appropriata (nel caso in esame, la **curva 2**).

Nelle pagine seguenti si riportano la scheda di riferimento e la scheda di calcolo dell'analisi sismica di 2° livello effettuata.

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

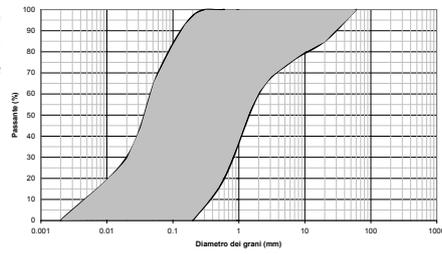
GRANULOMETRIA:

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

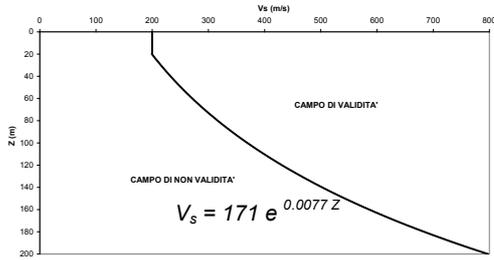
NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



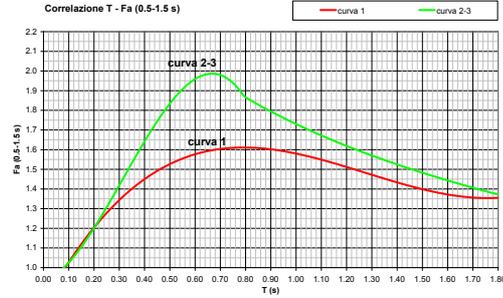
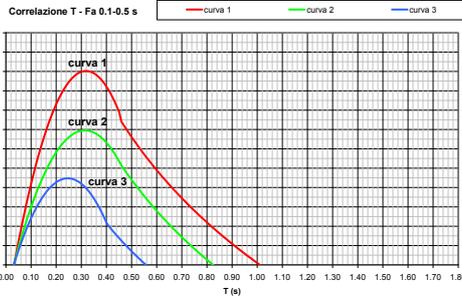
ANDAMENTO DELLE Vs CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA



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

ove la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1,0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1,0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1,0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1,0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1,0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1,0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1,0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1,0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1,0.5} = 1.00$

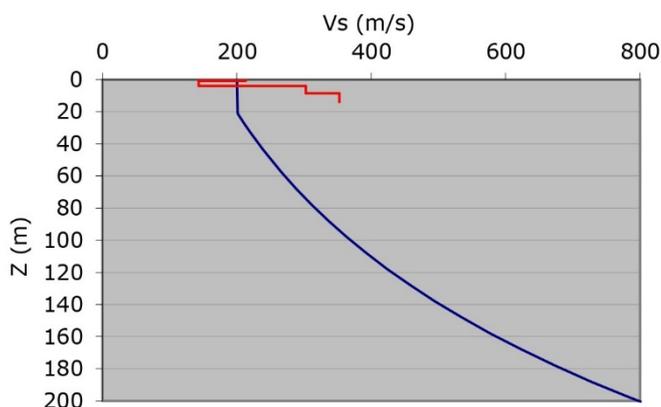
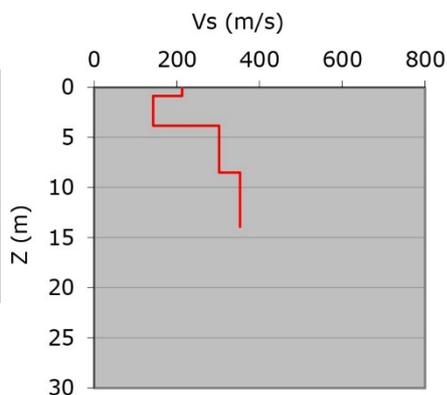
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5,1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5,1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5,1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA - DETERMINAZIONE DEL Fa

D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/11 - Allegato 5

PROFILO GEOFISICO SAN MARTINO SICCOMARIO (PV) - TRAVACO' SICCOMARIO (PV)

STRATO	h	Z	Vs	Vs*Hi
1	0,86	0,86	213,2	183
2	2,98	3,84	143,1	426
3	4,66	8,50	302,5	1410
4	5,38	13,88	352,4	1896
5	16,93	30,81	361,9	6127



SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PERIODO (T)

0,628



SCHEDA

sabbiosa

CURVA

2



Fa (0,1-0,5 S)

1,3

Fa (0,5-1,5 S)

2,0

VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE Fa: COMUNI DI SAN MARTINO SICCOMARIO (PV) E TRAVACO' SICCOMARIO (PV)

Periodo	Tipo di suolo			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1,4	1,9	2,2	2,0
0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,2	3,1

Fa (0,1-0,5 S)	1,9	➤	1,3	VERIFICATO
SUOLO C				

Fa (0,5-1,5 S)	2,4	➤	2,0	VERIFICATO
SUOLO C				

Nella tabella seguente si riassumono i risultati conseguiti:

Fac 0,1-0,5 s	Fac 0,5-1,5 s	Confronto Fac - Fas
1,3	2,0	Fac < Fas

Per entrambi i periodi, il fattore di amplificazione **Fac** è risultato inferiore al rispettivo valore di soglia comunale **Fas**.

Pertanto la normativa nazionale (N.T.C. di cui al D.M. 17/01/2018) è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi nella progettazione esecutiva si dovrà applicare lo spettro previsto dalla normativa per la categoria di suolo C.

6.8 Suscettibilità alla liquefazione

Le NTC 2018 prevedono che il sito presso il quale è in progetto una nuova opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Per ciò che concerne la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione, questa è connessa alla presenza di terreni sabbiosi saturi a profondità inferiori a 15 m.

Lo scuotimento indotto dal moto sismico genera, infatti, un incremento della pressione dell'acqua contenuta nei pori del terreno che può arrivare ad uguagliare la tensione efficace del terreno. In questa condizione si ha l'annullamento della resistenza al taglio del terreno e, di conseguenza, la sua liquefazione.

In merito a tale problematica, si reputa opportuno ricordare in primo luogo che l'analisi sismica di 1° livello effettuata dagli studi geologici a supporto dei PGT comunali (come riportato nel precedente capitolo 5) ha individuato per il territorio dei Comuni interessati esclusivamente lo scenario di pericolosità sismica **Z4a** in grado di determinare gli effetti sismici locali per amplificazioni litologiche e geometriche e ha quindi escluso la possibilità che si verificano fenomeni di liquefazione associato allo scenario **Z2**, che non è stato individuato in nessun settore del territorio comunale.

Ai sensi delle N.T.C. di cui al D.M. 17/01/18 (paragrafo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile escludere che si verificano fenomeni di liquefazione nei terreni sabbiosi saturi quando risulta verificata almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 11a nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Figura 11b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

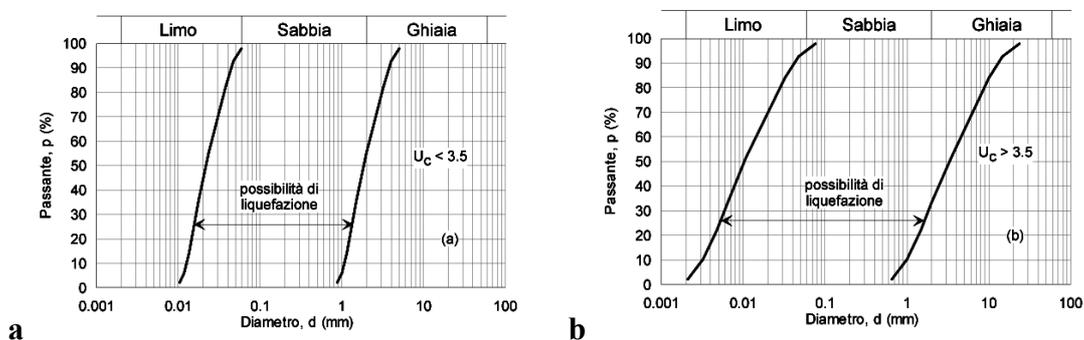


Figura 1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Per i Comuni interessati dal nuovo tracciato stradale, in base alla classificazione sismica operata dalla Regione Lombardia con D.G.R. 11/07/2014 n. X/2129, è indicata un'accelerazione massima **AgMax**:

- San Martino Siccomario: **0,074461 g**
- Travacò Siccomario: **0,079936 g**

L'accelerazione massima PGA (Peak Ground Acceleration), calcolata in relazione ai parametri sito specifici (v. Capitolo 7), risultando S_S (coefficiente di amplificazione stratigrafica) pari a 1,5 e S_T (coefficiente di amplificazione topografica) pari a 1,0, presenta i seguenti valori:

- San Martino Siccomario: **0,1116915 g**
- Travacò Siccomario: **0,119904 g**
risultanti essere **> 0,1 g** (valore di soglia).

La possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione degli orizzonti sabbiosi saturi, quindi, è stata pertanto valutata sulla base dei risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite lungo il tracciato stradale in progetto, applicando il metodo semplificato di *Robertson e Wride (1997)*, così come implementato nel modulo "Liquiter" della Geostru Software, ipotizzando, a favore di cautela, una Magnitudo $M=5,5$.

La soggiacenza della falda è stata considerata prudenzialmente a circa -1,0 m dal p.c..

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; richiedono perciò di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi sulla base di correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Le assunzioni teoriche e le equazioni attraverso le quali sono stati determinati i valori di CRR e CSR sono illustrate nell'Allegato 5, contenente i tabulati di calcolo prodotti dal software Liquiter ed i grafici dell'andamento di FS in funzione di q_c , determinati per le verticali CPT1÷CPT4.

In sintesi, il *metodo di Robertson e Wride* determina la resistenza alla liquefazione CRR sulla base dei valori di q_c e f_s determinati mediante prove di tipo CPT, attraverso un processo iterativo, ed è valido per sabbie pulite e sabbie con fini. Le prove sono state discretizzate in orizzonti con spessore 0,2 m caratterizzati dai valori di q_c , f_s e γ riportati nell'Allegato 5, per ognuno dei quali è stato determinato il fattore di sicurezza relativo alla liquefazione.

L'applicazione del metodo descritto ha fornito valori di FS per gli orizzonti suscettibili di liquefazione sempre superiori a 1,25 pertanto si può escludere la possibilità di occorrenza di tale fenomeno.

7. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Nel presente capitolo vengono descritti i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto e le indagini geofisiche svolte per la caratterizzazione sismica di dettaglio del sottosuolo.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di diretto interesse. Quest'ultima costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Nelle NTC 17/01/2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale (necessari per la determinazione delle azioni sismiche):

- 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.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I parametri necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto sono:

- **Tipo di costruzione e vita nominale;** la vita nominale (V_N) di un determinato tipo di costruzione è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle N.T.C. 17/01/2018 e deve essere precisata nei documenti di progetto.
- **Classe d'uso;** in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso:
 - **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
 - **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
 - **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
 - **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.
- **Coefficiente d'uso;** Il valore del coefficiente d'uso (C_U) è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tab. 2.4.II delle N.T.C. 17/01/2018.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica;** le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento (V_R) espresso in anni che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U secondo la relazione: $V_R = V_N \cdot C_U$. Nel caso che V_R assuma un valore ≤ 35 , si pone comunque pari a 35.

- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento;** le probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}), cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle N.T.C. 17/01/2018.
- **Categoria di suolo;** ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II delle N.T.C. 17/01/2018).
- **Condizioni topografiche;** per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III delle N.T.C. 17/01/2018.
- **Accelerazione massima attesa al sito;** l'accelerazione massima attesa al sito (a_{max}) si ricava dalla seguente relazione: $a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$.
 S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (indicato nella Tab. 3.2.IV delle N.T.C. 17/01/2018) relativo a ciascuna classe di sottosuolo, S_T è il coefficiente di amplificazione topografica (riportato nella Tab. 3.2.V delle N.T.C. 17/01/2018) espresso in funzione delle caratteristiche topografiche del sito, e a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito.
- **Coefficiente sismico di accelerazione orizzontale;** tale coefficiente (K_h) si ricava dalla seguente relazione: $K_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$.
- **Coefficiente sismico di accelerazione verticale;** tale coefficiente (K_v) si ricava dalla seguente relazione: $K_v = K_h / 2$.
- **Periodo di ritorno;** il periodo di ritorno (T_R) si determina dalla seguente relazione: $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$.

7.1 Categoria del sottosuolo (ex D.M. 17/01/18)

Assumendo come riferimento i risultati dell'indagine geofisica commentata al precedente paragrafo 6.5 (v. anche Allegato 3), ai sensi delle N.T.C. D.M. 17/01/2018 i terreni del substrato dell'area d'intervento appartengono alla seguente categoria di sottosuolo (cfr. Tab. 3.2II delle N.T.C. 17/01/18).

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.

7.2 Categoria topografica (ex D.M. 17/01/18)

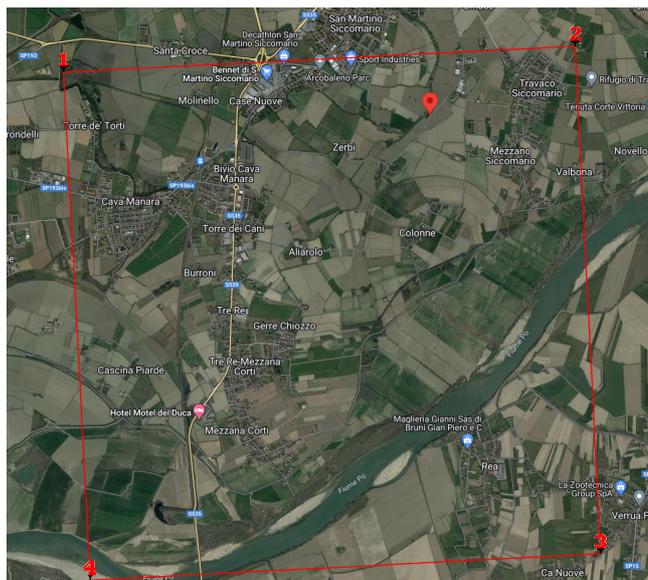
La topografia dell'area d'intervento può essere classificata tra le configurazioni superficiali semplici; pertanto, ai sensi delle N.T.C. D.M. 17/01/2018, l'area d'intervento appartiene alla seguente categoria topografica (cfr. Tab. 3.2III delle N.T.C. 17/01/18)

T1. Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$

7.3 Parametri sito specifici

Di seguito sono riportati i parametri sismici specifici per il sito di intervento e relativi agli stati limite considerati, così come richiesto dalla vigente normativa in materia (D.M. 17/01/2018), mentre nella figura successiva è visualizzata la maglia di riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico.

In base ai dati raccolti, il substrato è riconducibile alla categoria C (Tabella 3.2.II delle NTC 2018), mentre la categoria topografica è T1 (Tabella 3.2.III delle NTC 2018) e le opere in progetto ricadono in classe d'uso 2.



Vertici della maglia riferimento dei valori dello spettro di risposta elastico.

-Sito in esame

latitudine: 45,150372 (coordinate ED50)
 longitudine: 9,14801 (coordinate ED50)
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

-Siti di riferimento

Sito 1 ID: 13591 Lat: 45,1546 Lon: 9,0973 Distanza: 4004,799
 Sito 2 ID: 13592 Lat: 45,1572 Lon: 9,1681 Distanza: 1744,814
 Sito 3 ID: 13814 Lat: 45,1072 Lon: 9,1717 Distanza: 5144,435
 Sito 4 ID: 13813 Lat: 45,1047 Lon: 9,1010 Distanza: 6281,580

-Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50 anni
 Coefficiente cu: 1

	Unità di misura	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Salvaguardia della vita (SLV)	Prevenzione dal collasso (SLC)
Probabilità di superamento:	%	81	63	10	5
Tr:	[anni]	30	50	475	975
ag:	g	0,023	0,030	0,075	0,100
Fo:		2,532	2,519	2,495	2,476
Tc*:	[s]	0,183	0,208	0,278	0,283

Coefficienti Sismici				
	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss:	1,50	1,50	1,50	1,50
Cc:	1,84	1,76	1,60	1,59
St:	1,00	1,00	1,00	1,00
Kh:	0,007	0,009	0,023	0,030
Kv:	0,003	0,004	0,011	0,015
Amax:	0,337	0,438	1,104	1,471
Beta:	0,200	0,200	0,200	0,240

8. INDICAZIONI PROGETTUALI

Le indagini ed analisi eseguite, commentate nei precedenti capitoli, hanno permesso di valutare l'assetto litostratigrafico, idrogeologico (presenza e profondità della falda superficiale), sismico e geotecnico del sottosuolo dell'area interessata dal tracciato della nuova strada.

Le indagini condotte hanno consentito quindi di confermare sostanzialmente il giudizio sulla fattibilità e la compatibilità del nuovo intervento con il contesto idro-geomorfologico e litostratigrafico-geotecnico del settore.

Le trincee geognostiche, spinte sino alla profondità massima di 3,30 m da p.c., hanno evidenziato una successione superficiale complessivamente regolare, caratterizzata, al di sotto del terreno agrario, in genere a tessitura limosa (dello spessore variabile tra 30 e 60 cm), da livelli costituiti da limi sabbiosi e sabbie limose, soltanto localmente passanti a sabbie fini.

I rilievi piezometrici condotti all'interno delle trincee esplorative nonché nei micropiezometri temporanei installati nei fori delle prove penetrometriche hanno confermato la presenza di una falda piuttosto superficiale, con profondità di circa 2-3 m nella zona occidentale del tracciato, in approfondimento verso il settore orientale.

Tale falda, proprio per questa caratteristica, si presenta direttamente connessa alle acque presenti nei corsi idrici adiacenti e pertanto soggetta ad oscillazioni stagionali anche piuttosto marcate (soprattutto in occasione di piene prolungate).

Le prove penetrometriche hanno messo in evidenza l'esistenza di un substrato caratterizzato da una successione litostratigrafica contraddistinta da depositi prevalentemente incoerenti che presentano caratteristiche geotecniche complessivamente buone, che migliorano sensibilmente in profondità per la presenza di depositi sabbiosi caratterizzati da frazioni più grossolane (ghiaia e ghiaietto).

Pertanto, in funzione del modello geologico e geotecnico del sito, la scelta della tipologia fondazionale del manufatto di attraversamento del Canale Rotta è stata valutata in rapporto alla tipologia dell'opera e dell'ordine di grandezza dei carichi che potranno gravare in fondazione.

Conseguentemente, per le spalle del ponte si è reputata idonea l'adozione di fondazioni profonde su pali in rapporto ai prevedibili carichi massimi di esercizio.

In considerazione dei profili geotecniche desumibili dalle prove eseguite in corrispondenza dell'attraversamento del corso d'acqua, si ritiene opportuno prevedere fondazioni su pali trivellati di lunghezza 15 m, con diametro indicativo Ø 500/600 mm.

Inoltre, data la presenza di una falda superficiale, direttamente connessa alle acque di alveo e sub alveo del Canale Rotta, si dovrà prevedere la messa in opera di palancole tipo Larssen per l'isolamento e la protezione delle aree operative.

Infine, per la realizzazione del cassonetto della nuova sede stradale si consiglia il preventivo trattamento del substrato caratterizzato, nei livelli superficiali di diretto interesse, da litologie prevalentemente limoso-sabbiose, previo scotico dell'eventuale terreno vegetale.

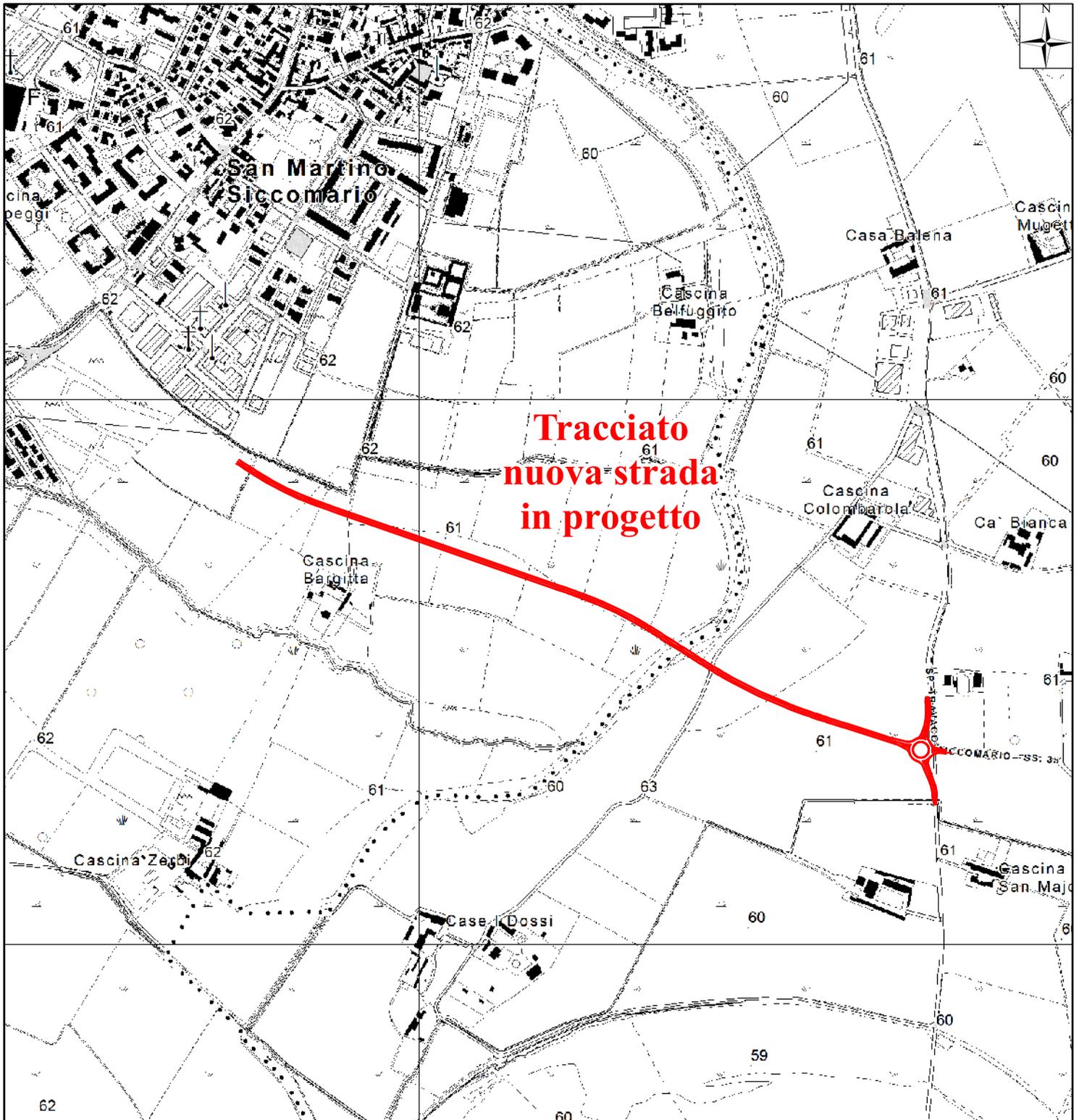
Pavia, Luglio 2024



Vercesi

Vercesi Prof. Pier Luigi
Ordine Geologi Lombardia n. 1015

Pier Luigi Vercesi



**Tracciato
nuova strada
in progetto**

**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN
MARTINO SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI TRAVACO' SICCOMARIO**
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA
RELAZIONE GEOLOGICA

INQUADRAMENTO COROGRAFICO

A cura di:



SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
 Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
 Tel. 0382/466111-463385-571865 (fax) - e-mail sgpp@iol.it - pec sgpp@pec.it

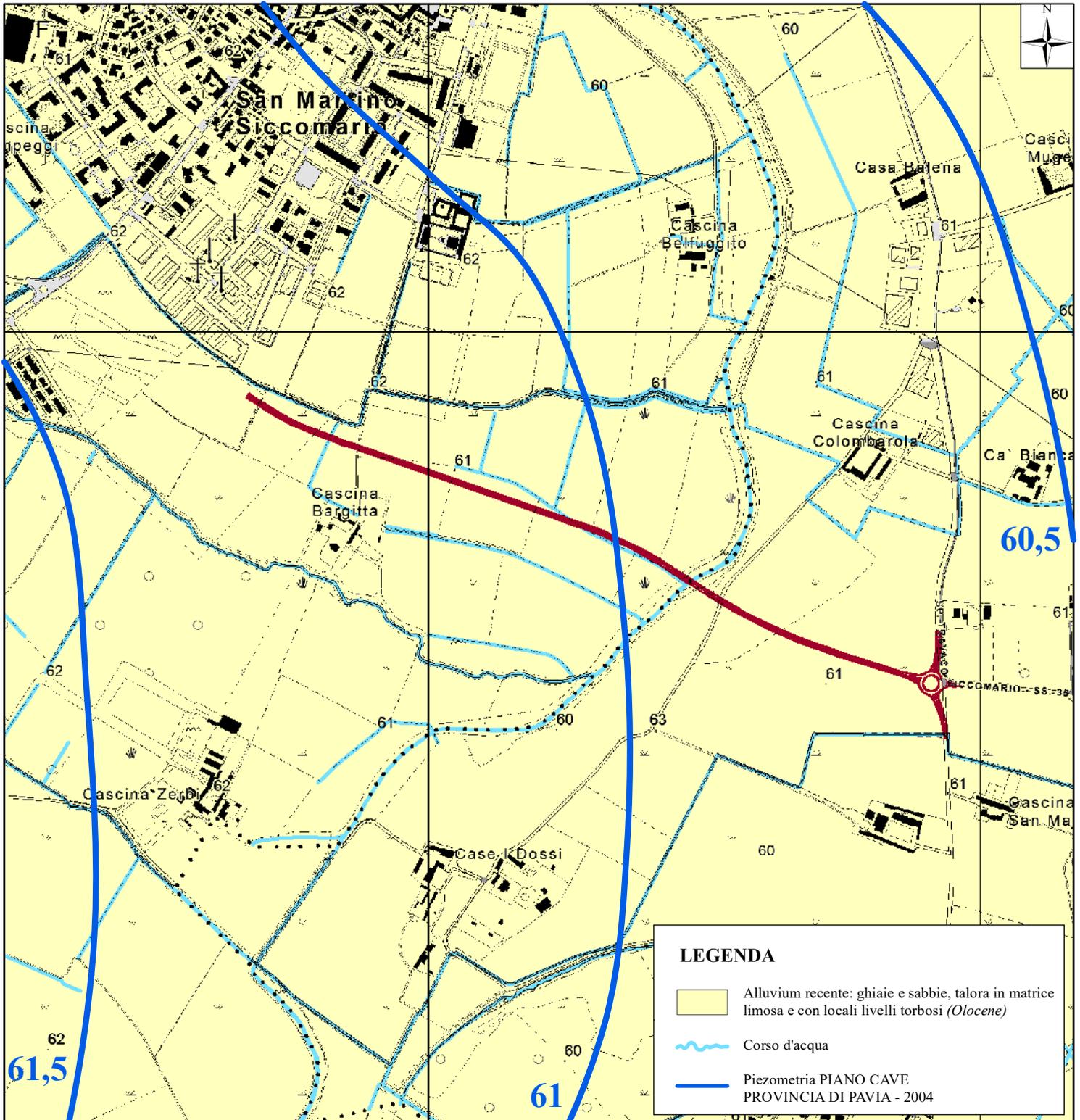
TAVOLA 1

Scala 1:10.000

LUGLIO 2024

Il tecnico:

Vercesi Prof. Pier Luigi
 Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1015



NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI TRAVACO' SICCOMARIO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA
RELAZIONE GEOLOGICA

CARTA GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA

A cura di:



SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
 Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
 Tel. 0382/466111-463385-571865 (fax) - e-mail sgpp@iol.it - pec sgpp@pec.it

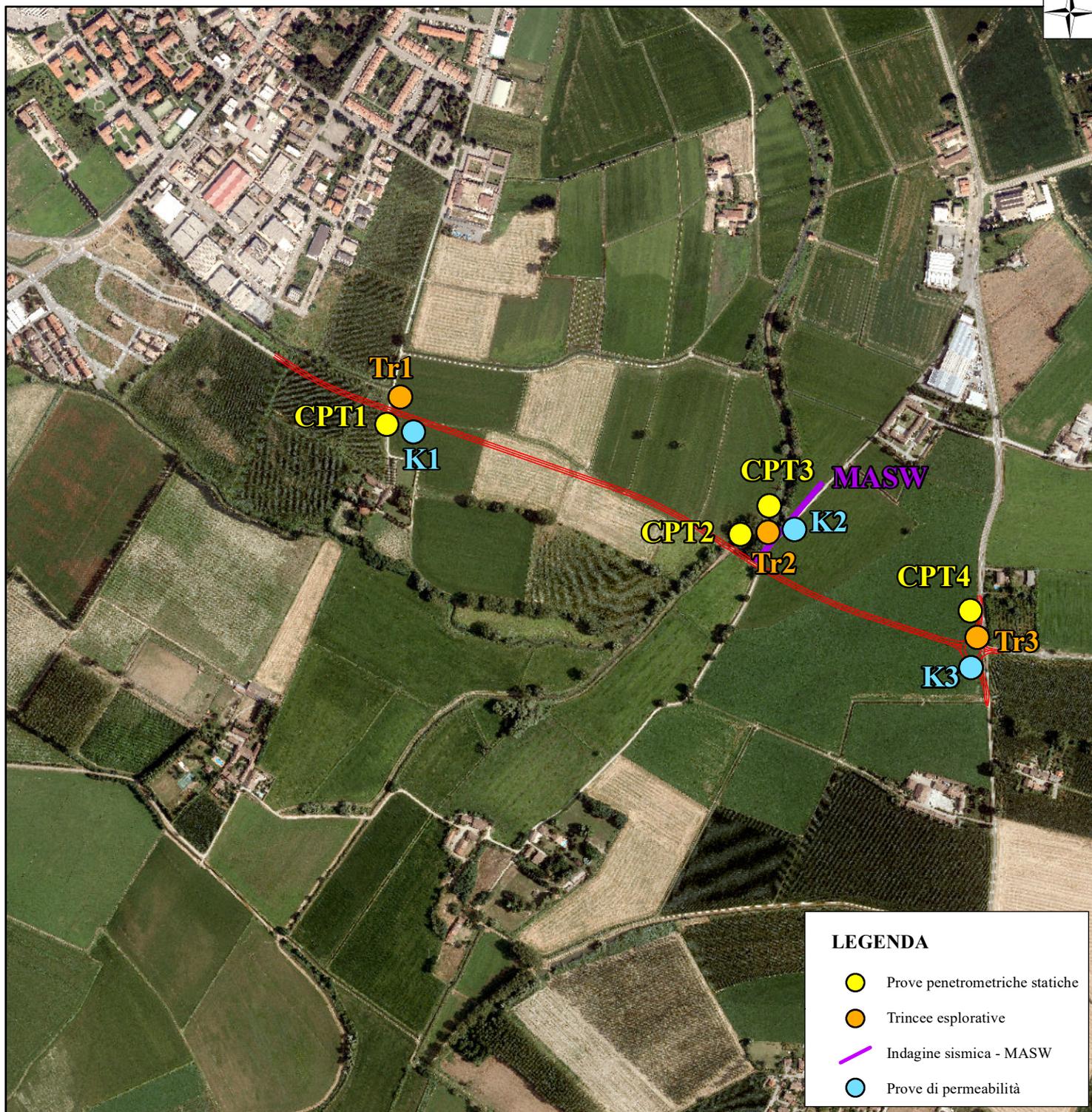
TAVOLA 2

Scala 1:10.000

LUGLIO 2024

Il tecnico:

Vercesi Prof. Pier Luigi
 Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1015



LEGENDA

- Prove penetrometriche statiche
- Trincee esplorative
- Indagine sismica - MASW
- Prove di permeabilità

NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI TRAVACO' SICCOMARIO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA
RELAZIONE GEOLOGICA

UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE

A cura di:  S.G.P. SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l. Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia Tel. 0382/466111-463385-571865 (fax) - e-mail sgpp@.iol.it - pec sgpp@pec.it	TAVOLA 3	Il tecnico: Vercesi Prof. Pier Luigi Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1015
	Scala 1:10.000	
	LUGLIO 2024	

**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO
TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO
SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI
TRAVACÒ SICCOMARIO**

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 17/01/2018 - D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616)

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT1-CPT4)

ALLEGATO 1

Luglio 2024

A cura di:



S.G.P.

SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sggp@iol.it - pec sggp@pec.it

Il tecnico:

Vercesi Prof. Pier Luigi
n. iscr. Ordine Geologi Lombardia 1015



PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Cantiere: Nuova strada di collegamento
Località: San Martino Siccomario - Travacò Siccomario (PV)



Caratteristiche Strumentali Sonda

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro punta meccanica	35,7 mm
Area di base punta	10 cm ²
Superficie manicotto	150 cm ²
Lunghezza delle aste	1,00 m
Costante di trasformazione Ct	10
Passo letture	0,20 m
Angolo apertura punta	60°

PROVA CPT1

Prova eseguita in data: 24/07/2023

Profondità prova: 11,80 m (rifiuto)

Falda: -2,40 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	54,00	66,0	54,0	1,266667	42,632	2,3
0,40	74,00	93,0	74,0	1,333333	55,5	1,8
0,60	96,00	116,0	96,0	1,2	80,0	1,3
0,80	58,00	76,0	58,0	0,8	72,5	1,4
1,00	49,00	61,0	49,0	1,533333	31,957	3,1
1,20	35,00	58,0	35,0	0,733333	47,727	2,1
1,40	21,00	32,0	21,0	0,466667	45,0	2,2
1,60	9,00	16,0	9,0	0,333333	27,0	3,7
1,80	12,00	17,0	12,0	0,4	30,0	3,3
2,00	12,00	18,0	12,0	0,4	30,0	3,3
2,20	12,00	18,0	12,0	0,533333	22,5	4,4
2,40	13,00	21,0	13,0	0,533333	24,375	4,1
2,60	18,00	26,0	18,0	0,333333	54,0	1,9
2,80	18,00	23,0	18,0	1,666667	10,8	9,3
3,00	78,00	103,0	78,0	3,733333	20,893	4,8
3,20	127,00	183,0	127,0	2,133333	59,531	1,7
3,40	221,00	253,0	221,0	3,666667	60,273	1,7
3,60	166,00	221,0	166,0	3,133333	52,979	1,9
3,80	148,00	195,0	148,0	3,933333	37,627	2,7
4,00	117,00	176,0	117,0	32,06667	3,649	27,4
4,20	206,00	687,0	206,0	1,6	128,75	0,8
4,40	212,00	236,0	212,0	3,266667	64,898	1,5
4,60	158,00	207,0	158,0	4,933333	32,027	3,1
4,80	229,00	303,0	229,0	1,933333	118,448	0,8
5,00	128,00	157,0	128,0	1,4	91,429	1,1
5,20	108,00	129,0	108,0	1,266667	85,263	1,2
5,40	123,00	142,0	123,0	0,733333	167,727	0,6
5,60	115,00	126,0	115,0	1,133333	101,471	1,0
5,80	118,00	135,0	118,0	2,8	42,143	2,4
6,00	185,00	227,0	185,0	4,466667	41,418	2,4
6,20	179,00	246,0	179,0	4,733333	37,817	2,6
6,40	156,00	227,0	156,0	4,666667	33,429	3,0
6,60	179,00	249,0	179,0	3,133333	57,128	1,8
6,80	107,00	154,0	107,0	4,466667	23,955	4,2
7,00	158,00	225,0	158,0	5,0	31,6	3,2
7,20	209,00	284,0	209,0	4,266667	48,984	2,0
7,40	193,00	257,0	193,0	5,333333	36,188	2,8
7,60	178,00	258,0	178,0	6,533333	27,245	3,7
7,80	162,00	260,0	162,0	9,133333	17,737	5,6
8,00	166,00	303,0	166,0	5,4	30,741	3,3
8,20	178,00	259,0	178,0	3,2	55,625	1,8
8,40	106,00	154,0	106,0	0,466667	227,143	0,4
8,60	114,00	121,0	114,0	1,6	71,25	1,4
8,80	99,00	123,0	99,0	1,133333	87,353	1,1
9,00	92,00	109,0	92,0	1,066667	86,25	1,2
9,20	112,00	128,0	112,0	0,866667	129,231	0,8
9,40	96,00	109,0	96,0	2,866667	33,488	3,0
9,60	103,00	146,0	103,0	0,533333	193,125	0,5
9,80	97,00	105,0	97,0	1,466667	66,136	1,5
10,00	97,00	119,0	97,0	1,133333	85,588	1,2
10,20	91,00	108,0	91,0	2,733333	33,293	3,0
10,40	112,00	153,0	112,0	2,066667	54,194	1,8

10,60	118,00	149,0	118,0	1,933333	61,034	1,6
10,80	123,00	152,0	123,0	1,4	87,857	1,1
11,00	96,00	117,0	96,0	2,4	40,0	2,5
11,20	91,00	127,0	91,0	2,866667	31,744	3,2
11,40	96,00	139,0	96,0	0,533333	180,0	0,6
11,60	96,00	104,0	96,0	7,533333	12,743	7,8
11,80	181,00	294,0	181,0	0,0		0,0

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT1

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	fs Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	Incoerente-Coesivo	Limo sabbioso e sabbia limosa
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	Coesivo	Limo argilloso e argilla limosa
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	Incoerente	Sabbia ghiaiosa
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Cu (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Terzaghi	1,4
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	0,4	0,4	Terzaghi	0,6

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eed (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Buisman Sanglerat	71,9
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	0,4	0,4	Buisman Sanglerat	23,0

Modulo di deformazione non drenato Eu

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eu (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Cancelli 1980	1792,5
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	0,4	0,4	Cancelli 1980	414,7

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	297,9
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	0,4	0,4	Imai & Tomauchi	124,3

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	0,4	0,4	Meyerhof	1,7

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crm
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	0,10675	0,01388
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	0,4	0,4	0,18292	0,02378

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Meyerhof	--
2	1,20-2,80	11,47381	0,428571	0,4	0,4	Meyerhof	2,0

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Harman	41,5
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	Harman	81,4
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	Harman	62,7

Angolo di resistenza al taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Schmertmann	31,5
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	Schmertmann	34,9
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	Schmertmann	33,6

Modulo di Young

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Robertson & Campanella 1983	95,9
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	Robertson & Campanella 1983	294,3
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	Robertson & Campanella 1983	197,6

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	71,9

3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	Buisman - Sanglerat	220,8
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	Buisman - Sanglerat	148,2

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	G (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	297,9
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	Imai & Tomauchi	591,1
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	Imai & Tomauchi	463,3

Modulo di reazione Ko

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Ko
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,36
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	Kulhawy & Mayne (1990)	0,96
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	Kulhawy & Mayne (1990)	0,63

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crm
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	0,10675	0,01388
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	0,09535	0,01239
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	0,09458	0,0123

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	Meyerhof	1,8
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
1	0,00-1,20	47,93171	1,144444	0,1	0,1	1	--
3	2,80-8,20	147,1647	4,74321	1,2	0,9	3	2,1
4	8,20-11,80	98,77752	1,811111	2,2	1,4	4	2,1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA CPT1



Esecuzione della prova penetrometrica CPT1

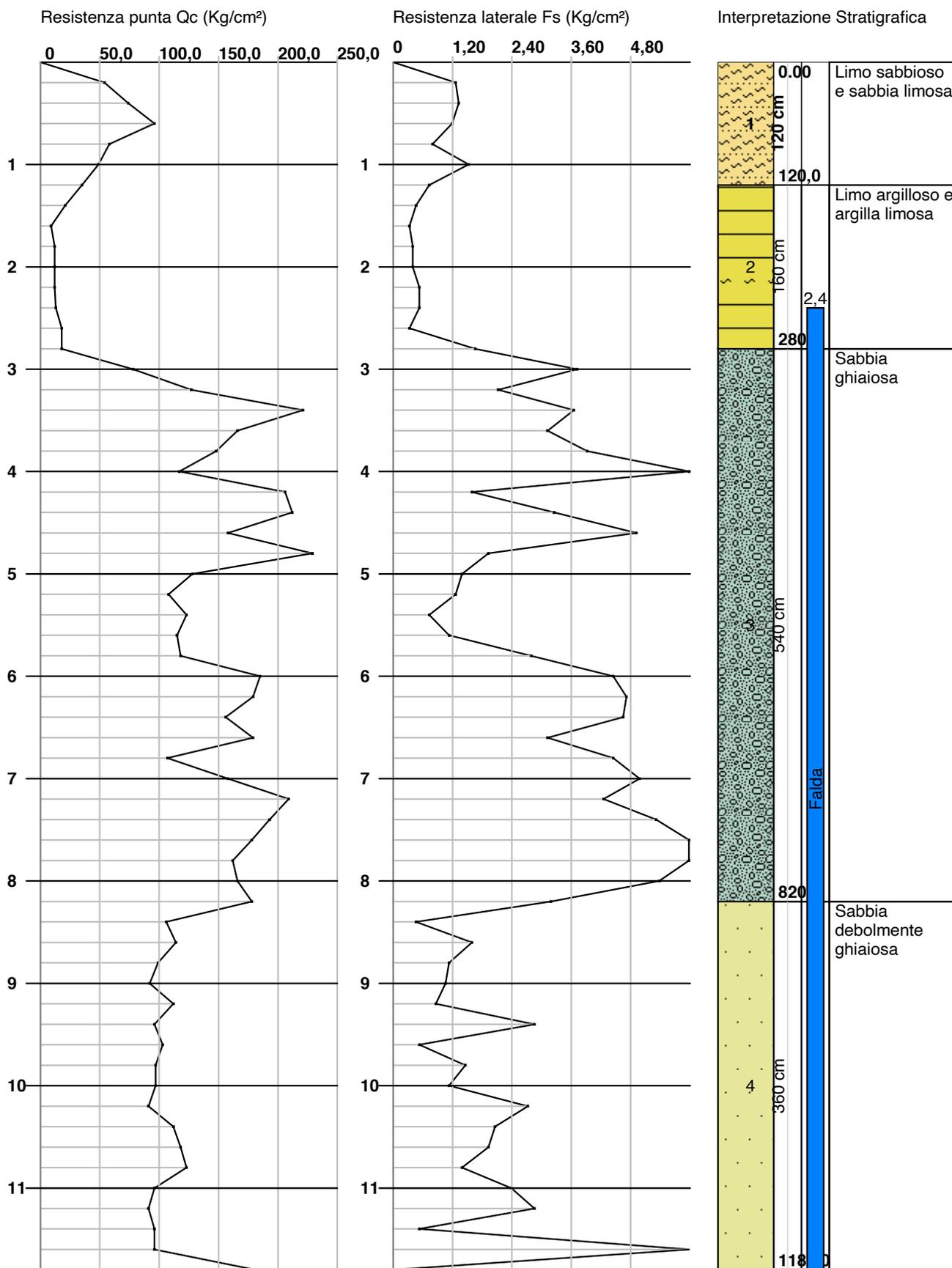


Installazione del micro-piezometro e rilievi freaticimetrici

Committente:
 Cantiere:
 Località:

Nuova strada di collegamento
 San Martino Siccomario - Travacò Siccomario (PV)

Data: 24/07/2023



PROVA CPT2

Prova eseguita in data: 24/07/2023

Profondità prova: 11,60 m (rifiuto)

Falda: -1,60 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	32,00	46,0	32,0	1,066667	30,0	3,3
0,40	23,00	39,0	23,0	0,8	28,75	3,5
0,60	22,00	34,0	22,0	0,733333	30,0	3,3
0,80	21,00	32,0	21,0	0,466667	45,0	2,2
1,00	4,00	11,0	4,0	0,2	20,0	5,0
1,20	8,00	11,0	8,0	0,2	40,0	2,5
1,40	8,00	11,0	8,0	0,266667	30,0	3,3
1,60	3,00	7,0	3,0	0,2	15,0	6,7
1,80	4,00	7,0	4,0	0,2	20,0	5,0
2,00	6,00	9,0	6,0	0,2	30,0	3,3
2,20	4,00	7,0	4,0	0,2	20,0	5,0
2,40	4,00	7,0	4,0	0,133333	30,0	3,3
2,60	6,00	8,0	6,0	0,2	30,0	3,3
2,80	4,00	7,0	4,0	0,2	20,0	5,0
3,00	3,00	6,0	3,0	0,2	15,0	6,7
3,20	7,00	10,0	7,0	0,266667	26,25	3,8
3,40	8,00	12,0	8,0	0,2	40,0	2,5
3,60	9,00	12,0	9,0	0,466667	19,286	5,2
3,80	23,00	30,0	23,0	0,333333	69,0	1,4
4,00	39,00	44,0	39,0	0,6	65,0	1,5
4,20	43,00	52,0	43,0	1,2	35,833	2,8
4,40	34,00	52,0	34,0	1,533333	22,174	4,5
4,60	96,00	119,0	96,0	1,0	96,0	1,0
4,80	33,00	48,0	33,0	0,666667	49,5	2,0
5,00	31,00	41,0	31,0	0,266667	116,25	0,9
5,20	34,00	38,0	34,0	0,4	85,0	1,2
5,40	25,00	31,0	25,0	0,333333	75,0	1,3
5,60	17,00	22,0	17,0	0,266667	63,75	1,6
5,80	23,00	27,0	23,0	0,4	57,5	1,7
6,00	25,00	31,0	25,0	0,533333	46,875	2,1
6,20	26,00	34,0	26,0	0,866667	30,0	3,3
6,40	56,00	69,0	56,0	0,666667	84,0	1,2
6,60	33,00	43,0	33,0	0,333333	99,0	1,0
6,80	39,00	44,0	39,0	0,466667	83,571	1,2
7,00	44,00	51,0	44,0	0,266667	165,0	0,6
7,20	59,00	63,0	59,0	0,466667	126,428	0,8
7,40	45,00	52,0	45,0	0,6	75,0	1,3
7,60	54,00	63,0	54,0	0,6	90,0	1,1
7,80	56,00	65,0	56,0	1,133333	49,412	2,0
8,00	34,00	51,0	34,0	1,066667	31,875	3,1
8,20	32,00	48,0	32,0	0,533333	60,0	1,7
8,40	61,00	69,0	61,0	0,8	76,25	1,3
8,60	61,00	73,0	61,0	0,8	76,25	1,3
8,80	65,00	77,0	65,0	0,8	81,25	1,2
9,00	91,00	103,0	91,0	1,066667	85,312	1,2
9,20	93,00	109,0	93,0	1,133333	82,059	1,2
9,40	48,00	65,0	48,0	0,4	120,0	0,8
9,60	115,00	121,0	115,0	2,133333	53,906	1,9
9,80	102,00	134,0	102,0	1,4	72,857	1,4
10,00	118,00	139,0	118,0	0,6	196,667	0,5
10,20	123,00	132,0	123,0	2,133333	57,656	1,7
10,40	123,00	155,0	123,0	3,733333	32,946	3,0

10,60	129,00	185,0	129,0	1,533333	84,13	1,2
10,80	96,00	119,0	96,0	2,2	43,636	2,3
11,00	91,00	124,0	91,0	1,8	50,556	2,0
11,20	118,00	145,0	118,0	1,733333	68,077	1,5
11,40	126,00	152,0	126,0	2,533333	49,737	2,0
11,60	121,00	159,0	121,0	0,0		0,0

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT2

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	fs Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	Incoerente-Coesivo	Limo sabbioso e sabbia limosa
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	Coesivo	Argilla, argilla organica e torba
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	Incoerente	Sabbia limosa
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Cu (kg/cm ²)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Terzaghi	0,8
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	0,4	0,4	Terzaghi	0,2

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eed (kg/cm ²)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Buisman Sanglerat	41,8
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	0,4	0,4	Buisman Sanglerat	11,8

Modulo di deformazione non drenato Eu

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eu (kg/cm ²)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Cancelli 1980	780,4
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	0,4	0,4	Cancelli 1980	163,1

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (kg/cm ²)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	179,3
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	0,4	0,4	Imai & Tomauchi	72,2

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	0,4	0,4	Meyerhof	1,6

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crm
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	0,13066	0,01699
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	0,4	0,4	0,34947	0,04543

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Meyerhof	--
2	0,80-3,80	4,708406	0,231111	0,4	0,4	Meyerhof	1,8

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Harman	22,9
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Harman	36,7
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Harman	76,7

Angolo di resistenza al taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Schmertmann	28,1
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Schmertmann	30,8
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Schmertmann	33,9

Modulo di Young

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (kg/cm ²)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Robertson & Campanella 1983	41,8
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Robertson & Campanella 1983	79,8
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Robertson & Campanella 1983	217,5

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (kg/cm ²)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	36,6

3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Buisman - Sanglerat	75,4
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Buisman - Sanglerat	163,1

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	G (kg/cm ²)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	179,3
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Imai & Tomauchi	266,3
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Imai & Tomauchi	491,3

Modulo di reazione Ko

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Ko
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,24
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Kulhawy & Mayne (1990)	0,34
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Kulhawy & Mayne (1990)	0,71

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crn
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	0,13066	0,01699
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	0,11192	0,01455
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	0,09404	0,01223

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Meyerhof	1,7
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Meyerhof	1,8
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Meyerhof	1,9

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
1	0,00-0,80	20,8913	0,766667	0,1	0,1	Meyerhof	--
3	3,80-9,40	39,90339	0,685714	1,3	0,8	Meyerhof	2,1
4	9,40-11,60	108,7376	1,8	2,1	1,2	Meyerhof	2,2

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA CPT2



Esecuzione della prova penetrometrica CPT2

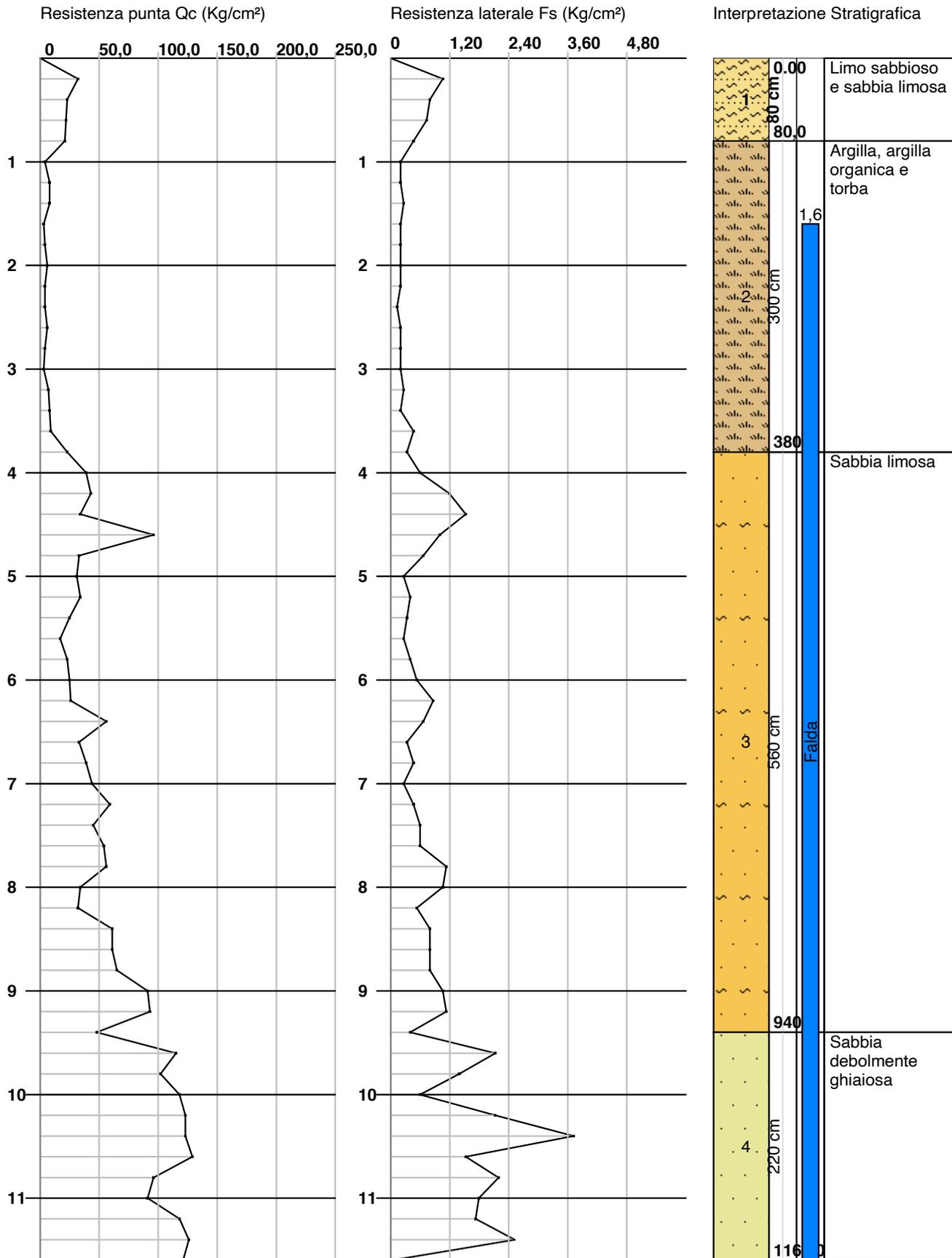


Installazione del micro-piezometro e rilievi freaticimetrici

Committente:
 Cantiere:
 Località:

Nuova strada di collegamento
 San Martino Siccomario - Travacò Siccomario (PV)

Data: 24/07/2023



PROVA CPT3

Prova eseguita in data: 24/07/2023

Profondità prova: 10,20 m (rifiuto)

Falda: -1,60 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	28,00	34,0	28,0	0,4	70,0	1,4
0,40	22,00	28,0	22,0	0,6	36,667	2,7
0,60	26,00	35,0	26,0	0,466667	55,714	1,8
0,80	6,00	13,0	6,0	0,2	30,0	3,3
1,00	4,00	7,0	4,0	0,2	20,0	5,0
1,20	3,00	6,0	3,0	0,133333	22,5	4,4
1,40	3,00	5,0	3,0	0,2	15,0	6,7
1,60	3,00	6,0	3,0	0,2	15,0	6,7
1,80	4,00	7,0	4,0	0,2	20,0	5,0
2,00	3,00	6,0	3,0	0,133333	22,5	4,4
2,20	4,00	6,0	4,0	0,2	20,0	5,0
2,40	4,00	7,0	4,0	0,333333	12,0	8,3
2,60	13,00	18,0	13,0	0,333333	39,0	2,6
2,80	4,00	9,0	4,0	0,2	20,0	5,0
3,00	5,00	8,0	5,0	0,466667	10,714	9,3
3,20	6,00	13,0	6,0	0,266667	22,5	4,4
3,40	19,00	23,0	19,0	0,466667	40,714	2,5
3,60	9,00	16,0	9,0	0,266667	33,75	3,0
3,80	5,00	9,0	5,0	0,466667	10,714	9,3
4,00	38,00	45,0	38,0	0,466667	81,429	1,2
4,20	53,00	60,0	53,0	0,333333	159,0	0,6
4,40	58,00	63,0	58,0	0,466667	124,286	0,8
4,60	95,00	102,0	95,0	1,266667	75,0	1,3
4,80	87,00	106,0	87,0	1,466667	59,318	1,7
5,00	34,00	56,0	34,0	1,133333	30,0	3,3
5,20	31,00	48,0	31,0	0,866667	35,769	2,8
5,40	43,00	56,0	43,0	1,0	43,0	2,3
5,60	44,00	59,0	44,0	1,666667	26,4	3,8
5,80	61,00	86,0	61,0	0,933333	65,357	1,5
6,00	33,00	47,0	33,0	0,8	41,25	2,4
6,20	40,00	52,0	40,0	0,733333	54,545	1,8
6,40	52,00	63,0	52,0	0,933333	55,714	1,8
6,60	55,00	69,0	55,0	0,466667	117,857	0,8
6,80	39,00	46,0	39,0	0,866667	45,0	2,2
7,00	26,00	39,0	26,0	0,8	32,5	3,1
7,20	54,00	66,0	54,0	0,533333	101,25	1,0
7,40	43,00	51,0	43,0	0,466667	92,143	1,1
7,60	45,00	52,0	45,0	0,866667	51,923	1,9
7,80	26,00	39,0	26,0	0,8	32,5	3,1
8,00	56,00	68,0	56,0	1,066667	52,5	1,9
8,20	33,00	49,0	33,0	1,2	27,5	3,6
8,40	36,00	54,0	36,0	0,333333	108,0	0,9
8,60	66,00	71,0	66,0	1,2	55,0	1,8
8,80	54,00	72,0	54,0	1,266667	42,632	2,3
9,00	44,00	63,0	44,0	1,466667	30,0	3,3
9,20	49,00	71,0	49,0	0,933333	52,5	1,9
9,40	59,00	73,0	59,0	1,0	59,0	1,7
9,60	37,00	52,0	37,0	2,2	16,818	5,9
9,80	121,00	154,0	121,0	0,466667	259,286	0,4
10,00	119,00	126,0	119,0	1,866667	63,75	1,6
10,20	128,00	156,0	128,0	0,0		0,0

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT3

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	fs Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	Incoerente-Coesivo	Limo sabbioso e sabbia limosa
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	Coesivo	Argilla, argilla organica e torba
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	Incoerente	Sabbia limosa
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Cu (kg/cm ²)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Terzaghi	0,8
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	0,4	0,3	Terzaghi	0,2

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eed (kg/cm ²)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Buisman Sanglerat	45,9
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	0,4	0,3	Buisman Sanglerat	10,5

Modulo di deformazione non drenato Eu

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eu (kg/cm ²)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Cancelli 1980	858,9
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	0,4	0,3	Cancelli 1980	145,1

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (kg/cm ²)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	190,0
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	0,4	0,3	Imai & Tomauchi	67,3

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	0,4	0,3	Meyerhof	1,6

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crm
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	0,12492	0,01624
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	0,4	0,3	0,38351	0,04986

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Meyerhof	--
2	0,60-3,80	4,202015	0,266667	0,4	0,3	Meyerhof	1,8

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Harman	23,6
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Harman	39,2
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Harman	78,4

Angolo di resistenza al taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Schmertmann	28,1
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Schmertmann	31,5
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Schmertmann	34,1

Modulo di Young

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (kg/cm ²)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Robertson & Campanella 1983	45,9
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Robertson & Campanella 1983	88,6
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Robertson & Campanella 1983	236,5

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (kg/cm ²)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	41,2
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Buisman - Sanglerat	82,3
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Buisman - Sanglerat	177,4

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	G (kg/cm ²)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	190,0
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Imai & Tomauchi	283,9
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Imai & Tomauchi	517,2

Modulo di reazione Ko

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Ko
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,25
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Kulhawy & Mayne (1990)	0,35
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,72

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crn
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	0,12492	0,01624
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	0,10886	0,01415
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	0,09387	0,0122

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Meyerhof	1,8
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
1	0,00-0,60	22,96426	0,488889	0,1	0,1	Meyerhof	--
3	3,80-9,80	44,31098	0,933334	1,3	0,8	Meyerhof	2,1
4	9,80-10,20	118,2656	0,933334	2,0	1,1	Meyerhof	2,2

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA CPT3



Esecuzione della prova penetrometrica CPT3

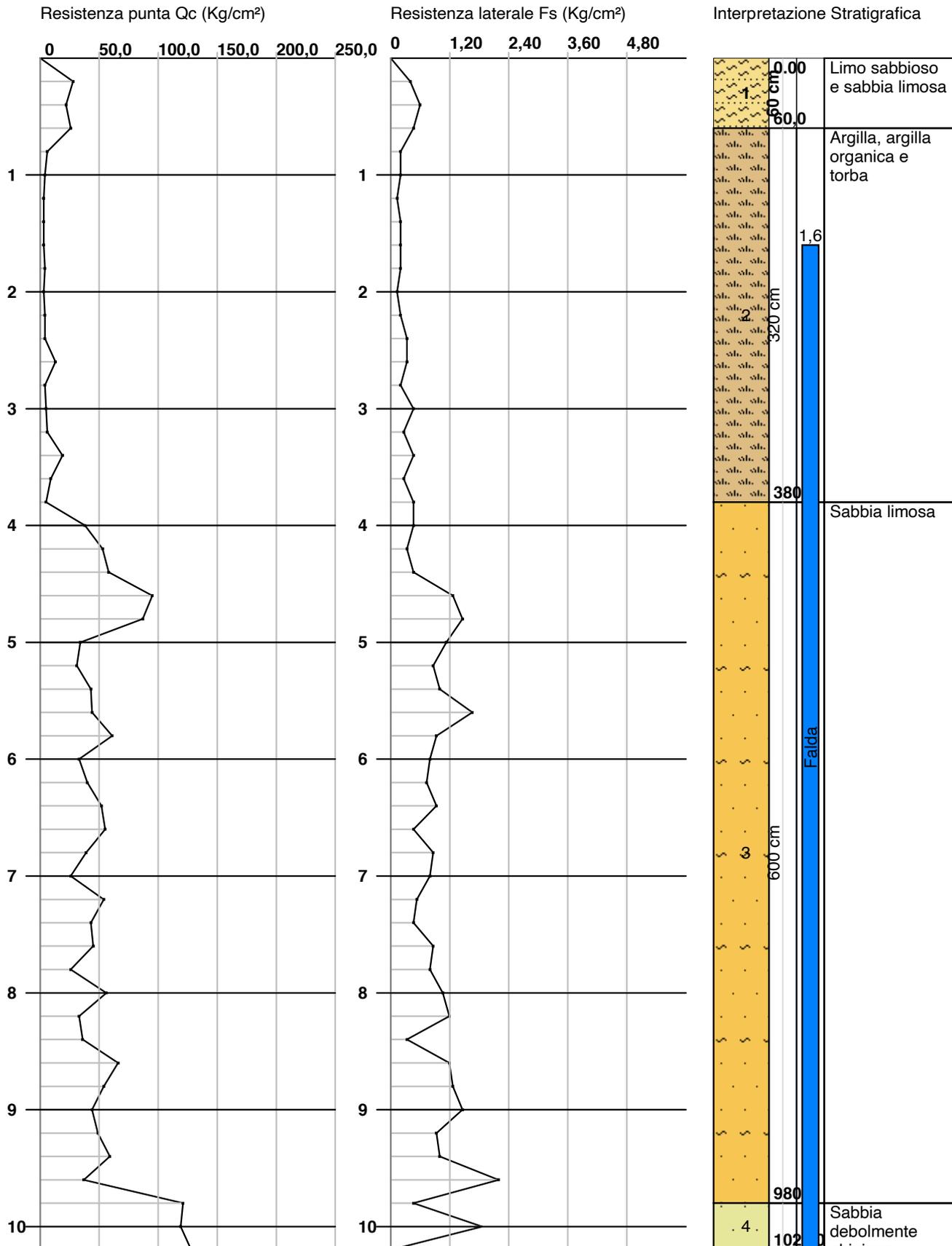


Installazione del micro-piezometro e rilievi freaticometrici

Committente:
 Cantiere:
 Località:

Nuova strada di collegamento
 San Martino Siccomario - Travacò Siccomario (PV)

Data: 24/07/2023



PROVA CPT4

Prova eseguita in data: 24/07/2023

Profondità prova: 11,60 m (rifiuto)

Falda: -5,10 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (kg/cm ²)	Lettura laterale (kg/cm ²)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	78,00	93,0	78,0	0,866667	90,0	1,1
0,40	89,00	102,0	89,0	1,133333	78,529	1,3
0,60	99,00	116,0	99,0	2,133333	46,406	2,2
0,80	91,00	123,0	91,0	2,2	41,364	2,4
1,00	95,00	128,0	95,0	1,6	59,375	1,7
1,20	106,00	130,0	106,0	1,6	66,25	1,5
1,40	65,00	89,0	65,0	0,733333	88,636	1,1
1,60	19,00	30,0	19,0	1,2	15,833	6,3
1,80	17,00	35,0	17,0	0,466667	36,429	2,7
2,00	13,00	20,0	13,0	0,466667	27,857	3,6
2,20	13,00	20,0	13,0	0,466667	27,857	3,6
2,40	12,00	19,0	12,0	0,533333	22,5	4,4
2,60	10,00	18,0	10,0	0,933333	10,714	9,3
2,80	22,00	36,0	22,0	0,333333	66,0	1,5
3,00	17,00	22,0	17,0	0,466667	36,429	2,7
3,20	19,00	26,0	19,0	0,466667	40,714	2,5
3,40	13,00	20,0	13,0	0,4	32,5	3,1
3,60	17,00	23,0	17,0	0,8	21,25	4,7
3,80	67,00	79,0	67,0	1,2	55,833	1,8
4,00	63,00	81,0	63,0	0,8	78,75	1,3
4,20	61,00	73,0	61,0	1,066667	57,187	1,7
4,40	63,00	79,0	63,0	0,866667	72,692	1,4
4,60	66,00	79,0	66,0	1,2	55,0	1,8
4,80	77,00	95,0	77,0	0,533333	144,375	0,7
5,00	39,00	47,0	39,0	1,733333	22,5	4,4
5,20	48,00	74,0	48,0	1,133333	42,353	2,4
5,40	29,00	46,0	29,0	0,933333	31,071	3,2
5,60	31,00	45,0	31,0	0,733333	42,273	2,4
5,80	33,00	44,0	33,0	1,0	33,0	3,0
6,00	41,00	56,0	41,0	0,6	68,333	1,5
6,20	59,00	68,0	59,0	0,933333	63,214	1,6
6,40	52,00	66,0	52,0	0,866667	60,0	1,7
6,60	53,00	66,0	53,0	1,8	29,444	3,4
6,80	67,00	94,0	67,0	1,0	67,0	1,5
7,00	54,00	69,0	54,0	0,8	67,5	1,5
7,20	53,00	65,0	53,0	0,866667	61,154	1,6
7,40	53,00	66,0	53,0	0,933333	56,786	1,8
7,60	96,00	110,0	96,0	1,066667	90,0	1,1
7,80	84,00	100,0	84,0	2,2	38,182	2,6
8,00	91,00	124,0	91,0	1,0	91,0	1,1
8,20	78,00	93,0	78,0	1,133333	68,824	1,5
8,40	95,00	112,0	95,0	1,733333	54,808	1,8
8,60	93,00	119,0	93,0	2,4	38,75	2,6
8,80	91,00	127,0	91,0	1,0	91,0	1,1
9,00	103,00	118,0	103,0	1,266667	81,316	1,2
9,20	137,00	156,0	137,0	2,0	68,5	1,5
9,40	97,00	127,0	97,0	-0,2	-485,0	-0,2
9,60	106,00	103,0	106,0	1,066667	99,375	1,0
9,80	93,00	109,0	93,0	1,133333	82,059	1,2
10,00	92,00	109,0	92,0	1,866667	49,286	2,0
10,20	124,00	152,0	124,0	1,466667	84,545	1,2
10,40	103,00	125,0	103,0	2,133333	48,281	2,1

10,60	107,00	139,0	107,0	0,666667	160,5	0,6
10,80	96,00	106,0	96,0	1,4	68,571	1,5
11,00	91,00	112,0	91,0	0,733333	124,091	0,8
11,20	98,00	109,0	98,0	1,0	98,0	1,0
11,40	119,00	134,0	119,0	2,133333	55,781	1,8
11,60	176,00	208,0	176,0	0,0		0,0

INTERPRETAZIONE LITOLOGICA PROVA CPT4

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	fs Distribuzione normale R.C. (kg/cm ²)	Comportamento geotecnico prevalente	Descrizione litologica
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	Incoerente	Sabbia ghiaiosa
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	Coesivo	Limo argilloso e argilla limosa
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	Incoerente	Sabbia limosa
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	Incoerente	Sabbia debolmente ghiaiosa

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT4

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Cu (kg/cm ²)
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	0,5	0,5	Terzaghi	0,6

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eed (kg/cm ²)
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	0,5	0,5	Buisman Sanglerat	26,2

Modulo di deformazione non drenato Eu

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Eu (kg/cm ²)
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	0,5	0,5	Cancelli 1980	472,0

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (kg/cm ²)
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	0,5	0,5	Imai & Tomauchi	134,7

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	0,5	0,5	Meyerhof	1,7

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crm
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	0,5	0,5	0,16869	0,02193

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
2	1,20-3,60	13,07889	0,605556	0,5	0,5	Meyerhof	--

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Harman	59,8
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Harman	41,4
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Harman	72,6

Angolo di resistenza al taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Schmertmann	33,5
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Schmertmann	31,6
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Schmertmann	33,6

Modulo di Young

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Robertson & Campanella 1983	174,3
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Robertson & Campanella 1983	96,3
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Robertson & Campanella 1983	191,7

Modulo Edometrico

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	130,7
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Buisman - Sanglerat	72,2
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Buisman - Sanglerat	143,8

Modulo di deformazione a taglio

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	G (kg/cm ²)
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	429,2
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Imai & Tomauchi	298,7
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Imai & Tomauchi	454,8

Modulo di reazione Ko

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Ko
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,54
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,36
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Kulhawy & Mayne (1990)	0,61

Fattori di compressibilità C Crm

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	C	Crn
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	0,09572	0,01244
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	0,10663	0,01386
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	0,09481	0,01233

Peso unità di volume

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Meyerhof	1,8
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

Strato (n)	Prof. Strato (m)	qc (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
1	0,00-1,20	87,15826	1,588889	0,1	0,1	Meyerhof	2,1
3	3,60-7,40	48,15904	1,0	1,1	1,1	Meyerhof	2,1
4	7,40-11,60	95,83349	1,295238	2,0	1,5	Meyerhof	2,2

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA CPT4



Esecuzione della prova penetrometrica CPT4

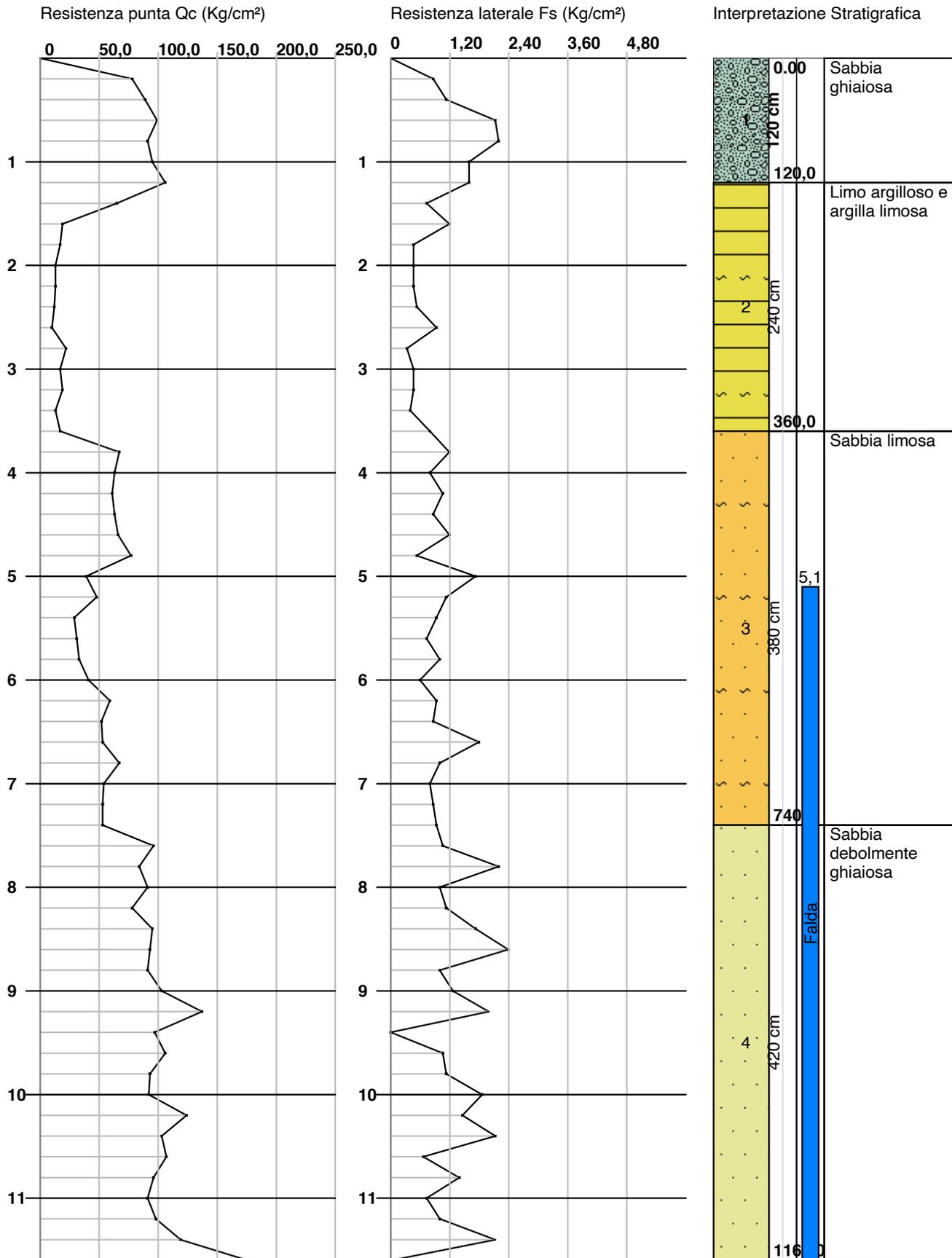


Installazione del micro-piezometro e rilievi freaticimetrici

Committente:
 Cantiere:
 Località:

Nuova strada di collegamento
 San Martino Siccomario - Travacò Siccomario (PV)

Data: 24/07/2023



**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO
TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO
SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI
TRAVACÒ SICCOMARIO**

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 17/01/2018 - D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616)

TRINCEE GEOGNOSTICHE ESPLORATIVE (Tr1-Tr3)

ALLEGATO 2

Luglio 2024

A cura di:



S.G.P.

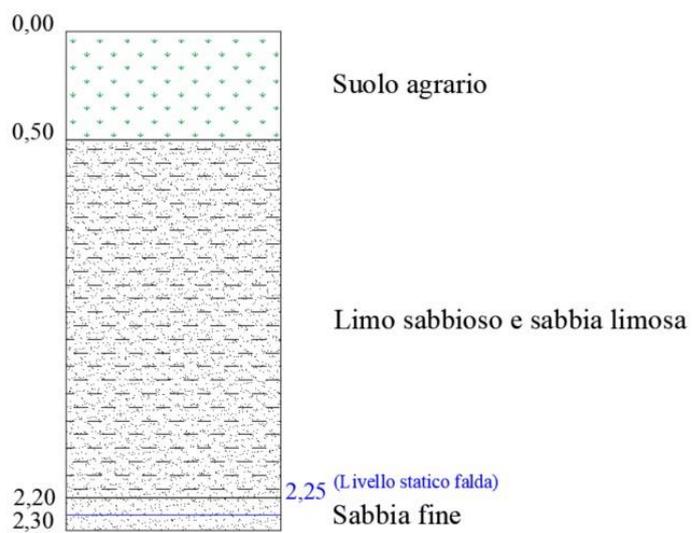
SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sggp@iol.it - pec sggp@pec.it

Il tecnico:

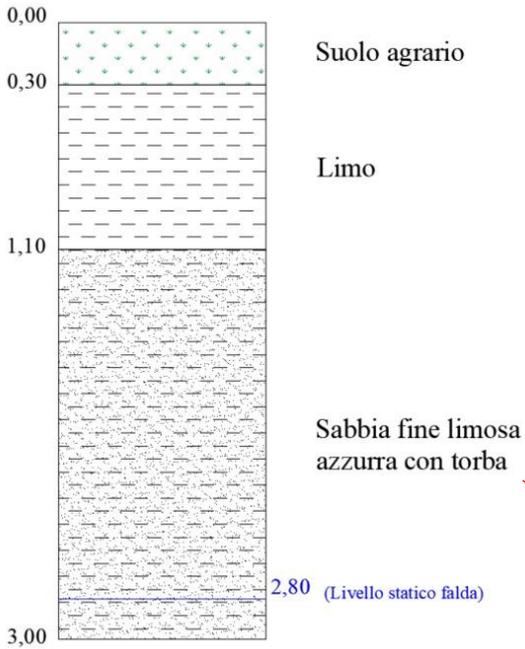
Vercesi Prof. Pier Luigi
n. iscr. Ordine Geologi Lombardia 1015



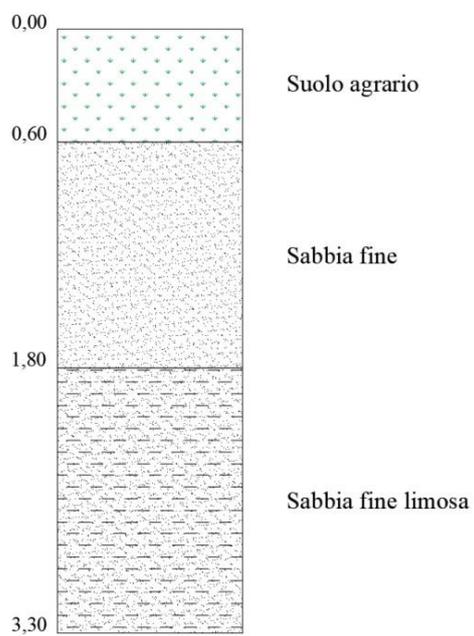
San Martino Siccomario – Trincea TR1



Travacò Siccomario – Trincea TR2



Travacò Siccomario – Trincea TR3



**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO
TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO
SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI
TRAVACÒ SICCOMARIO**

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 17/01/2018 - D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616)

INDAGINE SISMICA MASW

ALLEGATO 3

Luglio 2024

A cura di:



S.G.P.

SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sggp@iol.it - pec sggp@pec.it

Il tecnico:

Vercesi Prof. Pier Luigi
n. iscr. Ordine Geologi Lombardia 1015



INDAGINE SISMICA MASW

Cantiere	Nuova strada di collegamento
Località	San Martino Siccomario - Travacò Siccomario (PV)
Data	14/07/2023

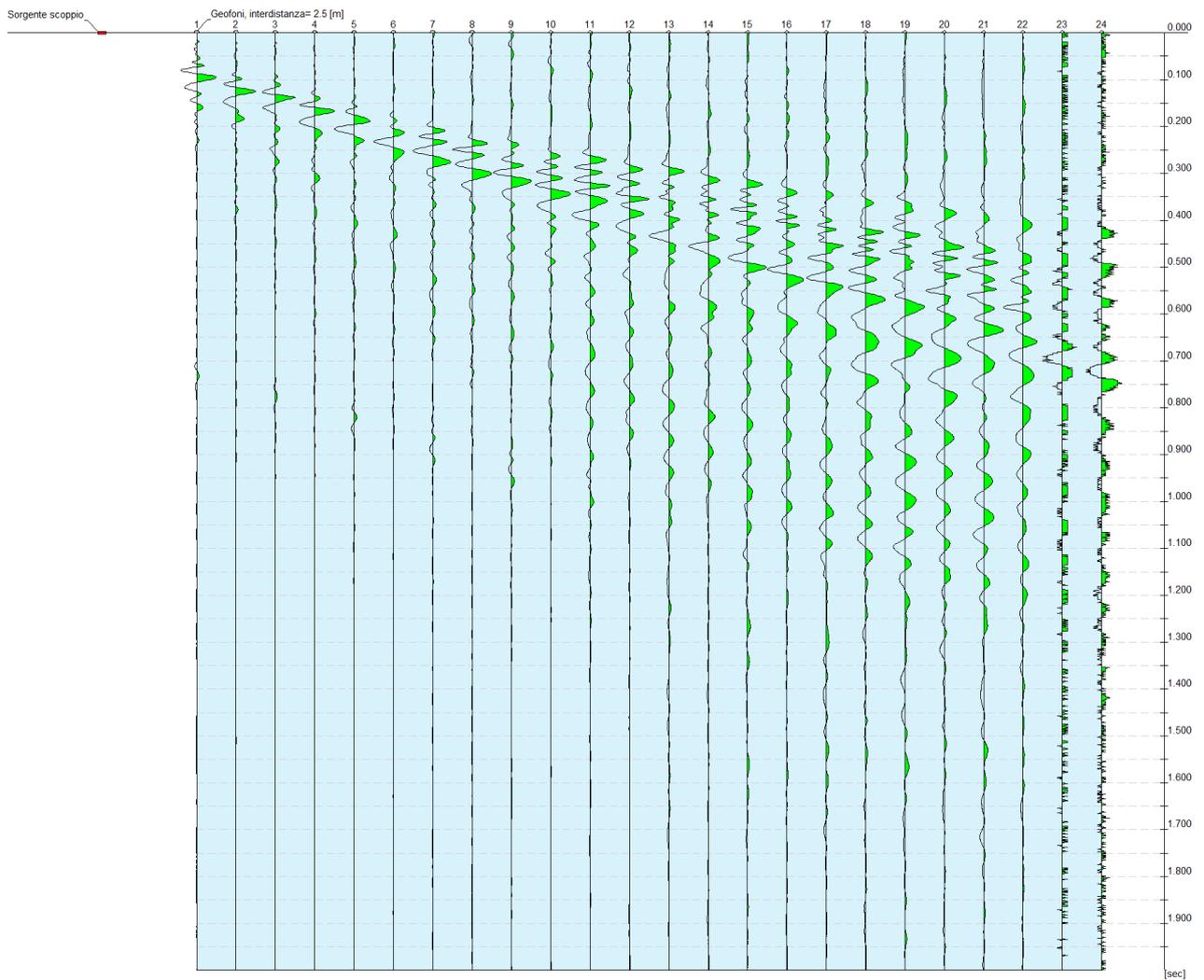


- Sismografo tipo “DoReMi” multicanale (SARA electronic instruments)
- Frequenza di campionamento 1000 Hz
- Sensori verticali (geofoni) da 4.5 Hz

SISMOGRAMMA

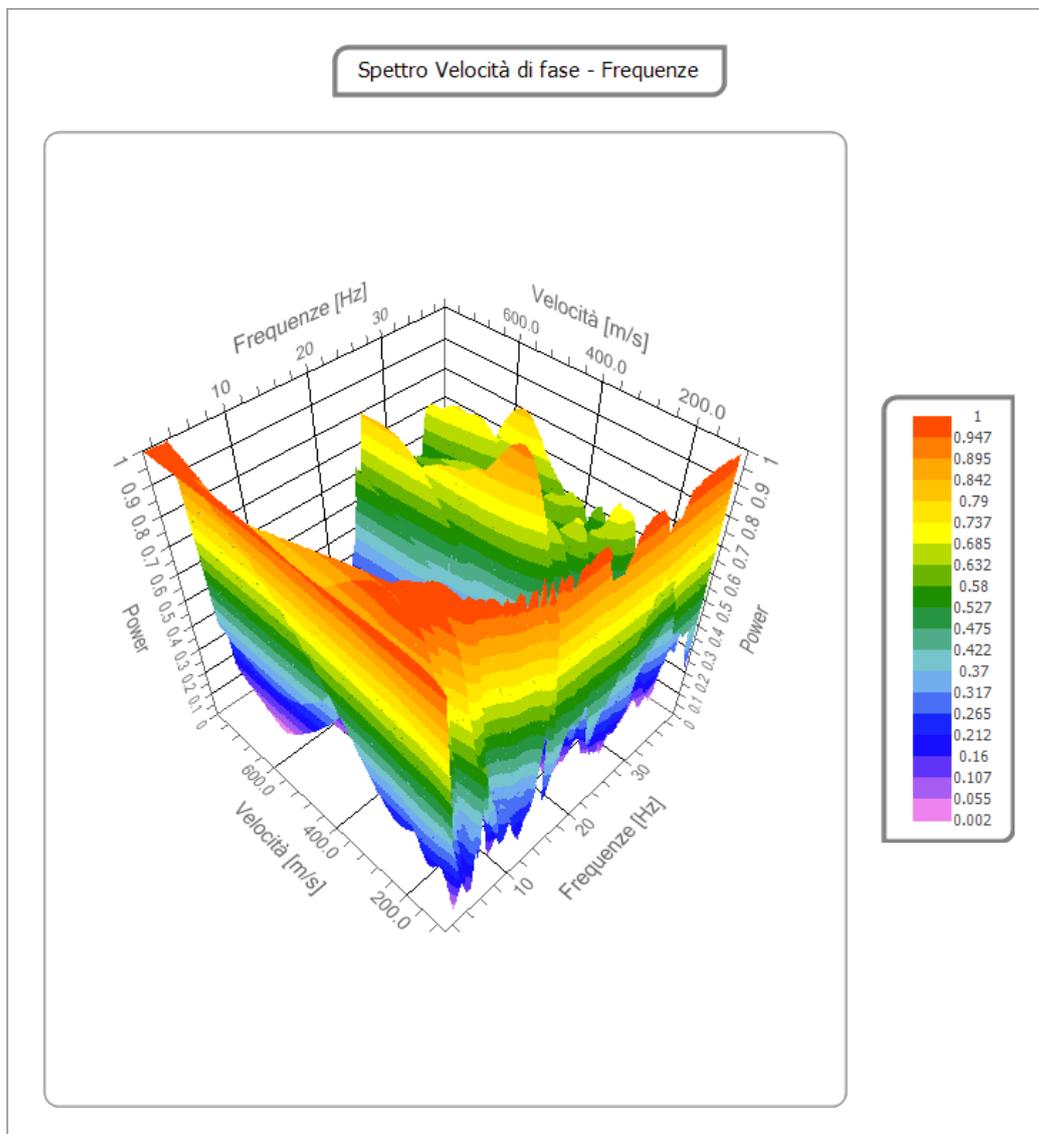
- Numero tracce 24
- Lunghezza stendimento 65 m
- Durata acquisizione 2000 msec
- Interdistanza geofonica 2.50 m
- Periodo di campionamento 1 msec

Cantiere: Nuova strada di collegamento
Località: San Martino Siccomario - Travacò Siccomario (PV)
Data: 14/07/2023

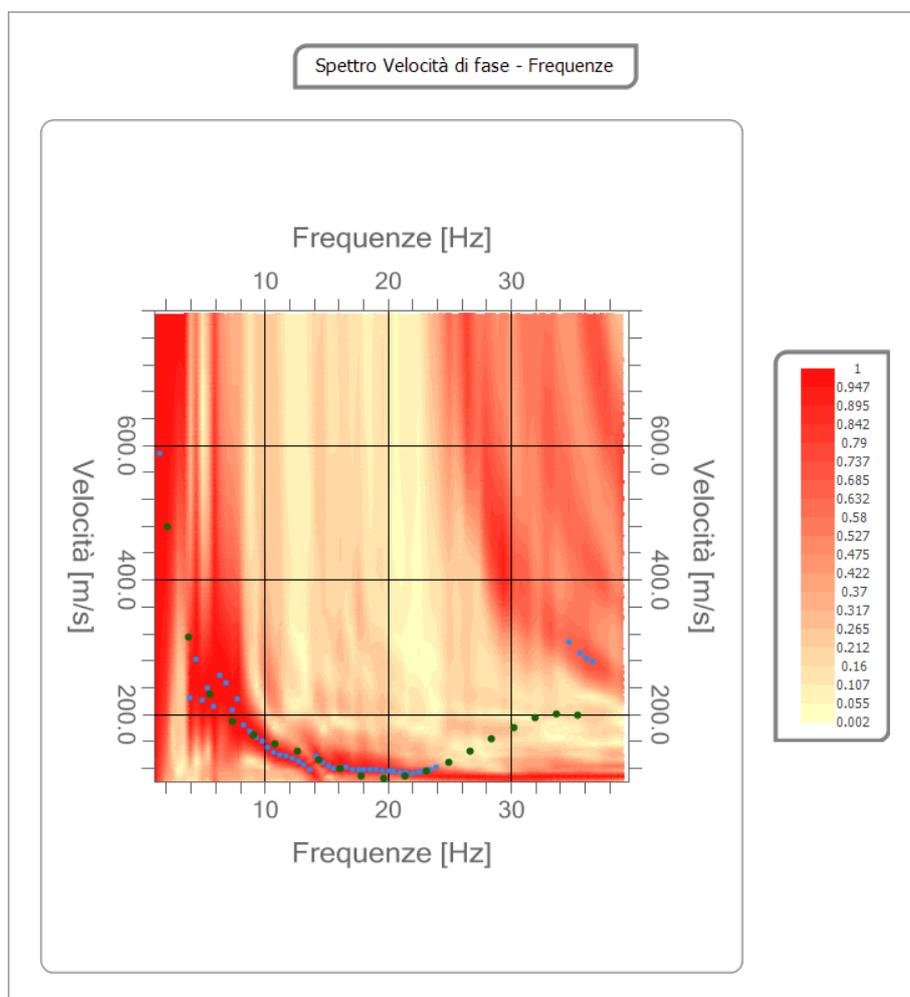


ANALISI SPETTRALE

- Frequenza minima di elaborazione 4 Hz
- Frequenza massima di elaborazione 40 Hz
- Velocità minima di elaborazione 100 m/sec
- Velocità massima di elaborazione 800 m/sec
- Intervallo velocità 1 m/sec



CURVA DI DISPERSIONE



n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.1	478.8	0
2	3.8	314.3	0
3	5.6	229.2	0
4	7.3	188.5	0
5	9.1	168.9	0
6	10.9	156.6	0
7	12.6	144.8	0
8	14.4	131.8	0
9	16.1	118.8	0
10	17.9	108.8	0
11	19.7	105.1	0
12	21.4	107.7	0
13	23.2	115.5	0
14	24.9	128.2	0
15	26.7	144.7	0
16	28.4	163.1	0
17	30.2	180.6	0
18	32.0	194.2	0
19	33.7	201.0	0
20	35.5	199.0	0

INVERSIONE

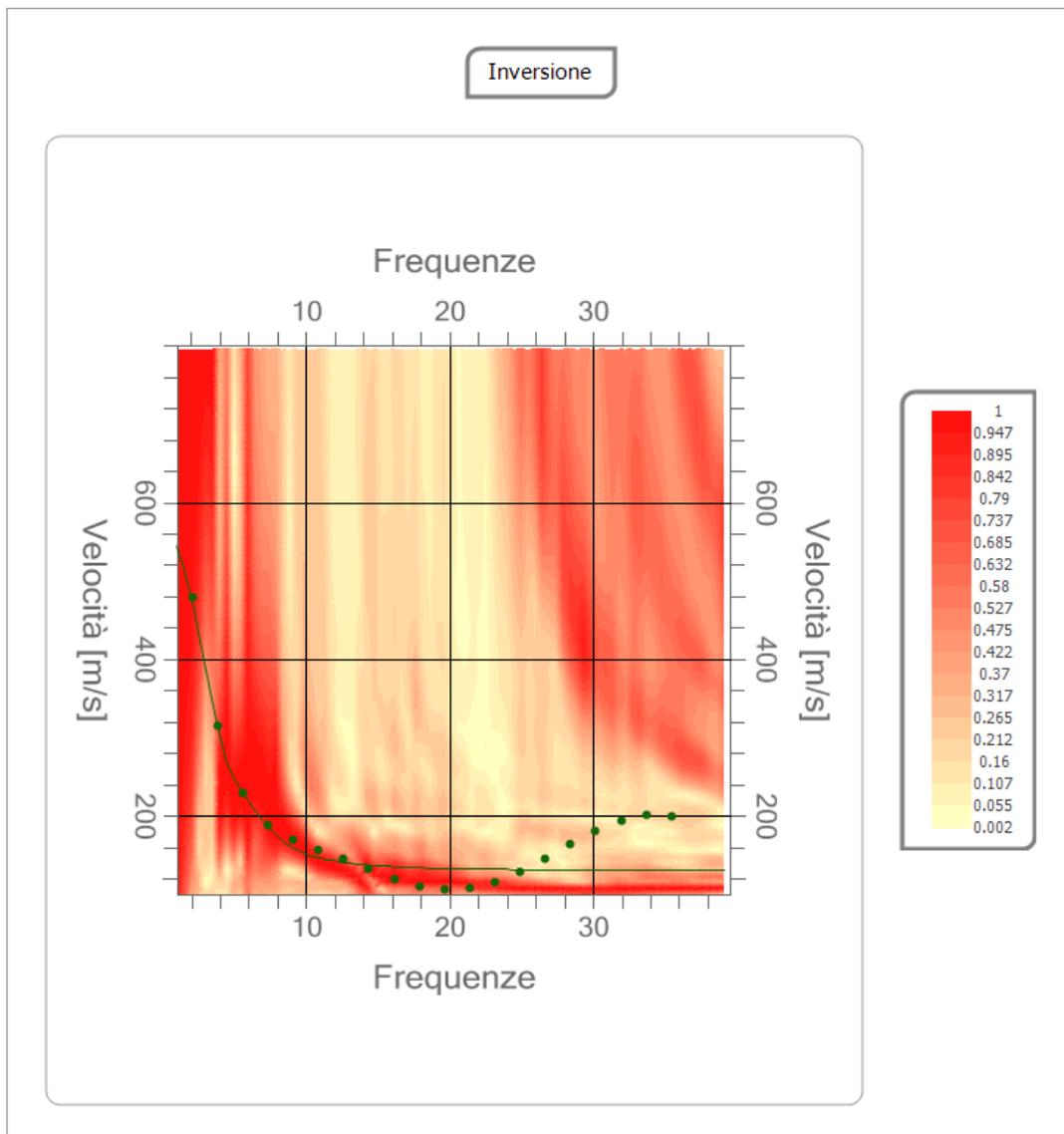
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	0.86	0.86	348.1	213.2
2	3.84	2.98	233.7	143.1
3	8.50	4.66	494.0	302.5
4	13.88	5.38	575.5	352.4
5	30.81	16.93	590.9	361.9

Percentuale di errore

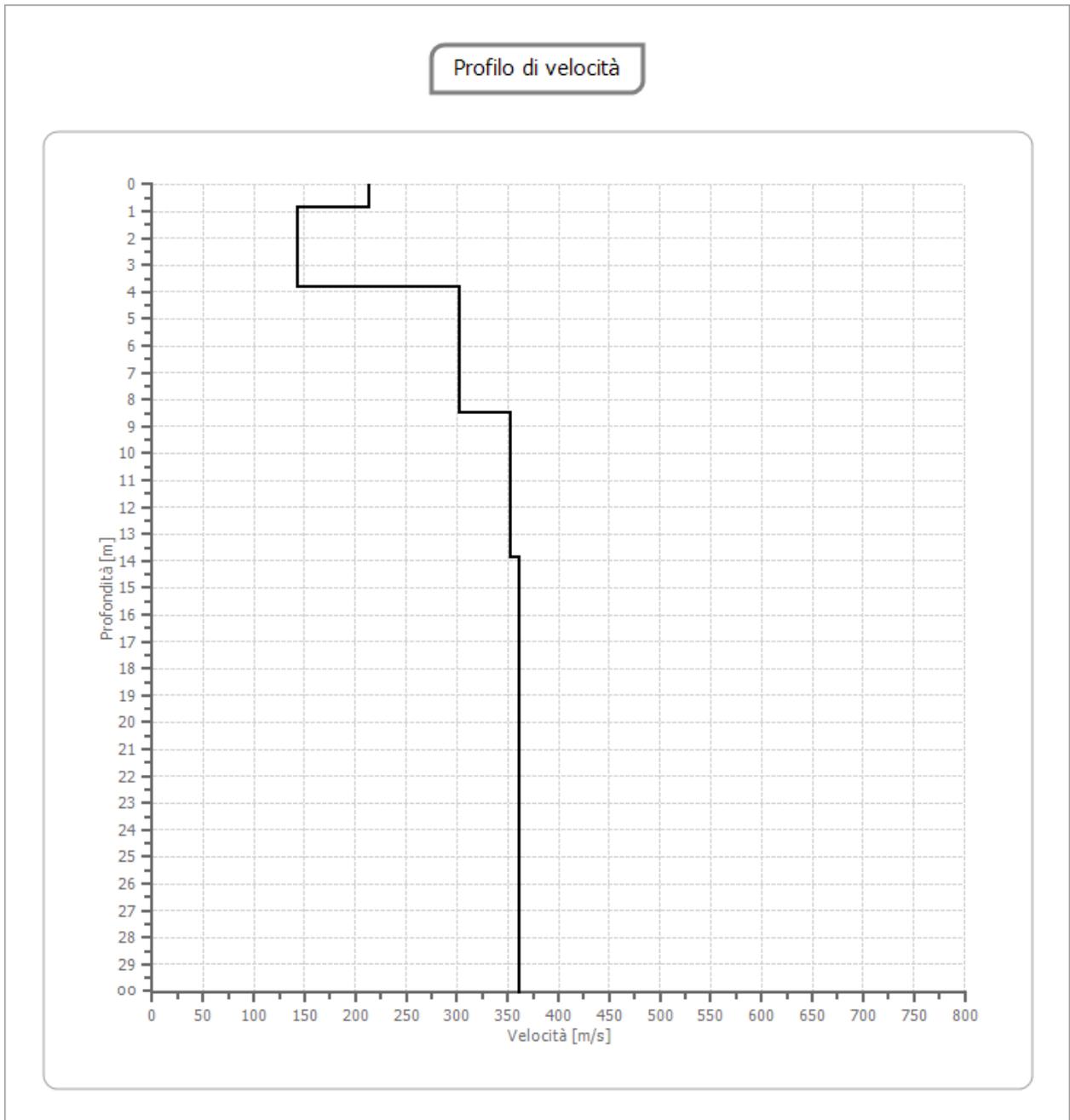
0.256 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.089



RISULTATI



- **V_{seq} (H = 30 m)** **299.76 m/s**
- **Categoria di sottosuolo** **C** (Tabella 3.2.II delle NTC 2018)
- **Suolo di tipo C** depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO
TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO
SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI
TRAVACÒ SICCOMARIO**

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 17/01/2018 - D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616)

STRATIGRAFIE POZZI

ALLEGATO 4

Luglio 2024

A cura di:



S.G.P.

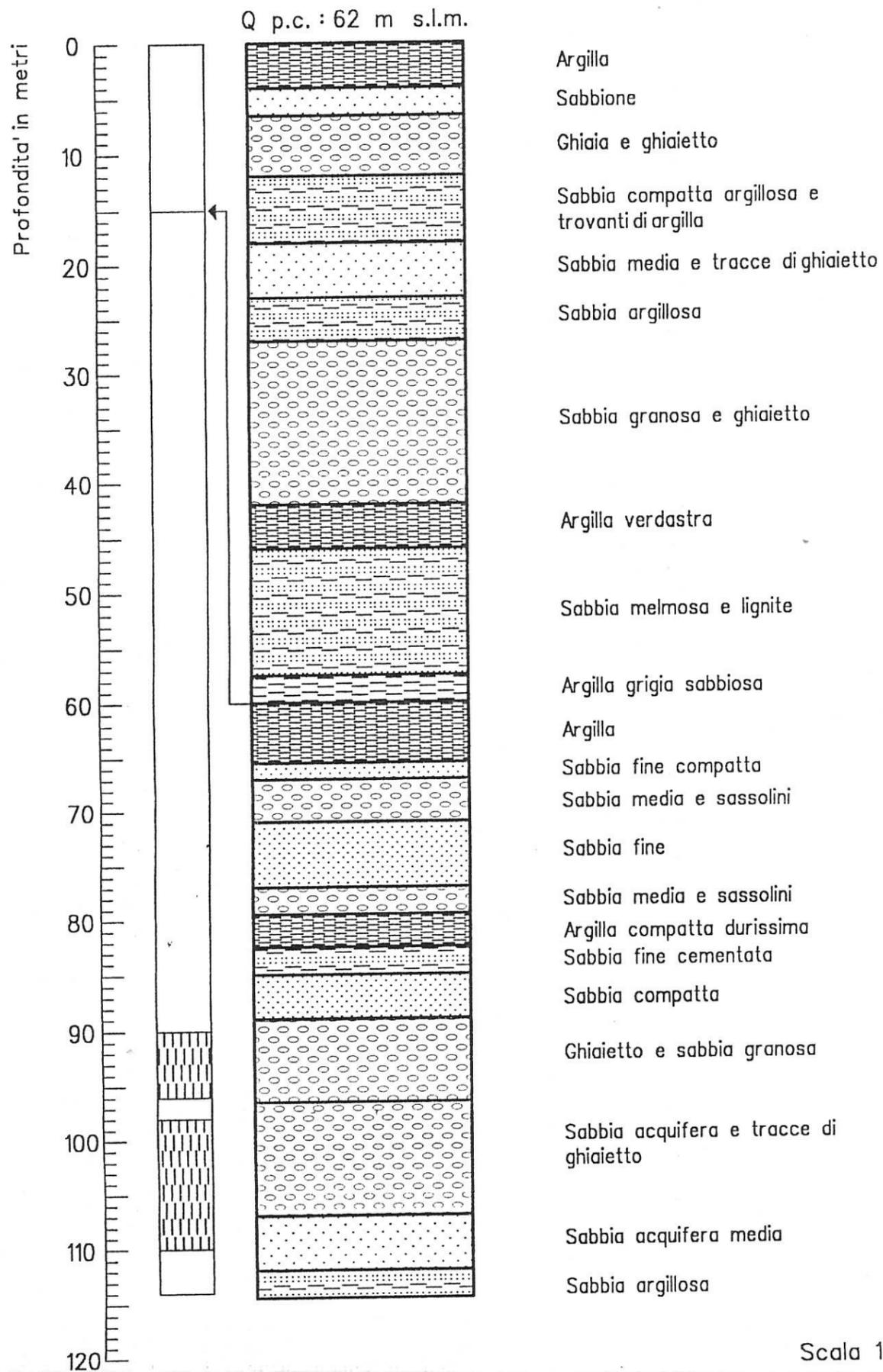
SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sggp@iol.it - pec sggp@pec.it

Il tecnico:

Vercesi Prof. Pier Luigi
n. iscr. Ordine Geologi Lombardia 1015



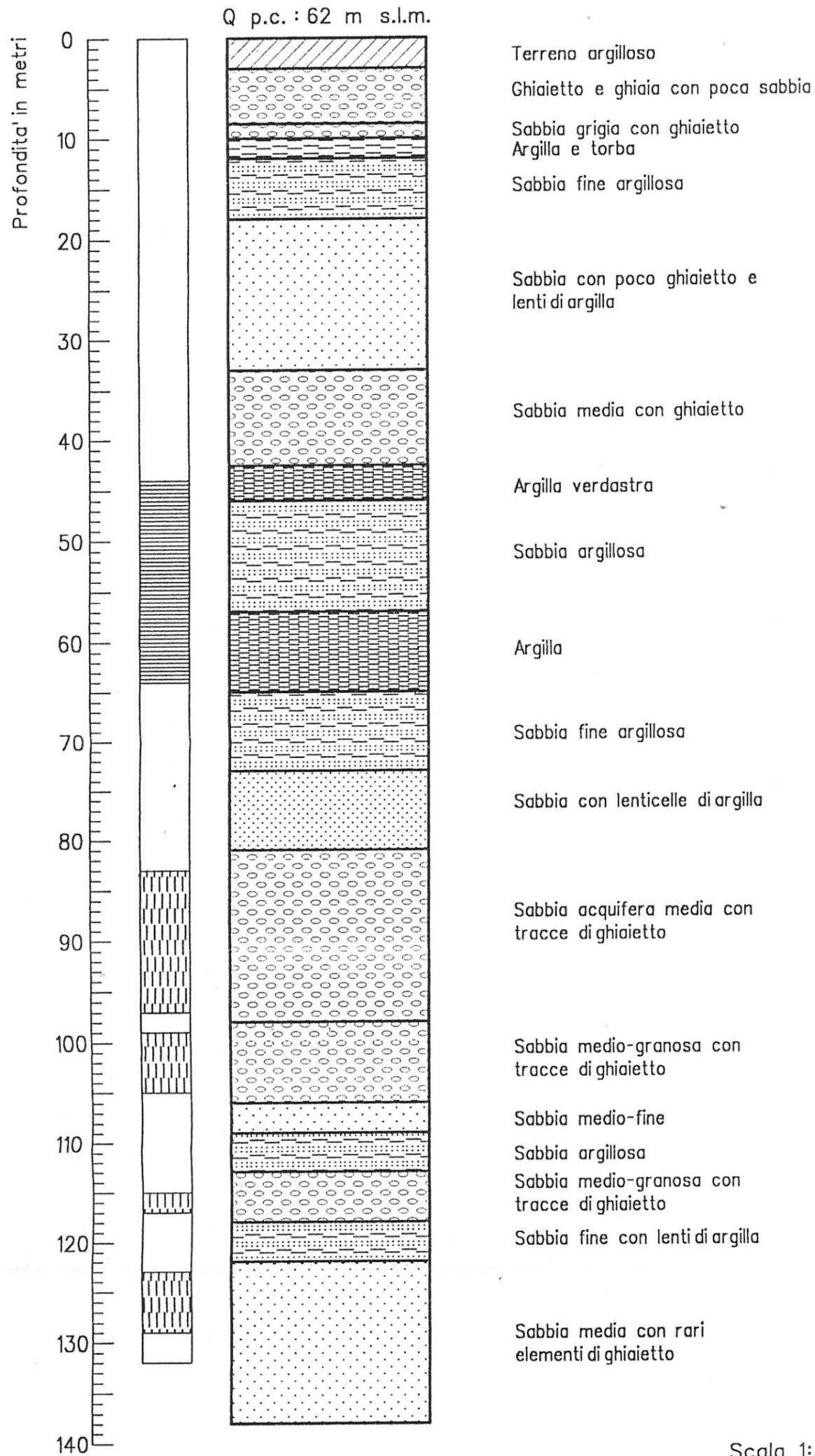
COMUNE DI
 SAN MARTINO SICCOMARIO
 POZZO N. 1
 Ubicazione: Via Davagnini



COMUNE DI
SAN MARTINO SICCOMARIO

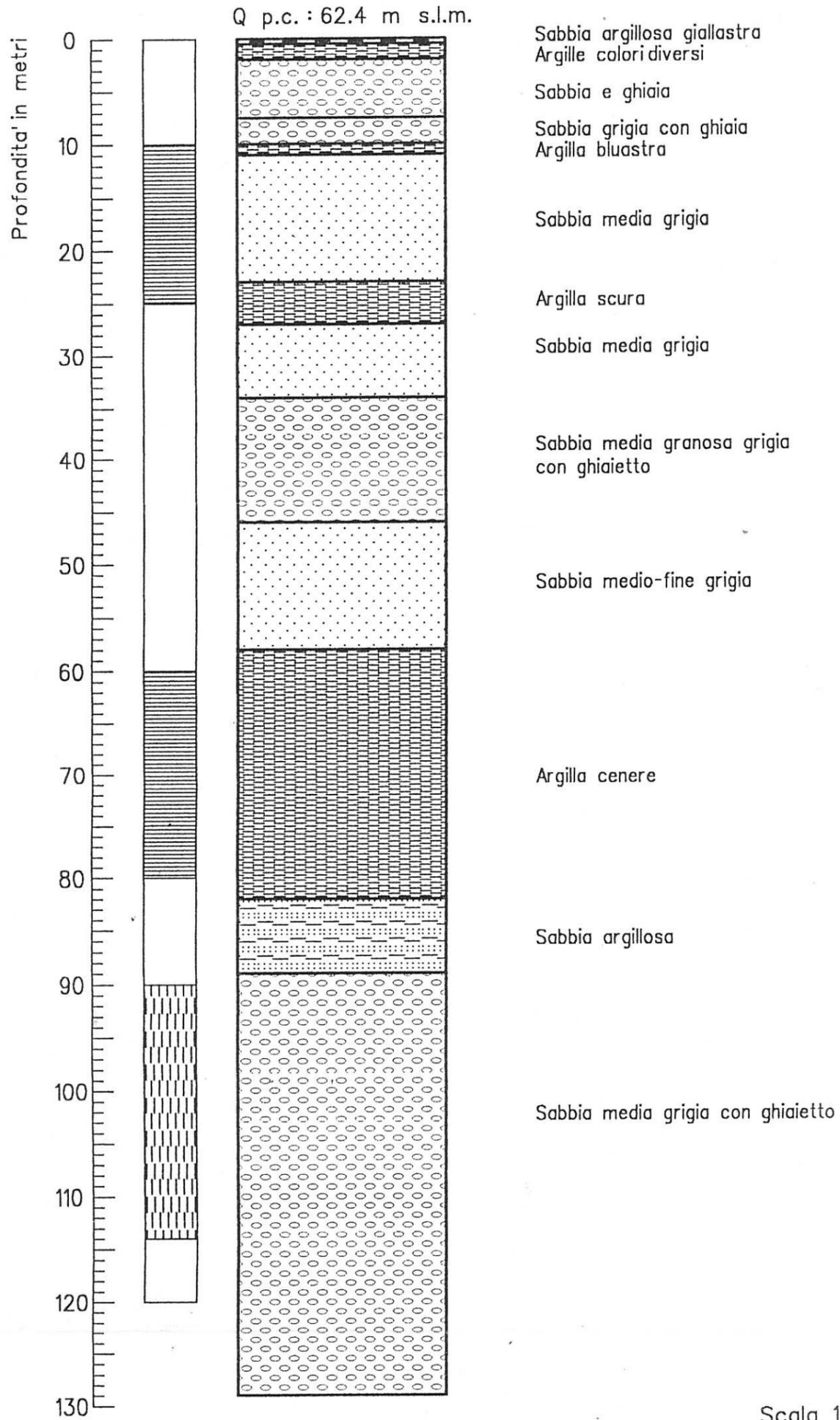
POZZO N. 2

Ubicazione: Via Davagnini



Scala 1:500

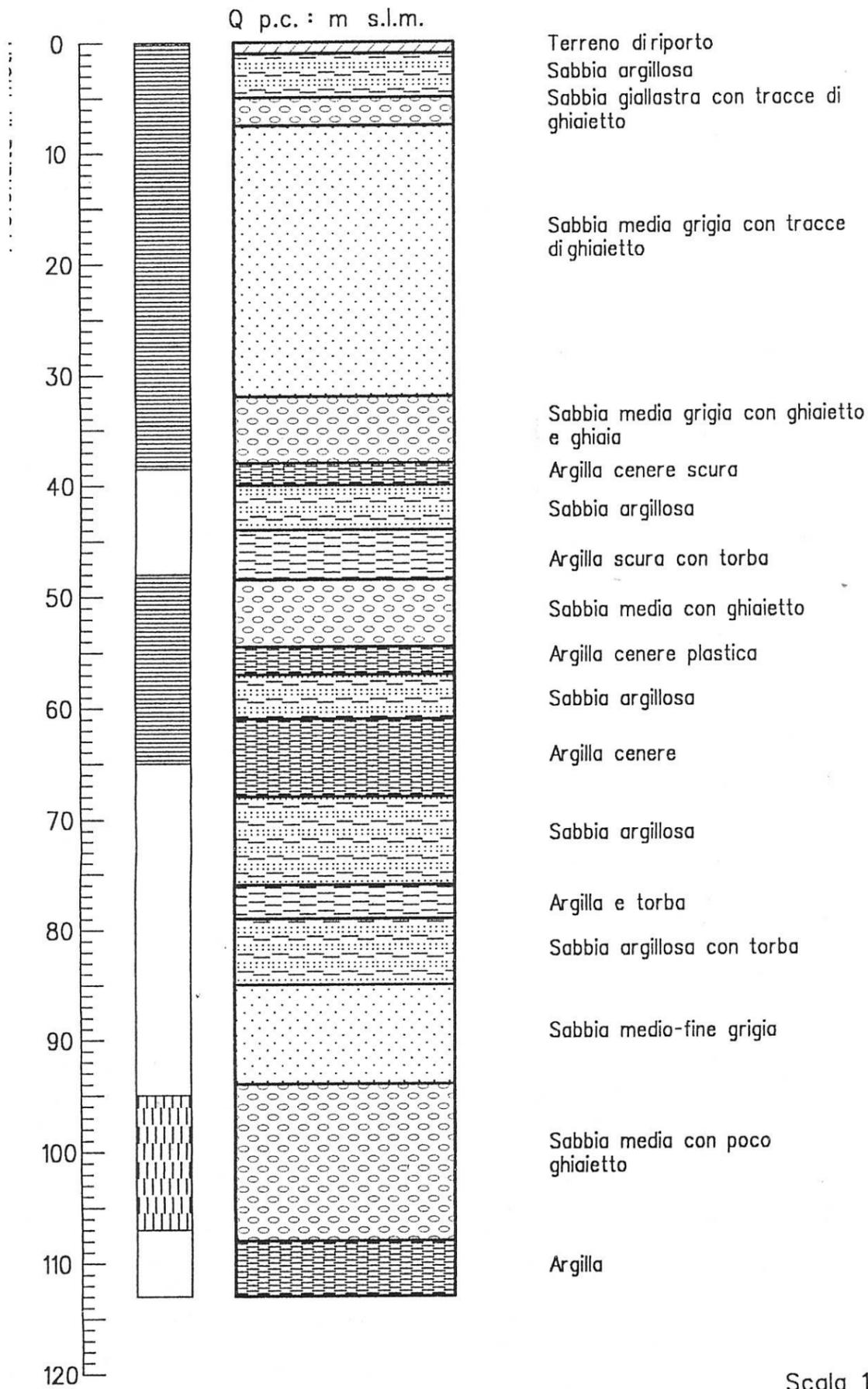
COMUNE DI
SAN MARTINO SICCOMARIO
POZZO N. 3
Ubicazione: Via Giovanni XXIII



COMUNE DI
TRAVACO' SICCOMARIO

POZZO N. 1

Ubicazione: via Marconi



**NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO
TRA VIA MADONNA IN COMUNE DI SAN MARTINO
SICCOMARIO E VIA DEL TOVO IN COMUNE DI
TRAVACÒ SICCOMARIO**

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 17/01/2018 - D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616)

VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

ALLEGATO 5

Luglio 2024

A cura di:



S.G.P.

SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-466111 / 463385 / 571865 (fax) - e-mail: sggp@iol.it - pec sggp@pec.it

Il tecnico:

Vercesi Prof. Pier Luigi
n. iscr. Ordine Geologi Lombardia 1015



VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

METODI SEMPLIFICATI

Metodo di Robertson e Wride (1997)

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:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma'_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma'_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

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 la (5.0a).

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 la (5.0a) 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 dalla (2.8b) ponendo $n = 0,75$.

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

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

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

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \ddot{A}q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\ddot{A}q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

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

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

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

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR_{7,5}**) si calcola con le espressioni seguenti:
se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

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

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

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

$$\frac{\hat{\sigma}'_{av}}{\hat{\sigma}'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\hat{\sigma}'_{vo}}{\hat{\sigma}'_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

Tabella 1- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

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

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

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

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

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

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).

DATI GENERALI CPT1

Data 24/07/2023
Normativa: Eurocodice 8

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA
Profondità falda idrica 1,0 m

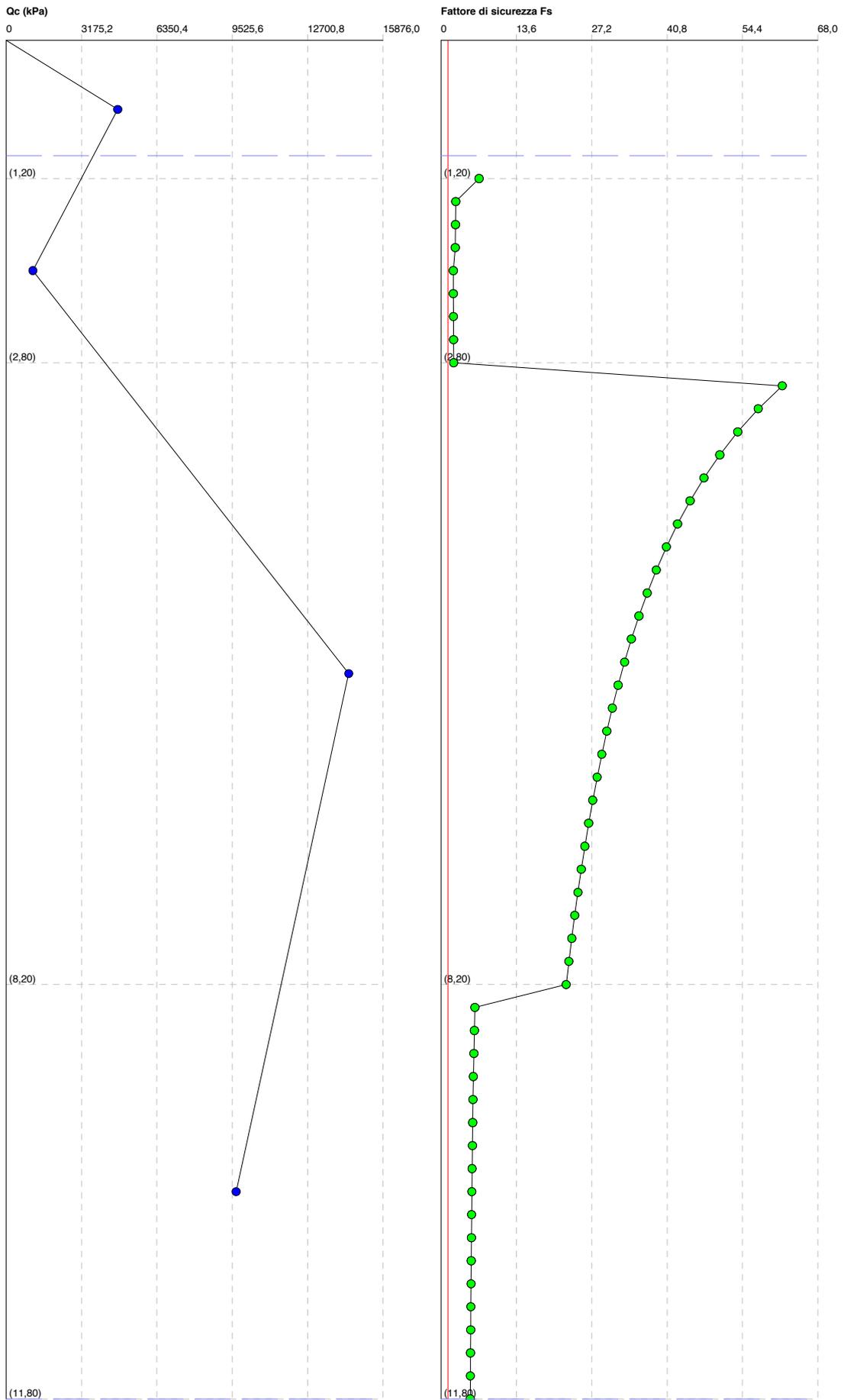
DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock 0,079936

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza $V_{s30}=180-360$
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (M_w) 5,5
Peak ground acceleration (PGA) 0,119904

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (kN/mc)	Peso unità volume saturo (kN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (kPa)	Resistenza attrito laterale fs (kPa)
1	Limo sabbioso e sabbia limosa	0	1,2	17,65	21,57	0	0	4700,5	112,23
2	Limo argilloso e argilla limosa	1,2	2,8	16,67	19,16	0	0	1125,2	42,03
3	Sabbia ghiaiosa	2,8	8,2	17,65	20,59	0	0	14431,93	465,15
4	Sabbia debolmente ghiaiosa	8,2	11,8	17,65	20,59	0	0	9686,77	177,61



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 per la 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	Rischio
1,20	21,964	20,003	105,099	2,399	2,158	1,7	125,486	0,991	0,264	0,038	6,879	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,40	25,796	21,873	35,180	3,823	2,636	1,7	68,010	0,989	0,109	0,041	2,657	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,60	29,628	23,744	33,080	3,836	2,657	1,7	70,630	0,988	0,113	0,043	2,596	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,80	33,460	25,615	31,251	3,850	2,676	1,7	73,158	0,986	0,116	0,045	2,564	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,00	37,292	27,485	39,581	3,863	2,602	1,7	63,893	0,985	0,104	0,047	2,214	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,20	41,124	29,356	36,929	3,877	2,625	1,7	66,632	0,983	0,108	0,049	2,215	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,40	44,956	31,227	34,594	3,891	2,647	1,7	69,340	0,982	0,111	0,050	2,229	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,60	48,788	33,097	32,523	3,905	2,667	1,7	72,017	0,980	0,115	0,051	2,253	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,80	52,620	34,968	30,673	3,919	2,687	1,7	74,666	0,979	0,119	0,052	2,287	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,00	56,738	37,125	236,861	3,236	2,048	1,641227	323,902	0,977	3,240	0,053	61,571	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,20	60,856	39,281	230,267	3,237	2,054	1,595536	317,268	0,976	3,050	0,053	57,263	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,40	64,974	41,438	224,194	3,238	2,061	1,553461	311,165	0,974	2,882	0,054	53,544	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,60	69,092	43,595	218,579	3,239	2,067	1,514548	305,524	0,972	2,732	0,054	50,302	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

3,80	73,210	45,751	213,365	3,239	2,073	1,47842	300,292	0,971	2,598	0,055	47,453	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,00	77,328	47,908	208,507	3,240	2,078	1,44476	295,420	0,969	2,478	0,055	44,931	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,20	81,446	50,065	203,966	3,241	2,084	1,413299	290,871	0,968	2,369	0,055	42,685	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,40	85,564	52,221	199,710	3,242	2,089	1,383808	286,609	0,966	2,270	0,056	40,671	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,60	89,682	54,378	195,710	3,243	2,094	1,356089	282,606	0,965	2,179	0,056	38,857	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,80	93,800	56,535	191,941	3,244	2,099	1,329971	278,837	0,963	2,096	0,056	37,215	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,00	97,918	58,691	188,381	3,245	2,104	1,305307	275,280	0,962	2,020	0,057	35,721	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,20	102,036	60,848	185,013	3,246	2,108	1,281966	271,916	0,960	1,950	0,057	34,358	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,40	106,154	63,005	181,818	3,247	2,113	1,259834	268,728	0,959	1,885	0,057	33,109	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,60	110,272	65,161	178,784	3,248	2,117	1,23881	265,702	0,957	1,824	0,057	31,960	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,80	114,390	67,318	175,897	3,249	2,121	1,218805	262,824	0,956	1,768	0,057	30,900	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,00	118,508	69,475	173,145	3,250	2,125	1,199738	260,083	0,954	1,716	0,057	29,920	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,20	122,626	71,631	170,519	3,251	2,129	1,181539	257,468	0,953	1,667	0,057	29,010	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,40	126,744	73,788	168,009	3,252	2,133	1,164144	254,970	0,951	1,622	0,058	28,165	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,60	130,862	75,945	165,606	3,253	2,137	1,147496	252,580	0,950	1,579	0,058	27,376	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

6,80	134,980	78,101	163,303	3,253	2,140	1,131541	250,291	0,948	1,538	0,058	26,640	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,00	139,098	80,258	161,094	3,254	2,144	1,116235	248,097	0,946	1,500	0,058	25,950	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,20	143,216	82,415	158,972	3,255	2,147	1,101533	245,990	0,945	1,464	0,058	25,303	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,40	147,334	84,571	156,932	3,256	2,151	1,087397	243,965	0,943	1,430	0,058	24,695	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,60	151,452	86,728	154,969	3,257	2,154	1,073792	242,017	0,942	1,398	0,058	24,123	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,80	155,570	88,885	153,077	3,258	2,157	1,060685	240,141	0,940	1,368	0,058	23,583	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,00	159,688	91,041	151,253	3,259	2,161	1,048046	238,334	0,939	1,339	0,058	23,073	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,20	163,806	93,198	149,493	3,260	2,164	1,035849	236,590	0,937	1,312	0,058	22,591	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,40	167,924	95,355	99,199	1,866	2,096	1,024068	143,626	0,936	0,356	0,058	6,122	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,60	172,042	97,511	98,096	1,867	2,100	1,01268	142,655	0,934	0,350	0,058	6,025	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,80	176,160	99,668	97,029	1,867	2,103	1,001664	141,718	0,933	0,345	0,058	5,933	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,00	180,278	101,825	95,996	1,868	2,107	0,9909991	140,812	0,931	0,340	0,058	5,846	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,20	184,396	103,982	94,995	1,869	2,110	0,9806681	139,936	0,928	0,335	0,058	5,771	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,40	188,514	106,138	94,025	1,870	2,113	0,9706537	139,088	0,923	0,330	0,058	5,716	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,60	192,632	108,295	93,084	1,871	2,116	0,9609398	138,267	0,918	0,326	0,058	5,664	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

9,80	196,750	110,452	92,171	1,872	2,120	0,9515119	137,471	0,912	0,322	0,057	5,615	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,00	200,868	112,608	91,284	1,872	2,123	0,9423562	136,699	0,907	0,318	0,057	5,569	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,20	204,986	114,765	90,422	1,873	2,126	0,9334598	135,950	0,902	0,314	0,057	5,527	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,40	209,104	116,922	89,584	1,874	2,129	0,9248108	135,223	0,896	0,310	0,056	5,486	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,60	213,222	119,078	88,769	1,875	2,132	0,9163976	134,517	0,891	0,306	0,056	5,449	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,80	217,340	121,235	87,976	1,876	2,135	0,90821	133,831	0,886	0,303	0,056	5,414	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,00	221,458	123,392	87,204	1,876	2,138	0,9002381	133,164	0,880	0,300	0,056	5,381	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,20	225,576	125,548	86,452	1,877	2,140	0,8924724	132,515	0,875	0,296	0,055	5,350	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,40	229,694	127,705	85,719	1,878	2,143	0,8849044	131,883	0,870	0,293	0,055	5,321	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,60	233,812	129,862	85,004	1,879	2,146	0,8775256	131,268	0,864	0,290	0,055	5,294	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,80	237,930	132,018	84,307	1,880	2,149	0,8703284	130,669	0,859	0,287	0,055	5,270	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

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

DATI GENERALI CPT2

Data 24/07/2023
Normativa: Eurocodice 8

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA
Profondità falda idrica 1,0 m

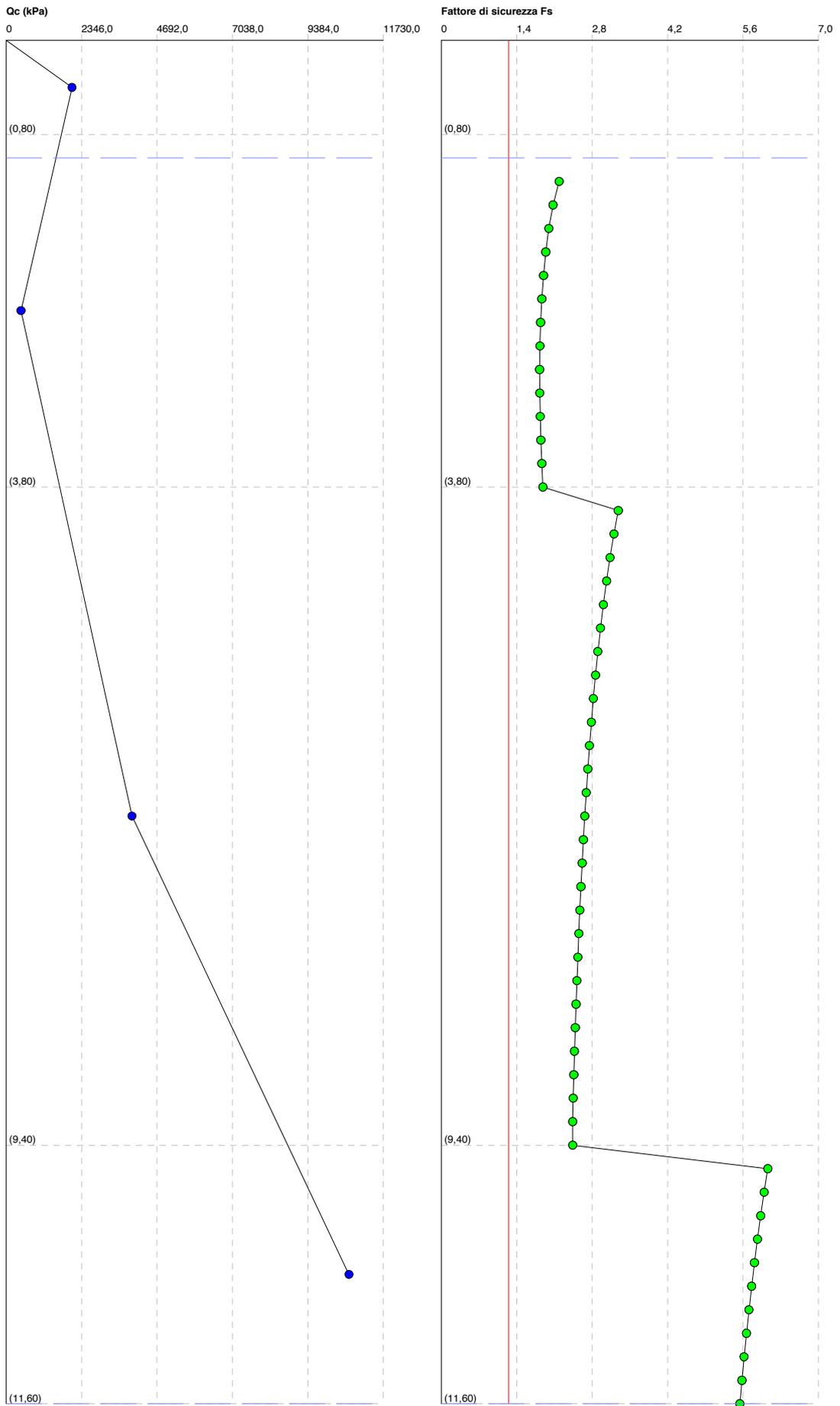
DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock 0,079936

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza $V_{s30}=180-360$
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (M_w) 5,5
Peak ground acceleration (PGA) 0,119904

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (kN/mc)	Peso unità volume saturo (kN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (kPa)	Resistenza attrito laterale fs (kPa)
1	Limo argilloso e limo sabbioso	0	0,8	17,65	20,2	0	0	2048,74	75,18
2	Argilla e argilla organica	0,8	3,8	15,69	17,62	0	0	461,74	22,66
3	Sabbia limosa	3,8	9,4	17,65	20,59	0	0	3913,19	67,25
4	Sabbia debolmente ghiaiosa	9,4	11,6	18,63	21,57	0	0	10663,52	176,52



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 per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta q _{c1} (kPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
1,20	20,782	18,821	23,429	5,139	2,853	1,7	41,226	0,991	0,084	0,039	2,187	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,40	24,306	20,383	21,460	5,180	2,883	1,7	43,472	0,989	0,086	0,042	2,074	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,60	27,830	21,946	19,772	5,222	2,912	1,7	45,681	0,988	0,088	0,044	1,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,80	31,354	23,509	18,308	5,265	2,940	1,7	47,858	0,986	0,090	0,046	1,939	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,00	34,878	25,071	17,026	5,309	2,966	1,7	50,005	0,985	0,092	0,048	1,898	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,20	38,402	26,634	15,895	5,353	2,991	1,7	52,128	0,983	0,093	0,050	1,865	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,40	41,926	28,197	14,889	5,398	3,015	1,7	54,227	0,982	0,095	0,051	1,843	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,60	45,450	29,759	13,989	5,443	3,038	1,7	56,306	0,980	0,097	0,053	1,831	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,80	48,974	31,322	13,178	5,490	3,060	1,7	58,367	0,979	0,098	0,054	1,826	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,00	52,498	32,885	12,445	5,537	3,081	1,7	60,412	0,977	0,101	0,055	1,828	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,20	56,022	34,447	11,778	5,585	3,102	1,7	62,443	0,976	0,103	0,056	1,836	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,40	59,546	36,010	11,169	5,634	3,123	1,7	64,461	0,974	0,105	0,057	1,848	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,60	63,070	37,573	10,611	5,684	3,142	1,7	66,469	0,972	0,107	0,058	1,865	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

3,80	66,594	39,135	10,097	5,735	3,161	1,7	68,467	0,971	0,110	0,058	1,887	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,00	70,712	41,292	60,897	1,750	2,232	1,556205	106,474	0,969	0,192	0,059	3,286	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,20	74,830	43,449	59,367	1,752	2,241	1,517091	105,193	0,968	0,188	0,059	3,204	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,40	78,948	45,605	57,946	1,754	2,249	1,480785	104,006	0,966	0,185	0,059	3,132	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,60	83,066	47,762	56,623	1,756	2,257	1,446966	102,904	0,965	0,181	0,059	3,066	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,80	87,184	49,919	55,386	1,758	2,264	1,415364	101,877	0,963	0,178	0,059	3,008	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,00	91,302	52,075	54,227	1,760	2,272	1,385746	100,916	0,962	0,176	0,059	2,955	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,20	95,420	54,232	53,138	1,762	2,279	1,357913	100,015	0,960	0,173	0,060	2,906	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,40	99,538	56,389	52,112	1,763	2,285	1,331692	99,168	0,959	0,171	0,060	2,862	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,60	103,656	58,545	51,143	1,765	2,292	1,306934	98,370	0,957	0,169	0,060	2,822	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,80	107,774	60,702	50,226	1,767	2,298	1,283507	97,617	0,956	0,167	0,060	2,785	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,00	111,892	62,859	49,357	1,769	2,305	1,261296	96,904	0,954	0,165	0,060	2,750	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,20	116,010	65,015	48,531	1,771	2,310	1,2402	96,228	0,953	0,163	0,060	2,719	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,40	120,128	67,172	47,746	1,773	2,316	1,220128	95,585	0,951	0,161	0,060	2,690	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,60	124,246	69,329	46,997	1,775	2,322	1,201001	94,975	0,950	0,160	0,060	2,662	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

6,80	128,364	71,485	46,283	1,777	2,327	1,182745	94,392	0,948	0,158	0,060	2,637	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,00	132,482	73,642	45,600	1,779	2,333	1,165298	93,837	0,946	0,157	0,060	2,614	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,20	136,600	75,799	44,947	1,781	2,338	1,1486	93,306	0,945	0,156	0,060	2,592	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,40	140,718	77,955	44,321	1,783	2,343	1,132601	92,798	0,943	0,154	0,060	2,571	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,60	144,836	80,112	43,720	1,785	2,348	1,117252	92,312	0,942	0,153	0,060	2,552	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,80	148,954	82,269	43,143	1,787	2,353	1,10251	91,845	0,940	0,152	0,060	2,534	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,00	153,072	84,425	42,589	1,789	2,357	1,088337	91,398	0,939	0,151	0,060	2,517	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,20	157,190	86,582	42,055	1,790	2,362	1,074697	90,967	0,937	0,150	0,060	2,501	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,40	161,308	88,739	41,541	1,792	2,366	1,061557	90,553	0,936	0,149	0,060	2,486	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,60	165,426	90,895	41,045	1,794	2,371	1,048887	90,154	0,934	0,148	0,060	2,472	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,80	169,544	93,052	40,567	1,796	2,375	1,036661	89,770	0,933	0,147	0,060	2,459	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,00	173,662	95,209	40,104	1,798	2,379	1,024853	89,399	0,931	0,146	0,060	2,447	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,20	177,780	97,365	39,658	1,800	2,383	1,013439	89,042	0,928	0,146	0,060	2,438	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,40	181,898	99,522	39,226	1,802	2,387	1,002398	88,696	0,923	0,145	0,059	2,437	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,60	186,212	101,875	105,649	1,685	2,045	0,9907557	144,112	0,918	0,358	0,059	6,062	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

9,80	190,526	104,228	104,450	1,685	2,049	0,97951	143,057	0,912	0,352	0,059	5,993	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,00	194,840	106,580	103,291	1,686	2,053	0,9686388	142,038	0,907	0,346	0,058	5,929	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,20	199,154	108,933	102,170	1,687	2,056	0,9581216	141,053	0,902	0,341	0,058	5,869	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,40	203,468	111,286	101,084	1,688	2,060	0,9479398	140,102	0,896	0,336	0,058	5,813	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,60	207,782	113,638	100,032	1,688	2,063	0,9380757	139,182	0,891	0,331	0,057	5,761	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,80	212,096	115,991	99,012	1,689	2,066	0,9285133	138,291	0,886	0,326	0,057	5,711	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,00	216,410	118,344	98,023	1,690	2,069	0,9192376	137,429	0,880	0,321	0,057	5,665	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,20	220,724	120,696	97,063	1,690	2,073	0,9102344	136,593	0,875	0,317	0,056	5,621	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,40	225,038	123,049	96,131	1,691	2,076	0,9014907	135,782	0,870	0,313	0,056	5,581	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,60	229,352	125,402	95,225	1,692	2,079	0,8929942	134,995	0,864	0,309	0,056	5,543	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

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

DATI GENERALI CPT3

Data 24/07/2023
Normativa: Eurocodice 8

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA
Profondità falda idrica 1,0 m

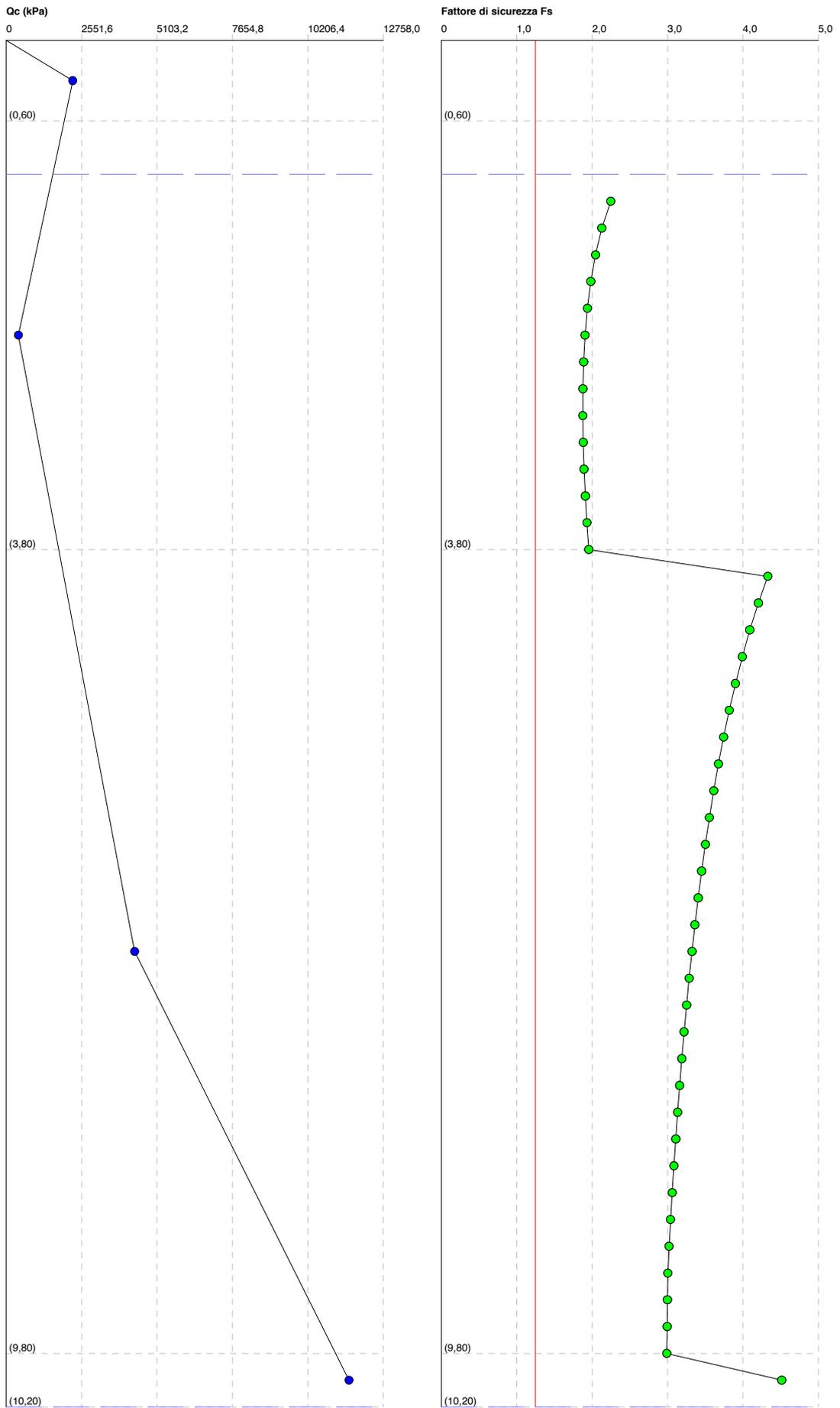
DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock 0,079936

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza $V_{s30}=180-360$
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (M_w) 5,5
Peak ground acceleration (PGA) 0,119904

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (kN/mc)	Peso unità volume saturo (kN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (kPa)	Resistenza attrito laterale fs (kPa)
1	Limo sabbioso e sabbia limosa	0	0,6	17,65	20,36	0	0	2252,03	47,94
2	Argilla organica e torba	0,6	3,8	15,69	17,43	0	0	412,08	26,15
3	Sabbia limosa	3,8	9,8	17,65	20,59	0	0	4345,43	91,53
4	Sabbia debolmente ghiaiosa	9,8	10,2	17,65	21,57	0	0	11597,9	91,53



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 per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta q _{c1} (kPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
1,20	20,352	18,391	21,300	6,676	2,961	1,7	44,261	0,991	0,087	0,039	2,248	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,40	23,838	19,915	19,495	6,735	2,991	1,7	46,578	0,989	0,089	0,042	2,128	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,60	27,324	21,440	17,946	6,797	3,020	1,7	48,854	0,988	0,091	0,044	2,044	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,80	30,810	22,965	16,602	6,859	3,048	1,7	51,092	0,986	0,092	0,047	1,982	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,00	34,296	24,489	15,426	6,922	3,074	1,7	53,299	0,985	0,094	0,049	1,936	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,20	37,782	26,014	14,388	6,986	3,099	1,7	55,477	0,983	0,096	0,050	1,905	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,40	41,268	27,539	13,465	7,052	3,124	1,7	57,630	0,982	0,098	0,052	1,886	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,60	44,754	29,063	12,639	7,119	3,147	1,7	59,761	0,980	0,100	0,053	1,877	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,80	48,240	30,588	11,895	7,187	3,170	1,7	61,873	0,979	0,102	0,054	1,876	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,00	51,726	32,113	11,222	7,257	3,191	1,7	63,968	0,977	0,104	0,055	1,881	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,20	55,212	33,637	10,609	7,328	3,213	1,7	66,049	0,976	0,107	0,056	1,892	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,40	58,698	35,162	10,050	7,400	3,233	1,7	68,117	0,974	0,109	0,057	1,909	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,60	62,184	36,687	9,537	7,474	3,254	1,7	70,175	0,972	0,112	0,058	1,930	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

3,80	65,670	38,211	9,066	7,549	3,273	1,7	72,224	0,971	0,115	0,059	1,956	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,00	69,788	40,368	68,393	2,141	2,253	1,573914	123,629	0,969	0,256	0,059	4,330	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,20	73,906	42,525	66,636	2,143	2,262	1,533484	122,081	0,968	0,249	0,059	4,204	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,40	78,024	44,681	65,008	2,145	2,270	1,496017	120,648	0,966	0,243	0,059	4,091	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,60	82,142	46,838	63,494	2,147	2,278	1,461169	119,317	0,965	0,238	0,060	3,991	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,80	86,260	48,995	62,081	2,149	2,285	1,428648	118,076	0,963	0,233	0,060	3,900	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,00	90,378	51,151	60,758	2,151	2,292	1,398206	116,916	0,962	0,229	0,060	3,818	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,20	94,496	53,308	59,516	2,153	2,299	1,369631	115,829	0,960	0,225	0,060	3,743	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,40	98,614	55,465	58,348	2,155	2,306	1,342739	114,806	0,959	0,221	0,060	3,674	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,60	102,732	57,621	57,245	2,157	2,312	1,317371	113,842	0,957	0,217	0,060	3,612	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,80	106,850	59,778	56,203	2,159	2,318	1,293389	112,932	0,956	0,214	0,060	3,554	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,00	110,968	61,935	55,216	2,162	2,324	1,27067	112,070	0,954	0,211	0,060	3,501	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,20	115,086	64,091	54,279	2,164	2,330	1,249108	111,253	0,953	0,208	0,060	3,451	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,40	119,204	66,248	53,388	2,166	2,336	1,228608	110,476	0,951	0,205	0,060	3,406	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,60	123,322	68,405	52,540	2,168	2,341	1,209085	109,737	0,950	0,203	0,060	3,363	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

6,80	127,440	70,561	51,731	2,170	2,347	1,190464	109,033	0,948	0,201	0,060	3,324	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,00	131,558	72,718	50,958	2,172	2,352	1,172678	108,360	0,946	0,198	0,060	3,287	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,20	135,676	74,875	50,219	2,174	2,357	1,155666	107,717	0,945	0,196	0,060	3,252	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,40	139,794	77,031	49,511	2,176	2,362	1,139373	107,102	0,943	0,194	0,060	3,219	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,60	143,912	79,188	48,832	2,178	2,367	1,123751	106,513	0,942	0,192	0,060	3,189	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,80	148,030	81,345	48,180	2,181	2,371	1,108754	105,947	0,940	0,191	0,060	3,160	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,00	152,148	83,501	47,554	2,183	2,376	1,094342	105,403	0,939	0,189	0,060	3,133	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,20	156,266	85,658	46,951	2,185	2,380	1,080477	104,881	0,937	0,187	0,060	3,108	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,40	160,384	87,815	46,371	2,187	2,385	1,067127	104,378	0,936	0,186	0,060	3,084	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,60	164,502	89,971	45,812	2,189	2,389	1,05426	103,893	0,934	0,184	0,060	3,061	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,80	168,620	92,128	45,273	2,191	2,393	1,041847	103,426	0,933	0,183	0,060	3,040	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,00	172,738	94,285	44,752	2,194	2,397	1,029862	102,976	0,931	0,182	0,060	3,020	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,20	176,856	96,441	44,249	2,196	2,401	1,018282	102,540	0,928	0,180	0,060	3,004	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,40	180,974	98,598	43,762	2,198	2,405	1,007084	102,119	0,923	0,179	0,060	2,999	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,60	185,092	100,755	43,291	2,200	2,409	0,9962472	101,712	0,918	0,178	0,059	2,994	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

9,80	189,210	102,912	42,835	2,202	2,413	0,9857529	101,318	0,912	0,177	0,059	2,989	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,00	193,524	105,264	113,042	0,803	1,809	0,9746748	125,828	0,907	0,265	0,059	4,514	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

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

DATI GENERALI CPT4

Data 24/07/2023
Normativa: Eurocodice 8

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA
Profondità falda idrica 1,0 m

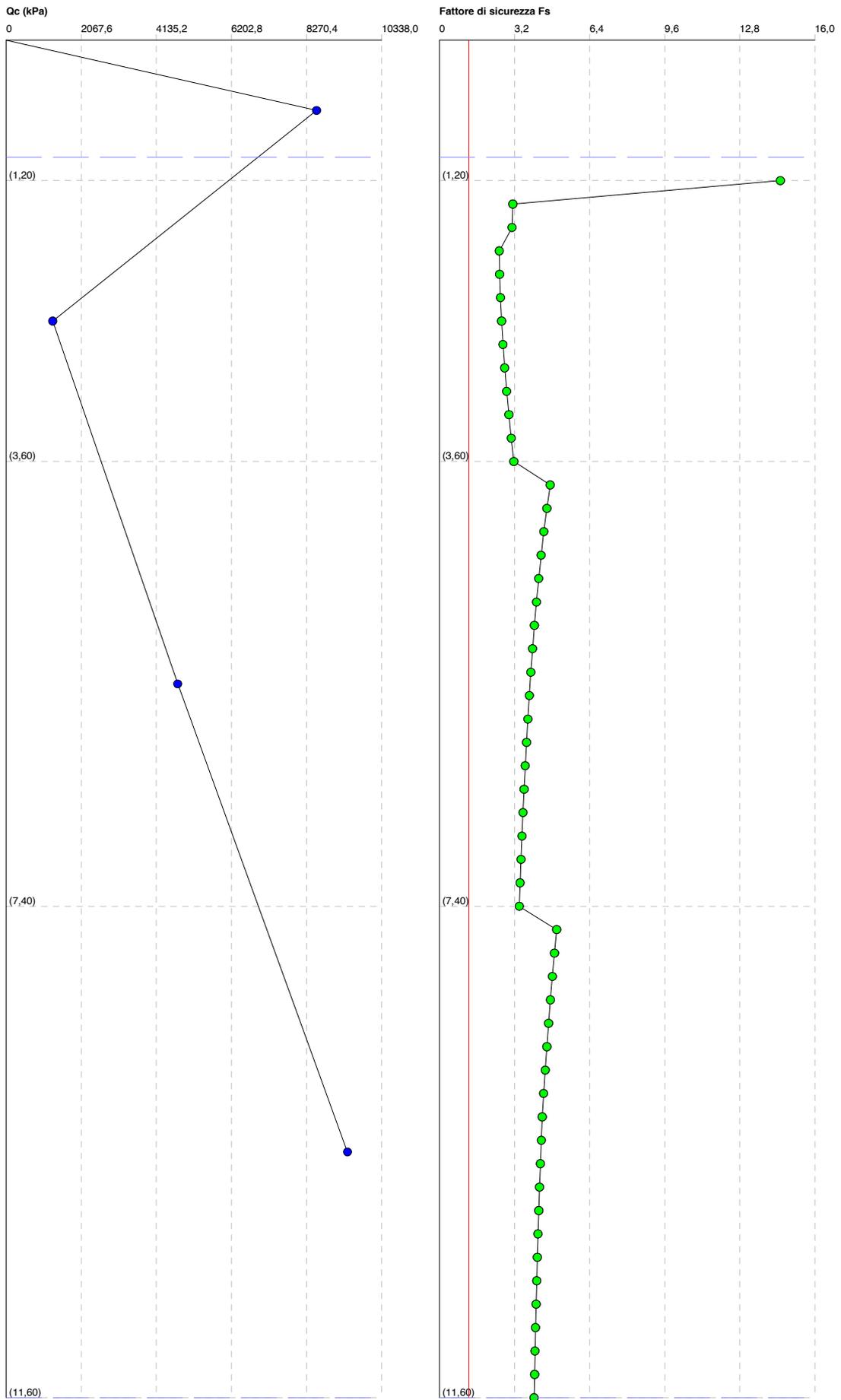
DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock 0,079936

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza $V_{s30}=180-360$
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (M_w) 5,5
Peak ground acceleration (PGA) 0,119904

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (kN/mc)	Peso unità volume saturo (kN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (kPa)	Resistenza attrito laterale fs (kPa)
1	Sabbia ghiaiosa	0	1,2	17,65	20,59	0	0	8547,31	155,82
2	Limo argilloso e argilla limosa	1,2	3,6	16,67	19,37	0	0	1282,6	59,38
3	Sabbia limosa	3,6	7,4	17,65	20,59	0	0	4722,79	98,07
4	Sabbia debolmente ghiaiosa	7,4	11,6	17,65	21,57	0	0	9398,06	127,02



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 per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta q _{c1} (kPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Rischio
1,20	21,768	19,807	192,054	1,828	1,898	1,7	172,528	0,991	0,558	0,038	14,529	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,40	25,642	21,719	40,314	4,724	2,658	1,7	80,695	0,989	0,129	0,041	3,131	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,60	29,516	23,632	37,841	4,739	2,678	1,7	83,750	0,988	0,135	0,043	3,096	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
1,80	33,390	25,545	48,903	4,753	2,602	1,7	72,778	0,986	0,116	0,045	2,550	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,00	37,264	27,457	45,355	4,768	2,625	1,7	75,989	0,985	0,121	0,047	2,565	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,20	41,138	29,370	42,270	4,783	2,647	1,7	79,152	0,983	0,126	0,049	2,599	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,40	45,012	31,283	39,561	4,798	2,669	1,7	82,269	0,982	0,132	0,050	2,647	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,60	48,886	33,195	37,165	4,813	2,689	1,7	85,343	0,980	0,138	0,051	2,709	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
2,80	52,760	35,108	35,030	4,828	2,708	1,7	88,376	0,979	0,144	0,052	2,782	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,00	56,634	37,021	33,116	4,844	2,726	1,7	91,372	0,977	0,151	0,053	2,865	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,20	60,508	38,933	31,389	4,859	2,744	1,7	94,331	0,976	0,158	0,053	2,958	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,40	64,382	40,846	29,825	4,874	2,761	1,7	97,256	0,974	0,166	0,054	3,060	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
3,60	68,256	42,759	28,400	4,890	2,777	1,7	100,149	0,972	0,173	0,055	3,170	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

3,80	72,374	44,915	70,469	2,109	2,239	1,492115	124,651	0,971	0,260	0,055	4,718	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,00	76,492	47,072	68,836	2,111	2,247	1,457533	123,218	0,969	0,254	0,056	4,575	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,20	80,610	49,229	67,312	2,113	2,254	1,425249	121,882	0,968	0,248	0,056	4,447	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,40	84,728	51,385	65,884	2,114	2,261	1,395019	120,633	0,966	0,243	0,056	4,332	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,60	88,846	53,542	64,543	2,116	2,268	1,366635	119,462	0,965	0,239	0,056	4,228	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
4,80	92,964	55,699	63,281	2,118	2,275	1,339915	118,361	0,963	0,234	0,057	4,133	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,00	97,082	57,855	62,091	2,120	2,281	1,314704	117,324	0,962	0,230	0,057	4,047	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,20	101,200	60,012	60,965	2,122	2,287	1,290865	116,344	0,960	0,226	0,057	3,968	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,40	105,318	62,169	59,898	2,124	2,293	1,268276	115,417	0,959	0,223	0,057	3,896	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,60	109,436	64,325	58,885	2,126	2,299	1,246834	114,538	0,957	0,220	0,057	3,829	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
5,80	113,554	66,482	57,922	2,128	2,304	1,226444	113,703	0,956	0,217	0,058	3,767	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,00	117,672	68,639	57,005	2,130	2,310	1,207022	112,909	0,954	0,214	0,058	3,710	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,20	121,790	70,795	56,130	2,131	2,315	1,188495	112,151	0,953	0,211	0,058	3,657	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,40	125,908	72,952	55,294	2,133	2,320	1,170796	111,429	0,951	0,209	0,058	3,607	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
6,60	130,026	75,109	54,495	2,135	2,325	1,153864	110,738	0,950	0,206	0,058	3,561	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

6,80	134,144	77,265	53,729	2,137	2,330	1,137647	110,077	0,948	0,204	0,058	3,518	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,00	138,262	79,422	52,994	2,139	2,335	1,122094	109,444	0,946	0,202	0,058	3,477	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,20	142,380	81,579	52,289	2,141	2,339	1,107163	108,836	0,945	0,200	0,058	3,439	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,40	146,498	83,735	51,611	2,143	2,344	1,092812	108,253	0,943	0,198	0,058	3,404	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,60	150,812	86,088	101,290	1,374	1,997	1,077776	131,293	0,942	0,290	0,058	4,995	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
7,80	155,126	88,441	99,934	1,374	2,002	1,063344	130,113	0,940	0,285	0,058	4,900	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,00	159,440	90,793	98,630	1,375	2,006	1,049477	128,980	0,939	0,280	0,058	4,811	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,20	163,754	93,146	97,377	1,376	2,010	1,036138	127,893	0,937	0,275	0,058	4,728	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,40	168,068	95,499	96,170	1,376	2,014	1,023295	126,849	0,936	0,270	0,058	4,649	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,60	172,382	97,851	95,007	1,377	2,018	1,010919	125,844	0,934	0,265	0,058	4,575	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
8,80	176,696	100,204	93,885	1,377	2,022	0,9989809	124,876	0,933	0,261	0,058	4,505	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,00	181,010	102,557	92,802	1,378	2,026	0,987456	123,944	0,931	0,257	0,058	4,438	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,20	185,324	104,910	91,755	1,379	2,030	0,976321	123,045	0,928	0,253	0,058	4,382	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,40	189,638	107,262	90,743	1,379	2,034	0,9655544	122,178	0,923	0,250	0,058	4,340	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
9,60	193,952	109,615	89,764	1,380	2,037	0,9551363	121,340	0,918	0,246	0,057	4,301	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

9,80	198,266	111,968	88,816	1,381	2,041	0,9450483	120,530	0,912	0,243	0,057	4,265	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,00	202,580	114,320	87,898	1,381	2,044	0,9352734	119,747	0,907	0,240	0,057	4,231	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,20	206,894	116,673	87,007	1,382	2,048	0,9257956	118,989	0,902	0,237	0,056	4,200	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,40	211,208	119,026	86,143	1,383	2,051	0,9166003	118,254	0,896	0,234	0,056	4,171	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,60	215,522	121,378	85,304	1,383	2,054	0,9076736	117,543	0,891	0,231	0,056	4,144	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
10,80	219,836	123,731	84,489	1,384	2,058	0,8990027	116,853	0,886	0,228	0,055	4,118	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,00	224,150	126,084	83,697	1,385	2,061	0,8905757	116,184	0,880	0,226	0,055	4,095	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,20	228,464	128,436	82,927	1,385	2,064	0,8823813	115,535	0,875	0,223	0,055	4,073	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,40	232,778	130,789	82,177	1,386	2,067	0,874409	114,904	0,870	0,221	0,055	4,053	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso
11,60	237,092	133,142	81,448	1,387	2,070	0,866649	114,291	0,864	0,219	0,054	4,035	Terreno non suscettibile di liquefazione	Molto basso

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