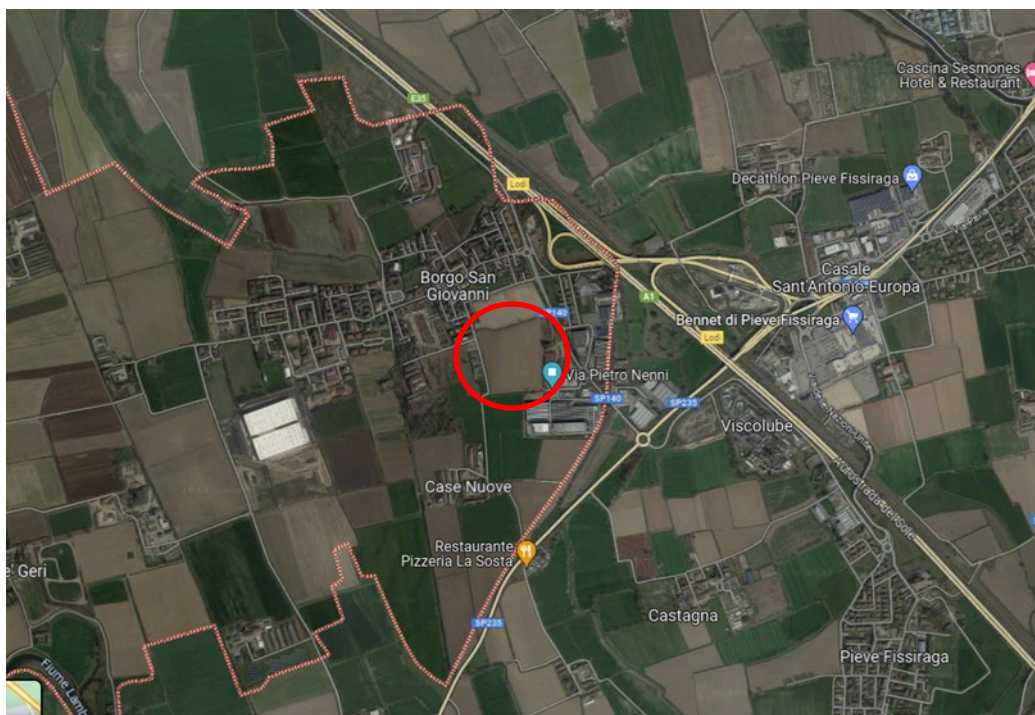




VIALE BIANCA MARIA 41,

20122, Milano, MI



Intervento edificatorio produttivo ATP4

Via P. Nenni – Borgo S. Giovanni (LO)

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

(R1) AI SENSI DELLA DGR 2616/2011 – (R3) AI SENSI DELL'NTC 2018

E

RELAZIONE GEOTECNICA

(R2) (AI SENSI DELLE NTC 2018)

MARZO 2024



Studio Tecnico Ambientale
Dott. M. Marchese





COMUNE: Borgo S. Giovanni (LO)

LOCALITA': VIA P. NENNI

PROVINCIA: LODI

COMMITTENTE: CROSSLOG SRL

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA (R1) ai sensi della DGR 2616/2011 – (R3) ai sensi dell'NTC 2018 e RELAZIONE GEOTECNICA (R2) (Ai sensi delle NTC 2018) PER NUOVO INTERVENTO EDILIZIO AMBITO ATP04

DATA: Marzo 2024

Tecnici:

Dott. M. Marchese

Dott. M. Belloli



Sommario

1. RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA (R1) (R3)	3
1.1. PREMESSA	3
1.2. Inquadramento Generale.....	3
1.3. Inquadramento geologico e geomorfologico.....	4
1.4. Inquadramento idrogeologico e idrografico	6
1.5. Confronto con altra cartografia dello studio geologico comunale	8
1.6. Confronto con altra cartografia del piano territoriale di coordinamento provinciale.....	13
1.7. Confronto e verifica di coerenza con la cartografia del pgra	13
1.8. Analisi sismica di II livello	14
1.9. Sismicità dell'area	14
1.9.1. Normativa.....	14
1.9.2. Spettri di risposta elastici	15
1.10. Modello geologico di sito.....	20
1.11. Verifica di liquefacibilità	21
1.12. Considerazioni conclusive.....	27
2. RELAZIONE GEOTECNICA (R2)	28
2.1 Modello geotecnico.....	28
2.2 ORIZZONTI LITOTECNICI	34

Fanno parte del presente rapporto

Tavole -	Planimetrie con ubicazione indagini (Celotti set '22 – Geo3 Ago '21 – Uggetti dic '13)
Allegato 1 -	Diagrammi penetrometrici (Celotti set '22 – Geo3 Ago '21 – Uggetti dic '13)
Allegato 2 -	Stratigrafie (Celotti set '22 – Geo3 Ago '21)
Allegato 3 -	Prospezioni geofisiche (Celotti set '22)



1. RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA (R1) (R3)

1.1. PREMESSA

Il presente elaborato deriva dall'elaborazione di dati rilevati da campagne precedenti; nello specifico, sui terreni dell'area oggetto di intervento risultano in tempi diversi eseguite tre indagini geognostiche come di seguito descritte:

- GEOLAMBDA ENGINEERING SRL: 2 saggi con escavatore a profondità di 2,6 m e prova di permeabilità, 3 prove statiche CPT;(nel dicembre 2013);
- GEO3 s.a.s. : 15 prove statiche CPT ed una prospezione geofisica con metodo HVSR per determinare velocità delle onde Vseq e categoria del sottosuolo che è risultata essere C;
- Studio tecnico geom. Ugo Celotti srl : 3 sondaggi geognostici con prove SPT in foro,n°6 prove penetrometriche dinamiche continue con penetrometro superpesante SCPT ed una prospezione geofisica con metodo MASW per determinare velocità delle onde Vseq e categoria del sottosuolo che è risultata essere C.

Si allegano alla presente i grafici penetrometrici (All. 1), le stratigrafie dei sondaggi (All. 2) e le risultanze delle prospezioni geofisiche (All. 3) come da interpretazione da parte di GEO3 e dello studio tecnico geom. Celotti.

1.2. Inquadramento Generale

L'area in esame si colloca nel comune di Borgo San Giovanni (LO), in via P. Nenni, ad una quota di circa 77 m s.l.m. Essa è situata nella porzione SE del territorio comunale, in una zona industriale questa al confine con il comune di Pieve Fissiraga individuata catastalmente dal Foglio 9 particelle 13 e 87;

Dal punto di vista amministrativo confina a nord con il comune di Lodivecchio, ad ovest, separati dal corso del F. Lambro, con Salerano e Castiraga Vidardo, a sud con Sant'Angelo Lodigiano, ed ad est con Pieve Fissiraga.

La S.S. n. 235 Lodi-Sant'Angelo lambisce il limite meridionale del territorio comunale, collegandolo al vicino casello dell'autostrada A1, ed alla Strada Provinciale n. 140, che unisce gli abitati di Lodi Vecchio e Borgo San Giovanni,

L'intervento edilizio previsto consiste nella realizzazione di un edificio industriale per uso logistico con estensione areale 29.000 mq ubicato esclusivamente sul mappale 13.

Un estratto del progetto relativo alle opere previste è riportato qui a seguire.



Figura 1: estratto progetto ATP04 - in azzurro l'edificio di logistica - giallo i piazzali

1.3. Inquadramento geologico e geomorfologico

Il territorio comunale di Borgo San Giovanni si colloca nella Media Pianura Padana a Nord del Fiume Po, in sponda sinistra al Fiume Lambro Meridionale e a quote comprese tra 68 e 85 m s.l.m.

L'area è cartografata nella sezione B7E2 della Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Lombardia in scala 1:10.000, presenta quota di circa 77,0 m s.l.m ed è fortemente antropizzata.

Dal punto di vista morfologico non si riscontrano importanti rilievi locali e la pendenza dell'area è compresa tra 0° e 15÷20°.






Nel territorio sono individuabili vari ordini di terrazzi di origine alluvionale e fluvioglaciale, di età quaternaria, che a partire dal "Livello Fondamentale della Pianura Padana", degradano verso l'incisione del Fiume Lambro, separati da scarpate di origine fluviale, spesso poco visibili a seguito degli interventi antropici di modellamento morfologico dei terreni (cave e bonifiche agricole), che ne rendono localmente difficile l'identificazione.

La porzione centro-orientale del territorio comunale è costituita, secondo la cartografia geologica ufficiale, da depositi fluviali del Pleistocene superiore, riferibili al "Fluvioglaciale-Fluviale Würm"; procedendo verso le incisioni vallive dei corsi d'acqua, si incontra un ripiano ascrivibile alle *Alluvioni Antiche*.

La struttura di questi depositi è caratterizzata da estrema variabilità sia in senso verticale che orizzontale, con prevalenza di materiali sabbiosi e sabbioso-limosi nella coltre superficiale, avente spessore variabile, e sabbioso-ghiaiosa negli strati più profondi sottostanti, la cui composizione granulometrica diventa via via più grossolana nell'ambito dei ripiani più recenti.

Ai fini della redazione della Carta geologica (TAV. 1) alla scala 1:10.000, del territorio

A seguire si riporta un estratto della carta geologica a corredo del PGT, redatta prendendo in riferimento la cartografia geologica ufficiale (vedi Carta Geologica d'Italia- F°54 Milano del Servizio Geologico d'Italia (scala 1:100.000) e la Carta Geologica della Lombardia (scala 1:250.000), redatta a cura dell'Università degli Studi di Milano.

	Confine comunale.	
	ALLUVIONI ATTUALI	: Depositi attuali dell'alveo attivo del Fiume Lambro, essenzialmente costituiti da depositi ghiaioso-sabbiosi.
	ALLUVIONI RECENTI (Olocene recente ed attuale)	: Depositi sabbioso-ghiaiosi, con locali intercalazioni lenticolari limoso-sabbiose, costituenti il ripiano fluviale sopraelevato di circa 5-6 metri rispetto all'alveo del Fiume Lambro.
	ALLUVIONI ANTICHE (Olocene antico)	: Depositi a litologia variabile da ghiaioso-sabbiosa a sabbiosa e sabbioso-limoso, con tendenza alla diminuzione delle ghiaie procedendo verso Sud; costituiscono i terrazzi fluviali sopraelevati di alcuni metri rispetto alle Alluvioni recenti.
	FLUVIOGLACIALE E FLUVIALE WURM (Pleistocene superiore)	: Depositi costituenti il Livello Fondamentale della Pianura, rappresentati da alluvioni prevalentemente sabbiose e sabbioso-limose, con lenti a granulometria via via più grossolana (sabbie ghiaiose) con l'aumentare della profondità.

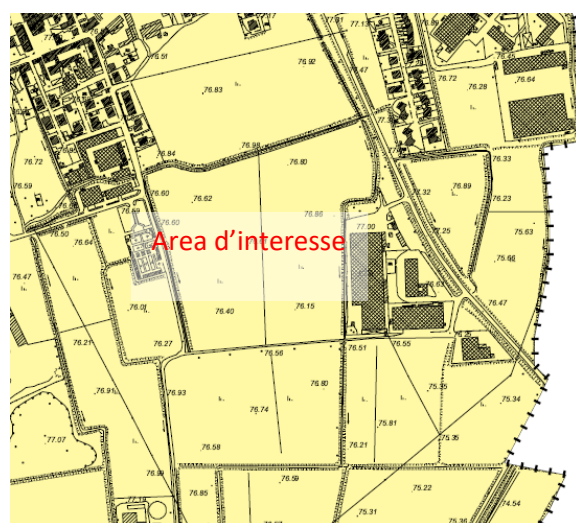


Figura II: estratto carta geologica PGT



1.4. Inquadramento idrogeologico e idrografico

IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista idrogeologico la porzione di Pianura Padana in esame risulta costituita da un bacino con substrato terziario e quaternario riempito da depositi di origine glaciale, fluvioglaciale e dalle alluvioni dei corsi d'acqua olocenici, rappresentati da alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille, a struttura difficilmente riconducibile a schemi geometrici ben definiti, che ospitano falde libere, artesiane e semiartesiane.

La struttura idrogeologica assume caratteri di elevata produttività in ragione dell'elevato spessore dei depositi permeabili (anche superiore a 100 m.) e della notevole possibilità di ricarica naturale da parte del sistema idrografico e irriguo.

A scala regionale l'acquifero in parola viene infatti generalmente considerato come un sistema monostrato-multifalde, avente come base impermeabile i depositi limosi, sabbiosi e argillosi del Villafranchiano, passanti in profondità ai sedimenti pliocenici marini.

L'alimentazione da parte del reticolato irriguo influenza il regime della falda freatica, con innalzamenti del livello in connessione con le abbondanti irrigazioni estive che determina una certa vulnerabilità del primo acquifero a pelo libero, soprattutto nelle fasce di predominanza di depositi sabbiosi permeabili come nel nostro caso.

La direzione di flusso della falda tratta dal PGT sembrerebbe essere NE -SW, con gradiente idraulico pari a circa 2 %, e soggiacenza < 5 m nello specifico ci troviamo in un'area in cui la soggiacenza, a differenza da quanto indicato dalla cartografia del PGT, si attesta attorno ai 3,0 m dal p.c.

IDROGRAFIA

Il territorio comunale di Borgo San Giovanni è attraversato da un reticolato idrografico ben sviluppato, in cui il corso del Fiume Lambro costituisce l'elemento principale del sistema drenante naturale, a cui si viene ad affiancare una rete di rogge e canali artificiali di varia importanza, con finalità irrigue, colatizie o miste.

Nello specifico l'area d'interesse è circondata da diversi corsi d'acqua il cui scopo principale è quello irriguo e colatizio.

Tra i principali si cita il Roggia Camola Nuova lungo il confine est dell'area e il colatore san Giovanni a sud e a ovest.

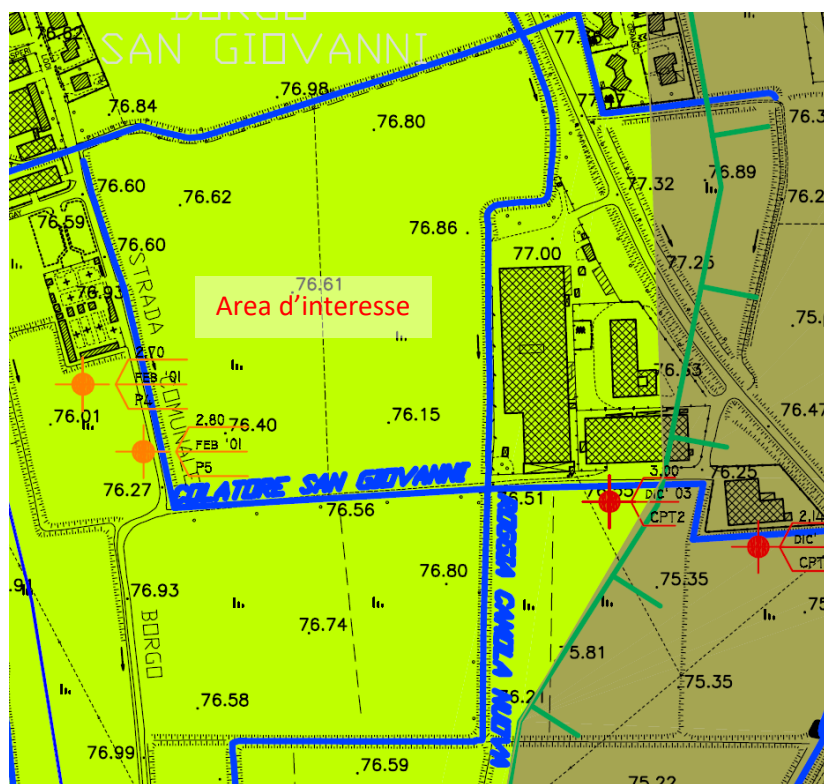


Figura 4: Estratto carta idrogeologica - componente geologica PGT

1.5. Confronto con altra cartografia dello studio geologico comunale

Si esamina di seguito la restante cartografia della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio comunale.

PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La Carta della Pericolosità Sismica Locale di primo livello dello studio comunale classifica l'area in esame come zona con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi con possibili amplificazioni litologiche (Z4a).

La relazione sismica e relativa cartografia è datata apr 2010 quindi antecedente alla *Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129* da cui risulta una classificazione del territorio in zona 3 con $a_{g_{max}} 0,070617$.

SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA	EFFETTI	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z3a	Scarpata con fronte di altezza prossimo a 10 m (z3a).	Amplificazioni topografiche.	H2
Z4a	Zona con presenza di depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e/o coesivi.	Amplificazioni litologiche.	H2

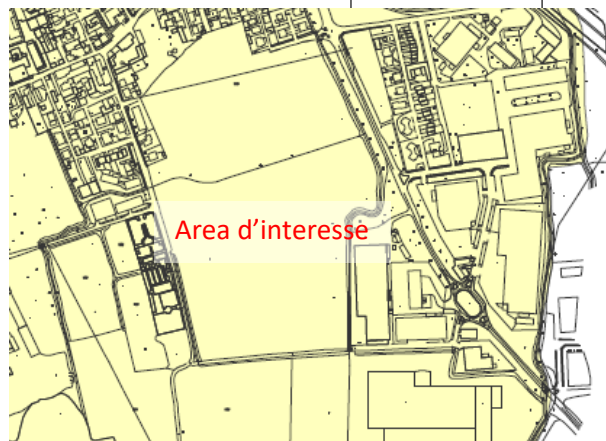


Figura V: estratto carta pericolosità sismica PGT

VINCOLI

La carta dei vincoli evidenzia la presenza di vincoli in sovrapposizione ai mappali citati che tuttavia restano esterni all'ambito di nostro interesse e alle superfici interessata dalla trasformazione.

Si tratta della fascia di rispetto cimiteriale che interessa il confine ovest del mappale e della fascia di rispetto del reticolo idrico "Camola nuova" lungo il confine est aree in cui resterà la destinazione verde esistente.

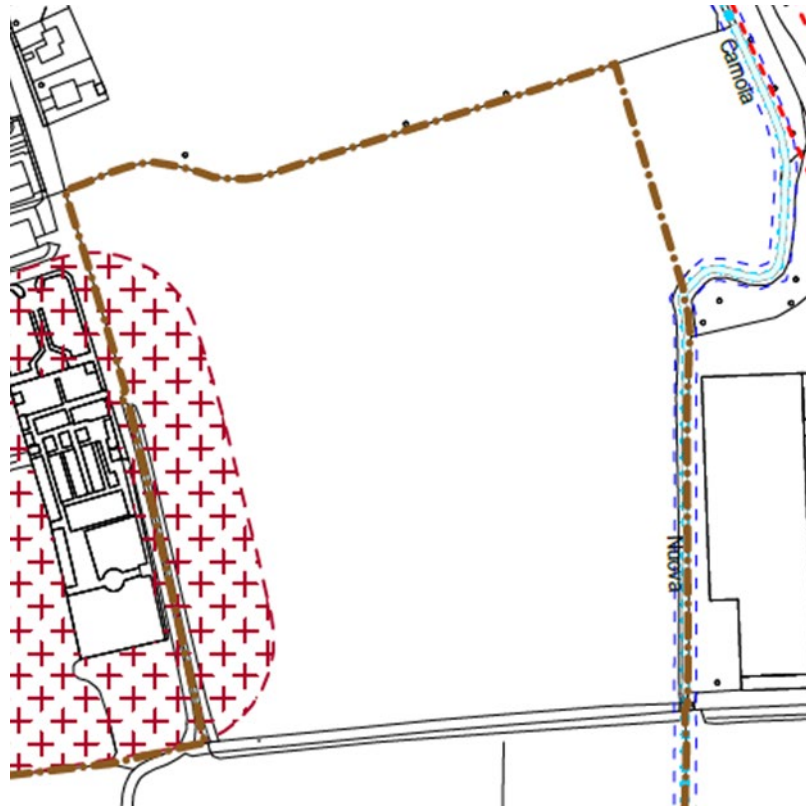


Figura VI: estratto carta a dei Vincoli PGT

CARTA PAI-PGRA

La cartografia PAI-PGRA dello studio comunale non segnala criticità idrauliche per l'area in esame e il suo intorno .



Figura VII: estratto carta PGRA



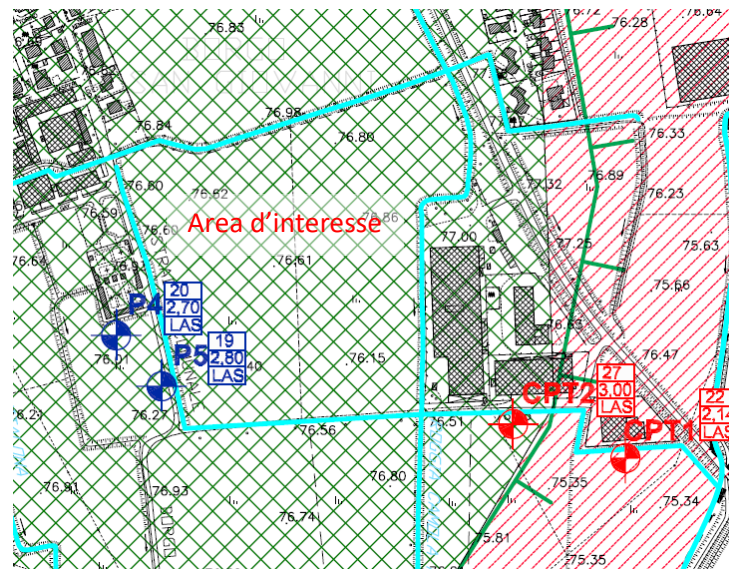
GEOTECNICA

Il comune di Borgo San Giovanni, è stato classificato nella cartografia del PGT in quattro unità geologico-tecniche e nello specifico l'area di nostro interesse ricade nell'unità geologico-technica A ovvero "terreni a comportamento geotecnico prevalentemente attritivo, a tratti misto coesivo-attritivo, a grado di addensamento variabile. Angolo di attrito estremamente variabile in funzione del litotipo prevalente ($\phi = 27+35^\circ$), e coesione non drenata $C_u = 0,30-0,70 \text{ Kg/lcm}^2$, per gli orizzonti coesivi. Permeabilità elevata."

A seguire un estratto della cartografia del PGT.

Legenda

	Confine comunale		AS113 Sondaggio geognostico eseguito per altre indagini (fonte Aqater s.p.a.)
	Fiume Lambro		LPZ023 Pozzetto esplorativo eseguito per altre indagini (fonte Aqater s.p.a.)
	Scarpate di erosione fluviale		Tabella di caratterizzazione geotecnica relativa alle indagini a disposizione; i valori a fianco indicano dall'alto verso il basso: - valore caratteristico di resistenza di punta R_p (Kg/cm ²) (prove statiche CPT) o valore medio numero di colpi INSCTP (prove SPT) dello strato di terreno entro 2,00 m. da p.c.; - soggiacenza della falda in m. da p.c.; - litologia prevalente entro 2 m. da p.c. (GS: Ghiaie sabbiose, S: Sabbie, SL: Sabbie limose, SA: Sabbie argillose, L: Limi, LAS: Limi argillosi sabbiosi, A: Argille, AO: Argille organiche).
	Rogge irrigue e canali colatori		UNITA' GEOLOGICO GEOTECNICA A Formazione geologica: Fluvio-glaciale e Fluviale Wurm. Geomorfologia: Superficie Fondamentale della Pianura. Descrizione litologica: alternanze di sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi, con locali livelli limoso-argillosi, presenti a varie profondità nel sottosuolo, caratterizzate da variabilità latero-verticale soprattutto negli orizzonti superficiali. Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico prevalentemente attritivo, a tratti misto coesivo-attritivo, a grado di addensamento variabile. Angolo di attrito estremamente variabile in funzione del litotipo prevalente ($\phi = 27-35^\circ$), e coesione non drenata $C_u = 0,30-0,70 \text{ Kg/cm}^2$, per gli orizzonti coesivi. Permeabilità elevata. Soggiacenza della falda: compresa nell'intervallo 2-4 m. dal p.c.
	Limite blanda depressione valliforme del Cavo Sillaro (tratteggiata ove modificata antropicamente)		UNITA' GEOLOGICO GEOTECNICA B Formazione geologica: Fluvio-glaciale e Fluviale Wurm. Geomorfologia: Depressione valliforme del Cavo Sillaro. Descrizione litologica: alternanze di sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi, con locali livelli limoso-argillosi, presenti a varie profondità nel sottosuolo, caratterizzate da variabilità latero-verticale soprattutto negli orizzonti superficiali. Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico prevalentemente attritivo, a tratti misto coesivo-attritivo, a grado di addensamento variabile. Angolo di attrito estremamente variabile in funzione del litotipo prevalente ($\phi = 27-35^\circ$), e coesione non drenata $C_u = 0,30-0,70 \text{ Kg/cm}^2$, per gli orizzonti coesivi. Permeabilità elevata. Soggiacenza della falda: compresa entro la profondità di 2 m. dal p.c.
	CPT1 Prova penetrometrica statica C.P.T. eseguita per la Variante 2004 al P.R.G.		
	P1 Prova penetrometrica statica C.P.T. eseguita per altre indagini.		
	P3 Prova penetrometrica dinamica S.P.T. eseguita per altre indagini.		



SINTESI

La carta di sintesi dello studio comunale segnala, per l'area in esame, una criticità di tipo idrogeologico per presenza di vulnerabilità elevata della falda legata alla bassa soggiacenza della stessa spesso inferiore ai 5 metri nel nostro caso circa 3 m da p.c..

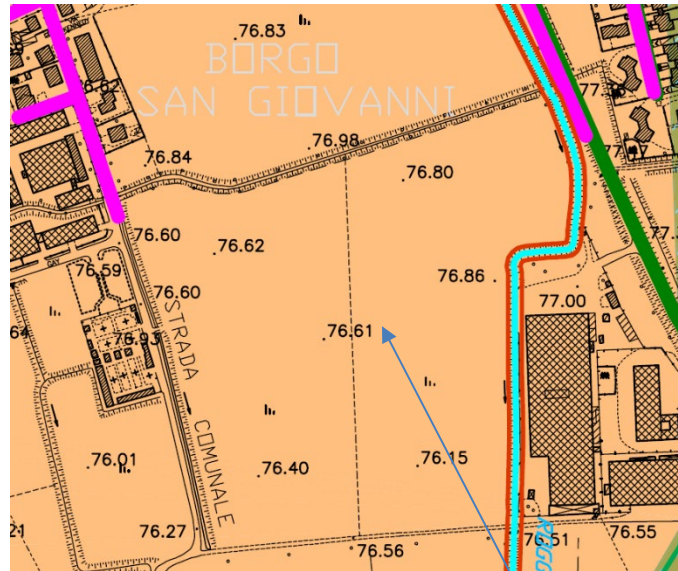
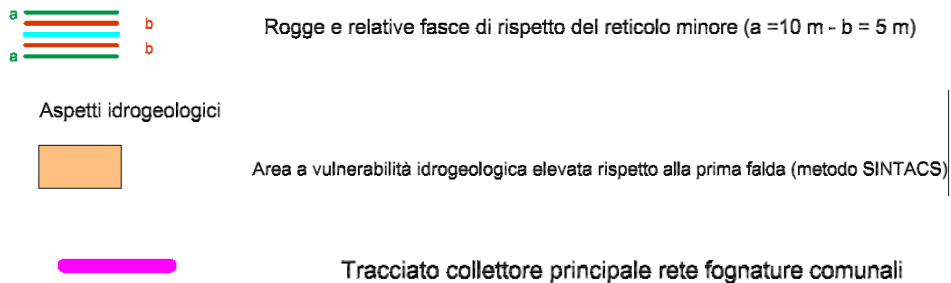


Figura 8: PGT - Carta di Sintesi

area in esame



FATTIBILITÀ GEOLOGICA

La Carta di Fattibilità assegna all'area oggetto di studio la classe di fattibilità 1, ovvero fattibilità senza particolari limitazioni.

Tale cartografia è stata aggiornata ad aprile 2010 e come per le altre datate 2004 o 2010, risultano essere le ultime disponibili e reperibili dal portale PGTWEB, infatti ne tramite il sito del comune che i tecnici comunali è stato possibile reperite cartografia più recente.

Ultimo aggiornamento del PGT risale al 2015 ma non riguarda la componente geologica.



CLASSE 1 - FATTIBILITA' SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI



CLASSE 2a - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI connesse alla presenza della falda entro i due metri dal p.c.



CLASSE 2b - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI connesse al deflusso difficoltoso delle acque superficiali e alla presenza della falda entro i due metri dal p.c.

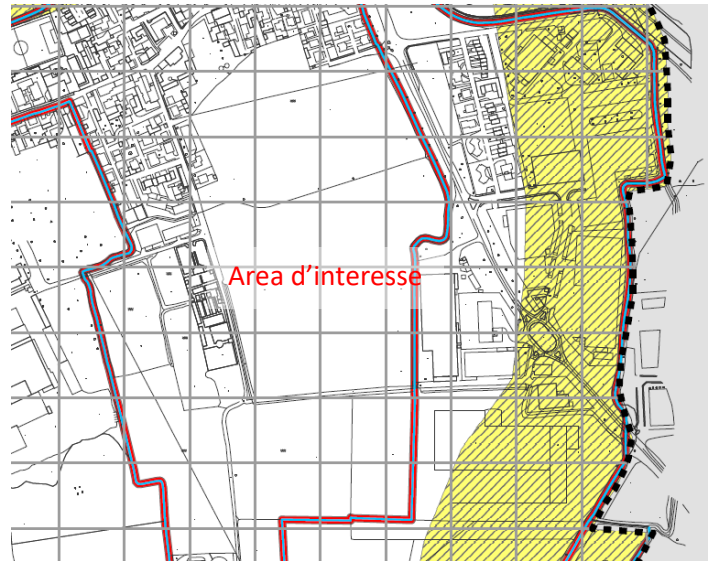


Figura IX: estratto carta fattibilita PGT

1.6. Confronto con altra cartografia del piano territoriale di coordinamento provinciale

Si è esaminata la cartografia del PTCP, la quale non riporta nessuna ulteriore particolarità di carattere geologico-geotecnico per l'area in esame.

1.7. Confronto e verifica di coerenza con la cartografia del pgra

Le mappe del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del distretto idrografico del Fiume Po rispondono alla Direttiva Alluvioni 2007/60 CE del 2013. Le cartografie sono state in seguito aggiornate nel 2015, 2019, 2020 e 2022.

Esse cartografano la pericolosità ed il rischio alluvioni.

Viene dunque mappata la pericolosità delle aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali, secondo gli scenari di diversa probabilità da P1 a P3, caratterizzandone l'intensità secondo: estensione dell'inondazione, altezze idriche, velocità e portata. Vengono identificati ambiti



territoriali omogenei, in base alle caratteristiche del reticolo idrografico ed alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti:

- **Reticolo idrografico principale (RP)**
- **Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)**
- **Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP)**
- **Aree costiere lacuali (ACL)**

Risulta anche cartografato il rischio di alluvioni, ovvero le potenziali conseguenze negative derivanti dell'evento alluvionale, in termini di elementi interessati: abitanti colpiti, infrastrutture/strutture strategiche, beni ambientali, storici e culturali, distribuzione e natura delle attività economiche, impianti a rischio di incidente rilevante. Vengono inoltre distinte le aree soggette ad alluvioni con elevato volume di trasporto solido e/o colate detritiche. Vengono definite quattro classi di rischio crescente, da R1 a R4.

Nelle mappe aggiornate in base alla revisione del 2015 sono mappate anche le Aree a Rischio Significativo, dove le condizioni di rischio significativamente rendono necessaria una specifica gestione del rischio. L'elevata pericolosità che caratterizza tali aree deriva dall'entità delle portate di piena e dell'estensione delle aree inondabili.

In base alla cartografia aggiornata alla revisione del 2022 l'area in esame **non risulta caratterizzata da alcuno scenario di pericolosità e/o rischio.**

1.8. Analisi sismica di II livello

Per un'analisi dettagliata si rimanda all'Allegato 3 riportante l' "Indagine Geofisica Finalizzata Agli Studi Della Microzonazione Sismica Per La Risposta Locale **METODOLOGIA MASW**" redatta nel settembre 2022 dallo **STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.**

Da questo si desume che la classificazione in **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "B"**.

1.9. Sismicità dell'area

1.9.1. Normativa

Secondo la Normativa Italiana Sismica (decreti emessi sino al 1988 e DM 16/01/96) l'area in oggetto non era compresa in area sismica.

Nella recente Normativa Sismica (Ordinanza del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003) tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso in quattro zone.

A seguito del D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129, aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d), il comune di è inserito in Zona Sismica 3.



Nel settembre 2005 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale la nuova Normativa Italiana sulle Costruzioni, il cosiddetto Testo Unico (DM 14/09/2005); poi successivamente viene realizzata una nuova versione (DM 14/01/2008) pubblicata in Gazzetta Ufficiale n°29 del 4 febbraio con successiva pubblicazione della Circolare n° 617 del 02/02/2009, Gazzetta ufficiale n°47 del 27 febbraio 2009-Suppl. Ordinario n°27: Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione delle azioni sismiche non deve più essere fatta sulla base della zona sismica territorialmente definita ma sito per sito secondo l'allegato B del D.M. Infine con decorrenza dal 22 marzo 2018 sono diventate cogenti le nuove NTC 2018. Già ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione delle azioni sismiche non doveva più essere fatta sulla base della zona sismica territorialmente definita ma sito per sito secondo l'allegato B del D.M., confermato dalle NTC 2018. Tutte le verifiche vanno fatte con il metodo degli stati limite in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche facendo riferimento ai parametri sismici di calcolo di cui alle tabelle allegate alla NTC.

1.9.2. Spettri di risposta elastici

La valutazione dell'azione sismica della componente sia verticale che orizzontale viene fatta sia agli stati limite ultimi (SLV e SLC con probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR rispettivamente del 5% e del 10%) che agli stati limite di esercizio (SLO e SLD con probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR rispettivamente del 81% e del 63%). Per le verifiche è stato utilizzato il programma di calcolo della PROGRAMGEO SICodes aggiornato alla NTC 2018. Si è ottenuto:

Legenda:	
agh base:	Accelerazione sismica orizzontale di base;
F0:	Max fattore di amplificazione spettrale orizzontale;
Tc*:	Periodo inizio tratto a velocità costante;
agv base:	Accelerazione sismica verticale di base;
Fv:	Max fattore di amplificazione spettrale verticale;
Tr:	Tempo di ritorno;
Pr:	Probabilità di superamento;
agh max:	Accelerazione sismica orizzontale in superficie;
agv max:	Accelerazione sismica verticale in superficie;
khs:	Coefficiente sismico orizzontale del terreno;
kvs:	Coefficiente sismico verticale del terreno;
beta:	Coefficiente di riduzione di agh max.

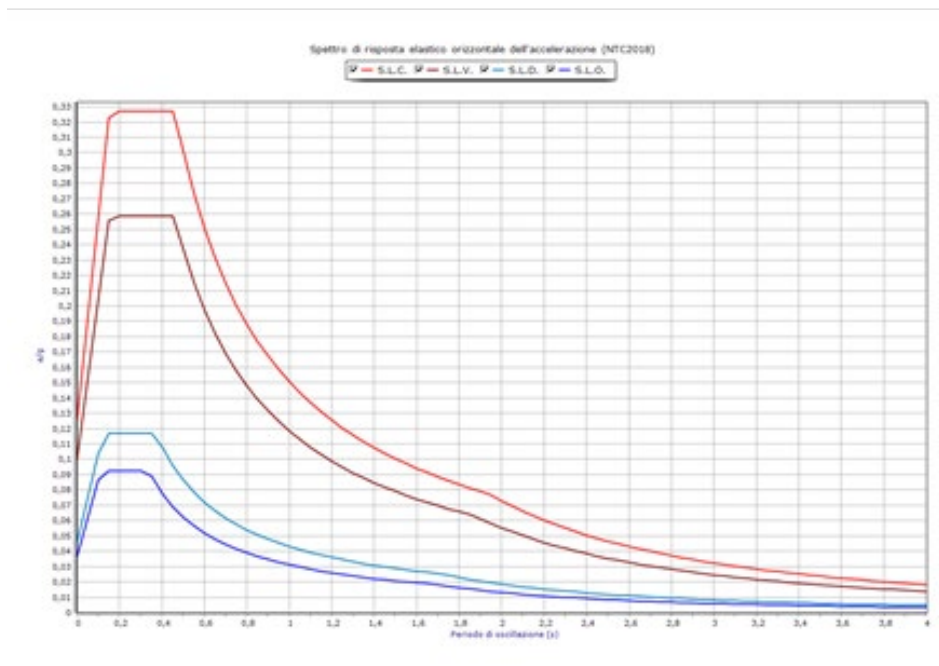
Descrizione	Valore
Sistema:	WGS84
Latitudine°	45,2750143
Longitudine°	9,4390780
Stato limite	S.L.V.
Vita nominale opera (anni)	50
Classe opera	II
Coef.di smorzamento %	5,0

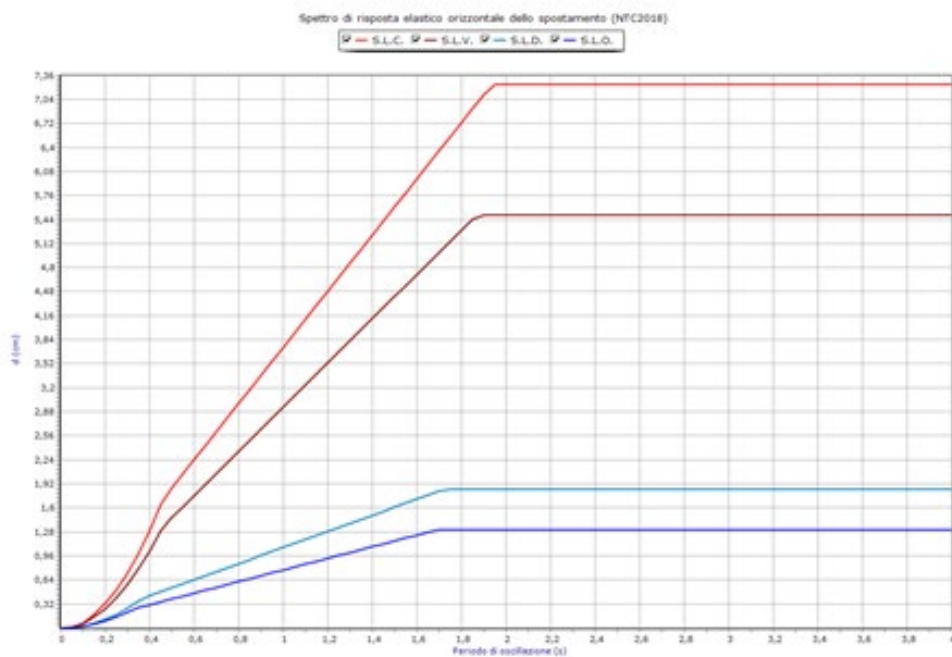
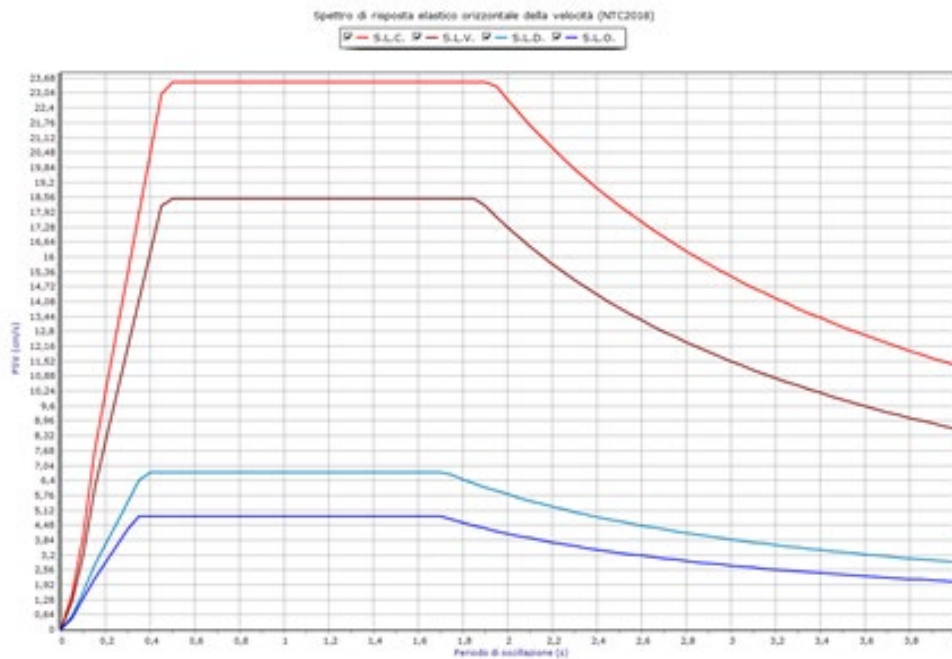
Parametri sismici secondo le NTC 2018

Stato	agh base(g)	F0	Tc*	agv base(g)	Fv	Tr(anni)
S.L.C.	0,0839	2,60	0,29	0,0839	1,02	975
S.L.V.	0,0667	2,59	0,29	0,0667	0,9	475
S.L.D.	0,0307	2,54	0,21	0,0307	0,6	50
S.L.O.	0,0243	2,53	0,18	0,0243	0,53	30

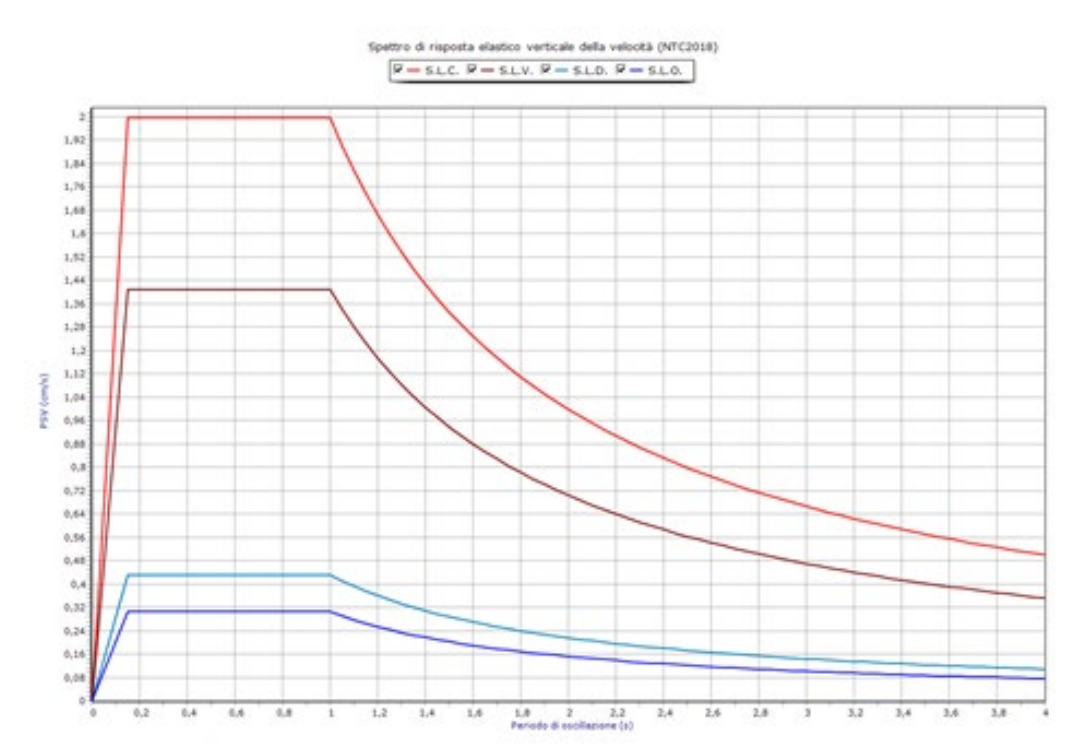
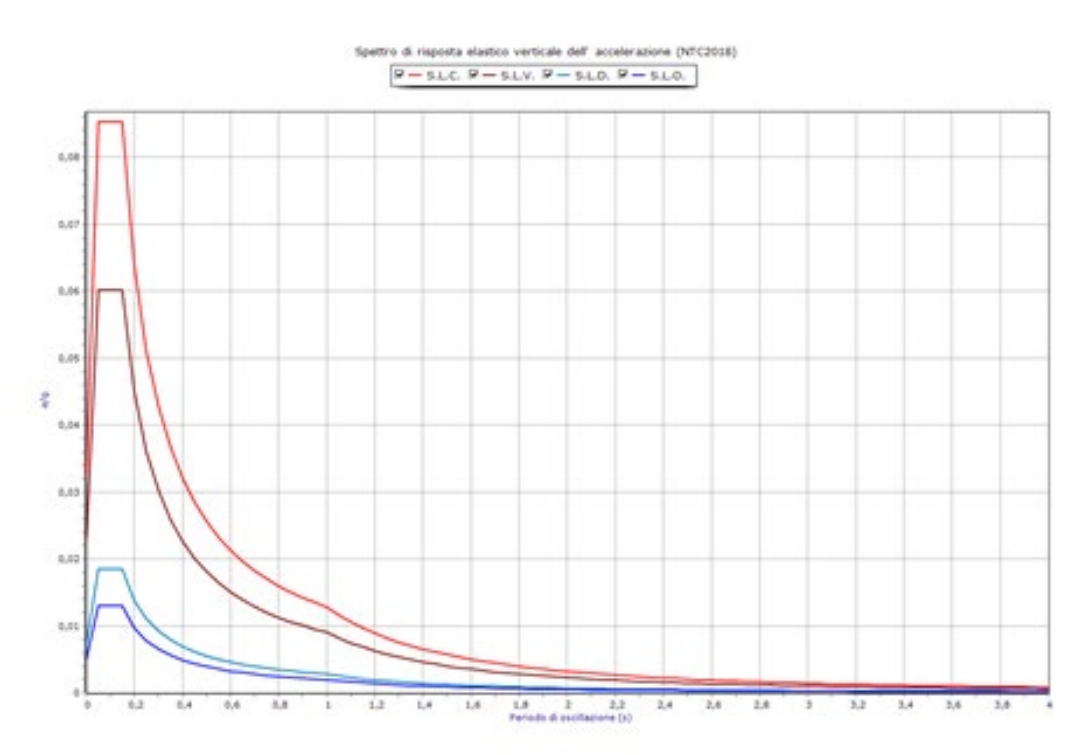
Pr(%)	agh max(g)	agv max(g)	khs	kvs	beta
0,05	0,1258	0,0839	0,025	0,013	0,20
0,1	0,1000	0,0667	0,020	0,010	0,20
0,63	0,0460	0,0307	0,009	0,005	0,20
0,81	0,0365	0,0243	0,007	0,004	0,20

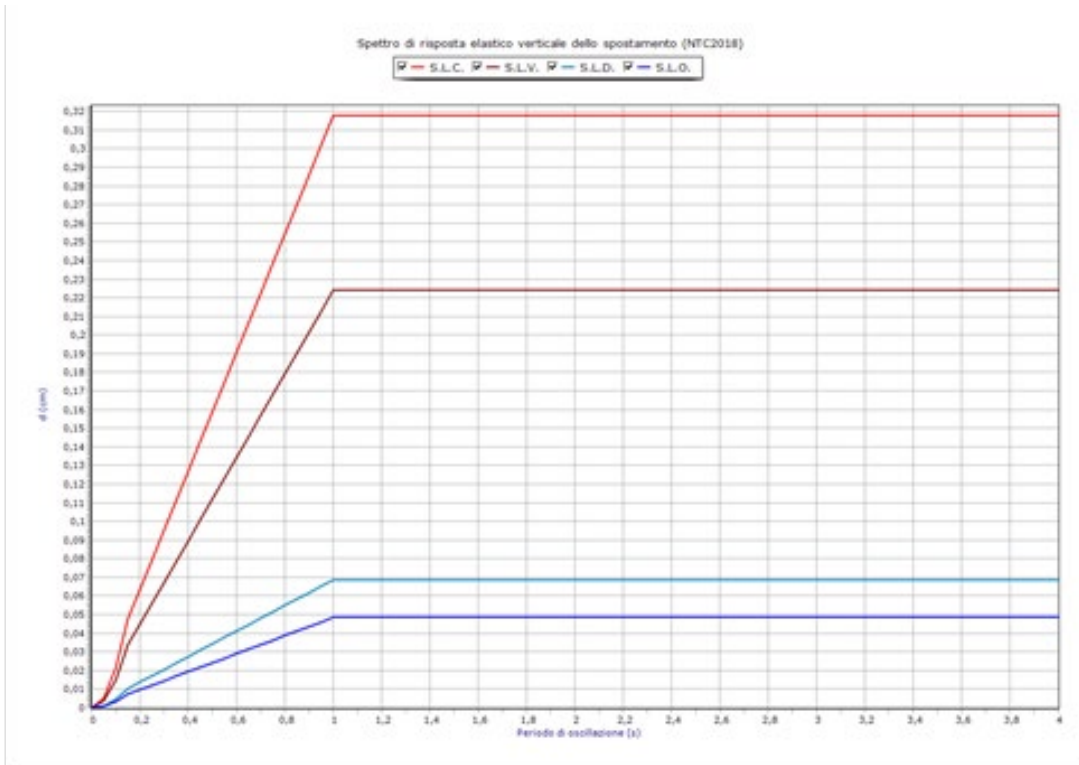
SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI ORIZZONTALI



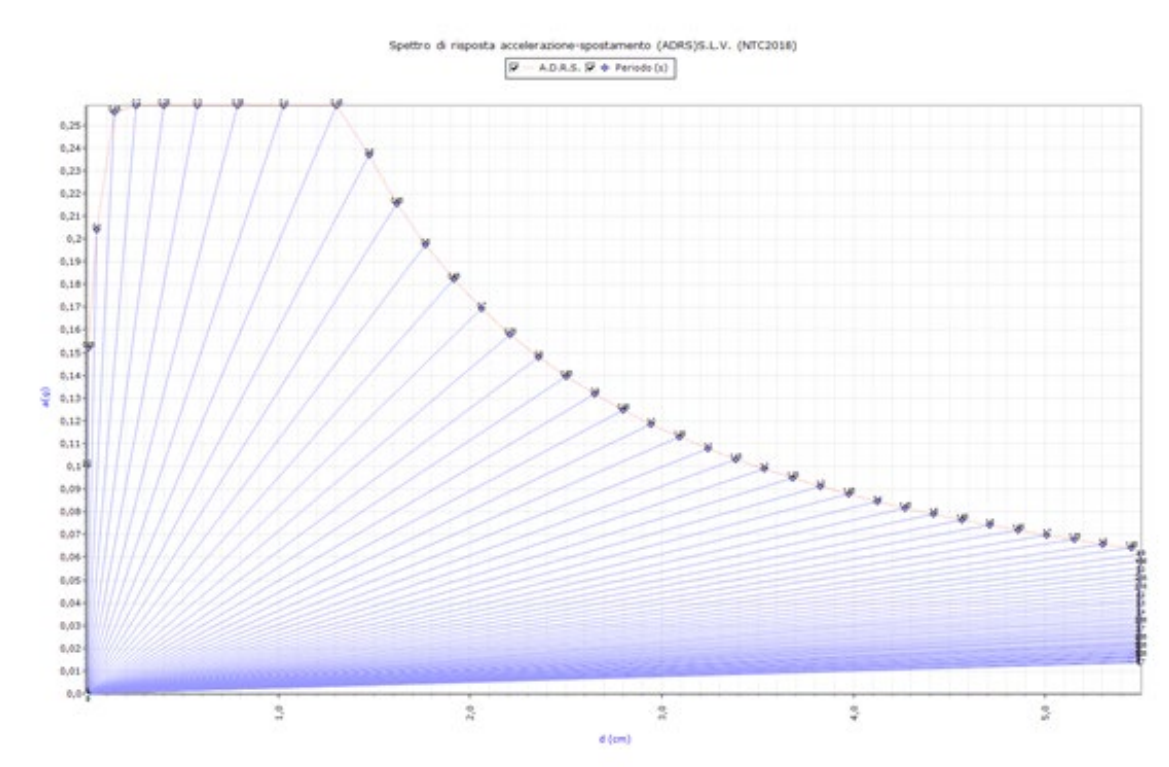


SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI VERTICALI





SPETTRO DI RISPOSTA ACCELERAZIONE SPOSTAMENTO





1.10. Modello geologico di sito

Il modello geologico di sito viene desunto sulla base delle indagini geognostiche fornite dalla committenza come indicato in premessa.

Si formula la seguente valutazione al proposito.

L'indagine eseguita dallo studio tecnico geom. Ugo Celotti srl risulta la meglio articolata comprendendo n°3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo e n°6 prove penetrometriche dinamiche SCPT con tubazione di rivestimento in avanzamento. Non risultano essere state effettuate analisi di laboratorio delle terre su campioni di terreno.

L'indagine condotta dallo GEO 3 s.a.s. ha comportato la esecuzione di sole prove penetrometriche statiche, seppure in numero elevato (15), che risultano indicare valori di resistenza per lo più in linea con l'indagine di cui prima relativamente ai metri superficiali di sottosuolo, poi se ne discostano con risultati più elevati oltre i 4-7 metri di profondità e non rilevano oltre i circa 10,50 metri la diminuzione delle resistenze sino alla profondità massima di 12 metri cui sono state spinte.

L'indagine eseguita da Geolambda engineering srl, che ha comportato scavi superficiali a profondità di 2,6 metri e n°3 prove penetrometriche statiche, risulta in linea con la precedente di GEO3 con valori di resistenza che si incrementano oltre 3,5-6 metri di profondità ma neppure esse rilevano oltre i circa 10,50 metri la diminuzione delle resistenze sino alla profondità massima di 15 metri cui sono state spinte.

Si rileva tuttavia che quest' ultima indagine si riferisce al mappale su cui non insiste l'edificazione del fabbricato.

Basandosi su quanto precedentemente relazionato e su base bibliografica si propone il seguente modello geologico di sito:

- orizzonte superficiale, di litologia costituita da sabbia fine da ghiaiosa a debolmente ghiaiosa debolmente limosa che assume spessore da 3,3 a 4,5 metri.
- segue un orizzonte di litologia sabbia media da debolmente limosa a limosa debolmente ghiaiosa che assume uno spessore da 5,7 a 12,5 metri estendendosi sino a profondità comprese fra 10,50 e 15,50 metri da piano campagna.
- Risulta presente un orizzonte presumibilmente interstratificato successivo, di sabbia limosa o limo sabbioso che ove presente assume spessore di oltre 5 metri a partire dai 10,50 - 12,90 metri di profondità.



1.11. Verifica di liquefacibilità

A livello globale la liquefazione dei terreni costituisce una delle principali cause di danno durante un evento sismico. Secondo la vigente normativa NTC 2018 la verifica alla liquefacibilità può essere omessa solo quando ricorrono i seguenti casi:

- valore della accelerazione sismica orizzontale massima in superficie $< 0,10 g$;
- profondità media stagionale della falda > 15 metri;
- composizione granulometrica esterna a fusi di riferimento.
- terreni con resistenza penetrometrica normalizzata superiore a $(N1)_{60} > 30$ alla profondità di riscontro della falda idrica.

Non ricorrendo nel caso specifico nessuno di questi casi si è ritenuto necessario procedere alla valutazione del coefficiente di sicurezza alla liquefacibilità alla profondità a cui sono presenti terreni potenzialmente liquefacibili o comunque mediante l'applicazione di metodi storico empirici ad almeno 3 profondità ritenute significative.

Per la valutazione occorre sapere oltre il valore della accelerazione sismica orizzontale massima in superficie, già calcolato, il valore della magnitudo massima attesa.

Un procedimento scientificamente corretto per valutare tale valore di magnitudo si basa sul concetto di disaggregazione della pericolosità sismica. Con tale procedimento vengono sommati i contributi dovuti alle singole coppie magnitudo distanza degli epicentri ricadenti all'interno di un'area di riferimento allo scopo di individuare, con una procedura di tipo probabilistico (Cornell 1968), l'evento sismico dominante. Il terremoto individuato, detto terremoto di scenario è caratterizzato da una magnitudo, una distanza dal sito indagato ed un tempo di ritorno. Per applicare tale sistema si fa riferimento al sito dell'I.N.G.V. che consente di calcolare il terremoto di scenario sulla base della Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano. Nello specifico caso si è ottenuto quanto risulta dalle seguenti tabelle e schemi.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

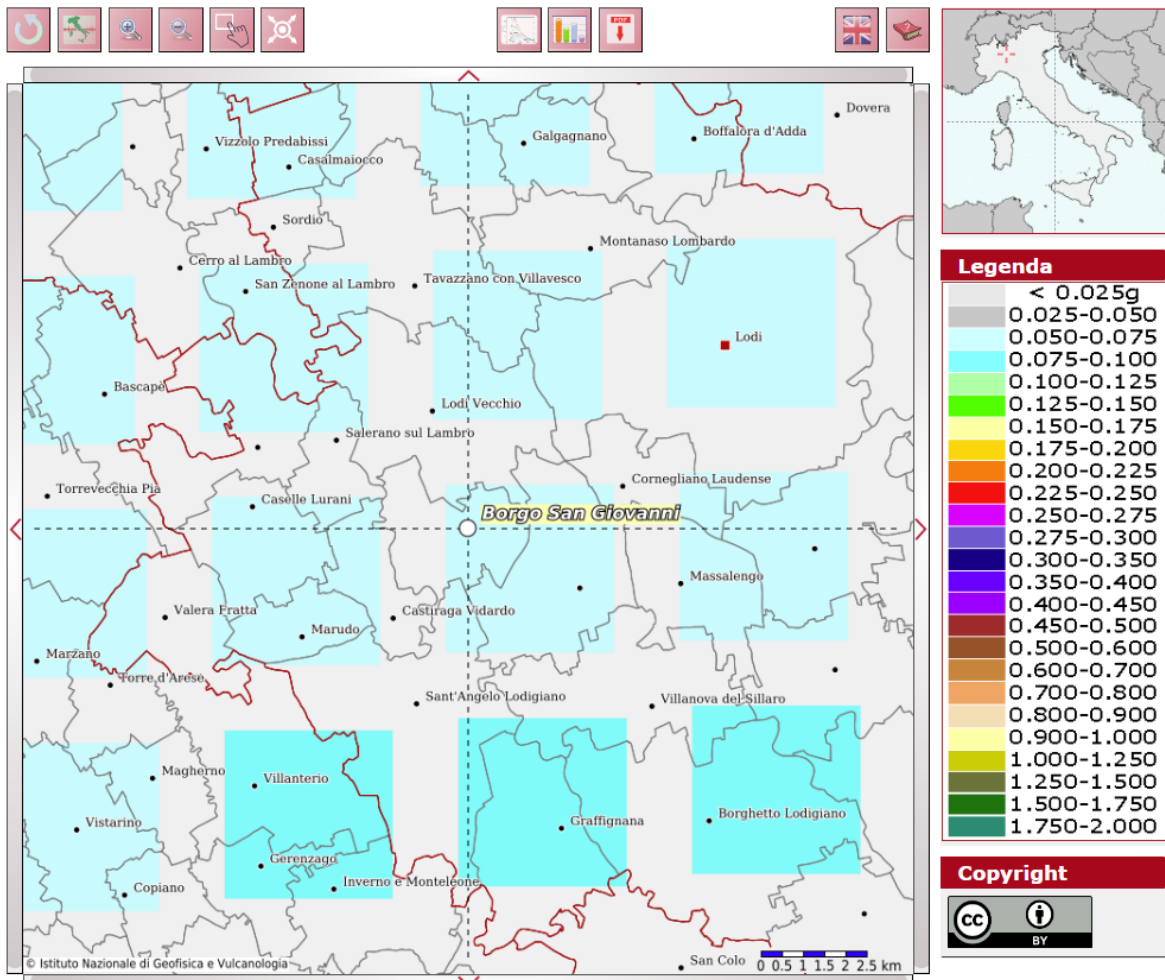
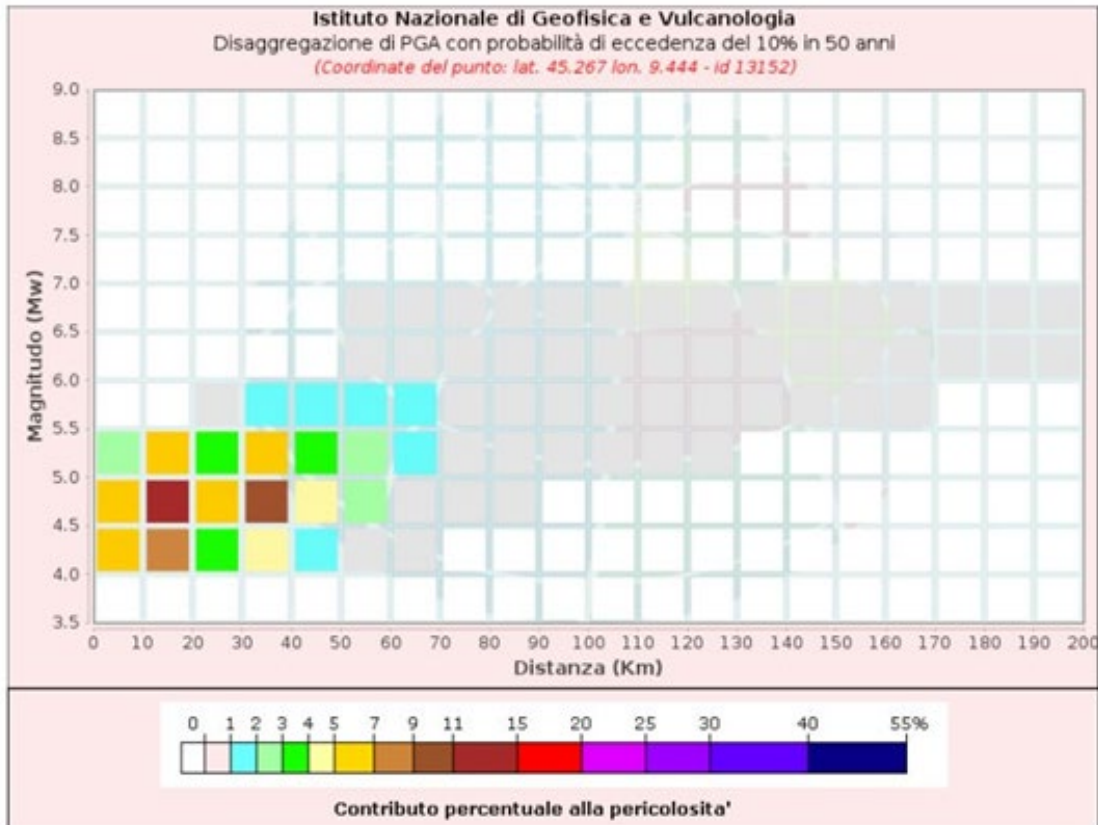


Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



Per quanto riguarda il metodo di calcolo della suscettibilità alla liquefazione si è utilizzato, disponendo dei dati di resistenza SPT, quello di Seed Idriss(1985), utilizzando per lo sviluppo dei calcoli il programma Liquef (Program Geo di Carpenedolo-BS).

Viene applicata in questo caso la metodologia semplificata valida in condizione free-field e per aree sub-pianeggianti che seppure con le relative approssimazioni permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (R) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (T) come dalle seguente correlazione:

$$F_s = CRR/CSR$$

La grandezza CRR viene correlata ai parametri N_{spt} (penetrometro dinamico), q_c (penetrometro statico) e V_s (velocità delle onde S); in questo caso N_{spt} .

La grandezza CRS è invece funzione dell'accelerazione sismica orizzontale max in superficie. Un deposito viene considerato suscettibile di liquefazione per $F_s < 1$.



La NTC 2018 non indica un valore specifico di F_s da utilizzare come riferimento, per cui questo deve essere scelto e motivato dal progettista.

L'Eurocodice 8 suggerisce che un terreno debba essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto supera l'80% della resistenza mobilitata dal terreno.

$CSR \geq 0.80CRR$ Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite uguale a:

$$F_s = CRR/CSR = 1.25$$

Il valore di F_s calcolato dovrà essere quindi maggiore o uguale di questo valore limite.

Nel caso specifico per la verifica si è riutilizzato il metodo di Seed et al. (1985), modificato avendo a disposizione dati di resistenza del terreno.

La valutazione del terremoto di progetto, cioè dell'evento sismico di riferimento rispetto al quale effettuare la stima della suscettibilità del terreno alla liquefazione, viene eseguita adottando un valore di magnitudo determinata con il metodo precedentemente descritto.

Nel metodo di Seed e al. (1985) la resistenza alla liquefazione viene calcolata con la seguente

formula:
$$R = \frac{a + cx + ex^2 + gx^3}{1 + bx + dx^2 + fx^3 + hx^4}$$
 dove:

x = N_{60cs} numero di colpi SPT riferito ad un'efficienza del 60% e corretto per tenere conto dell'eventuale presenza di una frazione fine;

a = 0.048;

b = -0.1248;

c = -0.004721;

d = 0.009578;

e = 0.0006136;

f = -0.0003285;

g = -0.00001673;

h = 0.000003714.

N_{60cs} può essere valutato con la relazione:

$$N_{60cs} = f_a + f_b (C_E C_N C_b C_r C_s N_{spt}) \quad \text{in cui:}$$

C_N = fattore correttivo per l'approfondimento della prova = $\sqrt{\frac{1}{\sigma_v}}$ (con σ_v in kg/cmq); se C_N

è maggiore di 1.7 porre $C_N = 1.7$;

C_E = fattore correttivo per l'efficienza dell'infissione = ER/60 con ER l'efficienza del sistema d'infissione usato;

C_b = fattore correttivo collegato al diametro del foro di sondaggio;

questi i valori consigliati:

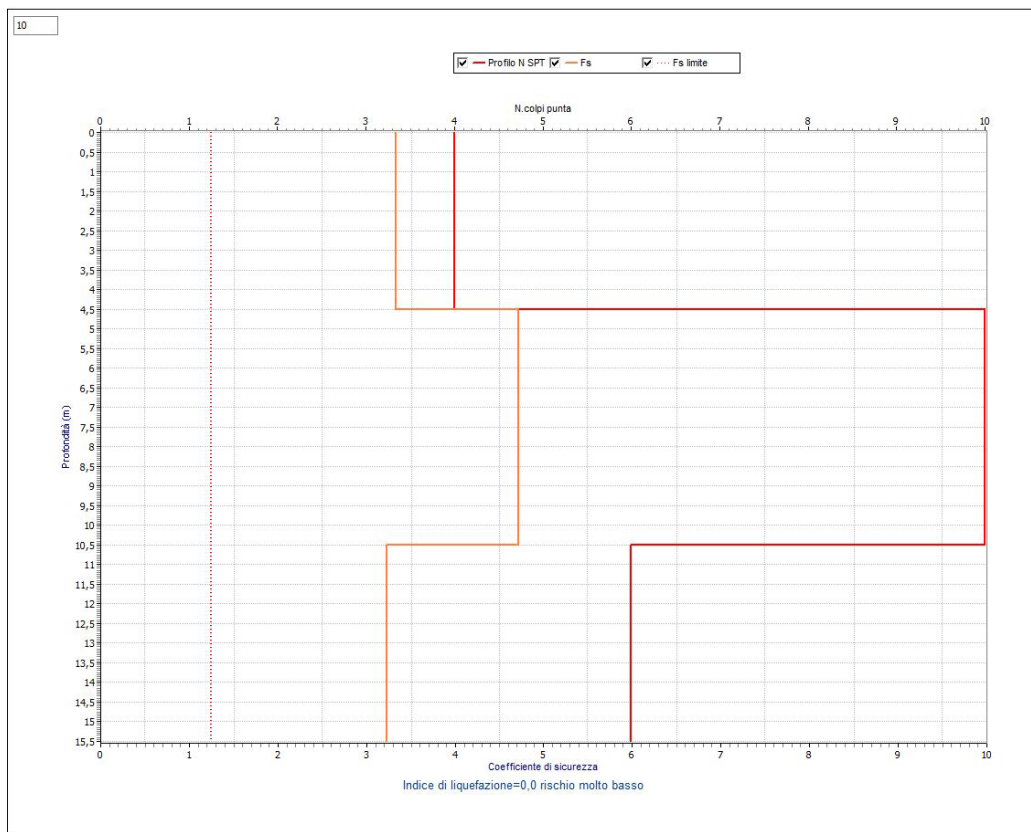
da 65 a 115 mm $C_b = 1.0$

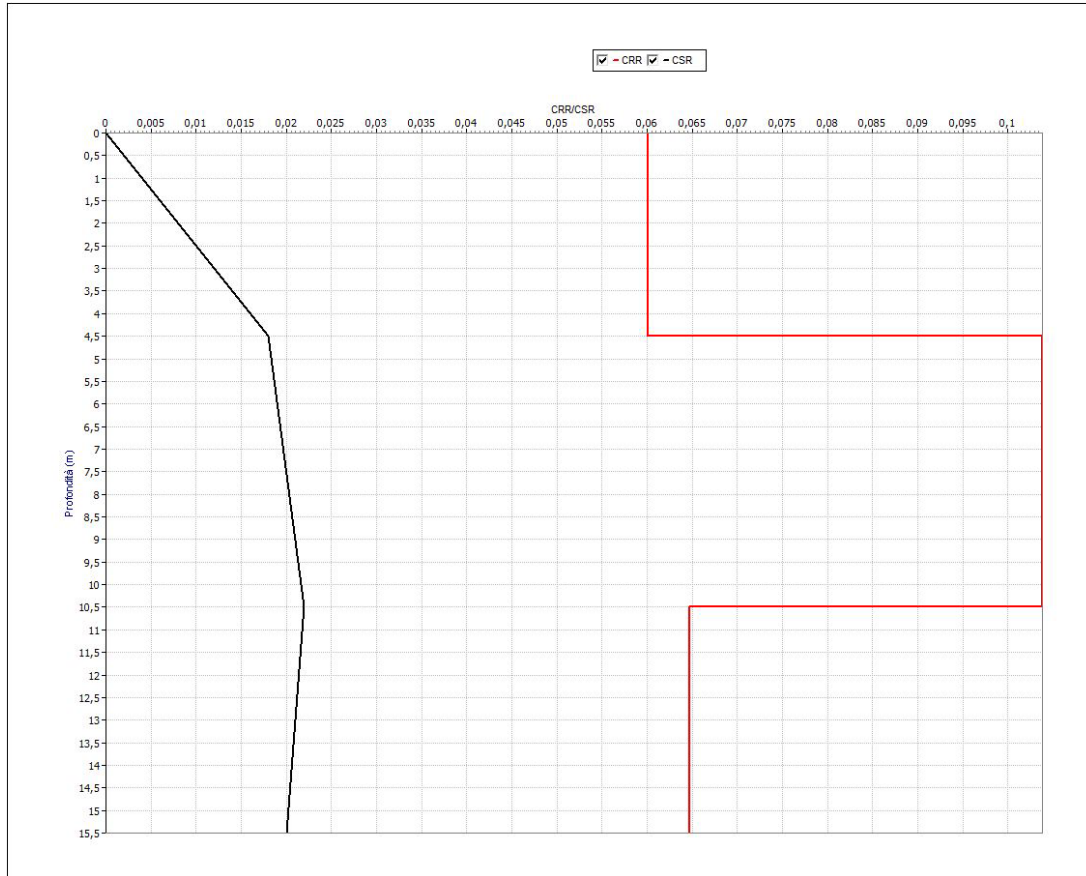
da 115 a 150 mm $C_b = 1.05$



- da 150 a 200 mm $C_b = 1.15$
- C_r = fattore correttivo collegato alla lunghezza delle aste;
questi i valori consigliati:
da 3 a 4 m $C_r = 0.75$
da 4 a 6 m $C_r = 0.85$
da 6 a 10 m $C_r = 0.95$
da 10 a 30 m $C_r = 1.0$
>30 m $C_r > 1.0$
- C_s = fattore correttivo collegato al tipo di campionatore;
questi i valori consigliati:
campionatore standard $C_s = 1.0$
campionatore senza astuccio C_s da 1.1 a 1.3
- f_a = 0 per una percentuale di fine (FC) $\leq 5\%$;
= $\exp\left(1.76 - \frac{190}{FC^2}\right)$ per $5 < FC < 35\%$;
= 5 per $FC \geq 35\%$;
- f_b = 1 per $FC \leq 5\%$;
= $0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000}$ per $5 < FC < 35\%$;
= 1.2 per $FC \geq 35\%$.

Questa procedura è raccomandata dal National Center for Earthquake Research (NCEER). Dai calcoli effettuati risulta quanto illustrato nelle seguenti tabelle e grafici:





Profilo CRR da SPT o DP

N.	da (m)	a (m)	Nspt	%fine	Gamma(kN/mc)	CSR	CRR	Fs
1	0	4,5	4	-	18,34	0,018	0,06	3,338
2	4,5	10,5	10	-	18,93	0,022	0,104	4,719
3	10,5	15,5	6	-	18,53	0,02	0,065	3,235

Risultando $F_s > 1,25$

il terreno che costituisce il sottosuolo risulta:

NON LIQUEFACIBILE

Per le profondità significative considerate.



1.12. Considerazioni conclusive

La Carta di Fattibilità assegna all'area oggetto di studio la classe di **fattibilità 1**, ovvero fattibilità senza particolari limitazioni

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico l'intervento in oggetto dovrà rispettare la normativa relativa alla salvaguardia dell'acquifero e il rispetto del vincolo idrografico esistente.

Le indagini geognostiche analizzate hanno rilevato terreni con modeste caratteristiche meccaniche sino a circa 4,5 metri di profondità che costituiranno l'orizzonte interessato dalla distribuzione dei carichi indotti dalle fondazioni cui conseguentemente le condizioni di fondazione dovranno definirsi nel rispetto dell'adozione di soluzioni tecniche adeguate per le opere edificatorie in progetto.

2. RELAZIONE GEOTECNICA (R2)

2.1 Modello geotecnico

Sulla base del modello geologico stratigrafico definito nella relazione geologica a firma dello scrivente ed al quale necessariamente si rimanda, viene definito in sintesi in questa relazione il modello geotecnico litotecnico, attribuendo valori ai principali parametri geotecnici degli orizzonti individuati.

Si veda al proposito la seguente tabella nella quale gli orizzonti di terreno sono stati suddivisi in base a resistenze valutate uniformi arealmente.

Tabella n°1

Prove	Orizzonte 1			Orizzonte 2			Orizzonte 3		
	Spess m	Nscpt	Nspt $\beta=1,5$	Spess m	Nscpt	Nspt $\beta=1,5$	Spess m	Nscpt	Nspt $\beta=1,5$
SCPT 1	3,3	2,5	3,8	9,6	6,3	9,5	2,7	4,4	6,6
SCPT 2	4,8	2,5	3,8	5,7	7,4	11,1	5,1	4,0	6,0
SCPT 3	3,9	2,5	3,8	11,6	6,3	10,8			
SCPT 4	4,5	3,1	4,7	11,1	7,1	10,7			
SCPT 5	3,9	2,9	4,4	11,7	6,5	9,8			
SCPT 6	4,5	3,1	4,7	6,0	7,1	10,7	5,0	5,4	8,1
SOND1	3		3,0	12,5		12,2			
SOND2	3,2		6,6	12,3		10,4			
SOND3	3,5		3,0	12,0		9,6			
valore medio	3,8	2,8	4,2	10,3	6,8	10,5	4,3	4,6	6,9
valore normalizzato			4			10			6

I parametri geotecnici del terreno vengono valutati come caratteristici con metodo statistico a partire dalle resistenze penetrometriche misurate in modo diretto.

Nell'approccio statistico la probabilità di non superamento da utilizzare deve essere quella del 5% come specificato sia nell' EC1 che nell' EC7 ed è coerente con quanto indicato nella Normativa Nazionale.

Trattandosi di campioni poco numerosi ($N < 30$) si è ritenuto utilizzare la distribuzione di Student applicata al valore di N inteso come valore di resistenza SPT (correlato ad esso nel nostro caso per le prove SCPT come specificato in seguito); nel caso di campione unitario o molto piccolo si può anche operare introducendo un coefficiente di variazione (C.O.V.) dedotto dalla letteratura scientifica.

Si veda di seguito un esempio di curva di distribuzione statistica calcolata.

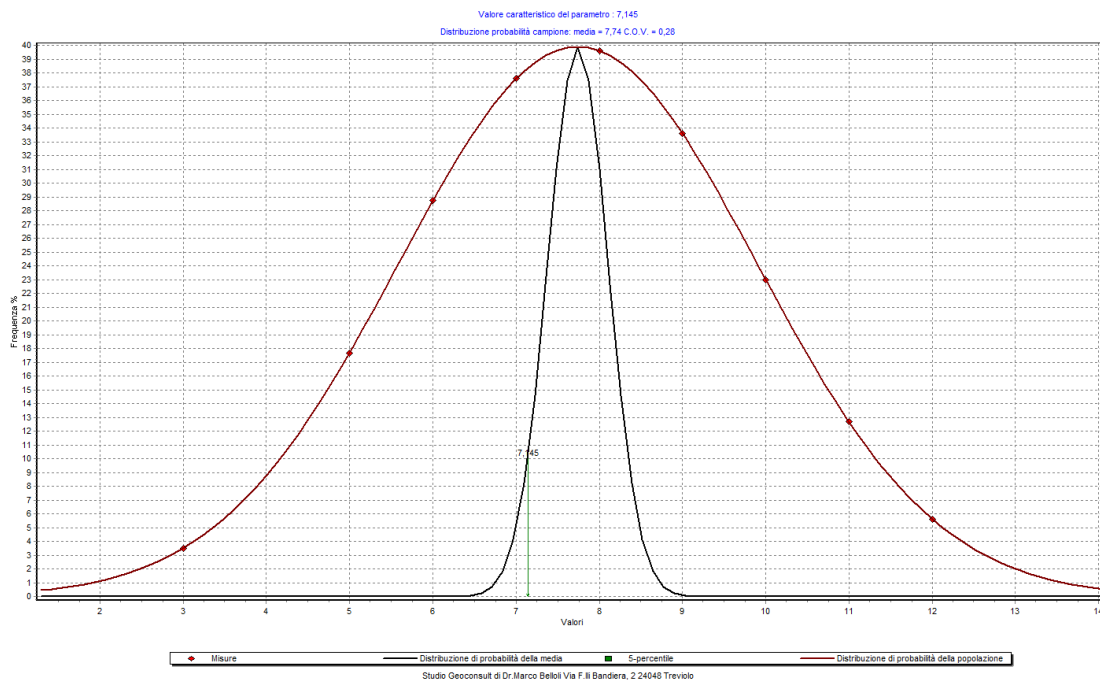


Figura 10: prova 4 orizzonte 2

Le resistenze SCPT sono state correlate allo standard SPT con un coefficiente $\beta = 1,5$ scelto sulla base di dati bibliografici (Tissoni 1987, S.G.I., Meardi, Pagani, Cestari), dell'esperienza dello scrivente, della energia strumentale e della litologia; Il valore viene normalizzato alla pressione litostatica tenendo conto della presenza della falda a profondità di 3,2 m da piano campagna.

Si procede quindi per ogni orizzonte scegliendo la tipologia del valore caratteristico da calcolare.

Nel caso specifico si calcola il valore caratteristico della media trattandosi di resistenze non compensate e compensate da misure acquisite direttamente nell'area oggetto di interesse.

Il valore caratteristico della popolazione viene invece calcolato in caso di resistenza non compensata e compensata da misure indirette (estrapolate).

Nel caso specifico, considerata la buona corrispondenza areale dei valori delle resistenze misurate si è ritenuto valutare i valori corrispondenti alla media aritmetica dei valori della media delle prove eseguite.

Nella attribuzione di valori ai parametri geotecnici, le valutazioni espresse si basano sui risultati delle prove eseguite, tenuto conto della litologia dei terreni – non risultano nel caso specifico presenti analisi di laboratorio cui potere fare riferimento– ed elaborate facendo riferimento ai seguenti principali Autori e all'esperienza dello scrivente.



Tabella n°2

Peso di volume γ	Peck e Terzaghi
Densità relativa d_r	Skempton – Gibbs & Holtz Schultze & Mezembach Bazaara – Terzaghi & Peck
Angolo di attrito interno ϕ	Peck – Hanson & Thorburn - Meyerhoff – Road Bridge Specification - Japanese National Railway – Owasaki & Iwasaki - Sowers – Hatanaka e Ukida
Modulo di elasticità drenato	Bowles – Schmertmann – Buismann - Webb
Modulo di Poisson μ	Yaky
Modulo di taglio Kg/cm^2	Ohsaki & Iwasaki
Modulo di elasticità tangenziale dinamico Kg/cm^2	Imai & Tanuochi
Velocità onde di taglio (m/s)	Imai & Tanuochi

Si vedano di seguito i tabulati di elaborazione dei parametri geotecnici.



ORIZZONTE: 1		CONDIZIONI DRENATE		
		ANGOLO ATTRITO (°)	Nspt	NOTE
		Peck -Hanson & Thornburn	28,3	<5 m sopra falda e <8 m in falda (sabbie)
	INPUT	Meyerhof < 5% limo	31,2	<5 m sopra falda e <8 m in falda (sabbie)
		Meyerhof > 5% limo	25,9	<3 m sopra falda e <5 m in falda (sabbie)
		Road Bridge Specification	22,7	>8-10 m sopra falda e > 15 in falda (sabbie fini o limose)
SPT =	4	Japanese National Railway	28,2	" " (sabbie fini o limose fino a sabbie ghiaiose)
		Owasaki & Iwasaki	23,9	" " (sabbie da medie fino a deb. ghiaiose)
		Sowers	29,1	<4 m sopra falda e <7 m in falda (sabbie)
		De Mello	31,1	>2 m inattendibile per phi > 38° (Sabbie)
		DENSITA' RELATIVA (%)		
		Marcuson & Bieganousky	49,6	sabbie normalconsolidate
		Marcuson & Bieganousky	49,6	sabbie sovraconsolidate
		Bazaara (1967)	24,8	pressione efficace >= 0.732Kg/cm ²
		MODULO DEFORMAZIONE (Kg/cm²)		
		Tornaghi et Alii	142,8	Inattendibile per SPT bassi o alti
		Shmertmann	32,0	SABBIA FINE
		Shmertmann	48,0	SABBIA MEDIA
		Shmertmann	80,0	SABBIA GROSSOLANA
		Schultze-Mezebach	97,1	SABBIA SOTTO FALDA
		D'appolonia et Alii	221,8	GHIAIA +SABBIA
		D'appolonia et Alii	417,5	SABBIA SC
		Webb	92,5	SABBIA SATURA
		Webb	28,9	SABBIA ARGILLOSA
		Mezebach e Malcev	52,2	SABBIA FINE
		Mezebach e Malcev	55,8	SABBIA MEDIA
		Mezebach e Malcev	79,8	SABBIA +GHIAIA
		Mezebach e Malcev	85,4	SABBIA GHIAIOSA
		Bowles	96,9	SABBIA NORMAL CONSOLIDATA
		Bowles	48,4	SABBIA SATURA
		Bowles	122,4	SABBIA GHIAIOSA E GHIAIA
		Bowles	30,6	SABBIA LIMOSA
		Bowles	62,0	SABBIA ARGILLOSA
		Bowles per N<=15	61,2	
		MODULO DI TAGLIO (Kg/cm²)		
		Ohsaki & Iwasaki	239,2	SABBIE PULITE
		Ohsaki & Iwasaki	339,0	SABBIE CON FINE PLASTICO
		MODULO DI ELASTICITA' TANGENZIALE DINAMICO (Kg/cm²)		
		Imai & Tanuochi 1982	369,6	
		VELOCITA' ONDE TAGLIO (m/s)		
		Imai & Tanuochi 1982	149,9	
		COEFFICIENTE di POISSON		
		Jaky 1942	0,360	
		PESO DI VOLUME		
		Terzaghi e Peck	1,87	SATURO



ORIZZONTE: 2		CONDIZIONI DRENATE		
		ANGOLO ATTRITO (°)	Nspt	NOTE
		Peck -Hanson & Thornburn	30,0	<5 m sopra falda e <8 m in falda (sabbie)
	INPUT	Meyerhof < 5% limo	33,7	<5 m sopra falda e <8 m in falda (sabbie)
		Meyerhof > 5% limo	28,8	<3 m sopra falda e <5 m in falda (sabbie)
		Road Bridge Specification	27,2	>8-10 m sopra falda e > 15 in falda (sabbie fini o limose)
SPT =	10	Japanese National Railway	30,0	" " (sabbie fini o limose fino a sabbie ghiaiose)
		Owasaki & Iwasaki	29,1	" " (sabbie da medie fino a deb. ghiaiose)
		Sowers	30,8	<4 m sopra falda e <7 m in falda (sabbie)
		De Mello	39,1	>2 m inattendibile per phi > 38° (Sabbie)
		DENSITA' RELATIVA (%)		
		Marcuson & Bieganousky	58,7	sabbie normalconsolidate
		Marcuson & Bieganousky	58,6	sabbie sovraconsolidate
		Bazaara (1967)	39,3	pressione efficace >= 0.732Kg/cm ²
		MODULO DEFORMAZIONE (Kg/cm²)		
		Tornaghi et Alii	225,7	Inattendibile per SPT bassi o alti
		Shmertmann	80,0	SABBIA FINE
		Shmertmann	120,0	SABBIA MEDIA
		Shmertmann	200,0	SABBIA GROSSOLANA
		Schultze-Mezebach	128,7	SABBIA SOTTO FALDA
		D'appolonia et Alii	268,1	GHIAIA +SABBIA
		D'appolonia et Alii	481,3	SABBIA SC
		Webb	121,7	SABBIA SATURA
		Webb	48,2	SABBIA ARGILLOSA
		Mezebach e Malcev	73,4	SABBIA FINE
		Mezebach e Malcev	82,6	SABBIA MEDIA
		Mezebach e Malcev	142,6	SABBIA +GHIAIA
		Mezebach e Malcev	156,4	SABBIA GHIAIOSA
		Bowles	127,5	SABBIA NORMAL CONSOLIDATA
		Bowles	63,7	SABBIA SATURA
		Bowles	195,8	SABBIA GHIAIOSA E GHIAIA
		Bowles	48,9	SABBIA LIMOSA
		Bowles	81,6	SABBIA ARGILLOSA
		Bowles per N<=15	97,9	
		MODULO DI TAGLIO (Kg/cm²)		
		Ohsaki & Iwasaki	566,1	SABBIE PULITE
		Ohsaki & Iwasaki	680,2	SABBIE CON FINE PLASTICO
		MODULO DI ELASTICITA' TANGENZIALE DINAMICO (Kg/cm²)		
		Imai & Tanuochi 1982	689,2	
		VELOCITA' ONDE TAGLIO (m/s)		
		Imai & Tanuochi 1982	199,9	
		COEFFICIENTE di POISSON		
		Jaky 1942	0,341	
		PESO DI VOLUME		
		Terzaghi e Peck	1,93	SATURO



ORIZZONTE: 3		CONDIZIONI DRENATE		
		ANGOLO ATTRITO (°)	Nspt	NOTE
		Peck -Hanson & Thornburn	28,9	<5 m sopra falda e <8 m in falda (sabbie)
	INPUT	Meyerhof < 5% limo	32,1	<5 m sopra falda e <8 m in falda (sabbie)
		Meyerhof > 5% limo	26,9	<3 m sopra falda e <5 m in falda (sabbie)
		Road Bridge Specification	24,5	>8-10 m sopra falda e > 15 in falda (sabbie fini o limose)
SPT =	6	Japanese National Railway	28,8	" " (sabbie fini o limose fino a sabbie ghiaiose)
		Owasaki & Iwasaki	26,0	" " (sabbie da medie fino a deb. ghiaiose)
		Sowers	29,7	<4 m sopra falda e <7 m in falda (sabbie)
		De Mello	34,6	>2 m inattendibile per phi > 38° (Sabbie)
		DENSITA' RELATIVA (%)		
		Marcuson & Bieganousky	52,9	sabbie normalconsolidate
		Marcuson & Bieganousky	52,8	sabbie sovraconsolidate
		Bazaara (1967)	30,4	pressione efficace >= 0.732Kg/cm ²
		MODULO DEFORMAZIONE (Kg/cm²)		
		Tornaghi et Alii	174,8	Inattendibile per SPT bassi o alti
		Shmertmann	48,0	SABBIA FINE
		Shmertmann	72,0	SABBIA MEDIA
		Shmertmann	120,0	SABBIA GROSSOLANA
		Schultze-Mezebach	107,6	SABBIA SOTTO FALDA
		D'appolonia et Alii	237,3	GHIAIA +SABBIA
		D'appolonia et Alii	438,8	SABBIA SC
		Webb	102,2	SABBIA SATURA
		Webb	35,3	SABBIA ARGILLOSA
		Mezebach e Malcev	59,2	SABBIA FINE
		Mezebach e Malcev	64,8	SABBIA MEDIA
		Mezebach e Malcev	100,8	SABBIA +GHIAIA
		Mezebach e Malcev	109,0	SABBIA GHIAIOSA
		Bowles	107,1	SABBIA NORMAL CONSOLIDATA
		Bowles	53,5	SABBIA SATURA
		Bowles	146,8	SABBIA GHIAIOSA E GHIAIA
		Bowles	36,7	SABBIA LIMOSA
		Bowles	68,5	SABBIA ARGILLOSA
		Bowles per N<=15	73,4	
		MODULO DI TAGLIO (Kg/cm²)		
		Ohsaki & Iwasaki	350,2	SABBIE PULITE
		Ohsaki & Iwasaki	461,3	SABBIE CON FINE PLASTICO
		MODULO DI ELASTICITA' TANGENZIALE DINAMICO (Kg/cm²)		
		Imai & Tanuochi 1982	487,0	
		VELOCITA' ONDE TAGLIO (m/s)		
		Imai & Tanuochi 1982	170,3	
		COEFFICIENTE di POISSON		
		Jaky 1942	0,354	
		PESO DI VOLUME		
		Terzaghi e Peck	1,89	SATURO

2.2 ORIZZONTI LITOTECNICI

Sono stati individuati tre principali orizzonti litotecnici.

-1- Orizzonte superficiale, di litologia sabbia fine da ghiaiosa a debolmente ghiaiosa debolmente limosa : natura incoerente e di grado poco addensato. Assume spessore da 3,3 a 4,5 metri.

parametro	simbolo	U.M.	Valore
Peso di volume umido	γ_w	t/m ³	1,75
Peso di volume saturo	γ_{sat}	t/m ³	1,87
Modulo di Poisson	μ_k	-	0,36
Numero di colpi correlato SPT	N_{c_k}	-	4
Densità relativa	dr_k	%	25
Angolo di attrito interno	ϕ'_k	gradi	27
coesione	c'_k	Kg/cm ²	0
Modulo di elasticità drenato	E'_k	Kg/cm ²	40

-2- Orizzonte intermedio- di litologia sabbia media da debolmente limosa a limosa debolmente ghiaiosa : di natura incoerente e di grado di moderatamente addensato; assume uno spessore da 5,7 a 12,5 metri estendendosi sino a profondità comprese fra 10,50 e 15,50 metri da piano campagna.

parametro	simbolo	U.M.	Valore
Peso di volume umido	γ_w	t/m ³	1,82
Peso di volume saturo	γ_{sat}	t/m ³	1,93
Modulo di Poisson	μ_k	-	0,34
Numero di colpi correlato SPT	N_{c_k}	-	10
Densità relativa	dr_k	%	140
Angolo di attrito interno	ϕ'_k	gradi	29
coesione	c'_k	Kg/cm ²	0
Modulo di elasticità drenato	E'_k	Kg/cm ²	100

-3- Orizzonte successivo ove rilevato, presumibilmente sabbia limosa o limo sabbioso (desunto dalle prove penetrometriche) : di natura incoerente o poco coerente di grado poco addensato, assume spessore di oltre 5 metri a partire dai 10,50 - 12,90 metri di profondità nelle sole prove penetrometriche dinamiche ove è stato rilevato (P1-P2-P6)



parametro	simbolo	U.M.	Valore
Peso di volume umido	γ_w	t/m ³	1,78
Peso di volume saturo	γ_{sat}	t/m ³	1,89
Modulo di Poisson	μ_k	-	0,35
Numero di colpi correlato SPT	N_{c_k}	-	6
Densità relativa	dr_k	%	30
Angolo di attrito interno	ϕ'_k	gradi	27
coesione	c'_k	Kg/cm ²	0-0,05
Modulo di elasticità drenato	E'_k	Kg/cm ²	70

Cassano d'Adda, Marzo 2024

Geol. Dott. M. Belloli

Geol. M. Marchese



TAVOLE

Planimetrie con ubicazione indagini

Celotti set '22

Geo3 Ago '21

Uggetti dic '13

● PROVE

— MASW

CELOTTI set '22

● SONDAGGIO GEOGNOSTICO ED AMBIENTALE

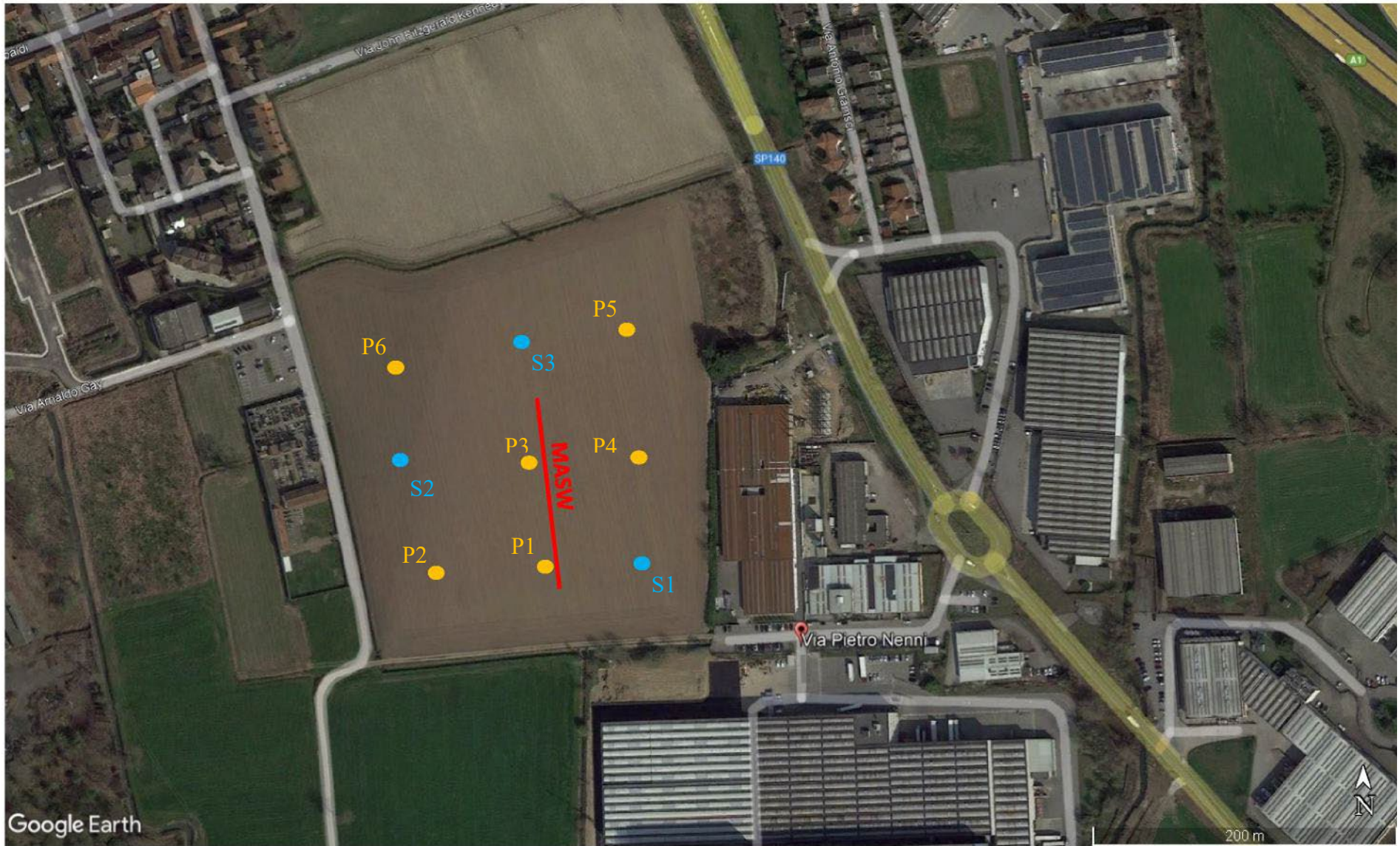


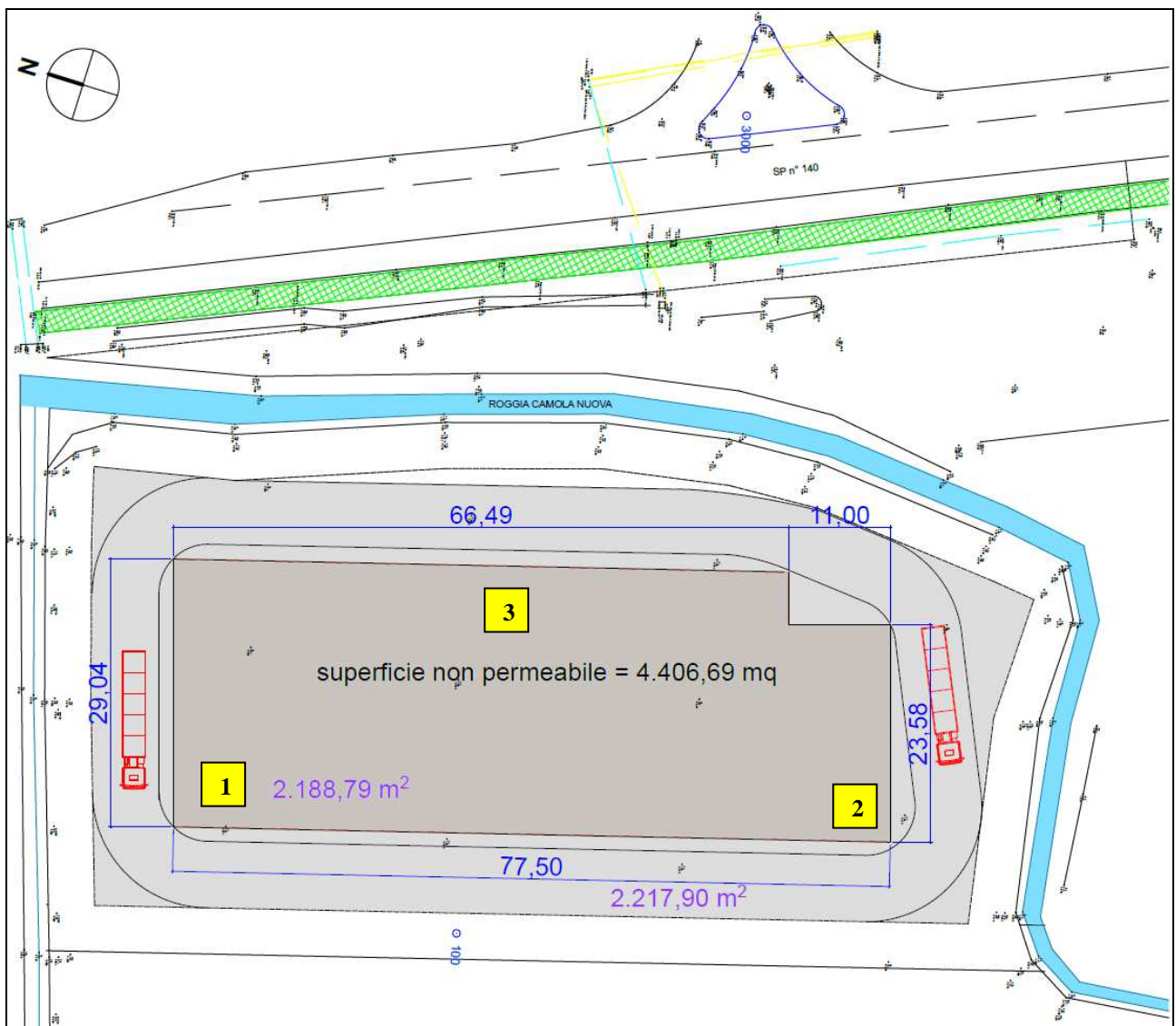


Figura: indagini svolte da GEO.3_agosto 2021

Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.

PLANIMETRIA DELL'AREA

Ubicazione delle prove penetrometriche





ALLEGATO 1

Diagrammi penetrometrici:

Celotti set '22

Geo3 Ago '21

Uggetti dic '13

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P1

DATA: Settembre 2022

Disegno n°:7337P1H

Località : BORGIO SAN GIOVANNI

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante

N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici

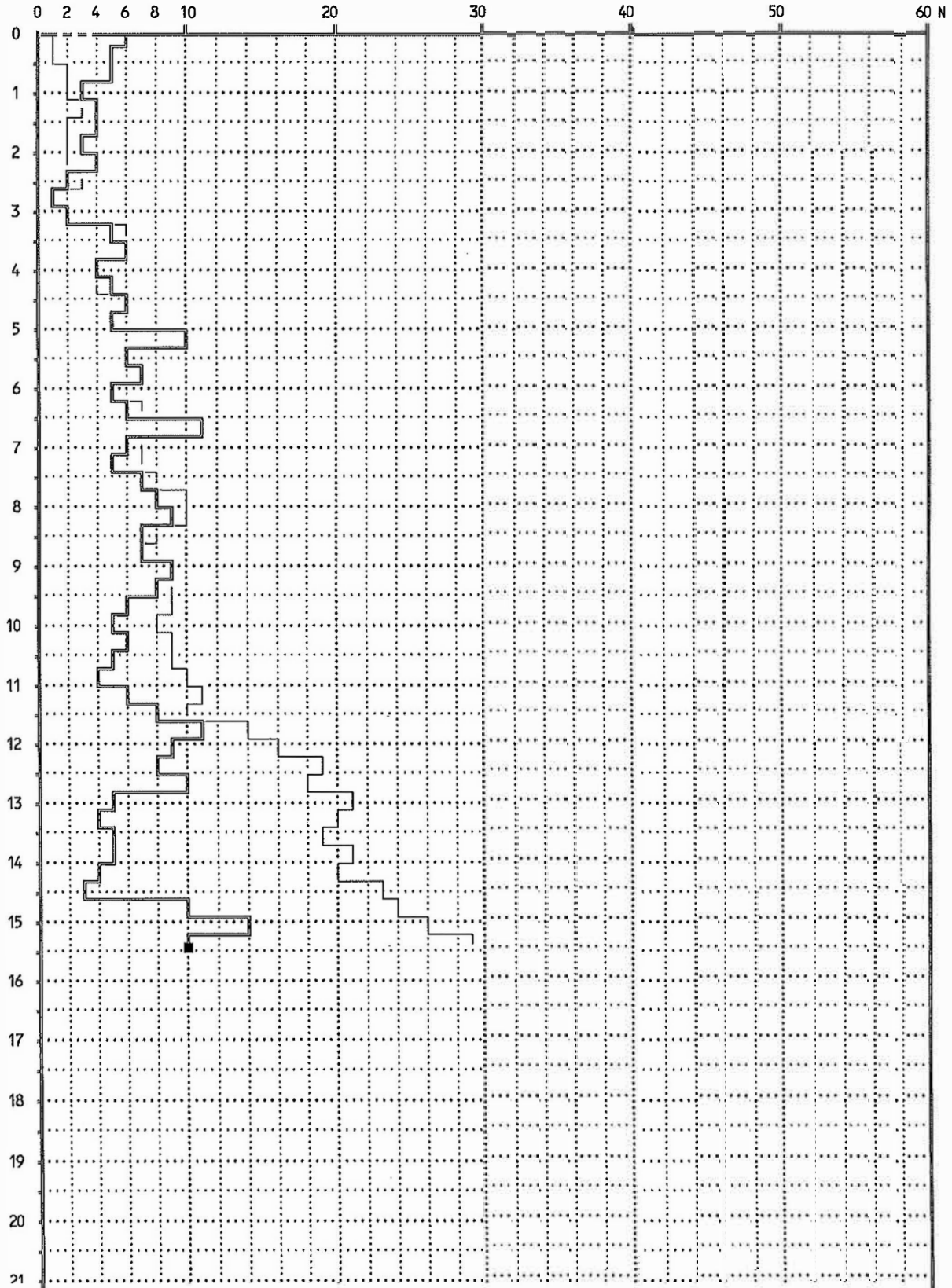
— Punta 60° $\phi = 2''$

— Tubazione di rivestimento $\phi = 1''1/2$

== Inizio prova m. 0.00

Assenza acqua fino a m.1.60 poi foro ostruito

■ Fine prova m.15.50



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P2

DATA: Settembre 2022

Disegno n°:7337P2H

Località : BORGO SAN GIOVANNI

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante

N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici

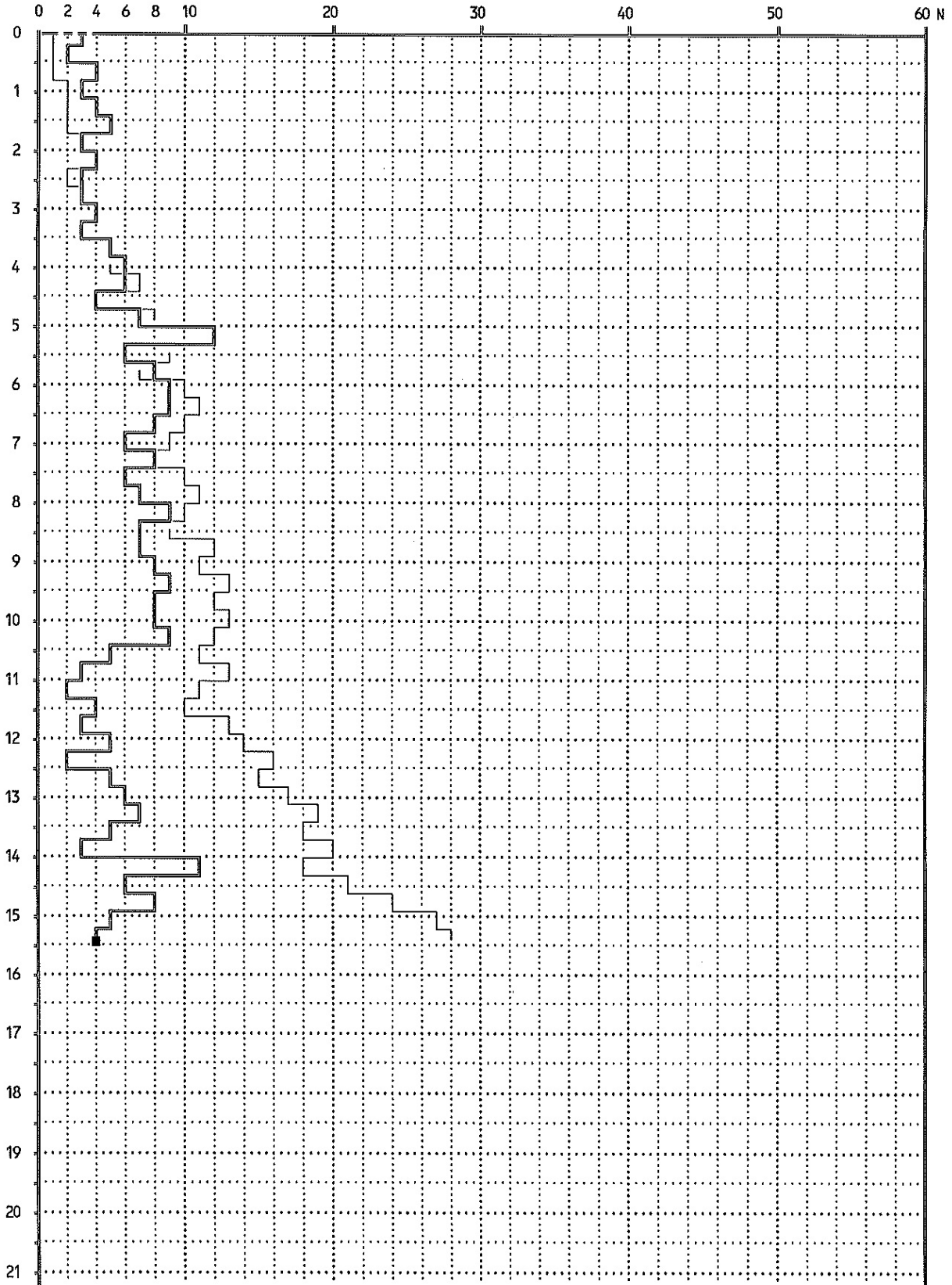
— Punta 60° $\phi = 2''$

— Tubazione di rivestimento $\phi = 1''1/2$

- - - Inizio prova m. 0.00

Assenza acqua fino a m.1.50 poi foro ostruito

■ Fine prova m.15.50



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P3

DATA: Settembre 2022

Disegno n°:7337P3H

Località : BORGIO SAN GIOVANNI

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante

N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici

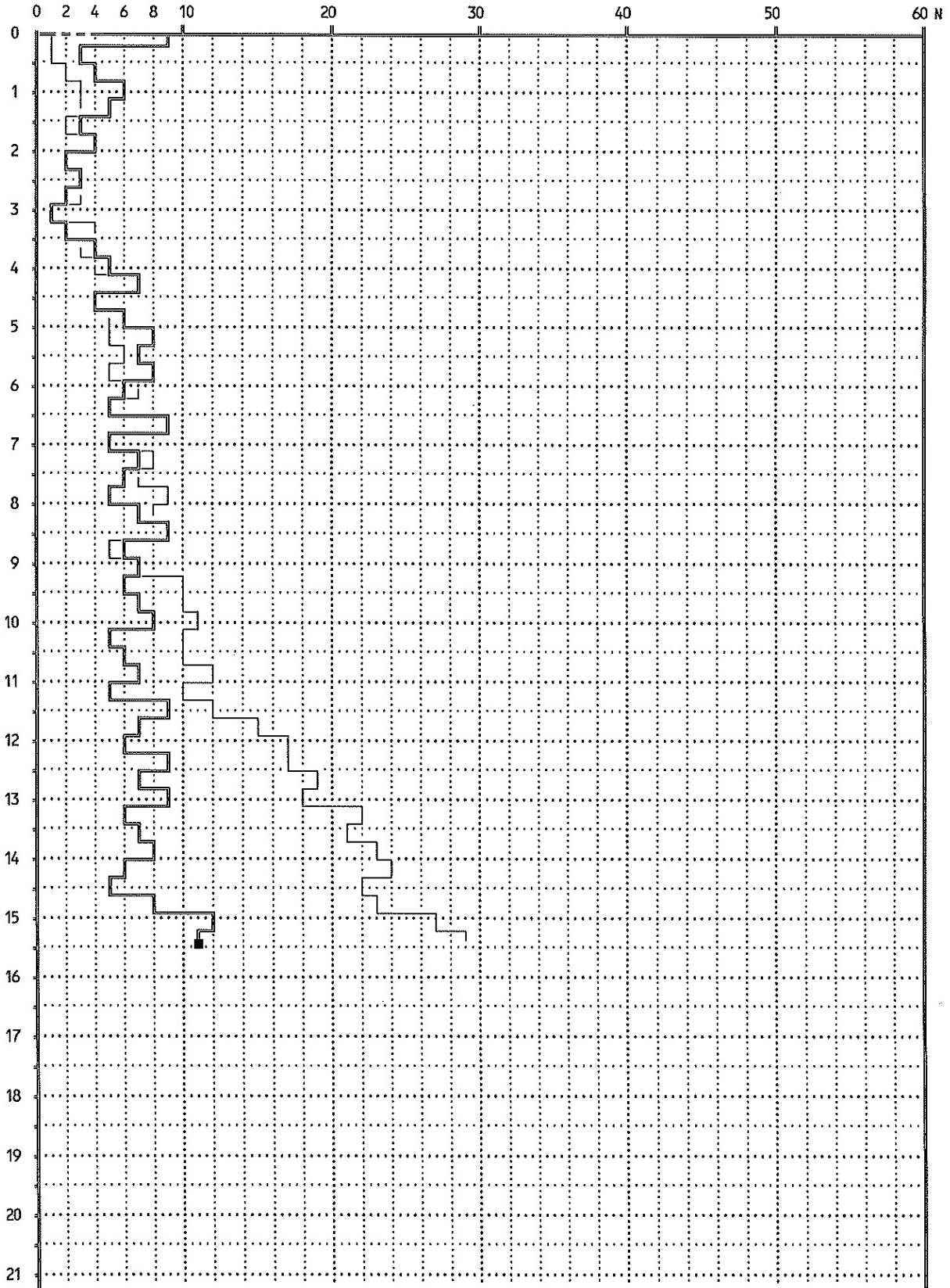
— Punta 60° $\phi = 2''$

— Tubazione di rivestimento $\phi = 1''1/2$

== = Inizio prova m. 0.00

Assenza acqua fino a m.1.40 poi foro ostruito

■ Fine prova m.15.50



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P4

DATA: Settembre 2022

Disegno n°:7337P4H

Località : BORGO SAN GIOVANNI

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante

N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici

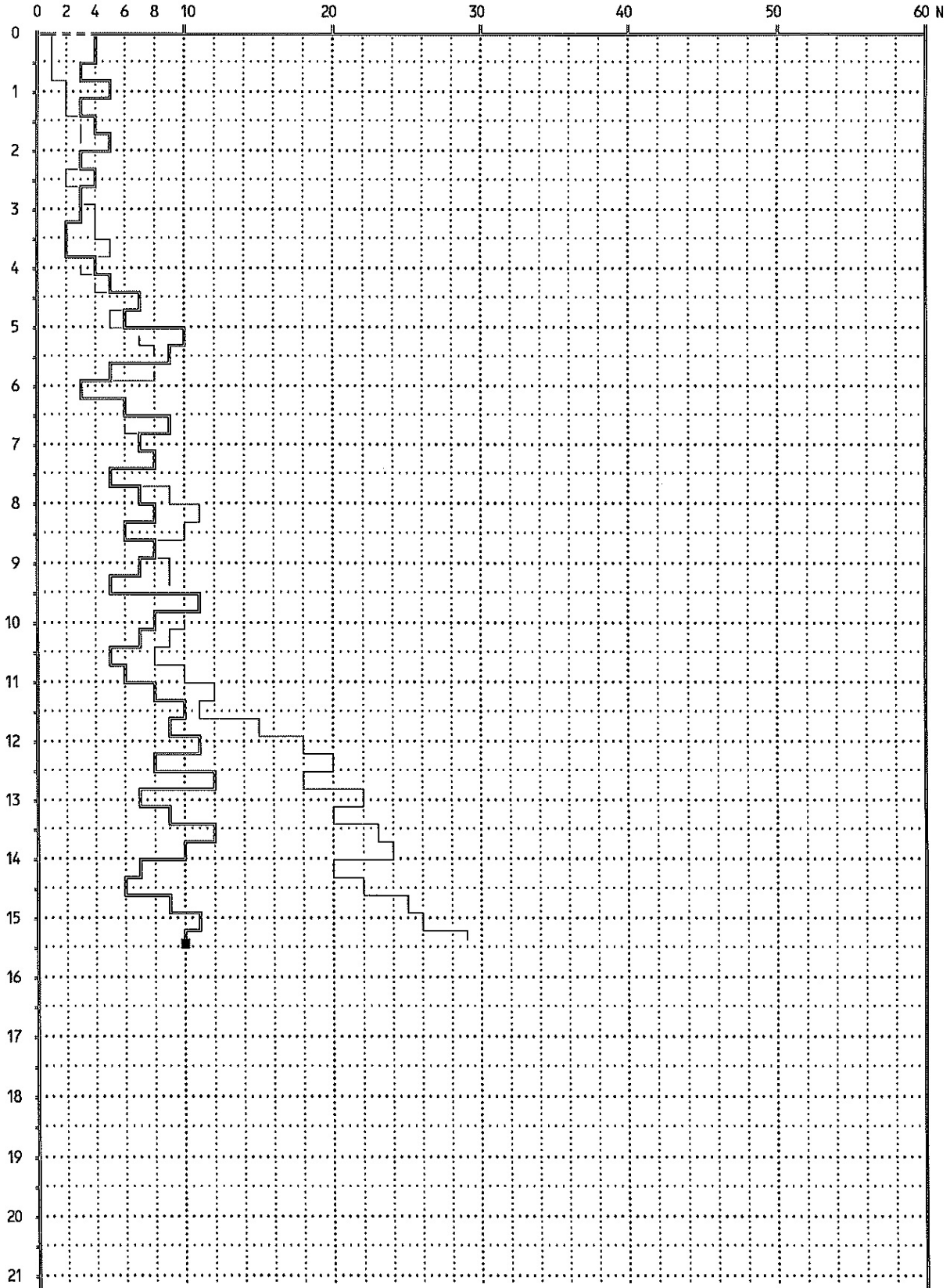
— Punta 60° $\phi = 2''$

— Tubazione di rivestimento $\phi = 1''1/2$

== Inizio prova m. 0.00

Assenza acqua fino a m.1.10 poi foro ostruito

■ Fine prova m.15.50



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P5

DATA: Settembre 2022

Disegno n°:7337P5H

Località : BORGO SAN GIOVANNI

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante

N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici

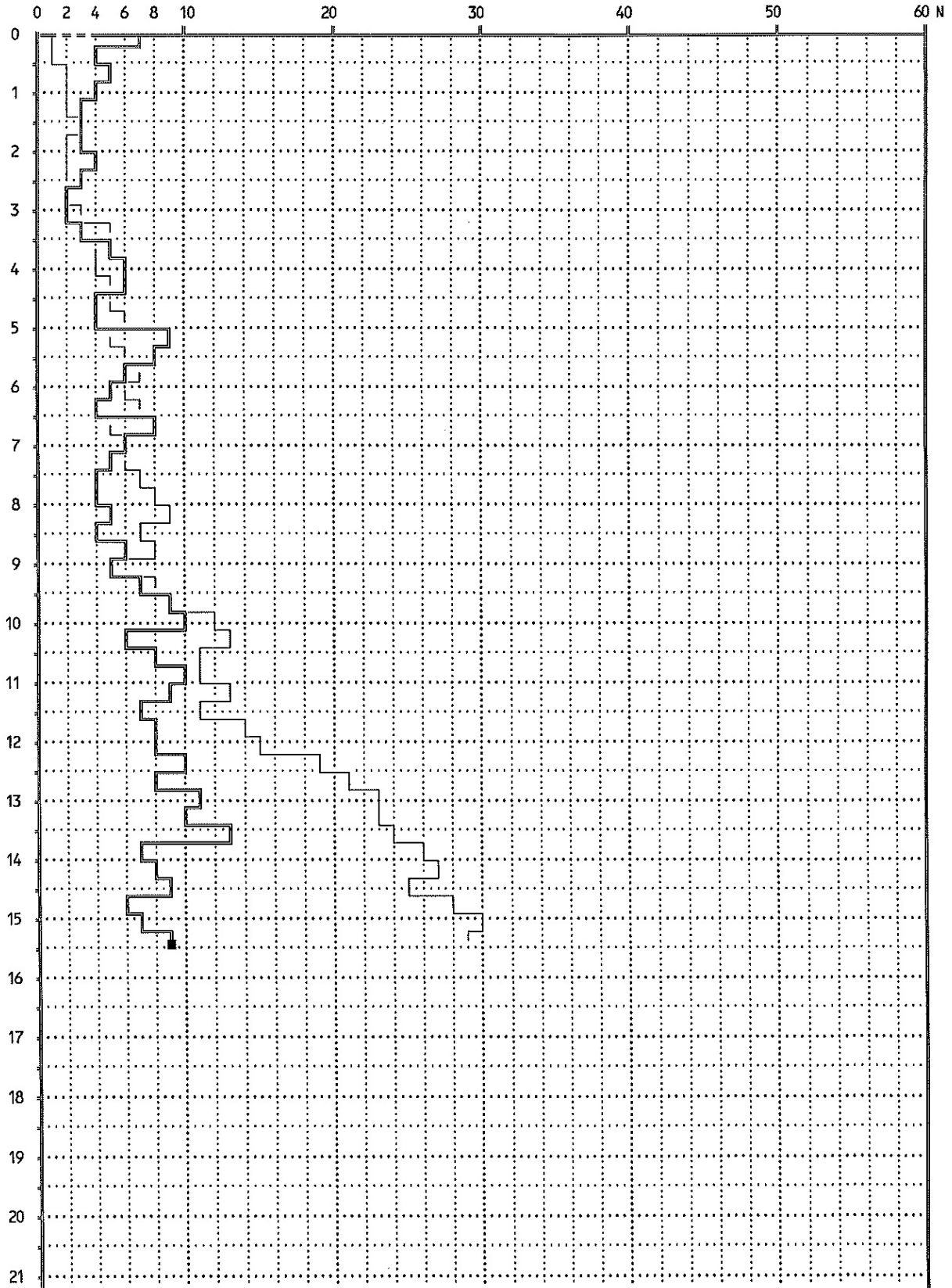
— Punta 60° $\phi = 2''$

— Tubazione di rivestimento $\phi = 1''1/2$

=== Inizio prova m. 0.00

Assenza acqua fino a m.1.20 poi foro ostruito

■ fine prova m.15.50



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P6

DATA: Settembre 2022

Disegno n°:7337P6H

Località : BORGIO SAN GIOVANNI

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante

N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici

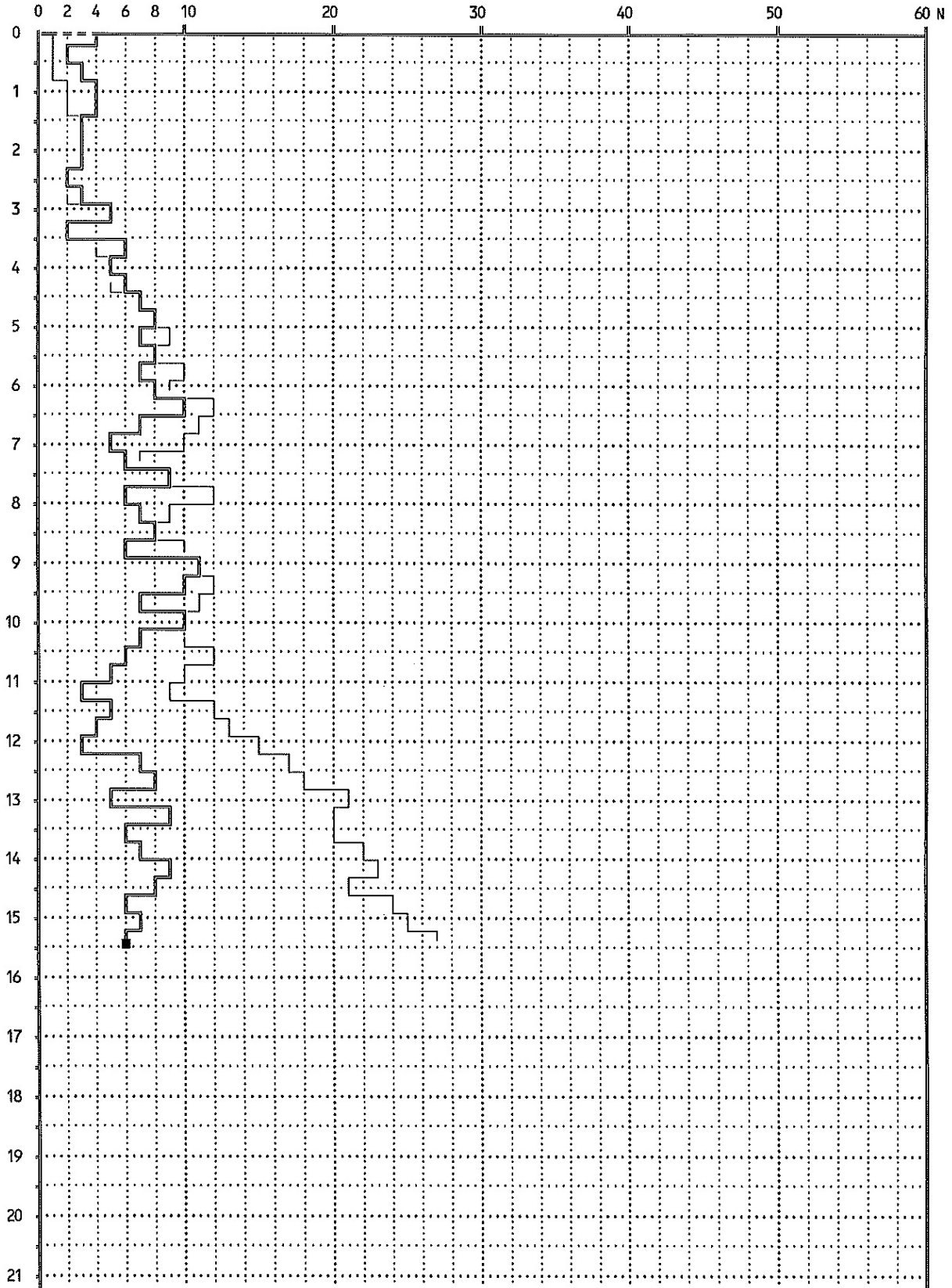
— Punta 60° $\phi = 2''$

— Tubazione di rivestimento $\phi = 1''1/2$

== = Inizio prova m. 0.00

Assenza acqua fino a m.0.90 poi foro ostruito

■ Fine prova m.15.50



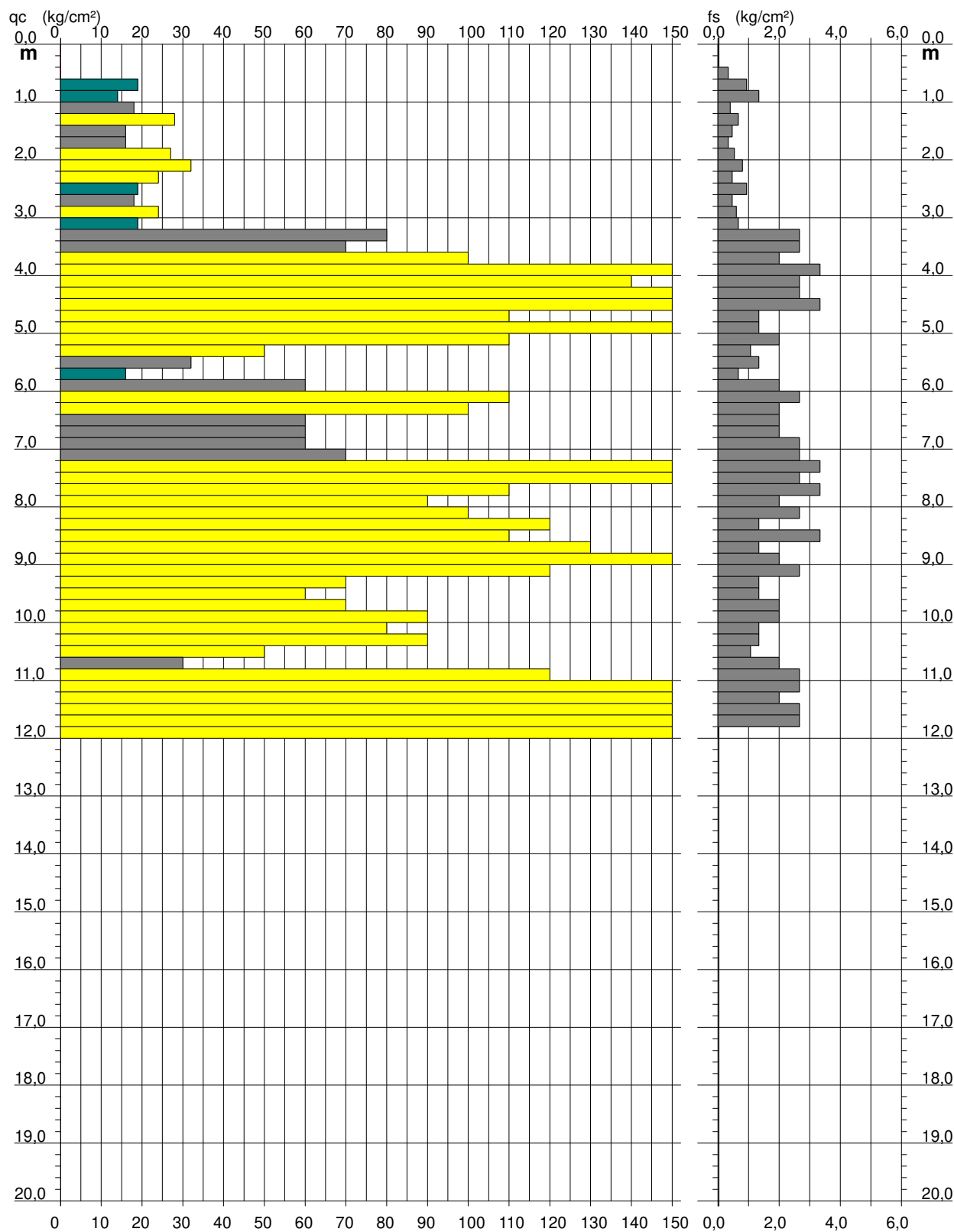
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



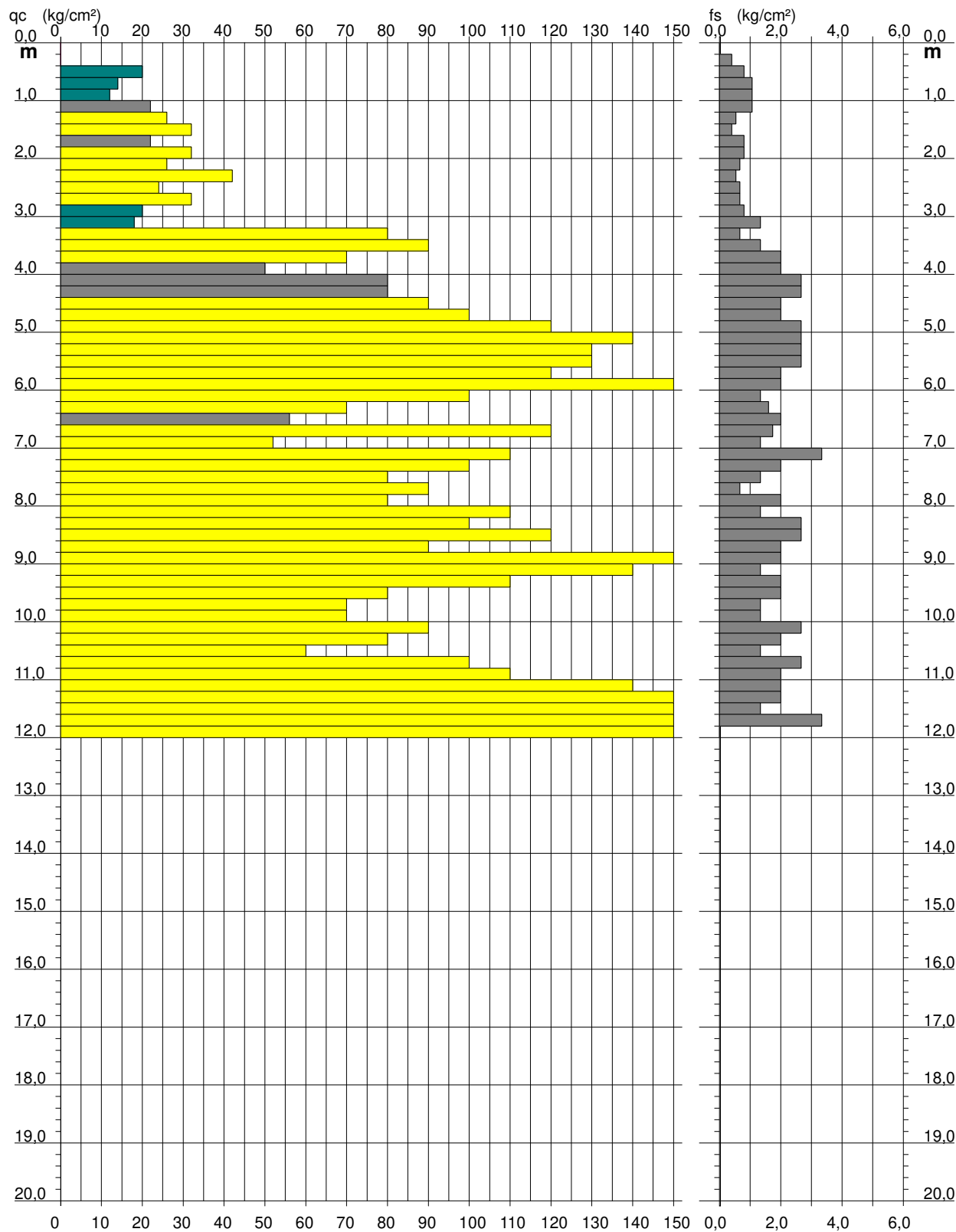
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



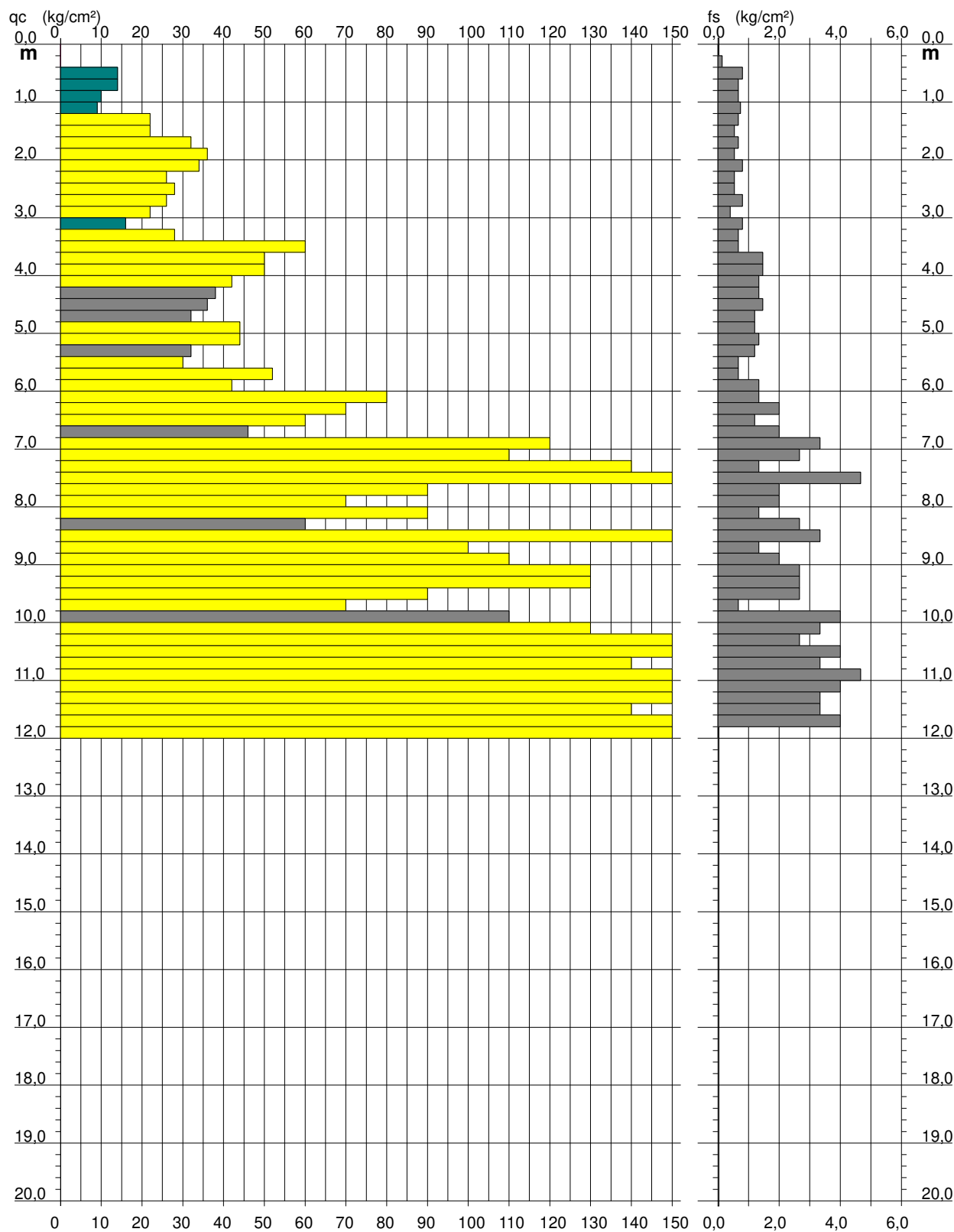
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



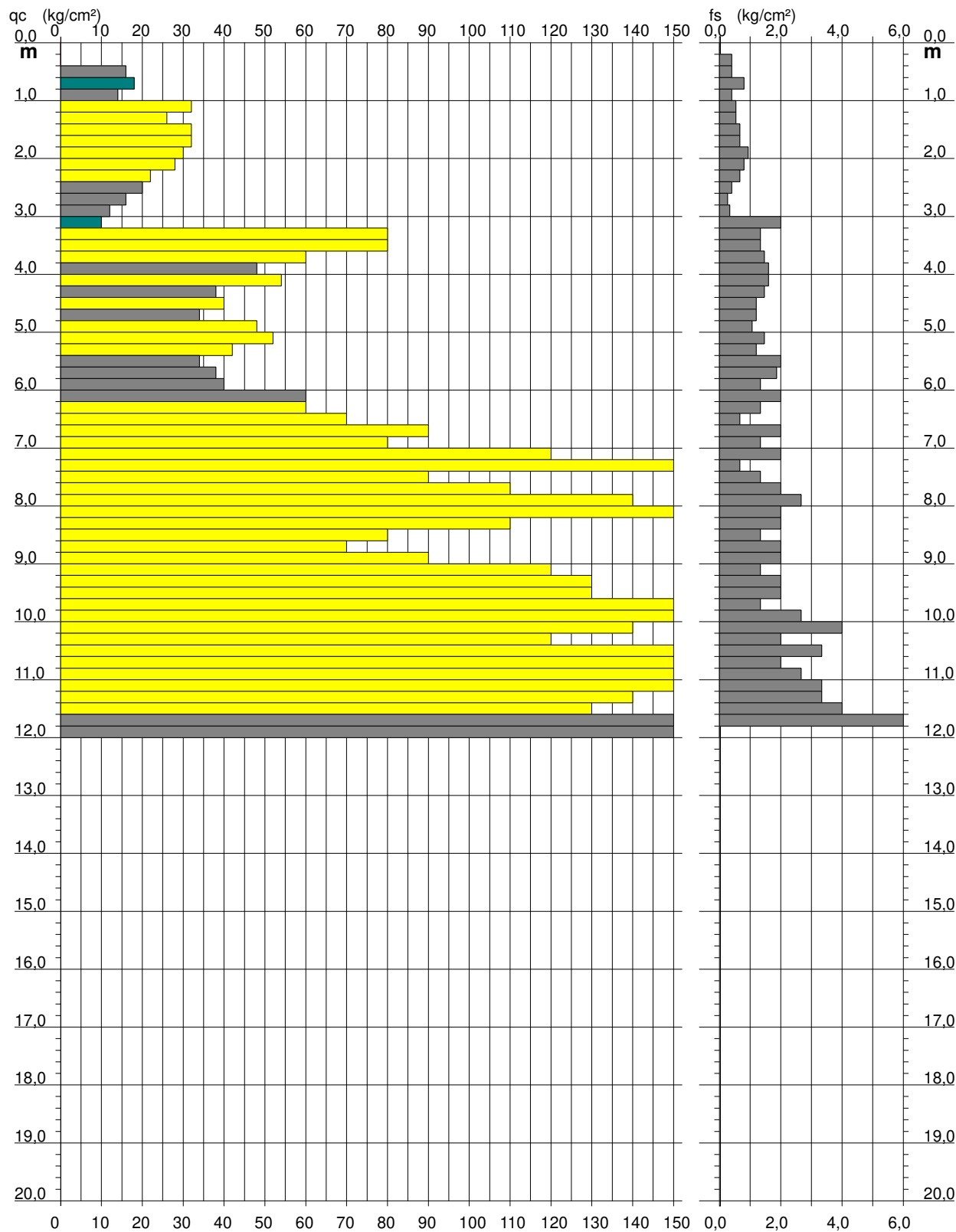
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



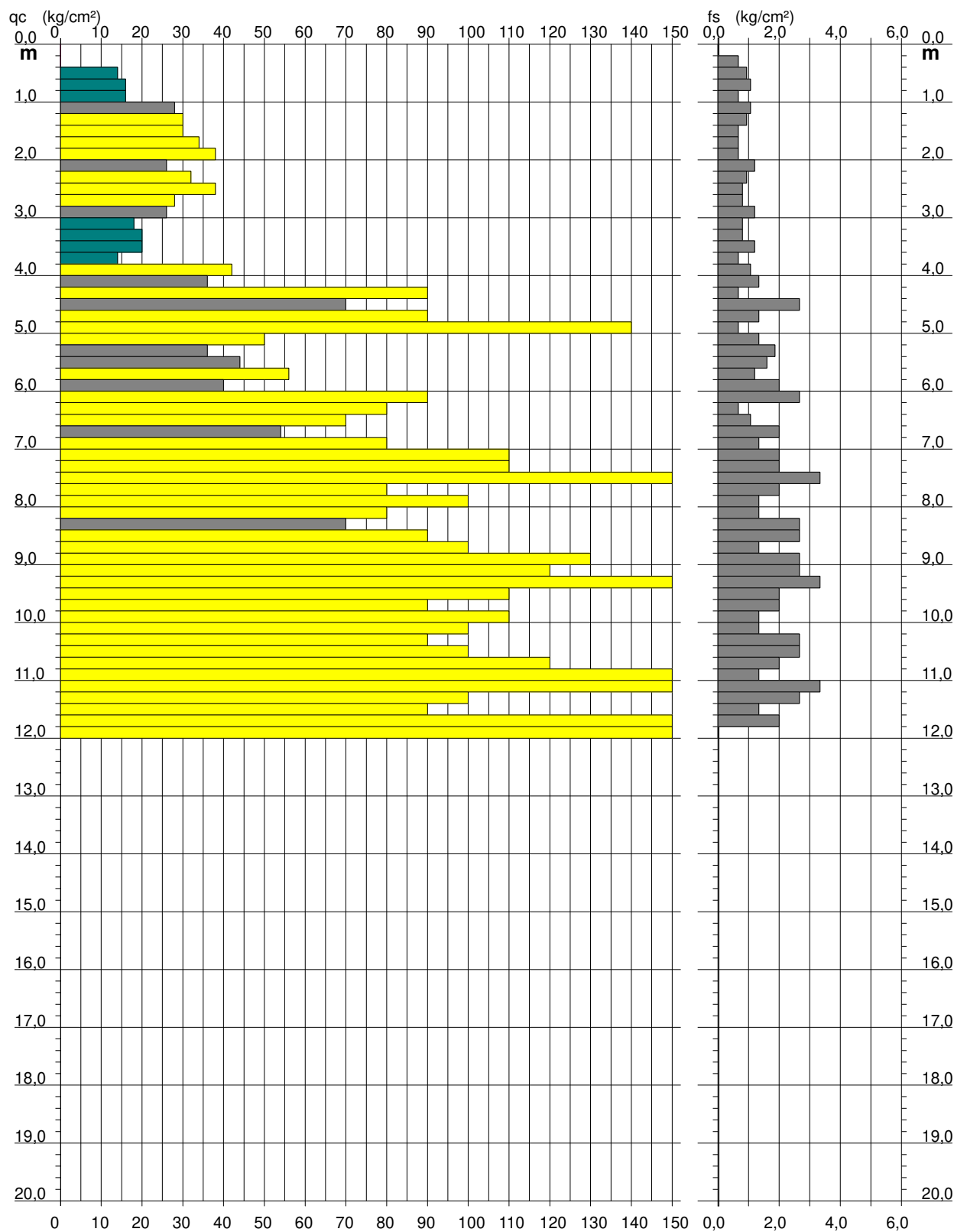
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 6

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata



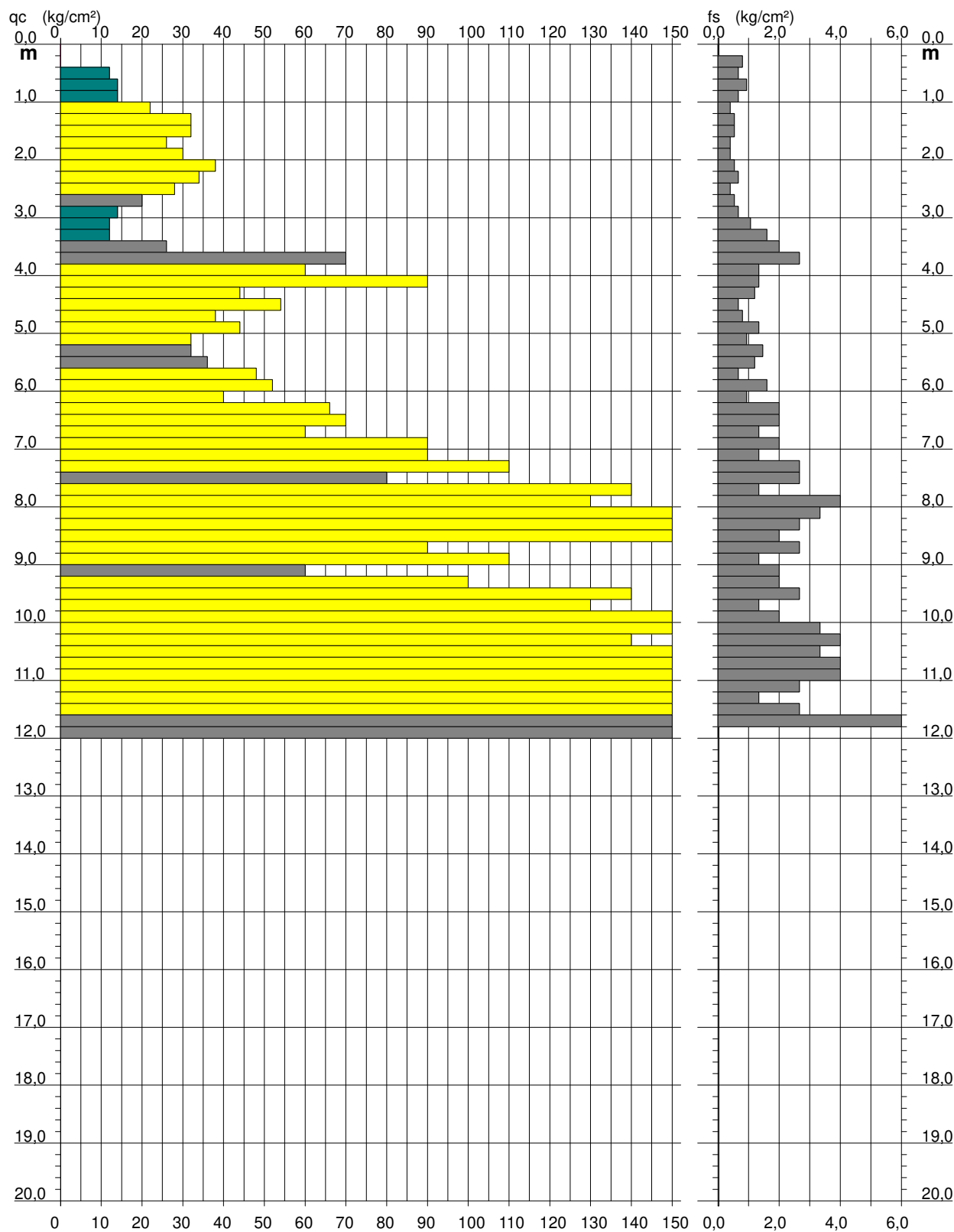
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 7

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



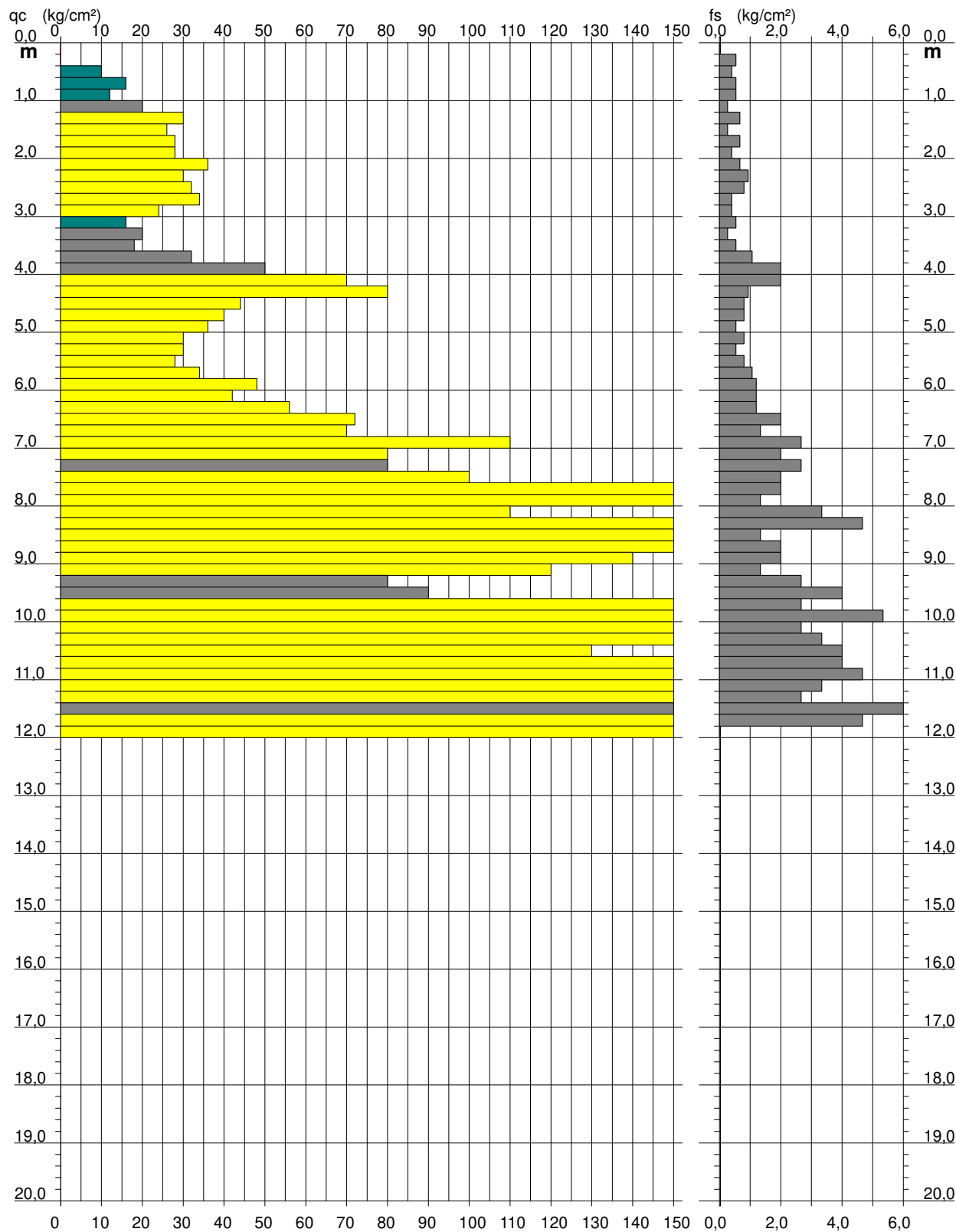
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



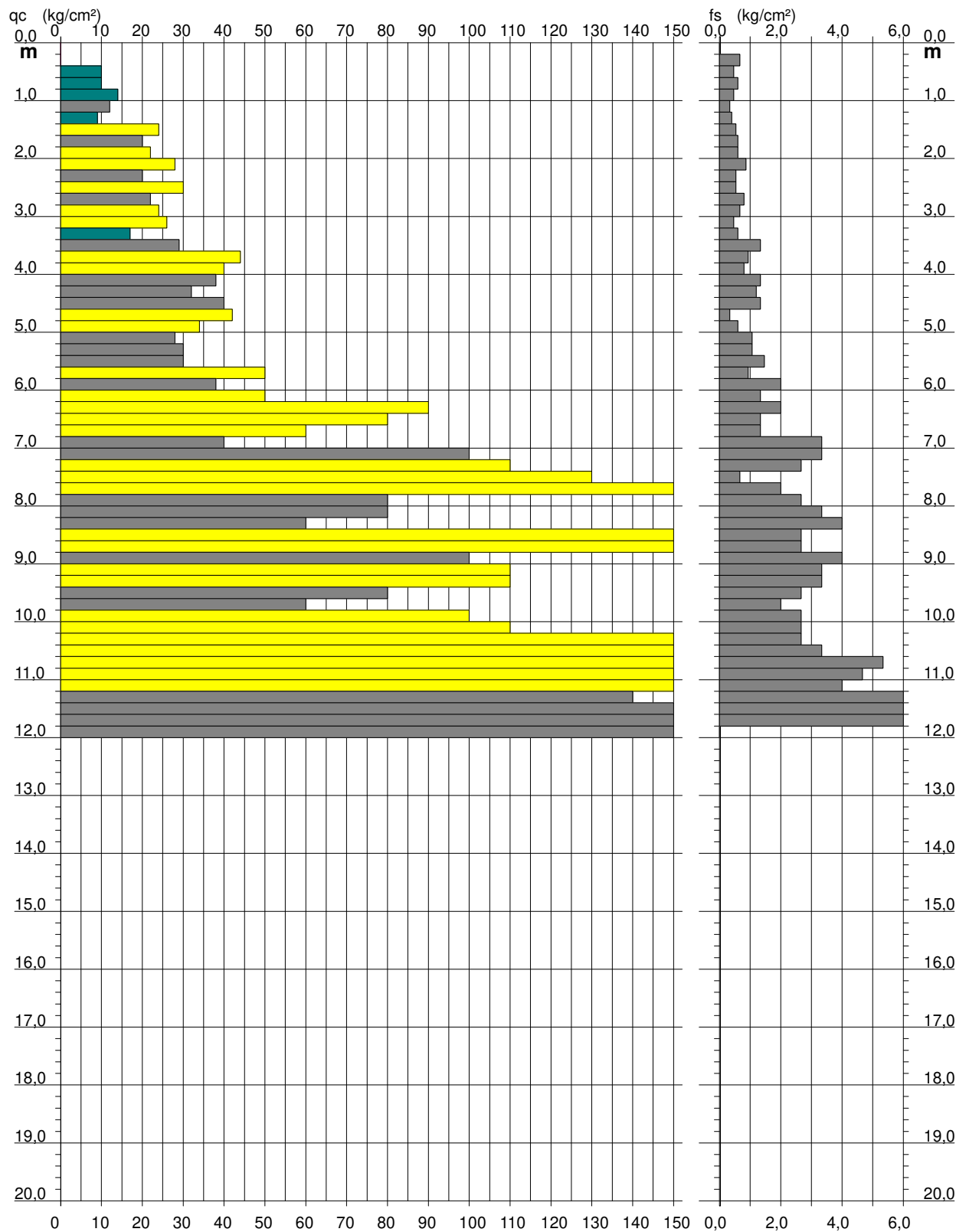
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 9

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



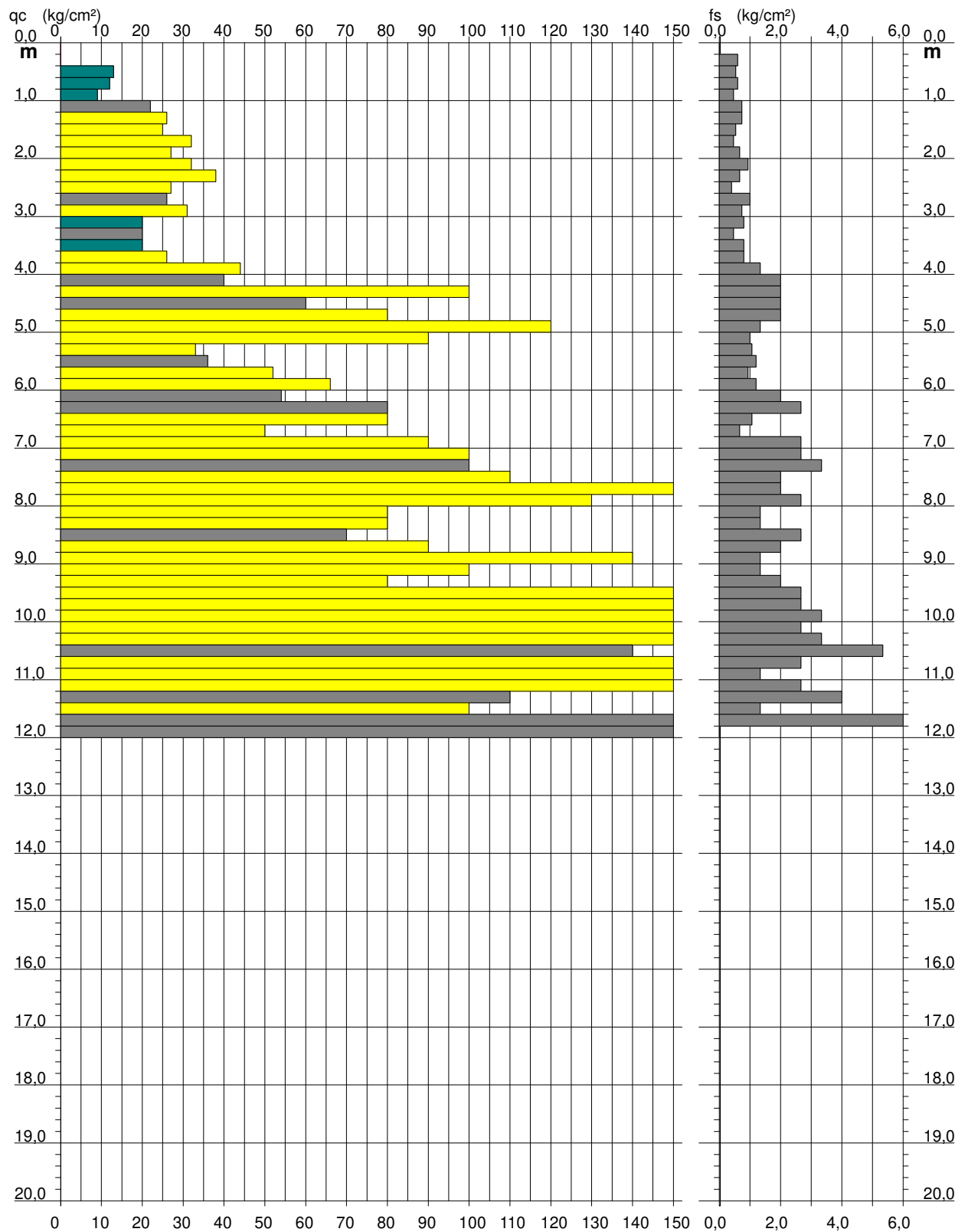
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 10

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



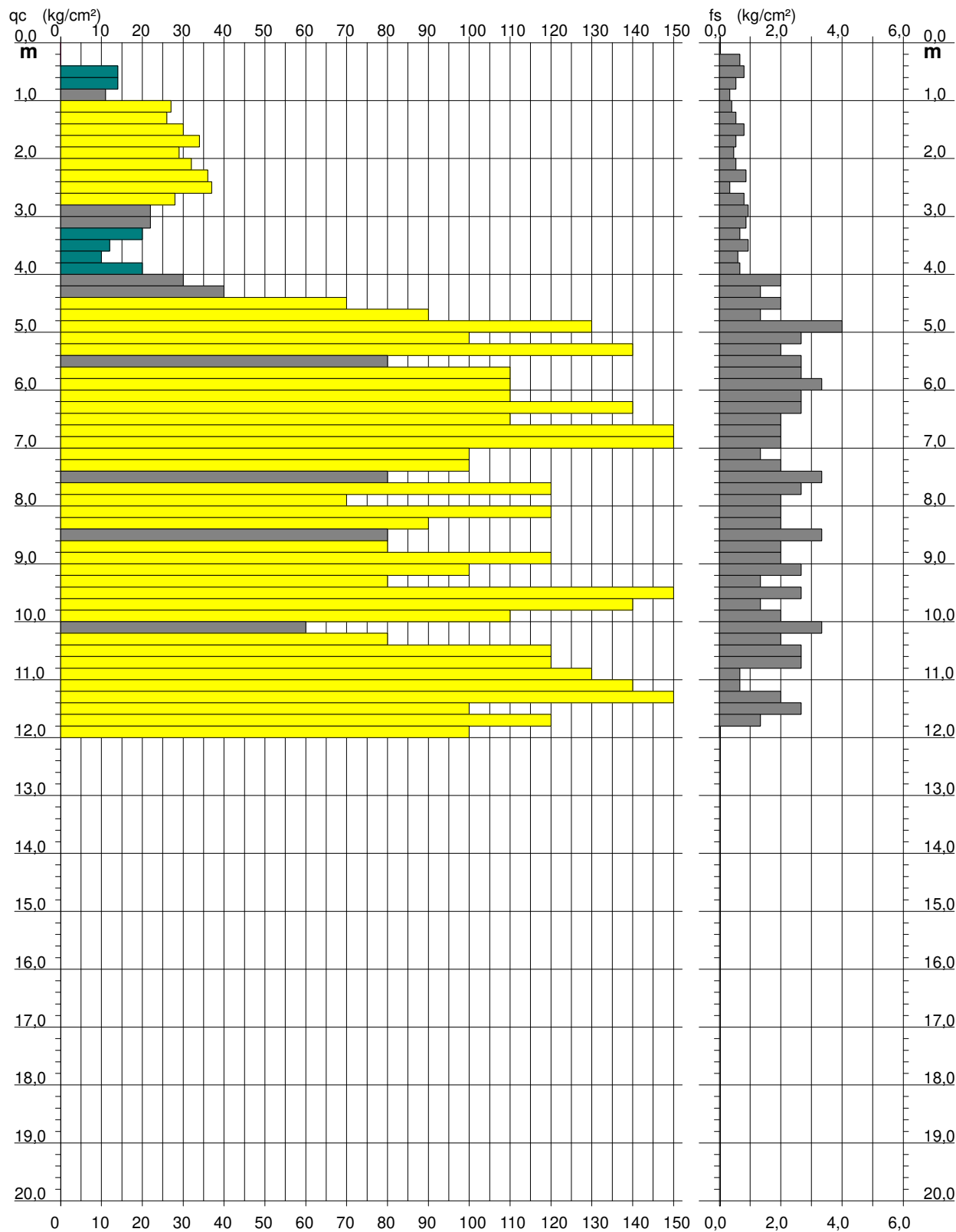
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 11

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



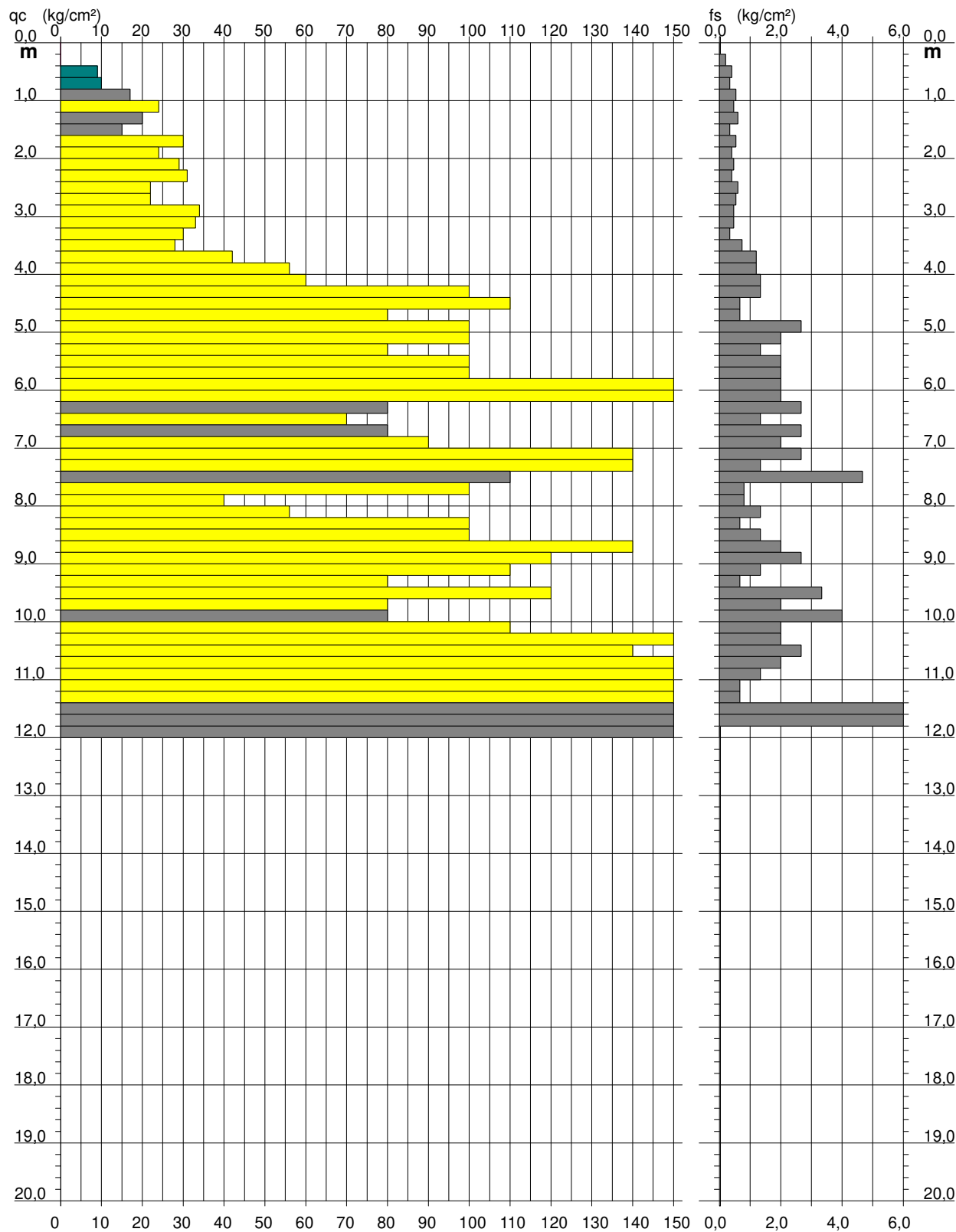
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 12

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



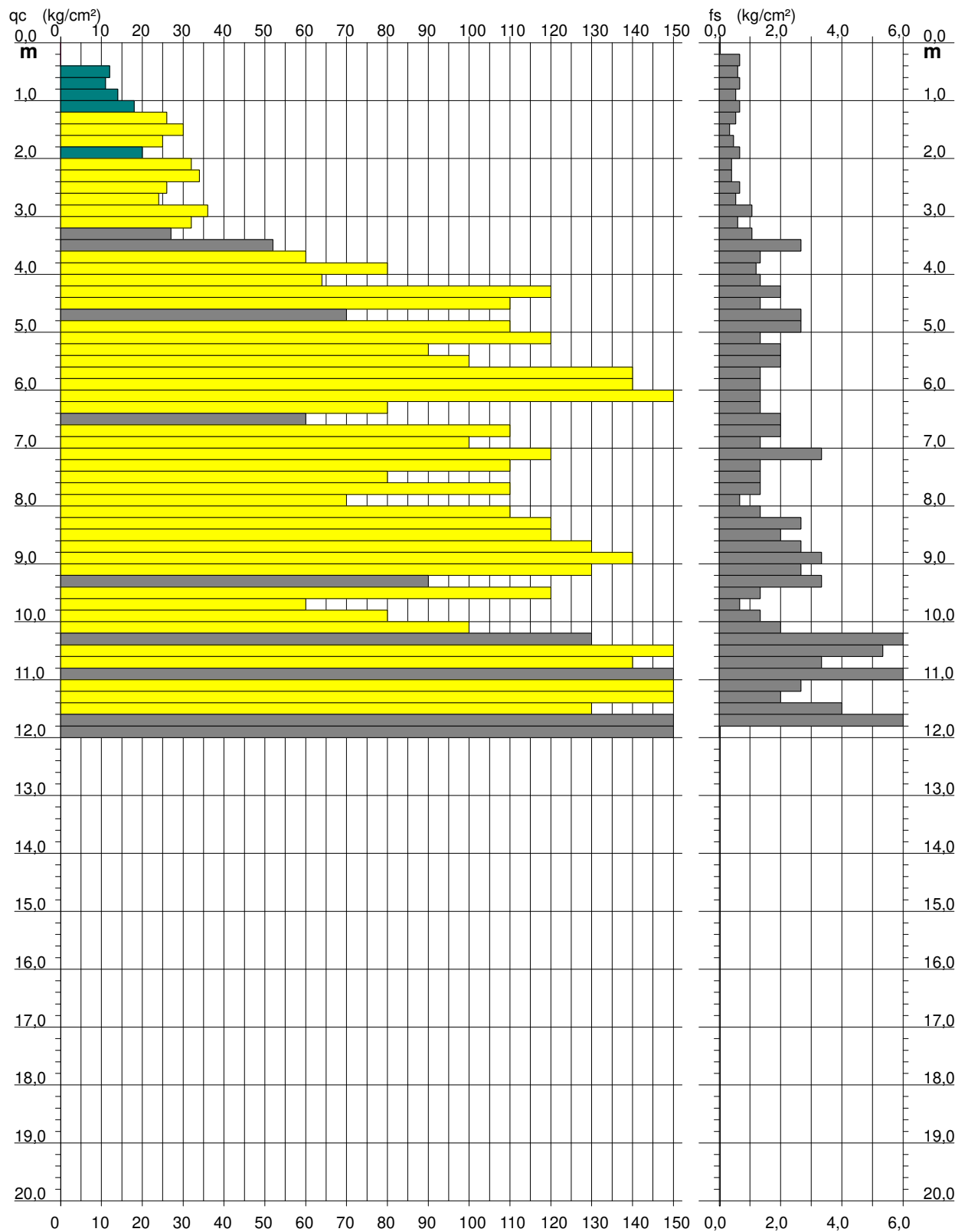
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 13

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



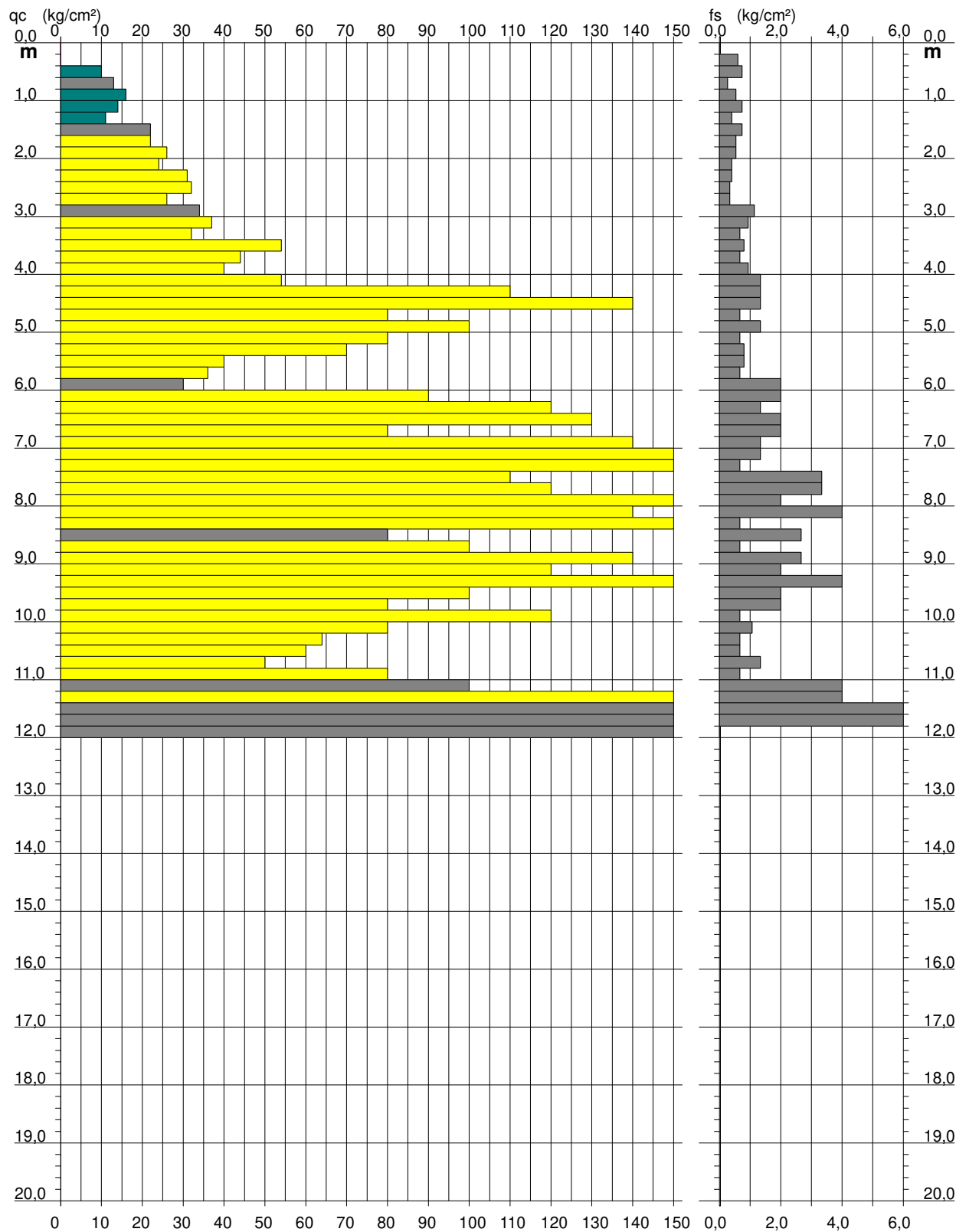
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 14

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata



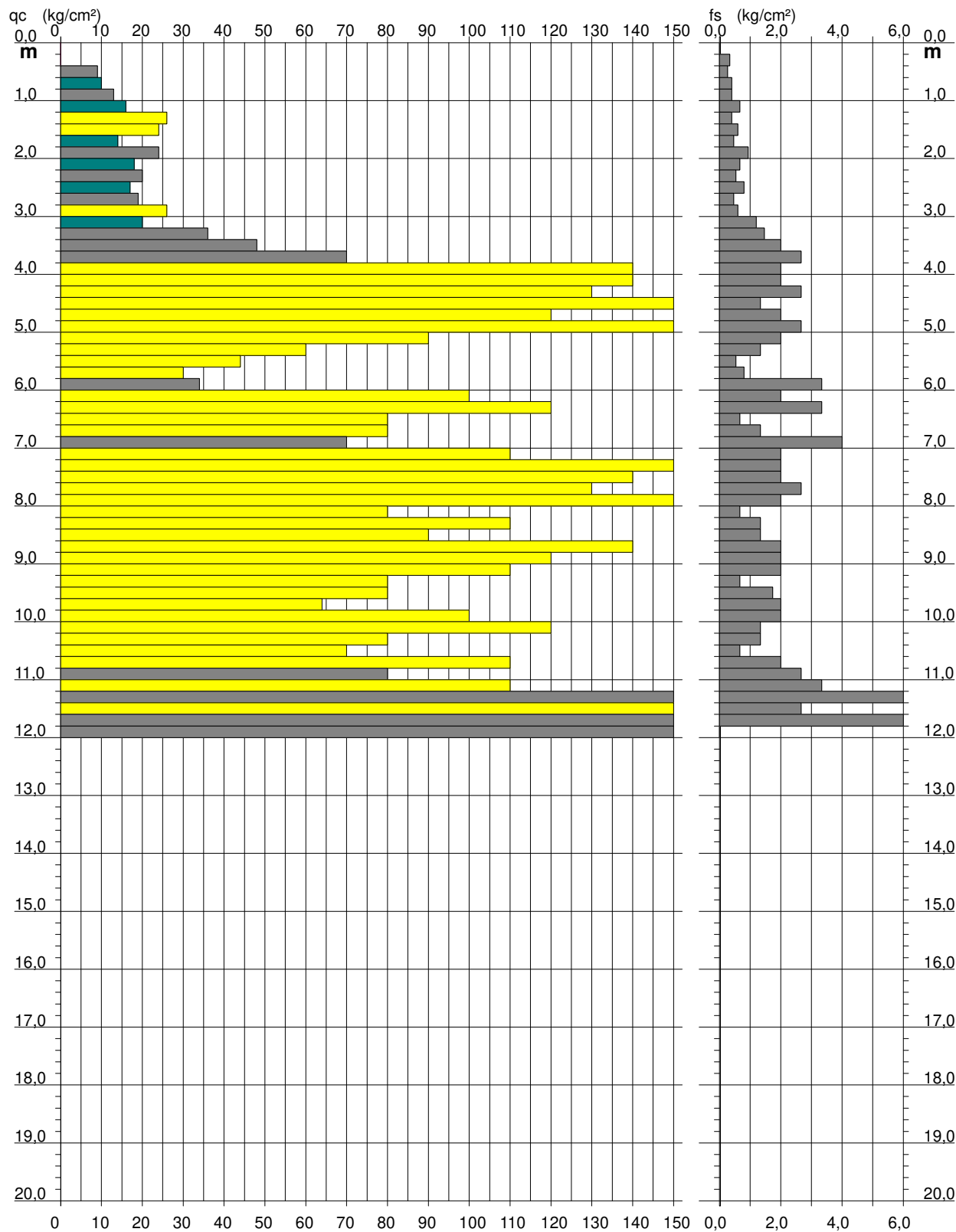
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 15

2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata



*Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.*

REGISTRAZIONI STRUMENTALI DEI VALORI DI Rp e Rl

CPT n. 1			CPT n. 2			CPT n. 3		
Prof.	Rp	Rl tot	Prof.	Rp	Rl tot	Prof.	Rp	Rl tot
m	Kg/cmq	Kg/cmq	m	Kg/cmq	Kg/cmq	m	Kg/cmq	Kg/cmq
0,2	1	2	0,2	1	2	0,2	1	2
0,4	16	24	0,4	9	11	0,4	16	20
0,6	12	26	0,6	16	23	0,6	10	16
0,8	12	19	0,8	20	31	0,8	12	18
1	48	65	1	20	31	1	27	35
1,2	31	49	1,2	24	36	1,2	23	29
1,4	34	46	1,4	25	31	1,4	25	32
1,6	27	34	1,6	30	38	1,6	24	31
1,8	25	35	1,8	23	31	1,8	26	34
2	35	40	2	22	29	2	23	36
2,2	34	43	2,2	18	24	2,2	18	22
2,4	30	38	2,4	18	23	2,4	23	31
2,6	28	38	2,6	16	21	2,6	63	73
2,8	27	34	2,8	32	41	2,8	77	93
3	25	36	3	47	61	3	97	107
3,2	24	38	3,2	55	70	3,2	75	100
3,4	93	105	3,4	11	145	3,4	58	72
3,6	71	81	3,6	122	148	3,6	76	98
3,8	38	58	3,8	99	118	3,8	73	83
4	12	25	4	61	82	4	75	82
4,2	47	62	4,2	50	70	4,2	55	69
4,4	117	128	4,4	113	127	4,4	63	95
4,6	107	137	4,6	70	94	4,6	70	98
4,8	125	156	4,8	58	69	4,8	88	103
5	133	167	5	14	23	5	112	142
5,2	140	170	5,2	12	131	5,2	123	154
5,4	200	238	5,4	102	129	5,4	32	51
5,6	187	227	5,6	93	120	5,6	33	55
5,8	196	224	5,8	130	156	5,8	27	40
6	203	239	6	102	121	6	36	42
6,2	135	196	6,2	114	139	6,2	16	31
6,4	142	187	6,4	80	100	6,4	54	85
6,6	131	158	6,6	75	96	6,6	96	103
6,8	133	162	6,8	75	91	6,8	100	124
7	154	179	7	109	130	7	102	131

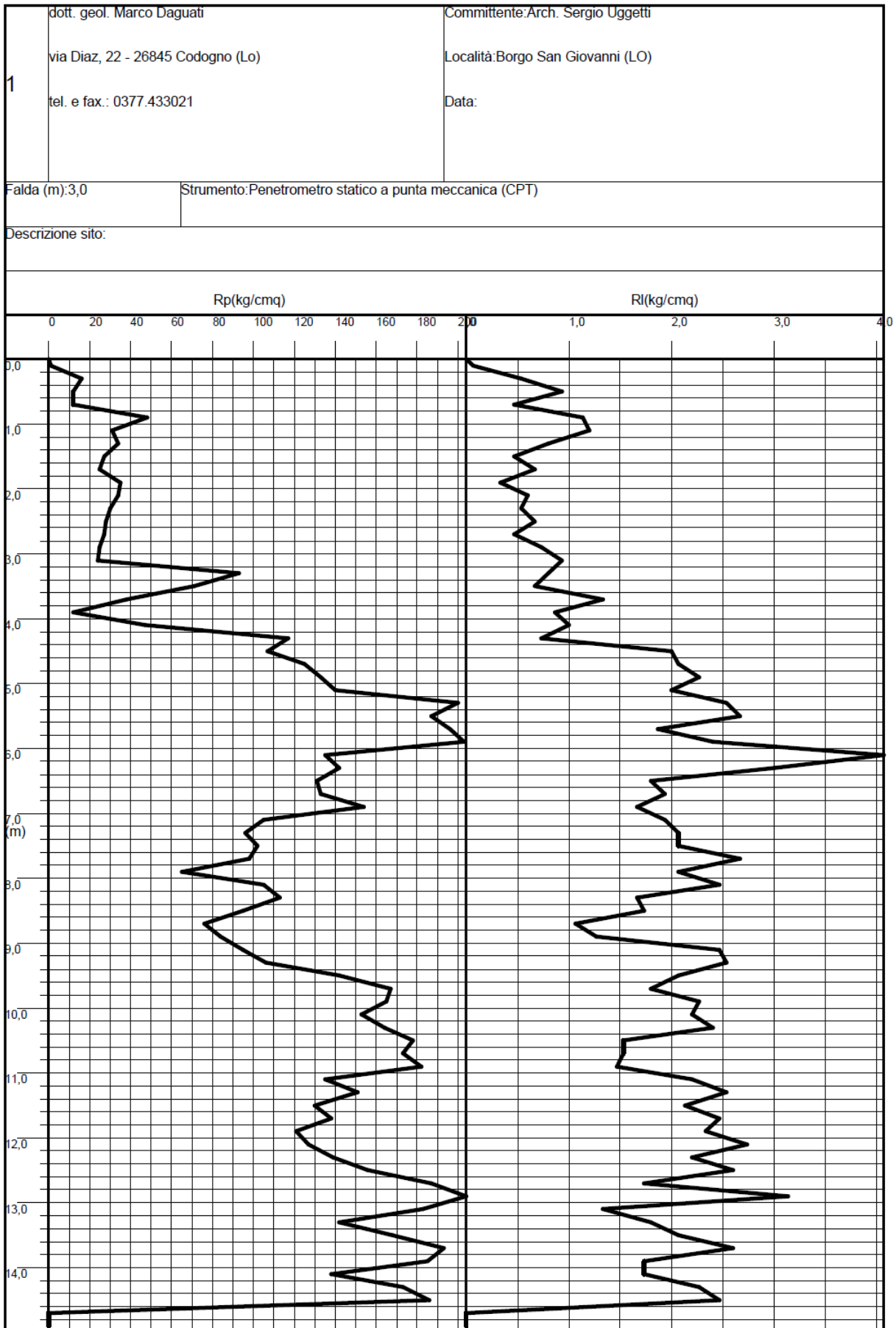
*Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.*

7,2	105	134	7,2	90	116	7,2	105	137
7,4	96	127	7,4	134	168	7,4	89	107
7,6	102	133	7,6	91	111	7,6	91	118
7,8	98	138	7,8	92	126	7,8	95	124
8	65	96	8	95	136	8	113	136
8,2	105	142	8,2	108	129	8,2	124	158
8,4	113	138	8,4	97	112	8,4	131	163
8,6	95	121	8,6	63	88	8,6	105	134
8,8	76	92	8,8	91	126	8,8	90	121
9	84	103	9	100	124	9	83	99
9,2	95	132	9,2	86	116	9,2	102	138
9,4	106	144	9,4	129	157	9,4	121	143
9,6	142	173	9,6	168	194	9,6	105	139
9,8	167	194	9,8	164	219	9,8	136	177
10	165	199	10	178	216	10	158	192
10,2	153	186	10,2	166	232	10,2	157	169
10,4	164	200	10,4	177	240	10,4	193	138
10,6	178	201	10,6	167	238	10,6	205	276
10,8	173	196	10,8	203	272	10,8	234	271
11	182	204	11	230	286	11	184	230
11,2	135	168	11,2	225	293	11,2	163	204
11,4	151	189	11,4	205	282	11,4	185	239
11,6	130	162	11,6	159	194	11,6	213	244
11,8	138	175	11,8	125	167	11,8	263	350
12	121	156	12	134	163	12	224	267
12,2	127	168	12,2	144	187	12,2	165	201
12,4	139	172	12,4	138	175	12,4	153	187
12,6	156	195	12,6	148	187	12,6	132	162
12,8	187	213	12,8	120	156	12,8	144	173
13	204	251	13	117	150	13	138	163
13,2	183	203	13,2	148	189	13,2	135	176
13,4	142	169	13,4	165	200	13,4	183	207
13,6	168	199	13,6	183	213	13,6	194	230
13,8	193	232	13,8	182	221	13,8	178	217
14	185	211	14	178	198	14	159	196
14,2	138	164	14,2	182	216	14,2	172	208
14,4	173	207	14,4	195	235	14,4	173	214
14,6	186	223	14,6	194	241	14,6	187	221
14,8	---	---	14,8	---	---	14,8		
15	---	---	15	---	---	15		

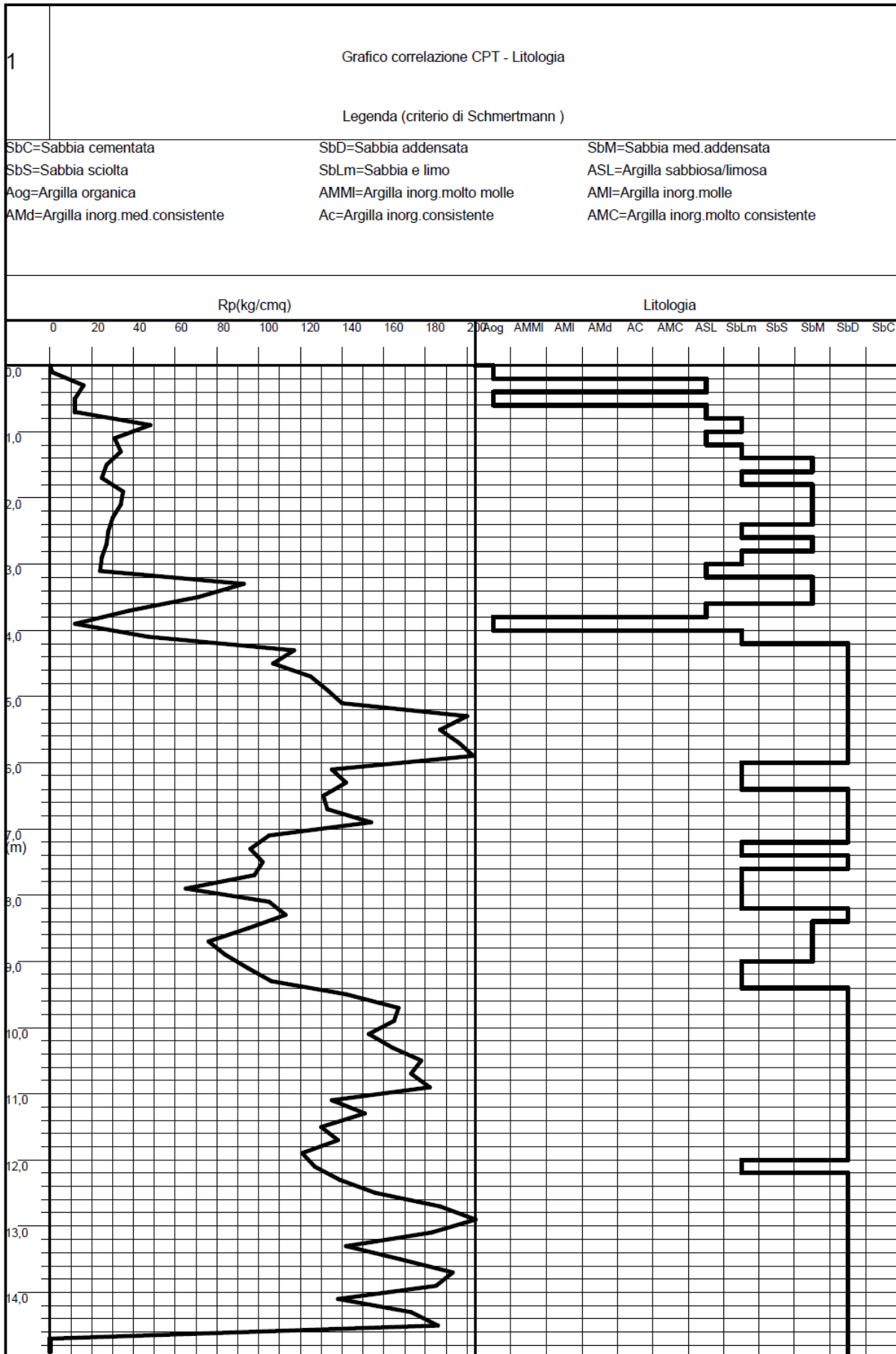
*Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.*

PROFILI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

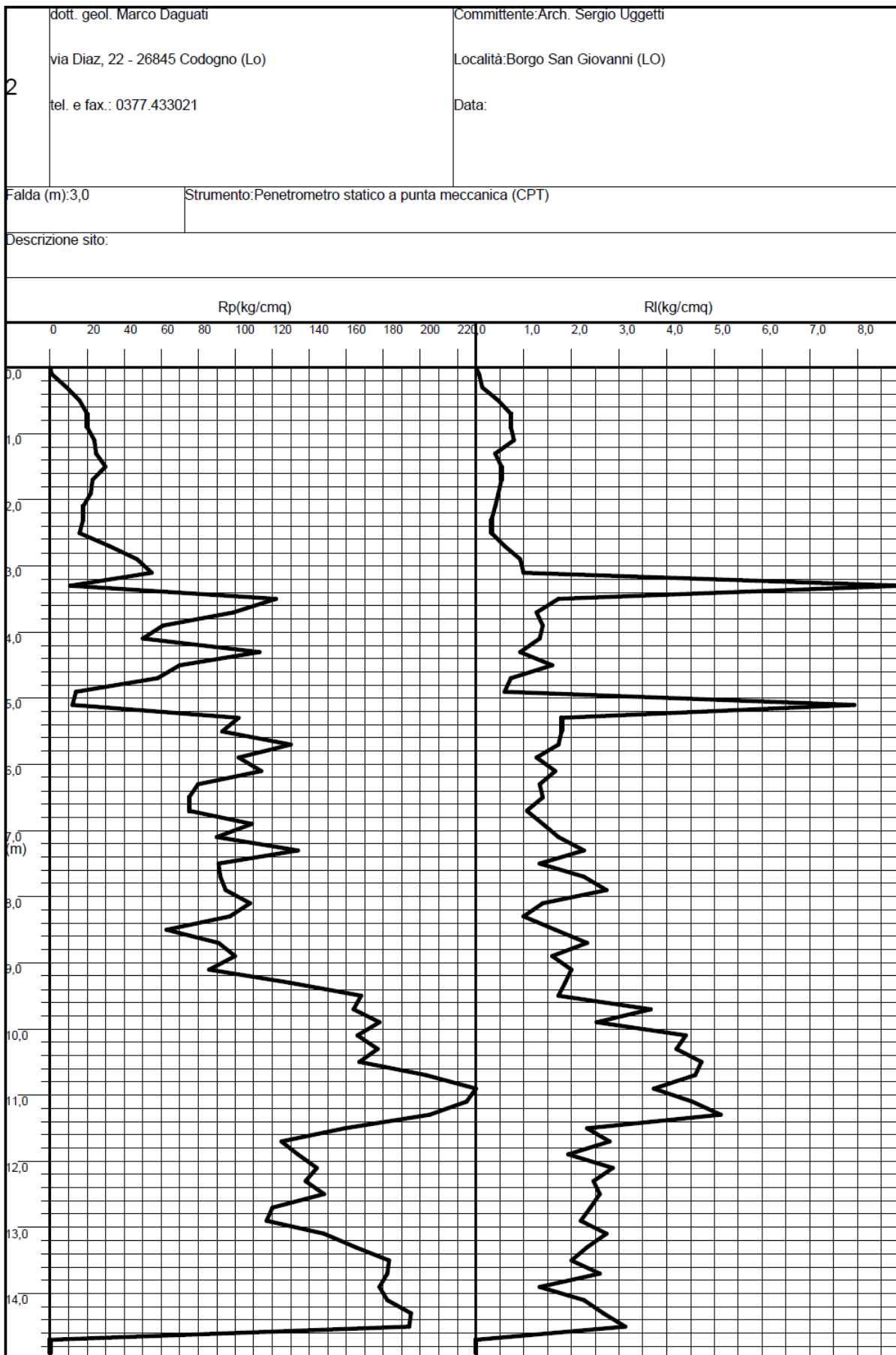
Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.



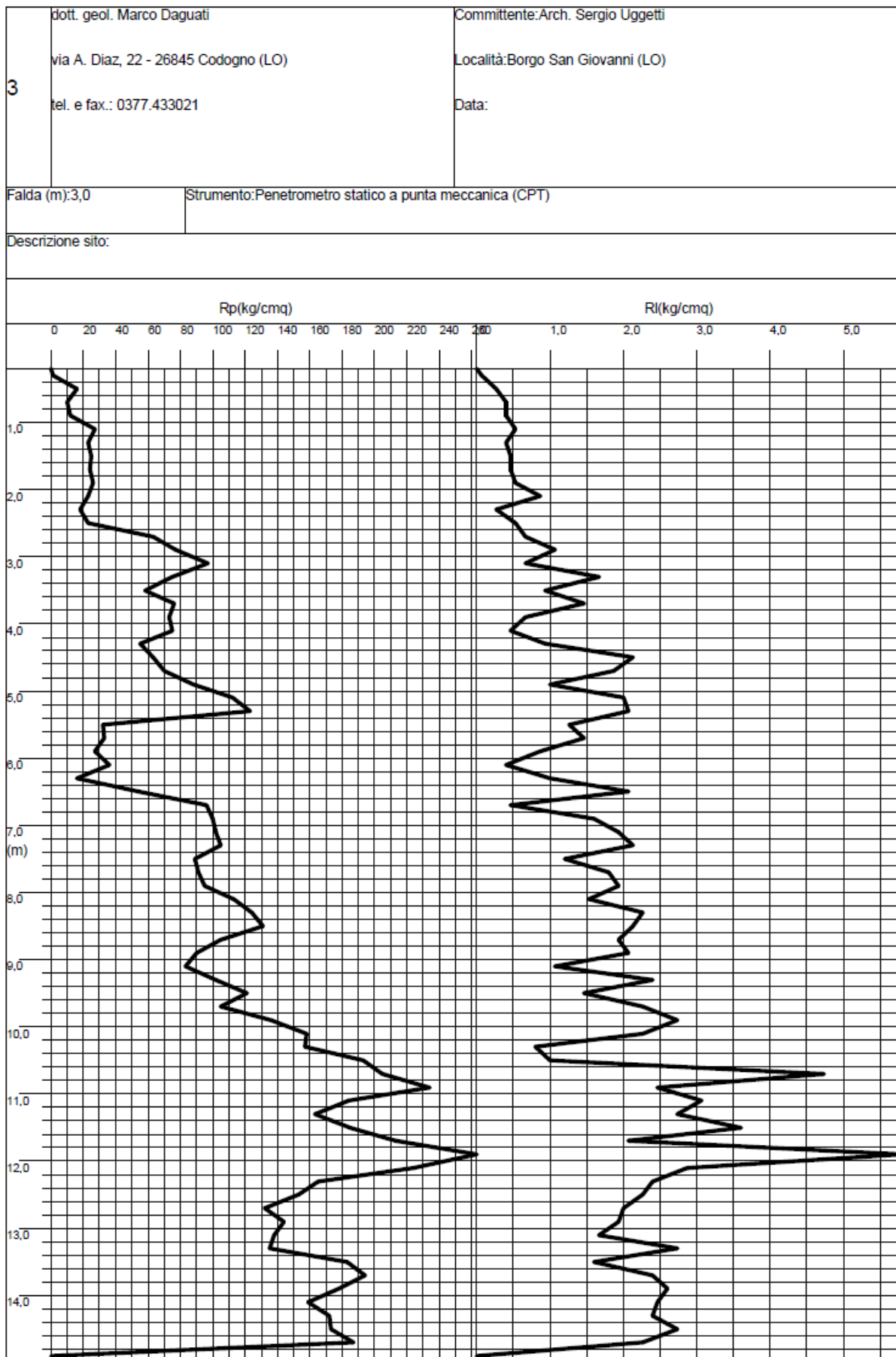
Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.



Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.



Progetto di nuovo fabbricato in Comune di Borgo San Giovanni:
Indagine geologica e geotecnica sui terreni di fondazione.



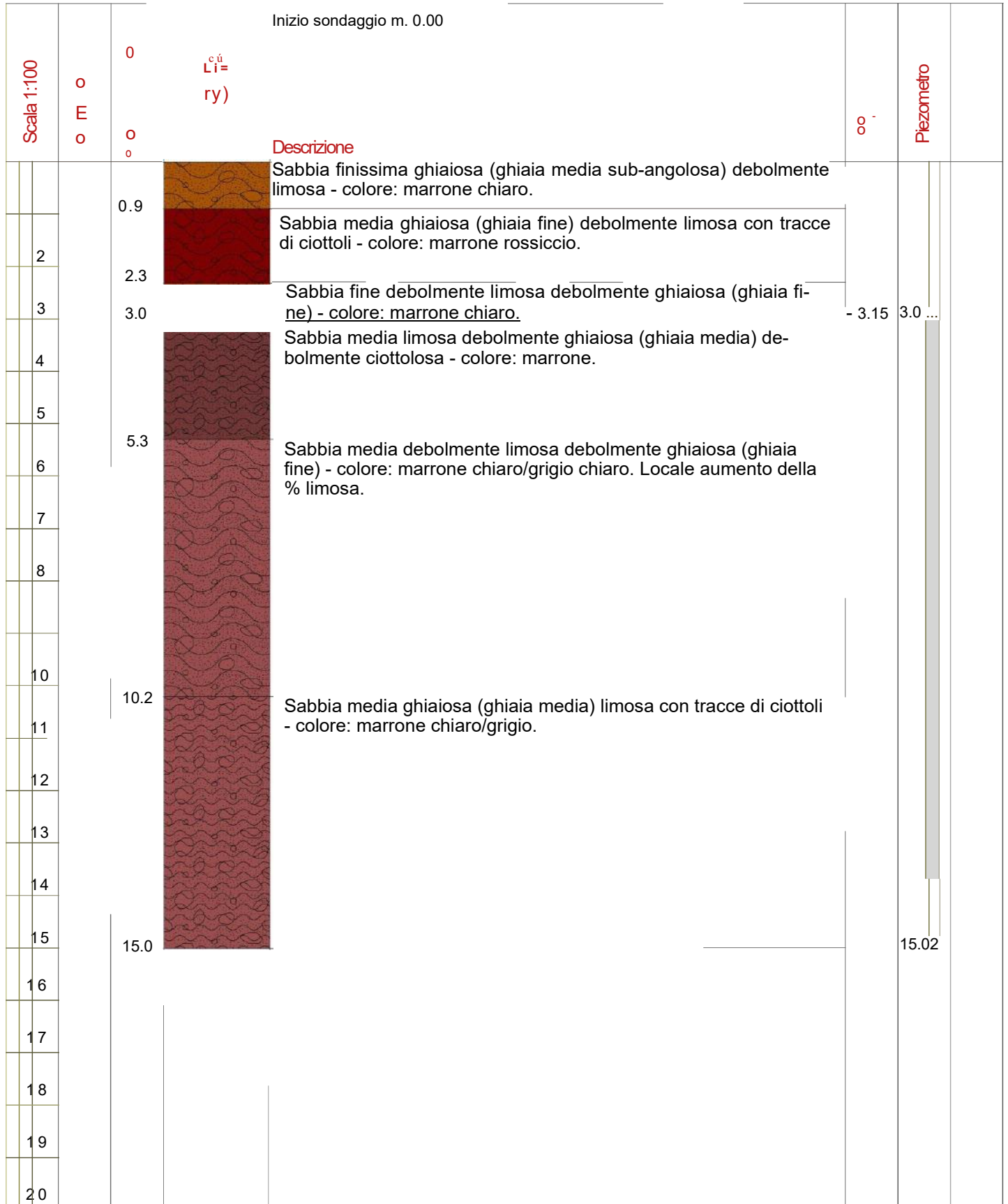


ALLEGATO 2

Stratigrafie:

Celotti set '22

Geo3 Ago '21





SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° S2

DATA: Settembre 2022

Dis. n°: 7337

Località: BORGO SAN GIOVANNI

Inizio sondaggio m. 0.00

Fine sondaggio m. 15.0

Scala 1:100	Profondità (m)	Strati	Descrizione	Acqua	Piezometro	N° colpi SPT
1	11		Sabbia fine debolmente ghiaiosa (ghiaia media) debolmente limosa - colore: marrone chiaro.	3.20		7 4
2	25		Sabbia media debolmente ghiaiosa (ghiaia fine) debolmente limosa - colore: marrone rossiccio.			
3	3.2		Sabbia fine debolmente limosa - colore: marrone/grigio chiaro. Tracce di ghiaia fine.			
4	58		Sabbia media limosa ghiaiosa (ghiaia media) - colore: marrone chiaro.			
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11	110		Sabbia media ghiaiosa (ghiaia fine) debolmente limosa con tracce di ciottoli - colore: marrone chiaro/grigio chiaro.			10 8
12						9 7
13						
14						
15	150					10 9
16						
17						
18						
19						
20						



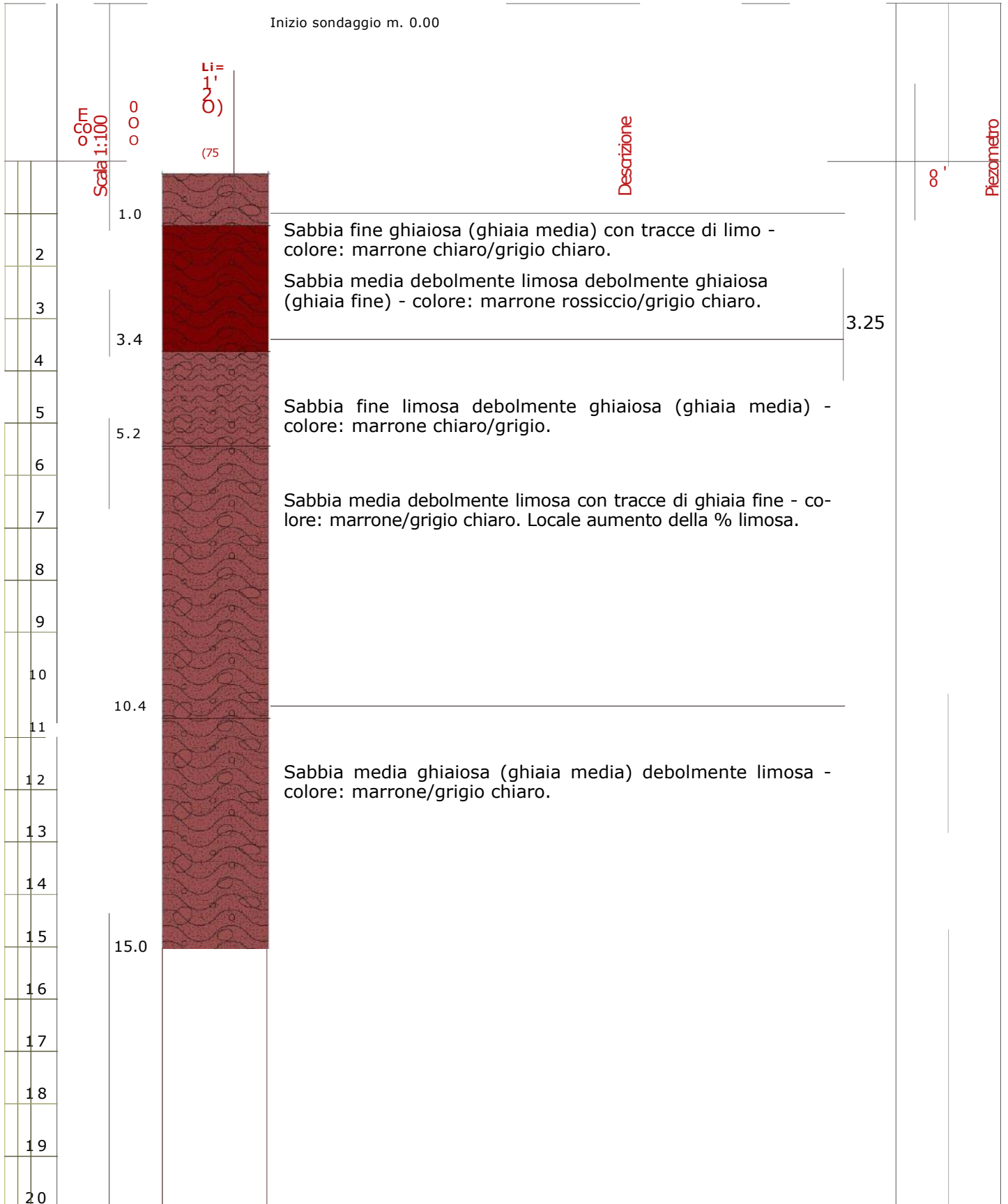
STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via
Mincio n° 22 - 20139 MILANO SONDAGGIO
GEOGNOSTICO N° S3

Dis. n°: 7337

DATA: Settembre 2022

Località: BORGO SAN GIOVANNI

Fine sondaggio m. 15.0



LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: **F = (qc / fs)**

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = qc / fs	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
F < 15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15 < F ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
F > 60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di qc e di FR = (fs / qc) %

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi

PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

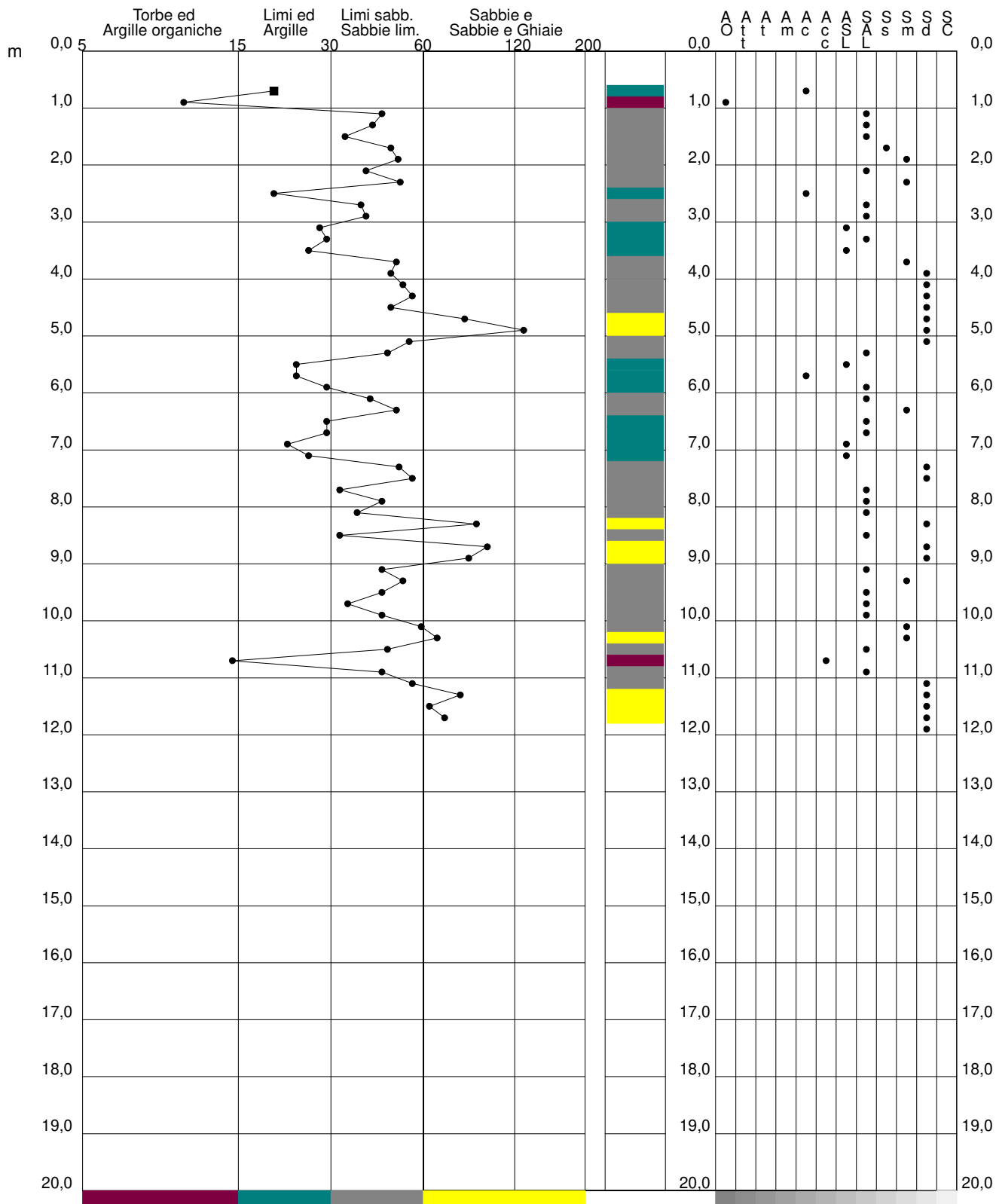
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

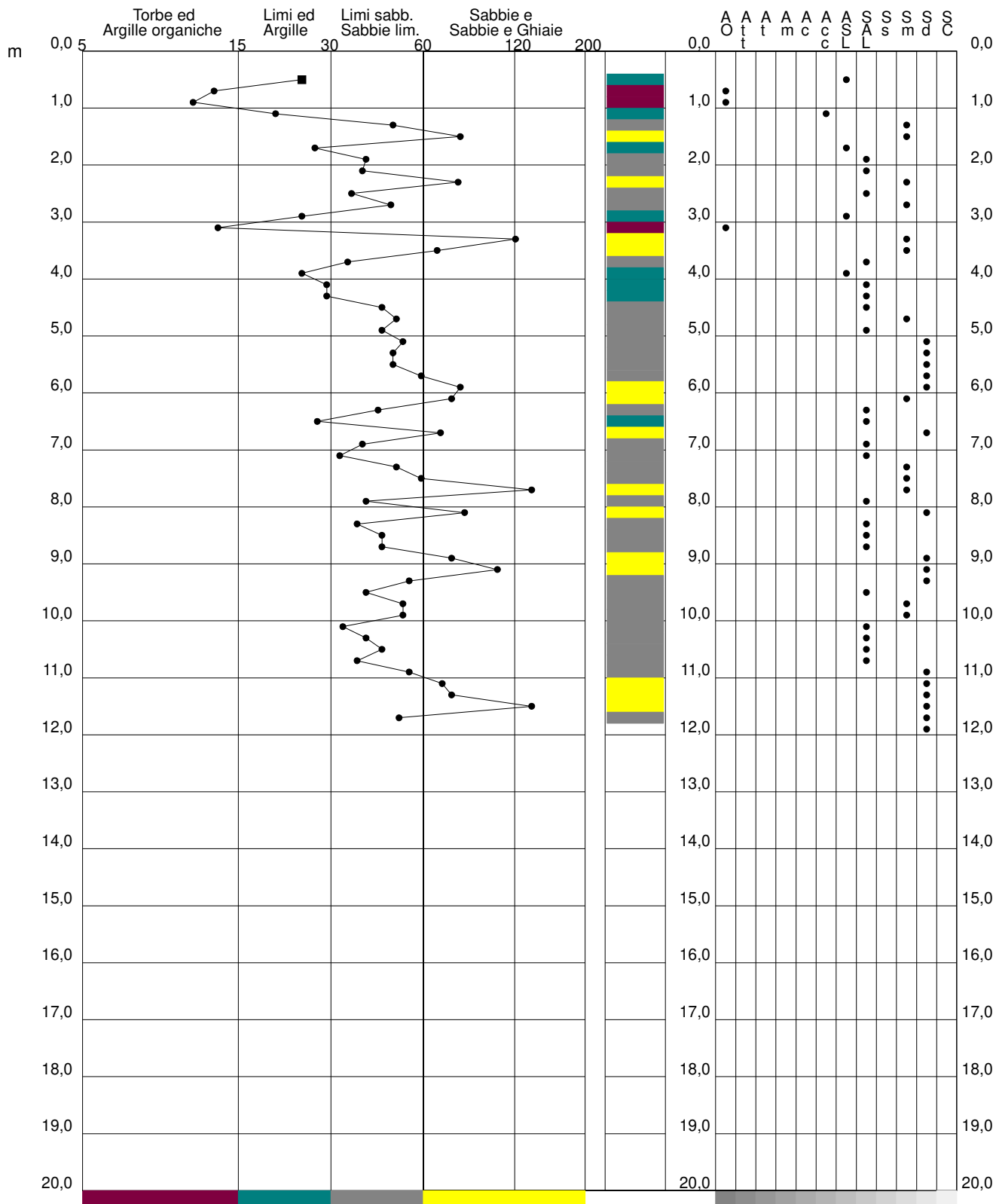
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

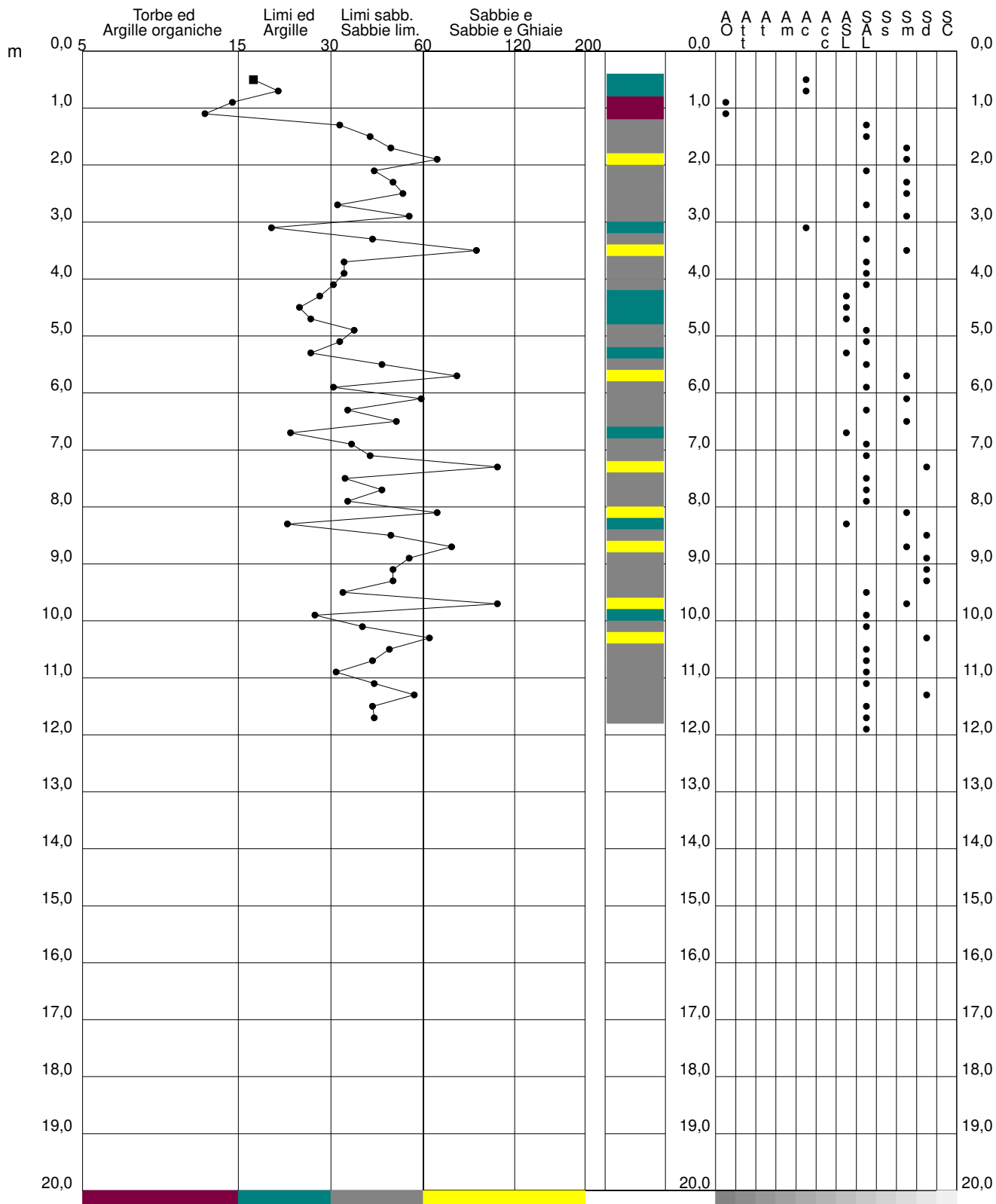
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 4

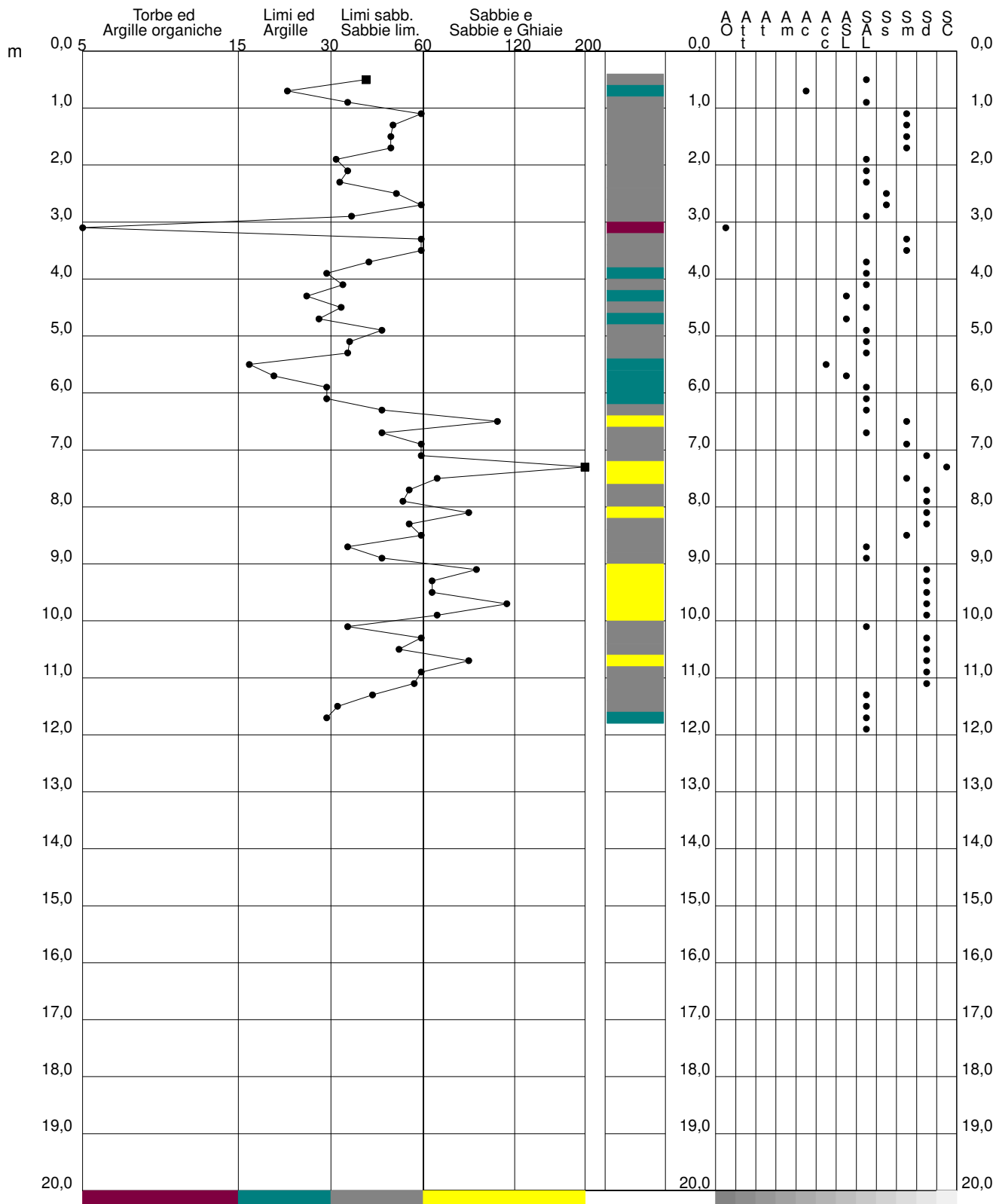
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 5

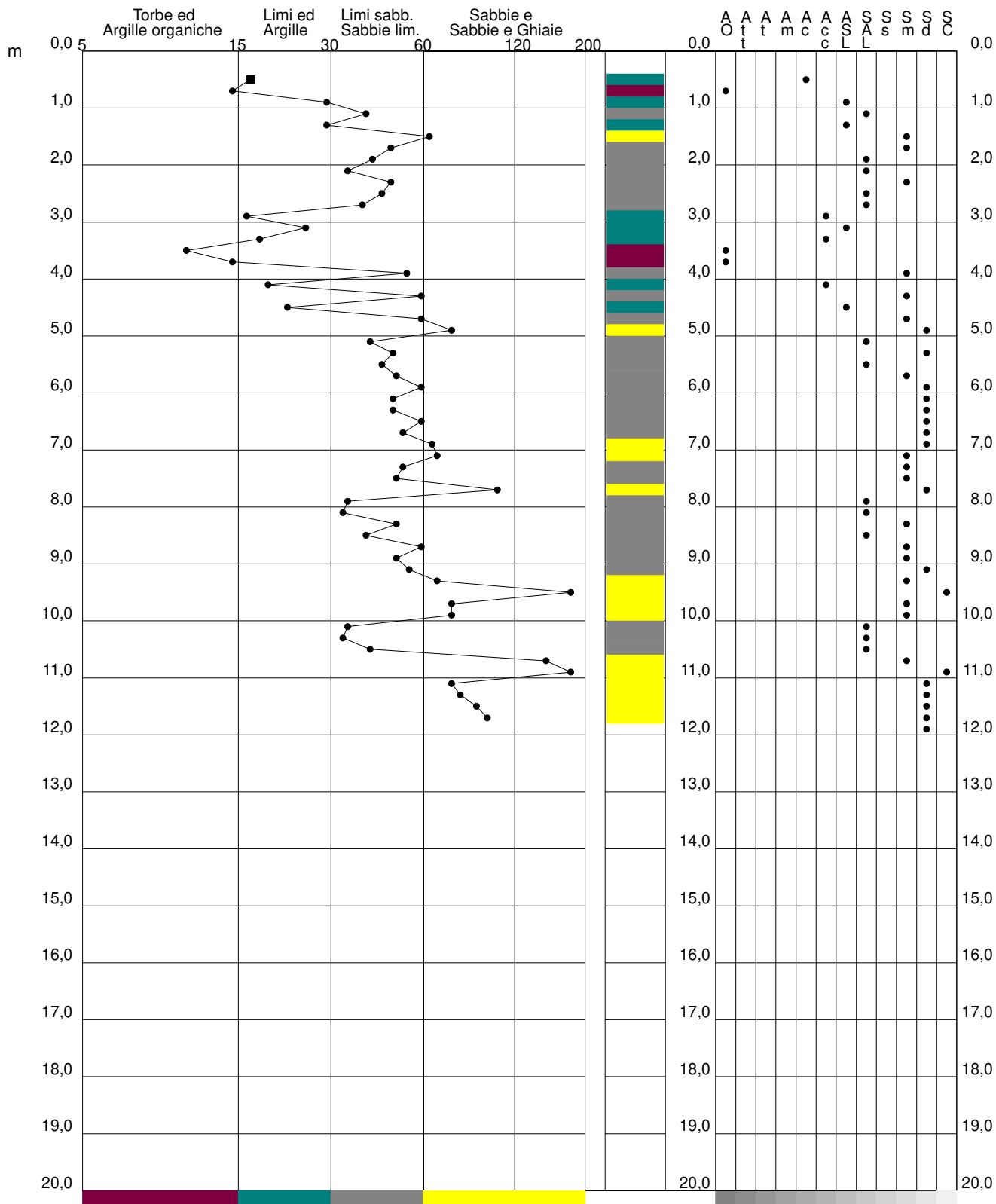
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 6

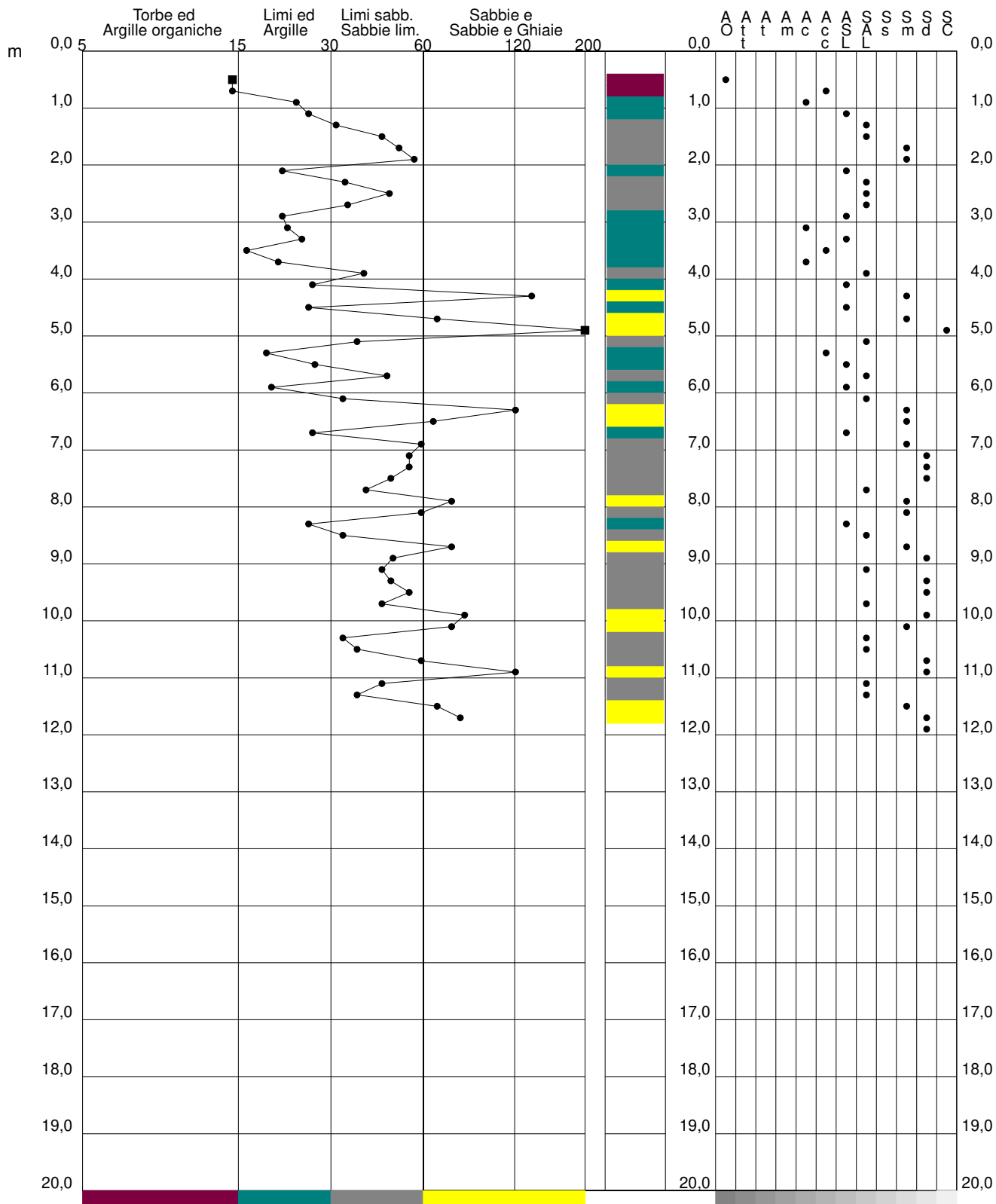
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 18/03/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 7

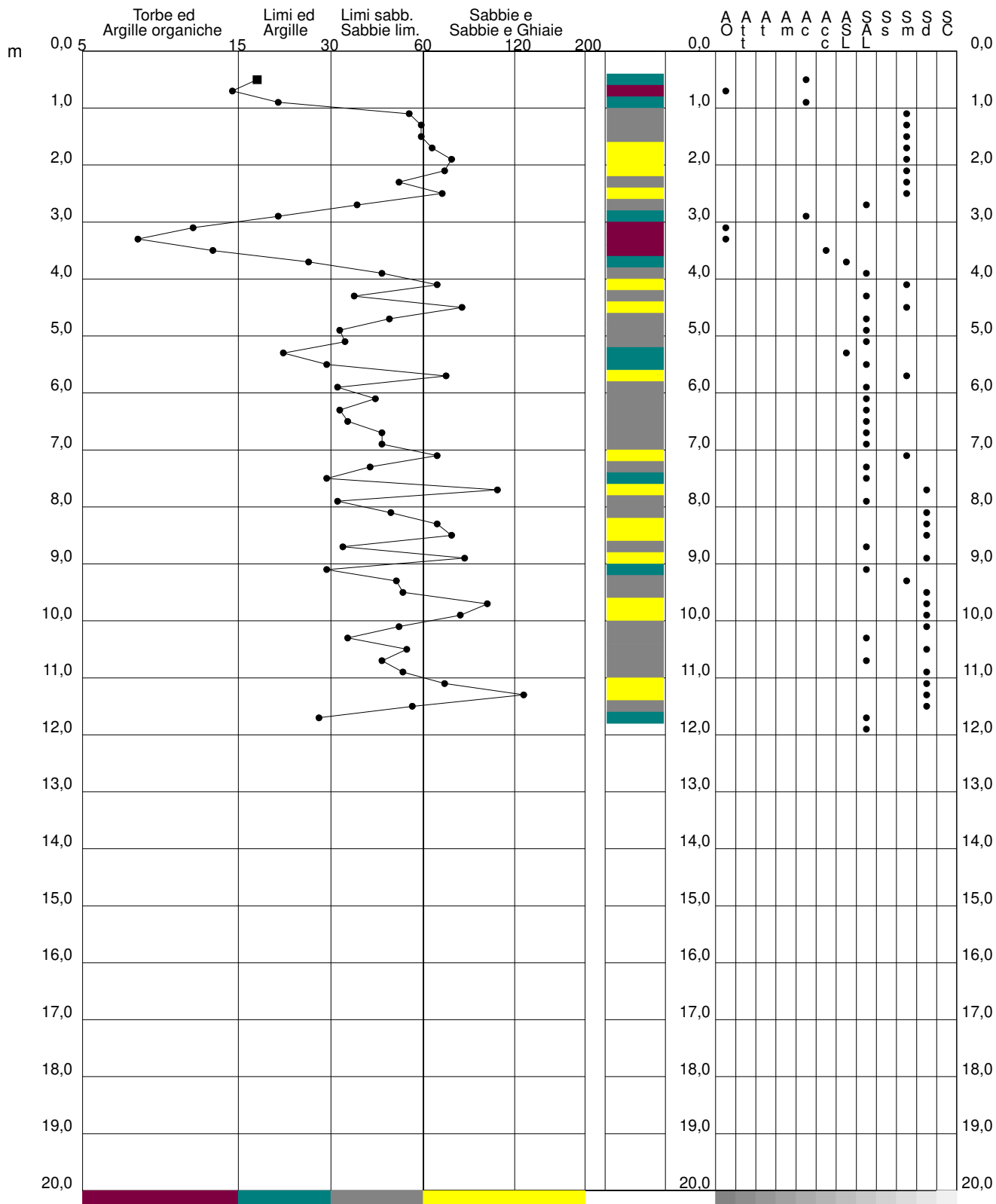
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 8

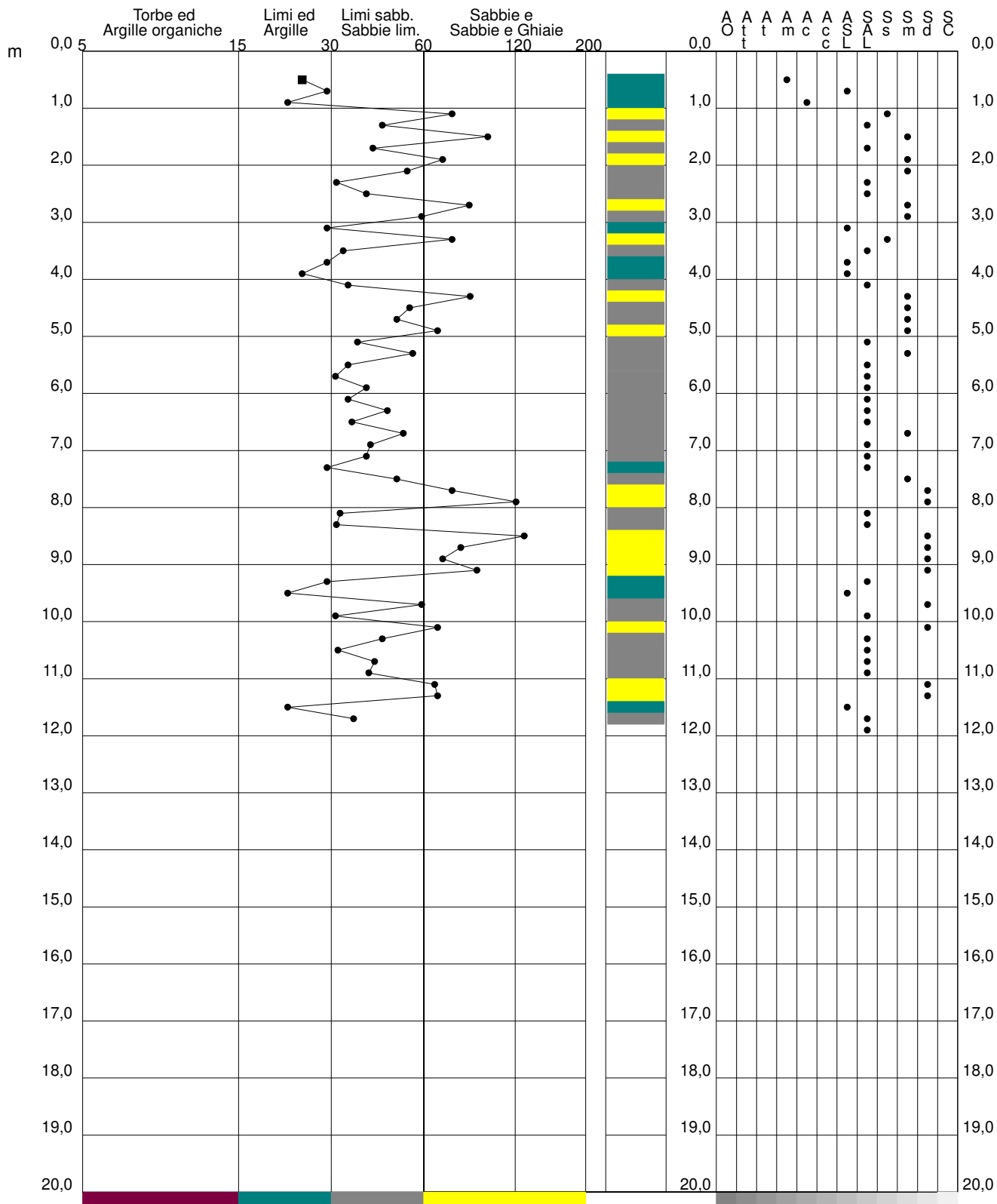
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 9

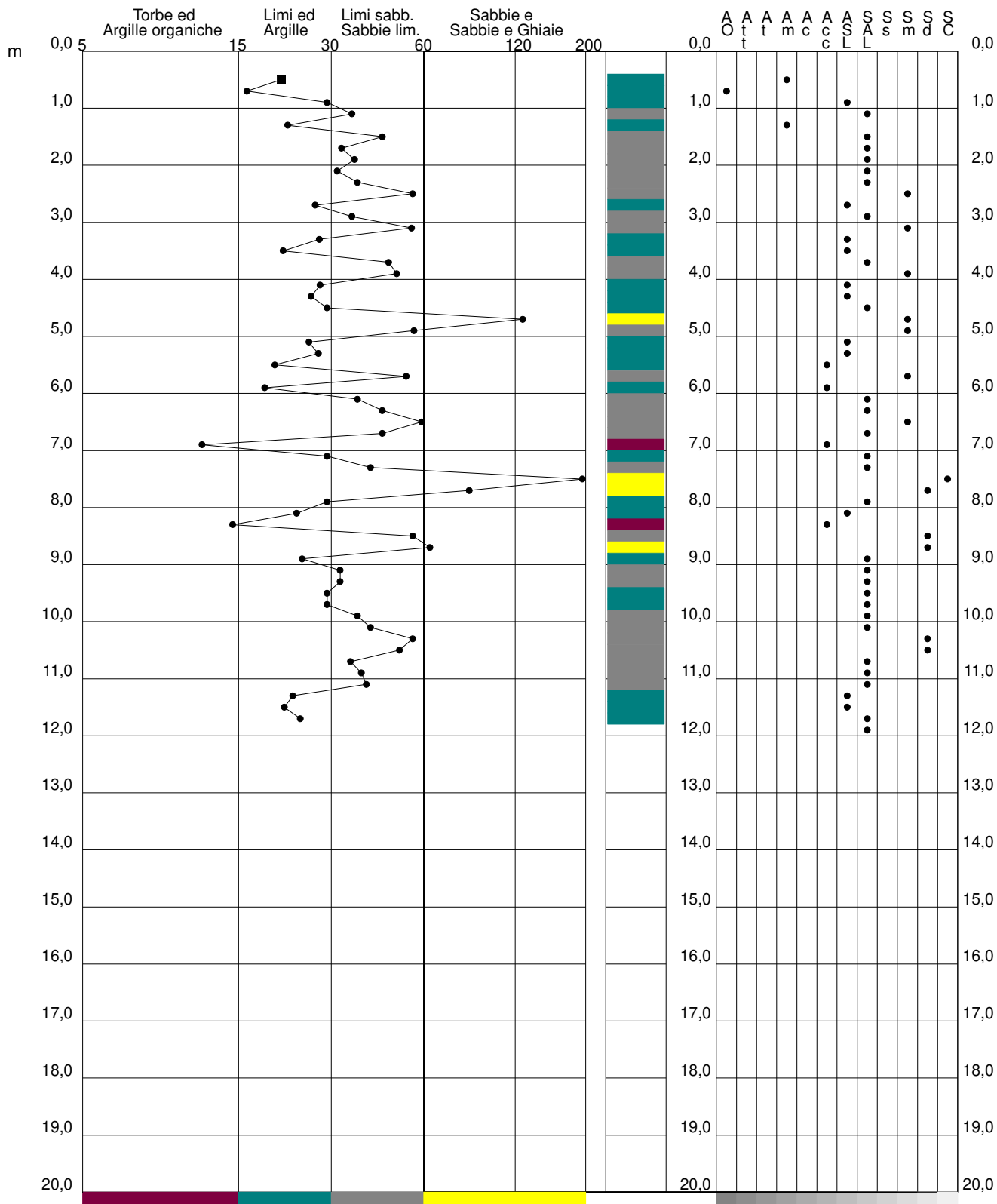
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 10

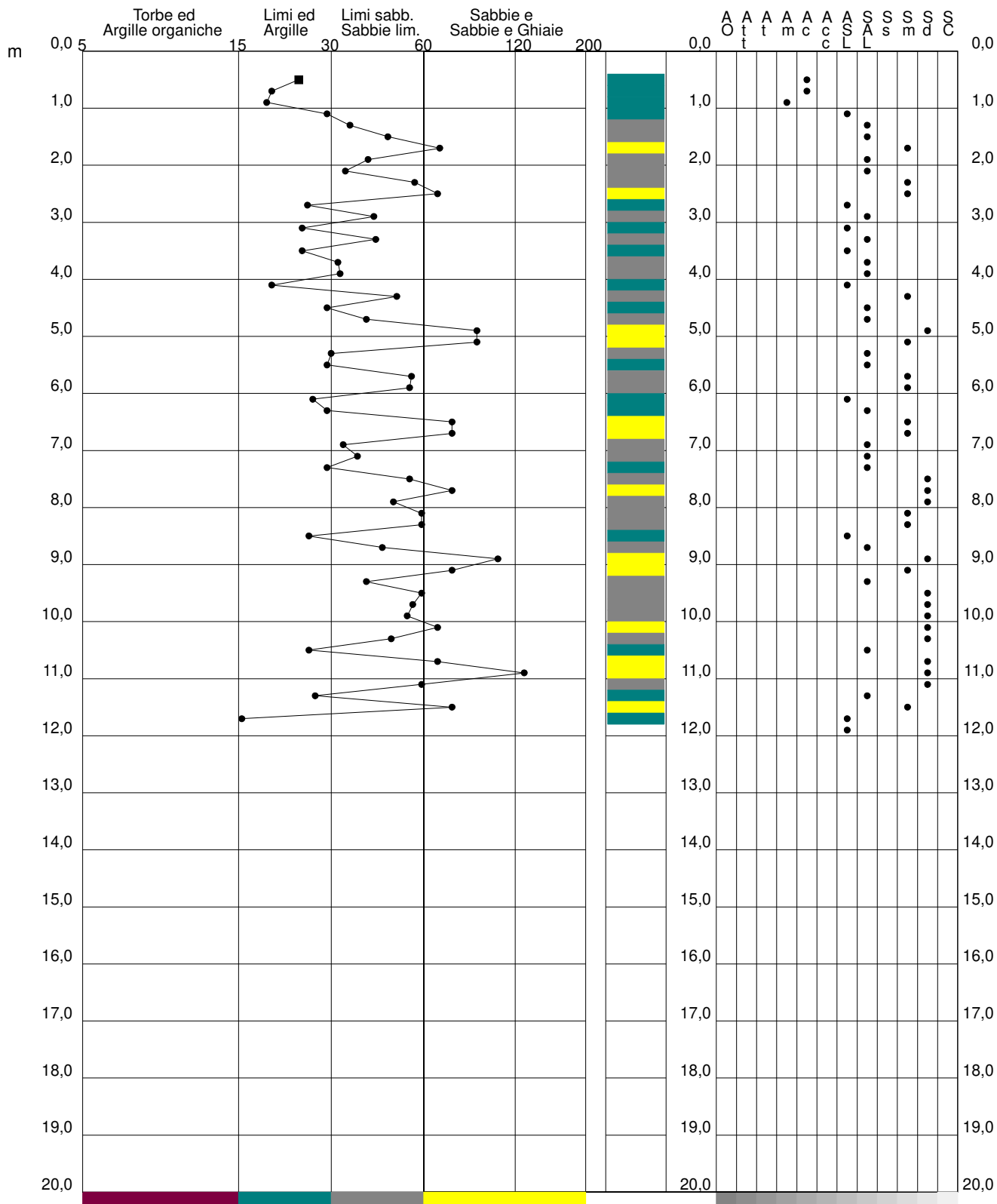
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 13

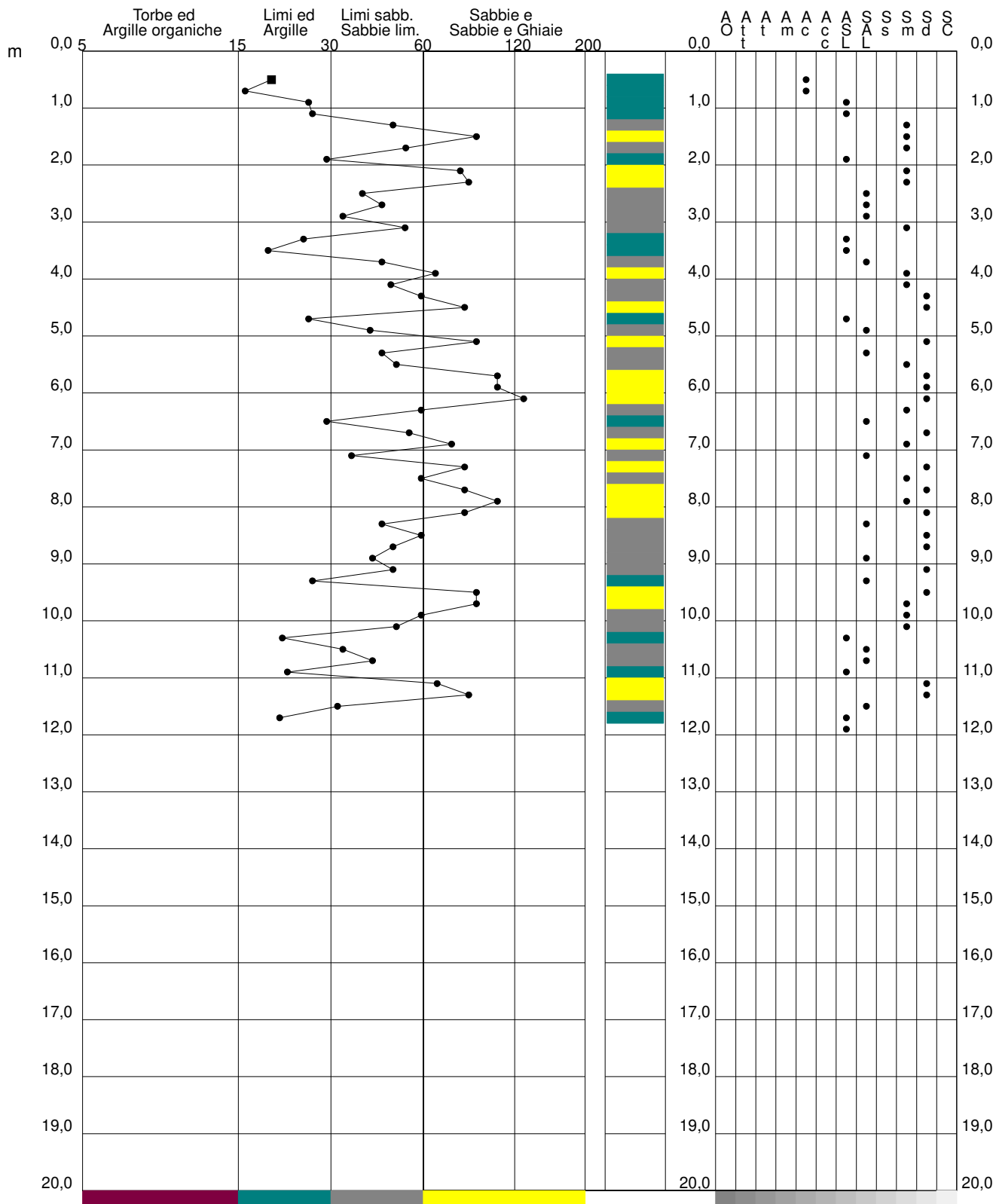
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
- lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
- località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
- assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 12

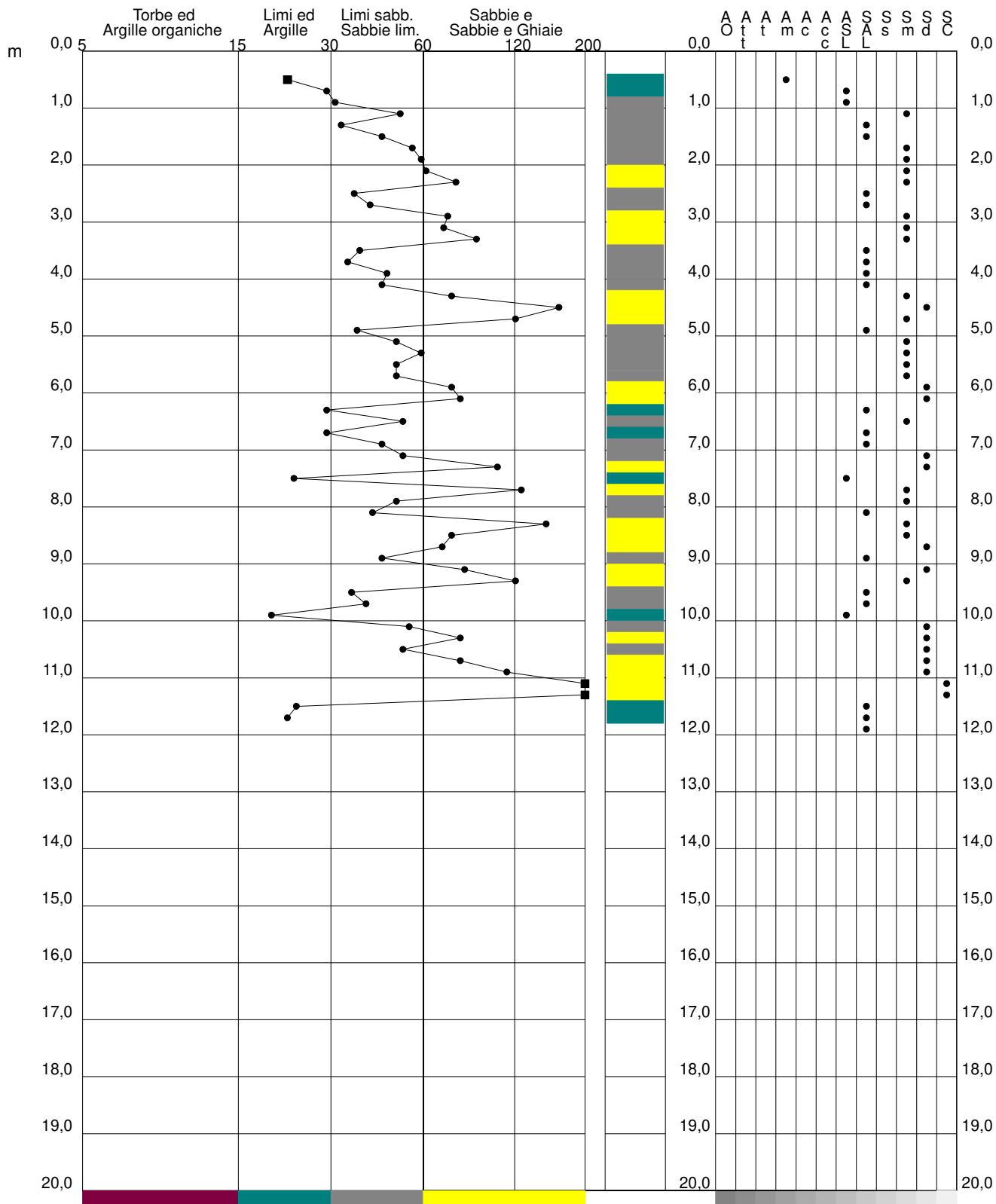
2.0105-156

- committente : Le Corti di San Giorgio Srl
 - lavoro : Realizzazione capannone uso logistico
 - località : Borgo San Giovanni (LO), Via Lodi
 - assist. cantiere :

- data : 21/05/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)





ALLEGATO 3

Prospezioni geofisiche

Celotti set '22



STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.

CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.

VIA MINCIO, 22 - C.A.P. 20139 **MILANO** TEL. 02.5393977 - FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI - PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE
INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER
DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO - COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 - SOA 3405AL/57/01

Milano, Settembre 2022

Spett.le
CROSSLOG S.r.l.
Viale Bianca Maria, 41
20122 MILANO

Prot. 7337/A

INDAGINE GEOFISICA FINALIZZATA AGLI STUDI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RISPOSTA LOCALE METODOLOGIA MASW

**BORGO SAN GIOVANNI
(Lodi)
Via Pietro Nenni**

Relazione



INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2 - CENNI TEORICI.....	4
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....	5
3.1 - Strumentazione utilizzata.....	5
3.2 - Interpretazione dei dati.....	6
4 - RISULTATI.....	8
5 - CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI.....	11
6 - ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.....	12



1 - PREMESSA

A Settembre 2022, è stata eseguita una prospezione geofisica in un terreno in comune di Borgo San Giovanni (Lodi) - Via Pietro Nenni.

Al fine di caratterizzare la risposta sismica della zona in esame è stata registrata una sezione geosismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva - e.g. Park et al., 1999), utile a definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio $V_{s,i}$.

La classificazione dei terreni si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio. Essa è definita dalla relazione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE \longrightarrow
$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

In cui $V_{s,i}$ e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato e lo spessore dell' i -esimo strato.

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



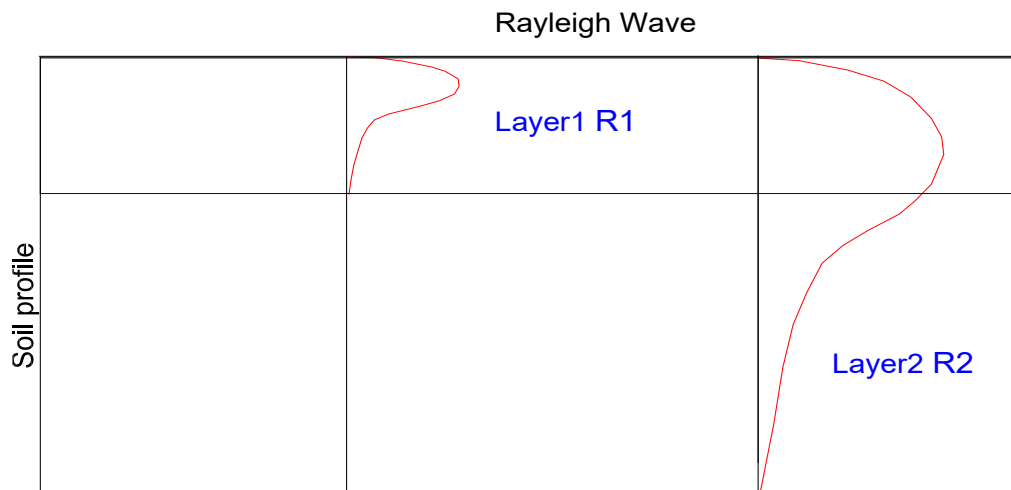
2 - CENNI TEORICI

La metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permette di ricavare le velocità delle onde di taglio verticali V_s dalla determinazione delle velocità delle onde superficiali.

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori posti in genere a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le alte frequenze e, quindi, con lunghezze d'onda corta, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, invece le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia MASW può essere sia *attiva* che *passiva* o la combinazione di entrambe. Nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti lineari di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento di ricezione può essere sia lineare che circolare e si misura il rumore di fondo ambientale esistente.

Il metodo attivo è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli perchè fornisce con un miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri da piano campagna. Infatti si ottiene una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra i 5 ed i 70 Hz la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione è avvenuta tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit modello "ECHO 24/2010 Seismic Unit" che impiega 24 canali in registrazione.

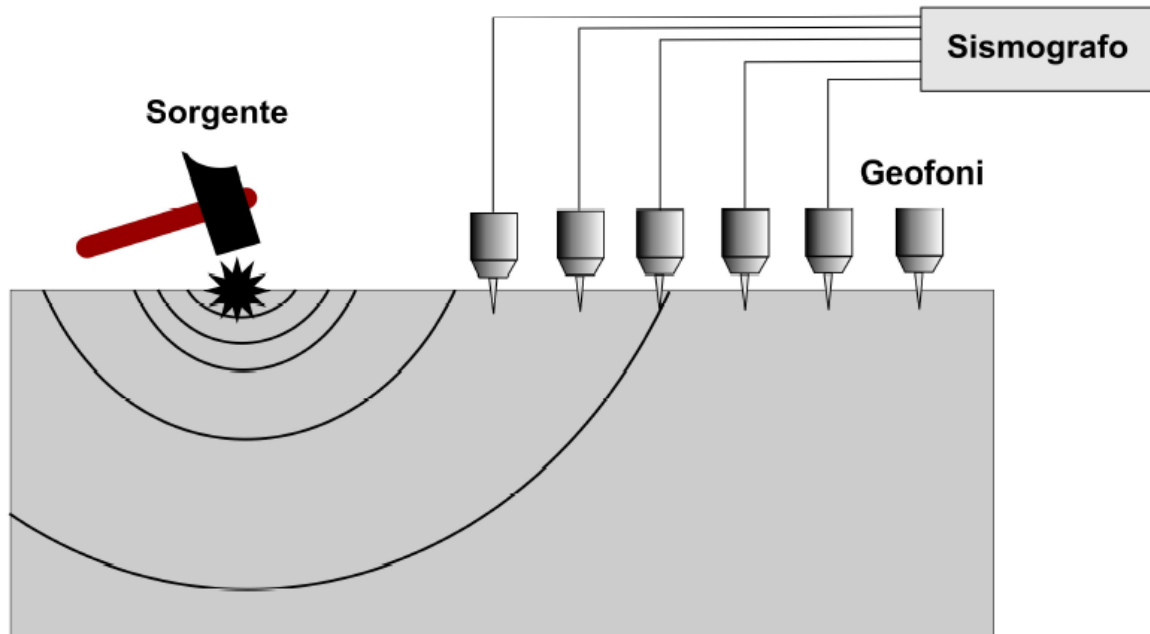
Lo strumento viene collegato ai geofoni verticali aventi frequenza propria di 4,5 Hz, posizionati sul terreno a distanza di 2 metri. Il tempo di registrazione dello strumento è fissato in 2 secondi. Gli offset di energizzazione delle MASW sono pari a 5 metri.

Di seguito si elencano le caratteristiche tecniche della strumentazione impiegata:

Number of channels:	24+1
A/D Conversion:	24 bits
Dynamic range:	130 dB @ 1ms PG=0 dB 120 dB @ 1ms PG=18 dB
Cross talk:	>90 db
Preamplify gain:	0 db, 6 db, 12 db, 24 db, 30 db, 36 db
Frequency response:	0 to 6 KHz (30kSPS) 0 to 4,8 KHz (15kSPS) 0 to 3 KHz (7,5kSPS) 0 to 1,5 KHz (3,5kSPS) 0 to 800Hz (2kSPS) 0 to 400Hz (1kSPS)
Acquisition and display filter:	Low Cut Out 10.15.25.35.50.70.100.200.280.400 Hz
Sampling interval:	32us,64us,128us,256us,480us,960us
Record length:	16000 samples
Stacking trigger accuracy:	1/32 of samples interval
Distorsion (THD):	0,0004 %
Max input signal:	2Vpp, 0db
Common Mode Rejection:	110 dB
Noise:	0,25 uV, 2ms, 36 Db
Pre-trigger data:	524 ms @ 32 us sample interval
Delay:	0 to 2500 ms step 10 ms
Temperature range:	-30°C/+70°C
Power:	12 Volts
Continuos recording:	HVSR
Output format:	SEG - Y



Di seguito viene riportata una figura che illustra la disposizione dei sensori e la trasmissione dell'impulso.



3.2 INTERPRETAZIONE DEI DATI

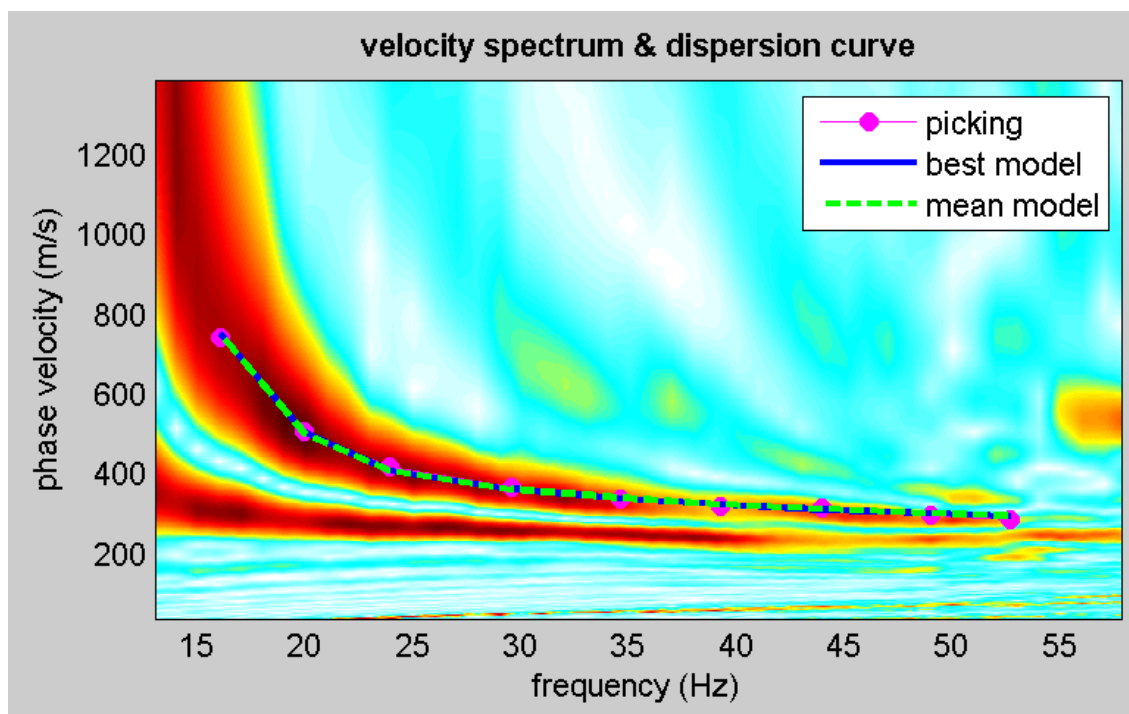
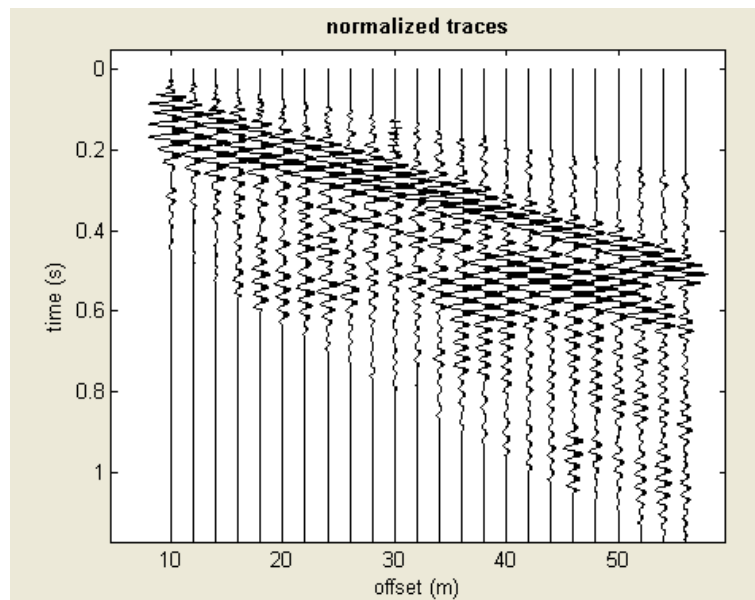
La procedura elaborativa prevede, sinteticamente, i seguenti passi:

- Trasformazione dei files in formato compatibile
- Immissione delle geometrie di acquisizione dei dati (sorgente e ricettori)
- Generazione dell'immagine di dispersione
- Analisi della curva di dispersione (picking)
- Verifica dei modi
- Modellazione e/o inversione
- Calcolo del parametro V_{s30} dal profilo delle velocità di taglio

Il software utilizzato per l'interpretazione è WinMASW 4.1.1 Pro (Eliosoft).



Di seguito un esempio di acquisizione da cui si ottiene la curva di dispersione, ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate sui geofoni dello stendimento. Viene riportato anche il piccaggio per la modellazione e/o inversione.

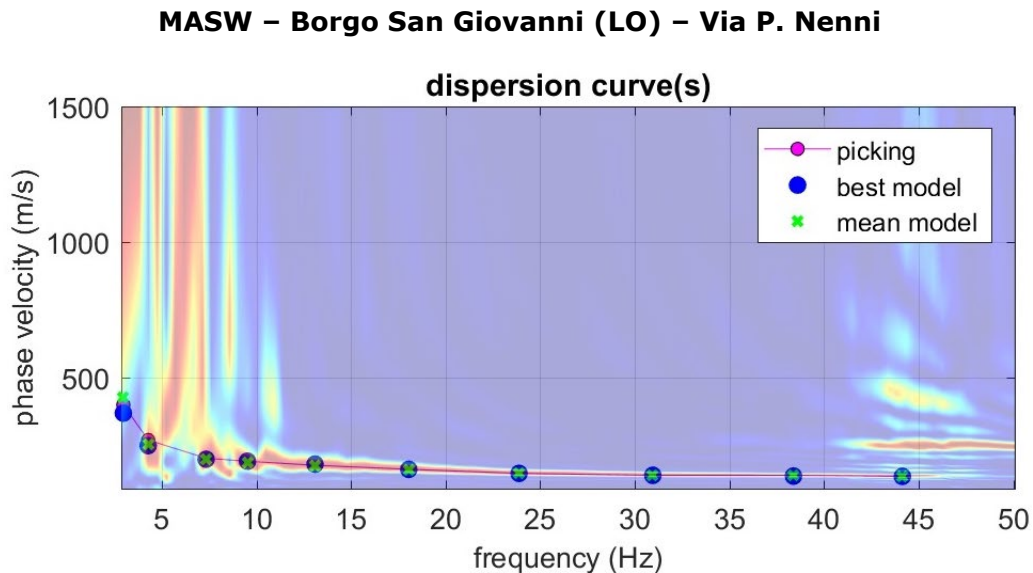




4 - RISULTATI

L'ubicazione della prova è riportata nel disegno n. 7337/1A.

L'immagine successiva propone la curva di dispersione ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate.



Spettro velocità sezione Masw

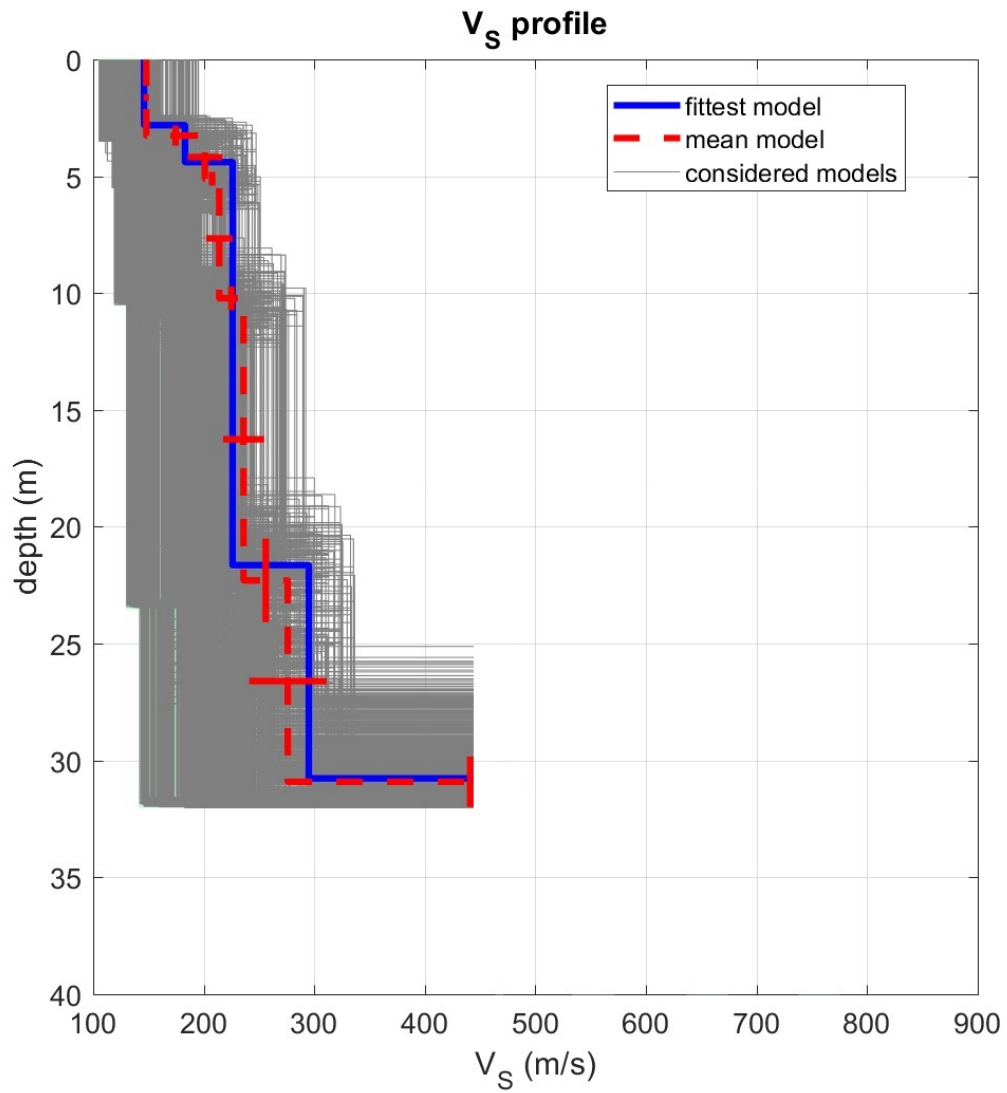
Il picking della curva e la modellazione diretta e/o dal processo di inversione, portano all'ottenimento della curva di dispersione interpretata e, di conseguenza, al profilo verticale delle onde di taglio V_s da cui si ricava il parametro $V_{s,eq}$ richiesto dalla normativa.

E' da tenere in considerazione che molteplici modelli di distribuzione delle velocità delle onde di taglio portano al medesimo risultato del parametro $V_{s,eq}$, ciò significa che senza un'opportuna disponibilità di dati stratigrafici attendibili il parametro di legge risulterà significativo, ma la distribuzione delle velocità sarà solamente indicativa.

Il grafico sotto riportato invece mostra il modello del profilo verticale V_s scelto come rappresentativo del singolo punto indagato.



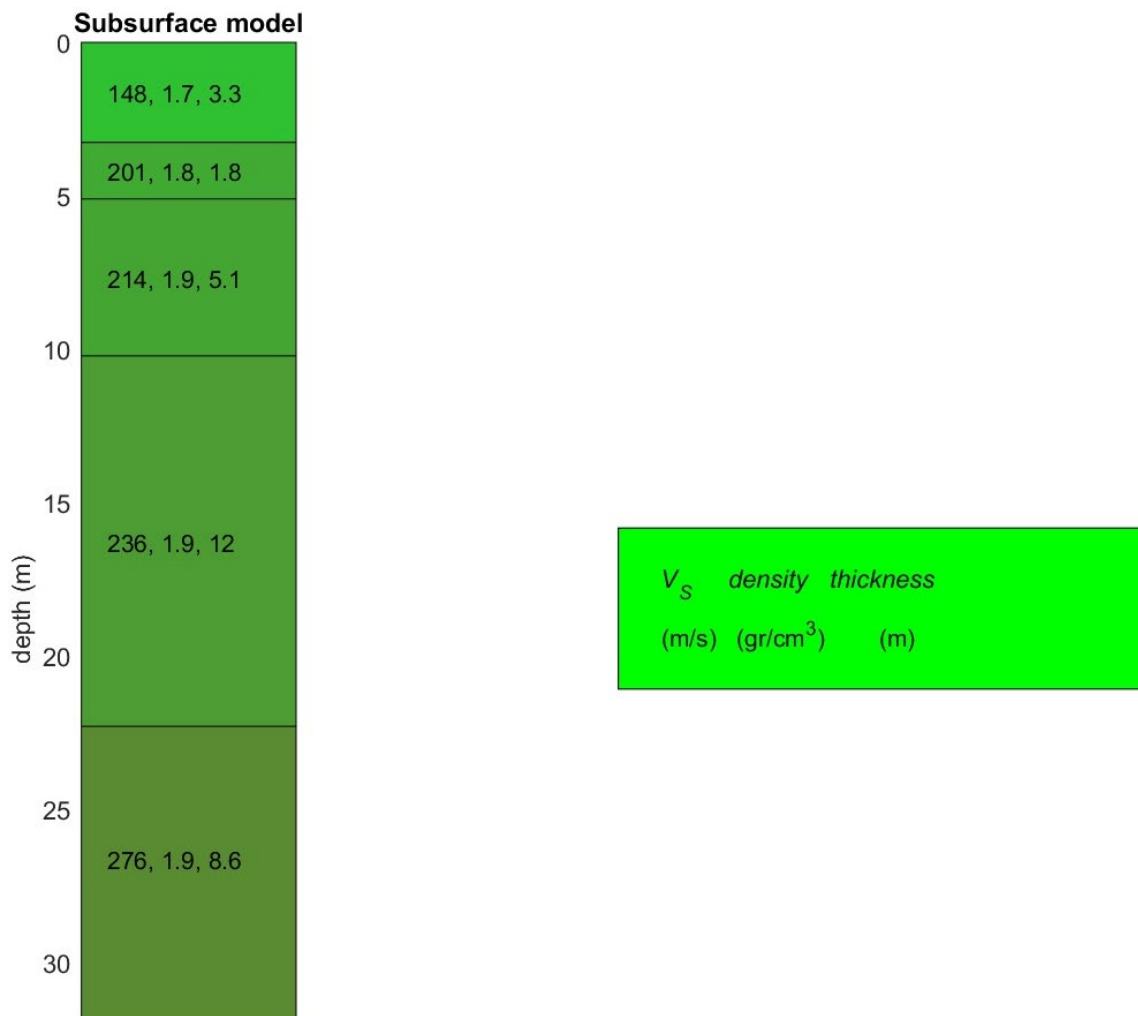
MASW BORGO S. GIOVANNI (Lodi) Via P. Nenni	Vs30 = 224 m/s
---	-----------------------





STRATIGRAFIA

MASW – Borgo San Giovanni (LO) – Via P. Nenni





5 - CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI

L'analisi delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, il parametro Vs30 per il punto d'indagine.

La tabella sotto riportata mostra i valori Vs30 calcolati a partire dalla quota di imposta fondazioni prevista (a m -2,00 circa dall'attuale piano campagna) e la classe di suolo di appartenenza rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018).

Nome prova	Vs30	Classe suolo
MASW BORGO S. GIOVANNI (Lodi) Via P. Nenni	224 m/s	C

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

Bibliografia:

Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55

Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800 -808.



6 - ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.

Viene qui sotto riportata la classificazione sismica dei suoli secondo la normativa ufficiale italiana (DM 17 gennaio 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.