

Committenti: *LIGHT S.n.c. – DEA UNO S.r.l. – ENERGY PLUS S.a.s.*

Z4 Immobiliare S.r.l. – Lavrenko Tatyana

Brighi Tommaso

OGGETTO

INDAGINE GEOLOGICO-SISMICA IN AREA OGGETTO DI ESPANSIONE URBANA

P.P. n°35

Località : *Via Boscabella, Capannaguzzo di Cesenatico*



Perimetro area in oggetto

Cesena novembre 2021

Magnani dott. Andrea

INDICE

- 1) Normative di Riferimento*
- 2) Premessa*
- 3) Ubicazione area*
- 4) Morfologia generale e di dettaglio*
- 5) Inquadramento geologico generale e di dettaglio*
- 6) Indagini eseguite, metodologie utilizzate*
- 7) Stratigrafia dell'area*
- 8) Acque di superficie e sotterranee, rischio idraulico*
- 9) Caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area*
- 10) Rischio liquefazione dei terreni di fondazione in caso di sisma*
- 11) Considerazioni sismiche*
- 12) Microzonazione sismica dell'area in esame*
- 13) Portanza dei terreni di fondazione*
- 14) Cedimenti dei terreni di fondazione*
- 15) Conclusioni*

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

Leggi Regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico (DGR 630/2019)

Decreto Ministeriale 17.01.2018: Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M.17.01.2018.

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n°36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture:

parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica - Parte I: Regole Generali. – UNI

Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: progettazione assistita con prove in sito (2002). – UNI

PREMESSA

Su incarico della proprietà si è realizzata la presente indagine geologico-sismica in un'area in cui è fatta richiesta di urbanizzazione, area da utilizzarsi a scopo edificatorio. Fine dell'indagine è valutare la idoneità geologica del sito. Lo studio è stato condotto nel rispetto delle prescrizioni vigenti in materia. La indagine ha riguardato le caratteristiche geologiche generali, la natura, le caratteristiche meccaniche dei terreni, l'idrogeologia e le caratteristiche sismiche del sito.

UBICAZIONE AREA

L'area in esame si trova in comune di Cesenatico, in frazione Capannaguzzo ed costituita da due comparti separati da via Boscabella, il comparto a nord dalla sede stradale di forma trapezoidale e di dimensioni prossime a m²13.500 e il comparto a sud dalla sede stradale di forma rettangolare e di dimensioni prossime a m²12.000. Dal punto di vista topografico i due comparti sono rilevabili negli allegati stralci di C.T.R.

MORFOLOGIA GENERALE E DI DETTAGLIO

L'area si trova in zona di pianura, zona in cui i processi morfogenetici che hanno definito l'attuale superficie topografica sono principalmente di origine fluviale, processi naturali ai quali in epoca storica si sono aggiunti gli interventi antropici che attraverso il rimodellamento superficiale hanno significativamente modificato l'ambiente originario.

Trattandosi di un territorio pianeggiante i lineamenti morfologici risultano difficilmente individuabili direttamente sul terreno, in quanto presentano dislivelli di entità minima, risultano al contrario chiaramente evidenti osservando le quote topografiche riportate in cartografia, essendo l'altimetria condizionata dall'evoluzione geomorfologica del terreno. In dettaglio l'area in esame si sviluppa a quote medie prossime a m 9.00 sul livello del mare, con una acclività trascurabile in direzione nord.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE E DI DETTAGLIO

Il territorio di pianura del comune di Cesenatico appartiene al bacino sedimentario padano rappresentato da una successione di depositi alluvionali di età pliocenico-quadernaria che nell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di terrazzi alluvionali costituiti da sedimenti ascrivibili al I ciclo eustatico tardo-quadernario, legati a fenomeni di decantazione e a fenomeni trattivi. Sulla base della più recente classificazione geologica in zona affiora il cosiddetto Subsistema di Ravenna (AES8) con depositi sedimentari ascrivibili al periodo che va dal Pleistocene medio all'Olocene, con spessori massimi prossimi a metri 28.00. Dal punto di vista

litologico si è in presenza di prevalenti argille e argille limose, raramente sabbiose, di consistenza variabile, in massima parte di media consistenza e compatte e in subordine di modesta consistenza. In superficie sono presenti suoli decarbonatati, a basso grado di alterazione, con uno spessore di alterazione di spessore compreso fra m 1.00 e m-1.50, suoli ascrivibili al periodo compreso fra il Mesolitico e l'Età Romana

INDAGINI ESEGUITE, METODOLOGIE UTILIZZATE

L'area è stata esplorata mediante dodici (12) sondaggi penetrometrici statici (CPT), spinti tutti alla profondità di m-15,00 dal p.c. attuale, realizzati per definire litologia e caratteristiche meccaniche dei litotipi e mediante due (2) prove sismiche a stazione fissa (HVSr), utilizzate per definire la frequenza naturale della zona in esame e il valore V_{S30} (velocità delle onde sismiche nei primi 30 metri sotto al piano di posa delle fondazioni). L'ubicazione di tutte le prove è indicata nella planimetria allegata.

Prove CPT (con punta meccanica tipo Begemann)

Le penetrometrie statiche (CPT) consistono nel valutare la resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di caratteristiche e dimensioni standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante : $v = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$.

La penetrazione avviene mediante un dispositivo di spinta opportunamente ancorato, che agisce su una doppia batteria di aste (esterne cave e interne piene e coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario alla infissione viene registrato ad intervalli di 20 cm da una cella tensiometrica collegata ad un trasduttore digitale.

I dati rilevati dalla prova, riportati sugli allegati tabulati, sono i seguenti:

- q_c (MPa) resistenza statica alla punta - f_s (MPa) resistenza all'attrito laterale locale

Prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios)

La prova, basata sulla registrazione dei microtremiti naturali, è stata realizzata con un tromometro digitale modello "Tromino" al cui interno sono posizionati tre velocimetri elettrodinamici ortogonali e ad alta definizione, con intervallo di frequenza compreso fra 0.1 e 256 Hz. Il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo pari a 20 minuti. Per valutare la velocità delle onde di taglio e quindi il valore V_{S30} si è utilizzato un codice di calcolo in grado di interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde superficiali (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piano paralleli relativo alla caratterizzazione sismica del sito d'indagine.

STRATIGRAFIA DELL'AREA

Come già accennato si è in presenza di depositi continentali, costituiti in netta prevalenza da terreni argilloso-limosi e di consistenza da media a buona a compatti, raramente di modesta consistenza. In particolare in tutte le prove realizzate si è rilevata la presenza di una coltre superficiale argillosa essiccata di spessore prossimo a 40 – 60 centimetri. In dettaglio per ognuna delle penetrometrie realizzate si è rilevata la successione dei litotipi presenti, litotipi il cui riconoscimento è stato ottenuto in base alle elaborazioni di Robertson (1981)

Penetrometria n°1

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	3.0	0.073	20.0	Coesivo	terreno superficiale essiccato
2.20	1.4	0.081	18.7	Coesivo	argille di media consistenza
7.40	1.6	0.094	18.9	Coesivo	prevalenti argille di buona consistenza, talvolta compatte
9.20	2.2	0.136	19.4	Coesivo	strato di argille compatte
10.40	1.6	0.109	18.9	Coesivo	argille di buona consistenza
13.80	2.9	0.197	19.9	Coesivo	argille compatte e molto compatte
15.00	1.7	0.081	18.9	Coesivo	argille leggermente sabbiose, di buona consistenza

Penetrometria n°2

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.60	3.1	0.113	20.0	Coesivo	terreno superficiale essiccato
2.00	1.4	0.08	19.6	Coesivo	argille di media consistenza
7.40	1.6	0.088	19.6	Coesivo	prevalenti argille di buona consistenza
8.80	2.2	0.12	19.6	Coesivo	argille compatte
10.20	1.6	0.097	19.6	Coesivo	argille di buona consistenza
14.00	2.8	0.185	19.6	Coesivo	argille compatte e molto compatte
15.00	1.8	0.091	19.5	Coesivo	argille di buona consistenza

Penetrometria n°3

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.60	3.0	0.167	19.6	Coesivo	terreno superficiale essiccato
7.40	1.6	0.084	19.5	Coesivo	alternanza di argille di media e di buona consistenza con rari livelli di argille limose e sabbiose
7.80	2.3	0.09	19.5	Coesivo	strato di argille compatte
8.40	1.4	0.1	19.6	Coesivo	argille di media consistenza
9.20	2.0	0.115	19.6	Coesivo	argille compatte
11.00	1.5	0.094	19.5	Coesivo	argille di buona consistenza con intervallo di argille di media consistenza
13.20	3.5	0.145	20.1	Coesivo	alternanza di argille e argille sabbiose, terreni molto compatti
15.00	1.9	0.093	19.6	Coesivo	prevalenti argille compatte

Penetrometria n°4

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	4.0	0.127	20.5	Coesivo	terreno superficiale essiccato
0.80	2.5	0.117	19.8	Coesivo	argille compatte
7.20	1.5	0.077	19.5	Coesivo	alternanza di argille di buona e di media consistenza
9.40	1.9	0.105	19.6	Coesivo	prevalenti argille compatte
11.00	1.5	0.086	19.6	Coesivo	argille di buona e di media consistenza
13.20	3.0	0.147	19.9	Coesivo	argille molto compatte
15.00	1.9	0.107	19.6	Coesivo	argille di buona consistenza, talvolta compatte

Penetrometria n°5

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.20	2.9	0.08	20.0	Coesivo	strato superficiale essiccato
1.60	1.9	0.114	19.6	Coesivo	prevalenti argille compatte
3.40	1.4	0.075	19.5	Coesivo	alternanza di argille di media e di buona consistenza
3.80	2.1	0.09	19.5	Coesivo	strato di argille compatte
9.40	1.6	0.084	19.5	Coesivo	prevalenti argille di buona consistenza, con livelli di argille di media consistenza e compatte
10.20	1.2	0.069	19.4	Coesivo	argille di media consistenza
11.20	2.1	0.145	19.6	Coesivo	argille compatte
13.60	3.5	0.129	20.2	Coesivo	argille e argille sabbiose molto compatte
15.00	1.8	0.085	19.5	Coesivo	argille di buona consistenza

Penetrometria n°6

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	3.0	0.1	20.0	Coesivo	terreno superficiale essiccato
1.40	1.9	0.108	19.2	Coesivo	argille di buona consistenza e compatte
4.60	1.5	0.081	18.9	Coesivo	alternanza di argille di media e di buona consistenza
5.60	2.0	0.109	19.3	Coesivo	argille compatte
11.00	1.6	0.088	18.8	Coesivo	alternanza di argille di media e di buona consistenza, raramente compatte
13.20	3.3	0.149	20.1	Coesivo	argille e argille sabbiose molto compatte
15.00	2.0	0.111	19.2	Coesivo	prevalenti argille compatte

Penetrometria n°7

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
3.20	1.6	0.09	19.0	Coesivo	alternanza di argille di buona e di media consistenza
3.60	2.0	0.084	19.3	Coesivo	strato di argille compatte
4.00	1.4	0.06	18.7	Coesivo	argille medie
7.60	1.6	0.099	18.9	Coesivo	prevalenti argille di buona consistenza
8.40	2.3	0.115	19.5	Coesivo	argille compatte
9.20	1.5	0.11	18.7	Coesivo	argille di media consistenza
14.00	2.6	0.121	19.7	Coesivo	argille e argille sabbiose da molto compatte a compatte, con rari intervalli di argille di media consistenza
15.00	1.6	0.079	18.8	Coesivo	argille di buona consistenza

Penetrometria n°8

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	3.5	0.067	20.3	Coesivo	terreno superficiale essiccato
3.40	1.5	0.087	19.5	Coesivo	alternanza di argille di buona e di media consistenza
3.60	2.7	0.053	19.9	Coesivo	argille compatte
4.40	1.3	0.073	19.6	Coesivo	argille di media consistenza
6.20	1.8	0.096	19.5	Coesivo	prevalenti argille di buona consistenza
7.40	1.4	0.079	19.6	Coesivo	argille di media consistenza
11.00	1.8	0.109	19.5	Coesivo	argille compatte alternate ad argille di buona consistenza
13.20	2.7	0.148	19.7	Coesivo	argille molto compatte e compatte, raramente sabbiose
15.00	1.7	0.098	19.6	Coesivo	argille di buona consistenza

Penetrometria n°9

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.60	3.0	0.176	19.6	Coesivo	terreno superficiale essiccato
1.20	2.3	0.147	19.7	Coesivo	argille compatte
4.00	1.5	0.104	19.6	Coesivo	alternanza di argille di buona e di media consistenza
4.20	3.0	0.04	20.0	Coesivo	argille compatte
7.00	1.5	0.103	19.6	Coesivo	alternanza di argille di buona e di media consistenza
9.20	2.1	0.126	19.6	Coesivo	prevalenti argille compatte
10.40	1.6	0.116	19.6	Coesivo	argille di media e di buona consistenza
12.60	3.2	0.192	19.7	Coesivo	argille molto compatte
13.80	1.5	0.098	19.5	Coesivo	argille di media e di buona consistenza
15.00	2.1	0.095	19.5	Coesivo	argille compatte

Penetrometria n°10

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.60	2.7	0.224	19.6	Coesivo	terreno superficiale essiccato
1.60	2.3	0.139	19.7	Coesivo	argille compatte
3.40	1.5	0.103	19.6	Coesivo	argille di media e di buona consistenza
3.60	3.2	0.033	20.2	Coesivo	argille compatte
7.40	1.5	0.097	19.6	Coesivo	argille di buona e di media consistenza
9.20	2.1	0.111	19.6	Coesivo	argille compatte
10.80	1.6	0.103	19.6	Coesivo	prevalenti argille di buona consistenza
12.80	3.2	0.191	19.6	Coesivo	argille molto compatte
14.20	1.5	0.086	19.5	Coesivo	argille di media e di buona consistenza
15.00	2.2	0.093	19.6	Coesivo	argille compatte

Penetrometria n°11

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1.80	2.0	0.128	19.3	Coesivo	strato superficiale parzialmente essiccato
5.60	1.5	0.09	18.9	Coesivo	alternanza di argille di buona e di media consistenza
5.80	2.2	0.087	19.5	Coesivo	argille compatte
7.00	1.3	0.09	18.6	Coesivo	argille di media consistenza
7.60	2.0	0.107	19.3	Coesivo	argille compatte
9.00	1.7	0.094	19.0	Coesivo	argille di buona consistenza
10.00	1.2	0.076	18.3	Coesivo	argille di media consistenza
12.80	2.8	0.159	19.8	Coesivo	argille molto compatte e compatte
14.00	1.3	0.084	18.5	Coesivo	argille di media consistenza
15.00	2.0	0.105	19.2	Coesivo	argille compatte

Penetrometria n°12

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1.00	3.8	0.167	20.1	Coesivo	strato superficiale nettamente essiccato
3.00	1.5	0.093	19.5	Coesivo	argille di buona e di media consistenza
3.40	2.0	0.113	19.6	Coesivo	argille compatte
6.80	1.5	0.09	19.5	Coesivo	argille di buona e di media consistenza
9.00	2.0	0.112	19.6	Coesivo	prevalenti argille compatte
10.80	1.5	0.094	19.6	Coesivo	argille di media e di buona consistenza
13.60	2.9	0.406	19.6	Coesivo	argille molto compatte e compatte
14.40	1.3	0.087	19.6	Coesivo	argille di media consistenza
15.00	1.9	0.082	19.5	Coesivo	argille di buona consistenza

ALLEGATI

Stralcio di C.T.R. in scala non definita

Stralcio di C.T.R. in scala 1:5000

Stralcio di C.T.R. 1:10000 o

Stralcio di C.T.R. 1:25000

Stralcio della Carta Geologica (da carta geologica regionale)

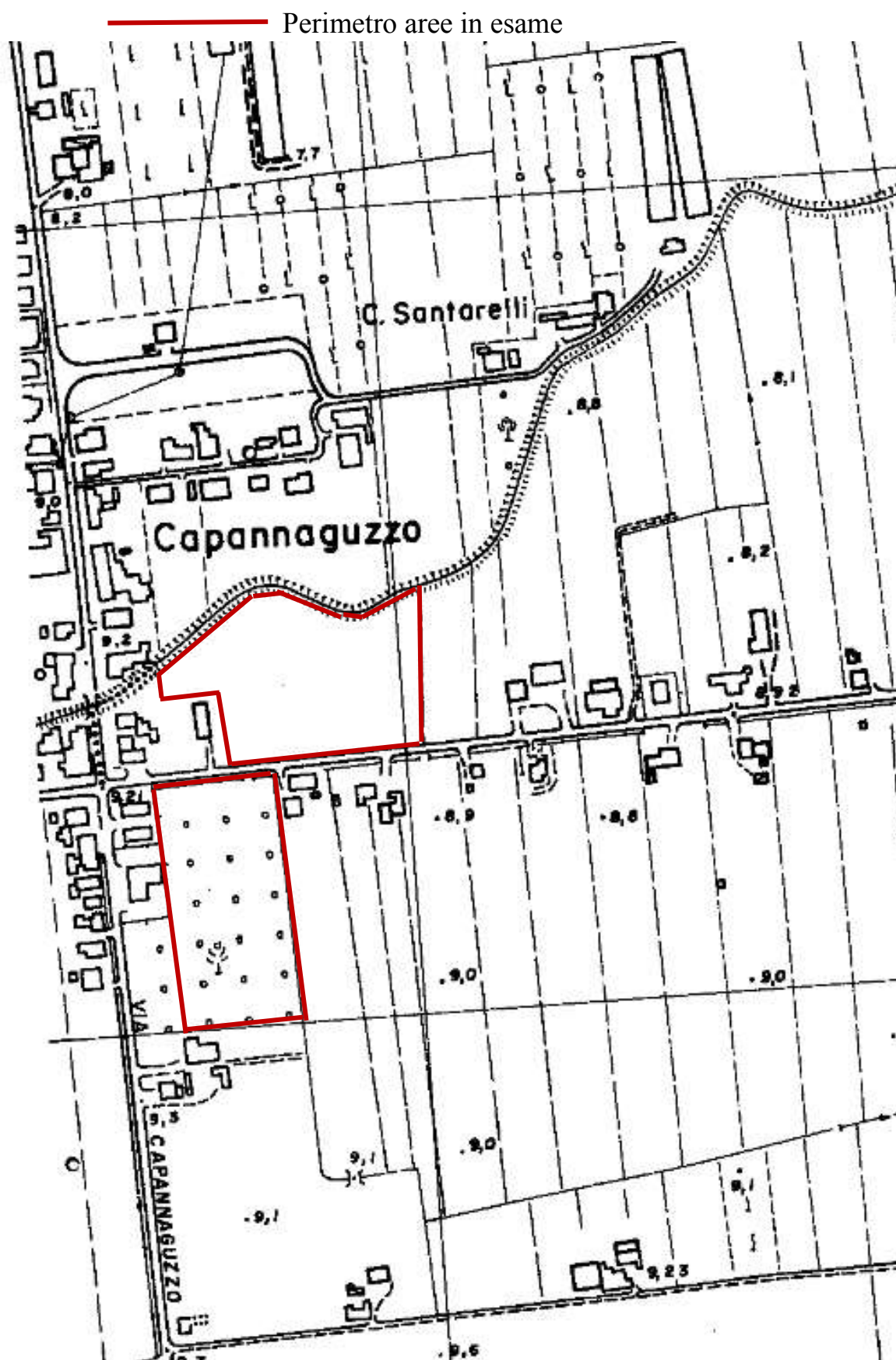
Stralcio della Carta del Rischio Idrogeologico (Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli)

Stralcio della carta con indicati i Tiranti Idrici di Riferimento

Planimetria con ubicazione prove realizzate

N°12 Profili penetrometrici con colonne stratigrafiche

N°4 Sezioni Stratigrafiche

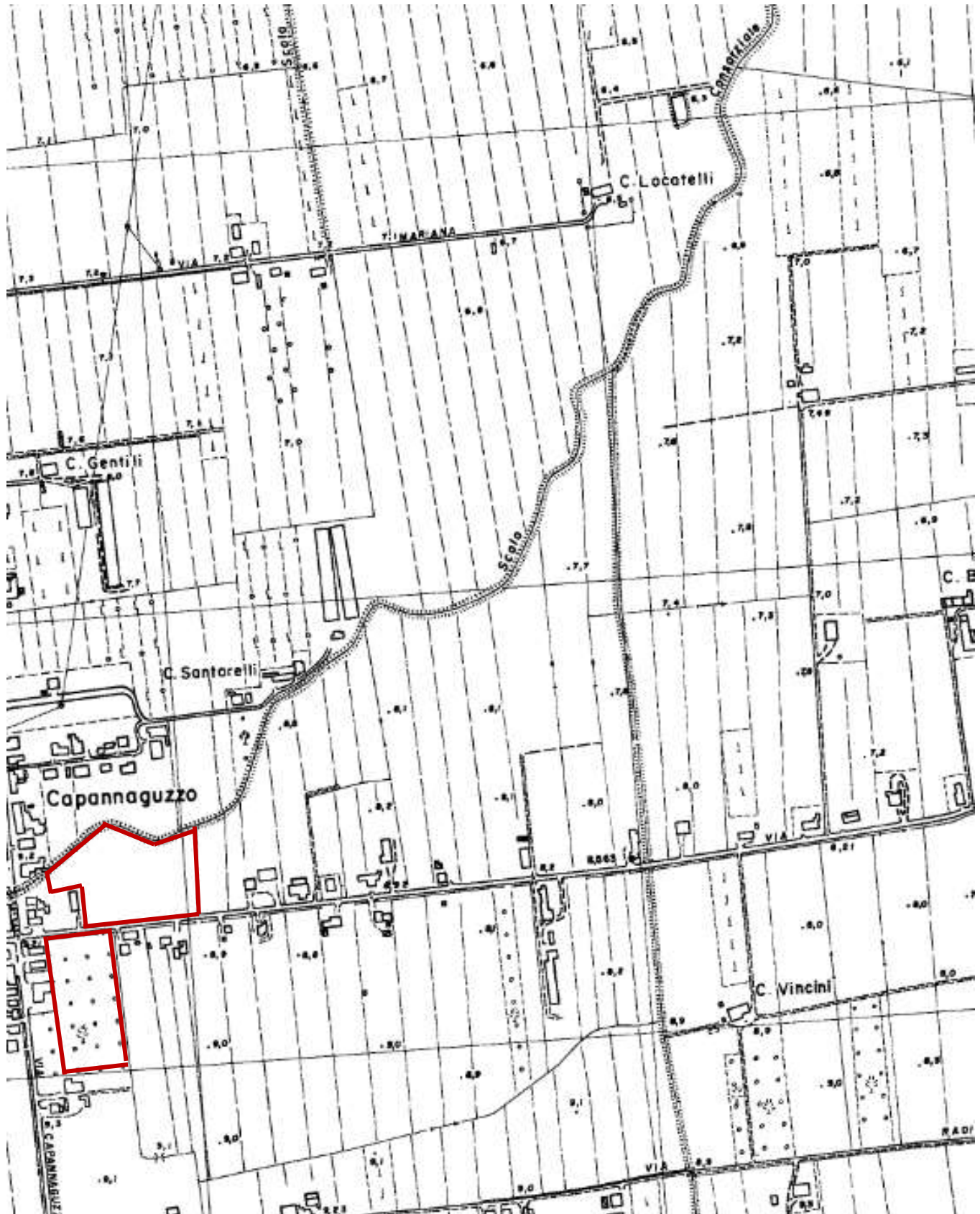


Stralcio di C.T.R. in scala non definita (da sezione n°256014 in scala 1:5000)



Stralcio di C.T.R. in scala 1:5000 (da sezione n°256014)


Perimetro aree in esame



Stralcio di C.T.R. in scala 1:10000 (da sezione n°256010)

Stralcio di C.T.R. in scala 1:25.000

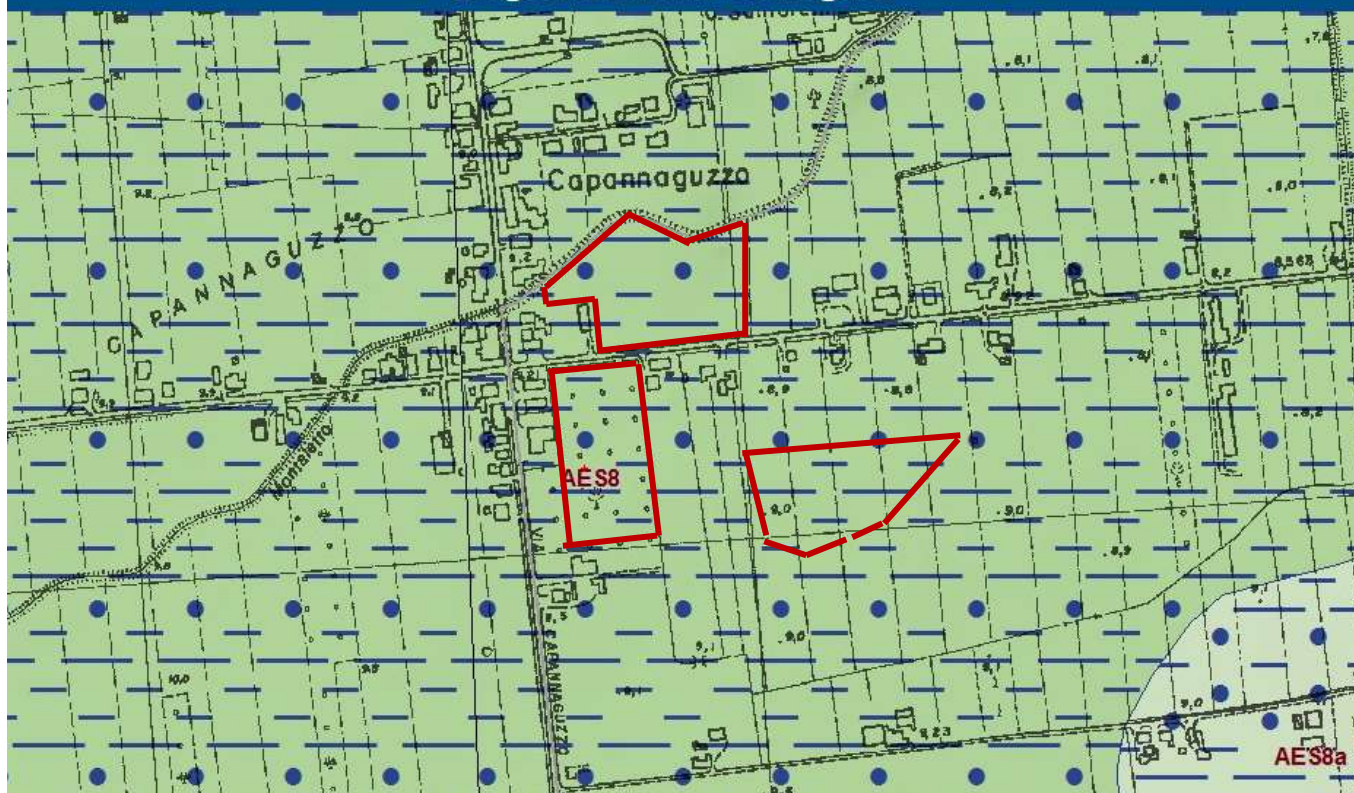
Da tavolette 256 NO e 255 NE

 ***Zona d'indagine***



— Perimetro aree d'indagine

Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna



Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subintema di Ravenna

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallobruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvionale ben drenata con suoli calcarei e non calcarei al tetto; depositi deltizi, litorali e, localmente, marini. I depositi di piana alluvionale includono ghiaie di canale fluviale e geometria nastriforme; lungo la fascia costiera passano con contatto netto ed erosivo a sabbie litorali. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità circa 28 metri.
(Pleistocene sup. - Olocene)

AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositati alluvionali intravallivi, terrazzati, deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonatato a parzialmente carbonatato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Lo spessore massimo dell'unità è generica.
(Olocene)

Tessiture:

- Argilla Limosa
- Limo Argilloso Sabbioso

— Perimetro aree d'indagine






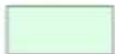



Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli

PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO
IDROGEOLOGICO

Aree a rischio idrogeologico

Titolo II - "Assetto della rete idrografica"

- | | |
|---|---|
|  | Art. 2 ter - alveo:  piena ordinaria  porzione incisa |
|  | Art. 3 - aree ad elevata probabilità di esondazione |
|  | Art. 4 - aree a moderata probabilità di esondazione |
|  | Art. 6 - aree di potenziale allagamento |
|  | Art. 10 - distanze di rispetto dai corpi arginali |

— Perimetro aree d'indagine

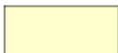



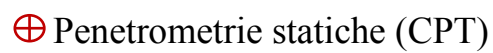
Art. 6: Aree di potenziale allagamento

Tirante idrico di riferimento

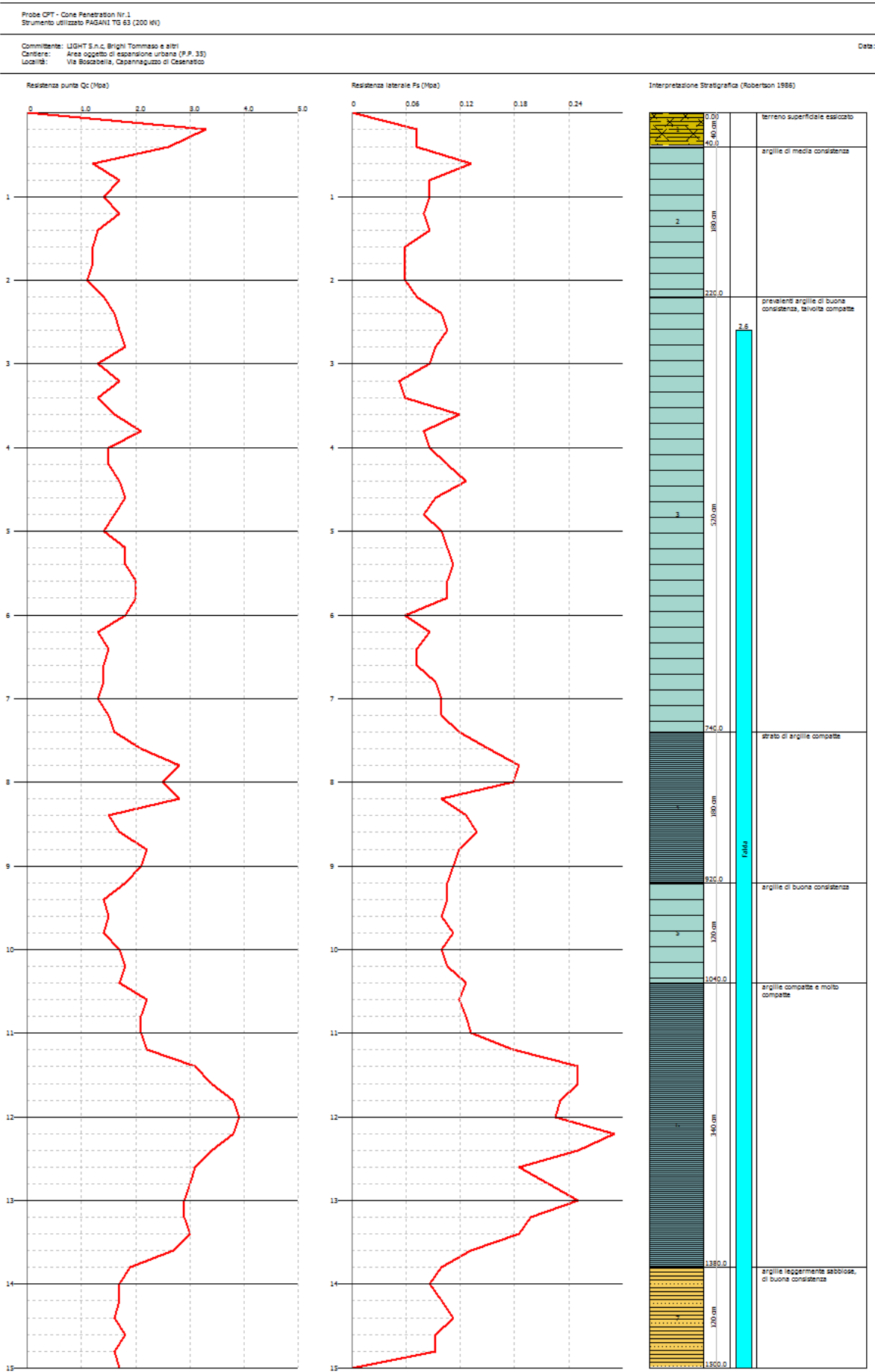
	<i>Fino a 50 cm</i>
	<i>Da 50 a 150 cm</i>
	<i>Oltre 150 cm</i>

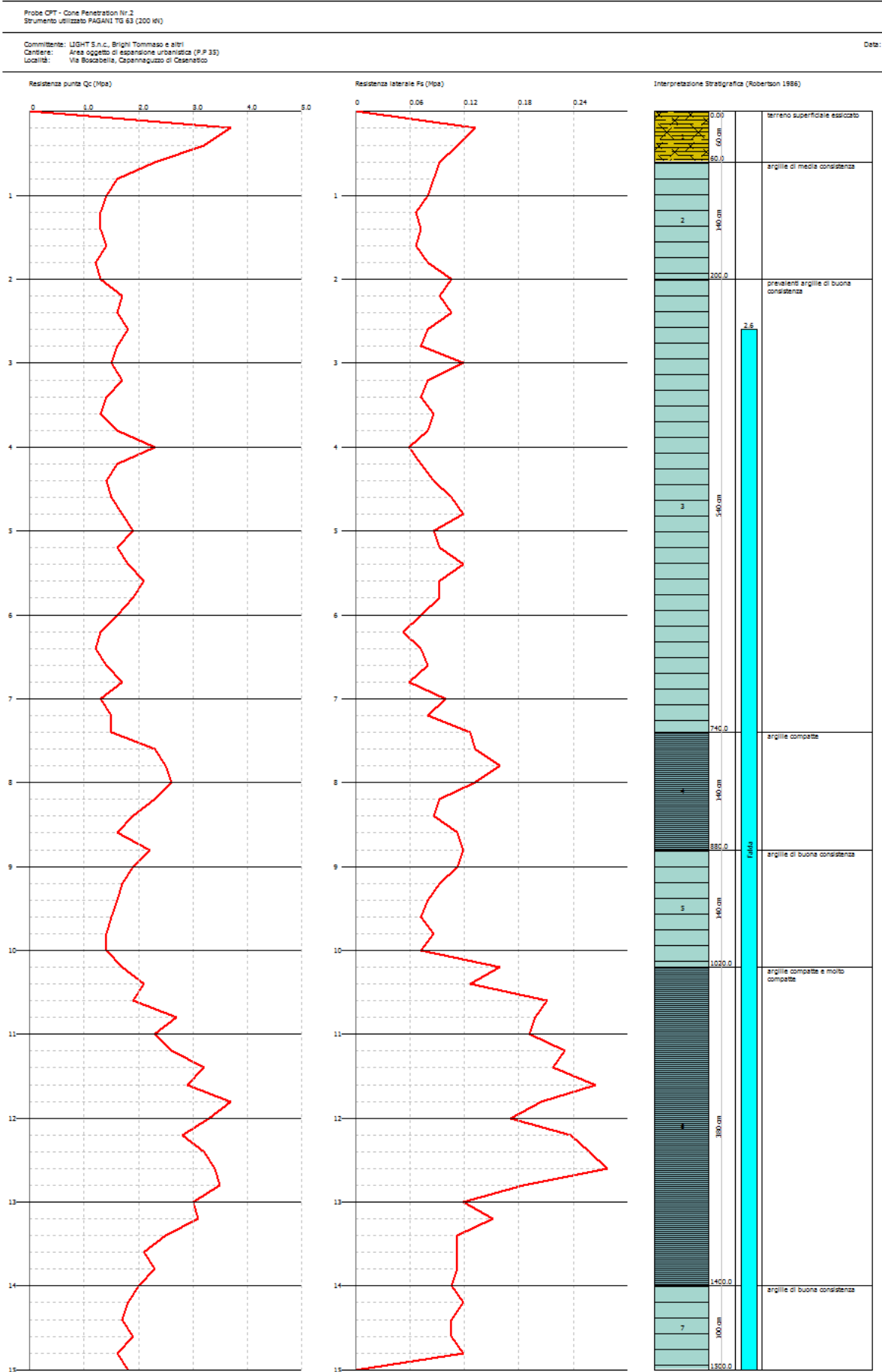
Tirante idrico convenzionale

	<i>20 cm</i>
	<i>50 cm</i>



— — — — — · Traccia sezioni

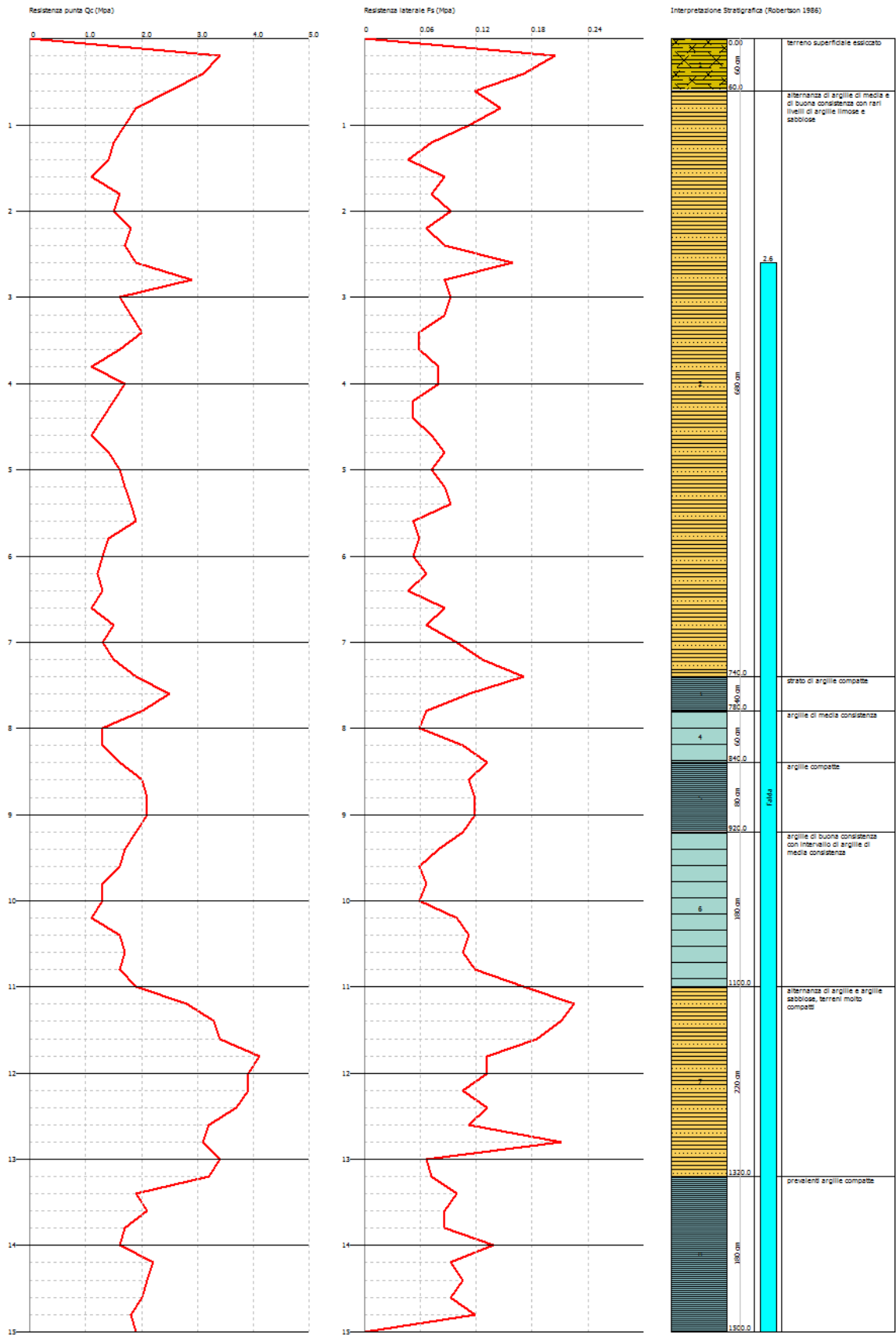


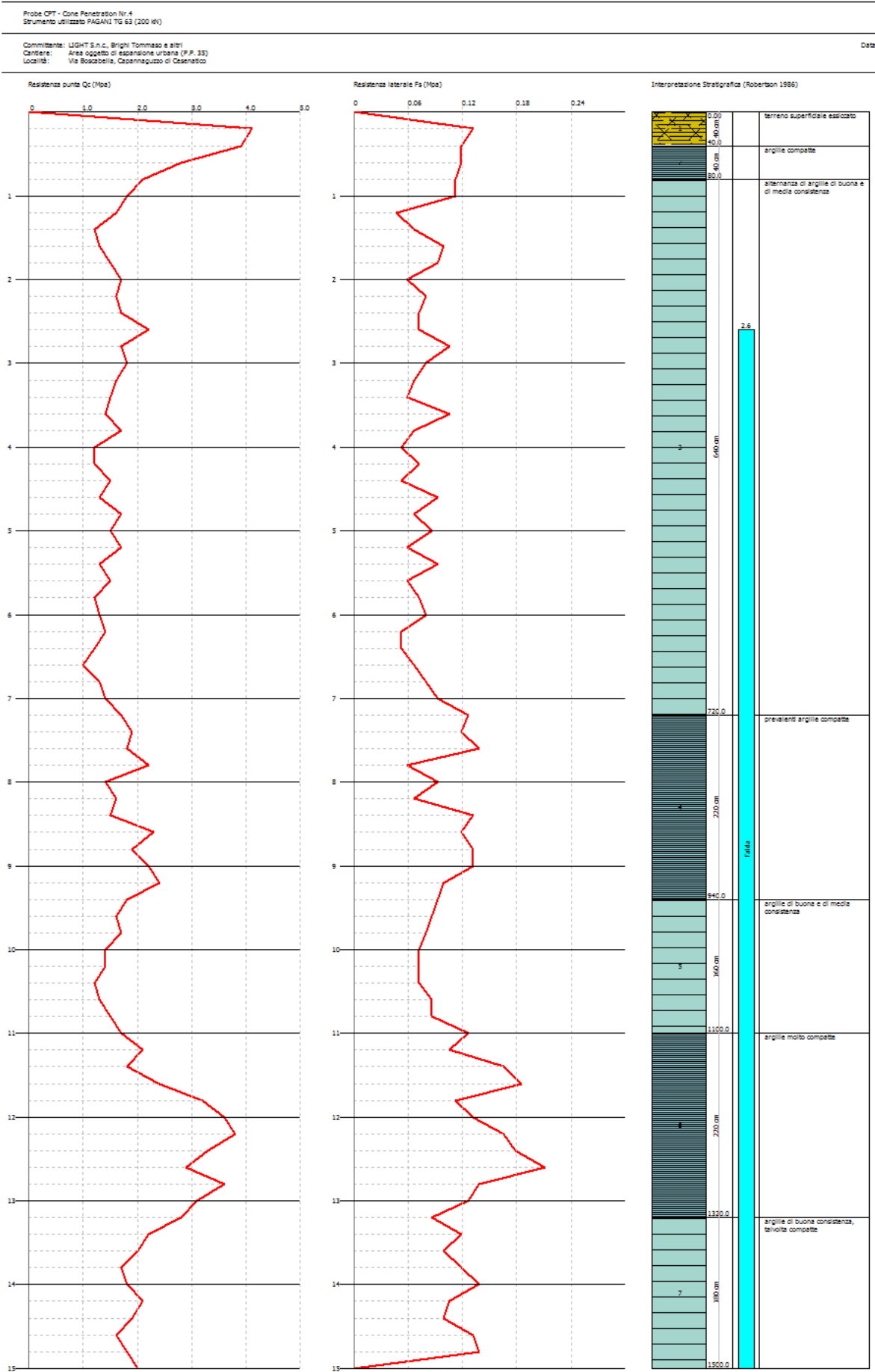


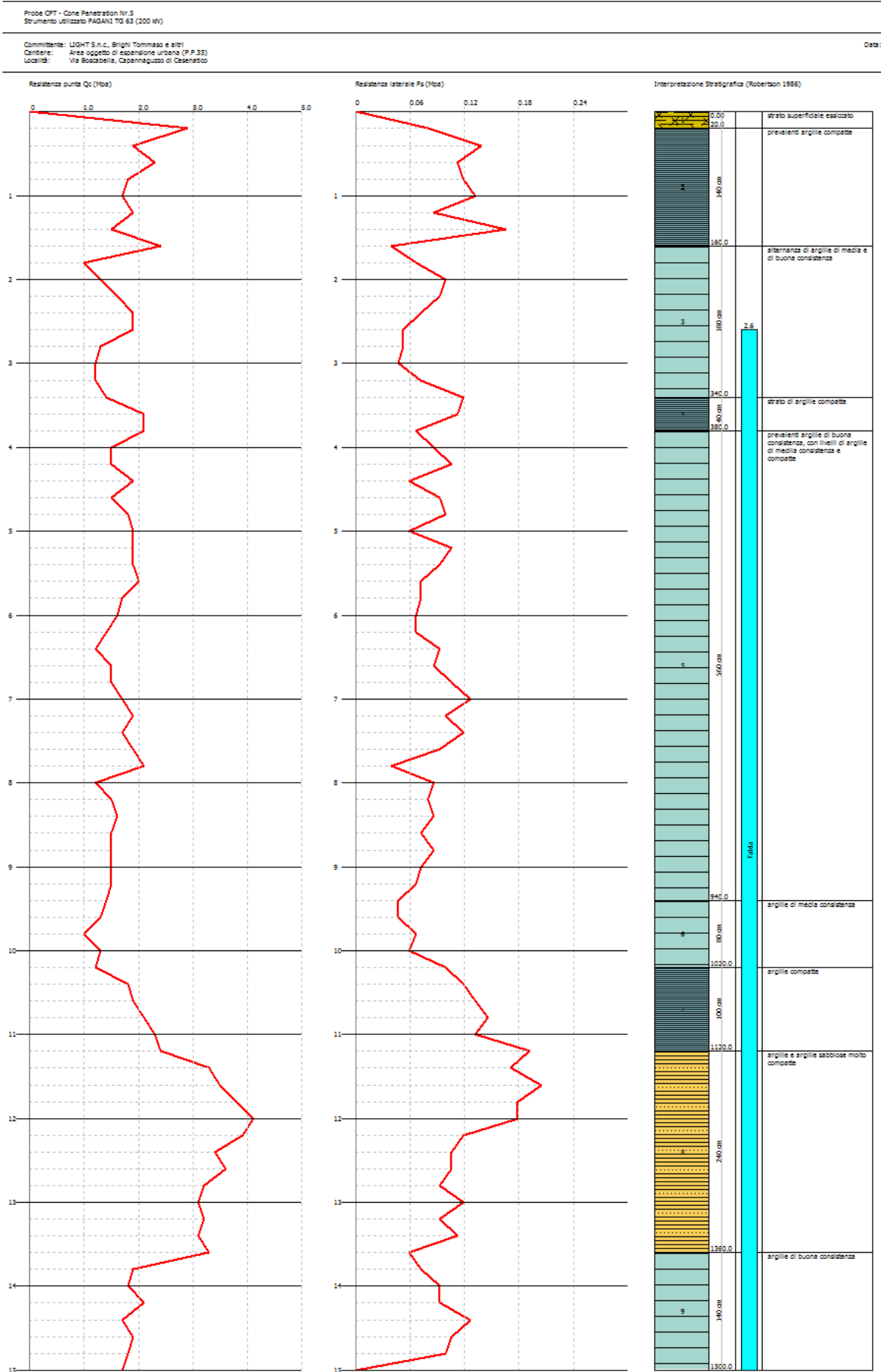
Probe CPT - Cone Penetration Test
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

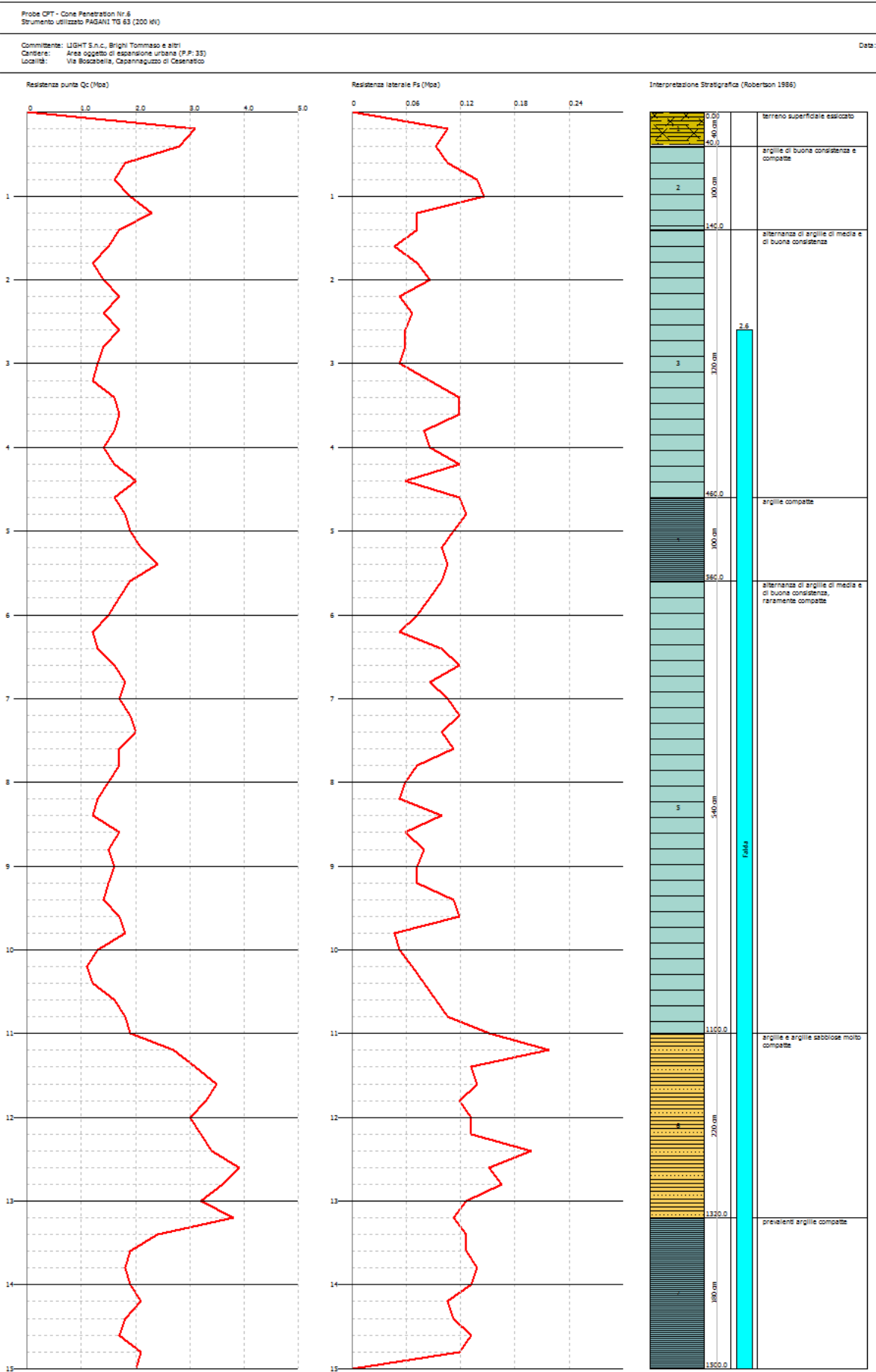
Committente: LIGHT S.n.c., Brighi Tommaso e altri
Cantiere: Area oggetto di espansione urbanistica (P.P. 35)
Località: Via Boczella, Capomagnago di Cesenatico

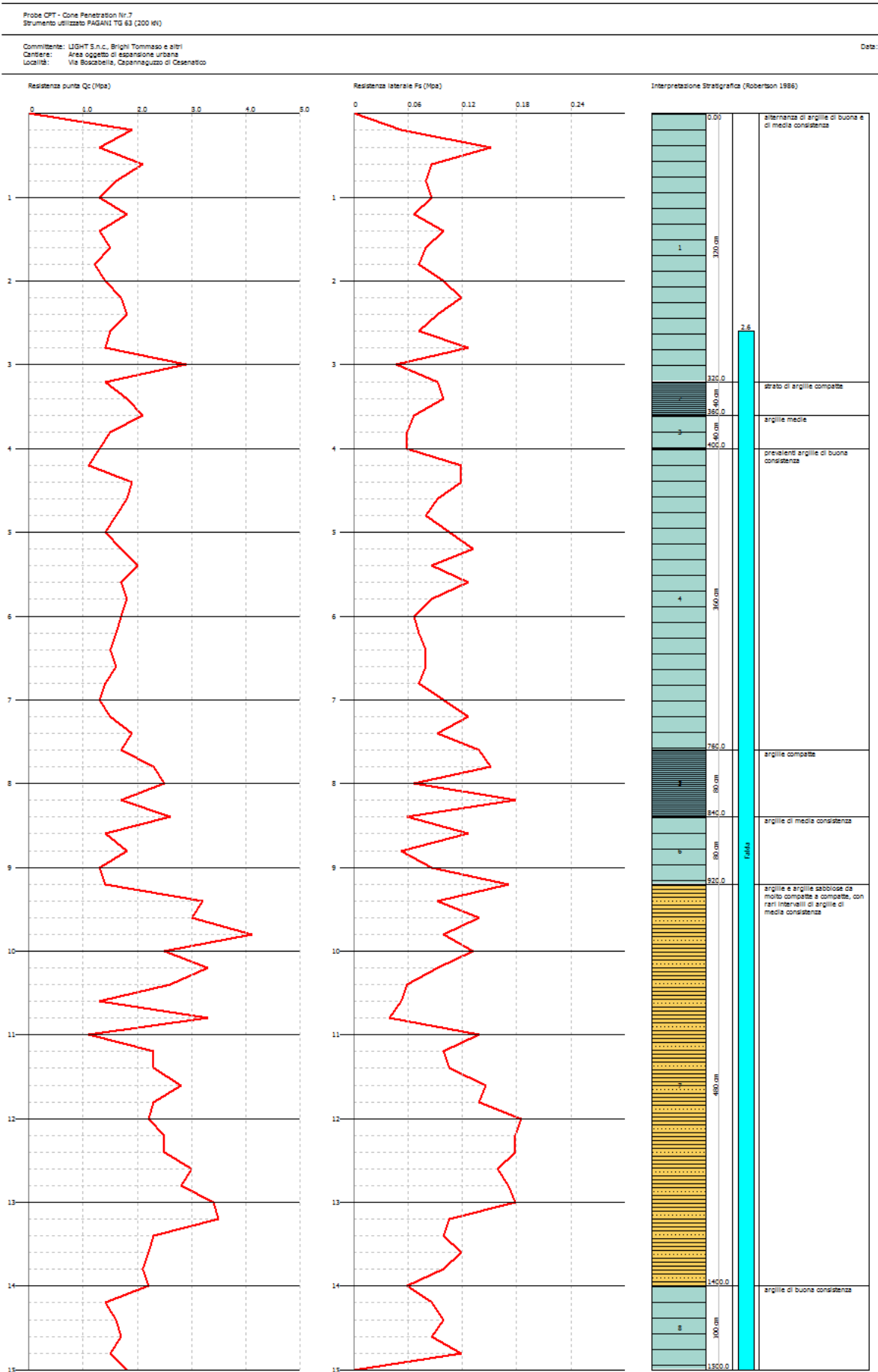
Data:

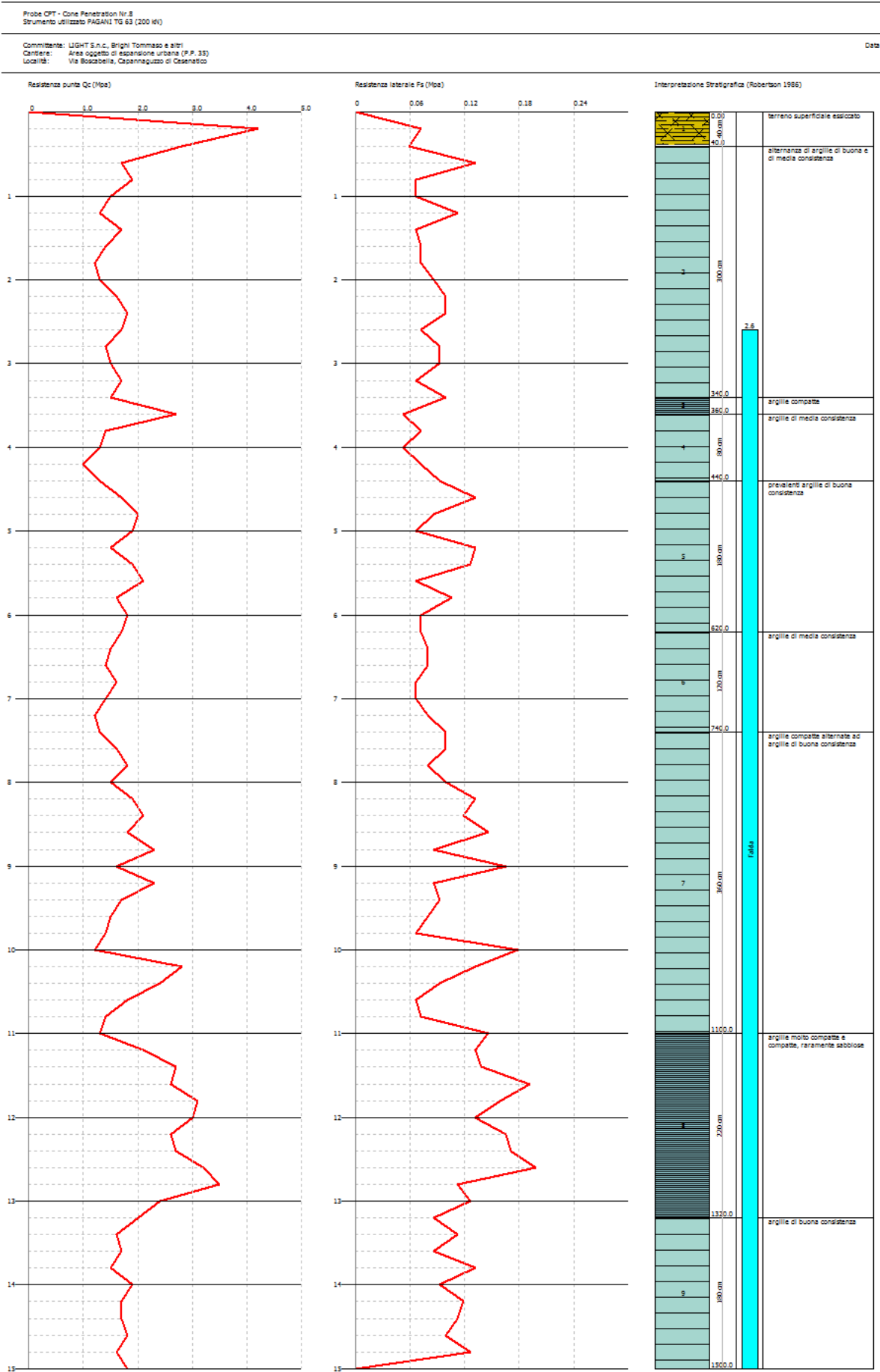


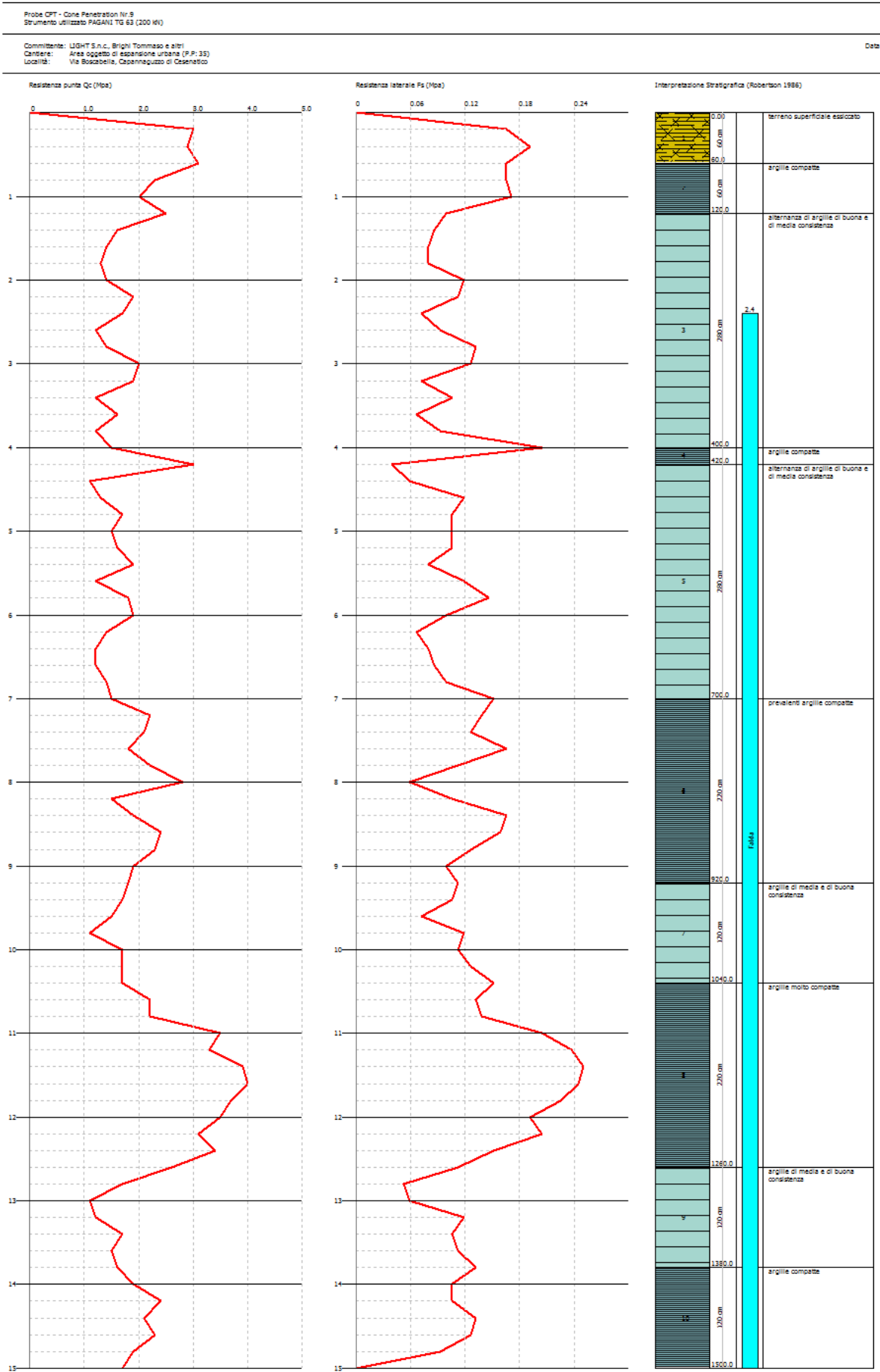


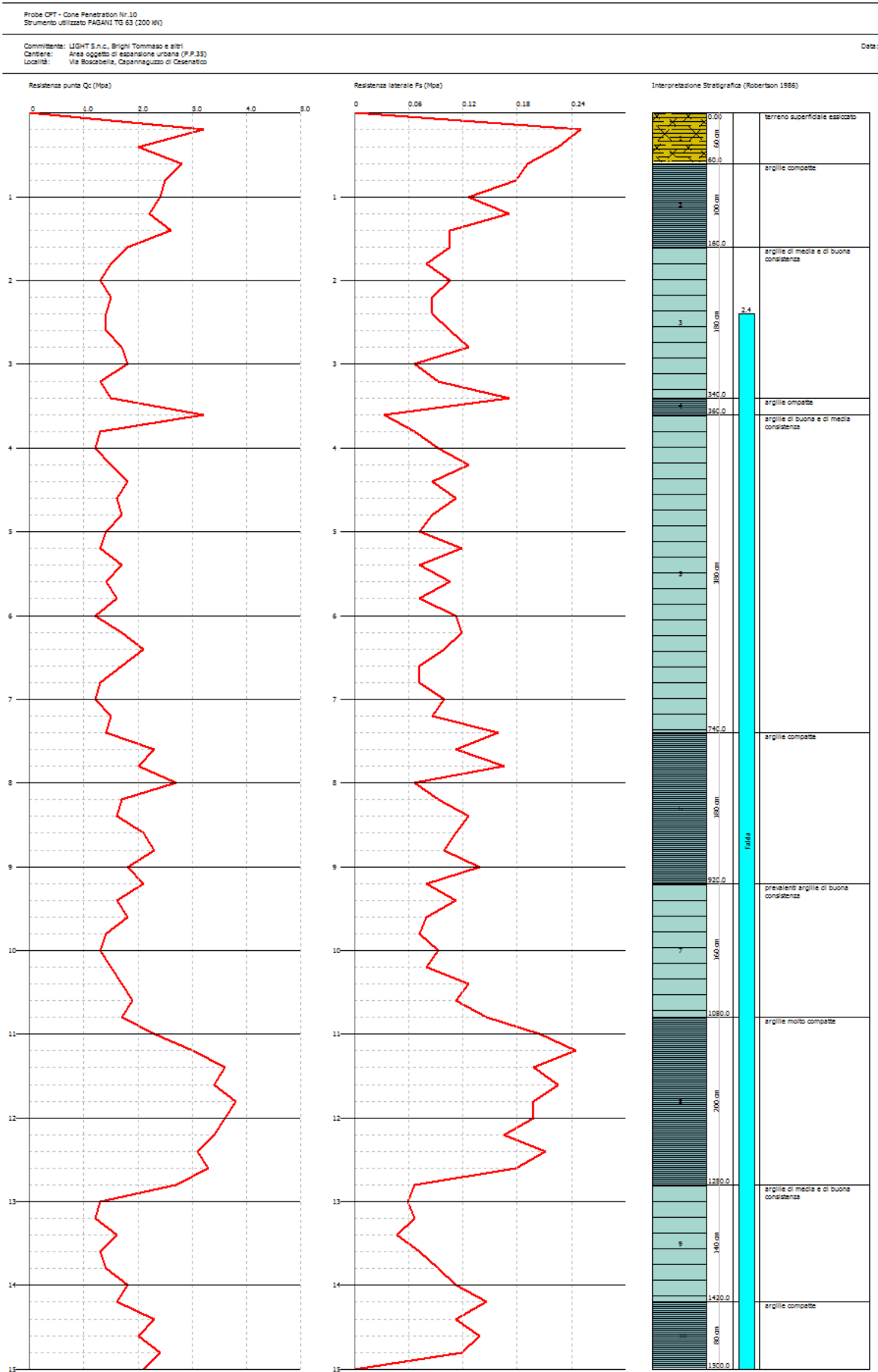


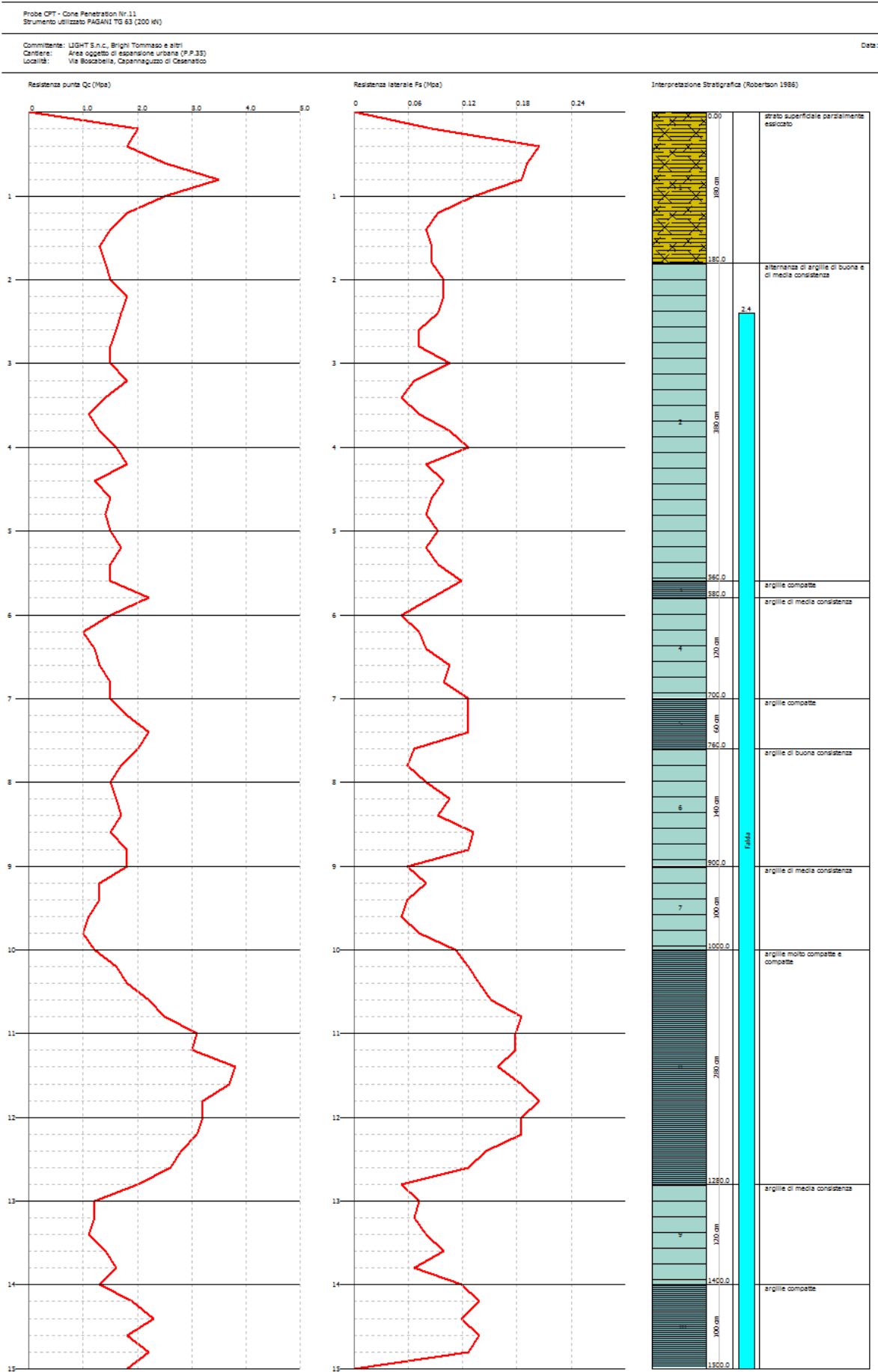


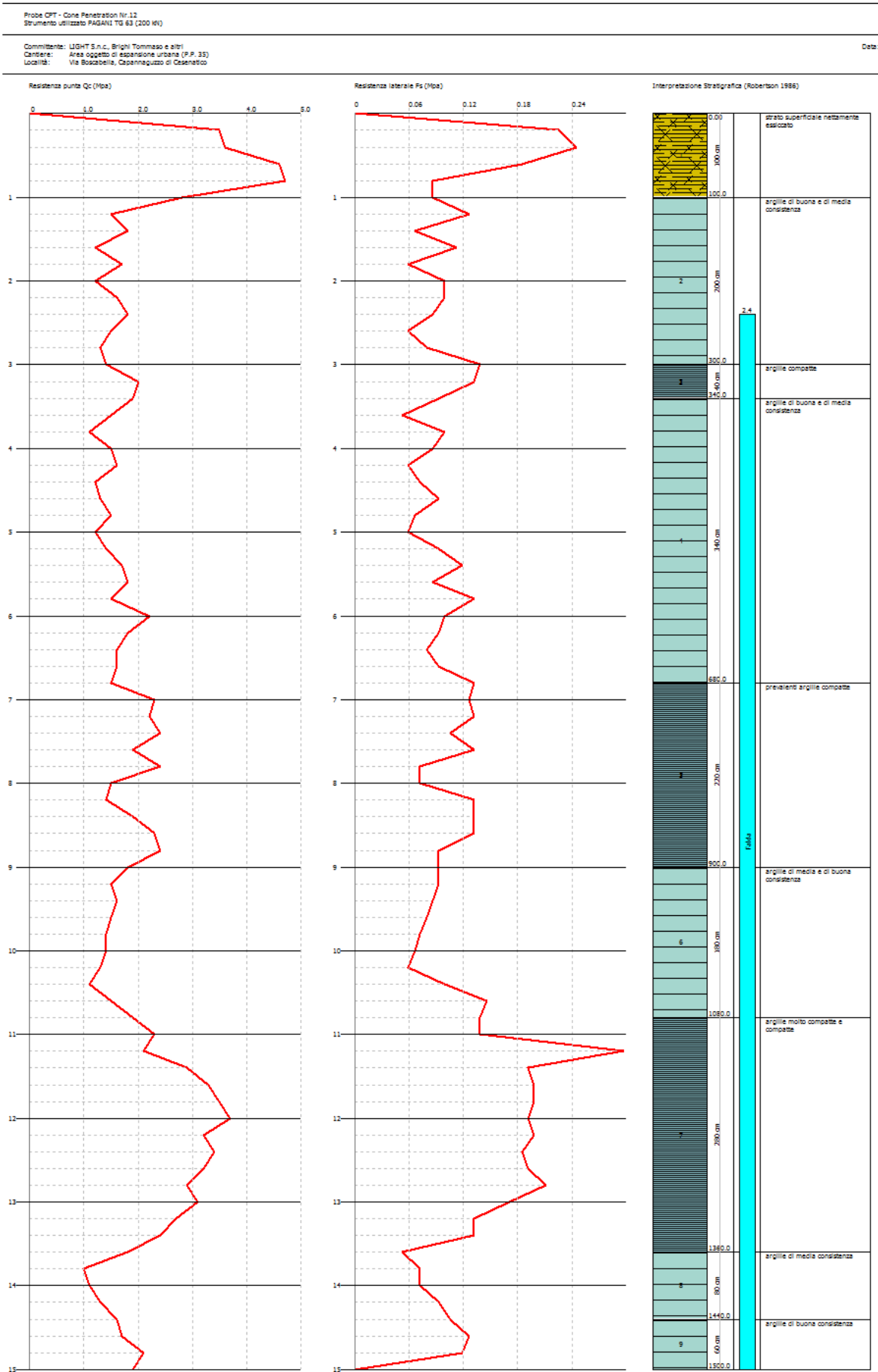


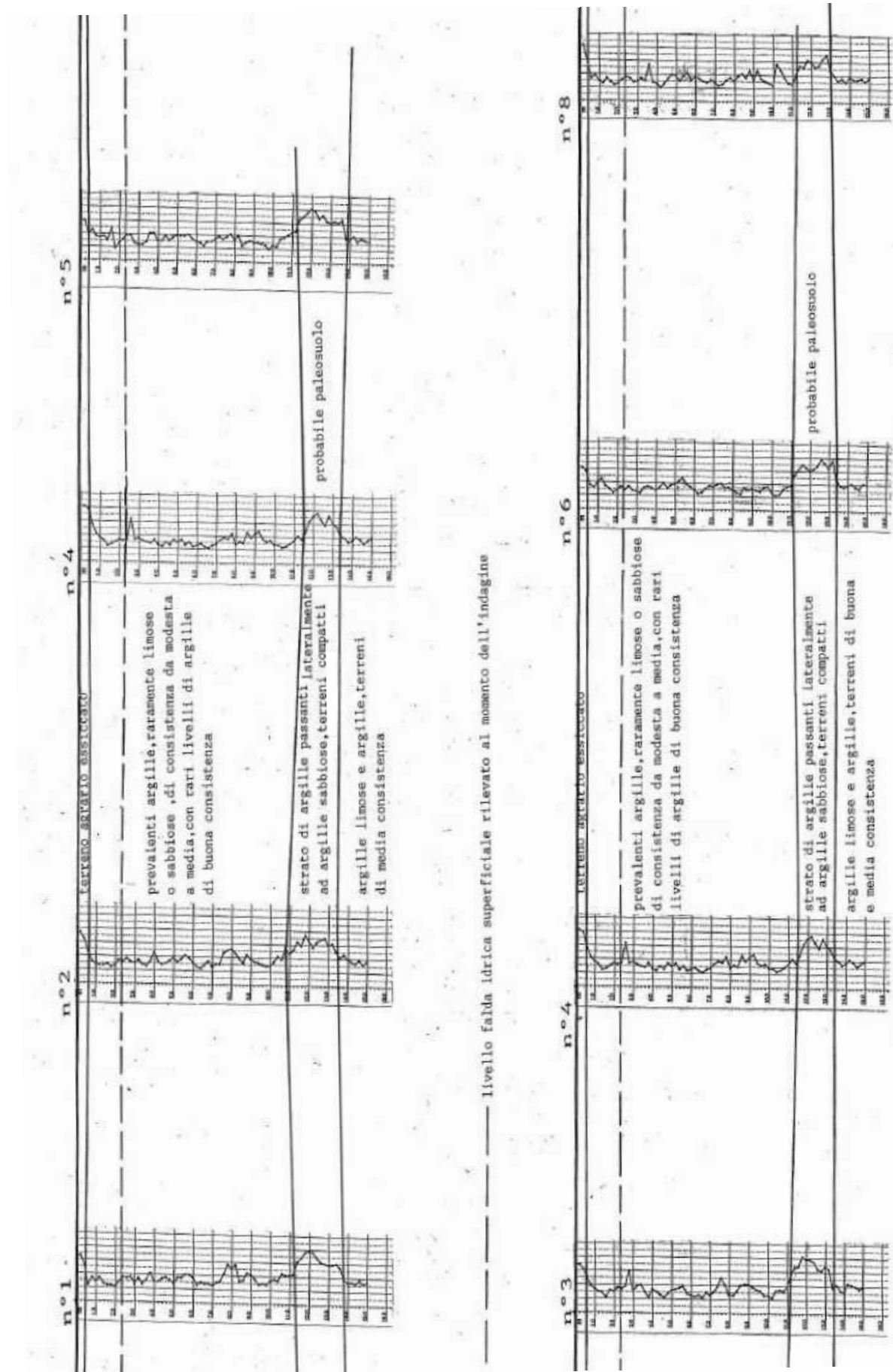


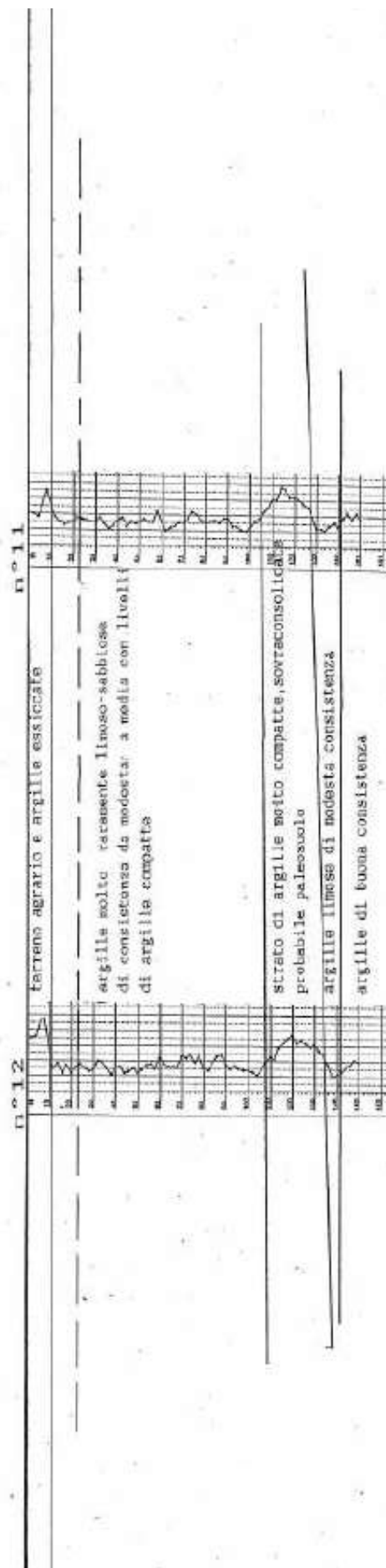




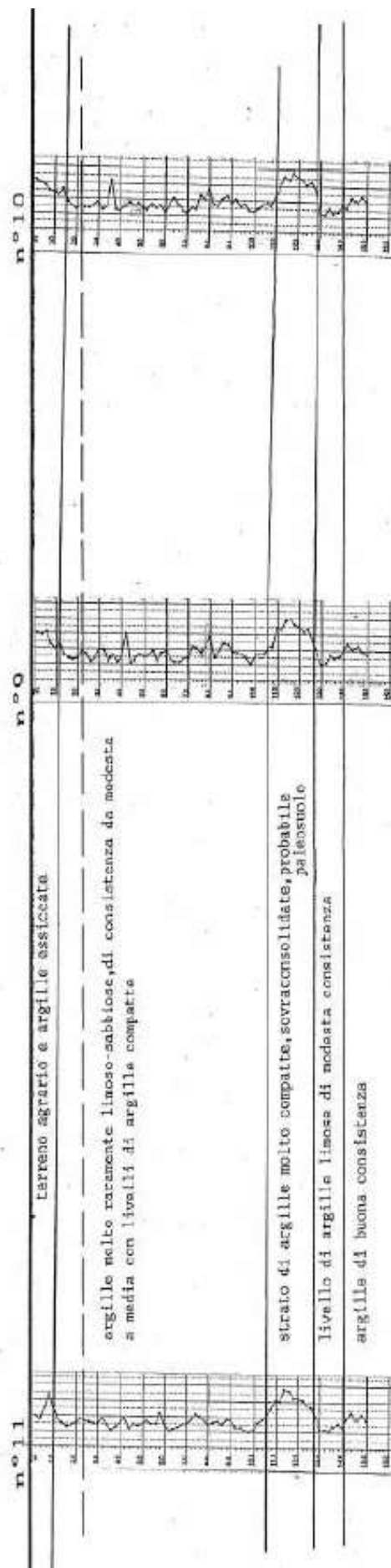








Il livello falda idrica superficiale rilevato al momento dell'indagine



ACQUE DI SUPERFICIE E SOTTERRANEE, RISCHIO IDRAULICO

Falda idrica superficiale (freatica)

In zona è presente una falda idrica superficiale alimentata in massima parte dalle precipitazioni meteoriche e in minima parte dalle filtrazioni provenienti dai fossi circostanti. Si tratta di una falda a pelo libero, soggetta a oscillazioni stagionali relativamente modeste, con variazioni di profondità della superficie libera ipotizzabili fra m-1.00 e m-4.00 dal piano di campagna attuale. Al momento dell'indagine, nei fori di sondaggio, la falda è stata rilevata ad una profondità media dal p.c. di circa m 2.60 a nord di via Boscabella e di circa m-2.40 dal p.c. a sud della sede stradale, differenze di profondità dovute alla diversità di quote fra i due comparti.

Acque sotterranee in genere

Nell'ambito del territorio comunale è riconoscibile un sistema acquifero, con serbatoio costituito da terreni del quaternario sia marino che continentale, delimitato inferiormente dall'interfaccia acqua dolce acqua salata. I dati disponibili permettono di ipotizzare la suddivisione del sistema nelle seguenti unità idrogeologiche:

- acquifero freatico superficiale, costituito da sabbie con intercalazioni limose e argillose
- livello impermeabile argilloso di separazione
- sistemi di acquiferi con falde in pressione formato da una serie di orizzonti permeabili sabbiosi riconducibili ad un unico acquifero multistrato a scala regionale alimentato per flusso sotterraneo dalla retrostante pianura padana.

Rischio di alluvionamento della zona

L'area in esame è inserita in una zona indicata di **potenziale allagamento (Art.6)** come risulta nell'allegato stralcio della Carta del Rischio Idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Romagnoli.

Interventi da prevedersi in relazione alla impermeabilizzazione dell'area

L'attuazione di quanto richiesto porterà alla impermeabilizzazione di parte dell'area, quindi per mantenere l'invarianza idraulica della zona e cioè per evitare l'incremento del deflusso delle acque meteoriche nella rete scolante circostante, si dovrà operare in modo che la portata d'acqua attuale non aumenti dopo l'intervento e il deflusso dovrà essere controllato in modo da non superare l'attuale stato di carico durante il tempo in cui si verificano precipitazioni meteoriche. A tale scopo si dovrà provvedere la rete fognante di opportune opere di stoccaggio (vasche o laghetti di laminazione) da dimensionarsi sulla base di una capienza minima da valutarsi secondo quanto disposto dagli uffici competenti.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI PRESENTI NELL'AREA

Per valutare i parametri geotecnici dei terreni sondati si sono utilizzate le seguenti correlazioni empiriche con i dati penetrometrici:

Parametri degli strati coesivi

I principali parametri geotecnici calcolabili per terreni coesivi (componente limosa o argillosa dominante) attraverso le correlazioni dirette con i valori di Rp sono i seguenti:

- coesione non drenata Cu - modulo edometrico Ed
- rapporto di sovraconsolidazione OCR - modulo dinamico di taglio G₀
- fattore di compressione Cc - permeabilità - coesione drenata c'
- attrito terreno fondazioni φ'

Coesione non drenata (Lunne e Eide)

Il metodo è valido per argille in genere e si basa sulla seguente relazione:

$$c_u (kg/cm^2) = \frac{R_p - \sigma}{20.7 - 0.18IP} \quad \text{dove:}$$

R_p(kg/cm²) = Resistenza alla punta media dello strato

IP = Indice di plasticità medio dello strato

σ (kg/cm²) = Pressione litostatica efficace a metà strato

Modulo edometrico (Mitchell e Gardner)

Il metodo, valido per argille in genere, si basa sulla seguente relazione: $E_d (kg/cm^2) = \alpha R_p$

dove R_p è la resistenza alla punta media dello strato e α è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno, secondo la tabella riportata nella pagina successiva.

Terreno	α
CL	Per 0.7 > R _p α=5
	Per 2 > R _p > 0.7 α=3.5
	Per R _p > 2 α=1.7
ML	Per 2 > R _p α=2
	Per 2 < R _p α=4.5
MH-CH	α=4
OL-OH	α=4

Dove R_p è la resistenza alla punta espressa in Mpa.

Rapporto di sovraconsolidazione (Ladd e Foot)

Si basa sulla seguente relazione: $OCR = \left(\frac{C_u}{\sigma_{KK}} \right)^{1.25}$

- C_u = coesione non drenata dello strato (Kg/cmq);
 σ = Pressione efficace a metà strato (Kg/cmq);
 KK = $7 \cdot K_p$, parametro correttivo in funzione della profondità.

K_p viene calcolato come illustrato dalla seguente tabella:

Profondità media dello strato P(m)	K_p
$h \leq 1$	$K_p = 0.2(h/p)$
$1 < h < 4$	$K_p = (0.2/p) + [0.35(h-1)/p]$
$h > 4$	$K_p = (0.2/p) + (0.35 \cdot 3/p) + [0.5(h-4)/p]$

dove p è il passo di lettura della prova espresso in metri.

Nel caso risultasse $KK < 0.25$ si pone $KK = 0.25$.

Modulo dinamico di taglio (Imai e Tomauchi)

Il metodo, valido per tutti i tipi di terreno, si basa sulla seguente relazione:

$$G_0(kg/cm^2) = 28 R_p^{0.611}; \text{ dove } R_p \text{ è la resistenza di punta media nello strato.}$$

Fattore di Compressione (Schmertmann)

Per una stima del parametro C è possibile utilizzare la relazione Schmertmann:

$$C_c = 0.09 - 0.055 \log\left(\frac{2c_u}{\sigma}\right) \text{ dove } c_u \text{ è la coesione non drenata media dello strato e } \sigma \text{ la pressione}$$

litostatica efficace media a metà strato.

Permeabilità (Piacentini e Righi)

Un'indicazione della permeabilità dello strato può essere ottenuta attraverso la relazione di

$$\text{Piacentini e Righi: } k(m/s) = 10^{-\left(\frac{165}{fr} + \frac{160R_p}{fr^{3.5}}\right)}$$

dove R_p è la resistenza di punta media nello strato in kg/cm^2 e fr è il rapporto R_p/R_l

Coesione drenata c'

In assenza di prove di laboratorio (prove di taglio) su campioni indisturbati si consiglia di utilizzare valori della coesione drenata c' non superiori a 1/10 dei valori di coesione non drenata, della prove n°6 e n°11, (caratteristiche meccaniche meno favorevoli a m-1.00 dal p.c, piano di posa ipotizzato per le fondazioni, per il comparto I° e per il comparto II°) in cui si hanno coesioni non drenate pari a:

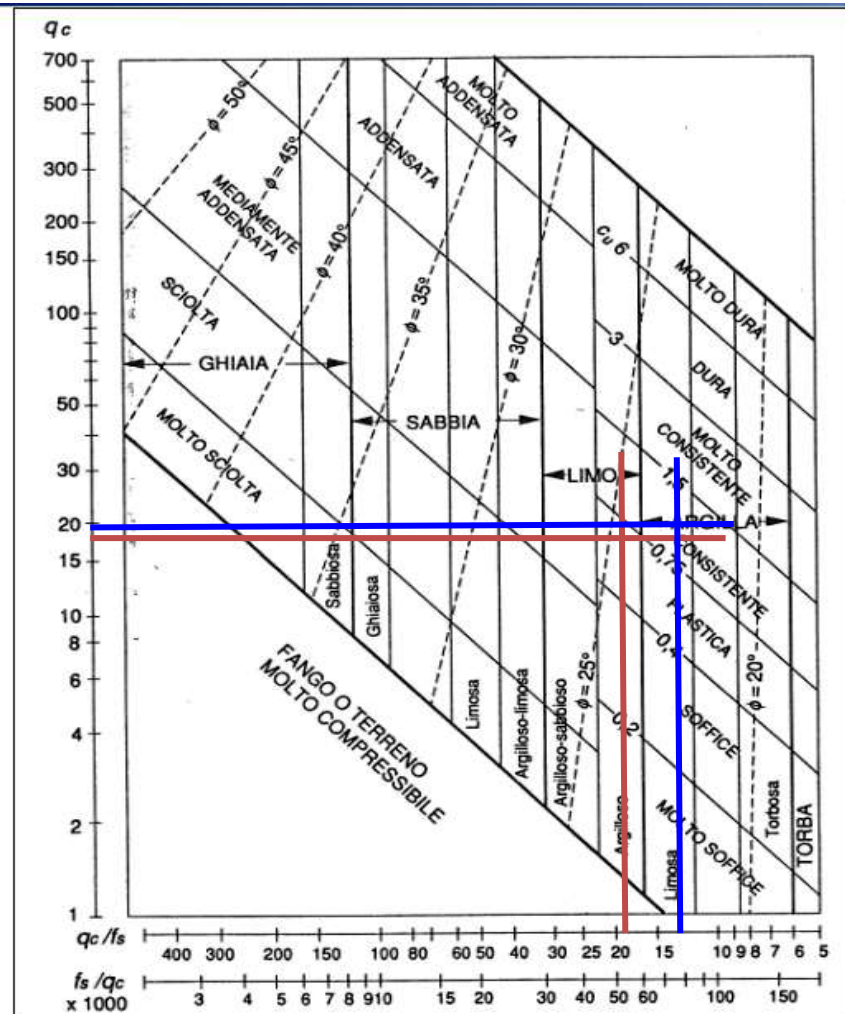
CPT n°6 - $c_u = 1.31 kg/cm^2$ e si consiglia di utilizzare una coesione drenata $c' = 0.13 kg/cm^2$

CPT n°11 - $c_u = 1.02 kg/cm^2$ e si consiglia di utilizzare una coesione drenata $c' = 0.10 kg/cm^2$

Angolo di attrito interno per terreni coesivi ϕ'

Il valore dell'angolo di attrito interno drenato φ' dei terreni coesivi è rilevabile per via empirica dal diagramma di Searles sottoriportato, in cui sono messi in relazione i valori di q_c con i rapporti f_s/q_c e q_c/f_s

DIAGRAMMA DI SEARLE



Sempre con riferimento alle penetrometrie n°3 e n°11, a m-1.00 dal p.c., si ha:

CPT n°6 - $q_c = 19.0 \text{ kg/cm}^2$ - $q_c/f_s = 12.93$ da cui risulta un angolo $\phi' = 23^\circ$

CPT n°11 - $q_c = 18.0 \text{ kg/cm}^2$ - $q_c/f_s = 19.36$ da cui risulta un angolo $\phi' = 24.5^\circ$

Attrito terreno fondazioni

Nel caso di fondazioni in calcestruzzo gettate direttamente a contatto con il terreno il valore dell'angolo di attrito fondazioni/terreno sarà $\delta = 2/3 \varphi'$

ALLEGATI

Tabulati con parametri geotecnici

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°1 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Lunne & Eide	171.6
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Lunne & Eide	78.8
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Lunne & Eide	87.7
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Lunne & Eide	120.2
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Lunne & Eide	85.0
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Lunne & Eide	158.2
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Lunne & Eide	88.2

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Mitchell & Gardner (1975)	5.5
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Mitchell & Gardner (1975)	7.2
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Mitchell & Gardner (1975)	8.5

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.5
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.1
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.3
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.4
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.6

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Imai & Tomauchi	22.2
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Imai & Tomauchi	13.9
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Imai & Tomauchi	18.4
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Imai & Tomauchi	21.7
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Imai & Tomauchi	15.7

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Meyerhof	20.0
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Meyerhof	18.8
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Meyerhof	18.9
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Meyerhof	19.5
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Meyerhof	18.9
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Meyerhof	19.9
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Meyerhof	18.9

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Meyerhof	20.8
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Meyerhof	19.5
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Meyerhof	19.7
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Meyerhof	20.2
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Meyerhof	19.7
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Meyerhof	20.7
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Meyerhof	19.7

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.40	3.0	0.073	4.0	4.0	Piacentini-Righi 1988	7.50E-05
Strato 2	2.20	1.4	0.081	24.8	24.8	Piacentini-Righi 1988	2.45E-11
Strato 3	7.40	1.6	0.094	90.8	69.2	Piacentini-Righi 1988	1.05E-11
Strato 4	9.20	2.2	0.136	157.4	101.5	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 5	10.40	1.6	0.109	186.2	115.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 6	13.80	2.9	0.197	231.4	138.2	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 7	15.00	1.7	0.081	276.5	160.8	Piacentini-Righi 1988	3.04E-09

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°2 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Lunne & Eide	177.2
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Lunne & Eide	78.7
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Lunne & Eide	87.5
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Lunne & Eide	120.0
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Lunne & Eide	84.8
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Lunne & Eide	152.1
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Lunne & Eide	93.5

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Mitchell & Gardner (1975)	7.8
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Mitchell & Gardner (1975)	5.5
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Mitchell & Gardner (1975)	9.0

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.6
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.1
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.3
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.2
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.7

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Imai & Tomauchi	22.7
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Imai & Tomauchi	13.9
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Imai & Tomauchi	18.4
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Imai & Tomauchi	21.3
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Imai & Tomauchi	16.2

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Meyerhof	20.1
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Meyerhof	18.8
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Meyerhof	18.9
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Meyerhof	19.5
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Meyerhof	18.9
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Meyerhof	19.8
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Meyerhof	19.0

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Meyerhof	20.9
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Meyerhof	19.5
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Meyerhof	19.7
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Meyerhof	20.2
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Meyerhof	19.7
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Meyerhof	20.6
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Meyerhof	19.8

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.60	3.1	0.113	6.0	6.0	Piacentini-Righi 1988	3.29E-07
Strato 2	2.00	1.4	0.08	25.7	25.7	Piacentini-Righi 1988	3.57E-11
Strato 3	7.40	1.6	0.088	92.4	71.8	Piacentini-Righi 1988	8.06E-11
Strato 4	8.80	2.2	0.12	159.0	105.1	Piacentini-Righi 1988	4.36E-11
Strato 5	10.20	1.6	0.097	186.4	118.8	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 6	14.00	2.8	0.185	237.4	144.2	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 7	15.00	1.8	0.091	284.4	167.7	Piacentini-Righi 1988	6.38E-10

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°3 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI****Coesione non drenata**

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Lunne & Eide	171.5
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Lunne & Eide	88.0
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Lunne & Eide	126.0
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Lunne & Eide	74.2
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Lunne & Eide	108.2
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Lunne & Eide	78.8
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Lunne & Eide	192.2
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Lunne & Eide	99.4

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Mitchell & Gardner (1975)	5.7
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Mitchell & Gardner (1975)	5.0
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Mitchell & Gardner (1975)	8.8
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Mitchell & Gardner (1975)	9.5

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.5
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.4
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.1
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	5.2
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.9

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Imai & Tomauchi	22.2
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Imai & Tomauchi	18.9
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Imai & Tomauchi	13.9
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Imai & Tomauchi	17.3
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Imai & Tomauchi	24.4
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Imai & Tomauchi	16.8

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Meyerhof	20.0
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Meyerhof	18.9
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Meyerhof	19.5
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Meyerhof	18.7
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Meyerhof	19.3
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Meyerhof	18.8
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Meyerhof	20.2
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Meyerhof	19.1

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Meyerhof	20.8
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Meyerhof	19.7
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Meyerhof	20.3
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Meyerhof	19.5
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Meyerhof	20.1
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Meyerhof	19.5
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Meyerhof	21.0
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Meyerhof	19.9

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.60	3.0	0.167	5.9	5.9	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 2	7.40	1.6	0.084	78.1	64.3	Piacentini-Righi 1988	2.96E-10
Strato 3	7.80	2.3	0.09	148.3	99.2	Piacentini-Righi 1988	1.26E-07
Strato 4	8.40	1.4	0.1	158.0	104.1	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 5	9.20	2.0	0.115	171.8	111.0	Piacentini-Righi 1988	1.06E-11
Strato 6	11.00	1.5	0.094	197.2	123.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 7	13.20	3.5	0.145	236.8	143.6	Piacentini-Righi 1988	2.18E-08
Strato 8	15.00	1.9	0.093	276.6	163.8	Piacentini-Righi 1988	1.32E-09

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°4 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Lunne & Eide	228.9
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Lunne & Eide	142.5
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Lunne & Eide	82.2
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Lunne & Eide	102.7
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Lunne & Eide	78.7
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Lunne & Eide	163.6
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Lunne & Eide	99.4

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Mitchell & Gardner (1975)	10.0
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Mitchell & Gardner (1975)	6.2
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Mitchell & Gardner (1975)	9.5
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Mitchell & Gardner (1975)	9.5

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	6.0
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.7
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.9
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.5
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.9

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Imai & Tomauchi	26.5
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Imai & Tomauchi	19.9
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Imai & Tomauchi	16.8
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Imai & Tomauchi	22.2
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Imai & Tomauchi	16.8

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Meyerhof	20.5
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Meyerhof	19.7
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Meyerhof	18.8
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Meyerhof	19.2
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Meyerhof	18.8
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Meyerhof	20.0
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Meyerhof	19.1

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Meyerhof	21.3
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Meyerhof	20.5
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Meyerhof	19.6
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Meyerhof	20.0
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Meyerhof	19.5
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Meyerhof	20.8
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Meyerhof	19.9

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.40	4.0	0.127	4.1	4.1	Piacentini-Righi 1988	2.45E-06
Strato 2	0.80	2.5	0.117	12.2	12.2	Piacentini-Righi 1988	2.36E-09
Strato 3	7.20	1.5	0.077	78.5	64.8	Piacentini-Righi 1988	6.02E-10
Strato 4	9.40	1.9	0.105	162.5	106.6	Piacentini-Righi 1988	4.48E-11
Strato 5	11.00	1.5	0.086	199.7	125.2	Piacentini-Righi 1988	2.73E-11
Strato 6	13.20	3.0	0.147	237.3	144.1	Piacentini-Righi 1988	4.37E-10
Strato 7	15.00	1.9	0.107	276.8	164.0	Piacentini-Righi 1988	2.48E-11

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI n°5 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Lunne & Eide	166.0
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Lunne & Eide	107.8
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Lunne & Eide	77.4
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Lunne & Eide	116.8
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Lunne & Eide	86.5
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Lunne & Eide	61.8
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Lunne & Eide	112.9
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Lunne & Eide	192.1
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Lunne & Eide	93.6

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Mitchell & Gardner (1975)	7.2
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Mitchell & Gardner (1975)	9.5
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Mitchell & Gardner (1975)	5.2
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Mitchell & Gardner (1975)	6.0
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Mitchell & Gardner (1975)	5.2
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Mitchell & Gardner (1975)	8.8
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Mitchell & Gardner (1975)	9.0

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.4
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.9
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.1
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.1
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	1.8
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.1
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	5.2
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.7

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Imai & Tomauchi	21.7
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Imai & Tomauchi	16.8
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Imai & Tomauchi	13.9
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Imai & Tomauchi	17.9
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Imai & Tomauchi	12.7
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Imai & Tomauchi	17.9
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Imai & Tomauchi	24.4
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Imai & Tomauchi	16.2

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Meyerhof	20.0
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Meyerhof	19.3
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Meyerhof	18.7
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Meyerhof	19.4
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Meyerhof	18.9
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Meyerhof	18.4
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Meyerhof	19.4
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Meyerhof	20.2
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Meyerhof	19.0

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Meyerhof	20.8
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Meyerhof	20.1
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Meyerhof	19.5
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Meyerhof	20.2
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Meyerhof	19.7
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Meyerhof	19.1
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Meyerhof	20.1
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Meyerhof	21.0
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Meyerhof	19.8

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.20	2.9	0.08	2.0	2.0	Piacentini-Righi 1988	1.92E-05
Strato 2	1.60	1.9	0.114	17.7	17.7	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 3	3.40	1.4	0.075	49.0	49.0	Piacentini-Righi 1988	2.23E-10
Strato 4	3.80	2.1	0.09	70.4	60.6	Piacentini-Righi 1988	2.35E-08
Strato 5	9.40	1.6	0.084	128.9	89.7	Piacentini-Righi 1988	2.96E-10
Strato 6	10.20	1.2	0.069	191.3	120.7	Piacentini-Righi 1988	4.17E-11
Strato 7	11.20	2.1	0.145	208.9	129.4	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 8	13.60	3.5	0.129	242.9	146.8	Piacentini-Righi 1988	2.34E-07
Strato 9	15.00	1.8	0.085	280.8	166.1	Piacentini-Righi 1988	3.44E-09

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°6 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Lunne & Eide	171.6
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Lunne & Eide	107.8
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Lunne & Eide	82.8
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Lunne & Eide	110.4
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Lunne & Eide	85.8
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Lunne & Eide	181.1
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Lunne & Eide	105.5

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Mitchell & Gardner (1975)	9.5
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Mitchell & Gardner (1975)	5.0
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Mitchell & Gardner (1975)	8.3
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Mitchell & Gardner (1975)	5.0

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.5
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.9
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.9
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Imai & Tomauchi	22.2
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Imai & Tomauchi	16.8
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Imai & Tomauchi	17.3
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Imai & Tomauchi	23.5
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Imai & Tomauchi	17.3

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Meyerhof	20.0
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Meyerhof	19.3
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Meyerhof	18.8
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Meyerhof	19.3
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Meyerhof	18.9
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Meyerhof	20.1
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Meyerhof	19.2

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Meyerhof	20.8
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Meyerhof	20.1
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Meyerhof	19.6
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Meyerhof	20.1
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Meyerhof	19.7
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Meyerhof	20.9
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Meyerhof	20.0

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.40	3.0	0.1	4.0	4.0	Piacentini-Righi 1988	1.48E-06
Strato 2	1.40	1.9	0.108	17.6	17.6	Piacentini-Righi 1988	1.84E-11
Strato 3	4.60	1.5	0.081	57.4	53.5	Piacentini-Righi 1988	1.56E-10
Strato 4	5.60	2.0	0.109	97.3	72.8	Piacentini-Righi 1988	5.95E-11
Strato 5	11.00	1.6	0.088	157.7	101.8	Piacentini-Righi 1988	8.06E-11
Strato 6	13.20	3.3	0.149	230.6	137.4	Piacentini-Righi 1988	3.14E-09
Strato 7	15.00	2.0	0.111	270.0	157.2	Piacentini-Righi 1988	3.38E-11

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°7 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Lunne & Eide	89.9
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Lunne & Eide	111.3
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Lunne & Eide	76.7
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Lunne & Eide	87.1
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Lunne & Eide	126.1
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Lunne & Eide	79.8
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Lunne & Eide	141.3
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Lunne & Eide	82.4

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Mitchell & Gardner (1975)	5.0
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Mitchell & Gardner (1975)	5.7
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Mitchell & Gardner (1975)	6.5
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Mitchell & Gardner (1975)	8.0

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.1
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.4
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.9
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Imai & Tomauchi	17.3
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Imai & Tomauchi	13.9
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Imai & Tomauchi	18.9
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Imai & Tomauchi	20.3
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Imai & Tomauchi	15.1

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Schmertmann 1978	OCR=1

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Meyerhof	19.0
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Meyerhof	19.3
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Meyerhof	18.7
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Meyerhof	18.9
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Meyerhof	19.5
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Meyerhof	18.8
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Meyerhof	19.7
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Meyerhof	18.8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Meyerhof	19.8
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Meyerhof	20.1
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Meyerhof	19.5
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Meyerhof	19.7
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Meyerhof	20.3
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Meyerhof	19.6
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Meyerhof	20.5
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Meyerhof	19.6

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	3.20	1.6	0.09	30.4	30.4	Piacentini-Righi 1988	4.14E-11
Strato 2	3.60	2.0	0.084	64.7	56.8	Piacentini-Righi 1988	3.75E-08
Strato 3	4.00	1.4	0.06	72.3	60.5	Piacentini-Righi 1988	3.60E-08
Strato 4	7.60	1.6	0.099	110.0	78.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 5	8.40	2.3	0.115	151.8	98.9	Piacentini-Righi 1988	5.02E-10
Strato 6	9.20	1.5	0.11	167.1	106.3	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 7	14.00	2.6	0.121	221.9	133.6	Piacentini-Righi 1988	2.50E-09
Strato 8	15.00	1.6	0.079	278.6	161.9	Piacentini-Righi 1988	1.43E-09

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°8 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Lunne & Eide	200.2
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Lunne & Eide	83.8
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Lunne & Eide	151.2
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Lunne & Eide	70.7
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Lunne & Eide	98.7
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Lunne & Eide	74.9
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Lunne & Eide	96.5
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Lunne & Eide	146.4
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Lunne & Eide	88.0

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Mitchell & Gardner (1975)	8.8
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Mitchell & Gardner (1975)	6.7
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Mitchell & Gardner (1975)	6.5
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Mitchell & Gardner (1975)	9.0
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Mitchell & Gardner (1975)	9.0
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Mitchell & Gardner (1975)	6.7
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Mitchell & Gardner (1975)	8.5

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	5.2
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.1
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	1.9
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.7
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.1
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.7
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.1
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.6

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Imai & Tomauchi	24.4
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Imai & Tomauchi	20.8
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Imai & Tomauchi	13.3
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Imai & Tomauchi	16.2
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Imai & Tomauchi	13.9
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Imai & Tomauchi	16.2
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Imai & Tomauchi	20.8
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Imai & Tomauchi	15.7

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Meyerhof	20.3
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Meyerhof	18.9
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Meyerhof	19.8
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Meyerhof	18.6
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Meyerhof	19.1
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Meyerhof	18.7
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Meyerhof	19.1
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Meyerhof	19.8
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Meyerhof	18.9

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Meyerhof	21.1
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Meyerhof	19.6
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Meyerhof	20.6
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Meyerhof	19.4
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Meyerhof	19.9
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Meyerhof	19.5
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Meyerhof	19.9
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Meyerhof	20.6
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Meyerhof	19.7

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.40	3.5	0.067	4.1	4.1	Piacentini-Righi 1988	6.11E-04
Strato 2	3.40	1.5	0.087	37.4	37.4	Piacentini-Righi 1988	1.91E-11
Strato 3	3.60	2.7	0.053	68.6	59.8	Piacentini-Righi 1988	5.18E-04
Strato 4	4.40	1.3	0.073	78.4	64.7	Piacentini-Righi 1988	6.99E-11
Strato 5	6.20	1.8	0.096	103.8	77.4	Piacentini-Righi 1988	1.48E-10
Strato 6	7.40	1.4	0.079	133.1	92.0	Piacentini-Righi 1988	5.18E-11
Strato 7	11.00	1.8	0.109	180.0	115.3	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 8	13.20	2.7	0.148	236.8	143.6	Piacentini-Righi 1988	1.81E-11
Strato 9	15.00	1.7	0.098	276.1	163.3	Piacentini-Righi 1988	1.63E-11

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°9 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Lunne & Eide	171.5
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Lunne & Eide	130.7
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Lunne & Eide	83.1
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Lunne & Eide	168.2
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Lunne & Eide	81.4
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Lunne & Eide	114.4
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Lunne & Eide	84.8
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Lunne & Eide	175.5
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Lunne & Eide	77.1
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Lunne & Eide	110.8

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Mitchell & Gardner (1975)	5.7
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Mitchell & Gardner (1975)	5.2
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Mitchell & Gardner (1975)	5.2

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.5
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.4
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.5
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.1
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.8
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.1

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Imai & Tomauchi	22.2
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Imai & Tomauchi	18.9
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Imai & Tomauchi	22.2
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Imai & Tomauchi	17.9
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Imai & Tomauchi	23.1
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Imai & Tomauchi	17.9

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Schmertmann 1978	OCR=1
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Meyerhof	20.0
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Meyerhof	19.6
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Meyerhof	18.9
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Meyerhof	20.0
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Meyerhof	18.8
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Meyerhof	19.4
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Meyerhof	18.9
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Meyerhof	20.1
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Meyerhof	18.7
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Meyerhof	19.3

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Meyerhof	20.8
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Meyerhof	20.4
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Meyerhof	19.6
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Meyerhof	20.8
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Meyerhof	19.6
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Meyerhof	20.2
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Meyerhof	19.7
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Meyerhof	20.9
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Meyerhof	19.5
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Meyerhof	20.1

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.60	3.0	0.176	5.9	5.9	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 2	1.20	2.3	0.147	17.7	17.7	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 3	4.00	1.5	0.104	51.0	49.1	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 4	4.20	3.0	0.04	80.5	63.8	Piacentini-Righi 1988	6.12E-03
Strato 5	7.00	1.5	0.103	109.9	78.5	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 6	9.20	2.1	0.126	158.9	103.0	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 7	10.40	1.6	0.116	192.2	119.7	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 8	12.60	3.2	0.192	225.7	136.4	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 9	13.80	1.5	0.098	259.0	153.1	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 10	15.00	2.1	0.095	282.4	164.7	Piacentini-Righi 1988	7.26E-09

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°10 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Lunne & Eide	154.3
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Lunne & Eide	130.5
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Lunne & Eide	83.2
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Lunne & Eide	180.0
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Lunne & Eide	81.5
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Lunne & Eide	114.3
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Lunne & Eide	84.7
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Lunne & Eide	175.3
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Lunne & Eide	77.0
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Lunne & Eide	116.5

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Mitchell & Gardner (1975)	6.7
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Mitchell & Gardner (1975)	5.7
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Mitchell & Gardner (1975)	5.2
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Mitchell & Gardner (1975)	8.0
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Mitchell & Gardner (1975)	5.5

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.1
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.4
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.8
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.1
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.4
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.8
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.3

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Imai & Tomauchi	20.8
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Imai & Tomauchi	18.9
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Imai & Tomauchi	23.1
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Imai & Tomauchi	17.9
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Imai & Tomauchi	15.1
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Imai & Tomauchi	23.1
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Imai & Tomauchi	18.4

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Schmertmann 1978	OCR=1
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Meyerhof	19.9
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Meyerhof	19.6
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Meyerhof	18.9
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Meyerhof	20.1
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Meyerhof	18.8
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Meyerhof	19.4
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Meyerhof	18.9
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Meyerhof	20.1
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Meyerhof	18.7
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Meyerhof	19.4

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Meyerhof	20.7
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Meyerhof	20.4
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Meyerhof	19.6
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Meyerhof	20.9
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Meyerhof	19.6
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Meyerhof	20.2
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Meyerhof	19.7
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Meyerhof	20.9
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Meyerhof	19.5
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Meyerhof	20.2

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0.60	2.7	0.224	5.9	5.9	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 2	1.60	2.3	0.139	21.6	21.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 3	3.40	1.5	0.103	49.1	48.1	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 4	3.60	3.2	0.033	68.8	58.0	Piacentini-Righi 1988	1.00E-03
Strato 5	7.40	1.5	0.097	108.0	77.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 6	9.20	2.1	0.111	162.9	105.0	Piacentini-Righi 1988	1.30E-10
Strato 7	10.80	1.6	0.103	196.2	121.7	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 8	12.80	3.2	0.191	231.5	139.3	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 9	14.20	1.5	0.086	264.8	155.9	Piacentini-Righi 1988	2.73E-11
Strato 10	15.00	2.2	0.093	286.2	166.6	Piacentini-Righi 1988	2.93E-08

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°11 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Lunne & Eide	113.6
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Lunne & Eide	82.6
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Lunne & Eide	121.6
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Lunne & Eide	69.7
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Lunne & Eide	109.4
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Lunne & Eide	91.6
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Lunne & Eide	62.4
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Lunne & Eide	153.0
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Lunne & Eide	66.0
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Lunne & Eide	105.5

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Mitchell & Gardner (1975)	5.0
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Mitchell & Gardner (1975)	5.5
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Mitchell & Gardner (1975)	6.5
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Mitchell & Gardner (1975)	5.0
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Mitchell & Gardner (1975)	8.5
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Mitchell & Gardner (1975)	6.0
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Mitchell & Gardner (1975)	7.0
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Mitchell & Gardner (1975)	6.5
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Mitchell & Gardner (1975)	5.0

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.3
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	1.9
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.6
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Ladd ed Altri 1977 n=30	1.8
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.2
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	1.9
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Imai & Tomauchi	17.3
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Imai & Tomauchi	18.4
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Imai & Tomauchi	13.3
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Imai & Tomauchi	17.3
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Imai & Tomauchi	15.7
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Imai & Tomauchi	12.7
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Imai & Tomauchi	21.3
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Imai & Tomauchi	13.3
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Imai & Tomauchi	17.3

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Schmertmann 1978	OCR=1
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Meyerhof	19.4
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Meyerhof	18.8
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Meyerhof	19.5
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Meyerhof	18.6
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Meyerhof	19.3
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Meyerhof	19.0
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Meyerhof	18.4
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Meyerhof	19.9
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Meyerhof	18.5
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Meyerhof	19.2

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Meyerhof	20.2
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Meyerhof	19.6
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Meyerhof	20.3
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Meyerhof	19.3
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Meyerhof	20.1
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Meyerhof	19.8
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Meyerhof	19.2
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Meyerhof	20.6
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Meyerhof	19.3
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Meyerhof	20.0

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1.80	2.0	0.128	17.4	17.4	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 2	5.60	1.5	0.09	70.6	57.9	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 3	5.80	2.2	0.087	108.5	76.1	Piacentini-Righi 1988	1.08E-07
Strato 4	7.00	1.3	0.09	121.6	82.4	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 5	7.60	2.0	0.107	138.6	90.5	Piacentini-Righi 1988	1.04E-10
Strato 6	9.00	1.7	0.094	157.7	99.8	Piacentini-Righi 1988	5.94E-11
Strato 7	10.00	1.2	0.076	180.1	110.5	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 8	12.80	2.8	0.159	217.0	128.7	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 9	14.00	1.3	0.084	255.8	147.9	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 10	15.00	2.0	0.105	276.5	157.8	Piacentini-Righi 1988	1.80E-10

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI N°12 (P.P. 35)**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Lunne & Eide	217.1
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Lunne & Eide	83.6
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Lunne & Eide	111.4
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Lunne & Eide	81.7
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Lunne & Eide	108.8
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Lunne & Eide	79.0
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Lunne & Eide	157.9
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Lunne & Eide	65.3
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Lunne & Eide	99.2

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Mitchell & Gardner (1975)	9.5
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Mitchell & Gardner (1975)	5.0
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Mitchell & Gardner (1975)	5.0
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Mitchell & Gardner (1975)	7.5
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Mitchell & Gardner (1975)	7.2
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Mitchell & Gardner (1975)	6.5
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Mitchell & Gardner (1975)	9.5

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Ladd ed Altri 1977 n=30	5.7
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Ladd ed Altri 1977 n=30	3.0
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.2
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Ladd ed Altri 1977 n=30	4.4
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Ladd ed Altri 1977 n=30	1.9
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Ladd ed Altri 1977 n=30	2.9

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Imai & Tomauchi	25.7
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Imai & Tomauchi	17.3
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Imai & Tomauchi	17.3
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Imai & Tomauchi	14.5
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Imai & Tomauchi	21.7
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Imai & Tomauchi	13.3
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Imai & Tomauchi	16.8

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Schmertmann 1978	OCR=1
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Meyerhof	20.4
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Meyerhof	18.9
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Meyerhof	19.3
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Meyerhof	18.8
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Meyerhof	19.3
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Meyerhof	18.8
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Meyerhof	19.9
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Meyerhof	18.5
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Meyerhof	19.1

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Meyerhof	21.2
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Meyerhof	19.6
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Meyerhof	20.1
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Meyerhof	19.6
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Meyerhof	20.1
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Meyerhof	19.6
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Meyerhof	20.7
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Meyerhof	19.2
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Meyerhof	19.9

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1.00	3.8	0.167	10.1	10.1	Piacentini-Righi 1988	4.42E-09
Strato 2	3.00	1.5	0.093	39.6	39.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 3	3.40	2.0	0.113	63.0	55.2	Piacentini-Righi 1988	1.90E-11
Strato 4	6.80	1.5	0.09	100.1	73.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 5	9.00	2.0	0.112	154.8	100.9	Piacentini-Righi 1988	2.53E-11
Strato 6	10.80	1.5	0.094	194.0	120.5	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 7	13.60	2.9	0.406	239.1	143.0	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 8	14.40	1.3	0.087	274.4	160.6	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 9	15.00	1.9	0.082	288.1	167.4	Piacentini-Righi 1988	2.30E-08

RISCHIO LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CASO DI SISMA

Concetto di liquefazione

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb: $\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$

dove:

c = coesione del terreno

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno,

È evidente che la grandezza τ si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a) $c = 0$; b) $(\sigma_{v0} - u) = 0$;

(il caso $\varphi = 0$ non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione $c = 0$ non può ovviamente verificarsi).

La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$).

In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

Fattori che predispongono alla liquefazione

Di seguito si descrivono, nel dettaglio, i fattori principali che predispongono un terreno alla liquefazione, prima di passare ad illustrare i metodi di calcolo della suscettibilità al fenomeno.

Fattori geologici-geotecnici

Poiché ai terreni incoerenti sono associati generalmente coefficienti di permeabilità relativamente elevati, l'applicazione di sovraccarichi gradualmente (per es. dovuti alla costruzione di un fabbricato) non conduce a significativi incrementi di u . In questi casi non si generano gradienti di pressione fra la zona sollecitata e quella indisturbata tali da produrre rapidi flussi idrici fra le due zone. I vuoti dello scheletro solido sono quasi sempre sufficientemente larghi

da non ostacolare questo flusso. Nel caso viceversa di sollecitazioni intense sottoposte ad incrementi rapidi, come si verifica durante un evento sismico, i gradienti di pressione che si generano possono essere tali da produrre elevati flussi idrici dall'interno verso l'esterno.

Se il fenomeno si manifesta in depositi incoerenti a granulometria relativamente fine (per es. sabbie fini), la larghezza limitata dei vuoti dello scheletro tenderà ad ostacolare il flusso idrico, con il conseguente sviluppo di elevate pressioni neutre.

Oltre alla granulometria, altri fattori condizionano la suscettibilità di un deposito sciolto al fenomeno della liquefazione. I principali sono la profondità del livello potenzialmente liquefacibile ed il suo grado di addensamento. Con l'aumentare della profondità del deposito diminuisce la probabilità di liquefazione dello stesso durante l'evento sismico.

È evidente infatti che con l'aumentare della profondità siano richiesti valori di u sempre più elevati per annullare la pressione litostatica crescente. Inoltre con la profondità tende a diminuire anche l'intensità delle sollecitazioni indotte dal sisma. L'influenza della pressione litostatica permette di spiegare il fenomeno della migrazione della liquefazione dai depositi più superficiali a quelli più profondi. I livelli meno profondi sono quelli che per primi subiscono la liquefazione, che è facilitata dalla minore pressione litostatica. Gli strati più profondi, che inizialmente non subiscono il fenomeno, nel momento in cui il deposito superiore va in liquefazione risentono di un calo del peso della colonna di terreno sovrastante, evento che aumenta la probabilità che anch'essi subiscano la liquefazione. Fondamentale è anche il grado di addensamento del terreno, esprimibile attraverso il parametro densità relativa (Dr %). I terreni molto addensati, se sollecitati, subiscono un aumento di volume (fenomeno di dilatanza) con conseguente diminuzione della Dr %, che tende a portarsi verso un valore critico, variante in funzione principalmente della granulometria del deposito. L'aumento di volume ha come conseguenza, nei depositi saturi, un richiamo dell'acqua dall'esterno verso l'interno, con creazione di una u di segno negativo e si ha un aumento del termine $(\sigma_{v0} - u)$.

L'esatto contrario avviene in terreni poco addensati, dove una sollecitazione tende a produrre una diminuzione di volume, con conseguente flusso idrico verso l'esterno e la generazione di una u di segno positivo per cui diminuisce il valore di $(\sigma_{v0} - u)$.

In conclusione si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti che presentano le seguenti caratteristiche:

- sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile dallo 0 al 25%;
- si trovano sotto falda

- sono da poco a mediamente addensati
- si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 metri).

mentre la probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
- Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

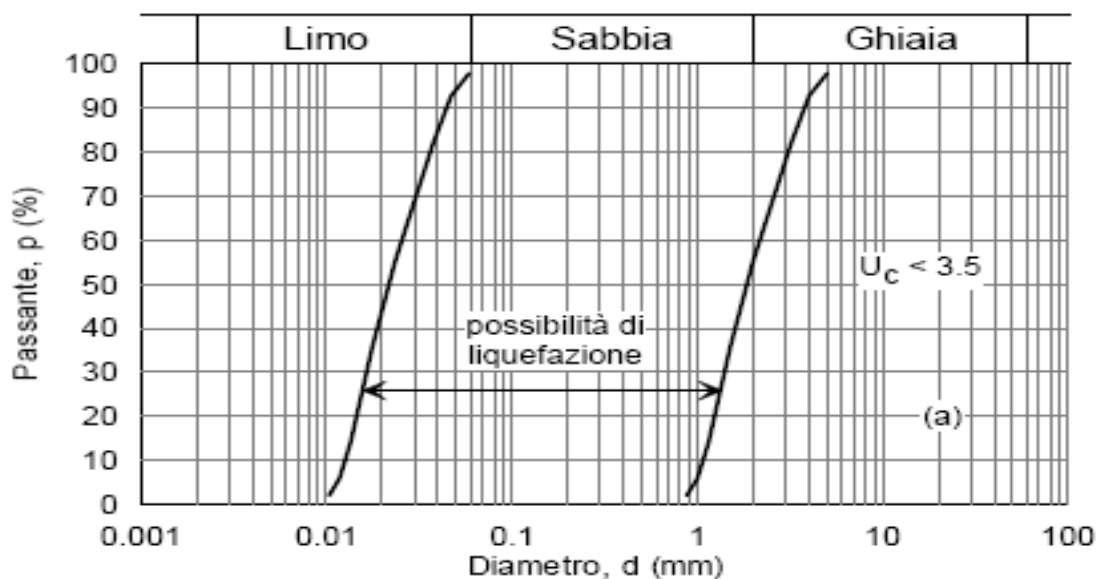
frazione di fine, FC , superiore al 20%, con indice di plasticità $PI > 10$;

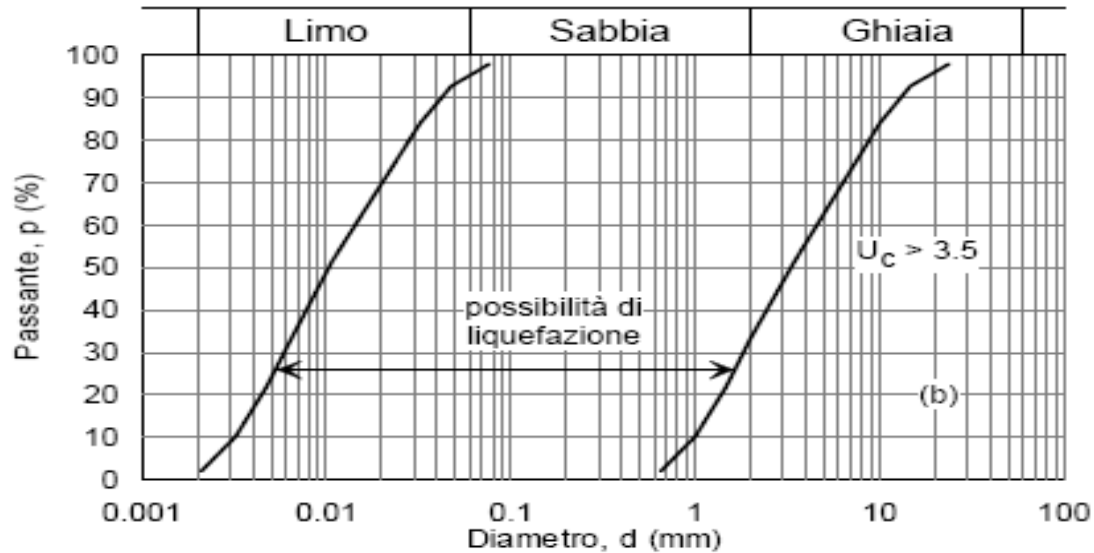
$FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_I)_{60} > 20$;

$FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_I)_{60} > 25$

dove $(N_I)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione: $(N_I)_{60} = N_{SPT} C_N$, in cui il coefficiente C_N si ottiene da $C_N = (p_a / \sigma'_{vo})^{0.5}$ essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{vo} la pressione verticale efficace.

- Profondità media della falda idrica superiore a 15 metri
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure sotto riportate, in cui la prima riguarda il caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e la seconda il caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$





Metodologia utilizzata per valutare il rischio di liquefazione nel sito in esame

Come da prescrizioni riportate nel **DGR 630/2019**, si è utilizzato un metodo semplificato con il quale è richiesto venga valutato il più probabile sisma di progetto attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

Nei metodi semplificati la suscettibilità alla liquefazione del deposito è definita da un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza ciclica (CRR) e la tensione ciclica indotta dal sisma (CSR): $F_L = CRR/CSR$

Con F_L = fattore di sicurezza nei confronti delle liquefazione (con $F_L > 1.25$ non si ha liquefazione). La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto), CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e nel caso in esame è stato ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati della prova statica e con i valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) ottenute dalle prove sismiche realizzate.

Valutazione del rapporto di tensione ciclica (CSR)

Il rapporto di tensione ciclica ad una determinata profondità è stato valutato con la relazione:

$$CSR = \tau_{medio}/\sigma'_{vo} = 0.65(a_{maxs}/g)(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})r_d \text{ (Seed e Idriss – 1971)}$$

dove: r_d = coefficiente riduttivo funzione della profondità

a_{maxs} = accelerazione di picco al suolo

σ_{vo} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.

σ'_{vo} = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.

Il coefficiente r_d si ottiene dalle seguenti relazioni (Liao e Whitmann, 1986)

$$r_d = 1 - 0.00765z \text{ per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 0.774 - 0.008z \text{ per } 9.15 < z \leq 23.00 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \text{ per } z \geq 3 \text{ m}$$

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni relative ad eventi sismici con magnitudo $M = 7.5$ per eventi di magnitudo diversa, come nel caso in esame dove si ha $M_w = 6.14$, è necessario ricondurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 attraverso la relazione: $(CSR)_{M=7.5} = CSR/MSF$ in cui MSF è un fattore di scala per la magnitudo ottenibile con la relazione:

$$MSF = 6.9 \cdot \exp(-M/4) - 0.058 \text{ in cui } MSF \leq 1.8 \text{ (Idriss e Boulanger - 2004)}$$

Valutazione del rapporto di resistenza ciclica (CRR)

Da prove statiche (CPT) - Metodo di Robertson e Wride (1998)

La resistenza penetrometrica q_c della prova CPT è stata ricondotta ad un valore *normalizzato* q_{cIN} attraverso la seguente espressione: $q_{cIN} = C_Q(q_c/p_a)$

dove: p_a = pressione atmosferica (100 kPa)

C_Q = fattore correttivo per tenere conto dell'influenza della pressione efficace ed è risultato per via iterativa dalla seguente espressione: (C_Q non deve superare il valore di 1.7)

$$C_Q = (p_a/\sigma'_{vo})^{exp}, \text{ dove } exp = 1.338 - 0.294(q_{cIN})^{0.264}$$

Dal valore di q_{cIN} si è ottenuta la resistenza alla liquefazione (CRR) mediante la seguente espressione per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004):

$$CRR = \exp[q_{cIN}/540 + (q_{cIN}/67)^2 - (q_{cIN}/80)^3 + (q_{cIN}/114)^4 - 3]$$

Nel caso di sabbie con frazione di fine non trascurabile la resistenza penetrometrica normalizzata q_{cIN} , è ricondotta ad un valore equivalente per sabbie pulite $(q_{cIN})_{cs}$ mediante la relazione di Robertson e Wride (1998): $(q_{cIN})_{cs} = K_c q_{cIN}$,

dove il fattore correttivo K_c è dato da: $K_c = 1.0 \text{ per } I_c \leq 1.64$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.403I_c^4, \text{ per } I_c > 1.64$$

Il parametro I_c è una funzione della resistenza alla punta q_c e della resistenza laterale al manicotto f_s , misurate nelle prove CPT, in particolare si ha:

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5}$$

con: $Q = [q_c - \sigma_{vo}]/P_a [(Pa/\sigma'_{vo})^n]$ (resistenza penetrometrica normalizzata)

e con: $F = [f_s/(q_c - \sigma_{vo})]*100\%$ (resistenza laterale normalizzata)

il valore n varia tra 0.5 per le sabbie pulite e 1.0 per materiali di tipo argilloso.

In particolare Robertson e Wride (1998) suggeriscono di considerare in prima approssimazione $n = 1$ e di calcolare il conseguente indice di materiale I_c . Se il risultante I_c è maggiore di 2.6 il terreno è classificabile come un materiale di tipo argilloso, con poche probabilità di liquefare. Se il valore risultante di I_c è minore di 2.6 il terreno è probabilmente di grana grossa e il valore della resistenza penetrometrica normalizzata Q deve essere ricalcolato assumendo $n = 0.5$. Se poi il nuovo valore di I_c è maggiore di 2.6 il terreno è limoso e plastico e l'analisi va ripetuta con valore pari a $n = 0.75$.

Per ottenere i valori del coefficiente di sicurezza F_L di ciascuno strato presente nelle prove CPT e CPTU realizzate, si è ipotizzata la falda idrica a m-1.00 dal p.c., si è utilizzata una magnitudo $M_w = 6.14$ e una accelerazione massima $a_{max} = 0.263$ g.

Il coefficiente F_L definisce il diverso grado di rischio di liquefazione in questi termini:

$F_L \leq 1.0$ - rischio di liquefazione elevato

$1.0 > F_L \geq 1.25$ - rischio di liquefazione moderato

$F_L > 1.25$ - non vi è rischio di liquefazione

Nel nostro caso nei terreni indagati non vi è presenza di strati incoerenti saturi, pertanto si può affermare che nell'area in esame non esiste il rischio di liquefazione dei terreni di fondazione in caso di sisma.

CONSIDERAZIONI SISMICHE

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018) impongono nuovi e precisi criteri prestazionali di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutate mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di questa analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle categorie di sottosuolo e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*_c).

Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. In questo contesto nazionale la Regione Emilia-Romagna ha elaborato ed approvato (con Delibera Regionale n. 112 del maggio 2007 aggiornata con Delibera della Giunta Regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015 e successivamente con il DGR 630/2019

gli “Atti di indirizzo per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, in coerenza con la L.R. n.20/2000 “Disciplina generale sulla tutela e l’uso del territorio”. Gli Indirizzi, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale. In questo preliminare dell’amplificazione locale, dati che tengono conto delle caratteristiche sismiche riscontrate nel contesto regionale. Il documento, fornisce anche i dati fondamentali per le valutazioni più accurate della risposta sismica: lo spettro di risposta normalizzato (per $T_r = 475$ anni smorzamento del 5%) per l’Emilia-Romagna, i valori di a_{refg} ed i segnali di riferimento anch’essi già scalati per ogni singolo comune.

Considerazioni relative alla sismicità dell’area in esame

Nel territorio del comune di Cesena si può ipotizzare una magnitudo di riferimento $M_w = 6.14$ (da relazione consigliata dal G.N.D.T., $M = \frac{I + 1.93}{1.78}$, con $I = 9$). In particolare per l’area in

esame l’azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dello stato limite preso in considerazione (SLV), è stata definita partendo dalla pericolosità sismica di base del sito (Comparto I° - lat. 44°,17888 N e long. 12°,33470 E; Comparto II° - lat. 44°,17793 N e long. 12°,33407 E) in cui in entrambi i comparti si ha una accelerazione di sito $a_g = 0.185 g$

Determinazione della categoria del suolo di fondazione in base alla velocità equivalente di propagazione (V_{S30}) delle onde di taglio

Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D, E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta. Lo schema per la determinazione della classe del sito è il seguente:

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

Con le prove HVSR realizzate si sono registrati i seguenti di V_{S30} :

HVSR N°1: $V_{S30} = 203 \text{ m/s}$

HVSR N°2: $V_{S30} = 204 \text{ m/s}$

si ha quindi in entrambi i casi una categoria sismica del suolo **C**.

Si sono inoltre rilevate le seguenti frequenze naturali di picco del suolo:

HVSR N°1: $0.28 \pm 0.04 \text{ Hz}$

HVSR N°2: $0.22 \pm 0.03 \text{ Hz}$

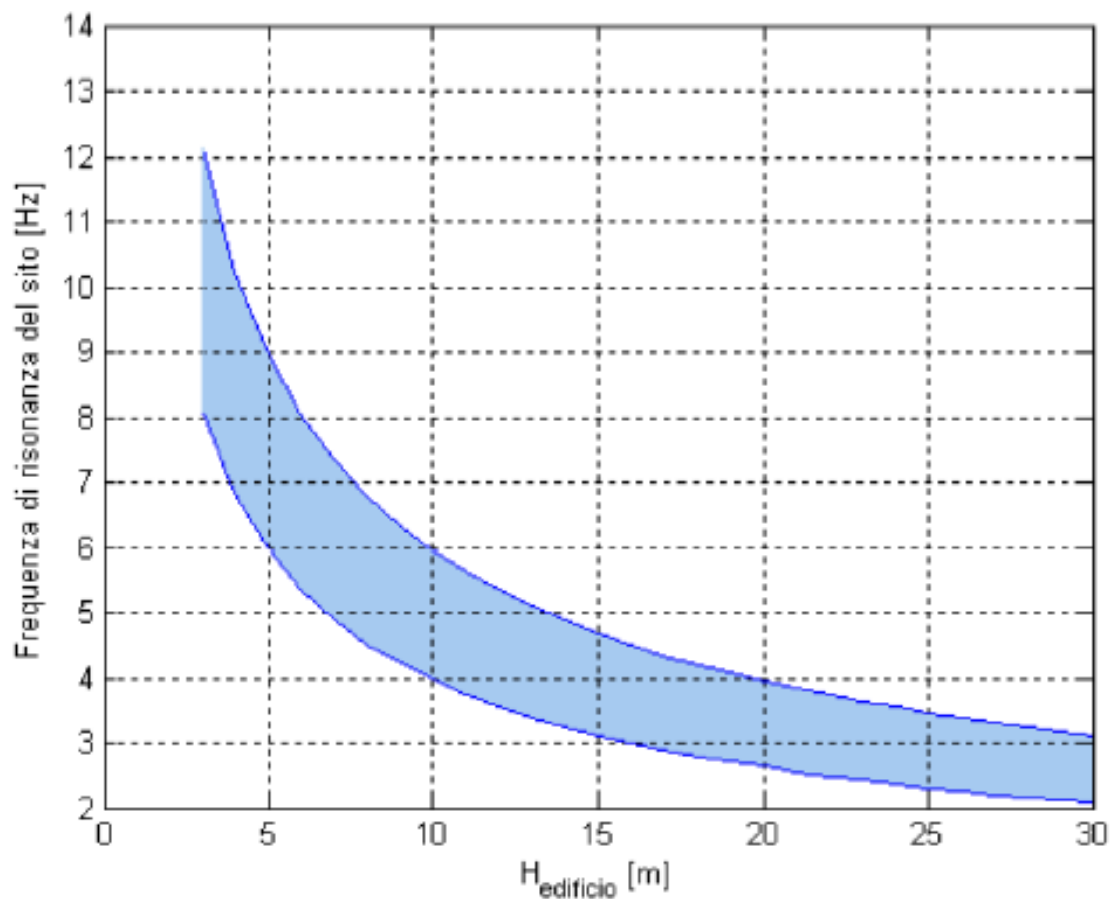


Figura 17: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

ALLEGATI

Dati prove sismiche a stazione fissa realizzate (HVSR n°1 e n°2)

PROVA HVSR N°1

Committenti: LIGHT S.n.c., Brighi Tommaso e altri

Lavoro: Area oggetto di espansione urbana (P.P. 35)

Località: Capannaguzzo di Cesenatico, via Boscabella

Strumento: TRZ-0112/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 07/05/21 09:42:40 Fine registrazione: 07/05/21 09:54:40

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h12'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

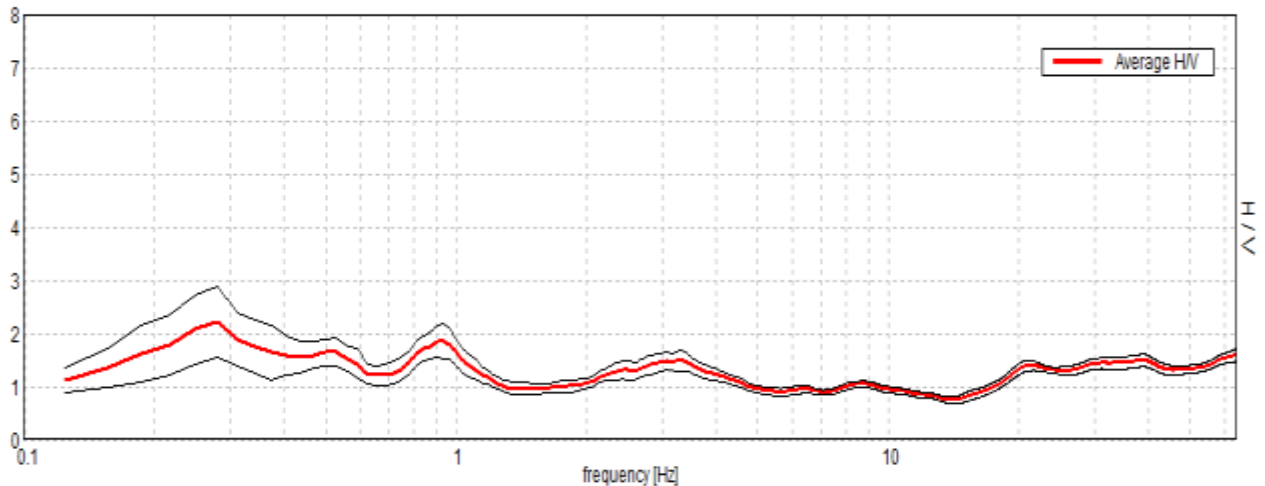
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di liscio: Triangular window

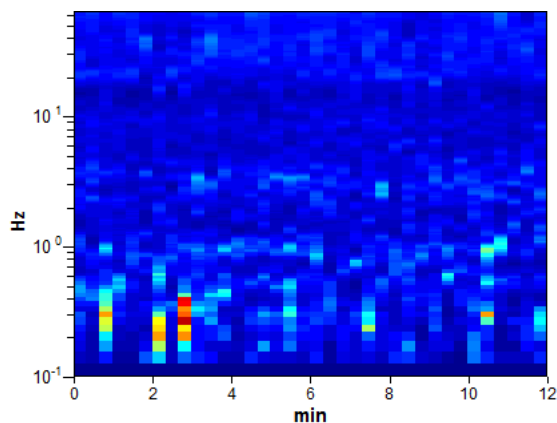
Liscio: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

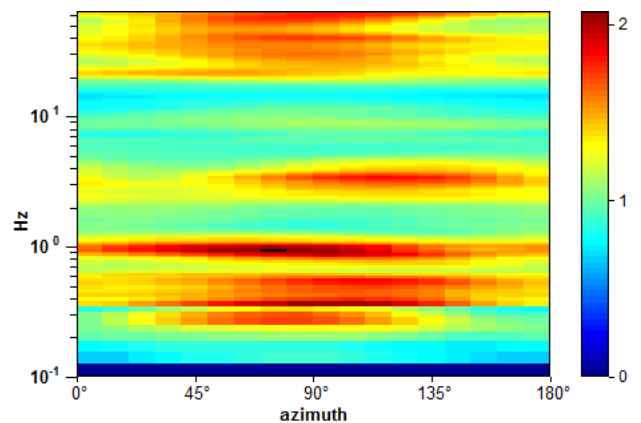
Max. H/V at 0.28 ± 0.04 Hz. (in the range 0.0 - 1.0 Hz).



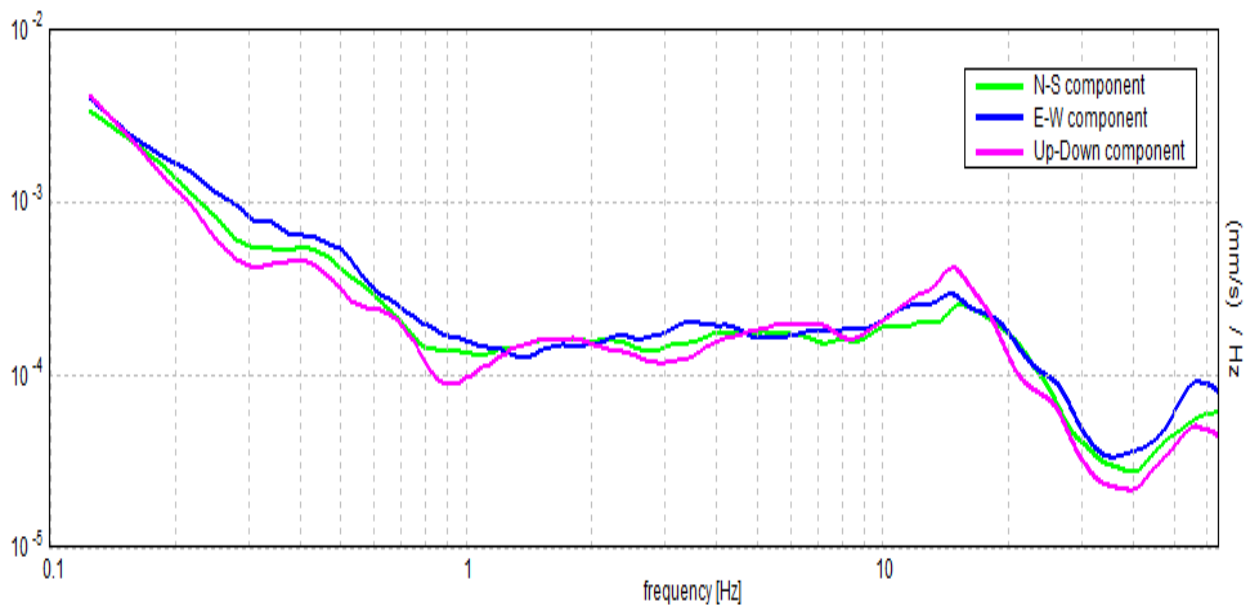
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

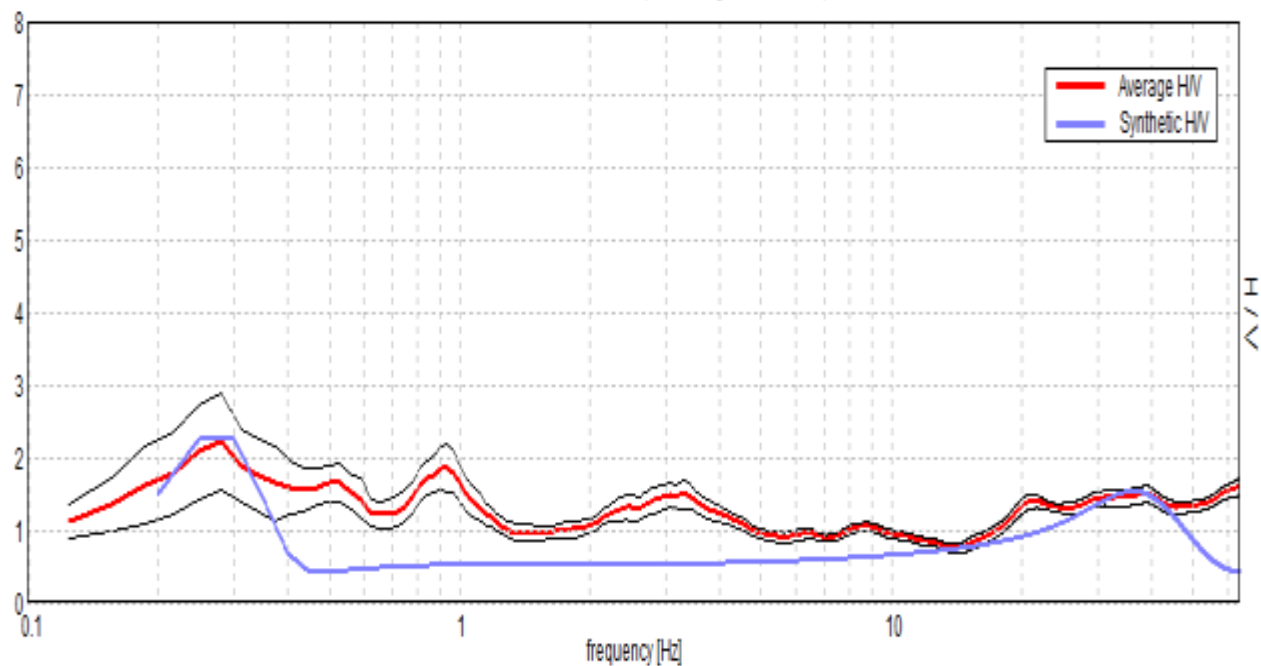


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



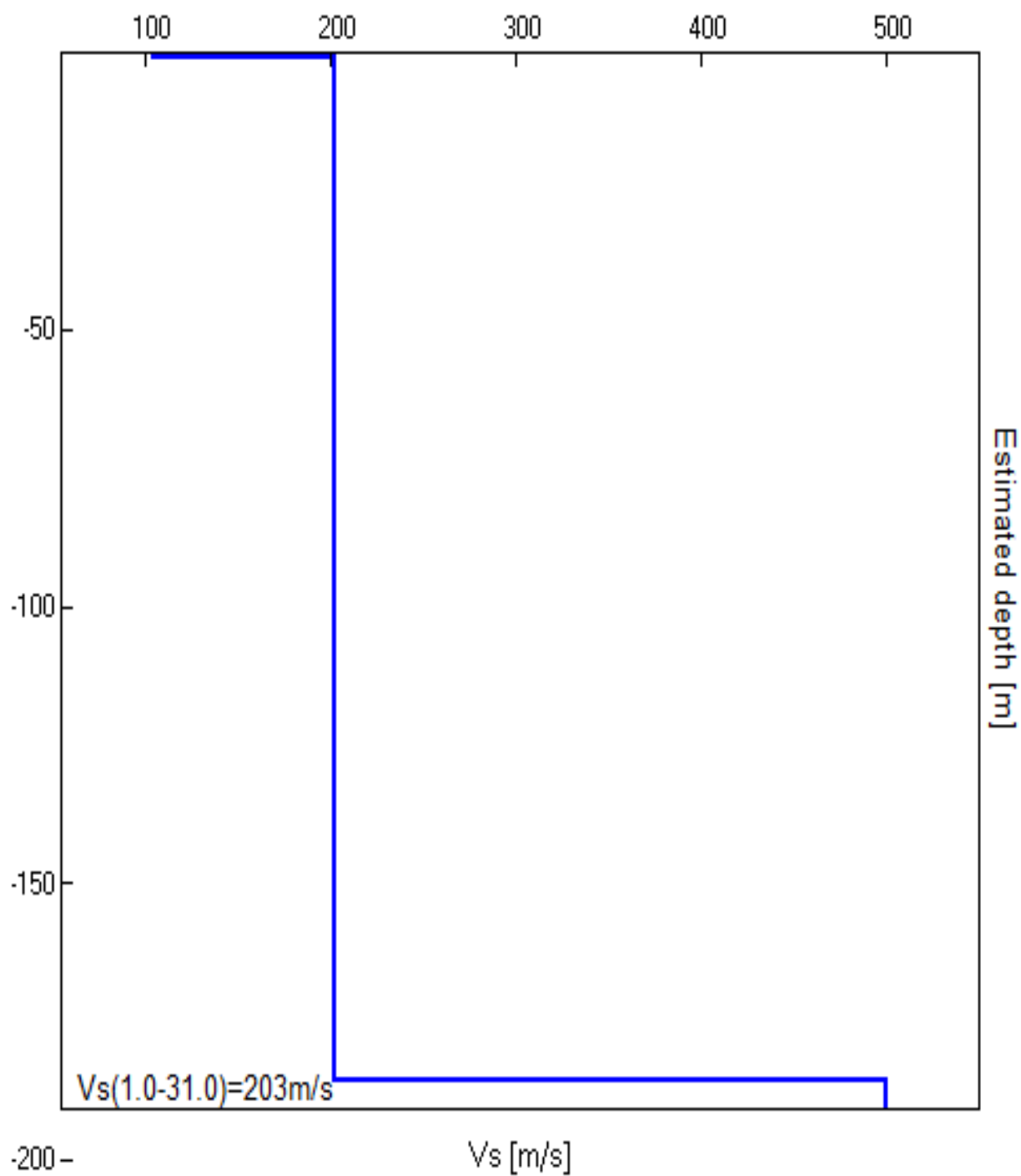
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 0.28 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 1.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.68	0.68	105	0.35
185.68	185.00	203	0.30
inf.	inf.	500	0.25

$V_s(1.0-31.0)=203\text{m/s}$



Secondo le linee guida SESAME, 2005

Picco H/V a 0.28 ± 0.04 Hz (nell'intervallo 0.0 - 1.0 Hz)

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.28 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$202.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 14	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.125 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.23 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03225 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03719 < 0.05625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6661 < 2.5$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Prova HVSr N°2

Committenti: LIGHT S.n.c., Brighi Tommaso e altri

Lavoro: Area oggetto di espansione urbana (P.P. 35)

Località: Capannaguzzo di Cesenatico

Strumento: TRZ-0112/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 07/05/21 10:00:21 Fine registrazione: 07/05/21 10:20:22

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h12'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

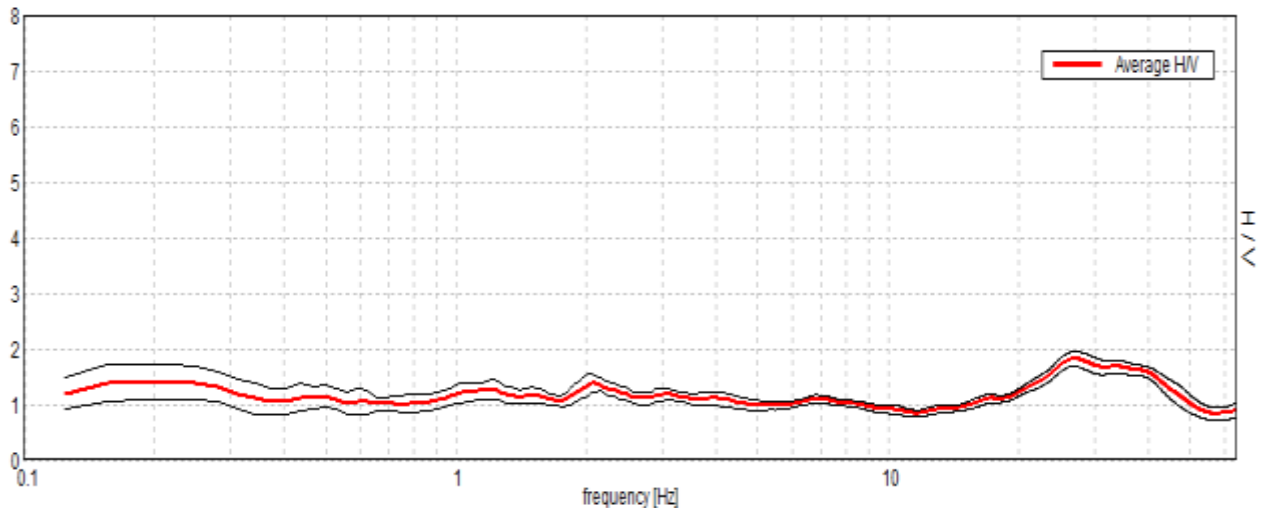
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

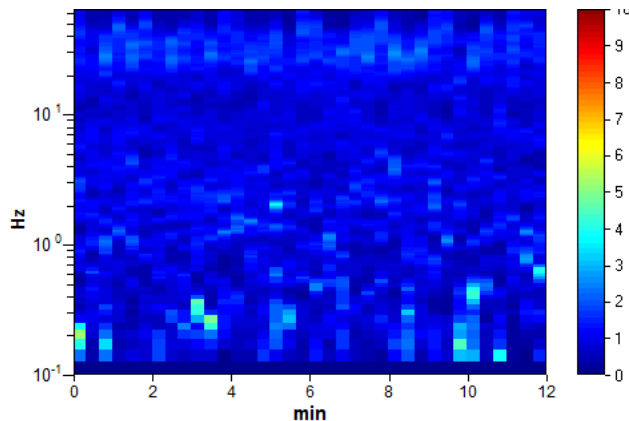
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

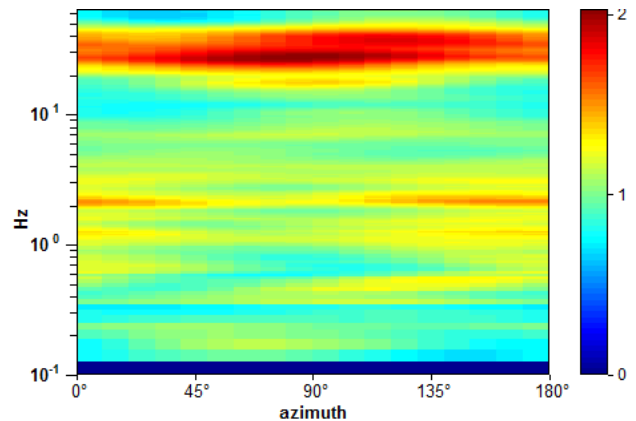
Max. H/V at 0.22 ± 0.03 Hz. (in the range 0.0 - 1.0 Hz).



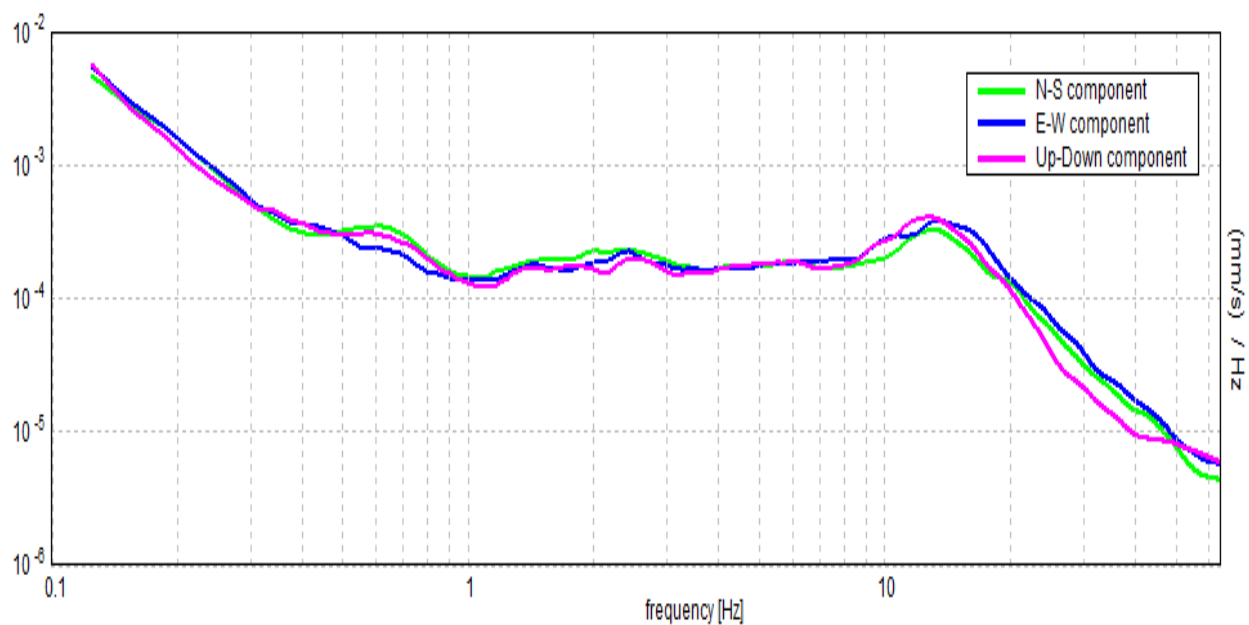
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

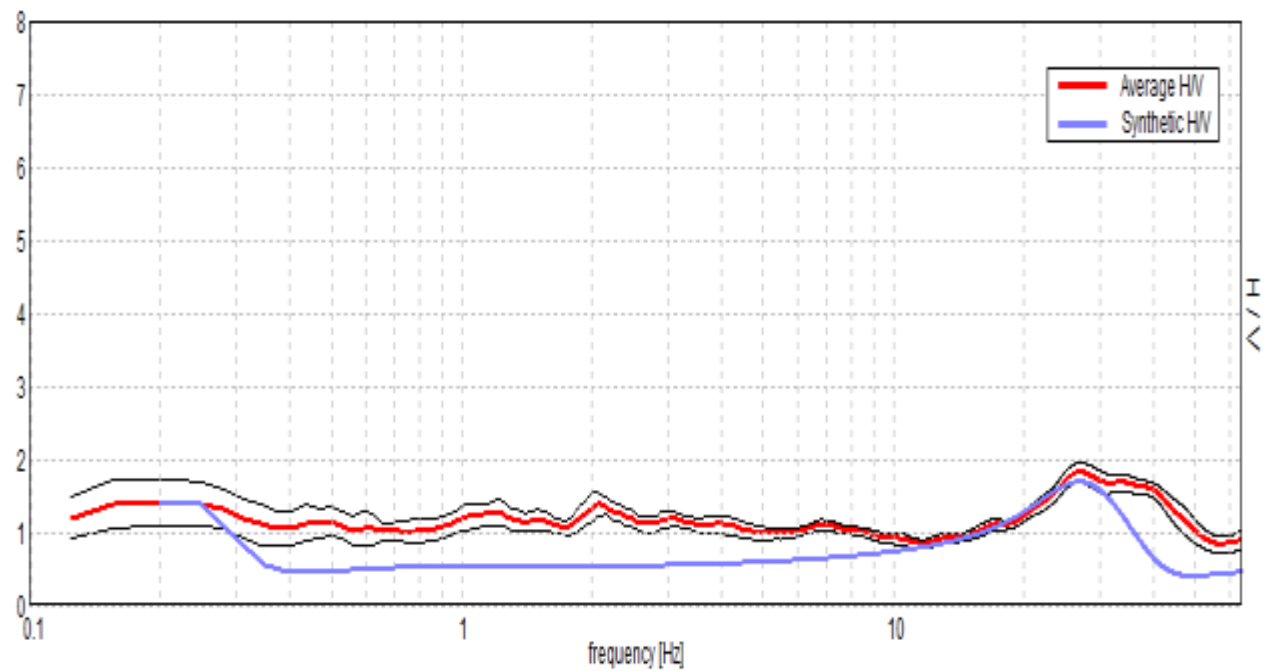


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



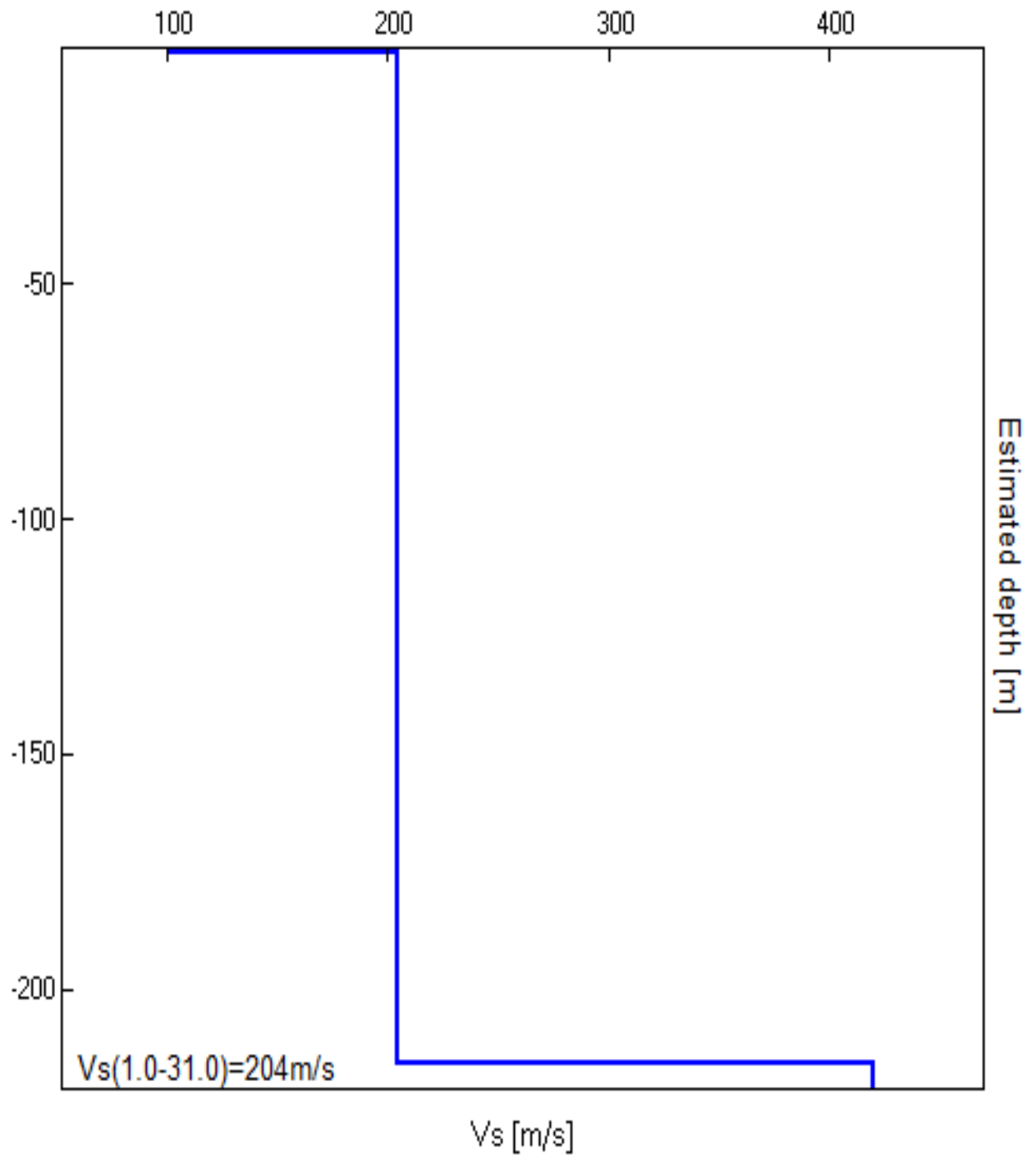
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 0.22 ± 0.03 Hz. (in the range 0.0 - 1.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.90	0.90	102	0.35
215.90	215.00	204	0.30
inf.	inf.	420	0.25

Vs(1.0-31.0)=204m/s



Secondo le linee guida SESAME, 2005

Picco H/V a 0.22 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 1.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.22 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$257.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 12	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.40 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04141 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02656 < 0.04375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3093 < 2.5$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Stima della pericolosità sismica del sito in esame. In entrambe le prove HVSR si è ottenuto:

E' previsto uno spettro di risposta elastico dell'accelerazione, per la componente orizzontale del moto, caratterizzato dal seguente andamento:

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta F_0} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right] \text{ per } 0 \leq T < T_b; \quad a(g) = a_g S \eta F_0 \text{ per } T_b \leq T < T_c$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c}{T} \right) \text{ per } T_c \leq T < T_d; \quad a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c T_d}{T^2} \right) \text{ per } T_d \leq T.$$

La grandezza a_g esprime l'accelerazione di picco nel bedrock in g, ottenute dalla apposite tabelle regionali. Il parametro η è il fattore di correzione per lo smorzamento viscoso:

$$\eta = \left[\frac{10}{5 + \xi} \right]^{0.5} \geq 0.55. \quad S \text{ è una grandezza data dal prodotto: } S = S_s \cdot S_t$$

dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_t il coefficiente di amplificazione topografico, ricavabili dalle tabelle riportate nella pagina successiva:

Categoria sottosuolo		S_s	
A		1,00	
B		$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 a_g \leq 1,20$	
C		$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 a_g \leq 1,50$ (caso in esame)	
D		$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 a_g \leq 1,80$	
E		$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 a_g \leq 1,60$	
Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.	-	1,00 (caso in esame)
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.	Sommità del pendio	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,40

F_0 è l'amplificazione spettrale massima, su bedrock orizzontale e si ricava, come a_g , dalla tabella allegata al D.M.17 gennaio 2018. F_0 nel nostro è pari a **2.527**

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_c = C_c T_c^*$, in cui T_c^* è un parametro sempre fornito nell'allegato B del D.M. e per il sito in esame vale **0.293 s**, mentre C_c si ottiene in base alla categoria del sottosuolo:

Categoria sottosuolo	C_c
A	1,00
B	$1,10(T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,05(T_c^*)^{-0,33}$ (valore utilizzato)
D	$1,25(T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,15(T_c^*)^{-0,40}$

Per cui risulta un valore **$T_c = 0,461$ s**. I parametri T_b e T_d sono correlati a T_c attraverso le seguenti relazioni: $T_b = \frac{T_c}{3}$; $T_d = 4,0a_g + 1,6$. Dallo spettro di risposta elastico dell'accelerazione si ricava lo spettro di risposta dello spostamento, applicando, per ogni periodo T , la relazione:

$$u = a(g)g\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \text{ dove } g \text{ è l'accelerazione di gravità (981 cm/s}^2\text{)}.$$

Lo spettro di risposta elastico verticale si ottiene con le stesse relazioni viste per quello orizzontale, sostituendo il parametro F_0 con la grandezza F_v , data da: $F_v = 1,35F_0a_g^{0,5}$.

I parametri a_g , F_0 e T_c^* sono ricavati dall'allegato B del D.M. in funzione del tempo di ritorno (Tr) preso in considerazione.

Il parametro Tr viene ricavato dalla seguente relazione:

$$Tr(anni) = -\frac{V_r}{\ln(1 - P_{V_r})}; \text{ in cui } V_r \text{ è la vita di riferimento dell'opera e } P_{V_r} \text{ la probabilità di}$$

superamento legata allo stato limite di calcolo. La vita di riferimento (V_r) dell'opera si ottiene con la formula: $V_r(anni) = C_u V_n$, dove V_n è la vita nominale dell'opera (Tabella I) e C_u un fattore funzione della classe d'uso della struttura (Tabella III).

Tabella I

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	$\square=10$
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella II

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.

Tabella III

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

Il parametro P_{Vr} è invece funzione dello stato limite considerato, secondo la tabella:

Stati Limite	P_{Vr}
Stato Limite di Operatività (SLO):	0,81
Stato Limite di Danno (SLD):	0,63
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):	0,10
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):	0,05

Accelerazione massima (a_{max}) di sito

L'accelerazione massima è data da: $a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$ dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica che nel nostro caso vale 1.420

S_T = coefficiente di amplificazione topografica che nel nostro caso vale 1.00 come da tabelle precedentemente riportate, per cui avendo $a_g = 0.185$, per (SLV) risulta una accelerazione massima di sito $a_{max} = 0.263$ g e cioè pari a 2.58 m/s²

MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA IN ESAME

Per definire la pericolosità sismica del sito in esame si è effettuata un'analisi di microzonazione sismica di secondo livello, sulla base di quanto indicato nel DGR 630/2019:

*nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazioni orizzontali e sub orizzontali e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività $\leq 15^\circ$, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità, nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (**secondo livello di approfondimento**), cioè l'analisi della pericolosità sismica locale può essere basata oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso tabelle e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio.*

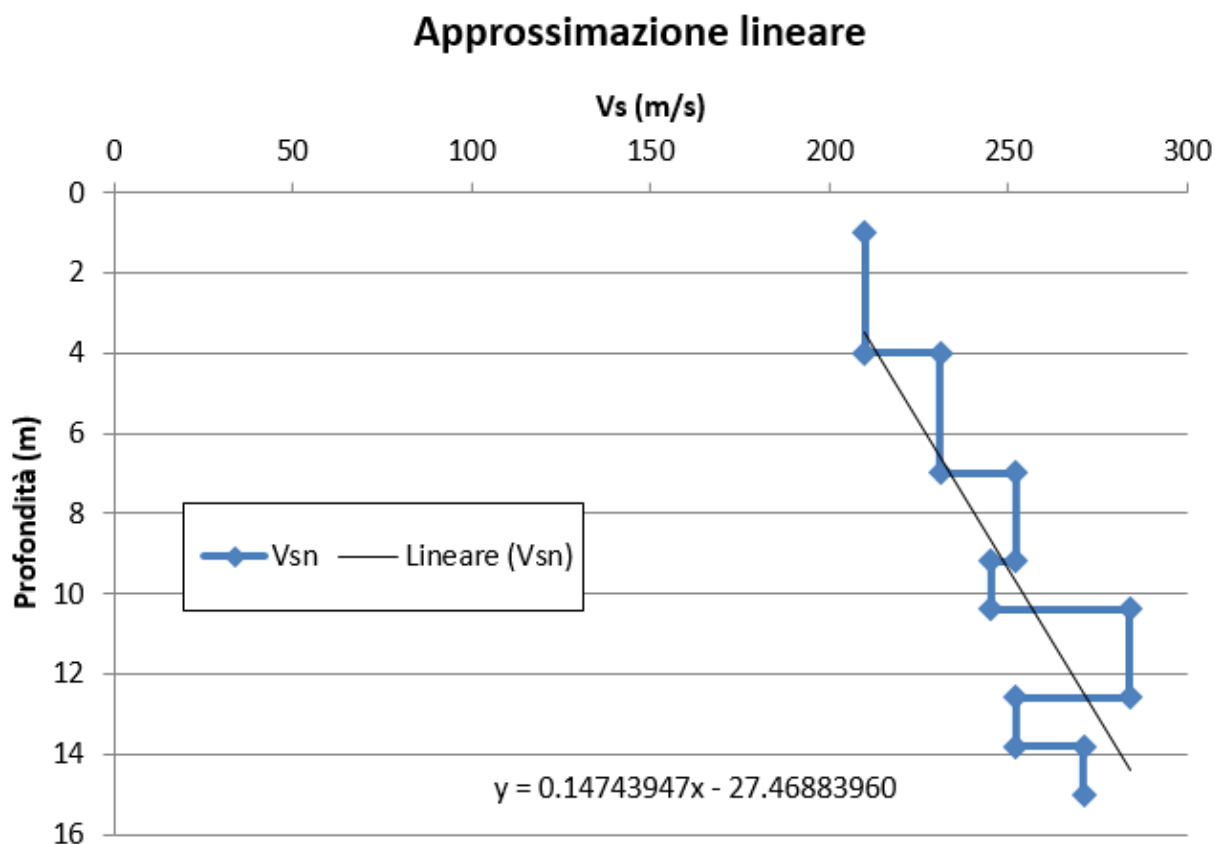
Definizione della profondità del bedrock sismico

Per definire la profondità del bedrock sismico si è estrapolato il profilo V_{S30} (velocità negli strati) rilevato nella CPT n°9,

Velocità onde di taglio (Penetrometria CPT n°9)

	Prof. Strato (m)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	0.60	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	170.02
Strato 2	1.00	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	193.12
Strato 3	4.00	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	210.36
Strato 4	7.00	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	231.75
Strato 5	9.20	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	251.65
Strato 6	10.40	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	245.35
Strato 7	12.60	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	284.03
Strato 8	13.80	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	252.23
Strato 9	15.00	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	271.22

Si è utilizzata una retta di regressione (approssimazione lineare) da cui si è ottenuta una profondità del bedrock pari a **m-90** dal p.c. attuale (vedere grafico nella pagina successiva)



Relazione lineare	
m	0.1474
q	-27.4688
Z $V_s = 800 \text{ m/s}$	90

Definizione dei fattori di amplificazione sismica per l'area in esame

I valori di V_{s30} e la profondità del bedrock hanno permesso di valutare i fattori di amplificazione sismica F.A. rispetto ad un suolo di riferimento, che è dato dal rapporto di accelerazione massima orizzontale PGA/PGA_o . Tali valori sono utilizzati per definire i fattori di amplificazione sismica mediante l'uso delle tabelle riportate nel DGR 630/2019.

Nel nostro caso, considerando il contesto di riferimento denominato (PIANURA 2), ossia settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e substrato profondo più di 100 metri, per il valore di V_{S30} (217 m/s) ottenuto si ha:

F.A. P.G.A. (1.7)

F.A. SA1 Intensità spettrale ; $0.1s < T_0 < 0.5s$ (1.8)

F.A. SA2 Intensità spettrale ; $0.4s < T_0 < 0.8s$ (2.7)

F.A. SA3 Intensità spettrale ; $0.7s < T_0 < 1.1s$ (3.2)

F.A. SA4 Intensità spettrale ; $0.5s < T_0 < 1.5s$ (3.1)

F.A. SI1 Intensità spettrale ; $0.1s < T_0 < 0.5s$ (2.0)

F.A. SI2 Intensità spettrale ; $0.5s < T_0 < 1.0s$ (3.0)

F.A. SI3 Intensità spettrale ; $0.5s < T_0 < 1.5s$ (3.3)

PORTANZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

A titolo indicativo e basandosi sui dati penetrometrici, si è calcolata la portanza dei terreni di fondazione relativamente alla penetrometria CPT n°6 (comparto a nord di via Boscabella) e alla penetrometria n°11 (comparto a sud di via Boscabella), penetrometrie che presentano le caratteristiche meccaniche meno favorevoli. Come fondazione si sono ipotizzate platee costituite da piastre rigide con lati di base da m 2.50 x m 2.50 e con piano di posa a m-1.00 dall'attuale piano di campagna, per superare lo strato superficiale di terreno maggiormente soggetto alle variazioni stagionali di umidità e di volume e all'azione del gelo e del disgelo. Si è proceduto in base a quanto disposto dal testo unico DM 17/01/2018 e cioè sulla base della verifica agli stati limite ultimi.

Verifica agli stati limite ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione $E_d < R_d$, dove E_d è il valore di progetto dell'azione e R_d è il valore di progetto della resistenza. La verifica di questa condizione deve essere fatta impiegando combinazioni di gruppi di coefficienti parziali rispettivamente definiti per le azioni (A_1 e A_2), per i parametri geotecnici (M_1 e M_2) e per le resistenze (R_1 , R_2 e R_3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono stati scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel nostro caso per quanto prescritto nel D.M. 17.01.2018 per fondazioni superficiali si è utilizzata la combinazione ($A_1 + M_1 + R_3$) :

Coefficiente parziale per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza utilizzata	Coefficiente parziale	M ₁
Tangente all'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0

Coefficienti parziali per capacità portante

Verifica	Coefficiente parziale	R ₃
Capacità portante	γ_R	2.3

Metodo utilizzabile per valutare il carico di progetto q_d

Per quanto riguarda la valutazione del carico di progetto (q_d) per i terreni considerati (CPT N°6 e CPT N°11) si è operato, nel rispetto delle attuali normative, con un approccio di tipo semiprobabilistico adottando il concetto di stato limite ultimo (SLU) utilizzando la formula di Brinch-Hansen per terreni coesivi (la zona del cuneo di influenza delle fondazioni si trova completamente in terreni argillosi) : $q_d = [c_{ud}N_c(1+s_c'+d_c') + qN_q]/\gamma_R$ valida per carichi verticali centrati.

Parametri utilizzati

q_d = carico di progetto

$\gamma_R = 2.3$ (coefficiente parziale per capacità portante)

c_{ud} = coesione non drenata di progetto

N_c = coefficiente di coesione che per φ uguale a zero gradi vale 5.14

N_q = coefficiente di portata che per φ uguale a zero gradi vale 1.00

q = γD - pressione litostatica totale che al livello piano di posa delle fondazione, con falda idrica massima ipotizzata a m-1.00, è pari a circa 0.18 kg/cm² (D = incastro)

s_c' = **0.2(B/L)** - fattore di forma della fondazione (B ed L, lati di base) che vale 0.2

d_c' = **0.4k** con $k = \tan^{-1}(D/B)$ - fattore di profondità che vale 0.05

Per valutare la coesione non drenata di progetto (c_{ud}) si è dapprima calcolato il suo valore caratteristico (c_{uk}) al quale è associata una probabilità di non superamento del 5%:

$c_{uk} = c_{um}(1+\chi V_{cu})$, dove:

c_{um} = valore medio della coesione non drenata per lo strato H influenzato dalle tensioni generate dalle fondazioni, con spessore dello strato $0.5 \cdot B \cdot \tan(45^\circ + \varphi/2)$ nel nostro caso **H ≈ m 1.60**.

χ = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità di non superamento che nel nostro caso vale $\chi = -1.645$

V_{cu} = coefficiente di variazione di c_u, definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio (deviazione standard) e la media dei valori di coesione non drenata.

Nella Prova CPT n°6 si ha una coesione non drenata media $c_{um} = 0.90 \text{ kg/cm}^2$ da cui si ottiene una coesione caratteristica $c_{uk} = 0.73 \text{ kg/cm}^2$ e una coesione di progetto di pari valore, da cui risulta un carico di progetto $q_d = 2.12 \text{ kg/cm}^2$.

Nella Prova CPT n°6 si ha una coesione non drenata media $c_{um} = 0.90 \text{ kg/cm}^2$ da cui si ottiene una coesione caratteristica $c_{uk} = 0.67 \text{ kg/cm}^2$ e una coesione di progetto di pari valore, da cui risulta un carico di progetto $q_d = 1.95 \text{ kg/cm}^2$.

Pertanto a favore di sicurezza, in entrambi i casi, si consiglia di utilizzare un carico di esercizio di valore non superiore a **1.00 kg/cm²**

Modulo di reazione Kw (Winkler)

Per una corretta valutazione del modulo di reazione dei terreni Kw (kg/cm³) si consiglia di utilizzare la relazione semplificata di Vesic : $Kw = Et/B \cdot (1 - \mu^2)$, dove

B = larghezza fondazioni - μ = coefficiente di Poisson del terreno, assunto pari a 1/3

Et = modulo di elasticità del terreno (valore medio drenato e ponderato) valutato nell'ambito della profondità 2B (m5.00) sotto le fondazioni e ricavato dai valori del modulo edometrico Mo, in base alla relazione $Et = 2Mo/3$. Nel nostro caso con piano di posa a m-1.00 si ha:

nella CPT n°6, il valore minimo delle medie di Mo per uno strato di spessore pari a m 5.00 vale **102 kg/cm²**, da cui risulta un valore di **Et = 68 kg/cm²**.

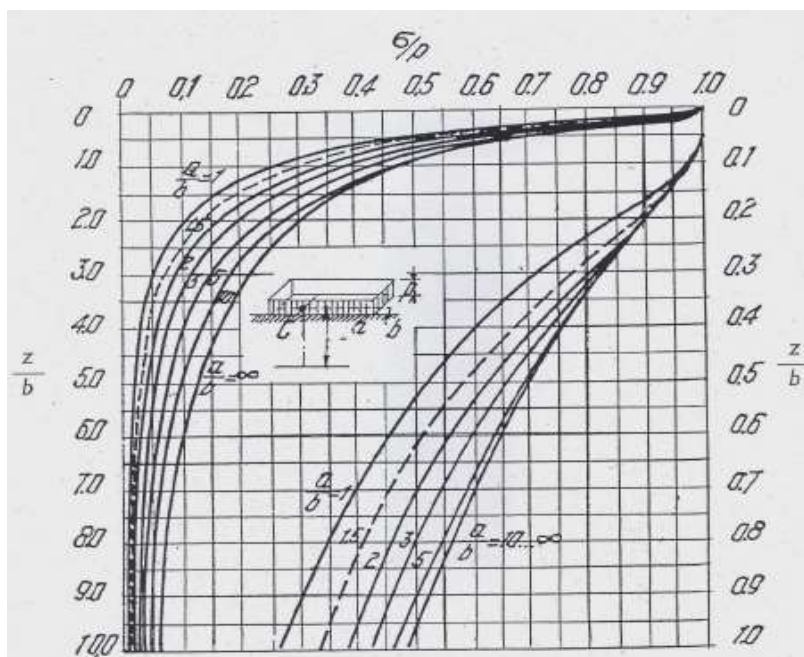
nella CPT n°11, il valore minimo delle medie di Mo per uno strato di spessore pari a m 5.00 vale **90 kg/cm²**, da cui risulta un valore di **Et = 60 kg/cm²**.

CEDIMENTI DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Con il piano di posa fondazioni indicato a **m-1.00** dal p.c. e per il carico di esercizio consigliato pari a **1.00 kg/cm²** e quindi per carichi effettivi sul piano di posa, al netto del carico esercitato dal terreno asportato (**0.18 kg/cm²**), pari a **0.82 kg/cm²**, a titolo di esempio si sono valutati i possibili cedimenti dei terreni di fondazione relativamente ai due punti sondati con la CPT n°6 e con la CPT n°11.

Il calcolo dei cedimenti è stato fatto in base ai seguenti assunti :

- Consolidazione monodimensionale (schema edometrico)
- Tensioni verticali nel sottosuolo secondo la teoria della elasticità, per il calcolo si è usato il diagramma di Jelinek (da "Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni" C. Cestelli Guidi) riportato nella pagina successiva.



- Valutazione dei cedimenti nell'ambito della profondità H_c del banco comprimibile, il cui spessore equivale allo strato di terreno alla base del quale la sovrappressione residua risulta inferiore a 15% del carico litostatico.

- Modulo edometrico $M_o = \alpha R_p$ con α valutato in base alla litologia.

Il calcolo dei cedimenti è stato condotto per strati successivi omogenei valutando per ciascuno strato la tensione verticale σ_v (al centro della superficie di carico) e il valore del modulo edometrico M_o (ottenuto dalla elaborazione dei dati penetrometrici), in base alla espressione: cedimento $S = n \sum (h \cdot \sigma_v / M_o)$

Cedimenti (S) per piastra rigida da m 2.50 x m 2.50 con carico netto di 0.82 kg/cm²

Penetrometria n°6

Profondità strato	Spessore strato (m)	Tensione (σ_v) (kg/cm ²)	Modulo edometrico. (kg/cm ²)	Cedimento strato (cm)
Da m-1.00 a m-1.20	0.20	0.82	92	0.18
Da m-1.20 a m-1.60	0.40	0.74	96	0.31
Da m-1.60 a m-1.80	0.20	0.61	72	0.17
Da m-1.80 a m-2.80	1.00	0.41	90	0.46
Da m-2.80 a m-3.20	0.40	0.29	78	0.15
Da m-3.20 a m-4.20	1.00	0.21	96	0.22
Da m-4.20 a m-5.00	0.80	0.14	108	0.10

Cedimento S = cm 1.59

Penetrometria n°11

Profondità strato	Spessore strato (m)	Tensione (σ_v) (kg/cm ²)	Modulo edometrico. (kg/cm ²)	Cedimento strato (cm)
Da m-1.00 a m-1.20	0.20	0.82	102	0.16
Da m-1.20 a m-2.00	0.80	0.67	78	0.69
Da m-2.00 a m-2.60	0.60	0.41	95	0.26
Da m-2.60 a m-3.00	0.40	0.31	83	0.15
Da m-3.00 a m-3.20	0.20	0.27	100	0.05
Da m-3.20 a m-3.80	0.60	0.21	71	0.18
Da m-3.80 a m-4.20	0.40	0.18	94	0.08
Da m-4.20 a m-4.40	0.20	0.16	65	0.05
Da m-4.40 a m-5.00	0.60	0.14	82	0.10

Cedimento S = cm 1.72

I massimi valori di cedimento consigliabili, secondo Skempton e McDonald sono :

Assoluti (S): per piastra rigida : S_{max} - cm 3.5-6.0 (in sabbie) – cm 3.5-10.0 (in argille)

CONCLUSIONI

La realizzazione di quanto previsto in progetto non comporta variazioni significative dell'ambiente fisico circostante, i terreni presentano caratteristiche meccaniche idonee alla realizzazione di fondazioni superficiali, si esprime pertanto parere geologico favorevole alla realizzazione di quanto richiesto. In base alla Circ. Reg. 1288 dell'11/02/83, si rinvia alla fase di progetto esecutivo il definitivo approfondimento necessario per le opere di fondazione.

Cesena novembre 2021

Magnani dott. Andrea