



MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA VIA GUIDO RENI

Assessorato all'urbanistica
Assessore: Maurizio Veloccia

Dipartimento Programmazione e Attuazione
Urbanistica
Direttore: arch. Gianni Gianfrancesco

Direzione Trasformazione Urbana
Direttore: arch. Paolo Ferraro

U.O. Rigenerazione e progetti speciali
Dirigente: Enrica de Paulis

Responsabile Unico del Procedimento
Arch. Enrica De Paulis

Progettazione architettonica:
ADAT Studio Srl
arch. Antonio Atripaldi

Progettazione del paesaggio:
P'arcnouveau
arch. Luca Manzocchi

Progettazione strutturale,
impiantistica e ambientale:
WSP Italia Srl

Sicurezza, Antincendio,
Quadro Economico:
GAe Engineering Srl
ing. Giuseppe Amaro

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Titolo

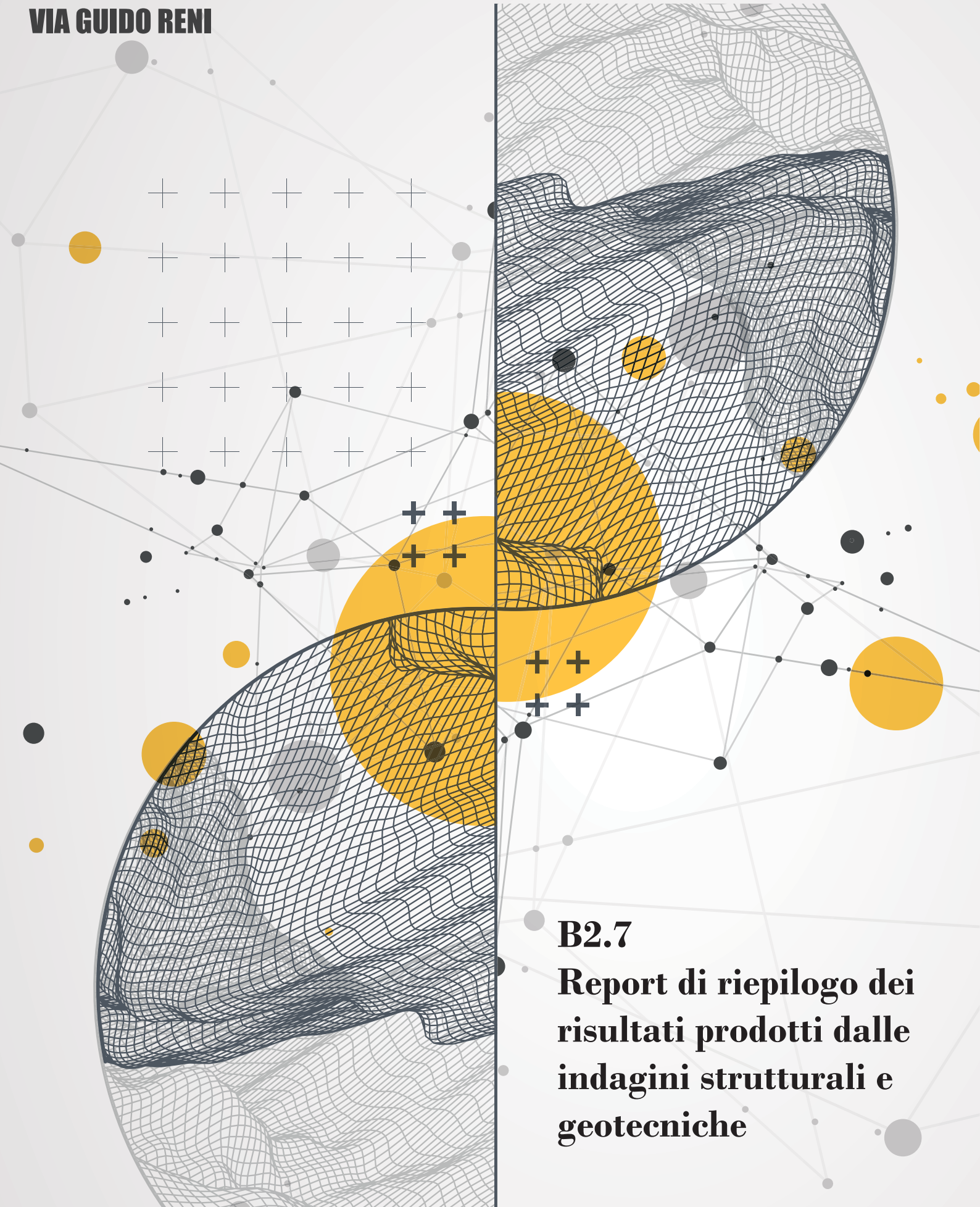
1. Urbanistica, Normativa e Vincoli Report Indagini Geotecniche

Codice di consegna	N. tavola	Tipo	Scala
0006_F_1.01.02_AR_RG_001	1.01.02	A4	

Revisioni					
N°	Data	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
0	30/10/2023				
1					
2					

MUSEO DELLA SCIENZA DI ROMA

VIA GUIDO RENI



B2.7

**Report di riepilogo dei
risultati prodotti dalle
indagini strutturali e
geotecniche**

Committente:

CDP Immobiliare SGR SpA
Via Alessandria 220
00198 Roma

Cantiere:

**Prove sui materiali nell'ambito
della verifica di fattibilità tecnica per intervento
di riqualificazione e rifunzionalizzazione
Guido Reni n. 7 nel comune di Roma (RM)**

Indagini:

- Determinazione della profondità di carbonatazione
- Determinazione della resistenza a compressione su campioni di calcestruzzo
- Prova sclerometrica
- Indagine ultrasonica
- Pull Out
- Determinazione della resistenza a trazione su campioni d'armatura
- Determinazione della resistenza a trazione su acciaio da carpenteria
- Ispezione visiva
- Prove durometriche
- Ispezione visiva su muratura e valutazione IQM
- Penetrometrica su malta
- Esame endoscopico
- Rilievo geometria travi, solai, capriate
- Individuazione dei ferri d'armatura

Prove eseguite il:

06-07 giugno 2022

Certificato da n. 457 a 460/2022 Prove a compressione su campioni di cls
Certificato n. 461/2022 Prove a trazione su acciaio d'armatura
Certificato n. 462/2022 Prove a trazione su acciaio da carpenteria

Allegati al

Rapporto di prova n. 098/2022 del 21 giugno 2022

**Il presente fascicolo si compone di 78 pagine inclusa la presente più n. 29
scansioni pacometriche e n.1 planimetrie in allegato.**

La legge vieta la copia non ufficiale del rapporto di prova e la sua parziale riproduzione, salvo approvazione scritta data da questo Laboratorio, il presente rapporto viene fornito al richiedente in originale più due copie; un'ulteriore copia è conservata nell'archivio.

Sommario

Verbale di prelievo	4
Certificato n. 457/2021.....	6
Certificato n. 458/2021.....	7
Certificato n. 459/2021.....	8
Certificato n. 460/2021.....	9
Certificato n. 461/2021.....	10
Certificato n. 462/2021.....	11
Premessa.....	12
Determinazione della profondità di carbonatazione	14
Determinazione della resistenza a compressione.....	15
Battute sclerometriche.....	16
Misure mediante ultrasuoni.....	18
Pull - Out	20
Premessa.....	20
Esecuzione della prova	21
Espressione dei risultati	22
Determinazione della resistenza a trazione barre d'armatura.....	24
Determinazione della resistenza a trazione acciaio da carpenteria	25
Acciaio da profilati.....	26
Prospetti NTC 17/01/2018.....	26

Prospetti NTC 14/01/2008	27
Acciaio d'armatura	28
Prospetti NTC 17/01/2018	28
Prospetti NTC 14/01/2008	29
Prospetti Decreto Ministero LL. PP. 14 febbraio 1992	30
Prova durometrica	31
Metodo LEEB	32
Strumentazione Utilizzata	33
Risultati delle misurazioni	36
Ispezioni visive elementi in c.a.	38
Indagine pacometrica	43
Misurazione e precisione pacometro	44
Indice di qualità muraria IQM	47
Parametri della regola dell'arte considerati nel metodo IQM	47
Attribuzione dei punteggi ai parametri della regola dell'arte	49
Determinazione degli IQM e della categoria muraria	51
Schede di valutazione della qualità muraria	52
Prova penetrometrica su malta	55
Risultato delle misurazioni	56
Esame endoscopico	57
Estratti delle endoscopie	58
Rilievo capriate	64
Documentazione fotografica	70

VERBALE DI PRELIEVO

Il Laboratorio "EDIL-TEST" S.r.l. di Battipaglia per incarico di
CDP Immobiliare Srl - Via Alessandria, 220 00198 Roma - P.IVA 07886771000

ha effettuato

n. 10 prelievi di cls n. 3 prelievi d'armatura n. 3 prelievi da profilato
presso le strutture oggetto di VERIFICA DI FATTIBILITÀ TECNICA PER INTERVENTO
DI RIQUALIFICAZIONE E RIFUNZIONALIZZAZIONE

Ubicate in Via Guido Reni n. 7 - Roma

Alle prove hanno assistito:

Ing. Fabrizio Tavaroli

Ing. Rossella Siano

Inoltre sono state effettuate le seguenti prove

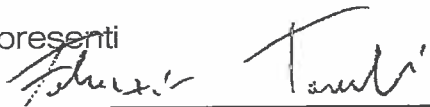
- n. _____ scansioni pacometriche
- n. _____ prove durometriche
- altre endoscopie, ispezioni, IQM, penetrometriche su malta

Si allega n. 1 tabelle con identificazione dei campioni prelevati


Luogo ROMA verbale di prelievo n. 045/2022 del 07.06.2022

Note

I presenti



Lo sperimentatore



Il Direttore del Laboratorio



Allegato al verbale di prelievo n. 45 del 07.06.2022

Campioni CLS			
n.	Sigla	Diametro (mm)	Ubicazione
1	C1	80	Trave
2	C2	80	Pilastro
3	C3	80	Pilastro
4	C4	80	Trave
5	C5	80	Pilastro
6	C6	80	Trave
7	C7	80	Pilastro
8	C8	80	Pilastro
9	C9	80	Trave
10	C10	80	Trave

Campioni Acciaio d'armatura			
n.	Sigla	Diametro (mm)	Ubicazione
1	P1	18	Pilastro
2	P2	14	Trave
3	P3	20	Pilastro

Campioni Acciaio da carpenteria		
n.	Sigla	Ubicazione
1	PP1	Pilastro
2	PP2	Rinforzo pilastro
3	PP3	Pilastro

Norme:

Tutti i dati di questo verbale sono forniti dal committente o da un tecnico di fiducia

La stampa e consegna dei certificati avverrà solo a pagamento avvenuto


Ogni certificato comprende un massimo di 3 risultati di prova per i carotaggi e 3 per i tondini d'armatura

I risultati verranno esposti in ordine cronologico della numerazione dei prelievi

Le norme e le tariffe del laboratorio si intendono accettate con firma del richiedente o di un suo delegato

Per la committenza

Il direttore del Laboratorio

CERTIFICATO DI PROVE A COMPRESSIONE SU CAROTE
UNI EN 12390-3:2019 - UNI EN 12504-1:2021 - DM 17/01/2018



CERTIFICATO N. 457

BATTIPAGLIA, 17/06/2022

Rif. Verbale Accettazione N. 292 del 15/06/2022

Rilasciato a: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Proprietario: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Provenienza dei campioni : Verifica di fattibilità tecnica per intervento di riqualificazione
e rifunzionalizzazione delle strutture in via Guido Reni, 7 nel

Comune di ROMA (RM)

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

RISULTATI DELLE PROVE

SIGLA	POSIZIONE IN OPERA	DIMENSIONI (mm)		AREA COMPR. mm ²	MASSA Kgf.	CARICO ROTTURA N/mm ²	DATA prelievo	DATA prova	TIPO ROTT.	RETTIF.
		diametro	altezza							
C1	TRAVE	80	80	5026	0.883	18.7	07/06/2022	17/06/2022	4	S
C2	PILASTRO	80	80	5026	0.890	19.3	07/06/2022	17/06/2022	4	S
C3	PILASTRO	80	80	5026	0.891	24.5	07/06/2022	17/06/2022	4	S

TIPO DI ROTTURA: 1)Bipiramidale; 2)Obliquo; 3)Sgretolamento; 4)Lesioni Verticali
La cappatura dei campioni è stata eseguita con il metodo con miscela di zolfo (Punto A4 UNI EN 12390/3)

Verbali di Prelievo: Serie C1 - N.45
Serie C2 - N.45
Serie C3 - N.45

Note: Macchina Controls Mod.50-C3600 Matr.03074392 - Classe 1 Taratura 22/11/21
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni dalla struttura e l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L. autorizzato ai sensi dell'Art.59 del DPR 380/2001.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. RENATO ERBA

SPERIMENTATORE
P.I. Nicola Criscuolo





CERTIFICATO DI PROVE A COMPRESSIONE SU CAROTE
UNI EN 12390-3:2019 - UNI EN 12504-1:2021 - DM 17/01/2018



CERTIFICATO N. 458

BATTIPAGLIA, 17/06/2022

Rif. Verbale Accettazione N. 292 del 15/06/2022

Rilasciato a: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Proprietario: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Provenienza dei campioni : Verifica di fattibilità tecnica per intervento di riqualificazione
e rifunzionalizzazione delle strutture in via Guido Reni, 7 nel

Comune di ROMA (RM)

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

RISULTATI DELLE PROVE

SIGLA	POSIZIONE IN OPERA	DIMENSIONI (mm)		AREA COMPR. mm ²	MASSA Kgf.	CARICO ROTTURA N/mm ²	DATA prelievo	DATA prova	TIPO ROTT.	RETTIF.
		diametro	altezza							
C4	TRAVE	80	80	5026	0.904	43.5	07/06/2022	17/06/2022	4	S
C5	PILASTRO	80	80	5026	0.901	29.4	07/06/2022	17/06/2022	4	S
C6	TRAVE	80	80	5026	0.876	22.0	07/06/2022	17/06/2022	4	S

TIPO DI ROTTURA: 1)Bipiramidale; 2)Obliquo; 3)Sgretolamento; 4)Lesioni Verticali

La cattura dei campioni è stata eseguita con il metodo con miscela di zolfo (Punto A4 UNI EN 12390/3)

Verbali di Prelievo: Serie C4 - N.45

Serie C5 - N.45

Serie C6 - N.45

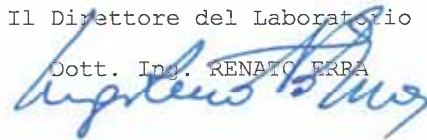
Note: Macchina Controls Mod.50-C3600 Matr.03074392 - Classe 1 Taratura 22/11/21

Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni dalla struttura e
l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L.
autorizzato ai sensi dell'Art.59 del DPR 380/2001.

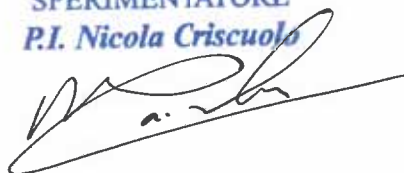
Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. RENATO ERBA



SPERIMENTATORE
P.I. Nicola Criscuolo



CERTIFICATO DI PROVE A COMPRESSIONE SU CAROTE
UNI EN 12390-3:2019 - UNI EN 12504-1:2021 - DM 17/01/2018



CERTIFICATO N. 459

BATTIPAGLIA, 17/06/2022

Rif. Verbale Accettazione N. 292 del 15/06/2022

Rilasciato a: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Proprietario: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Provenienza dei campioni : Verifica di fattibilità tecnica per intervento di riqualificazione e rifunionalizzazione delle strutture in via Guido Reni, 7 nel

Comune di ROMA (RM)

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

RISULTATI DELLE PROVE

SIGLA	POSIZIONE IN OPERA	DIMENSIONI (mm) diametro altezza		AREA COMPR. mm ²	MASSA Kgf.	CARICO ROTTURA N/mm ²	DATA prelievo	DATA prova	TIPO ROTT.	RETTIF.
C7	PILASTRO	80	80	5026	0.909	39.5	07/06/2022	17/06/2022	4	S
C8	PILASTRO	80	80	5026	0.907	49.9	07/06/2022	17/06/2022	4	S
C9	TRAVE	80	80	5026	0.886	25.7	07/06/2022	17/06/2022	4	S

TIPO DI ROTTURA: 1)Bipiramidale; 2)Obliquo; 3)Sgretolamento; 4)Lesioni Verticali
La cappatura dei campioni è stata eseguita con il metodo con miscela di zolfo (Punto A4 UNI EN 12390/3)

Verbali di Prelievo: Serie C7 - N.45
Serie C8 - N.45
Serie C9 - N.45

Note: Macchina Controls Mod.50-C3600 Matr.03074392 - Classe 1 Taratura 22/11/21
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni dalla struttura e l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L. autorizzato ai sensi dell'Art.59 del DPR 380/2001.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. RENATO ERRA



SPERIMENTATORE
P.I. Nicola Crispuolo




CERTIFICATO DI PROVE A COMPRESSIONE SU CAROTE
UNI EN 12390-3:2019 - UNI EN 12504-1:2021 - DM 17/01/2018



CERTIFICATO N. 460

BATTIPAGLIA, 17/06/2022

Rif. Verbale Accettazione N. 292 del 15/06/2022

Rilasciato a: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Proprietario: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Provenienza dei campioni : Verifica di fattibilità tecnica per intervento di riqualificazione
e rifunionalizzazione delle strutture in via Guido Reni, 7 nel

Comune di ROMA (RM)

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

RISULTATI DELLE PROVE

SIGLA	POSIZIONE IN OPERA	DIMENSIONI (mm) diametro altezza		AREA COMPR. mm ²	MASSA Kgf.	CARICO ROTTURA N/mm ²	DATA prelievo	DATA prova	TIPO ROTT.	RETTIF.
C10	TRAVE	80	80	5026	0.872	24.4	07/06/2022	17/06/2022	4	S

TIPO DI ROTTURA: 1)Bipiramidale; 2)Obliquo; 3)Sgretolamento; 4)Lesioni Verticali

La cattura dei campioni è stata eseguita con il metodo con miscela di zolfo (Punto A4 UNI EN 12390/3)

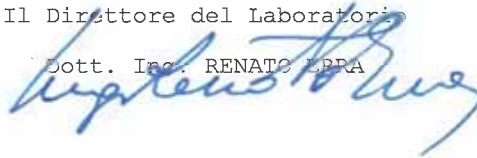
Verbali di Prelievo: Serie C10 - N.45

Note: Macchina Controls Mod.50-C3600 Matr.03074392 - Classe 1 Taratura 22/11/21
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni dalla struttura e
l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L.
autorizzato ai sensi dell'Art.59 del DPR 380/2001.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. RENATO EPRA



SPERIMENTATORE

P.I. Nicola Criscuolo



CERTIFICATO PROVE A TRAZIONE E PIEGAMENTO ACCIAI
UNI-EN ISO 15630-1:2019 - DM 17/01/2018



CERTIFICATO N. 461

BATTIPAGLIA, 17/06/2022

Rif. Verbale Accettazione N. 293 del 15/06/2022

Rilasciato a: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Proprietario: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Provenienza dei campioni : Verifica di fattibilità tecnica per intervento di riqualificazione
e rifunzionalizzazione delle strutture in via Guido Reni, 7 nel

Comune di ROMA (RM)

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

RISULTATI DELLE PROVE

SIGLA	Ø EFF. (mm) *	SEZIONE (mm ²)	TENS. SNERV. fy (N/mm ²)	TENS. ROTT. ft (N/mm ²)	All. % su 5 Ø	DATA PRELIEVO	DATA PROVA	POSIZIONE IN OPERA
P1	18.07	256	536.5	838.7	16.8	07/06/2022	17/06/2022	PILASTRO
P2	13.85	150	532.7	842.5	19.0	07/06/2022	17/06/2022	TRAVE
P3	20.38	326	621.9	925.1	18.6	07/06/2022	17/06/2022	PILASTRO

*della barra tonda liscia equipesante

Verbali di Prelievo: Serie P1 - N.45/2022
Serie P2 - N.45/2022
Serie P3 - N.45/2022

Note: Macchina R.M.U. Mod. A017/100 Matr. 210695 - Classe 1 Taratura 22/11/21
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni dalla struttura e
l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L.
autorizzato ai sensi dell'Art.59 del DPR 380/2001.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. RENATO ERBA

SPERIMENTATORE

P.I. Nicola Criscuolo



CERTIFICATO DI PROVE A TRAZIONE SU PROFILATI
UNI EN ISO 6892-1:2020 - UNI EN ISO 377:2017 - DM 17/01/18



CERTIFICATO N. 462

BATTIPAGLIA, 17/06/2022

Rif. Verbale Accettazione N. 294 del 15/06/2022

Rilasciato a: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Proprietario: CDP IMMOBILIARE SRL - VIA ALESSANDRIA, 220 - ROMA (RM)

Provenienza dei campioni : Verifica di fattibilità tecnica per intervento di riqualificazione
e rifunionalizzazione delle strutture in via Guido Reni, 7 nel

Comune di ROMA (RM)

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

Data Prelievo del Materiale : 07/06/2022

RISULTATI DELLE PROVE

SIGLA	LARGH. mm.	SPESS. mm.	SEZIONE (A) mm ²	TENS. SNERVAMENTO N/mm ²	TENS. ROTTURA N/mm ²	ALLUNG. % su $L_0=5,65 \cdot A^{0.5}$	PROVENIENZA CAMPIONI	TIPO ACCIAIO DICHIARATO	DATA PROVA
PP1	33.6	9.8	329.3	277.0	360.2	21.7	PILASTRO		17/06/2022
PP2	18.6	10.0	186.0	310.2	391.9	18.8	RINFORZO PILASTRO		17/06/2022
PP3	30.6	13.5	413.1	317.1	437.2	26.1	PILASTRO		17/06/2022

Posizioni in Opera : Serie PP1 - PILASTRO
Serie PP2 - RINFORZO PILASTRO
Serie PP3 - PILASTRO

Note: Macchina R.M.U. Mod. A017/100 Matr. 210695 - Classe 1 Taratura 22/11/21
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni dalla struttura e
l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L.
autorizzato ai sensi dell'Art.59 del DPR 380/2001.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. RENATO ERRA

SPERIMENTATORE
P.I. Nicola Criscuolo



Roma 07/06/2022

Rapporto di prova 098/2022

Richiedente:

CDP Immobiliare SGR SpA
Via Alessandria 220
00198 Roma

Cantiere:

Prove sui materiali nell'ambito
della verifica di fattibilità tecnica per
intervento di riqualificazione e
rifunzionalizzazione Guido Reni n. 7
nel comune di Roma (RM)

Premessa

In data 06 e 07 giugno 2022, su indicazione del responsabile tecnico, sono stati prelevati **n. 10 campioni di calcestruzzo** mediante sonda a corona diamantata (carotatrice), di tipo adatto alla durezza del calcestruzzo ed al tipo di aggregato in esso contenuto, in corrispondenza delle membrature indicate. È stato altresì eseguito il ripristino mediante malta tixotropica additivata con speciali resine d'appretto "Mapegrout BM Mapei".

Dopo l'estrazione, i campioni sono stati vaporizzati con una soluzione di fenolftaleina all'1% per la determinazione della profondità di carbonatazione. In seguito i campioni sono stati sottoposti a rettifica meccanica e cappati con una miscela di sabbia e zolfo, in modo da rendere le superfici di contatto piane e parallele con la macchina di compressione.

Per estendere la conoscenza delle caratteristiche del cls sono state effettuate n. 30 prove sclerometriche n. 30 ultrasoniche e n. 6 prove di estrazione pull out.

Per determinare la resistenza a trazione sono stati effettuati n. 3 prelievi di barre d'armatura e n. 3 prelievi da profilati metallici.

Per la verifica delle caratteristiche dell'acciaio inoltre sono state eseguite n. **34 prove durometriche** dagli elementi strutturali indicati dalla committenza.

Per individuare la disposizione e l'entità delle armature sono state eseguite **n. 29 scansioni pacometriche.**

Per determinare le caratteristiche della muratura portante sono stati eseguite **n. 6 ispezioni visive, n. 6 prove penetrometriche** sulla malta e **n. 6 esami endoscopici.**

Infine per determinare le caratteristiche geometriche di alcuni elementi strutturali è stato eseguito un rilievo di travi, solai e capriate.

Le indagini, eseguite su aree significative, sono corredate da documentazione fotografica e riportate sulla planimetria in allegato.

Determinazione della profondità di carbonatazione

Le aggressioni chimiche a cui risulta soggetta una struttura in calcestruzzo derivano da molteplici cause. La più frequente causa di degrado deriva dalla presenza di anidride carbonica che combinandosi con l'acqua reagisce con i componenti alcalini del calcestruzzo, quali la calce libera ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dando origine a carbonati, quali il carbonato di calcio (CaCO_3).

Tale fenomeno, chiamato carbonatazione, è accompagnato da una riduzione del pH del calcestruzzo che, dalla fascia di valori compresa tra 12,5 e 13,5 si sposta a valori compresi tra 8,0 e 9,0. Tali valori sono inferiori a quelli necessari a garantire alle armature metalliche la protezione da passivazione. La gravità di tale fenomeno è legata allo spessore del copriferro ed alla permeabilità del calcestruzzo.

Le misure della profondità di carbonatazione sono state eseguite sui campioni di calcestruzzo prelevati dalle strutture oggetto d'indagine.

I campioni sono stati tagliati a secco secondo piani normali alla superficie esposta all'aria, liberati dalle polveri e spruzzati mediante nebulizzatore con soluzione di fenolftaleina all'1% d'alcol etilico. La fenolftaleina vira al rosso al contatto con materiale il cui pH sia maggiore di circa 9,2 e rimane incolore per valori di pH minori.

N°	Simbolo	Membratura	Profondità di carbonatazione [mm]				
			M1	M2	M3	Scarto	Media
1	C1	Trave	50	45	55	5,0	50,0
2	C2	Pilastro	23	22	21	1,0	22,0
3	C3	Pilastro	28	29	30	1,0	29,0
4	C4	Trave	12	20	16	4,0	16,0
5	C5	Pilastro	31	32	30	1,0	31,0
6	C6	Trave	50	46	55	4,5	50,3
7	C7	Pilastro	11	15	14	2,1	13,3
8	C8	Pilastro	20	16	23	3,5	19,7
9	C9	Trave	51	50	46	2,6	49,0
10	C10	Trave	35	21	31	7,2	29,0

Lo sperimentatore addetto ai prelievi
Ing. *Donatella Letteriello*

Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra

Determinazione della resistenza a compressione


Le prove per la determinazione della caratteristica meccanica di resistenza a compressione sono state eseguite secondo le norme UNI EN 12504-1 su provini di forma cilindrica, aventi diametro pari a 80 mm, e rapporto L/D come indicato in tabella.

Per le prove di compressione è stata utilizzata una macchina di prova Controls 50 C3600 di capacità massima pari a 1500 kN.

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

N°	Simbolo	Membratura	l/d	Area		Peso [kg]	Carico di rottura		Resistenza unitaria	
				[cm ²]	[mm ²]		[kg]	[kN]	[kg/cm ²]	[N/mm ²]
1	C1	Trave	1	50,27	5027	0,883	9586,1	94,0	190,71	18,7
2	C2	Pilastro	1	50,27	5027	0,890	9868,5	96,8	196,33	19,3
3	C3	Pilastro	1	50,27	5027	0,891	12558,6	123,2	249,85	24,5
4	C4	Trave	1	50,27	5027	0,904	22274,2	218,5	443,09	43,5
5	C5	Pilastro	1	50,27	5027	0,901	15048,9	147,6	299,39	29,4
6	C6	Trave	1	50,27	5027	0,876	11288,5	110,7	224,58	22,0
7	C7	Pilastro	1	50,27	5027	0,909	20232,4	198,5	402,51	39,5
8	C8	Pilastro	1	50,27	5027	0,907	25568,8	250,8	508,68	49,9
9	C9	Trave	1	50,27	5027	0,886	13160,0	129,1	261,81	25,7
10	C10	Trave	1	50,27	5027	0,872	12495,4	122,6	248,59	24,4

Condizioni di prova: Temperatura ambiente 11,5 °C
Umidità relativa 40%

Lo sperimentatore addetto ai prelievi
Ing. Domenico Letteriello


Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra


Battute sclerometriche

Scopo dell'indagine sclerometrica è quello di una rapida misura della resistenza a compressione dei manufatti di calcestruzzo. Il funzionamento dello strumento si basa sul rimbalzo di una massa battente su di un pistone che si appoggia sulla superficie del calcestruzzo; quanto più elevata è la sua resistenza, tanto maggiore è il rimbalzo R_u .

Misurando su di una scala questo rimbalzo e riportandolo sulle curve dei diagrammi relativi (che tengono conto della eventuale e differente inclinazione dello sclerometro rispetto al piano orizzontale) si ricava la resistenza a compressione W in kg/cm^2 .

Ogni singola operazione è stata condotta su superfici lisce ed uniformi evitando elementi irregolari e porosi, nidi di ghiaia e giunti di cassetta.

I valori della durezza all'urto R_u sono la media delle 10 (sono state effettuate 12 battute sclerometriche, trascurandone il valore più alto e il più basso) battute eseguite sui singoli elementi strutturali.

Trattandosi di un'indagine effettuata con metodi statistici si sono ricavati la media e lo scarto quadratico medio in base ai quali è stato possibile determinare la resistenza con la formula $R = R_u \pm \text{scarto}$.

Lo scarto quadratico medio è calcolato in base alla formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - R_u)^2}{n-1}}$$

Le misure sclerometriche sono ben correlabili con le misure ultrasoniche.

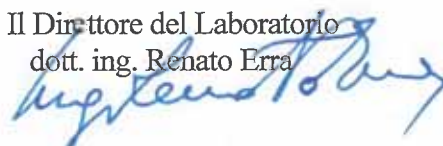
La prova sclerometrica è un metodo di analisi molto pratico e rapido, ma ha lo svantaggio di saggiare solo strati di superfici che potrebbero essere alterati.

I risultati sono sensibili ad alcuni parametri quali umidità, carbonatazione, presenza di armatura e granulometria degli inerti. L'uso combinato dei due metodi, ultrasonico e sclerometrico, consente una stima della resistenza del calcestruzzo più precisa ed attendibile di quella conseguibile con un solo metodo di prova.

Le prove sclerometriche sono state eseguite conformemente alla normativa UNI EN 12504-2: 2001.I valori misurati sono riportati nella tabella seguente:

N.	Identificazione		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R _{st}	Scarto	W[Kg/cm ²]	± DW
1	S1	Trave	40	42	42	48	42	44	44	44	42	40	42	46	43	1,69	469	30
2	S2	Pilastro	34	28	36	44	32	36	38	32	40	36	44	40	37	3,79	326	68
3	S3	Trave	32	36	34	32	34	36	32	38	36	34	38	36	35	1,93	286	35
4	S4	Trave	32	36	38	30	36	30	36	44	36	38	30	38	35	3,16	286	57
5	S5	Trave	40	42	46	40	42	42	48	48	42	46	48	40	44	3,10	489	56
6	S6	Pilastro	32	32	34	36	38	36	38	30	36	36	38	36	35	2,12	286	38
7	S7	Pilastro	32	30	34	30	32	30	32	44	26	36	30	42	33	3,79	245	68
8	S8	Trave	48	42	42	46	42	48	40	42	44	48	42	42	44	2,57	489	46
9	S9	Trave	34	32	36	32	34	36	32	38	34	36	38	34	35	1,90	286	34
10	S10	Trave	34	36	38	32	30	30	36	44	32	32	36	34	34	2,49	255	45
11	S11	Trave	42	40	42	44	46	48	42	40	42	46	44	48	44	2,46	489	44
12	S12	Pilastro	30	30	34	36	38	36	30	36	38	36	38	38	35	3,01	286	54
13	S13	Trave	42	42	44	48	44	48	46	42	42	50	46	48	45	2,54	510	46
14	S14	Trave	36	30	30	32	36	32	36	38	30	32	32	34	33	2,36	245	42
15	S15	Trave	38	36	32	34	36	32	30	32	44	34	32	42	35	3,29	286	59
16	S16	Pilastro	38	38	30	36	44	32	34	36	32	32	36	34	35	2,35	286	42
17	S17	Pilastro	34	36	36	34	32	32	42	32	28	36	34	28	33	2,50	245	45
18	S18	Pilastro	38	34	36	38	30	36	34	34	36	38	36	38	36	1,63	306	29
19	S19	Trave	36	34	30	32	44	34	28	34	32	34	36	32	33	1,90	245	34
20	S20	Pilastro	32	36	32	36	34	32	34	30	30	32	36	38	33	2,12	245	38
21	S21	Pilastro	34	36	32	30	34	36	32	30	32	32	30	32	32	1,84	224	33
22	S22	Trave	48	48	46	42	46	42	44	48	42	48	46	42	45	2,53	510	46
23	S23	Trave	48	48	48	42	40	44	46	42	42	46	48	48	45	2,67	510	48
24	S24	Trave	36	38	36	40	38	42	42	36	38	42	36	38	38	2,27	347	41
25	S25	Pilastro	42	42	42	36	40	40	32	38	42	42	38	32	39	3,29	367	59
26	S26	Pilastro	40	42	42	40	40	28	38	34	38	36	38	38	38	2,27	347	41
27	S27	Trave	42	42	44	46	46	44	42	48	46	40	44	46	44	1,75	489	32
28	S28	Trave	42	48	44	48	42	44	46	48	40	42	42	40	44	2,74	489	49
29	S29	Pilastro	38	38	40	42	42	40	40	38	44	42	40	44	41	1,90	408	34
30	S30	Trave	30	36	34	34	36	38	36	40	32	34	36	32	35	1,93	286	35

Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra



Misure mediante ultrasuoni

Il metodo d'indagine con ultrasuoni si basa sulla misura del tempo di propagazione di vibrazioni attraverso il calcestruzzo. Queste vibrazioni hanno una frequenza compresa tra i 20.000 e 150.000 Hz.

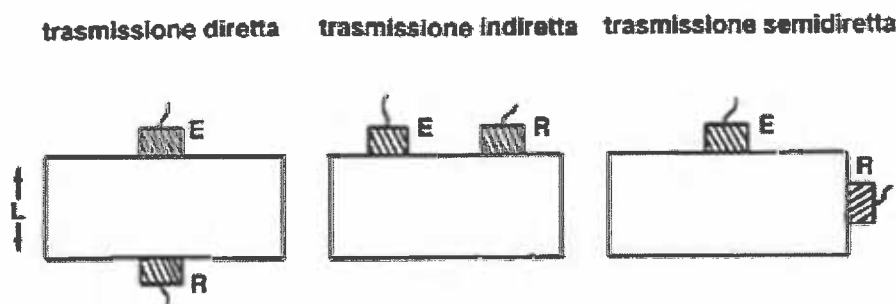
Una volta misurata la distanza fra la sonda trasmittente e la sonda ricevente, rilevato il tempo di propagazione da una sonda all'altra e dividendo il primo valore per il secondo, si ottiene la velocità di trasmissione che rappresenta il dato basilare su cui si eseguono le elaborazioni e conclusioni del metodo.

Con la metodologia descritta si può indagare su:

- omogeneità del calcestruzzo;
- difetti di getto;
- modulo di elasticità dinamico;
- in combinazione con altre indagini, stimare la resistenza del calcestruzzo in sito.

La velocità di propagazione degli ultrasuoni può essere rilevata attraverso due tipi di misura: diretta e indiretta.

Nella trasmissione diretta le sonde vengono posizionate su due facce opposte (fig.1), nella trasmissione indiretta su due facce ortogonali (fig.2).



Nel nostro caso è stato utilizzato esclusivamente il metodo indiretto

Per una prima valutazione della qualità del calcestruzzo con inerte calcareo, in base alla velocità degli ultrasuoni, ci si può basare su quanto riportato sul Bollettino CEB n°192 "Diagnosis and assessment of concrete structures", pag. 78 :

$V > 4.000$ m/s Cls di buona qualità;
 3.000 m/s $< V < 4.000$ m/s Cls di media qualità;
 $V < 3.000$ m/s Cls di qualità scadente.

Le misure sono state eseguite conformemente alla normativa UNI EN 12504 – 4:2005.

Le strutture indagate ed i relativi valori misurati della velocità di propagazione sono riportati nella tabella di seguito riportata:

N.	Identificazione		Misurazione	Spazio	Velocità	Tempo
				[m]	[m/s]	[msec]
1	S1	Trave	Indiretta	0,20	4843	41,3
2	S2	Pilastro	Indiretta	0,20	3839	52,1
3	S3	Trave	Indiretta	0,20	3759	53,2
4	S4	Trave	Indiretta	0,20	3683	54,3
5	S5	Trave	Indiretta	0,20	4662	42,9
6	S6	Pilastro	Indiretta	0,20	3759	53,2
7	S7	Pilastro	Indiretta	0,20	3945	50,7
8	S8	Trave	Indiretta	0,20	4619	43,3
9	S9	Trave	Indiretta	0,20	4090	48,9
10	S10	Trave	Indiretta	0,20	4024	49,7
11	S11	Trave	Indiretta	0,20	4796	41,7
12	S12	Pilastro	Indiretta	0,20	3788	52,8
13	S13	Trave	Indiretta	0,20	4831	41,4
14	S14	Trave	Indiretta	0,20	3788	52,8
15	S15	Trave	Indiretta	0,20	3846	52,0
16	S16	Pilastro	Indiretta	0,20	3824	52,3
17	S17	Pilastro	Indiretta	0,20	3839	52,1
18	S18	Pilastro	Indiretta	0,20	3546	56,4
19	S19	Trave	Indiretta	0,20	3929	50,9
20	S20	Pilastro	Indiretta	0,20	3839	52,1
21	S21	Pilastro	Indiretta	0,20	3945	50,7
22	S22	Trave	Indiretta	0,20	4866	41,1
23	S23	Trave	Indiretta	0,20	4684	42,7
24	S24	Trave	Indiretta	0,20	3868	51,7
25	S25	Pilastro	Indiretta	0,20	3846	52,0
26	S26	Pilastro	Indiretta	0,20	3891	51,4
27	S27	Trave	Indiretta	0,20	4728	42,3
28	S28	Trave	Indiretta	0,20	4796	41,7
29	S29	Pilastro	Indiretta	0,20	4016	49,8
30	S30	Trave	Indiretta	0,20	3839	52,1

Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Etra

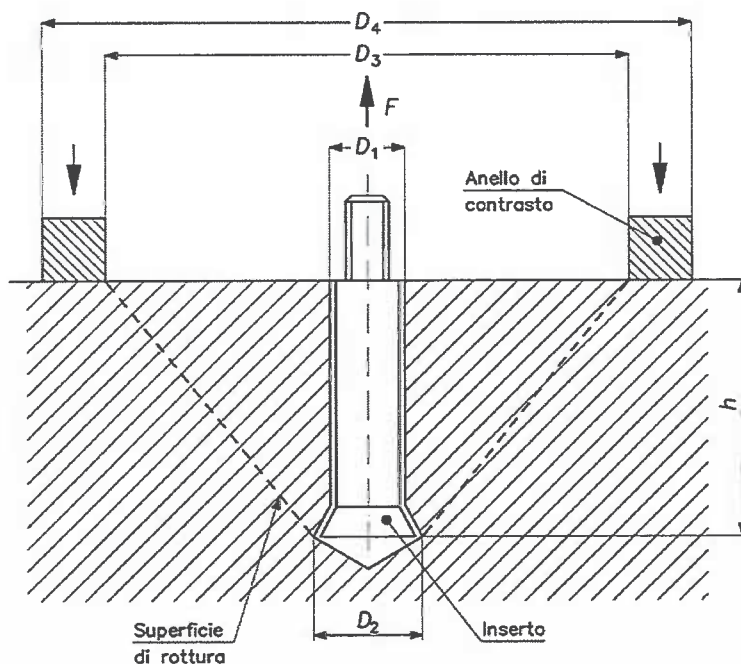


Pull - Out

Premessa

Si determina, in tali prove, la forza necessaria ad estrarre, da un elemento strutturale in c.a., un inserto metallico ad espansione geometrica post-inserito. L'estrattore dell'inserto è costituito da un martinetto oleodinamico azionato da una pompa manuale. La pressione applicata viene rilevata tramite un manometro digitale. Con tale apparecchiatura si va ad applicare una forza di trazione di un inserto metallico inserito, facendo contrasto sulla superficie di calcestruzzo mediante un anello in acciaio (opportunamente centrato rispetto allo stelo dell'inserto) solidale al corpo dell'estrattore, fino a provocare il distacco del volume di calcestruzzo tronco-conico. La pressione necessaria all'estrazione di tale volume in calcestruzzo sarà convertita in equivalente forza di estrazione,

Il metodo descritto ha il pregio di consentire la misura diretta della resistenza del calcestruzzo di una struttura e consiste nell'estrarre, mediante apposita attrezzatura, dal calcestruzzo della struttura, uno stelo in acciaio con base allargata inserito precedentemente al getto o mediante la foratura e l'inserimento di un tassello, nel momento stesso in cui si effettua la prova.



La finalità della prova consiste nel valutare la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera attraverso il valore della forza di trazione necessaria ad estrarre lo stelo; questo in generale è realizzato con un bullone che è posto nella struttura ad una sufficiente distanza dalle armature.

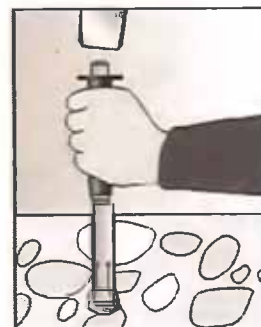
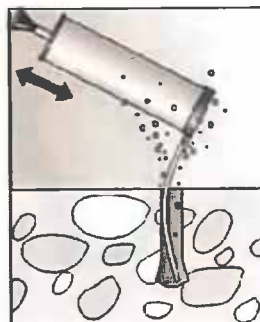
L'estrazione è effettuata con un martinetto cavo, dove viene inserito lo stelo, che è poggiato su di un particolare anello di contrasto; il martinetto è collegato ad un manometro di precisione a doppio indice ed alla pompa. Dal valore di pressione, letto sul manometro all'istante dello strappo del bullone, si risale mediante la curva di taratura del martinetto alla forza di estrazione.

Esecuzione della prova

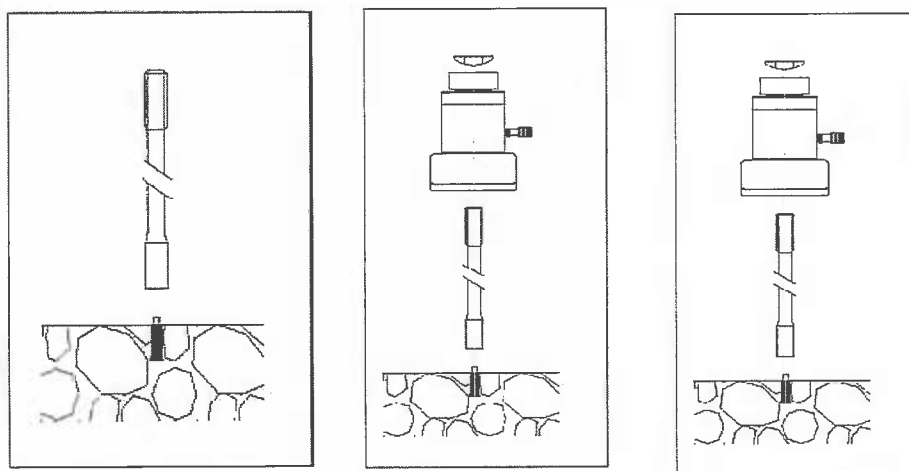
L'esecuzione della prova si compone di differenti stadi, quali

- a) Posizionamento del tassello
- b) Estrazione
- c) Interpretazione della misura

Eseguita indagine pacometrica per individuazione dei ferri di armatura, si procede al posizionamento del tassello ad una distanza ragionevole dalle barre/staffe in modo da annullare la loro interazione. Il posizionamento sarà valutato in funzione della dimensione del tassello e relativo anello di contrasto il quale determina la dimensione superficiale della sezione troco-conica che verrà rimossa durante la fase di estrazione. Il tassello dovrà essere posizionato in modo corretto e il più ortogonale possibile alla superficie del getto. Anche la dimensione del foro dovrà essere tale da evitare giochi o laschi. L'utilizzo di determinati tasselli permette di utilizzare punte e supporti per inserimento (batti tassello) che facilitano l'operazione di posizionamento.



Eseguire il collegamento del perno di tiro con l'estremità del tassello inserito nel manufatto. Il fissaggio delle parti avviene tramite avvitarlo. L'utilizzo di un perno removibile dal martinetto facilita questa operazione, in quanto la testa del tassello resta visibile all'operatore e non occlusa dall'eventuale anello di contrasto o martinetto. Posizionato il perno, procedere con inserimento del martinetto forato e successivo avvitarlo del dato di bloccaggio. Stringere adeguatamente il dado in modo che il martinetto risulti saldo sulla struttura (parete verticale). Questa operazione inoltre fornisce un "pre-carico" al tassello che evita eventuali strappi. Procedere con l'estrazione del tassello attraverso il pompaggio dell'olio nel martinetto. La velocità dell'operazione deve essere regolare e costante evitando così di provocare carichi improvvisi che porterebbero ad una rottura prematura del calcestruzzo e quindi a valori non affidabili.



Espressione dei risultati

Per ogni punto di misura sono state effettuate n. 3 estrazioni nel calcolo della forza F (forza di estrazione sarà valutata come media dei tre valori).

Successivamente la correlazione tra la forza d'estrazione F , ricavata dalla pressione misurata al martinetto e la resistenza cubica R_c sarà determinata con la seguente espressione:

$$R_c = A + B \times F$$

Dove

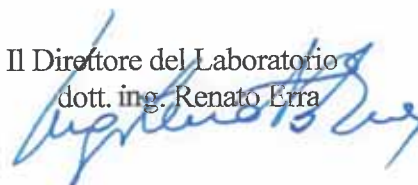
F è la forza di estrazione

A e B sono coefficienti che per il tipo di tassello utilizzato valgono rispettivamente 94,1 e 0,092

Nel seguito si riportano i risultati ottenuti:

N.	Identificazione		Area	Pressione	Forza	Media Forza	Resistenza
			[cm ²]	[bar]	[kg]	[kg]	[kg/cm ²]
1	Pull 01	Trave	17,59	259	4556	4509	508,92
2			17,59	262	4609		
3			17,59	248	4362		
4	Pull 02	Trave	17,59	120	2111	2040	281,82
5			17,59	109	1917		
6			17,59	119	2093		
7	Pull 03	Trave	17,59	247	4345	4538	511,62
8			17,59	268	4714		
9			17,59	259	4556		
10	Pull 04	Trave	17,59	267	4697	4767	532,65
11			17,59	259	4556		
12			17,59	287	5048		
13	Pull 05	Trave	17,59	129	2269	2392	314,19
14			17,59	162	2850		
15			17,59	117	2058		
16	Pull 06	Pialstro	17,59	187	3289	3178	386,47
17			17,59	175	3078		
18			17,59	180	3166		

Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra



Determinazione della resistenza a trazione barre d'armatura

La prova per la determinazione della resistenza a trazione è stata eseguita secondo le norme UNI-EN ISO 15630-1:2019 e UNI-ISO 10065 sulle barre prelevate dalle membrature indicate sulla pianta allegata.

Per le prove di trazione è stata utilizzata una macchina di prova RMU A017/100 di capacità massima pari a 600 kN. I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Numero	Sigla	Elemento strutturale	Ø eff.	Sezione	Tensione di snervamento f_y		Tensione di rottura f_t		Allungamento
			[mm]	[mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
1	P1	Pilastro	18,07	256,48	137,6	536,5	215,1	838,7	16,8
2	P2	Trave	13,85	150,74	80,3	532,7	127,0	842,5	19,0
3	P3	Pilastro	20,38	326,11	202,8	621,9	301,7	925,1	18,6

Lo sperimentatore addetto ai prelievi

Ing. Domenico Letterello



Il Direttore del Laboratorio

dott. ing. Renato Erra



Determinazione della resistenza a trazione acciaio da carpenteria

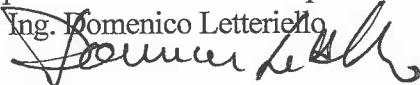
La prova per la determinazione della resistenza a trazione è stata eseguita secondo le norme UNI-EN 6892-1:2020 e UNI- EN ISO 377-2017 sui prelievi da profilato indicati sulla pianta allegata.

Per le prove di trazione è stata utilizzata una macchina di prova RMU A017/100 di capacità massima pari a 600 kN. I risultati sono riportati nella tabella seguente.

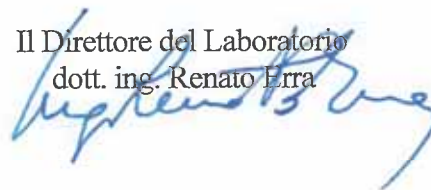
Provino					Sezione	Tensione di snervamento f_y		Tensione di rottura f_t		Allungamento
n.	Sigla	Posizione	[mm]		[mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
1	P1	Pilastro	9,80	33,60	329,28	91,2	277,0	118,6	360,2	21,7
2	P2	Rinforzo	10,00	18,60	186,00	57,7	310,2	72,9	391,9	18,8
3	P3	Pilastro	13,50	30,60	413,10	131,0	317,1	180,6	437,2	26,1

Lo sperimentatore addetto ai prelievi

Ing. Domenico Letteriello



Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra



Si riportano nel paragrafo successivo i valori regolamentari estratti dalle NTC 2018,

NTC 2008 e dal Decreto del Ministero LL. PP. 14 Febbraio 1992.

Acciaio da profilati

Prospetti NTC 17/01/2018

Tab. 4.2.I - Laminati a caldo con profili a sezione aperta piani e livigati

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	580
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Tab. 4.2.II - Laminati a caldo con profili a sezione curva

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		
S460 NH/NHL	460	550		

Prospetti NTC 14/01/2008

Tabella 11.3.IX - Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	530
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/M/L	275	370	255	360
S 355 M/M/L	355	470	335	450
S 420 M/M/L	420	520	390	500
S 460 M/M/L	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Tabella 11.3.X - Laminati a caldo con profili a sezione cava

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

Acciaio d'armatura

Prospetti NTC 17/01/2018

11.3.2. ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati secondo le procedure di cui al precedente § 11.3.1.2 e controllati con le modalità riportate nel § 11.3.2.11.

11.3.2.1 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento e della tensione a carico massimo da utilizzare nei calcoli:

Tab. 11.3.Ia

$f_{y\text{nom}}$	450 N/mm ²
$f_{t\text{nom}}$	540 N/mm ²

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.Ib:

Tab. 11.3.Ib

Caratteristiche	Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y\text{nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo f_{tk}	$\geq f_{t\text{nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
	$< 1,35$	
$(f_y/f_{y\text{nom}})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12$ mm	4 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16$ mm	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25$ mm	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40$ mm	10 ϕ	

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quanto indicato al § 11.3.2.3.

11.3.2.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450A

L'acciaio per calcestruzzo armato B450A, caratterizzato dai medesimi valori nominali della tensione di snervamento e della tensione a carico massimo dell'acciaio B450C, deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab.11.3.Ic.

Tab. 11.3.Ic

Caratteristiche	Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y\text{nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo f_{tk}	$\geq f_{t\text{nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
$(f_y/f_{y\text{nom}})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 2,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
per $\phi \leq 10$ mm	4 ϕ	

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quanto indicato al § 11.3.2.3.

Prospetti NTC 14/01/2008

11.3.2 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati secondo le procedure di cui al precedente § 11.3.1.2 e controllati con le modalità riportate nel § 11.3.2.11.

11.3.2.1 Acciaio per cemento armato B450C

L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

Tabella 11.3.Ia

$f_{v\ nom}$	450 N/mm ²
$f_{t\ nom}$	540 N/mm ²

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.Ib:

Tabella 11.3.Ib

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{v\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{vnom})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 7,5\ %$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12\ mm$	4 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16\ mm$	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25\ mm$	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40\ mm$	10 ϕ	

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quanto indicato al § 11.3.2.3.

11.3.2.2 Acciaio per cemento armato B450A

L'acciaio per cemento armato B450A, caratterizzato dai medesimi valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura dell'acciaio B450C, deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.Ic.

Tabella 11.3.Ic

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{v\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
$(f_v/f_{vnom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 2,5\ %$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
per $\phi \leq 10\ mm$	4 ϕ	

Prospetti Decreto Ministero LL. PP. 14 febbraio 1992

Prospetto 1 – Acciai in barre tonde lisce

TIPO DI ACCIAIO		Fe B 22 k	Fe B 32 k
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk} N/mm ² [kgf/mm ²]	≥ 215 [≥ 22]	≥ 315 [≥ 32]
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk} N/mm ² [kgf/mm ²]	≥ 335 [≥ 34]	≥ 490 [≥ 50]
Allungamento A_5	%	≥ 24	≥ 23
Piegamento a 180° su mandrino avente diametro	D	2 Ø	3 Ø

Prospetto 2 – Acciai in barre ad aderenza migliorata

TIPO DI ACCIAIO		Fe B 38 k	Fe B 44 k	
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	N/mm ² [kgf/mm ²]	≥ 375 [≥ 38]	≥ 430 [≥ 44]	
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	N/mm ² [kgf/mm ²]	≥ 450 [≥ 46]	≥ 540 [≥ 55]	
Allungamento A_5	%	≥ 14	≥ 12	
Per barre ad aderenza migliorata aventi Ø (*)	fino a 12 mm			
	oltre 12 mm fino a 18 mm	Piegamento a 180° su mandrino avente diametro D	3 Ø	4 Ø
	oltre 18 mm fino a 25 mm	Piegamento e raddrizzamento su mandrino avente diametro D	6 Ø	8 Ø
	oltre 25 mm fino a 30 mm		8 Ø	10 Ø
		10 Ø	12 Ø	

(*) Il diametro Ø è quello della barra tonda liscia equipesante

Prova durometrica

Scopo dell'indagine è quella di determinare la durezza dell'acciaio e di conseguenza effettuare una stima della resistenza a trazione delle barre d'armatura.

Il durometro è uno strumento digitale che permette di rilevare la durezza di barre di armatura, i cui valori, mediante correlazioni presenti nell' UNI EN ISO 18265, permettono di stimare la resistenza a trazione senza prelevarne un campione su cui eseguire prove di laboratorio. Questa tipologia di prova non è intercambiabile con il prelievo di campioni di barre d'armatura/profilo d'acciaio, su cui eseguire le prove di resistenza a trazione di laboratorio, ma permette di estendere la stima della resistenza a trazione ad un maggior numero di elementi.

Dal punto di vista operativo preventivamente, dopo aver individuato la barra mediante pacometro, si rimuove il copriferro per una porzione adeguata alla corretta preparazione del campione di armatura stesso; sulla porzione di barra scoperta viene creata una superficie piana e a bassa rugosità su cui verrà eseguita la prova.

Il principio della prova è molto simile a quello dello sclerometro da calcestruzzo: una sonda con una punta a elevata durezza caricata da una molla, causando una deformazione plastica alla superficie del campione, che si traduce in una perdita di energia cinetica. Questa perdita di energia è quantificata misurando la differenza di velocità d'impatto e quella di rimbalzo sulla superficie del campione ad una data distanza dalla superficie. Si eseguono una serie di misure (minimo 3, massimo 10) su punti distinti della barra. L'elettronica dello strumento elabora i segnali registrati fornendo la lettura della resistenza a trazione dell'acciaio in base a delle correlazioni esistenti in letteratura tra la durezza (grandezza effettivamente misurata, dallo strumento, in scala Leeb, HL) e la resistenza a trazione dell'acciaio.

Metodo LEEB

Il metodo utilizzato nell'esecuzione dell'indagine in oggetto è Il Metodo **Leeb**. Esso è basato sul principio introdotto da Dietmar Leeb nel 1975. Concettualmente è definito come il rapporto tra la velocità di rimbalzo del corpo d'impatto e la velocità d'impatto, successivamente moltiplicate per 1000. In base al tipo di metallo il metodo Leeb indica il rapporto di durezza e può anche essere convertito in altre scale (ad esempio HB, HV, HRC etc). Sfruttando lo stesso principio è possibile misurare anche il carico di rottura in riferimento all'acciaio. Il principio di funzionamento si basa sull'applicazione di una certa forza a un corpo d'impatto di un certo peso, che andrà a toccare la superficie da misurare. Lo strumento misura rispettivamente la velocità d'impatto e quella di rimbalzo quando il percussore sferico è situato a 1mm dalla superficie da misurare.

Quando si utilizza il principio dinamico di Leeb, il valore di durezza viene derivato dalla perdita di energia di un corpo di impatto, detto dardo, dopo essere stato scagliato contro il provino ed essere, appunto rimbalzato. Il principio è molto simile a quello dello scleroscopio di Shore.

Il quoziente Leeb (v_r, v_i) viene considerato come espressione dell'energia persa dal dardo nell'impatto grazie alla deformazione plastica del provino: il dardo rimbalzerà più velocemente per corpi con maggiore durezza rispetto a corpi più morbidi. Il valore della scala Leeb è ottenibile dalla seguente formula:

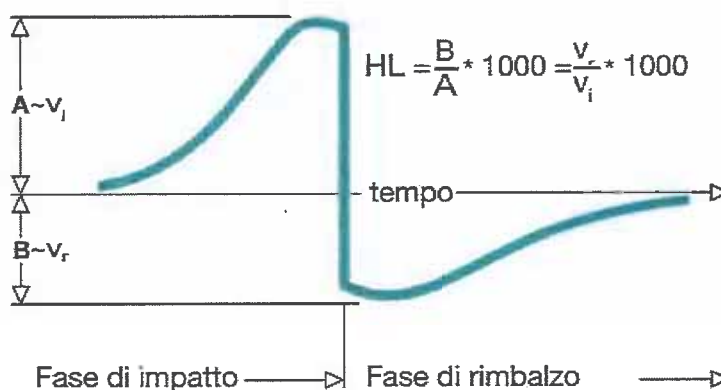
$$HL = 1000 \times (v_r/v_i)$$

Dove:

- HL è il valore di durezza in scala Leeb,
- v_r è la velocità di rimbalzo del dardo,
- v_i è la velocità di impatto del dardo.

Il dardo è magnetizzato e nella parte di appoggio della sonda ad impatto è posta una bobina. E' noto che un magnete in movimento all'interno della bobina indurrà una tensione nel filo della bobina, e che questa tensione è direttamente proporzionale alla velocità del

magnete che passa nella bobina. Praticamente quindi la scala di Leeb è ottenuta dalla formula $1000 \times (V_r/V_i)$ dove V_r e V_i sono le tensioni rispettivamente di rimbalzo e di impatto misurate sulla bobina.



Strumentazione Utilizzata

Durometro a Rimbalzo

Il durometro a rimbalzo è uno strumento portatile utilizzato per la misurazione della durezza dei materiali. Dimensioni compatte e molto robusto, misura la durezza dei metalli in scala Leeb, Vickers, Brinell e con calcolo del carico di rottura, con memoria delle misure effettuate. Lo strumento consente il trasferimento dati tramite software dedicato.

Viene fornito con sonda a rimbalzo tipo "D" di serie, e Set di anelli adattatori (opzionale) che permettono di operare su tutte le superfici concave e convesse.

Principio di funzionamento

Il principio di funzionamento dei durometri è pressoché identico per le varie tipologie: una punta di forma varia, viene spinta con una forza nota contro il materiale da testare, a seconda della durezza del materiale e direttamente proporzionale ad essa, questo penetrerà per una certa profondità. Misurando la profondità di penetrazione o la dimensione dell'impronta si ha l'indicazione della durezza del materiale.

Il durometro a rimbalzo, avendo all'interno le curve di correlazione già inserite, restituisce direttamente la durezza del materiale in base alla scala selezionata.

Caratteristiche tecniche





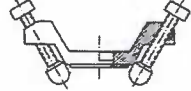
- Vasta gamma di materiali misurabili.
 - Schermo LCD: retroilluminato
 - La dotazione standard include la sonda tipo D
 - Riconoscimento automatico del tipo di sonda
 - Direzione Sonde: 360°
-
- Visualizzazione scale durezza: HRB HRC HV HB HS HLD
 - Memoria: 100 gruppi
 - Informazioni di carica della batteria
 - Funzione di calibratura
 - Software opzionale di connessione con i PC
 - 2 Batterie tipo AA garantiscono un'autonomia di 100 ore
 - Autospegnimento per il risparmio energetico
 - Conforme secondo Standard ASTM A965 e DIN 50156
 - Funzioni sul display: Direzione d'impatto, consumo batteria, scala di durezza, il valore di durezza, valore medio, tipo di materiale, numero misure
 - Durezze misurabili: HRB - HRC - HV - HB - HS - HLD

Informazioni di misura:

- Forza d'impatto: 11Nmm
- Massa penetratore: 5.5g
- Minimo spessore del pezzo: 5mm
- Minimo spessore riporti: 0.8mm
- Rugosità max. superficie Ra: 1.6µm
- Massima durezza pezzo: 950HV

Inoltre la strumentazione in possesso del Laboratorio Edil-Test srl ha a disposizione anelli di supporto che servono per utilizzare il durometro a rimbalzo all' interno o all' esterno di cilindri o parti sferiche.

Nella Tabella successiva si riporta un quadro sinottico degli anelli in dotazione:

Nr	Tipo	Tipo anello	Descrizione
1	QE-15		Per superfici esterne cilindriche R10÷R15
2	QE-5-30		Per superfici esterne cilindriche R14.5÷R30
3	QE-50		Per superfici esterne cilindriche R25÷R50
4	QI11-13		Per superfici interne cilindriche R11÷R13
5	QI12.5-17		Per superfici interne cilindriche R12.5÷R17
6	QI16.5-30		Per superfici interne cilindriche R16.5÷R30
7	CE10-15		Per superfici esterne sferiche SRL0÷SR15
8	CE14.5-30		Per superfici esterne sferiche SRL4.5÷SR30
9	CI11-13		Per superfici interne sferiche SRL11÷SR13
10	CI12.5-17		Per superfici interne sferiche SRL12.5÷SR17
11	CI16.5-30		Per superfici interne sferiche SRL16.5÷SR30
12	UN		Adattatore universale per superfici esterne, raggio variabile R10÷∞

Risultati delle misurazioni

A seguito della apertura, è stata esaminata la superficie dei tondi per valutare la presenza della nervatura e lo stato di corrosione. Attraverso spazzole lamellari e carte abrasive, si è raggiunta la finitura superficiale richiesta da norma.

Non si è ritenuto opportuno spianare il tondo, ma ci si è limitati a rasare la nervatura, preservando la curvatura della superficie. Tale curvatura, per problemi d'appoggio della sonda, può inficiare la prova; nella prova sono stati comunque utilizzati anelli adattatori, normati e commercialmente disponibili in varie forme, che sono stati applicati alla base della sonda dello strumento, risolvendo il problema dell'appoggio.

Si anticipa che da sperimentazioni si è riscontrato che la media delle prove Leeb è confidente con il limite di snervamento del campione sottoposto a prova di trazione.

La strumentazione utilizzata è in grado di restituire il valore di resistenza in Mpa.

Identificativo n.	Riferimento	Armatura	Tensione di snervamento
			N/mm ²
1	Is 01	Longitudinale	521
2		Staffe	508
3	Is 02	Longitudinale	489
4	Is 03	Longitudinale	507
5		Staffe	521
6	Is 04	Longitudinale	512
7	Is 05	Longitudinale	534
8		Staffe	521
9	Is 13	Longitudinale	487

Identificativo n.	Riferimento	Armatura	Tensione di snervamento
			N/mm ²
10	Is 07	Longitudinale	467
11		Staffe	531
12	Is 08	Longitudinale	507
13		Staffe	532
14	Is 09	Longitudinale	542
15		Staffe	533
16	Is 10	Longitudinale	524
17	Is 11	Longitudinale	547
18		Staffe	504
19	Carpenteria	Pilastro	279
20	Carpenteria	Trave	284
21	Carpenteria	Pilastro	287
22	Carpenteria	Trave	301
23	Carpenteria	Pilastro	289
24	Carpenteria	Trave	334
27	Is 12	Longitudinale	514
28		Staffe	489
29	Is 14	Longitudinale	507
30		Staffe	497
31	Is 06	Longitudinale	524
32		Staffe	503
33	Carpenteria	Pilastro	304
34	Carpenteria	Trave	278

Il responsabile del settore
p.i. Nicola Criscuolo

Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra




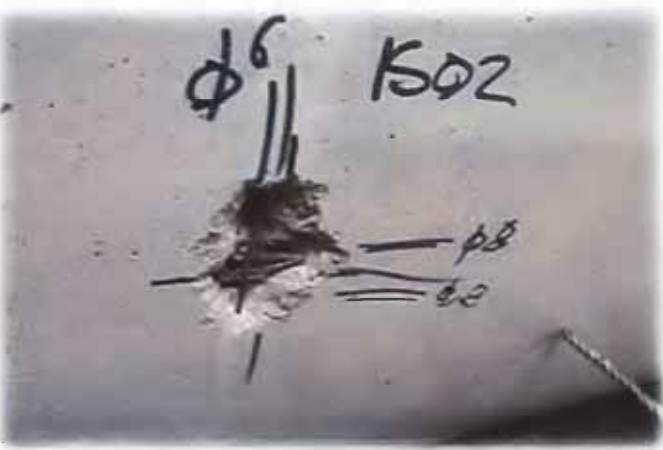
Ispezioni visive elementi in c.a.




Scopo dell'indagine è quella di determinare le caratteristiche dalla struttura portante con particolare riferimento all'acciaio utilizzato per gli elementi in c.a..




L'indagine prevede la rimozione parziale del copriferro per un'area tale da determinare diametri e tipologia di acciaio.

Successivamente si è proceduto al ripristino del copriferro con malta tissotropica.




Nel seguito si riporta un quadro sinottico delle principali risultanze.

	<p><u>Ispezione visiva n. 01</u></p> <p>(IS 01)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 14 mm staffe dn. 8 mm Aderenza Migliorata</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 02</u></p> <p>(IS 02)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave di copertura</p> <p>Armatura longitudinale dn. 8 mm armatura trasversale dn. 6 mm</p>

	<p><u>Ispezione visiva n. 03</u></p> <p>(IS 03)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 14 mm staffe dn. 6 mm Aderenza Migliorata</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 04</u></p> <p>(IS 04/B)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 6 mm armatura trasversale dn. 4 mm</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 05</u></p> <p>(IS 05)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Pilastro</p> <p>Armatura longitudinale dn. 16 mm staffe dn. 8 mm Aderenza Migliorata</p>

	<p><u>Ispezione visiva n. 06</u></p> <p>(IS 06)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 12 mm staffe dn. 10 mm Aderenza Migliorata</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 07</u></p> <p>(IS 07)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Pilastro</p> <p>Armatura longitudinale dn. 12 mm staffe dn. 6 mm Aderenza Migliorata</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 08</u></p> <p>(IS 08)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 16 mm staffe dn. 6 mm Aderenza Migliorata</p>

	<p><u>Ispezione visiva n. 09</u></p> <p>(IS 09)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 16 mm staffe dn. 6 mm Aderenza Migliorata</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 10</u></p> <p>(IS 10)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Pilastro</p> <p>Armatura longitudinale dn. 18 mm staffe dn. 8 mm Aderenza Migliorata</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 11</u></p> <p>(IS 11)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 18 mm staffe dn. 8 mm Aderenza Migliorata</p>

	<p><u>Ispezione visiva n. 12</u></p> <p>(IS 12)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 12 mm staffe dn. 6 mm Aderenza Migliorata</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 13</u></p> <p>(IS 13)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave di copertura</p> <p>Armatura longitudinale dn. 6 mm armatura trasversale dn. 4 mm</p>
	<p><u>Ispezione visiva n. 14</u></p> <p>(IS 14)</p> <p>Elemento ispezionato:</p> <p>Trave</p> <p>Armatura longitudinale dn. 12 mm staffe dn. 8 mm Aderenza Migliorata</p>

Indagine pacometrica

Scopo dell'indagine è quella di individuare l'armatura all'interno di una struttura in calcestruzzo armato, mediante la capacità dei metalli di magnetizzarsi se indotti da un campo magnetico (ferromagnetici).

Lo strumento utilizzato per tale indagine è il pacometro HILTI FERROSCAN PS 200 matricola n°20206001.

I ferri d'armatura concentrano le linee magnetiche e possono essere così individuati. Si fa scorrere lo scanner sulla superficie interessata e genera un campo elettromagnetico capace di penetrare nel cemento. La superficie è scandita in due direzioni perpendicolari l'una all'altra. Contemporaneamente, lo scanner riconosce la distribuzione di campo nello sfondo con un procedimento di misura differenziale.

Il monitor rileva dai dati delle misure una rappresentazione grafica dello strato d'armatura, la copertura di cemento fino alla superficie di una determinata armatura e il diametro. Tramite un software, si possono scaricare le immagini così ottenute ed elaborarle, individuando la maglia, il diametro (ove consentito dall'entità del copriferro) ed il copriferro dell'armatura.

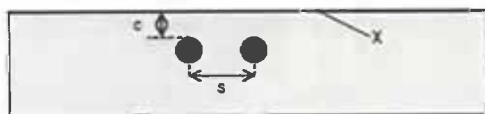
Per la corretta interpretazione dei dati si faccia riferimento alla tabella allegata fornita dal costruttore del pacometro.

Per usi spinti d'utilizzo teorico si raccomanda la messa a nudo dell'armatura.

La restituzione grafica delle scansioni eseguite con i relativi commenti sono riportate nelle pagine in allegati.

Misurazione e precisione pacometro

Per la corretta interpretazione dei risultati si faccia riferimento alle seguenti tabelle fornite dal costruttore dello strumento.



c = copriferos = spazioferro x = superficie

Zona di rilevamento e misurazione e precisione

Per localizzare singoli ferri è necessaria una distanza minima (s) in relazione alla copertura (c) di 2:1. La distanza minima dei ferri è 36 mm. Per individuare singoli ferri occorre tenere conto del valore superiore tra i due.

Per la misurazione della profondità è necessaria una profondità minima di $c \geq 10$ mm.

Descrizione delle tabelle sui diametri dei ferri

\varnothing [m]	Diametro dei ferri in mm
\varnothing	Diametro ferri d'armature
↓ [m]	Profondità in mm
0	a questa profondità è possibile individuare il ferro, tuttavia non viene calcolata la profondità
X	Il ferro non può essere rilevato a questa profondità
Il valore indica la precisione della misurazione di profondità tipica (scosta-mento dal valore effettivo) in mm.	

1 – Diametri ferri di armatura conosciuto

DIN 438

Ø [mm]	T [mm]								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
6	±2	±3	±3	±4	±5	0	X	X	X
8	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
10	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
12	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	X	X
14	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	0	X
16	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
20	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
25	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
28	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
30	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
36	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	X

ASTM

Ø	T [mm]								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
#3	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
#4	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	X	X
#5	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
#6	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
#7	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
#8	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
#9	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
#10	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
#11	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	X

CAN

Ø	I [mm]								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
C10	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
C15	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
C20	±2	±2	±3	±4	±5	±0	±2	0	X
C25	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
C30	±2	±2	±3	±4	±5	±0	±2	0	X
C35	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	±13	0

JIS

Ø	I [mm]								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
D6	±2	±3	±3	±4	±5	0	X	X	X
D10	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
D13	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	X	X
D16	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
D19	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
D22	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
D25	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
D29	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
D32	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
D35	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	0
D38	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	0

GB 50010-2002

Ø [mm]	I [mm]								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
8	±2	±3	±3	±4	±5	0	X	X	X
10	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
12	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	X	X
14	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	0	X
16	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	0	X
18	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	0	X
20	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	0	X
22	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	0	X
25	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	0	X
28	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	±13	0
30	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	±13	0
36	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±2	±13	0

GOST 5781-82

Ø [mm]	I [mm]								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
8	±2	±3	±3	±4	±5	0	X	X	X
10	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
12	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	X	X
14	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
16	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
18	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
20	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
22	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
25	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
28	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	0
30	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	0
36	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	0

BIS 1786:1985

Ø [mm]	I [mm]								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
6	±2	±3	±3	±4	±5	0	X	X	X
8	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
10	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
12	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
16	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
20	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
25	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
28	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
32	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X

2 – Diametri ferri di armatura non conosciuto

DIN 488

∅ (mm)	I (mm)								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
6	±3	±3	±4	±6	±8	0	X	X	X
8	±3	±3	±4	±6	±8	0	0	X	X
10	±3	±3	±4	±6	±8	0	0	X	X
12	±3	±3	±4	±6	±8	±12	0	X	X
14	±3	±3	±4	±6	±8	±12	0	0	X
16	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
20	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
25	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
28	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
30	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
36	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X

ASTM

∅	I (mm)								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
#3	±3	±3	±4	±6	±8	0	0	X	X
#4	±3	±3	±4	±6	±8	±12	0	X	X
#5	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
#6	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
#7	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
#8	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
#9	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
#10	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
#11	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X

GB

∅	I (mm)								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
C10	±3	±3	±4	±6	±8	0	0	X	X
C15	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
C20	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
C25	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
C30	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
C35	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X

JIS

∅	I (mm)								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
D6	±3	±3	±4	±6	±8	0	X	X	X
D10	±3	±3	±4	±6	±8	0	0	X	X
D13	±3	±3	±4	±6	±8	±12	0	X	X
D16	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
D19	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
D22	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
D25	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
D29	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
D32	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
D35	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X
D38	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X

GB 5010-2002

∅ (mm)	I (mm)								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
8	±3	±3	±4	±6	±8	0	X	X	X
10	±3	±3	±4	±6	±8	0	0	X	X
12	±3	±3	±4	±6	±8	±12	0	X	X
14	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
16	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
18	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
20	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
22	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
25	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	0	X
28	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X
32	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X
36	±3	±3	±4	±6	±8	±12	±14	±16	X

Indice di qualità muraria IQM

Scopo dell'indice per la valutazione della qualità muraria IQM è quello di sintetizzare in un valore compreso tra 0 e 10 la qualità del comportamento meccanico di una determinata tipologia muraria.

L'indice IQM viene valutato in modo diverso a seconda della direzione dell'azione sollecitante; in virtù di ciò per una stessa tipologia muraria si hanno tre differenti indici:

- IQM_V per le azioni verticali;
- IQM_{FP} per azioni orizzontali fuori piano;
- IQM_{NP} per azioni orizzontali nel piano.

Tali indici dipendono sostanzialmente dal rispetto o meno dei requisiti caratteristici della corretta ed efficace messa in opera della muratura. Mediante l'osservazione diretta si valuterà il grado di rispetto di ogni parametro della regola d'arte e il risultato finale, dati i valori di IQM, sarà quello di individuare una "categoria" di appartenenza della muratura con l'obiettivo di qualificare la muratura in esame dal punto di vista del comportamento strutturale atteso. Si distinguono tre categorie definite tramite le lettere A, B e C ed intuitivamente la lettera A rappresenta la categoria migliore mentre la C è la peggiore.

Parametri della regola dell'arte considerati nel metodo IQM

Per regola d'arte si intende l'insieme di tutti quegli accorgimenti costruttivi che, quando seguiti nella costruzione di un muro, ne garantiscono il buon comportamento meccanico e ne assicurano la compattezza ed il monolitismo. I parametri che si potrebbero considerare sono molteplici ma per necessità e a vantaggio della pratica operativa, nel metodo IQM vengono considerati solo i seguenti sette elementi:

- Malta di buona qualità
- Ingranamento trasversale o presenza di diatoni
- Elementi resistenti di forma quadrata
- Elementi resistenti di grande dimensione rispetto allo spessore del muro
- Sfalsamento fra i giunti verticali
- Presenza di filari orizzontali
- Buona qualità degli elementi resistenti

Per attribuire un giudizio sulla qualità della muratura occorre valutare in che misura siano rispettati i sette parametri caratterizzanti la regola dell'arte. Solo dopo questa operazione sarà possibile combinare tra loro giudizi parziali, pervenendo ad una valutazione sintetica complessiva.

Per tenere conto, per ciascuno dei sette parametri considerati, di situazioni intermedie tra il pieno rispetto e l'assoluto non rispetto della regola dell'arte è stata introdotta una categoria di giudizio intermedia denominata "parziale rispetto". Di seguito si riportano le tabelle di sintesi dei vari parametri.

Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe (MA.)	
NR	Malta scadente o degradata e polverulenta e del tutto priva di coesione. Malta assente (escluso caso previsto sotto in "R"). Giunti di malta di dimensioni eccessive, paragonabili a quelle degli elementi se la malta non è di ottima qualità. Muratura di elementi porosi (es. tufo) con scarsa aderenza fra la malta e gli stessi elementi.
PR	Malta di qualità intermedia, con giunti non eccessivamente erosi. Murature con elementi irregolari e malta degradata ma con zeppe efficacemente inserite negli spazi fra elementi.
R	Malta in buono stato e ben conservata, con giunti di dimensione non eccessiva rispetto alle pietre o ai mattoni o con giunti ampi e malta di ottima qualità. Muratura con grandi elementi squadrati e priva di malta o con strato di malta sottilissimo. In tal caso si intende "rispettato" il requisito di un efficace contatto fra le pietre.

Tabella di sintesi sul parametro "qualità della malta"

Presenza diatoni / ingranamento trasversale (P.D.)			Orizzontalità dei filari (OR.)	
	Sezione muraria visibile⁷	Sezione muraria non visibile (osservazione facce parete ed esecuzione di saggi interni)		
NR	LMT inferiore a 125 cm. Pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT.	Pietre piccole rispetto allo spessore del muro; assenza di pietre palesemente disposte in senso trasversale alla parete ("di testa").	NR	I tratti orizzontali sono interrotti o con evidenti sfalsamenti sull'intera facciata muraria.
PR	LMT compresa fra 155 cm e 125 cm.	Paramento ben tessuto ed ordinato almeno su una faccia; alcune pietre sono disposte "di testa"; spessore del muro non eccessivo rispetto alle dimensioni delle pietre.	PR	Situazioni intermedie fra il rispetto e il non rispetto, compreso il caso di filari orizzontali solo su una faccia della parete.
R	LMT maggiore di 155 cm	Paramento ben tessuto; blocchi o pietre di dimensione paragonabile a quella dello spessore della parete; presenza sistematica di pietre disposte "di testa".	R	Filari orizzontali su gran parte della parete, senza presentare interruzioni di continuità (per tratti lunghi circa 100 cm) e su entrambe le facce della parete. Murature listate con listature a interasse inferiore a 100 cm.

Tabella di sintesi sui parametri "ingranamento trasversale" e "orizzontalità dei filari"

Forma degli elementi resistenti (F.EL.)	
NR	Prevalenza di elementi di forma irregolare o arrotondata oppure ciottoli su entrambe le facce della parete.
PR	Compresenza di elementi irregolari o ciottoli e blocchi di forma squadrata o mattoni. Pareti con una faccia di blocchi di forma regolare o mattoni e l'altra faccia di ciottoli od elementi di forma irregolare. Elementi arrotondati o irregolari ma con interstizi riempiti di zeppe ben inserite.
R	Prevalenza di elementi di forma squadrata o sbalzata oppure mattoni o laterizi di forma parallelepipeda su entrambe le facce della parete.

Tabella di sintesi sul parametro "forma elementi resistenti"

Resistenza elementi (RE.EL.)		Dimensione degli elementi (D.EL.)	
NR	Elementi degradati (> 50% del totale degli elementi). Elementi laterizi con percentuale di foratura > 70%. Mattoni in fango o argilla non cotta.	NR	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sotto i 20 cm. Parete di soli diatoni in mattoni pieni.
PR	Elementi della muratura degradati (~ fra 10% e 50% del totale degli elementi). Elementi laterizi con foratura fra 70% e 55%. Elementi in tufo tenero (calcarenite).	PR	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore fra 20 e 40 cm. Compresenza di elementi di dimensione variabile.
R	Pietre non degradate o poco degradate. Muratura con pochi elementi degradati (< 10%). Mattoni pieni cotti. Elementi di tufo duro (vulcanico). Elementi laterizi con foratura < 55%. Blocchi in calcestruzzo (anche forati).	R	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sopra i 40 cm.

Tabella di sintesi sui parametri "resistenza elementi" e "dimensione elementi"

Sfalsamento giunti verticali / Ingranamento nel piano (S.G.)		
	Metodo quantitativo ⁸	Metodo qualitativo
NR	Parete a paramento unico: LMT < 140. Parete a doppio paramento: LMT < 140 su una faccia e LMT < 160 sull'altra faccia. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, qualunque sia il valore di LMT. Parete con pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT. Evidente assenza d'ingranamento su una o più linee verticali della parete.	Giunti verticali allineati. Giunti allineati verticalmente su due o più elementi in ampie porzioni della parete. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, anche con giunti verticali sfalsati. Evidente assenza d'ingranamento su una o più linee verticali della parete.
PR	Parete a paramento unico: LMT fra 140 e 160. Parete a doppio paramento: a) entrambi i paramenti con LMT fra 140 e 160. b) LMT rispettato su una faccia e non rispettato sull'altra faccia. c) LMT rispettato su una faccia e parzialmente rispettato sull'altra faccia.	Giunto verticale in posizione intermedia tra zona centrale dell'elemento inferiore e il suo bordo.
R	Parete a paramento unico: LMT > 160 Parete a doppio paramento: LMT > 160 su entrambe le facce.	Giunti verticali in corrispondenza della zona centrale dell'elemento inferiore (escluso il caso di parete in mattoni pieni disposti solo a diatoni).

Tabella di sintesi sul parametro "sfalsamento giunti verticali"

Attribuzione dei punteggi ai parametri della regola dell'arte

Il criterio seguito per differenziare l'importanza di ciascun parametro della regola dell'arte consiste nell'attribuire ai sette parametri pesi differenti, i cui valori numerici, dipendono dalle esperienze condotte.

Di seguito si riportano i valori da attribuire ad ogni parametro in funzione del tipo di azione sollecitante.

	IQM verticale		
	NR	PR	R
OR_v	0	1	2
PD_v	0	1	1
FEL_v	0	1.5	3
SG_v	0	0.5	1
DEL_v	0	0.5	1
MA_v	0	0.5	2
REEL_v	0.3	0.7	1

Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte per IQM verticale

	IQM fuori piano		
	NR	PR	R
OR_{FP}	0	1	2
PD_{FP}	0	1.5	3
FEL_{FP}	0	1	2
SG_{FP}	0	0.5	1
DEL_{FP}	0	0.5	1
MA_{FP}	0	0.5	1
REEL_{FP}	0.5	0.7	1

Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte per IQM fuori piano

	IQM nel piano		
	NR	PR	R
OR_{NP}	0	0.5	1
PD_{NP}	0	1	2
FEL_{NP}	0	1	2
SG_{NP}	0	1	2
DEL_{NP}	0	0.5	1
MA_{NP}	0	1	2
REEL_{NP}	0.3	0.7	1

Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte per IQM nel piano

In base ad alcune evidenze sperimentali è emerso che nel caso di murature in mattoni pieni la resistenza tangenziale media e quella a compressione sono fortemente influenzate dalla qualità della malta in quanto molto spesso la tessitura è tale che è possibile arrivare a rottura senza i contributi positivi dell'ingranamento o che il fenomeno fessurativo si esplica esclusivamente nei giunti di malta. Tali fenomeni non insorgono invece nel caso di muratura a blocchi di pietra squadrata in quanto la funzione della malta è solamente quella di regolarizzare l'appoggio fra una pietra e l'altra.

Il metodo IQM tiene conto di ciò tramite un fattore correttivo "r", diverso per l'azione sollecitante considerata, che riduce adeguatamente gli indici IQM nel caso specifico di murature in mattoni pieni o blocchi.

Determinazione degli IQM e della categoria muraria

Inserendo i punteggi attribuiti tramite le tabelle riportate in precedenza nelle seguenti formule si ricava i tre IQM cercati.

Murature non in mattoni pieni o blocchi equivalenti

$$IQM_V = REEL_V \times (OR_V + PD_V + FEL_V + SG_V + DEL_V + MA_V)$$

$$IQM_{FP} = REEL_{FP} \times (OR_{FP} + PD_{FP} + FEL_{FP} + SG_{FP} + DEL_{FP} + MA_{FP})$$

$$IQM_{NP} = REEL_{NP} \times (OR_{NP} + PD_{NP} + FEL_{NP} + SG_{NP} + DEL_{NP} + MA_{NP})$$

Murature in mattoni pieni o blocchi equivalenti

$$IQM_V = r_V \times REEL_V \times (OR_V + PD_V + FEL_V + SG_V + DEL_V + MA_V)$$

$$IQM_{FP} = r_{FP} \times REEL_{FP} \times (OR_{FP} + PD_{FP} + FEL_{FP} + SG_{FP} + DEL_{FP} + MA_{FP})$$

$$IQM_{NP} = r_{NP} \times REEL_{NP} \times (OR_{NP} + PD_{NP} + FEL_{NP} + SG_{NP} + DEL_{NP} + MA_{NP})$$

Il coefficiente correttivo r dipende essenziale dal parametro MA ed assume i seguenti valori.

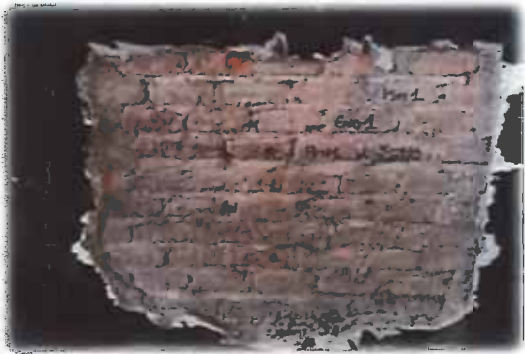

Parametro MA	r_V	r_{FP}	r_{NP}
NR	0,2	1	0,1
PR	0,6	1	0,7
R	1	1	1



Infine in funzione dei tre valori di IQM si ricava la classe di appartenenza della muratura secondo la seguente tabella.



Metodo dei punteggi				
Tipo di azione	Categoria muratura	C	B	A
	Azioni verticali		$0 \leq IQ < 2,5$	$2,5 \leq IQ < 5$
Azioni ortogonali		$0 \leq IQ \leq 4$	$4 < IQ < 7$	$7 \leq IQ \leq 10$
Azioni orizz. complanari		$0 \leq IQ \leq 3$	$3 < IQ \leq 5$	$5 < IQ \leq 10$

Schede di valutazione della qualità muraria

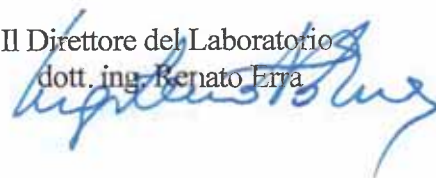
Si specifica che, la procedura per determinare l'indice IQM richiede di esprimere un "giudizio" su sette parametri costruttivi. Seppur ben specificato e delineato, il giudizio è legato alla sensibilità e all'esperienza dell'operatore e dunque non assolutamente oggettivo. Pertanto, per usi spinti delle risultanze riportate nelle schede seguenti si consiglia di confrontare le conclusioni con i risultati ottenuti dalle prove distruttive.

Indice di qualità muraria 01 (IQM 01)			
IS 01 - Muratura mattoni pieni listellati			
	Parametri regola d'arte		
	MA.	PR	
	P.D.	R	
	OR.	R	
	F.EL.	R	
	RE.EL.	R	
	D.EL.	R	
S.G.	R		
Elemento ispezionato: Muratura Piano Terra			
Descrizione	Azioni/Sollecitazioni	IQM	Categoria
IS 01 - Muratura mattoni pieni listellati	Azioni Verticali	5,10	A
	Azioni Orizzontali Fuori Piano	9,50	A
	Azioni Orizzontali nel Piano	6,30	A
Indice di qualità muraria 02 (IQM 02)			
IS 02 - Muratura in blocchi pieni listellati			
	Parametri regola d'arte		
	MA.	PR	
	P.D.	R	
	OR.	R	
	F.EL.	R	
	RE.EL.	R	
	D.EL.	R	
S.G.	R		
Elemento ispezionato: Muratura Piano Ammezzato			
Descrizione	Azioni/Sollecitazioni	IQM	Categoria
IS 02 - Muratura in blocchi pieni listellati	Azioni Verticali	5,10	A
	Azioni Orizzontali Fuori Piano	9,50	A
	Azioni Orizzontali nel Piano	6,30	A

Indice di qualità muraria 03 (IQM 03)			
IS 03 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni			
	Parametri regola d'arte		
	MA.	PR	
	P.D.	PR	
	OR.	PR	
	F.EL.	PR	
	RE.EL.	R	
	D.EL.	R	
S.G.	PR		
Elemento ispezionato: Muratura Piano Primo			
Descrizione	Azioni/Sollecitazioni	IQM	Categoria
IS 03 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni	Azioni Verticali	5,50	A
	Azioni Orizzontali Fuori Piano	5,50	B
	Azioni Orizzontali nel Piano	5,50	A
Indice di qualità muraria 04 (IQM 04)			
IS 04 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni			
	Parametri regola d'arte		
	MA.	PR	
	P.D.	PR	
	OR.	PR	
	F.EL.	PR	
	RE.EL.	R	
	D.EL.	R	
S.G.	PR		
Elemento ispezionato: Muratura Piano Secondo			
Descrizione	Azioni/Sollecitazioni	IQM	Categoria
IS 04 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni	Azioni Verticali	5,50	A
	Azioni Orizzontali Fuori Piano	5,50	B
	Azioni Orizzontali nel Piano	5,50	A

Indice di qualità muraria 05 (IQM 05)			
IS 05 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni			
		Parametri regola d'arte	
		MA.	PR
		P.D.	PR
		OR.	PR
		F.EL.	PR
		RE.EL.	R
		D.EL.	R
		S.G.	PR
Elemento ispezionato: Muratura Piano Primo			
Descrizione	Azioni/Sollecitazioni	IQM	Categoria
IS 05 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni	Azioni Verticali	5,50	A
	Azioni Orizzontali Fuori Piano	5,50	B
	Azioni Orizzontali nel Piano	5,50	A
Indice di qualità muraria 06 (IQM 06)			
IS 06 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni			
		Parametri regola d'arte	
		MA.	PR
		P.D.	PR
		OR.	PR
		F.EL.	PR
		RE.EL.	R
		D.EL.	R
		S.G.	PR
Elemento ispezionato: Muratura Piano Secondo			
Descrizione	Azioni/Sollecitazioni	IQM	Categoria
IS 06 - Muratura in pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni	Azioni Verticali	5,50	A
	Azioni Orizzontali Fuori Piano	5,50	B
	Azioni Orizzontali nel Piano	5,50	A

Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra



Prova penetrometrica su malta

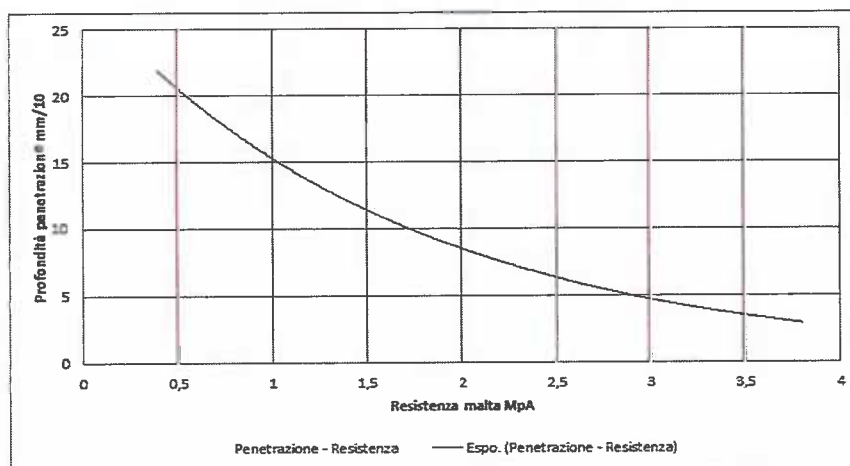
Scopo della prova è stabilire, in situ, la risposta meccanica delle malte nelle murature, attraverso la misurazione della profondità di penetrazione di una punta conica di acciaio, infissa mediante le battute di uno sclerometro.

Il penetrometro per malta utilizzato è costituito da una massa battente collegata da una molla che messa in carica manualmente, colpisce un percussore nel quale viene inserito un puntale (ago) preposto alla perforazione della malta. L'ago puntale realizzato in acciaio legato termina con forma conica con angolo di 25°. L'ago sottoposto ad urti dinamici costanti avanza all'interno del giunto di malta spinge e comprime la malta a lato del proprio percorso. La resistenza che la malta offre all'avanzamento dell'ago è proporzionale alla resistenza meccanica del materiale.

Selezionata la muratura di indagare si è proceduto:

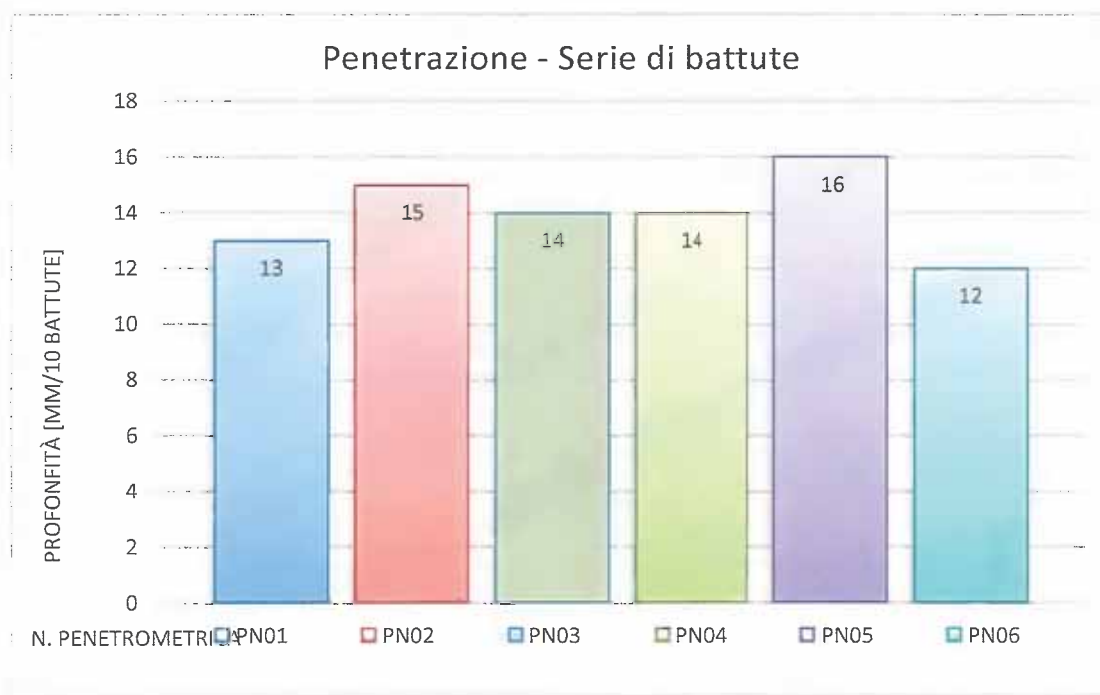
- alla pulizia della stessa rimuovendo l'intonaco
- spazzolatura del giunto di malta orizzontale da verificare
- verifica della lunghezza dell'ago iniziale;
- ad annotare la misura nella tabella report
- eseguire la prova mediante applicazione di n. 10 battute con il percussore
- rilievo della profondità di penetrazione

La curva di correlazione di seguito indicata rappresenta una indicazione del rapporto tra valore di penetrazione e resistenza meccanica della malta. Tali curve non devono essere considerate come riferimento assoluto.

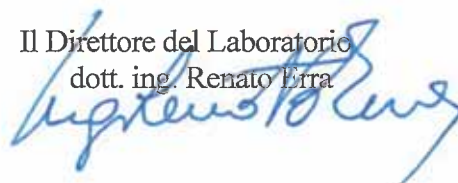


Risultato delle misurazioni

Identificativo	n.	Riferimento	Profondità di penetrazione 10 colpi
			mm
PN01	1	Is 01	13
PN02	2	Is 02	15
PN03	3	Is 03	14
PN04	4	Is 04	14
PN05	5	Is 05	16
PN06	6	Is 06	12



Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra



Esame endoscopico

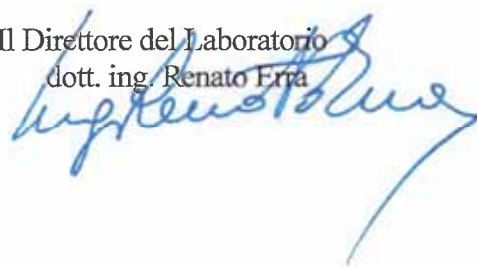
L'ispezione dell'interno del solido murario attraverso indagini endoscopiche consente di effettuare tali valutazioni praticando sulla membratura un foro di pochi millimetri di diametro, rivelandosi così un esame poco invasivo.

Sono stati eseguiti n. 6 esami endoscopici praticando un foro di ispezione nei punti indicati dalla committenza.

Le immagini sono state riprese con un obiettivo avente $f = 2,5$ mm, $F = 2,0$ ed angolo di percezione pari a 120° . I fori entro cui è stata introdotta la camera per la ripresa erano di diametro pari a 30,0 mm.

Stante la soggettività dell'interpretazione delle immagini si raccomanda ai tecnici interessati un'attenta visione delle stesse.

Il Direttore del Laboratorio
dott. ing. Renato Erra



Estratti delle endoscopie



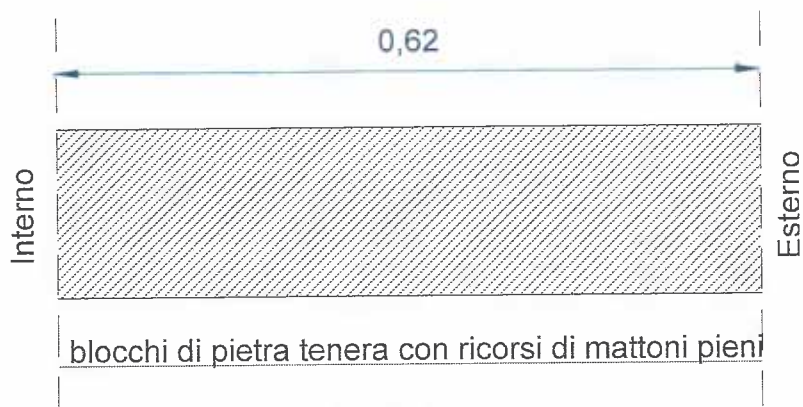
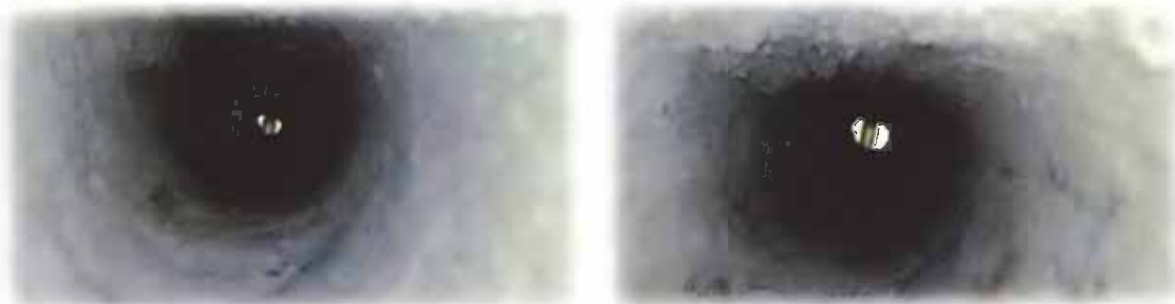
Particolare endoscopia n. 1

Si rileva una muratura in mattoni pieni larghezza totale 65 cm
Al centro si rileva un vuoto (camera d'aria) di larghezza 21 cm
Stratigrafica: mattoni pieni 18 cm – camera d'aria 21 cm – mattoni pieni 26 cm



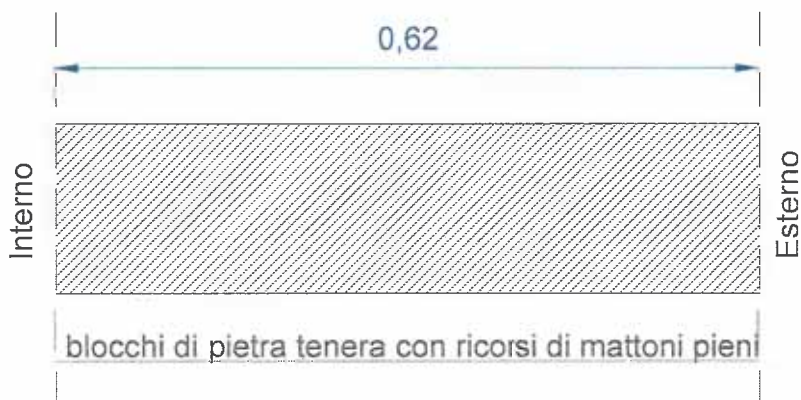
Particolare endoscopia n. 2

Si rileva una muratura in mattoni pieni
con caratteristiche omogenee per tutto lo spessore del paramento (65 cm)



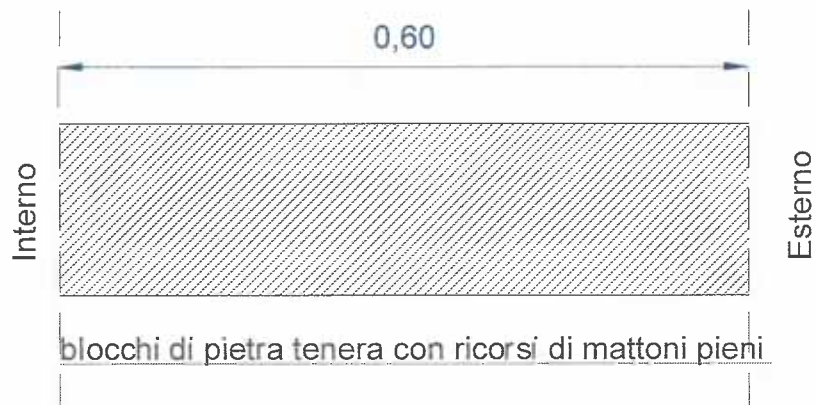
Particolare endoscopia n. 3

Si rileva una muratura in blocchi di pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni
Con caratteristiche omogenee per tutto lo spessore del paramento (62 cm)



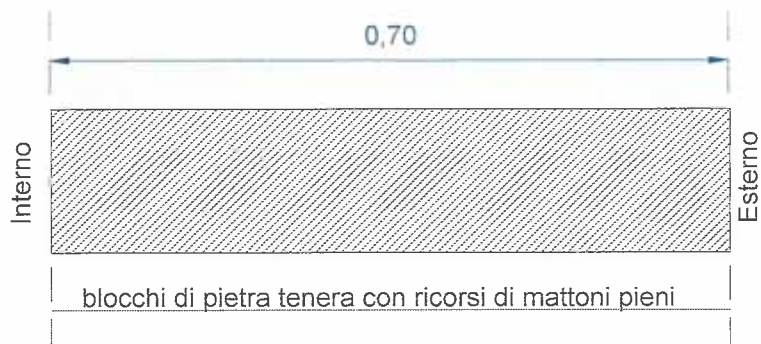
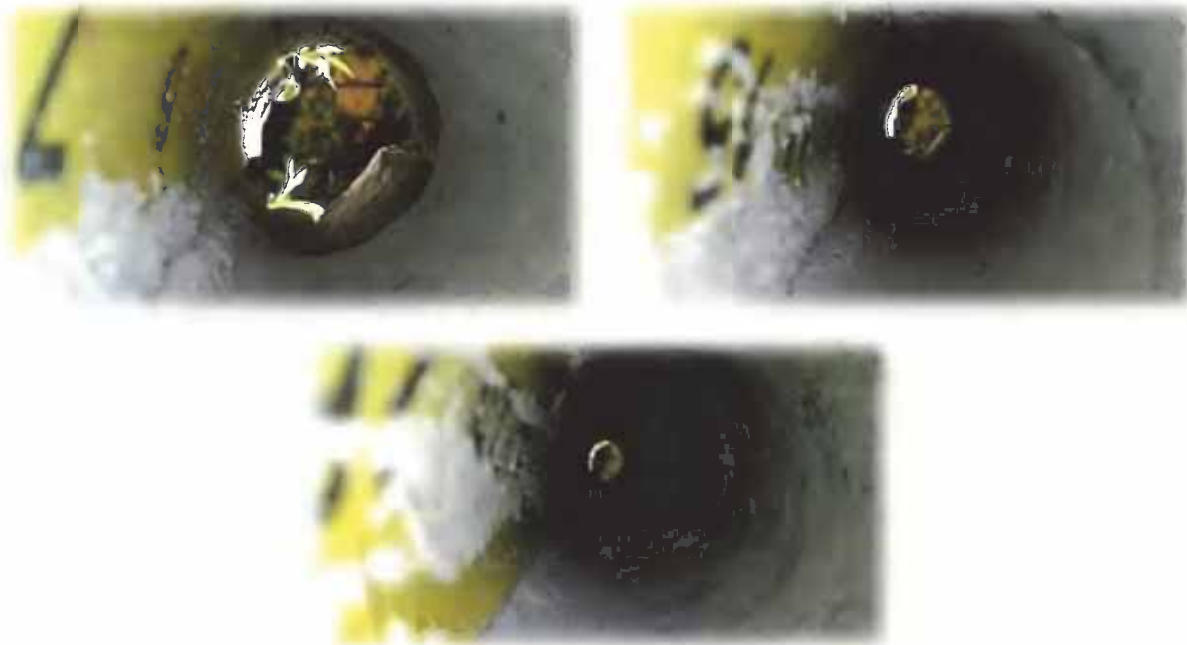
Particolare endoscopia n. 4

Si rileva una muratura in blocchi di pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni
Con caratteristiche omogenee per tutto lo spessore del paramento (62 cm)



Particolare endoscopia n. 5

Si rileva una muratura in blocchi di pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni
Con caratteristiche omogenee per tutto lo spessore del paramento (60 cm)

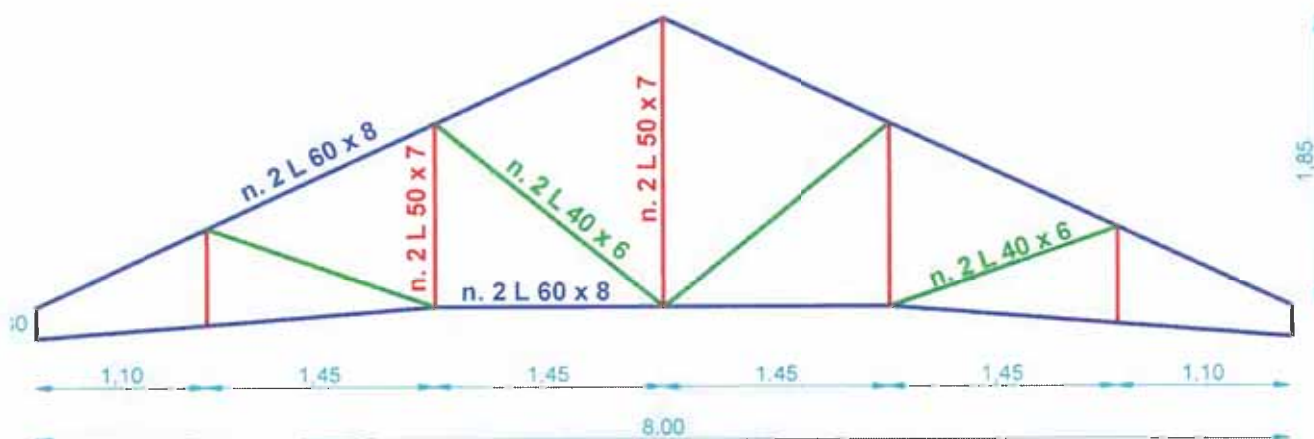


Particolare endoscopia n. 6

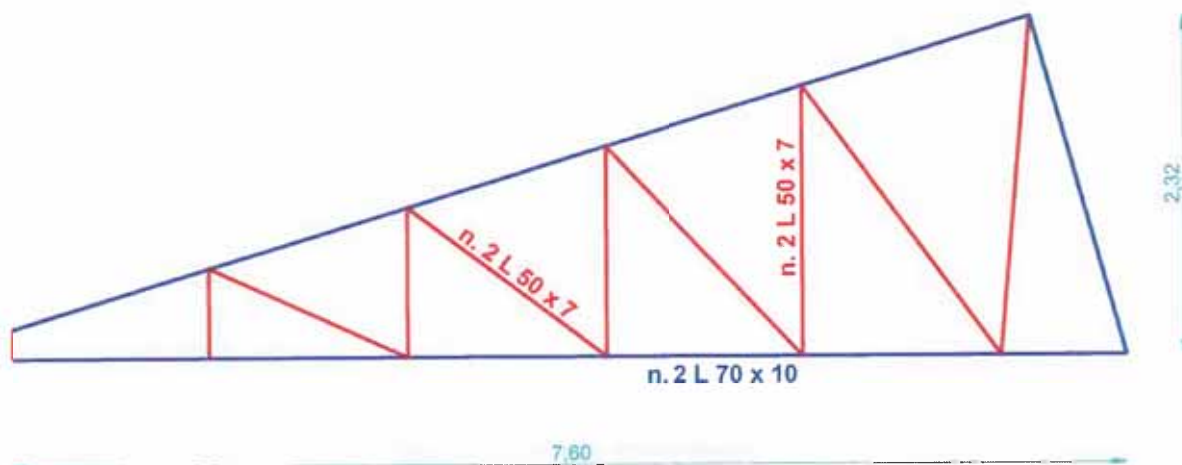
Si rileva una muratura in blocchi di pietra tenera (tufo) con ricorsi di mattoni pieni
Con caratteristiche omogenee per tutto lo spessore del paramento (70 cm)

Rilievo capriate, solai e travi

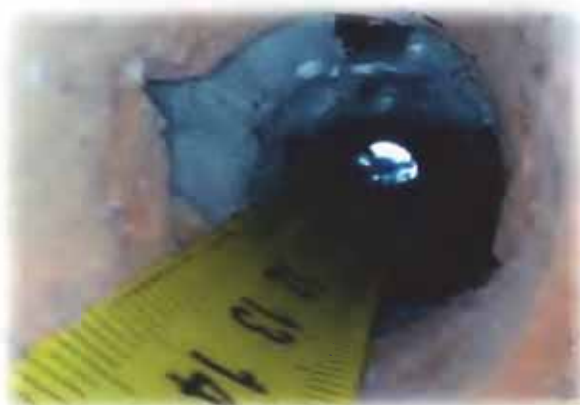
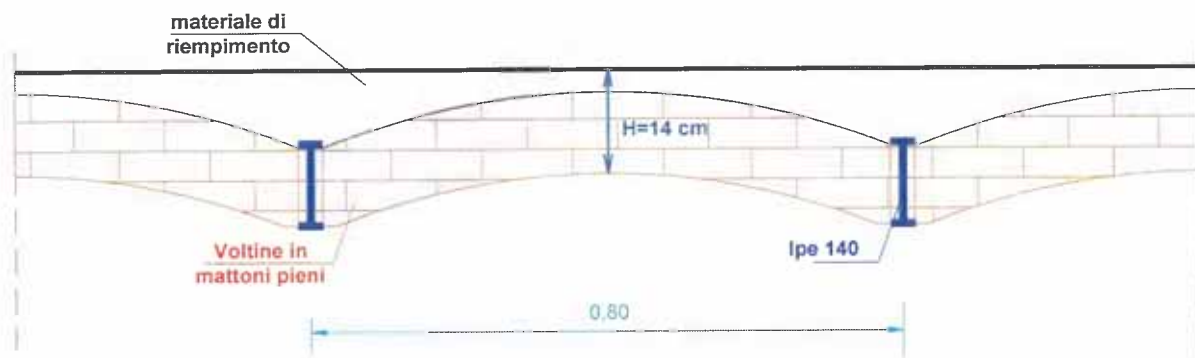
Capriata tipologia n. 1



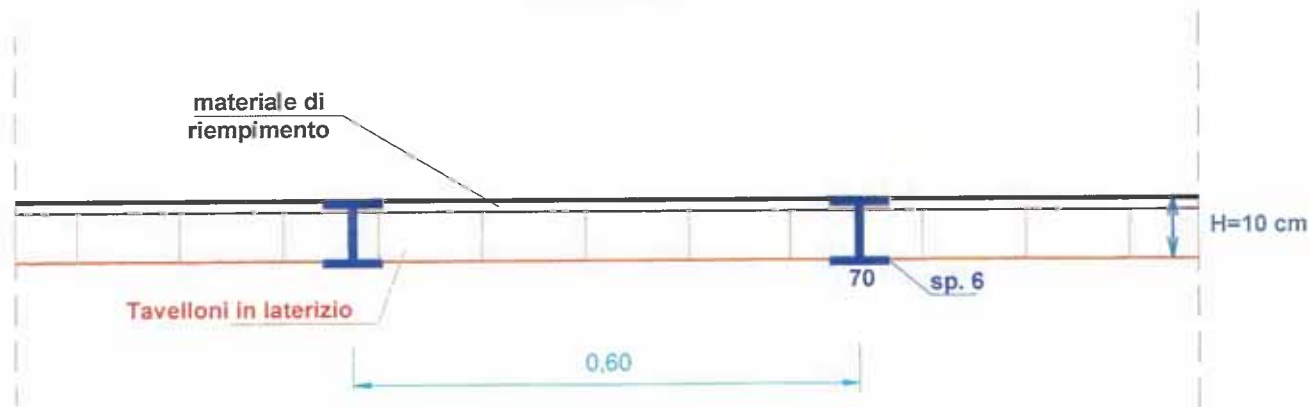
Capriata tipologia n. 2



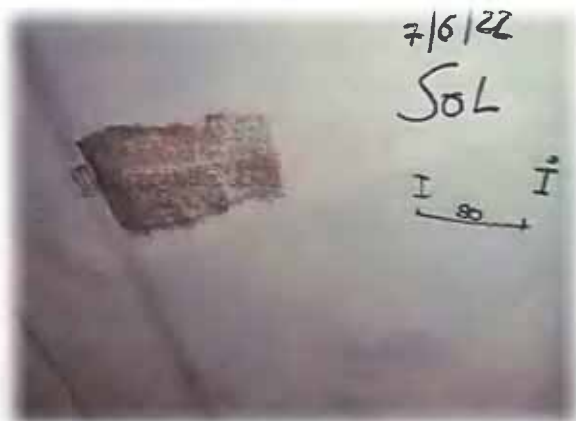
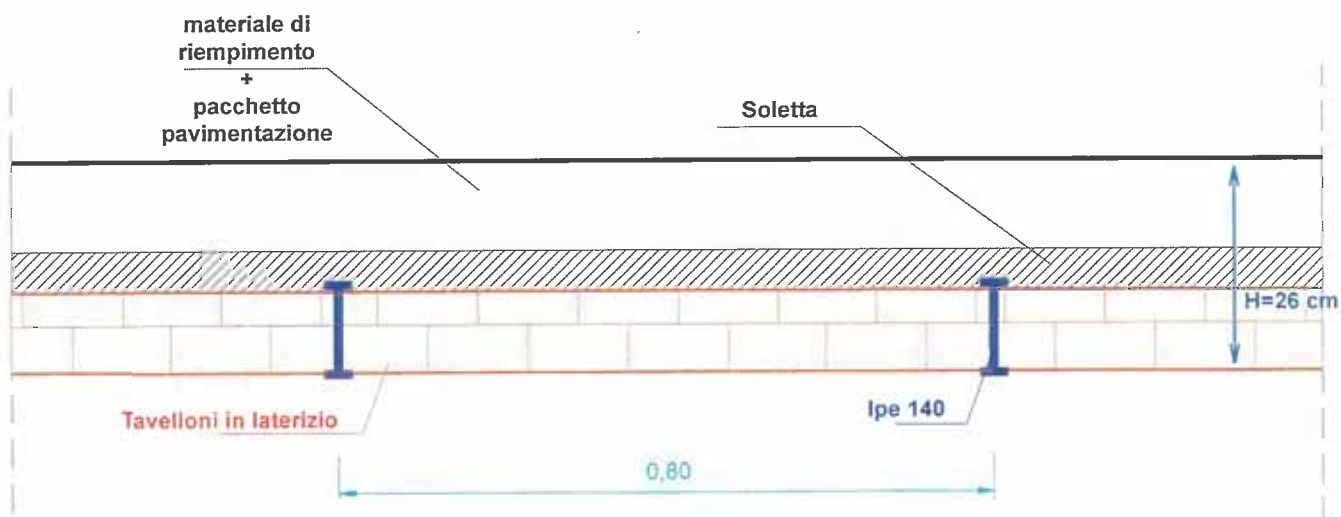
Solaio tipo 1



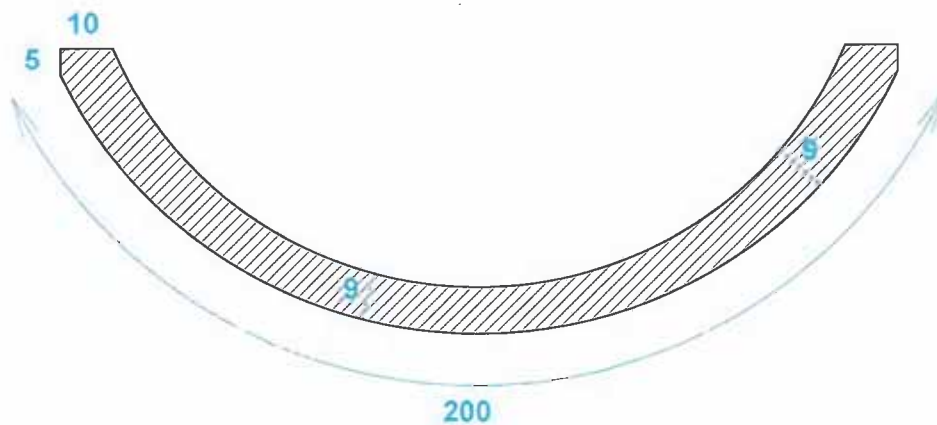
Solaio tipo 2



Solaio tipo 3



Trave di copertura



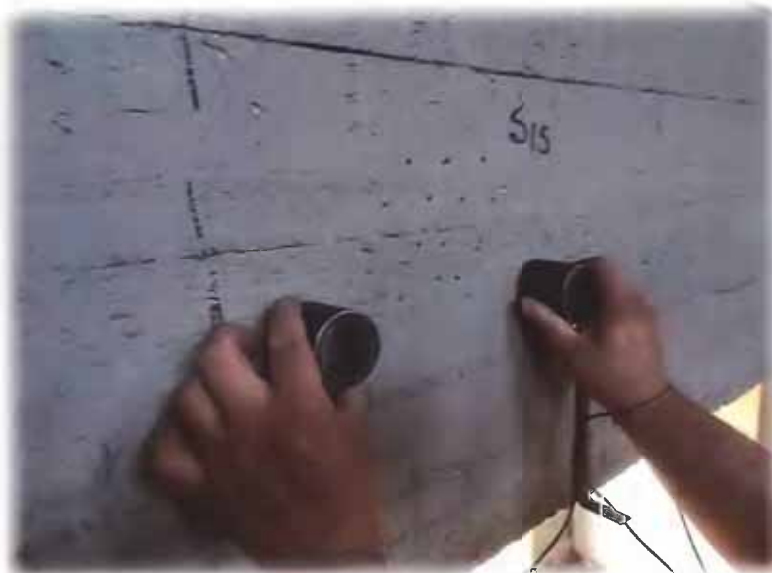
Documentazione fotografica



Esecuzione dei prelievi di cls



Esecuzione delle battute sclerometriche



Esecuzione delle misure ultrasoniche



Prelievo del campione di acciaio



Esecuzione della prova pacometrica



Esecuzione delle prove Pull-Out



Esecuzione delle prove durometriche



Prova penetrometrica su malta



Esecuzione delle endoscopie



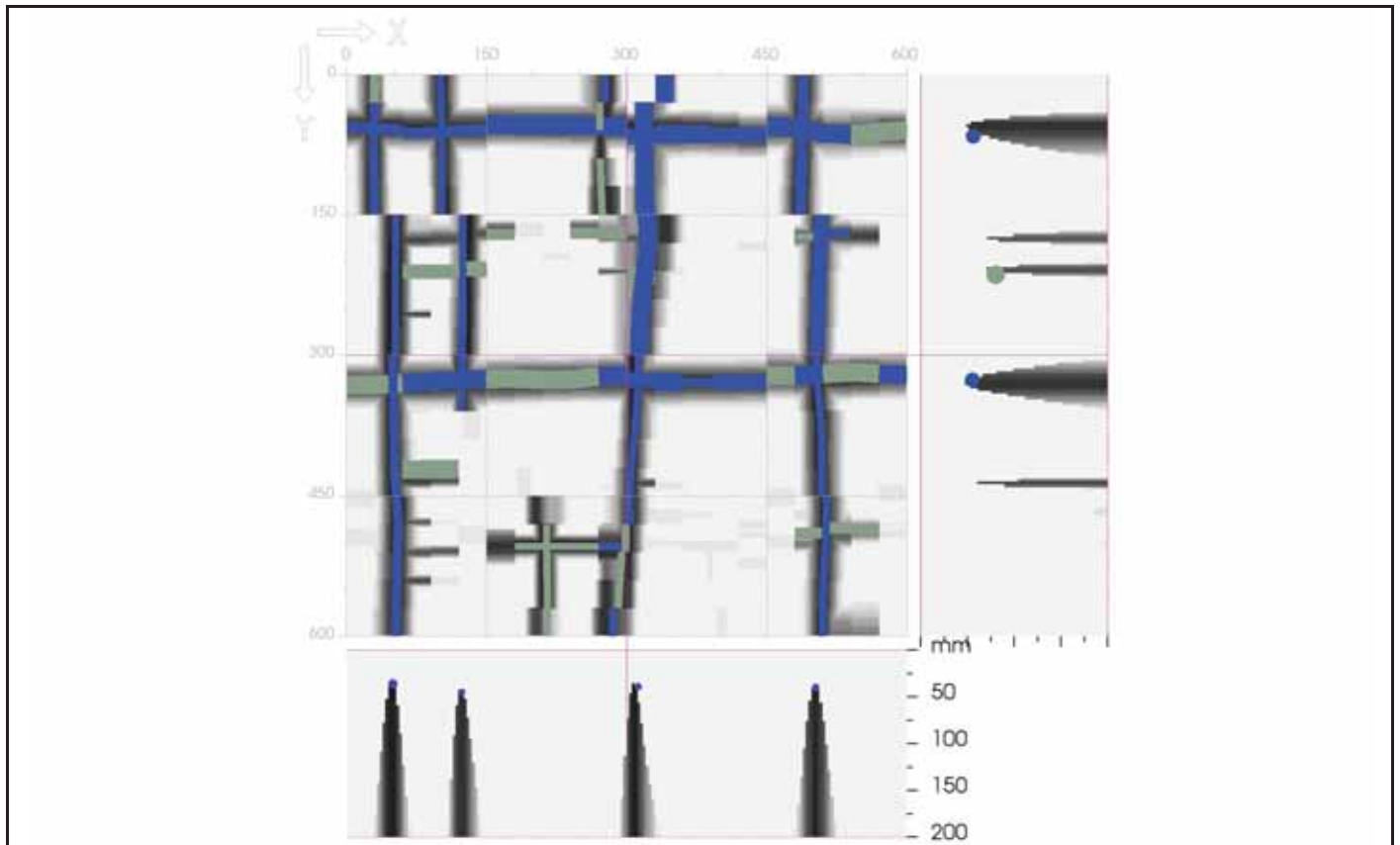
Ripristino strutturale dei carotaggi e dei prelievi di acciaio



Vista di alcuni provini sottoposti alla prova di compressione

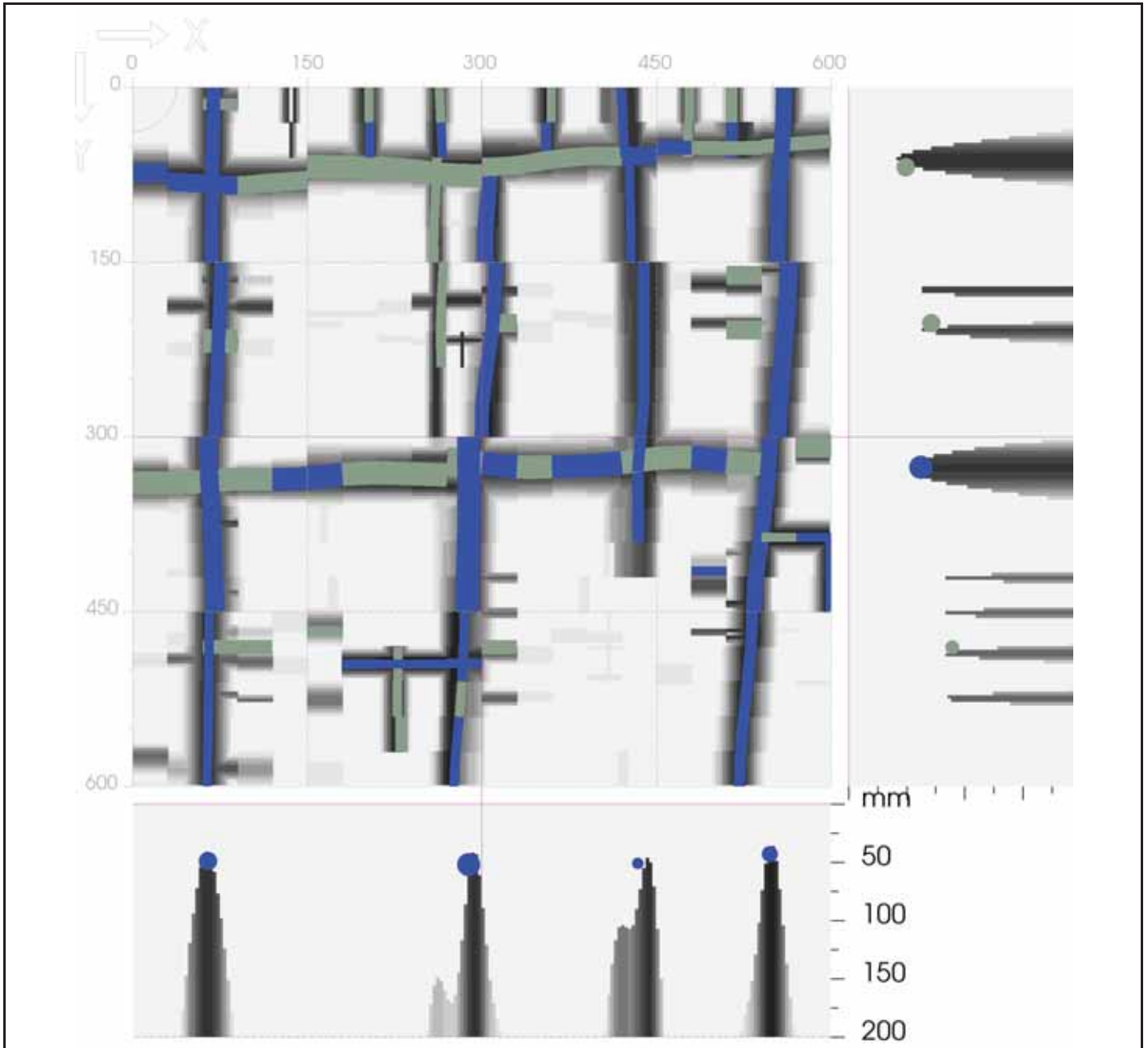
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_09_33_07.fscan
Numero Seriale: 346200003
Data / Ora: 2022-06-07 09:34:32
Commento: Riferimento scansione: Fs 001
Elemento Strutturale: Trave
- Armatura longitudinale:
Si rilevano n. 2 barre del dn compreso tra 10 e 12 mm
- Staffe:
dn. compreso tra 8 e 10 mm
Passo circa 20 cm
Copriferro circa 3 cm



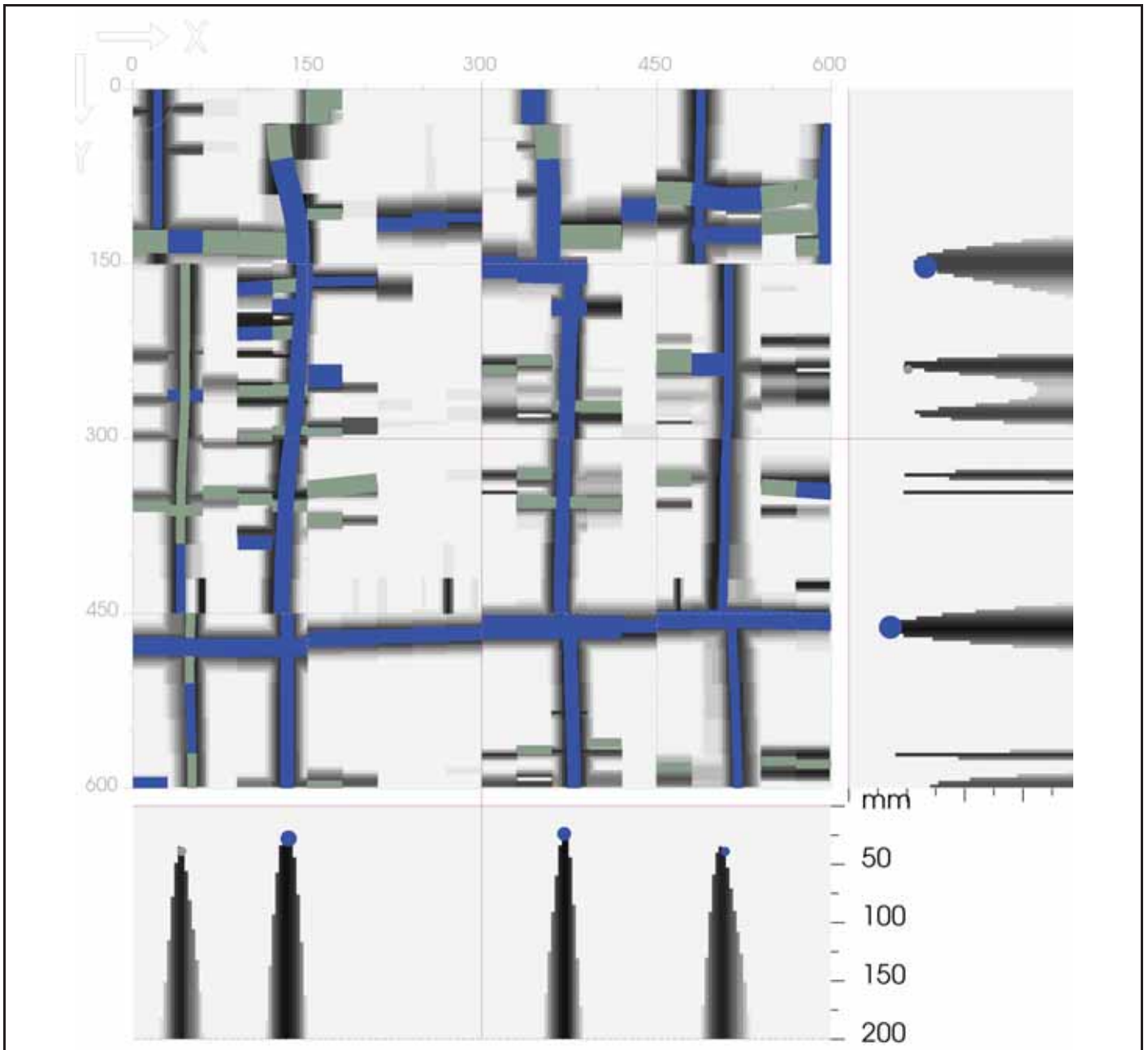
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_09_3. _f Nrs can
Su4 e6 De6ale: 3. t 200003
/ a@ CR@: 2022-0t -07 09:3t :21
Eo4 4 en@: Tire64 en@ scansione: Fs 002
vle4 en@ D@U@ale: Age
- b64 a06 lonpi@dinale:
Di 6legano nr2 8a66 del dn co4 P6eso @a 10 e 12 4 4
- D@re:
dnno4 P6eso @a Ne 10 4 4
Passo cica 20 c4
EoP6re6o cica 3 c4



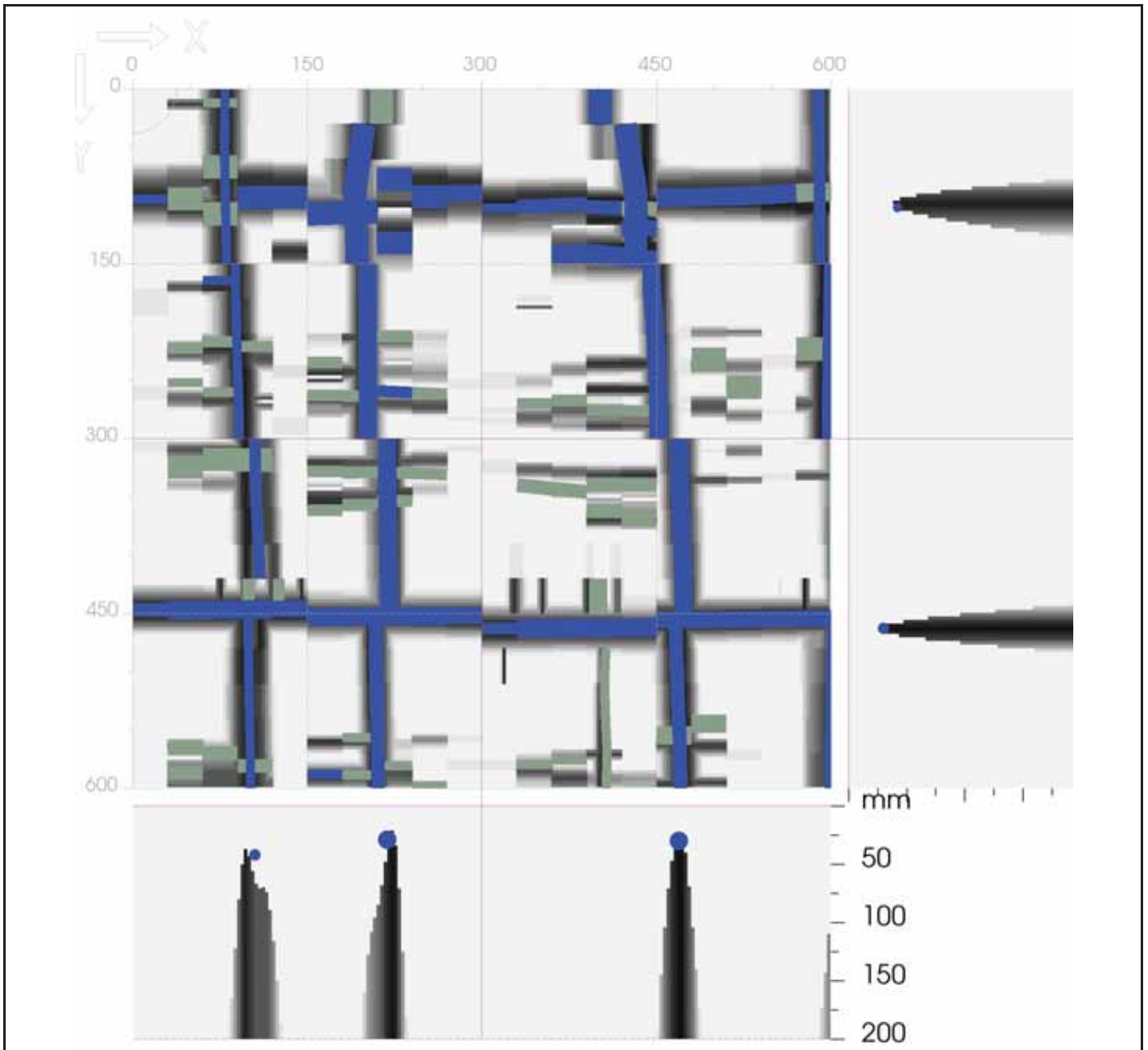
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_90_23_27.fscan
Numero Seriale: 46D200004
t a/a Cra: 2022-0D-07 90:27:2R
1 ommen/o: Eiferimen/o scansione: Fs 004
Tlemen/o S/ru//urale: vraAe
- grma/ura lonbi/udinale:
Si rileAano n. 2 parre del dn com8reso /ra 90 e 92 mm
- S/affe:
dn. com8reso /ra De Rmm
Passo Ariapile ma com8reso /ra 90 e 20 cm
1 o8riferro circa 4 cm



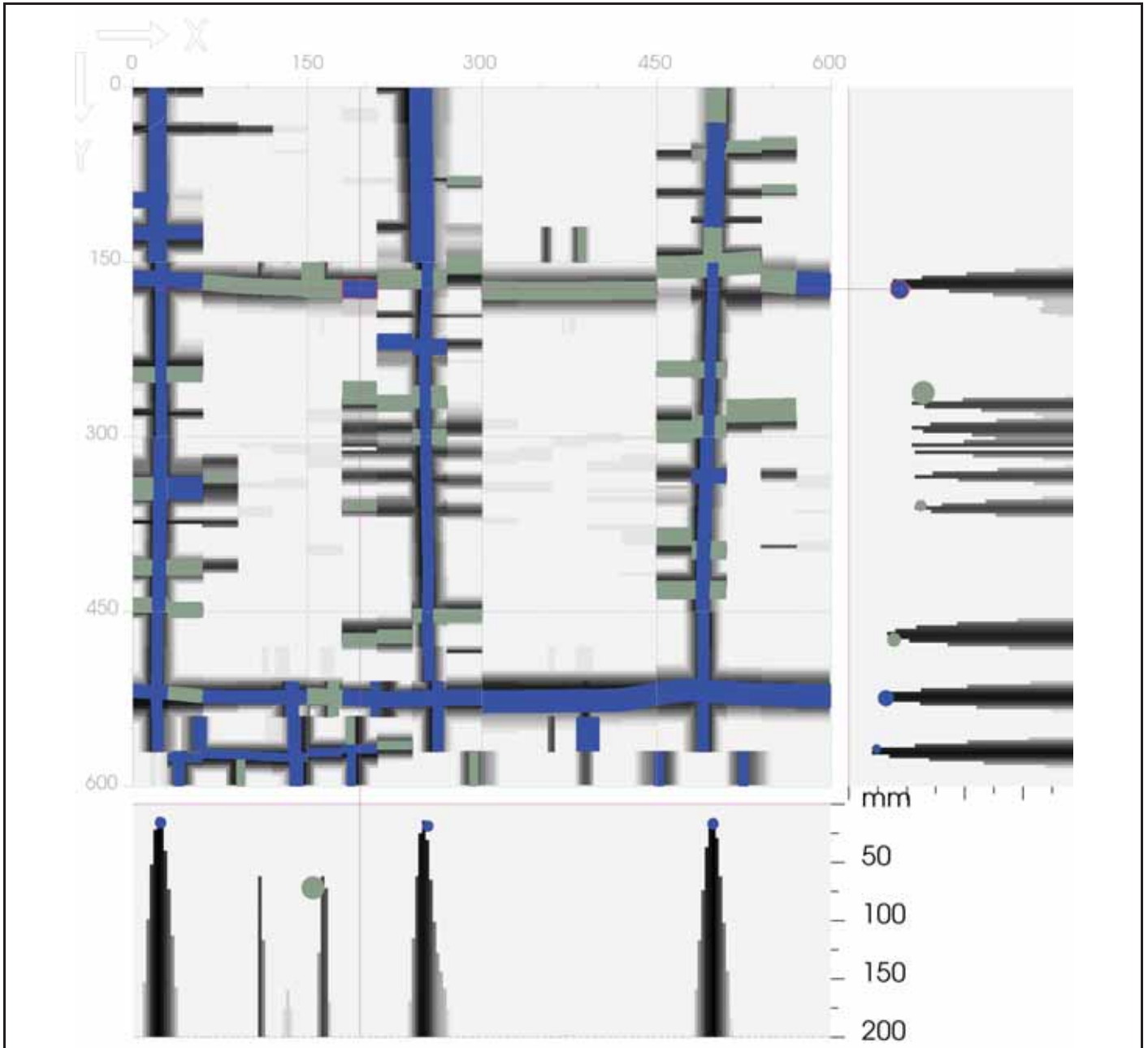
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_90_23_0. fscan
mur e 4e Sale: . 6D20000.
t a/a CCA: 2022-0D-07 90:2R22
1 or r en/o: EINS r en/o scansione: Fs 006
Tier en/o 4/S//u Sale: vSAe
- gS a/uS lonbi/udinale:
4i SeAano nf 2 paSe del dn cor 8Sso /S 90 e 92 r r
- 4/aN:
dnf cor 8Sso /S De 3 r r
Passo A Sapile r a cor 8Sso /S 90 e 20 cr
1 o8S S cisa . cr



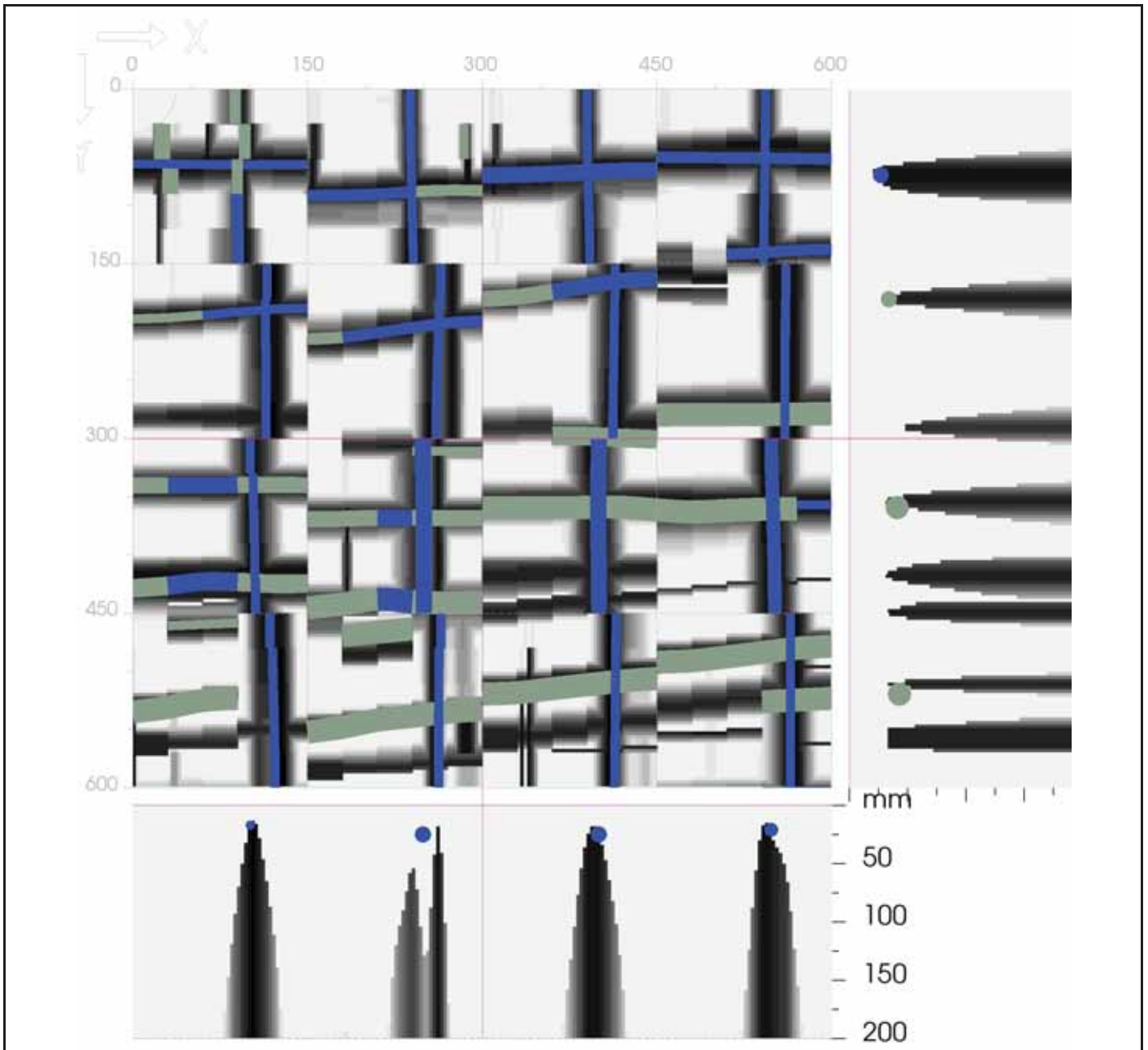
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_90_39_9113can
mur e 4 e Sale: .3620000.
Data / Ora: 2022-06-07 90:32:30
Ror r ento: 1 in r ento scansione: Fs 006
Eler ento 4 t Situ Sale: T Save
- AS atu S longitudinale:
4i Slevano nf 2 ba S del dn cor p so t S 90 e 92 r r
- 4 ta N:
dnf cor p so t S 6 e Cr r
8asso ci S a 20 cr
Rop S S ci S a . cr



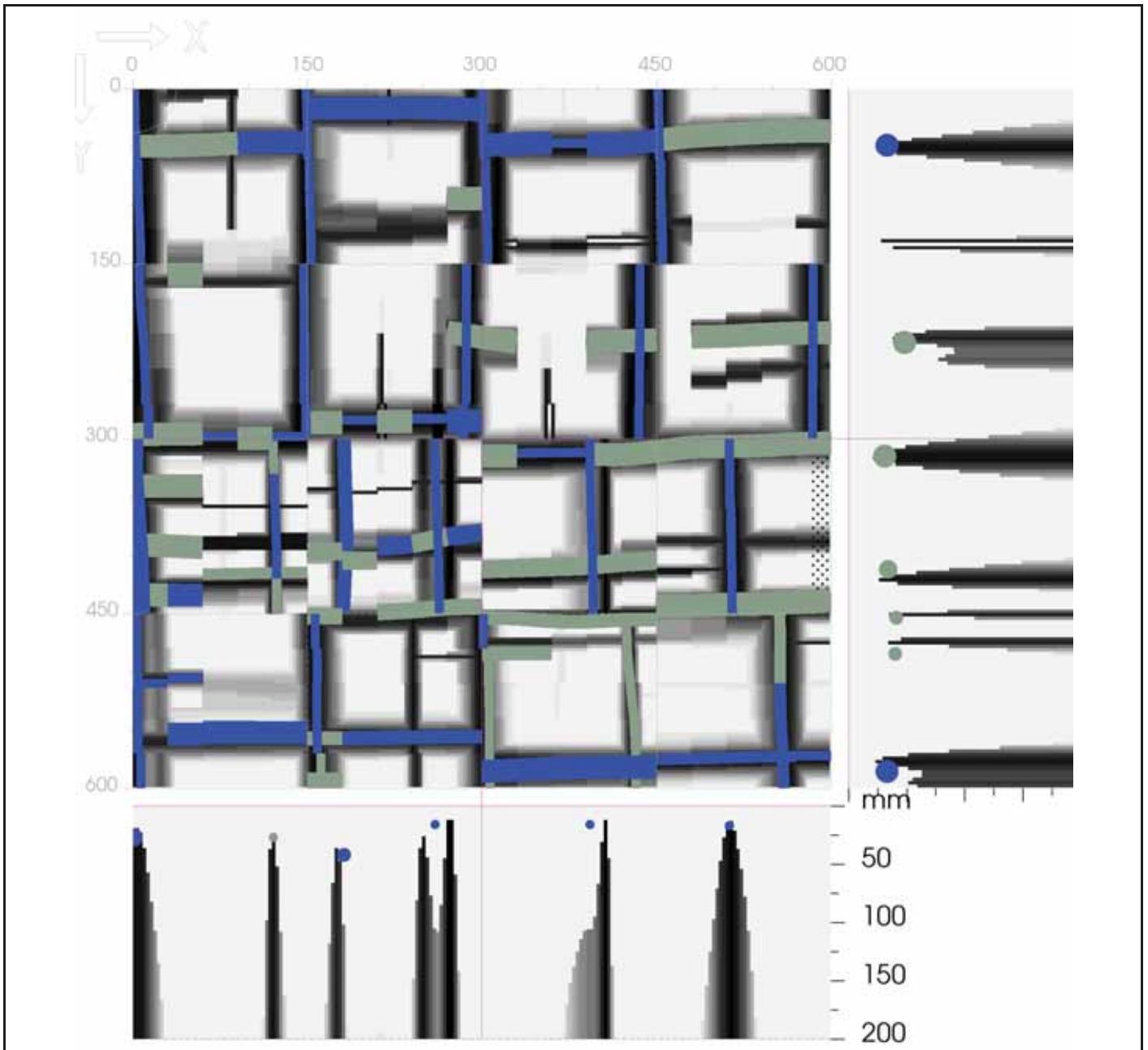
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_10_56_05.fscan
Numero Seriale: 346200003
Data / Ora: 2022-06-07 10:57:44
Commento: Riferimento scansione: Fs 007
Elemento Strutturale: Trave (Scansione 1/3)
- Armatura orizzontale:
Si rilevano n. 5 barre del dn compreso tra 6 e 8 mm
- Armatura verticale:
Si rilevano n. 4 barre del dn compreso tra 6 e 8 mm
Passo circa 15 cm
Copriferro circa 3 cm



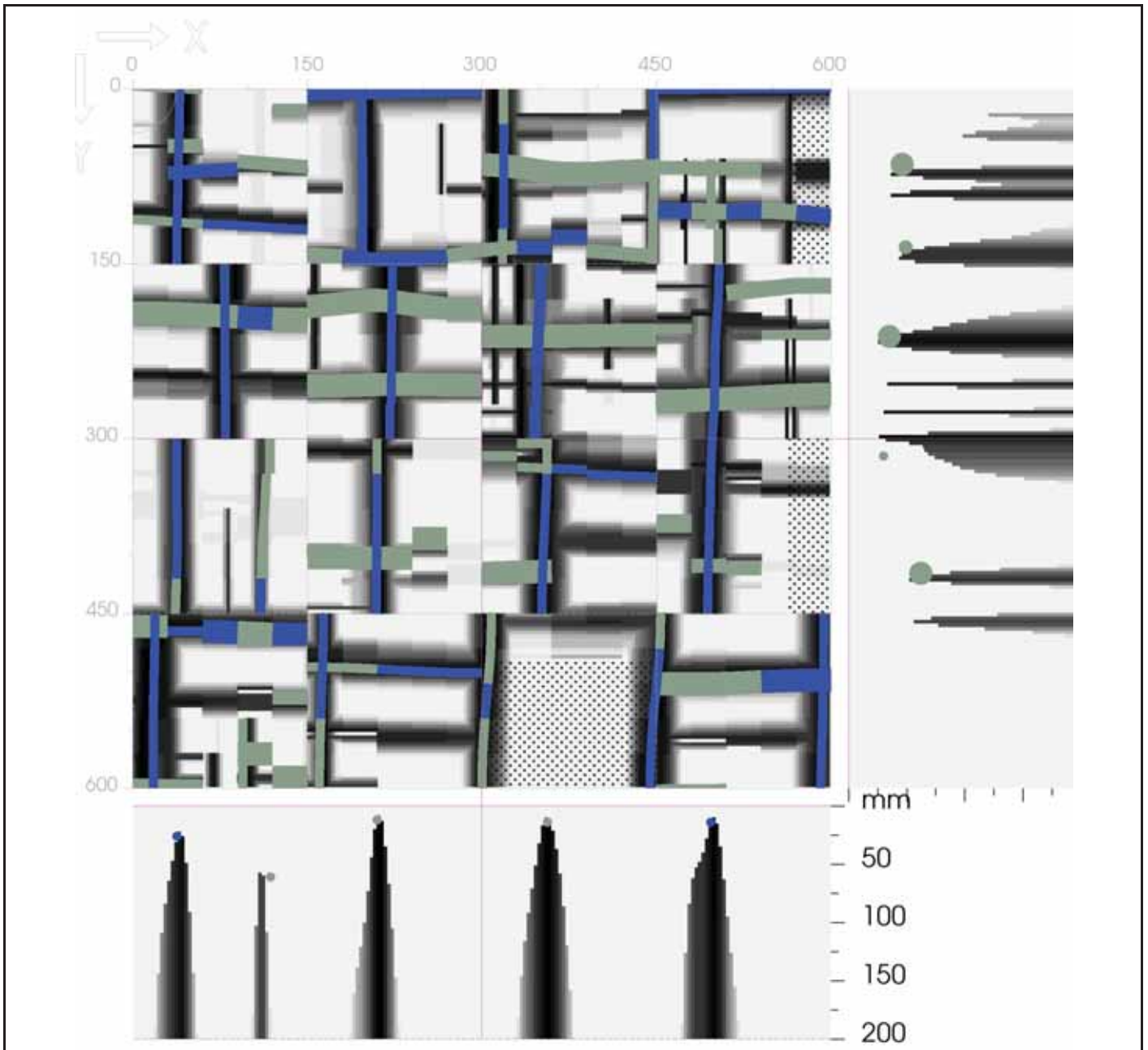
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_10_59_19.fscan
Numero Seriale: 346200003
Data / Ora: 2022-06-07 11:00:52
Commento: Riferimento scansione: Fs 008
Elemento Strutturale: Trave (Scansione 2/3)
- Armatura orizzontale:
Si rilevano n. 5 barre del dn compreso tra 6 e 8 mm
- Armatura verticale:
Si rilevano n. 5 barre del dn compreso tra 6 e 8 mm
Passo circa 15 cm
Copriferro circa 3 cm



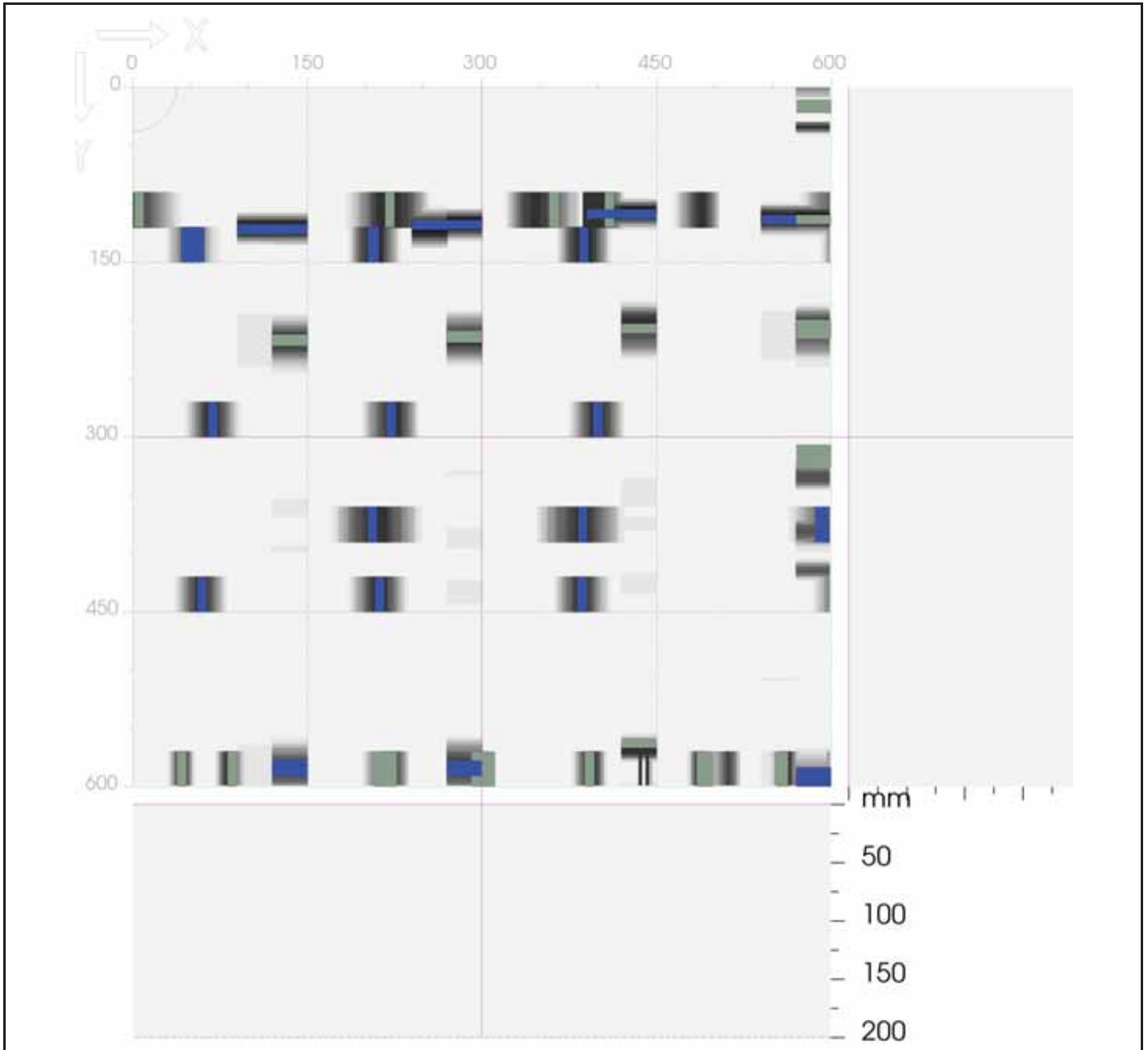
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_11_02_579scan
f uNero r eriale: 5S3200005
4 a a D ra: 2022-03-07 11:0S/ O
CoNNen@: Ri.eriNen@ scansione: Fs 008
EleNen@ r @@ale: Trave (r cansione 5B)
- An a@a orizzontale:
r i rlievano n9/ barre del dn coN preso @a 3 e ONN
- An a@a verticale:
r i rlievano n9S barre del dn coN preso @a 3 e ONN
Passo circa 1/ cN
Coprimento circa 5 cN



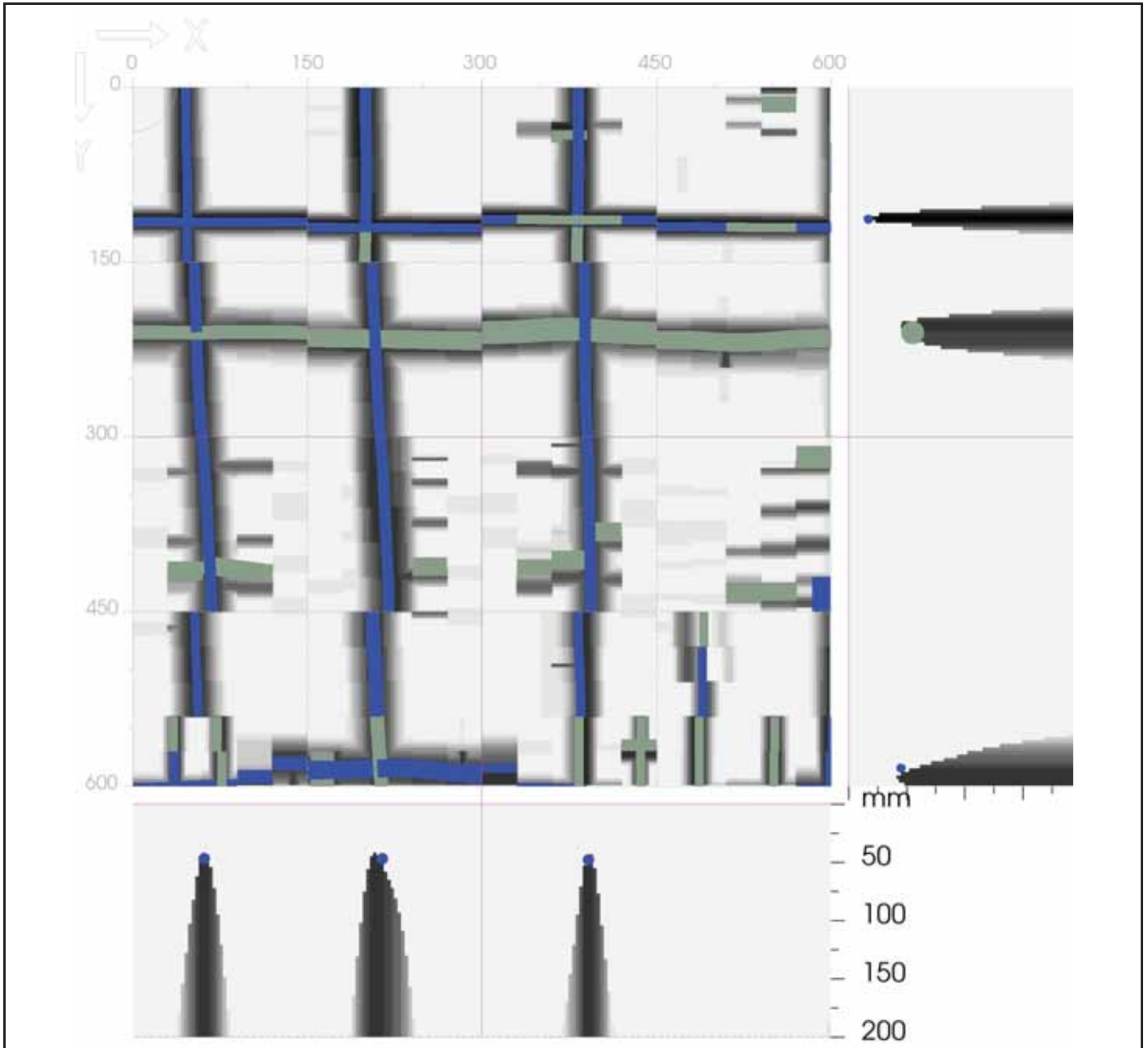
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_11_42_34.fscan
Numero Seriale: 346200003
Data / Ora: 2022-06-07 11:43:46
Commento: Riferimento scansione: Fs 010
Elemento Strutturale: Trave
- Nell'area indagata (60x60 cm) non si rileva armatura



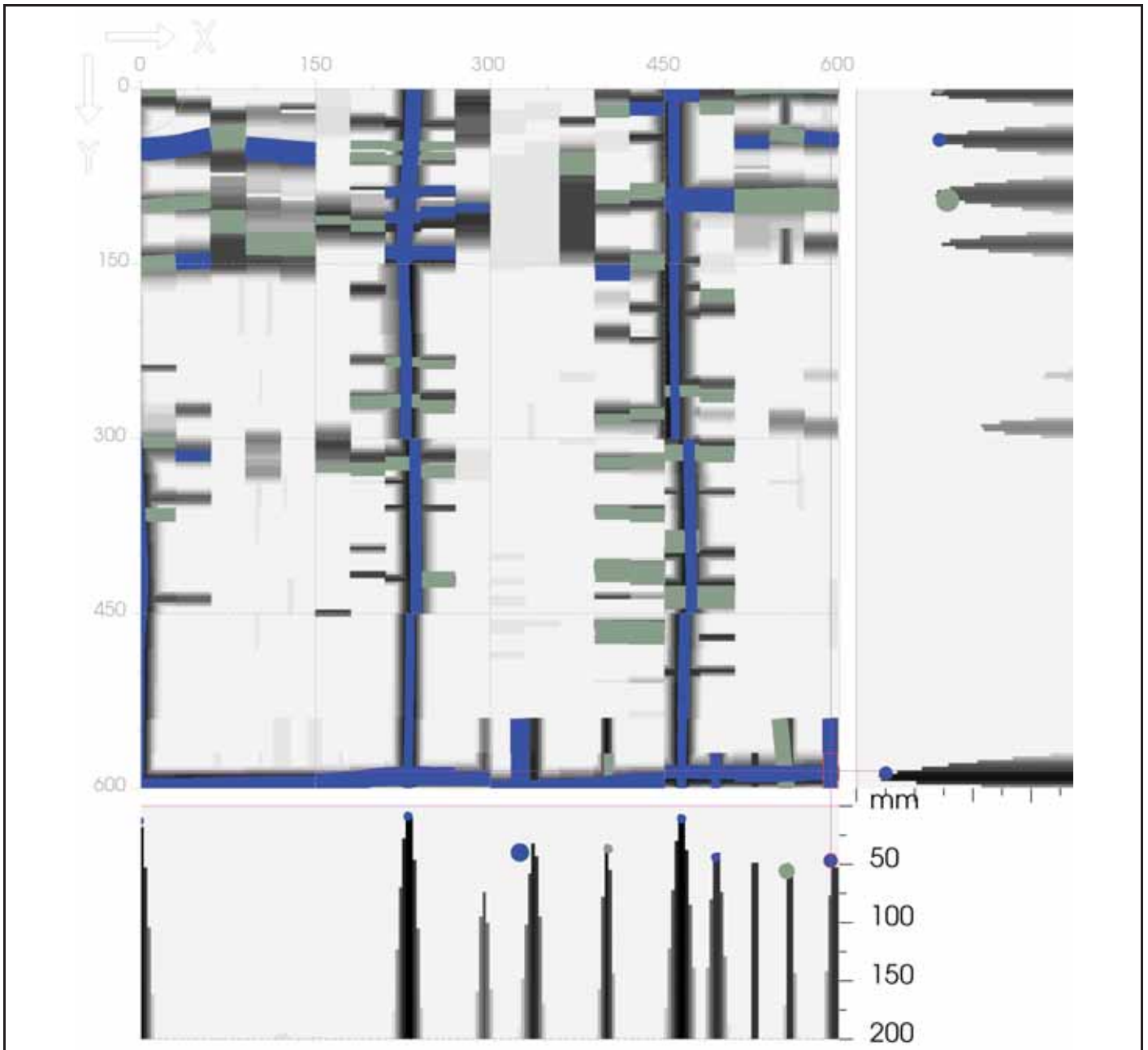
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_99_3. _9f Mscan
r uSe4b 6e4ale: D3. 20000D
t a/a CC4: 2022-0. -07 99:37:D7
RoS S en/o: 1 ire4S en/o scansione: Fs 099
EleS en/o 6/4//u4ale: T4ave
- AS a/u4a longi/udinale:
6i 4levano nNDb44e del dn coS p4eso /4a 90 e 92 S S
- 6/ame:
dnNboS p4eso /4a . e f S S
8asso ci4ca 20 cS
Rop4re4b ci4ca DcS



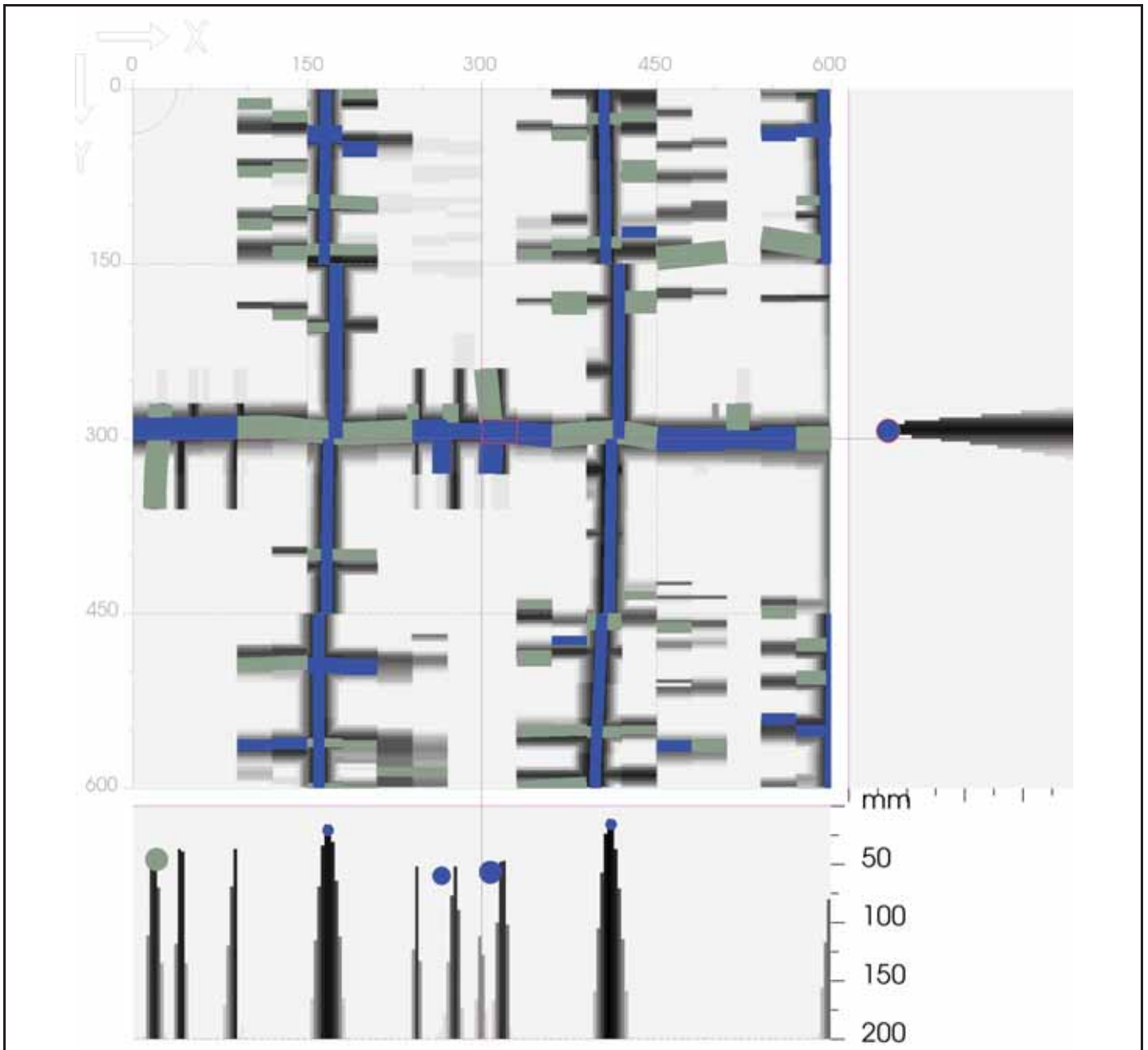
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_99_3._39fscan
mur e 4 e Sale: 6. D200006
t a/a CCA: 2022-0D-07 99:3D9R
1 or r en/o: Elnr en/o scansione: Fs 092
Tler en/o 4/3//uSale: vSAe
- gS a/uS lonbi/udinale:
4i SeAano nf 2 paSe del dn cor 8Sso /S 92 e 9. r r
- 4/aN:
dnf cor 8Sso /S De Pr r
Passo ciSa 23 cr
1 o8Sso /S ciSa 6 cr



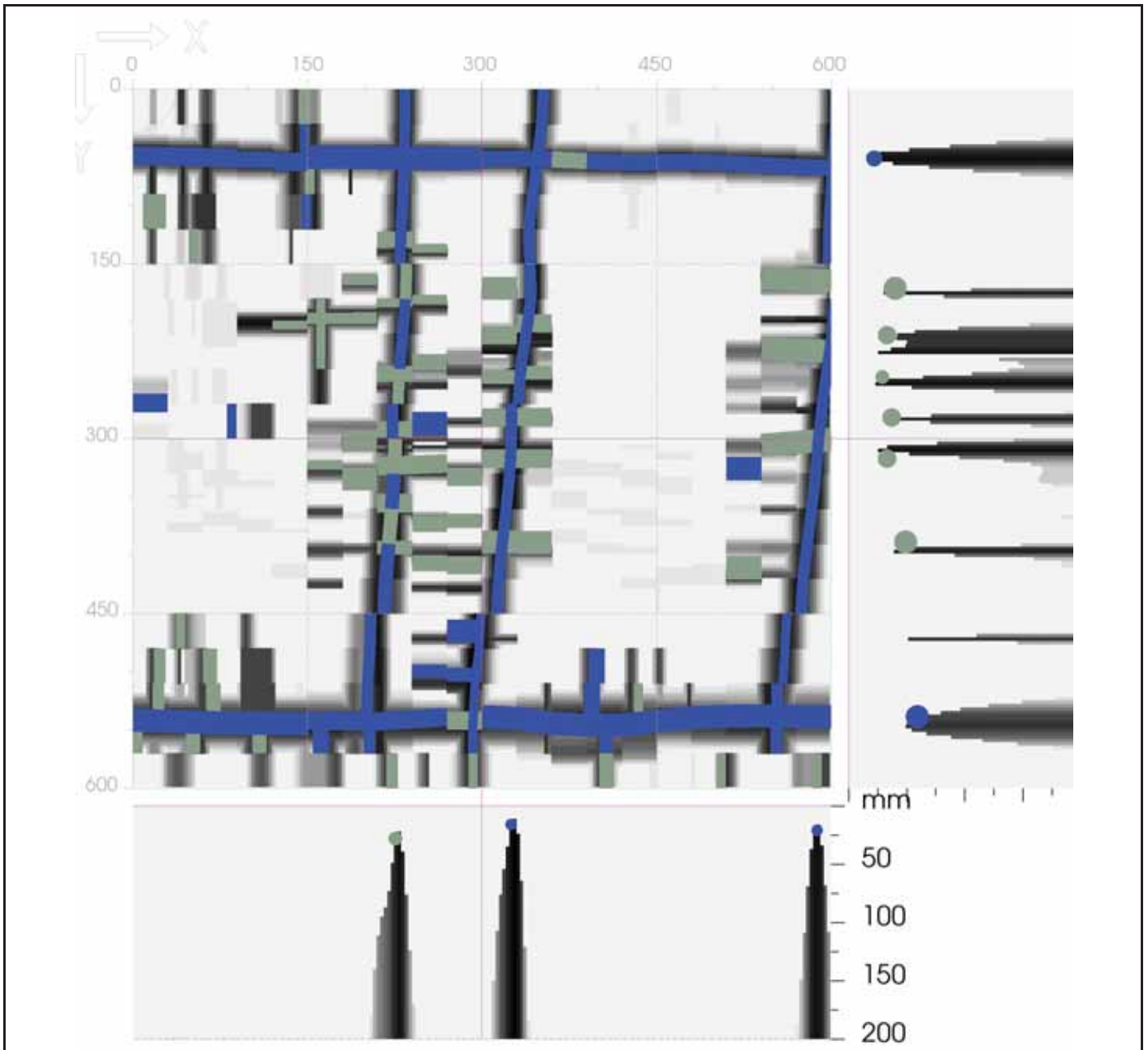
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_93_0_0_0.flv
mur eS 4eSale: 36D200003
t a/a CCa: 2022-0D-07 93:0R39
1 or r en/o: EilNS r en/o scansione: Fs 093
Tier en/o 4/S//uSle: vS/Ae
- gS a/uS lonbi/udinale:
4i SeAano nf 9 paSe del dn cor 8Sso /S 92 e 96 r r
- 4/aN:
dnf cor 8Sso /S De . r r
Passo ciSa 2P cr
1 o8S /S ciSa 3 cr



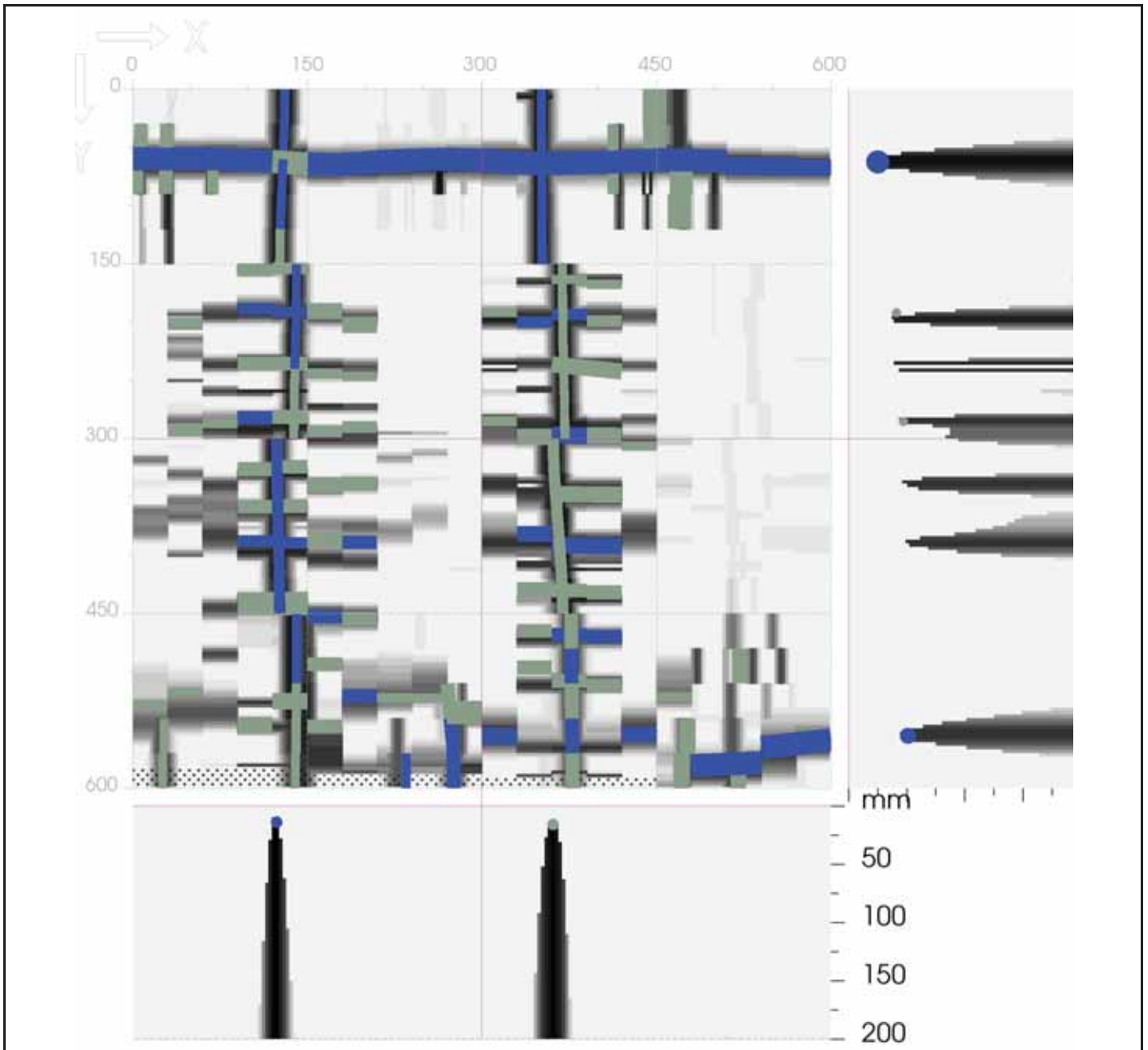
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_13_31_27.fscan
Numero Seriale: 346200003
Data / Ora: 2022-06-07 13:32:46
Commento: Riferimento scansione: Fs 014
Elemento Strutturale: Trave
- Armatura longitudinale:
Si rilevano n. 2 barre del dn compreso tra 12 e 14 mm
- Staffe:
dn. compreso tra 6 e 8 mm
Passo circa 25 cm
Copriferro circa 3 cm



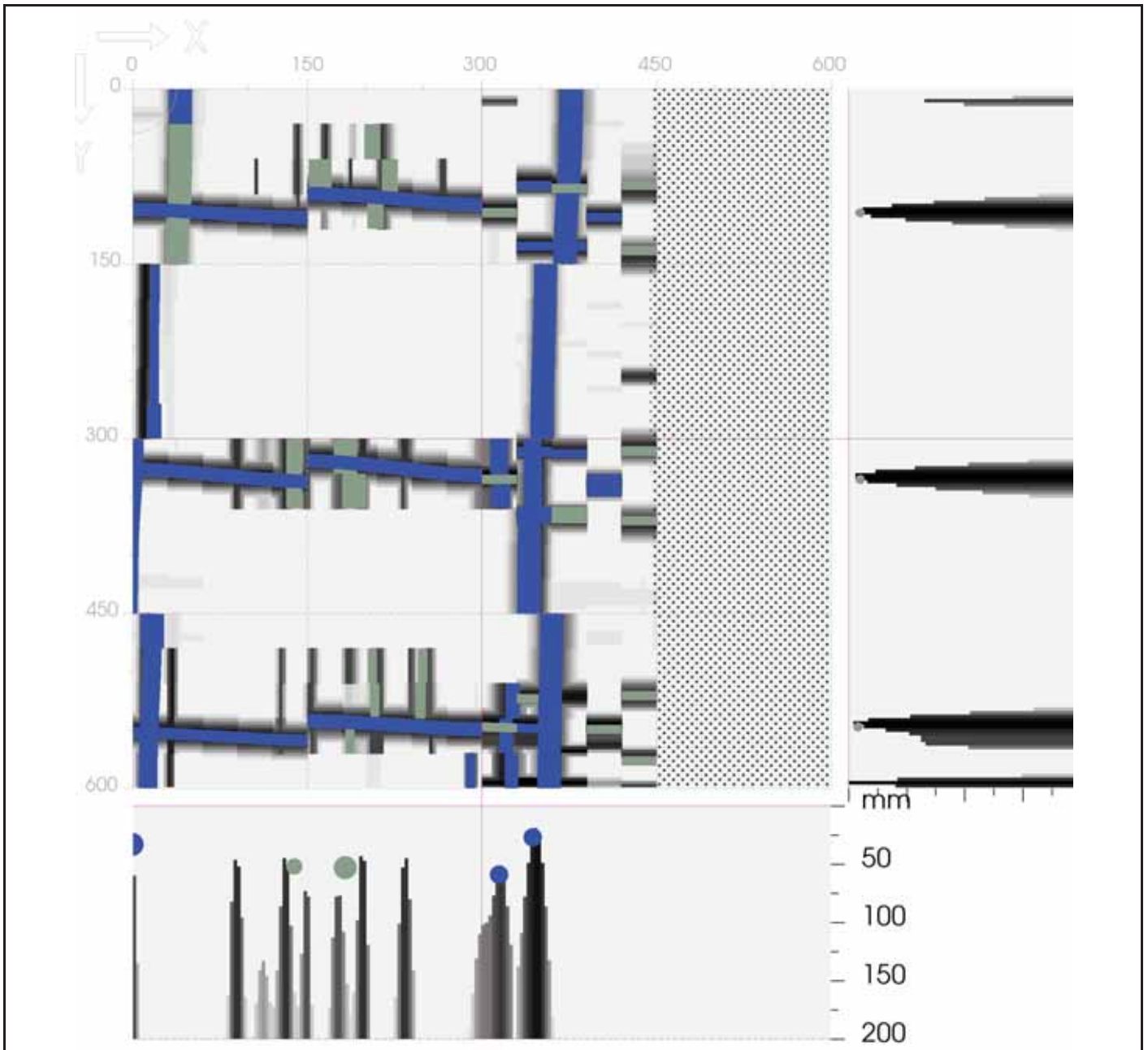
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_13_11_01.scn
mur e 4 e Sale: 6. D200006
t a/a CCA: 2022-0D-07 13:13:3D
Ror r en/o: Elnr en/o scansione: Fs 013
Tler en/o 4/3//u/ale: v/ale
- g/ale lonbi/udinale:
4i SeAano nf 2 paSe del dn cor 8Se/ale 12 e 1. r r
- 4/ale:
dnf cor 8Se/ale De Pr r
5asso ciSa 23 cr
Ro8Se/ale ciSa 6 cr



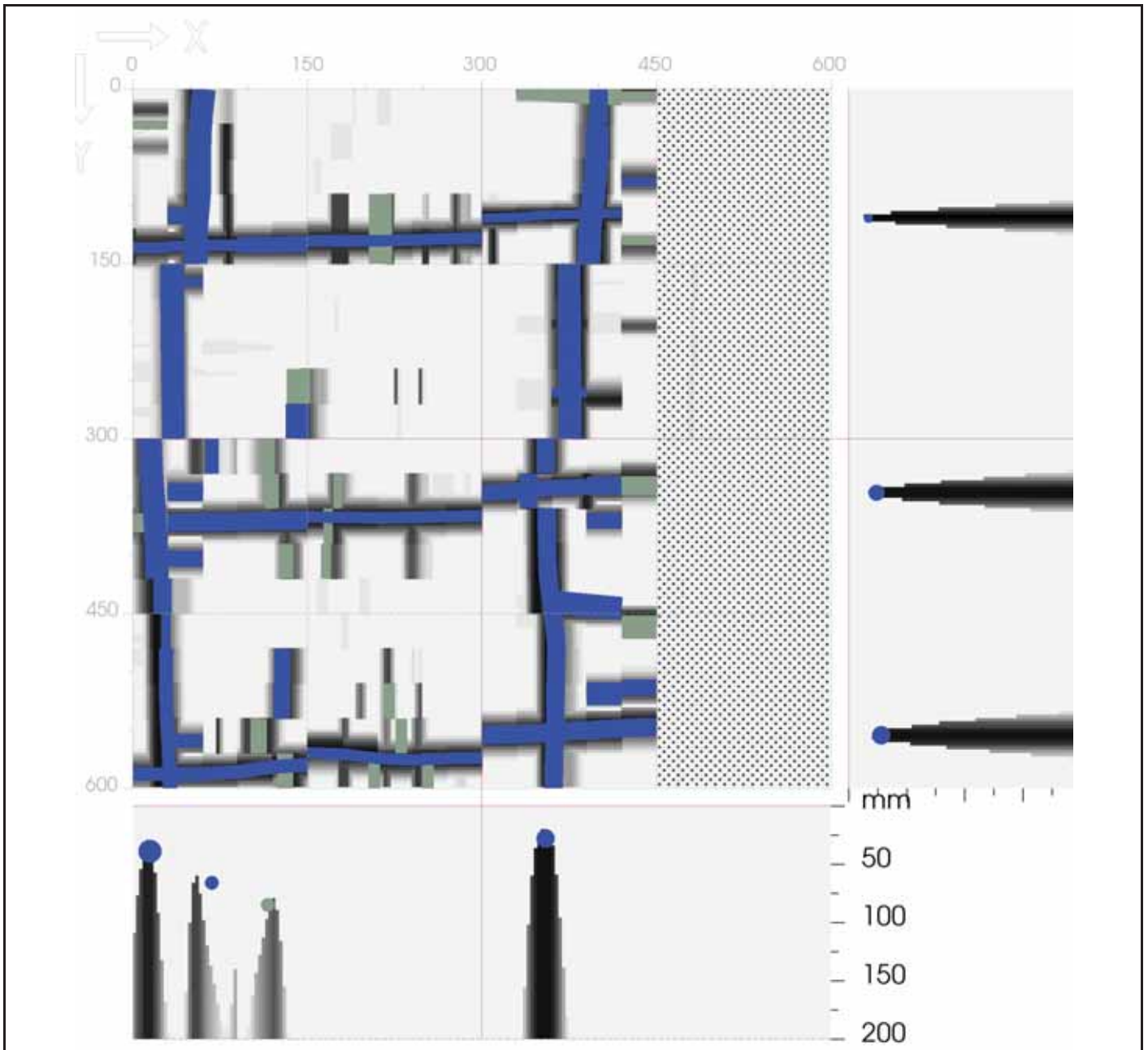
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_13_33_2111can
mur e 4e Sale: . 6D20000.
t a/a CCA: 2022-0D-07 13:37:11
Ror r en/o: EilN r en/o scansione: Fs 01D
Tier en/o 4/S//u Sale: vilas/S
- AS a/u S longi/udinale:
4i Se bano nf 2 pa Se del dn cor 8So /S 1Pe 20 r r
- 4/a N:
dnf cor 8So /S De Pr r
vasso ci Sa 20 cr
Ro8S S ci Sa . cr



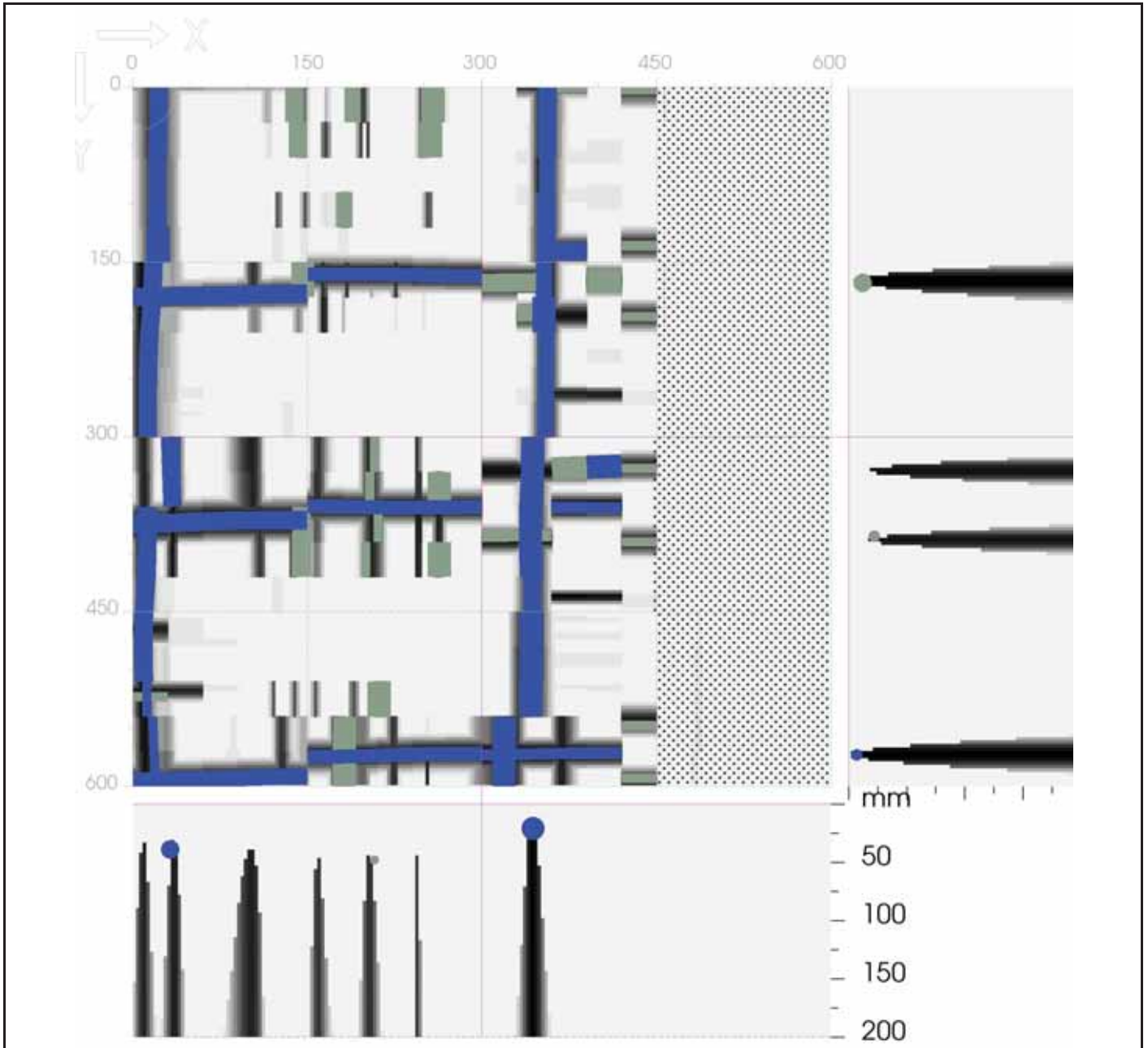
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_93_37_... .fln can
mur e 4e Sale: . 6D20000.
t a/a CCa: 2022-0D-07 93:3R03
1 or r en/o: Eiln r en/o scansione: Fs 097
Tier en/o 4/S//u Sale: vilas/S
- AS a/u S longi/udinale:
4i Se bano nf 2 pa S del dn cor 8 Sso /S 9Pe 20 r r
- 4/a n:
dnf cor 8 Sso /S De Pr r
vasso ci Sa 20 cr
1 o 8 S S ci Sa . cr



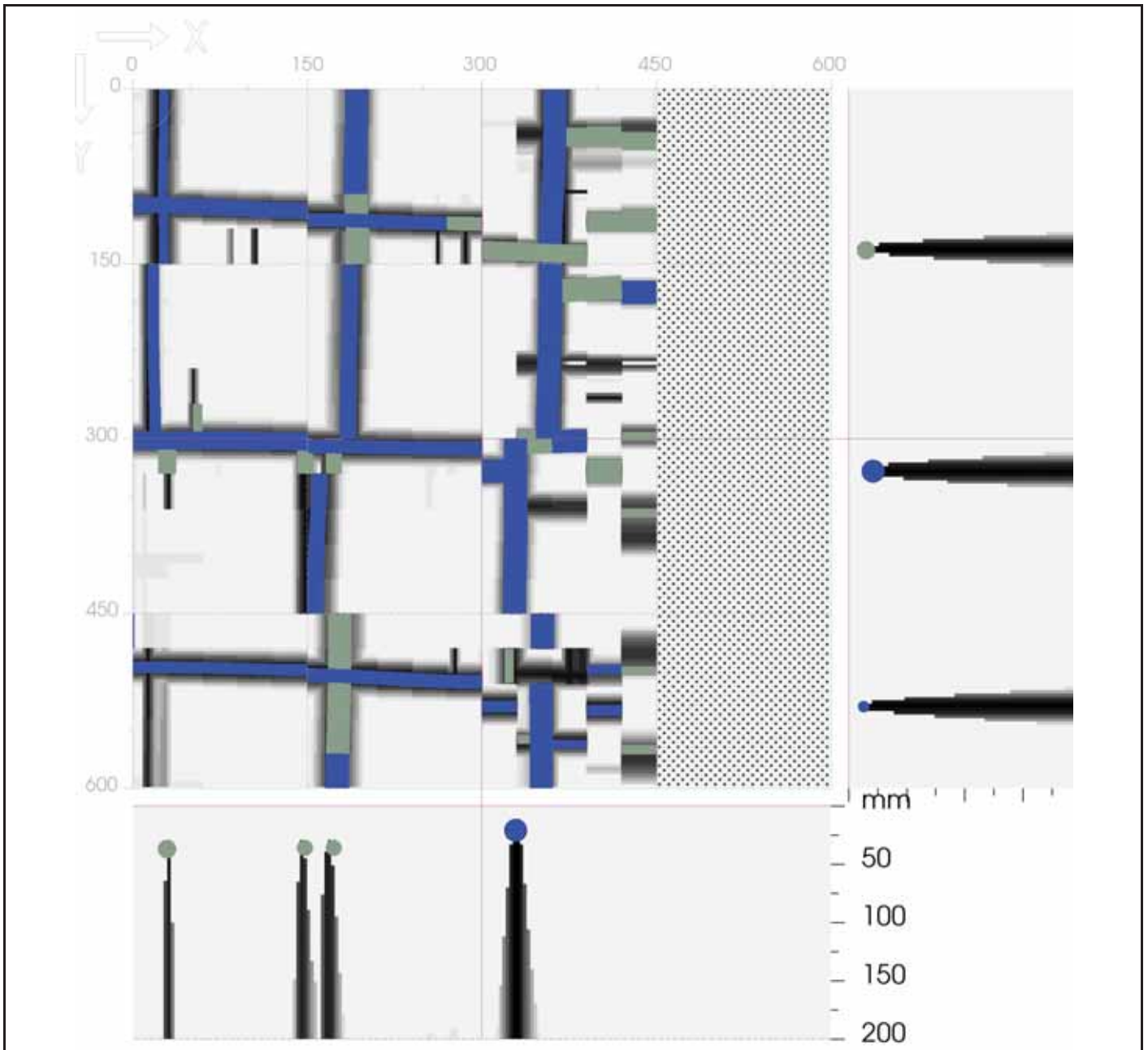
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_13_01_01.ncan
mur e 4 e Sale: 6D3200006
t a/a CCA: 2022-03-07 13:02:13
Ror r en/o: Eil n r en/o scansione: Fs 01.
Tier en/o 4/S//u Sale: vilas/S
- A S a/u S longi/udinale:
4i S ebano nf 2 pas S del dn cor 8 S so / S a 1. e 20 r r
- 4/a n r:
dnf cor 8 S so / S a 3 e . r r
vasso ci S a 20 cr
Ro 8 S n S ci S a 6 cr



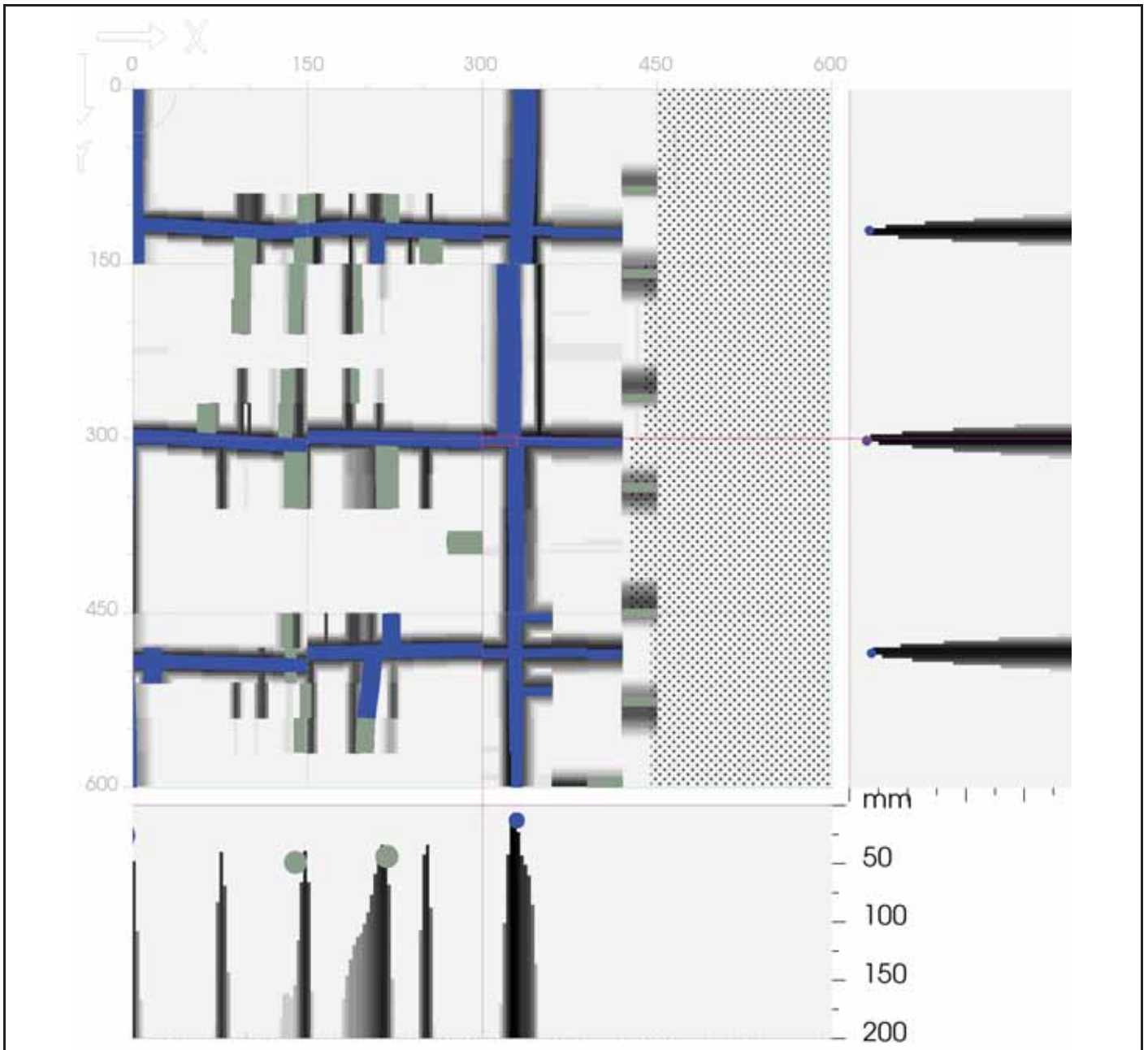
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_93_02_.f
r uSe4b 6e4ale: . D320000.
t a/a CC4: 2022-03-07 93:0. :Df
RoS S en/o: 1
1 re4S en/o scansione: Fs 09E
TieS en/o 6/4//u4ale: vilas/4
- AS a/u4a longi/udinale:
6i 4lelano nN pa4e del dn coS 84eso /4a 9f e 20 S S
- 6/ame:
dnNoS 84eso /4a 3 e f S S
vasso ci4ca 20 cS
Ro84re4b ci4ca . cS



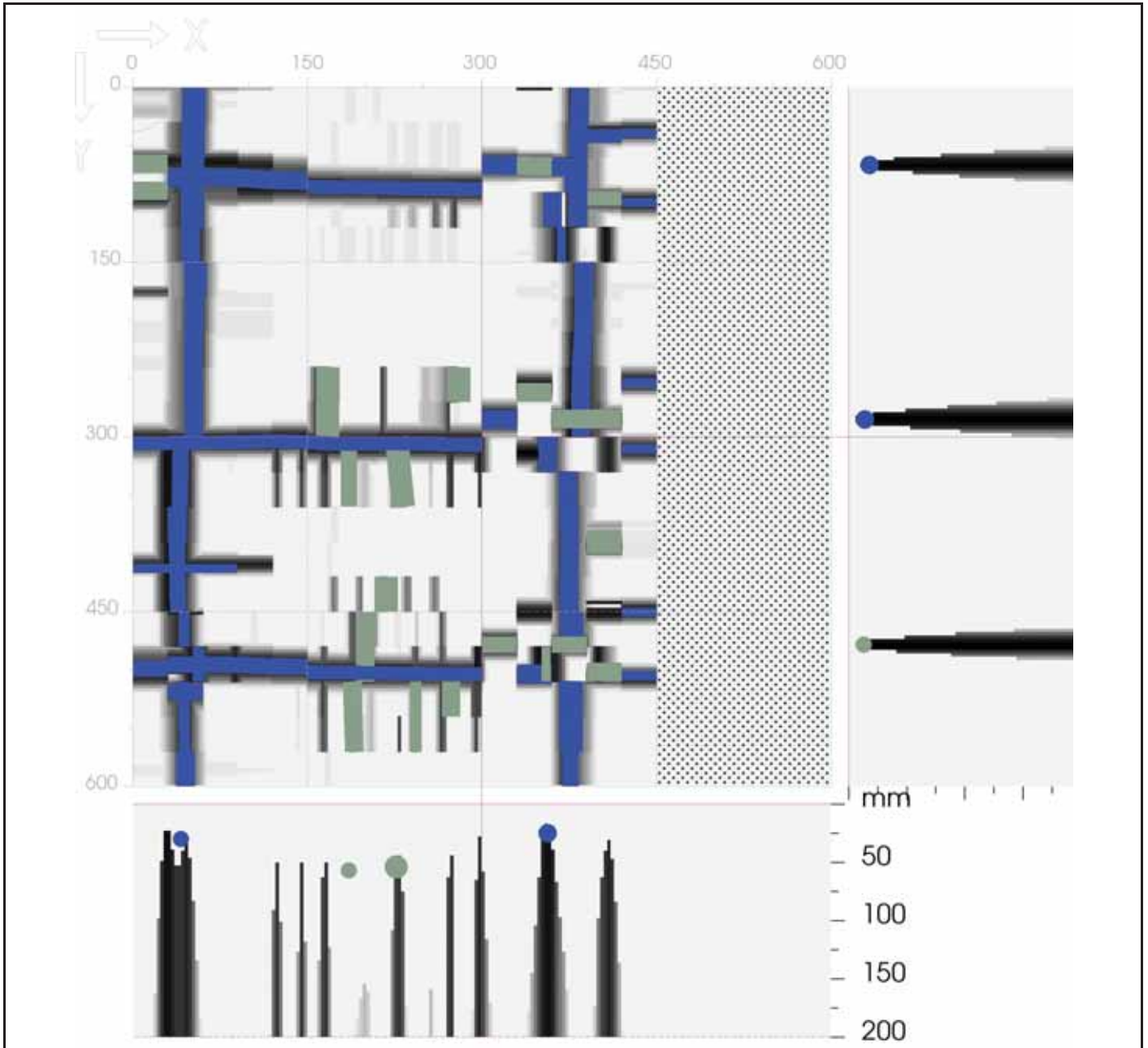
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_13_03_... .fscan
mur e 4 e Sale: 6. 3200006
Data / Ora: 2022-03-07 13:07:C3
Ror r ento: Eil r ento scansione: Fs 020
Tier ento 4 t Situ ale: vilast
- A s atu s longitudinale:
4i Se bano nf 2 pa Se del dn cor 8 sso t a 1Pe 20 r r
- 4 ta n:
dnf cor 8 sso t a 3 e Pr r
vasso ci Sa 20 cr
Ro 8 sso t a 6 cr



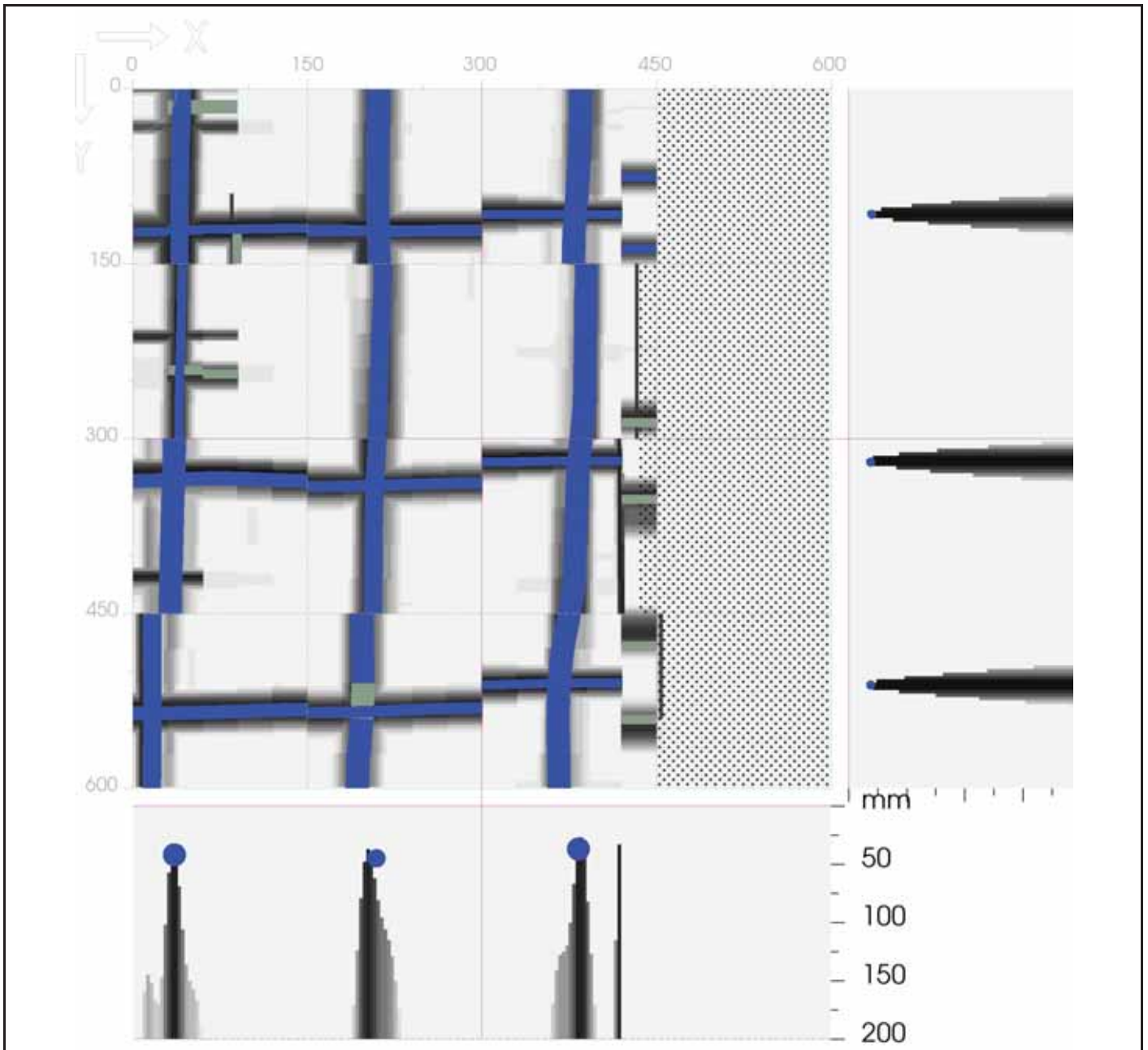
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_13_12_23.fsca
Numero Seriale: 463200004
Data / Ora: 2022-03-07 13:14:64
Commento: Riferimento scansione: Fs 021
Elemento Strutturale: Tilastro
- vrmatura lonAitudinale:
Si rilegano n. 2 barre del dn compreso tra 18 e 20 mm
- Staffe:
dn. compreso tra 3 e 8 mm
Tasso circa 20 cm
Copriferro circa 4 cm



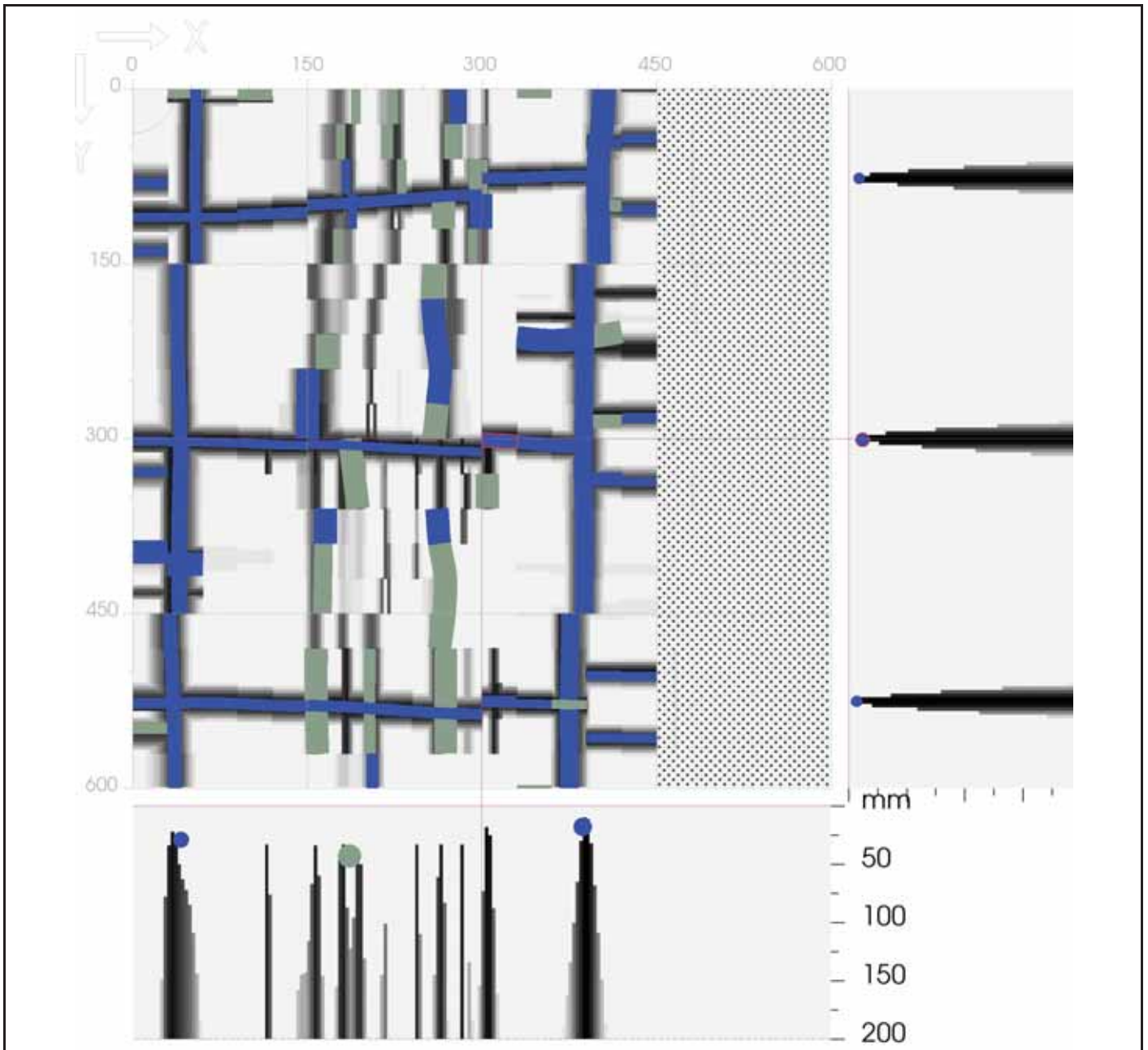
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_93_9. _Of Mscan
r uSe4b 6e4ale: D. 320000D
t a/a CC4: 2022-03-07 93:9R93
1 oS S en/o: Eire4S en/o scansione: Fs 022
TieS en/o 6/4//u4ale: vilas/4
- AS a/u4a longi/udinale:
6i 4lelano nNDpa4e del dn coS 84eso /4a 9f e 20 S S
- 6/ame:
dnNoS 84eso /4a 3 e f S S
vasso ci4ca 20 cS
1 o84re4b ci4ca DcS



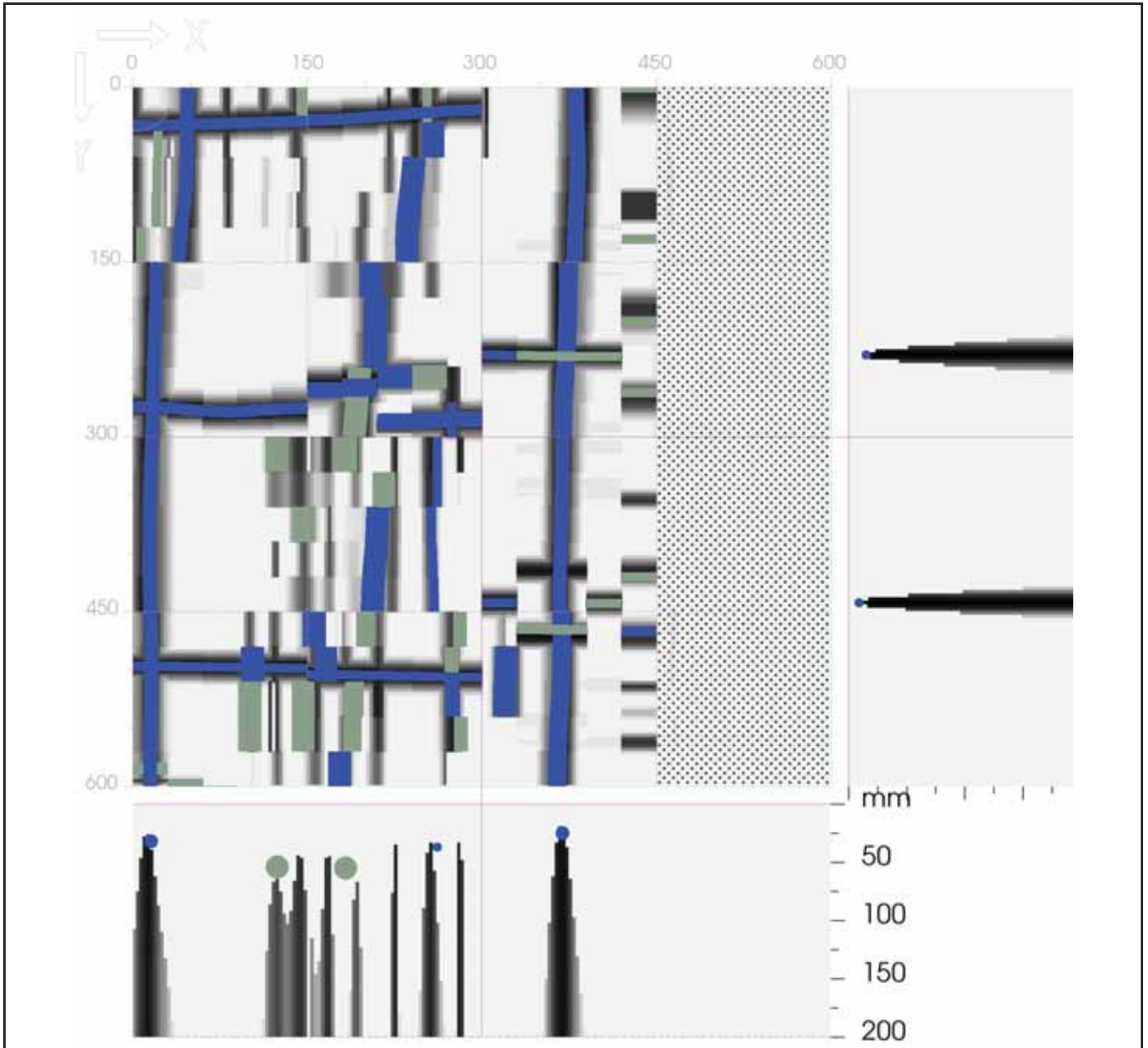
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_93_9._f 312
r uSe 4 6e4ale: f D320000f
t a/a 004: 2022-03-07 93:20:R7
1 oS S en/o: Eir 4 S en/o scansione: Fs 02f
Tie S en/o 6/4//u4ale: vilas/4
- AS a/u4a longi/udinale:
6i 4le bano n2 pa4e del dn coS 84eso /4a 9Pe 20 S S
- 6/ame:
dnNoS 84eso /4a 3 e P S S
vasso ci4ca 20 cS
1 o84re4b ci4ca f cS



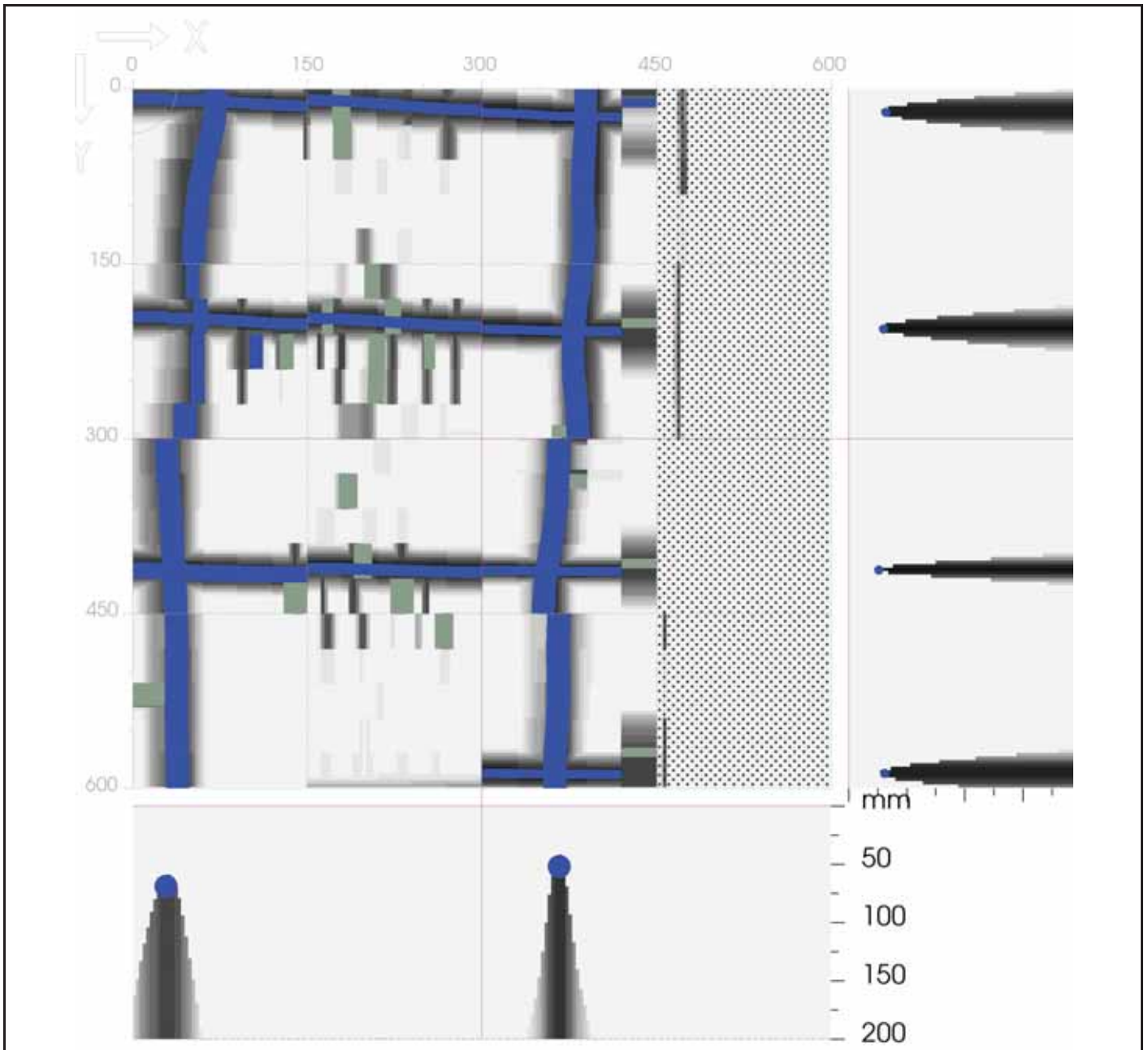
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_16_21_18.fscan
Numero Seriale: 346200003
Data / Ora: 2022-06-07 16:22:26
Commento: Riferimento scansione: Fs 024
Elemento Strutturale: Pilastro
- Armatura longitudinale:
Si rilevano n. 2 barre del dn compreso tra 18 e 20 mm
- Staffe:
dn. compreso tra 6 e 8 mm
Passo circa 20 cm
Copriferro circa 3 cm



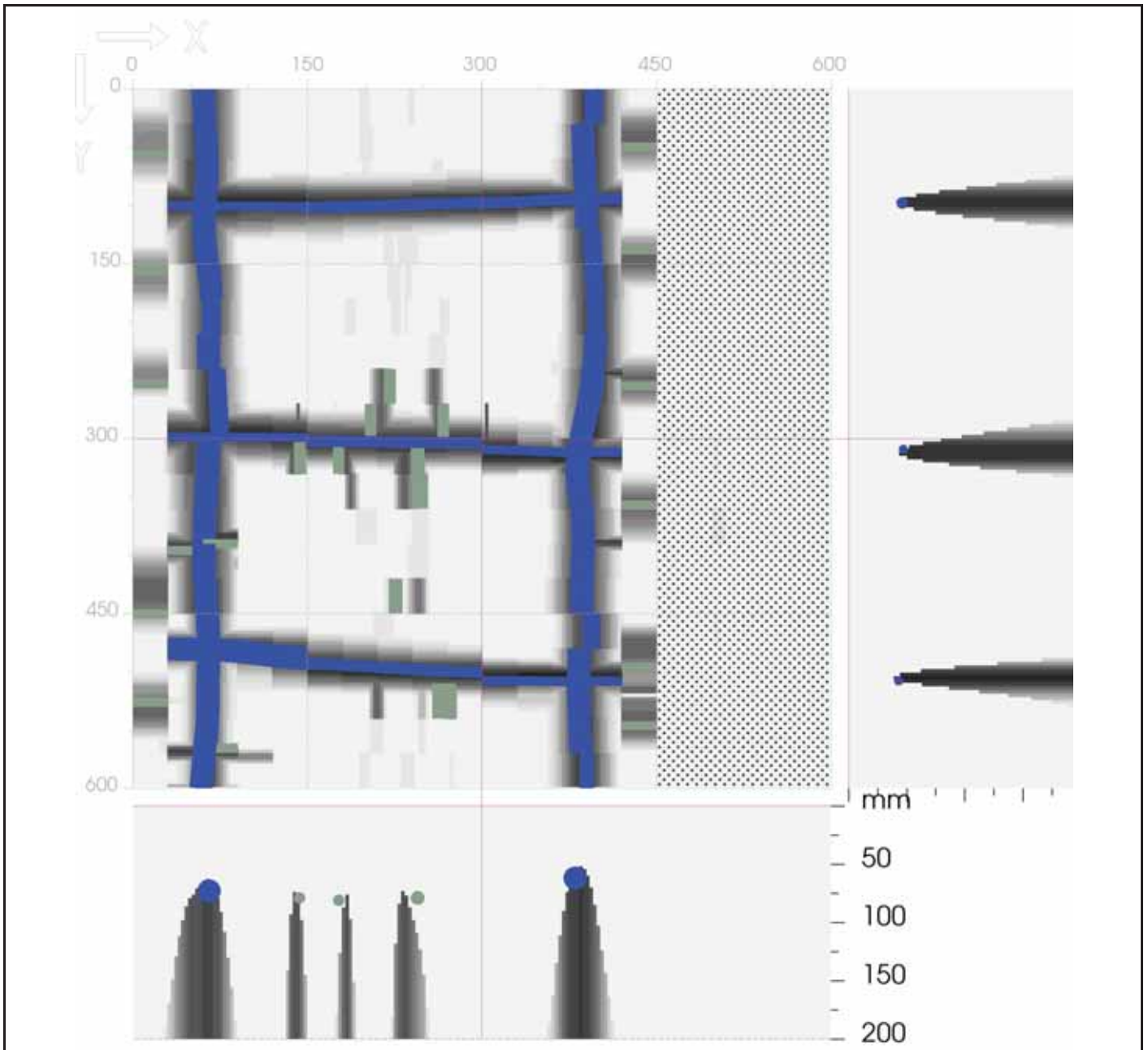
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_13_2. _f Nrs can
Su4 e6 De6ale: . t 320000.
/ a@ CR@: 2022-03-07 13:2f :0N
Eo4 4 en@: Tire64 en@ scansione: Fs 02f
vle4 en@ D@U@ale: Ailas@
- g@ a@6a lonbi@dinale:
Di 6lepano nr2 8a6e del dn co4 P@eso @ 1Ne 20 4 4
- D@re:
dnno4 P@eso @ 3 e N4 4
Aasso ci@ca 20 c4
EoP@re@ ci@ca . c4



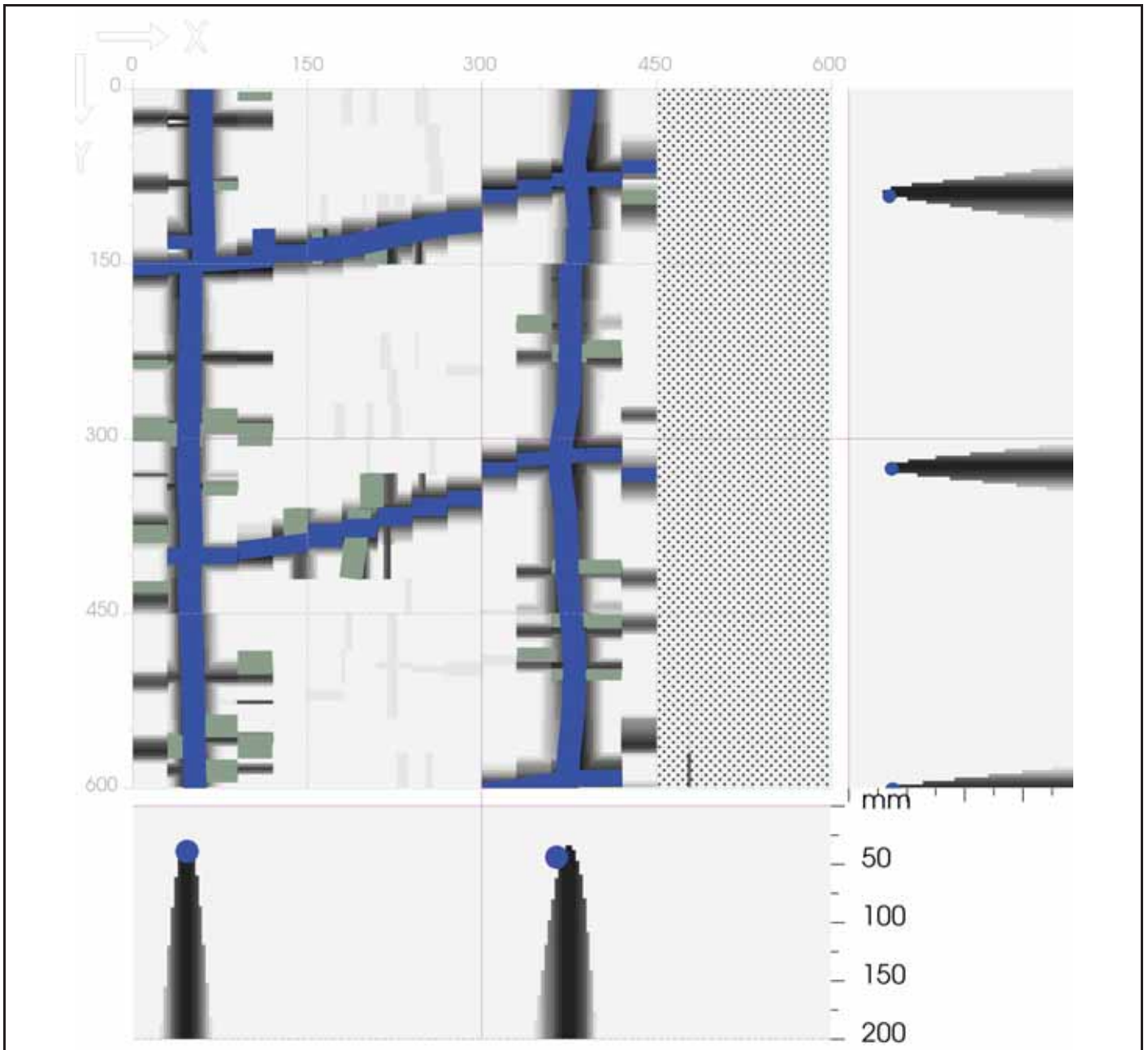
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_93_2._f Nrs can
Su4 e6 De6ale: t f 320000t
/ a@ CR@: 2022-03-07 93:23.: 1
Eo4 4 en@: Tire64 en@ scansione: Fs 023
vle4 en@ D@U@ale: Ailas@
- g@ a@@ lonbi@dinale:
Di 6lepano nr2 8a@ del dn co4 P@eso @ 91 e 20 4 4
- D@re:
dnno4 P@eso @ 3 e 1 4 4
Aasso ci@ca 20 c4
EoP@re@ ci@ca t c4



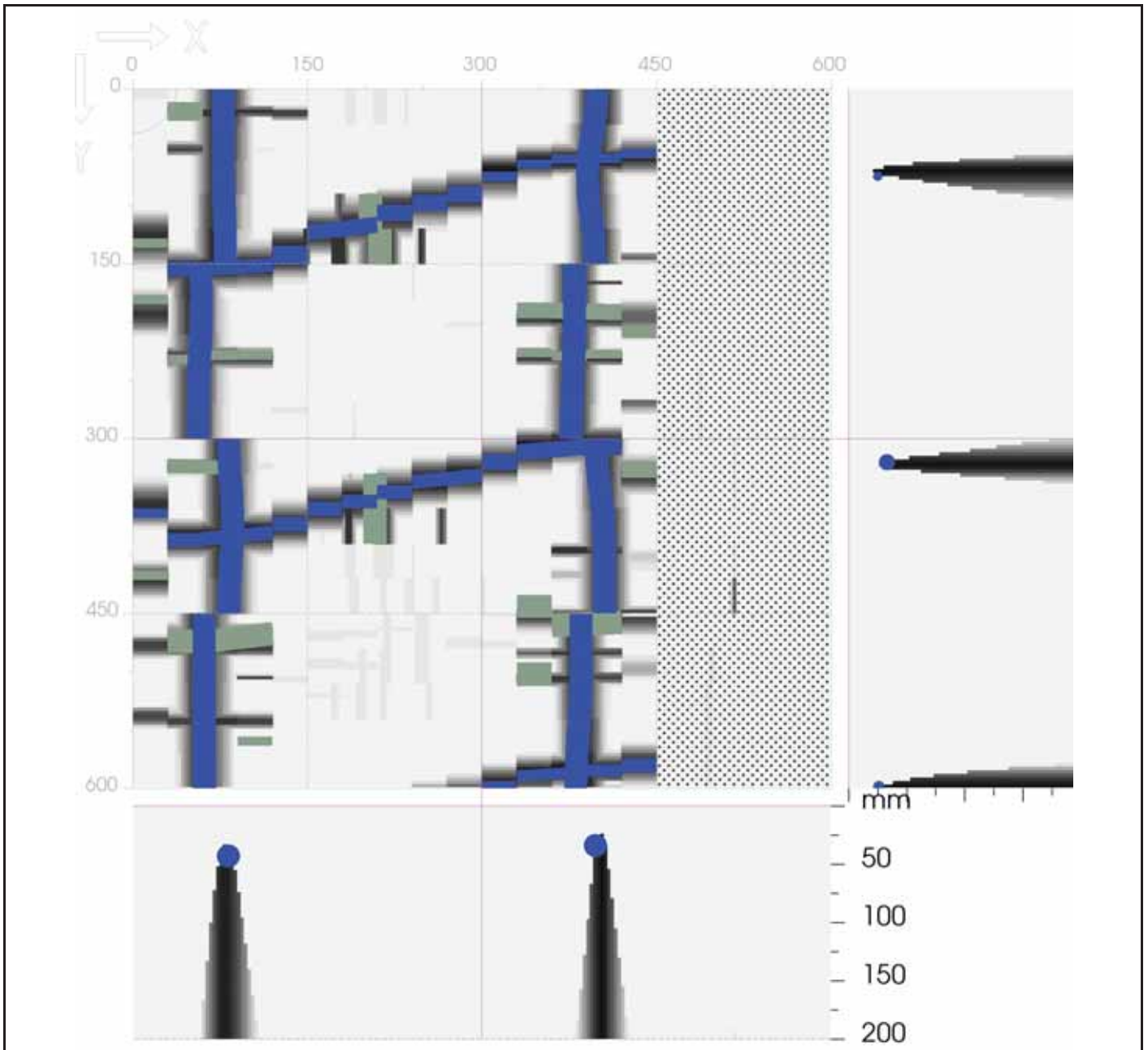
Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_16_27_8. fscan
mur e 3e Sale: 8. 6200008
4a t / a: 2022-06-07 16:20. 1
Cor r end: RINS end scansione: Fs 027
Eler end 3e Sale: Pilas
- AS ad longitudinale:
3i Sevano nf 2 base del dn cor pso 10e 20 r r
- 3a n:
dnf cor pso 6 e Or r
Passo ci Sa 20 cr
Cop Sa ci Sa 8 cr



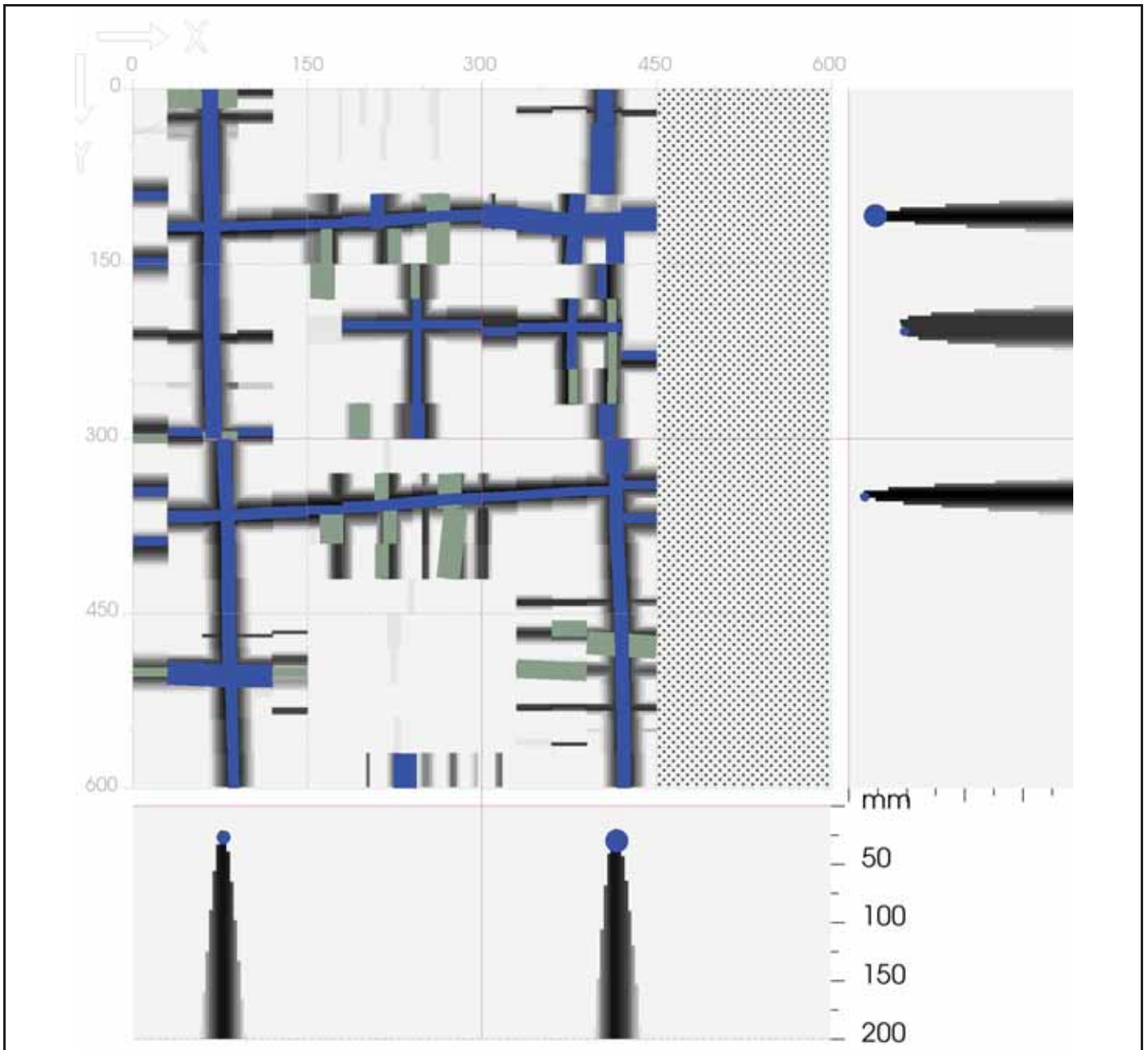
Hilti PROFIS Detection Report

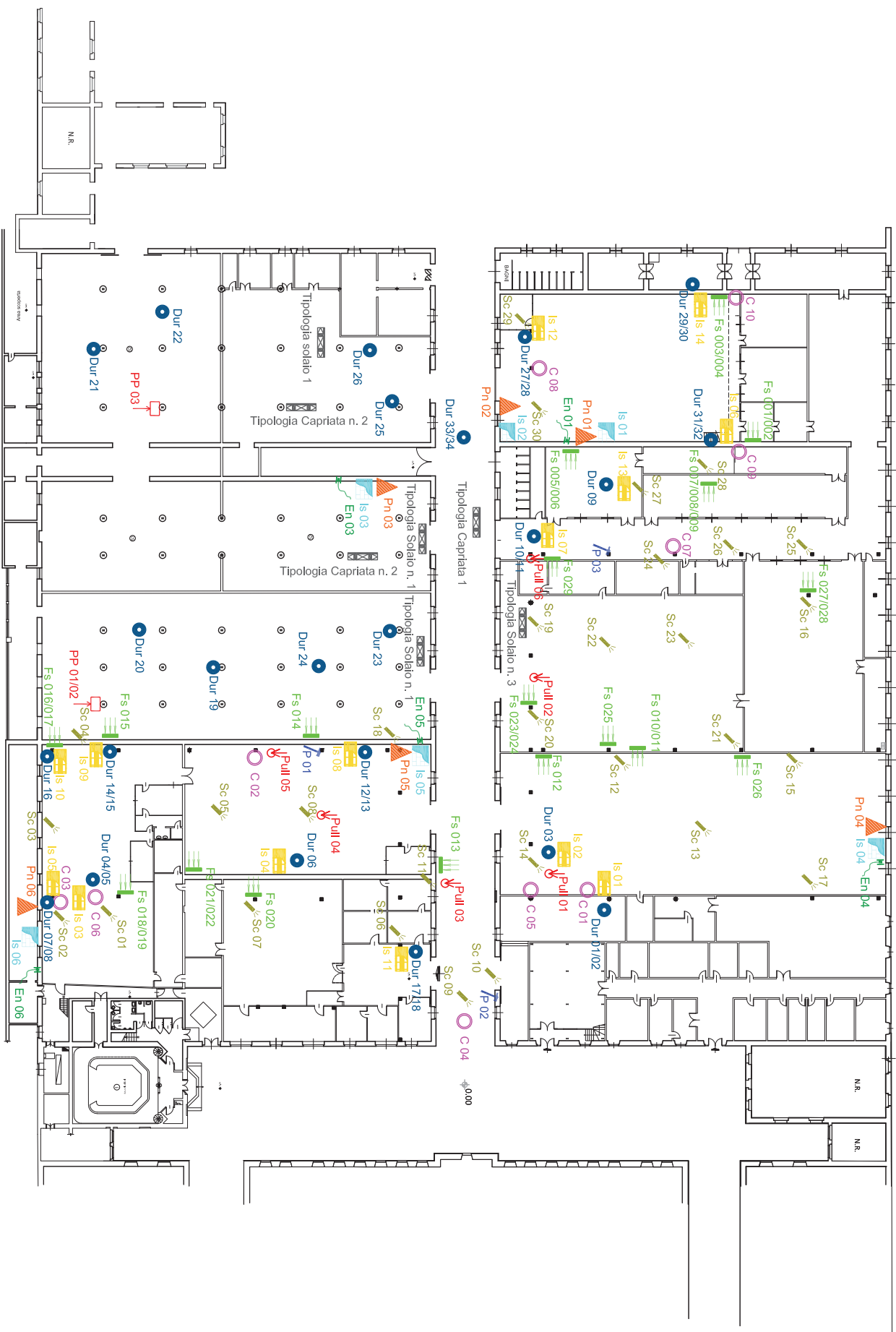
File di scansione: 2022-Jun-07_93_2._f Nrs can
Su4 e6 De6ale: t / 320000t
Ca@ Rl @: 2022-03-07 93:2Nf f
Eo4 4 en@: Tire64 en@ scansione: Fs 02.
vle4 en@ D@00ale: Ailas@
- g64 a06a lonbi@dinale:
Di 6lepano nr2 8a66 del dn co4 P6so @a 9. e 20 4 4
- D@re:
dnno4 P6so @a 3 e . 4 4
Aasso ci6a 20 c4
EoP6re66 ci6a t c4



Hilti PROFIS Detection Report

File di scansione: 2022-Jun-07_93_9_Of Mecan
r uSe 4b 6e4ale: . D320000.
t a/a CC4: 2022-03-07 93.: 9:f f
RoS S en/o: 1 ire4S en/o scansione: Fs 02E
TleS en/o 6/4//u4ale: vilas/4
- AS a/u4a longi/udinale:
6i 4lelano nN pa4e del dn coS 84eso /4a 9Pe 20 S S
- 6/ame:
dnNoS 84eso /4a 3 e P S S
vasso ci4ca 20 cS
Ro84re4b ci4ca . cS





- C nn Prelievo di cis
- Is nn Ispezione visiva c.a.
- Fs nn Scansione Patometrica
- P nn Prelievo di acciaio
- PP nn prelievo da profilato metallico
- Dur nn Durometrica
- Sc nn Sclerometrica
- Is nn Ispezione visiva
- ▲ Pn nn Prova Penetrometrica
- En nn Esame Endoscopico
- ⚡ Pull nn Prova pull-out

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE EX STABILIMENTO MILITARE GUIDO RENI – CITTÀ DELLA SCIENZA

RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA

IMPRESA ESECUTRICE



Via Belice,9 - 04100 Latina

IL GEOLOGO



INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. NORMATIVE E RIFERIMENTI	2
2.1. NORMATIVE.....	2
2.2. BIBLIOGRAFIA.....	2
2.3. SITOGRAFIA	3
3. INQUADRAMENTI.....	4
3.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	4
3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
3.3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	10
3.4. INQUADRAMENTO SISMICO	12
4. RISULTATI DELL'INDAGINE GEORADAR (GPR).....	15
5. ELABORAZIONE E RISULTATI DELLE INDAGINI SUI TERRENI	18
5.1. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO	18
5.2. PROVE GEOTECNICHE IN SITO – STANDARD PENETRATION TEST (SPT).....	19
5.3. PROVE GEOTECNICHE IN SITO - POCKET PENETRATION TEST.....	19
5.4. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	20
5.5. PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC	23
5.6. PROVE GEOTECNICHE IN SITO - CPTU	23
5.7. INDAGINE SISMICA HVSR	24
5.8. INDAGINI SISMICHE DOWN-HOLE	26
5.9. INDAGINE SISMICA MASW	29
6. INDIVIDUAZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE.....	33
6.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	33
6.2. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	33
6.3. ANALISI PER L'ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE	33
7. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEI LIVELLI LITOLOGICI	35
8. CONCLUSIONI.....	36

Allegati

- Allegato 1 - Relazione modalità esecutive indagini geognostiche
- Allegato 2 - Ubicazione delle indagini
- Allegato 3 - Stratigrafie sondaggi geognostici e schema Piezometri
- Allegato 4 - Certificati laboratorio geotecnico
- Allegato 5 - Elaborazione grafica prove CPTu
- Allegato 6 - Elaborazione grafica prova Down-Hole
- Allegato 7 - Documentazione fotografica
- Allegato 8 - Sezione geologico-tecnica A-A'

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata elaborata, a seguito dell'incarico da parte di Rina spa, sulla base delle indagini geognostiche e sismiche, effettuate in corrispondenza dell'ex stabilimento militare sito in Via Guido Reni (RM). L'elaborato in oggetto, in base ai risultati delle indagini effettuate, fornisce il modello geologico e sismico del sottosuolo, necessario alla progettazione degli interventi inerenti alla riqualificazione dell'area.

In accordo con la Committenza e il Progettista degli interventi, e in ottemperanza alla normativa tecnica attualmente in vigore, rappresentata principalmente, dal D.M. "Norme tecniche per le costruzioni" del 17.01.2018 (NTC 2018), è stato eseguito il seguente programma:

- esecuzione di n. **1** sondaggio geognostico (**SDH-01**) a carotaggio continuo ed andamento verticale con diametro 101 mm spinto fino alla profondità 30 m;
- esecuzione di n. **4** prove SPT durante l'esecuzione del sondaggio geognostico **SDH-01**;
- prelievo di n. **5** campioni di terreno da sottoporre a prove di laboratorio;
- installazione nel foro di sondaggio **SDH-01** di tubazione in pvc per l'esecuzione di n. **1** prospezione sismica in foro con tecnica Down Hole, con rilievo delle onde P e delle onde S su 30 punti di misura;
- esecuzione di n. **1** sondaggio (**SCS-01**) a carotaggio continuo ed andamento verticale spinto fino alla profondità di 16 m con inserimento di n.2 celle piezometriche a profondità di -8.50 m da p.c. e -15 m da p.c.;
-
- esecuzione di n. **1** sondaggio (**SPZ-01**) a carotaggio continuo ed andamento verticale spinto fino alla profondità di 5 m con inserimento di n.1 piezometro a tubo aperto di lunghezza pari a 5.0 m;
- esecuzione di n. **1** prova **CPTu** (L=30 m);
- esecuzione di n. **2** stendimenti sismici **MASW** con determinazione Vs30;
- esecuzione di n.3 prove **HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la definizione del modello sismico del sottosuolo;
- esecuzione di n. **1** prospezione **GEORADAR** per l'individuazione di sottoservizi interferenti con le indagini;
- esecuzione di n.1 prova di permeabilità **Lefranc**.

In accordo con la Committenza, la posizione di esecuzione dei 3 sondaggi geognostici e della prova CPTU inizialmente prevista dal piano di indagine originario, è stata leggermente variata a causa dell'individuazione di probabili sottoservizi che avrebbero potuto interferire con la regolare esecuzione delle indagini.

Le indagini sono state eseguite in conformità a quanto riportato nell'Allegato 1 - Relazione modalità esecutive indagini geognostiche, l'ubicazione è riportata nell'Allegato 2 - Ubicazione delle indagini.

2. NORMATIVE E RIFERIMENTI

2.1. NORMATIVE

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” pubblicate sulla G.U. n°8 del 20/02/2018;
- Presidenza del Consiglio dei Ministri - Ordinanza n.55 del 24/05/2018
- Circolare esplicativa CSLLPP del 21/01/2019: “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni “di cui al D.M. 17/01/18;
- Decreto Ministeriale dei Lavori Pubblici n. 47 del 11 marzo 1988 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- UNI EN 1997-1:2013 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1 “Regole generali”;
- UNI EN 1997-2:2007 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2 “Indagini e prove nel sottosuolo”;
- UNI EN 1998-1:2013 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: “Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-3:2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 3: “Valutazione e adeguamento degli edifici”;
- UNI EN 1998-5:2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: “Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- Regolamento Regionale n. 26 del 26 ottobre 2020 per la semplificazione e l’aggiornamento delle procedure per l’esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico (Abrogazione R.R. del 13 luglio 2016 n.14 e successive modifiche).

2.2. BIBLIOGRAFIA

- LA VIGNA F., MAZZA R. (2015): Carta idrogeologica di Roma" - Scala 1:50.000
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (2013): Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio" - Regione Lazio Foglio n.3 - Università degli Studi "La Sapienza", Roma.
- R. Funicello e G. Giordano (2008) - Carta Geologica di Roma - Foglio 374070 – Scala 1:10.000 (Roma)
- AA.VV. (2008) - Carta Geologica d'Italia - Foglio 374 "Roma" – Scala 1:50.000 - con relative note esplicative - Servizio Geologico d'Italia (Roma).
- AA.VV. (1993) - Guide geologiche regionali n.5 “Lazio” - Società Geologica Italiana (Roma).
- MARRA et Alii (1995): - "Il substrato plio-pleistocenico nell’area romana" - Boll. Soc. Geol. It. 114 (1995).
- VENTRIGLIA U. (1990): - "Idrogeologia della Provincia di Roma" -, III Vol. Regione Vulcanica dei Colli Albani; Ass. LL.PP. Viabilità e Trasporti - Roma
- CESTARI Ferruccio (1990) - "Prove geotecniche in sito" - ed. GEO-GRAPH s.n.c. (Segrate).
- CESTELLI GUIDI Carlo (1987) - "Geotecnica e tecnica delle fondazioni" - HOEPLI (Milano.)
- Taylor, D.W. (1948). Fundamental of soil mechanics. John Wiley.

2.3. SITOGRAFIA

- <http://titano.sede.enea.it>
- <http://sgi1.isprambiente.it>
- <http://www.pcn.minambiente.it>
- <http://www.apat.gov.it>
- <http://emidius.mi.ingv.it>
- <http://esse1-gis.mi.ingv.it>
- <https://www.distrettoappenninocentrale.it>
- <http://dati.lazio.it/catalog/it/>
- <http://www.abtevere.it>
- <http://www.cslp.it>

3. INQUADRAMENTI

3.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

L'area in esame ricade nel territorio comunale di Roma (RM) nell'ambito del Municipio II, è riportato: nel Foglio n. **150** "Roma" in scala 1:100.000, Tavoleta **IV NO** "Roma Nord" in scala 1:25.000 della *Carta Topografica d'Italia* dell'IGMI; nella sezione n. 374060 della C.T.R. del Lazio in scala 1:10.000 (cfr. Corografia – Fig. 1).

La morfologia dell'area urbana di Roma, articolata in dolci rilievi ed ampie valli, è il risultato dell'opera dei cicli erosivi e deposizionali, che si sono succeduti durante la storia geologica. L'evoluzione geomorfologica è iniziata con un primo processo (di età pleistocenica) di edificazione dei rilievi vulcanici, cui segue, come diretta conseguenza dell'abbassamento del livello marino, un'intensa attività erosiva da parte del fiume Tevere e dei suoi affluenti.

L'attività modellatrice dell'acqua prosegue, trasformando la regione di Roma in una vasta area collinare, marcata da valli molto incise, in cui i rilievi erano costituiti dai relitti dei terreni vulcanici. Il successivo innalzamento del livello marino, che diminuisce sensibilmente la capacità di trasporto dei corsi d'acqua esistenti, porta ad un forte accumulo di depositi alluvionali, che colmano, in parte, le antiche incisioni. In particolare, il fiume Tevere comincia a formare ampi meandri, assumendo l'attuale corso.

La morfologia originaria del paesaggio romano è stata successivamente modificata dai processi antropici che, negli ultimi 2.500 anni, hanno caratterizzato la nascita e lo sviluppo della città di Roma.

Opere di sbancamento, finalizzate alla costruzione di edifici o di infrastrutture, l'intensa attività di cava, i riempimenti, gli accumuli di macerie e di rifiuti, il colmamento e canalizzazione dei corsi d'acqua, hanno trasformato i caratteri fisici del territorio e determinato il ricoprimento, pressoché totale, dell'area urbana con una coltre di terreni di riporto, che può raggiungere localmente i 20 metri di spessore.

L'area di studio si colloca nella parte settentrionale del centro storico di Roma, nel quartiere Flaminio.

Morfologicamente è situata in corrispondenza della sponda sinistra del Tevere, in un'area pianeggiante, a circa 500 metri dal fiume, ad una quota di 13 m s.l.m.

L'area di indagine, nella parte mediana, è situata alle seguenti coordinate geografiche: lat.: 41.927663°N – long.: 12.468115°E (sistema di riferimento WGS84); lat.: 41.928653°N – long.: 12.469042°E (sistema di riferimento ED50).

Il punto prescelto per l'esecuzione dei sondaggi sono i seguenti: **SDH-01** si colloca alle seguenti coordinate geografiche: lat. 41.927634°N - long. 12.467335°E (sistema di riferimento WGS84); lat. 41.928624°N - long. 12.468262°E (sistema di riferimento ED50), il sondaggio **SCS-01** si colloca alle seguenti coordinate geografiche lat. 41.927492°N - long. 12.467394°E (sistema di riferimento WGS84); lat. 41.928482°N - long. 12.468321°E (sistema di riferimento ED50) e il sondaggio **SPZ-01** si colloca alle seguenti coordinate geografiche lat. 41.9273660°N - long. 12.4673926°E (sistema di riferimento WGS84); lat. 41.928356°N - long. 12.468319°E (sistema di riferimento ED50).

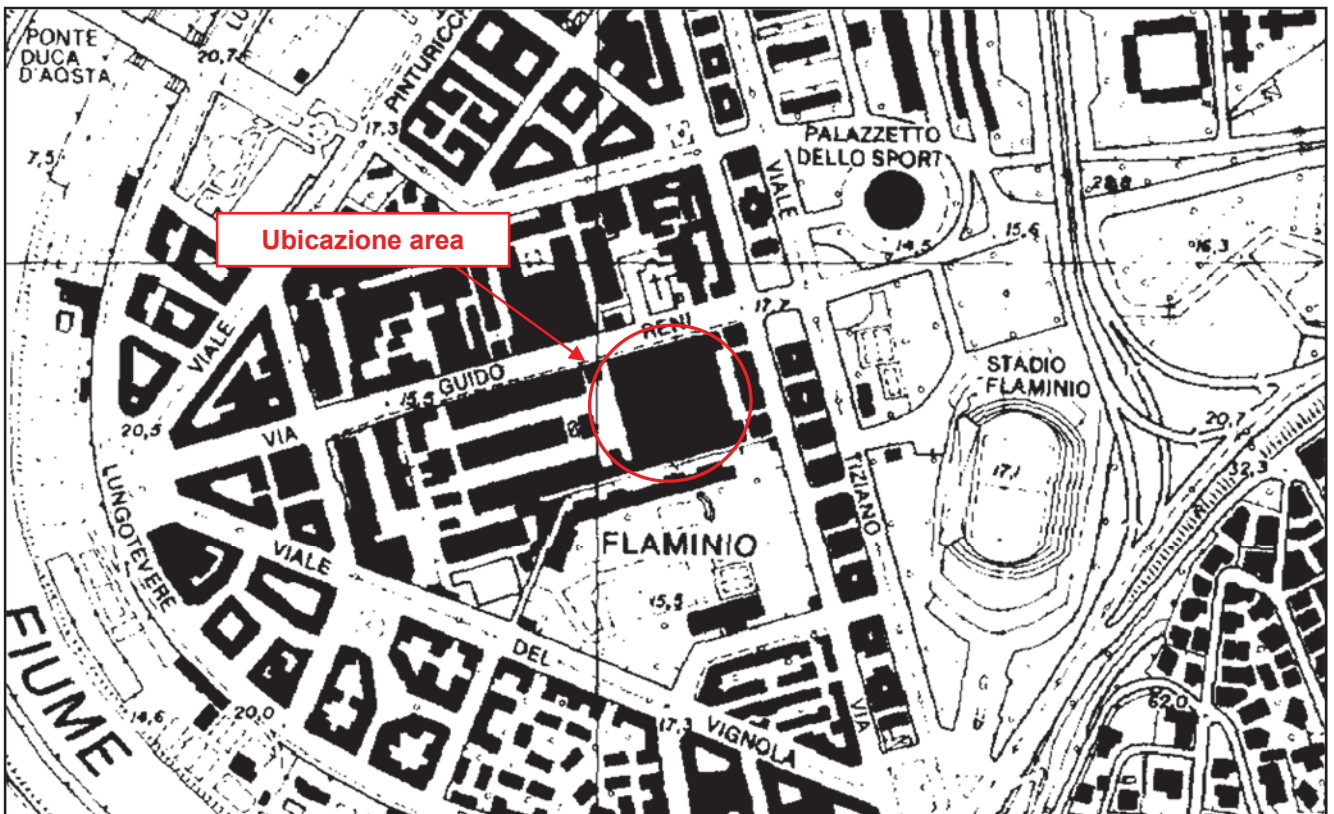


Fig.1: Foto aerea in scala grafica (da Google Earth 2021) e stralcio dell'elemento n. 374060 della Carta Tecnica Regionale del Lazio in scala in scala 1:10000

Gli aspetti di Rischio idrogeologico (Rischio idraulico e Rischio Geomorfológico), sono stati analizzati facendo riferimento alla cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell’Autorità di Bacino del Fiume Tevere. L’analisi della suddetta cartografia ha messo in evidenza:

- in riferimento al rischio idraulico, l’area in esame ricade in una zona a rischio R3 (cfr. Figura 2);
- in riferimento al rischio geomorfológico, l’area in esame non ricade in aree di pericolo di frana (cfr. Figura 3).

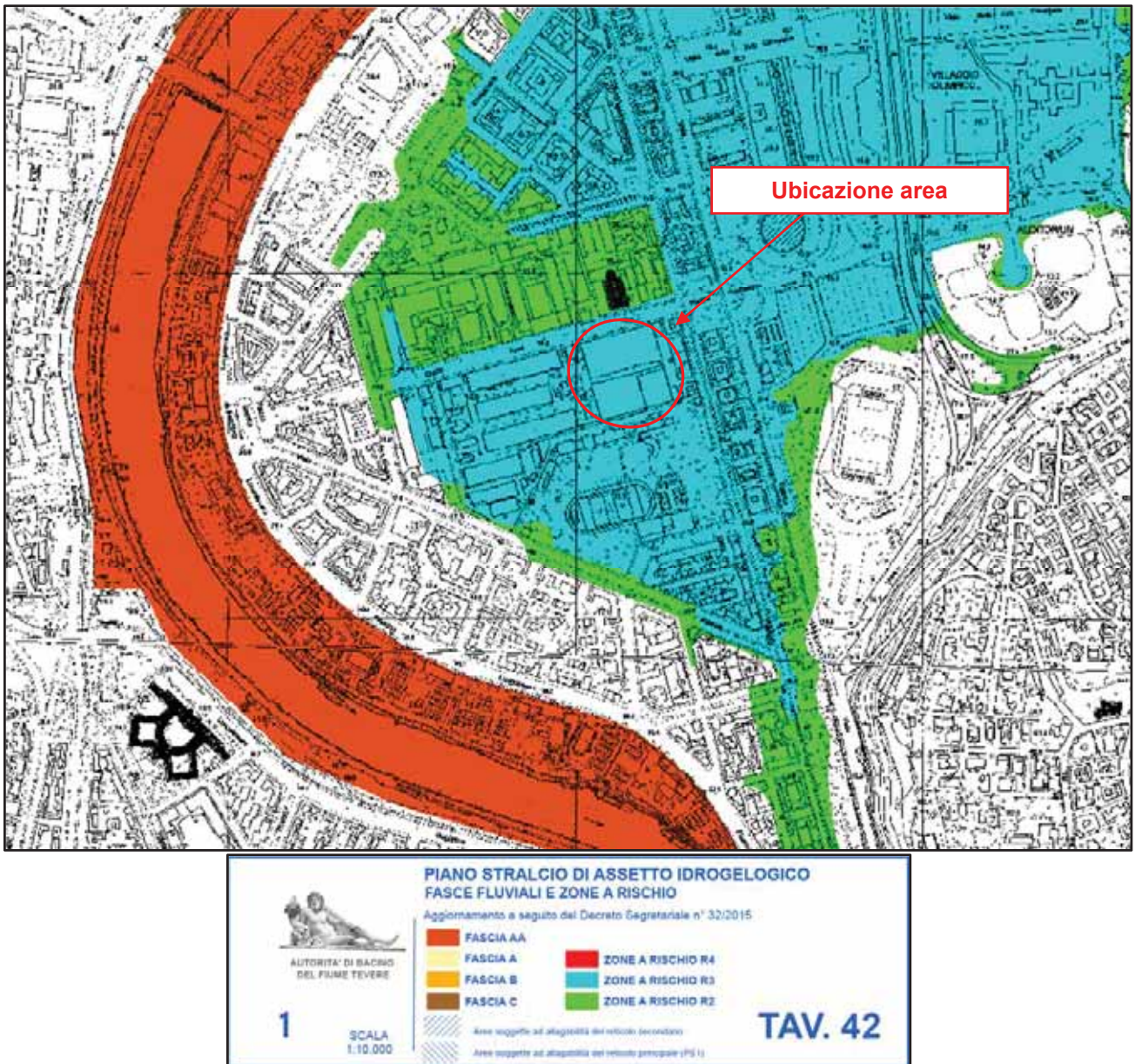


Fig.2: Stralcio in scala 1:10.000 della carta delle “Fasce fluviali e zone di rischio” (Tavola 42).

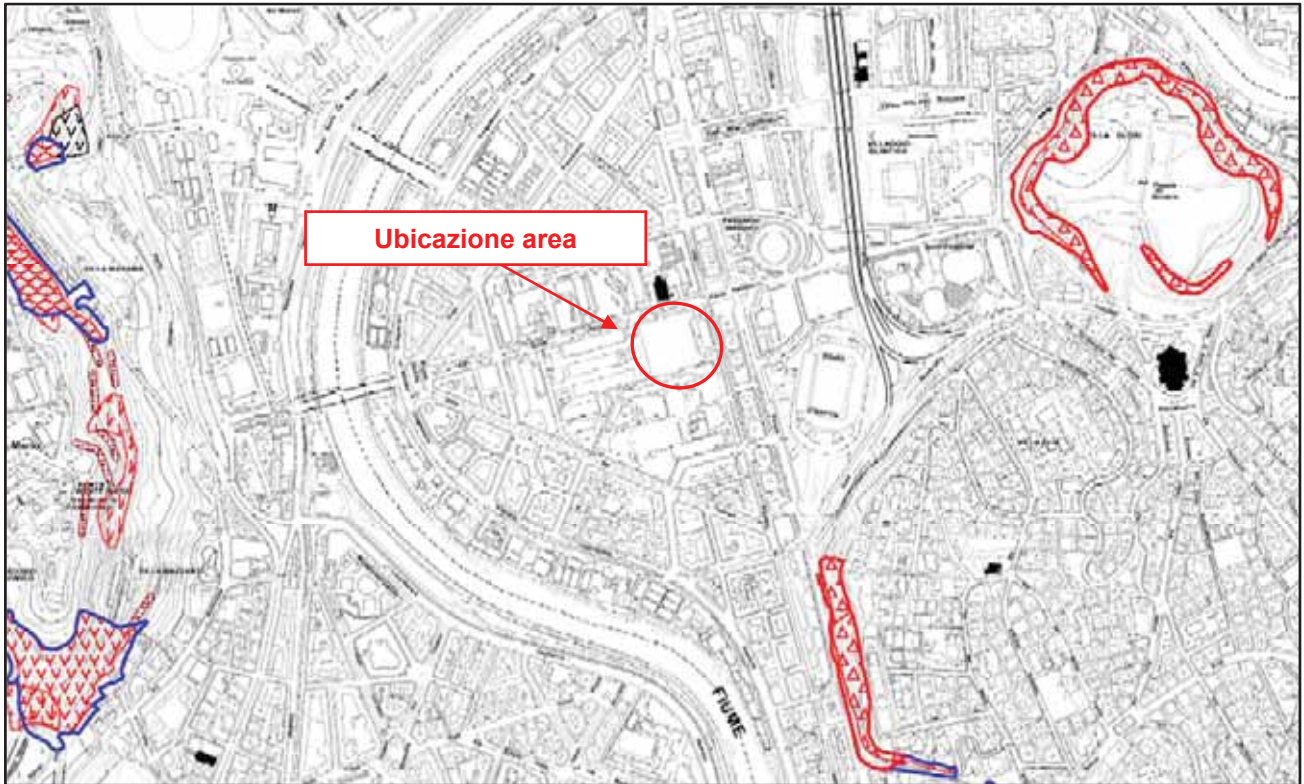


Fig.3: Stralcio in scala 1:10.000 della "Carta inventario dei fenomeni franosi" (Tavola 35).

3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio è compresa nel Foglio n. **150 "Roma"** e n. **374 "Roma"** della *Carta Geologica d'Italia* rispettivamente in scala 1:100.000 e 1:50.000, redatte dal Servizio Geologico Nazionale, e nella sezione 374060 della Carta Geologica di Roma redatta da Funiciello R. e Giordano G. nel 2008 (cfr. Carta Geologica – Figura 4).

La successione dell'area studiata, conformemente al resto dell'area romana, ha come substrato profondo la **"Formazione di Monte Vaticano"** costituita da argille grigie del Pliocene, deposte in ambiente marino.

Sopra ai terreni di origine sedimentaria sono presenti i prodotti dell'intensa attività eruttiva dei distretti vulcanici laziali, dei Colli Albani e Sabatino, verificatasi attraverso eventi di vario tipo che si susseguirono in un lungo periodo di tempo a partire da circa 600 mila anni fa, fino a tempi geologicamente molto recenti, circa 37 mila anni fa. La nascita dei complessi vulcanici è da ricollegare a una fase distensiva, caratterizzata dall'apertura di fratture profonde (faglie) da cui si è verificata la risalita dei fluidi magmatici.

L'attività vulcanica si è espletata, soprattutto, attraverso una serie di fasi esplosive con proiezione di lapilli, ceneri ed altri materiali piroclastici, che hanno costituito depositi di tufi e pozzolane. A più riprese, si sono manifestate anche emissioni effusive, con la formazione di colate laviche leucititiche, il cui affioramento più famoso è attualmente visibile lungo la SS n. 7 Appia (Colata di Capo di Bove).

Al di sopra dei terreni vulcanici si sono poi depositati terreni di origine sedimentaria di facies prevalentemente continentale.

Nell'area di studio sono presenti, a partire dai più antichi:

La **Formazione di Monte Vaticano (MVA)**. Argille grigie stratificate di ambiente batiale superiore, da consolidate a molto consolidate, alternate a sabbie fini micacee da grigie a giallo ocra in strati da sottili a banchi, affioranti lungo la struttura di Monte Mario-Gianicolo, Viale Tiziano e nella zona di Marco Simone.

La **Formazione di S. Cecilia (CIL)**. Alternanze ed interstratificazioni di conglomerati, sabbie e limi di ambiente fluviale ad elementi vulcanici (zona di Ponte Galeria). Alternanze di strati cineritici a lapilli accrezionari, pomici e ceneri avana con orizzonti pedogenizzati (zona Flaminia). Spessori fino a 40 m.

La **Formazione di Valle Giulia (VGU)**. La formazione è costituita alla base da livelli di ghiaie minute poligeniche a stratificazione incrociata, passanti a sabbie e limi sabbiosi a concrezioni carbonatiche con stratificazione suborizzontale. Verso l'alto sono presenti travertini fitoclastici in banchi ("tartaro"), inglobanti lenti di sabbie e ghiaie vulcanoclastiche (Valle Giulia – Collina Parioli). In zona Vigna Clara – Flaminia, sono presenti livelli ricchi in fluorite. Ambiente fluviale e fluvio-palustre. Spessore fino a 30 m.

L'Unità del Palatino (PTI). Deposito piroclastico massivo, generalmente semicoerente o litoide, a matrice cineritica grigio-nerastra con scorie grigie o nere cristalli di leucite alterata, pirosseno e biotite, clasti centimetrici di lava. Localmente sono presenti clasti di ghiaie calcaree del substrato. Alla base sono frequenti impronte di tronchi d'albero. Alla base è presente un livello tabulare di scorie millimetriche da caduta, di spessore massimo 25 cm. Verso l'alto è presente intercalato un livello cineritico ricco di lapilli accrezionari spesso fino a 30 cm. Spessore massimo 10 m.

I Tufi stratificati varicolori di Sacrofano (SKF). Successione di depositi piroclastici lapillosi e cineritici, in strati contenenti scorie e litici lavici di dimensioni centimetriche da ricaduta, intervallati a livelli vulcanoclastici rimaneggiati, orizzonti pedogenizzati e depositi limno-palustri. Spessori fino a 14 m.

I Tufi stratificati varicolori di La Storta (LTT). Successione costituita da alternanze di piroclastiti primarie cineritico-lapillose di scorie grigie e pomici da ricaduta e livelli vulcanoclastici rimaneggiati, con orizzonti pedogenizzati. Spessori fino a 10 m. La provenienza dei depositi è dal Distretto Vulcanico Sabatino.

Deposito alluvionale (SFT_{ba}). Depositi siltoso-sabbiosi e siltoso-argillosi delle piane alluvionali. Nella piana alluvionale del Fiume Tevere e del Fiume Aniene è litologicamente nota da dati di sondaggio ed è prevalentemente costituita da depositi fini siltoso-argillosi alternati a livelli sabbiosi e a livelli di torbe a diversa profondità. Alla base sono frequenti livelli ghiaiosi e sabbiosi, che possono ospitare una falda in pressione.

Sedimenti alluvionali in evoluzione (SFT_{bb}). Depositi alluvionali all'interno delle arginature artificiali del Tevere e dell'Aniene. Si tratta di alternanze di sabbie, silt, argille e ricchi livelli di materia organica. Da 0 a 10 m.

Dall'analisi della cartografia tematica, nell'area in esame sono segnalati, in affioramento, i depositi alluvionali **SFT_{ba}** (cfr. Carta geologica - Figura 4).

CARTA GEOLOGICA
scala 1:10.000

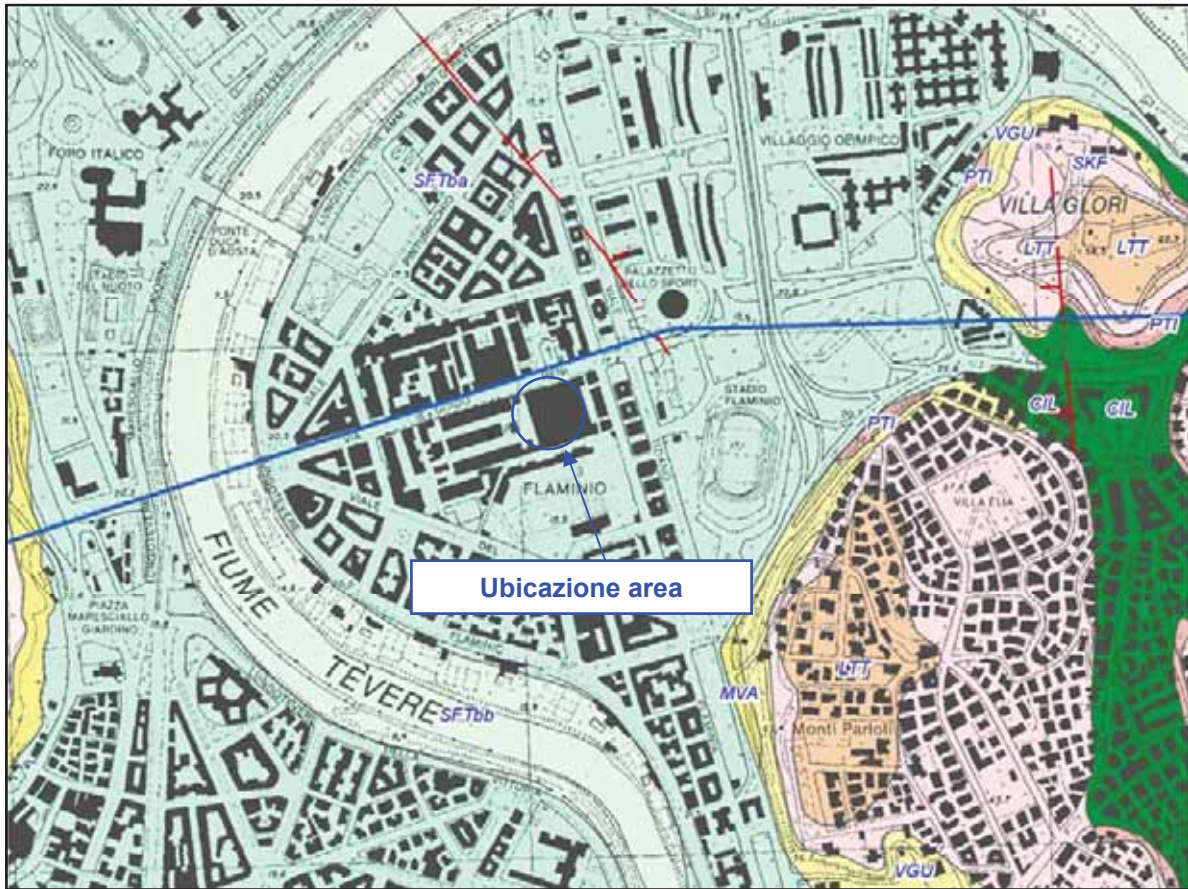


Fig.4: Stralcio sezione n. 374060 della Carta Geologica del Comune di Roma in scala 1:10.000 (R. Funiello e G. Giordano, 2008)

SFT _{bb}	Sedimenti alluvionale in evoluzione OLOCENE	VGU	Formazione di Valle Giulia PLEISTOCENE MEDIO p.p.
SFT _{ba}	Deposito alluvionale OLOCENE	CIL	Formazione di S. Cecilia PLEISTOCENE MEDIO p.p.
LTT	Tufi stratificati varicolori di La Storta PLEISTOCENE MEDIO p.p.	MVA	Formazione di Monte Vaticano PLIOCENE SUPERIORE p.p (Gelasiano p.p.)- INFERIORE p.p.(Zancleano p.p.)
SKF	Tufi stratificati varicolori di Sacrofano PLEISTOCENE MEDIO p.p.		
PTI	Unità del Palatino PLEISTOCENE MEDIO p.p.		

3.3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Lo schema idrogeologico della zona in esame, definito sulla base della “Carta Idrogeologica di Roma” (La Vigna F., Mazza R., 2015), è riconducibile alla successione di complessi idrogeologici a cui possono essere ricondotte le formazioni geologiche individuate nel capitolo precedente. Di tali complessi, dall’alto, sono di seguito descritti nei caratteri salienti riportati nello studio esaminato (cfr. Carta Idrogeologica - Figura 5).

COMPLESSO DELLE ALLUVIONI E DEI DEPOSITI LACUSTRI (2) - potenzialità acquifera bassa - Depositi alluvionali dei principali corsi d’acqua e quelli alluvionali in evoluzione all’interno delle arginature artificiali del Fiume Tevere e Aniene. Nell’insieme si tratta di depositi di riempimento, siltoso-sabbiosi con discreta componente pelitica e livelli di torbe. Lo spessore di questi depositi raggiunge circa 60-65 m lungo gli assi depocentrali delle valli principali. Il complesso è in connessione con i corpi idrici superficiali che costituiscono il recapito della circolazione principale del settore rappresentato. Alla base dei depositi alluvionali sono presenti, solo nel sottosuolo, livelli di ghiaie (Complesso delle ghiaie di base delle alluvioni), raggiunti in sondaggio a profondità tra i 40 e i 60 m dal p.c.

COMPLESSO VULCANICO SABATINO (9)- potenzialità acquifera bassa - Costituito dall’insieme delle vulcaniti derivate dall’attività del Distretto Vulcanico Sabatino; si tratta di colate piroclastiche di facies distale, spesso alterate, e di depositi di ricaduta indifferenziati che possono essere assimilati a sabbie fini, con abbondante matrice limosa e livelli pedogenizzati. Gli spessori, nell’area urbanizzata di Roma, sono piuttosto modesti, con bancate che ricoprono gli alti morfologici, mentre aumentano fino ad oltre 100 m verso le aree periferiche nord-occidentali del territorio Capitolino. Il complesso è caratterizzato da eteropie laterali e verticali che producono variazioni locali del coefficiente idraulico.

COMPLESSO DELLA FORMAZIONE DI VALLE GIULIA (10) - potenzialità acquifera media – è composto da livelli di ghiaie minute poligeniche e travertini fitoclastici in banchi inglobanti lenti di sabbie vulcaniche rimaneggiate e sabbie e limi sabbiosi a concrezioni carbonatiche. Tale Complesso affiora nelle incisioni fluviali del Tevere e del sistema tributario in esso confluyente. Presenta geometria variabile e costituisce bancate piuttosto regolari o lembi terrazzati lungo i solchi vallivi. Non riveste potenzialità acquifera nel settore centrale di Roma. La permeabilità dei diversi litotipi può variare da valori medi a medio-elevati, mentre il grado di permeabilità relativa può essere ritenuto medio.

COMPLESSO DELLE SABBIE GROSSOLANE DI MONTE MARIO E DI PONTE GALERIA (15) - potenzialità acquifera alta – è costituito da sabbie grossolane e sabbie sciolte, localmente in alternanza a livelli argillosi. Presenta spessori variabili da qualche decina a massimo un centinaio di metri.

COMPLESSO ARGILLOSO-SABBIOSO BASALE (16) - potenzialità acquifera molto bassa – è costituito da argille, anche sovraconsolidate, ed argille sabbiose. In particolare, la formazione di Monte Vaticano presenta spessori elevati, fino ad un massimo di circa 800 m. L’andamento della superficie di tetto del complesso si presenta articolata a causa dell’attività tettonica estensionale pre-vulcanica plio-pleistocenica.

Dall’analisi della cartografia tematica, nell’area in esame, è segnalato, in affioramento il **COMPLESSO DELLE ALLUVIONI E DEI DEPOSITI LACUSTRI**, cui segue, in profondità, il **COMPLESSO DELLE GHIAIE DI BASE DELLE ALLUVIONI**. Il livello piezometrico, in carta, è segnato tra i 10 e i 15 m slm.

CARTA IDROGEOLOGICA
 scala 1:50.000

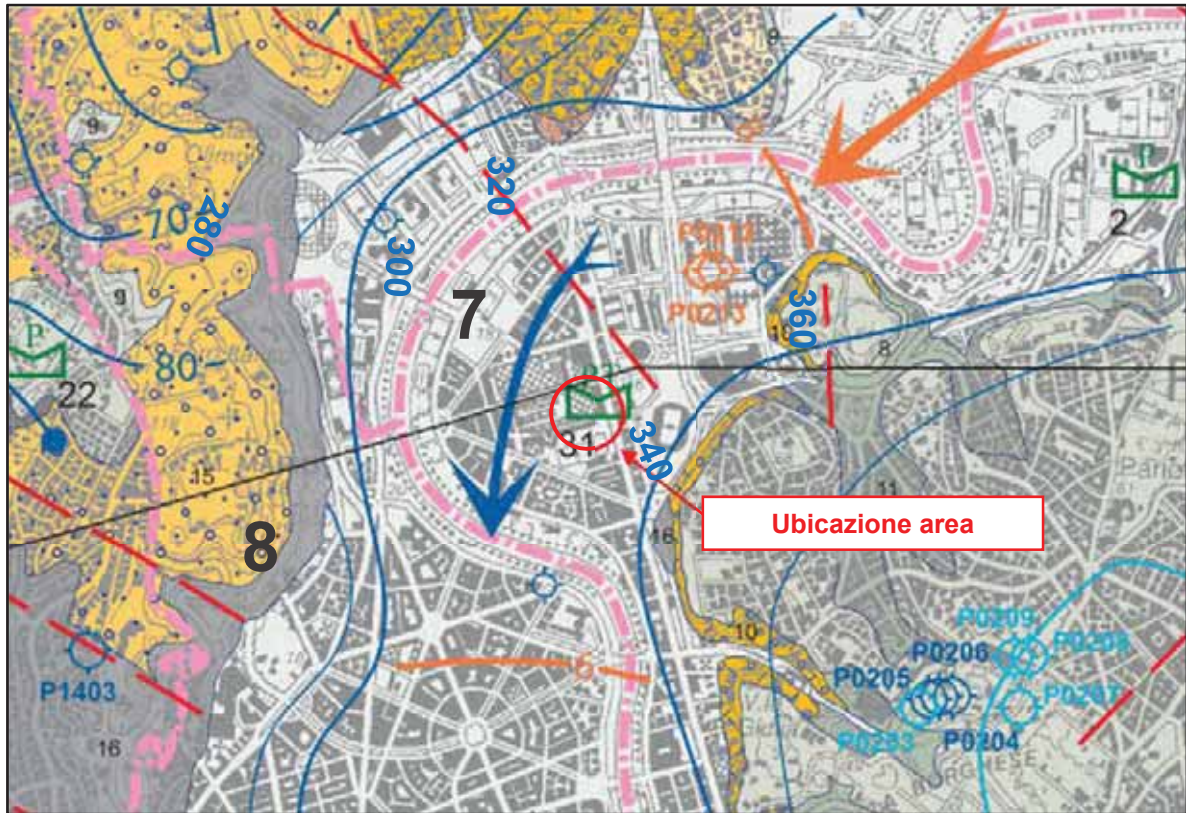
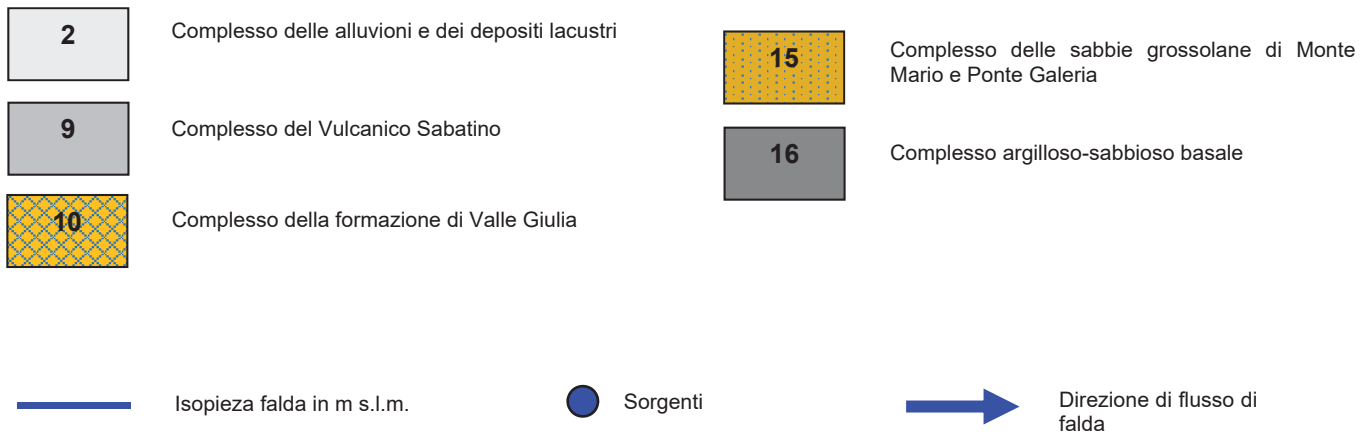


Fig.5: Stralcio della "Carta Idrogeologica di Roma " in scala 1:50.000 (La Vigna F., Mazza R., 2015)



3.4. INQUADRAMENTO SISMICO

Con l’emanazione dell’OPCM 3519/06 lo Stato ha definito i criteri nazionali che ciascuna Regione deve seguire per l’aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio.

Nel Lazio, la nuova riclassificazione si basa soltanto su 3 Zone Sismiche, a differenza delle quattro della precedente classificazione del 2003, con la scomparsa della zona sismica 4. Tale modifica, è stata apportata, in quanto i valori di accelerazione a_g dell’elaborato all’84°percentile dell’INGV-DPC, sono compresi fra 0.278g e 0.065g, a tali valori, si possono correlare empiricamente soltanto tre zone sismiche e quattro sottozone, escludendo quindi totalmente la zona sismica 4.

La Zona Sismica 1, quella più gravosa in termini di pericolosità sismica, non presenta sottozone in quanto il valore di $a_{g,max}$ previsto per il Lazio non giustifica ulteriori suddivisioni. Pertanto, la creazione di sottozone ha interessato soltanto le zone sismiche 2 e 3, con la suddivisione in 4 sottozone sismiche, dalla 2A, ovvero la maggiore sottozona della zona sismica 2, fino alla sottozona sismica 3B, corrispondente alla sottozona meno pericolosa della zona sismica 3, come si evince dalla tabella seguente.

ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1		$0.25 \leq a_g < 0,278g$ (val. Max per il Lazio)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(val. min.) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Tabella. I: Sottozone sismiche in relazione all’accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per la riclassificazione sismica dell’OPCM 3519/06

In data 22/05/2009, con Deliberazione n.387, la Giunta Regionale del Lazio in ottemperanza all’OPCM 3519/06, ha approvato la “Classificazione sismica del territorio della Regione Lazio”, nell’ambito della quale, il territorio del Municipio II (ex III) del Comune di Roma è inserito nella **sottozona sismica 3A** (cfr. Figura 6).

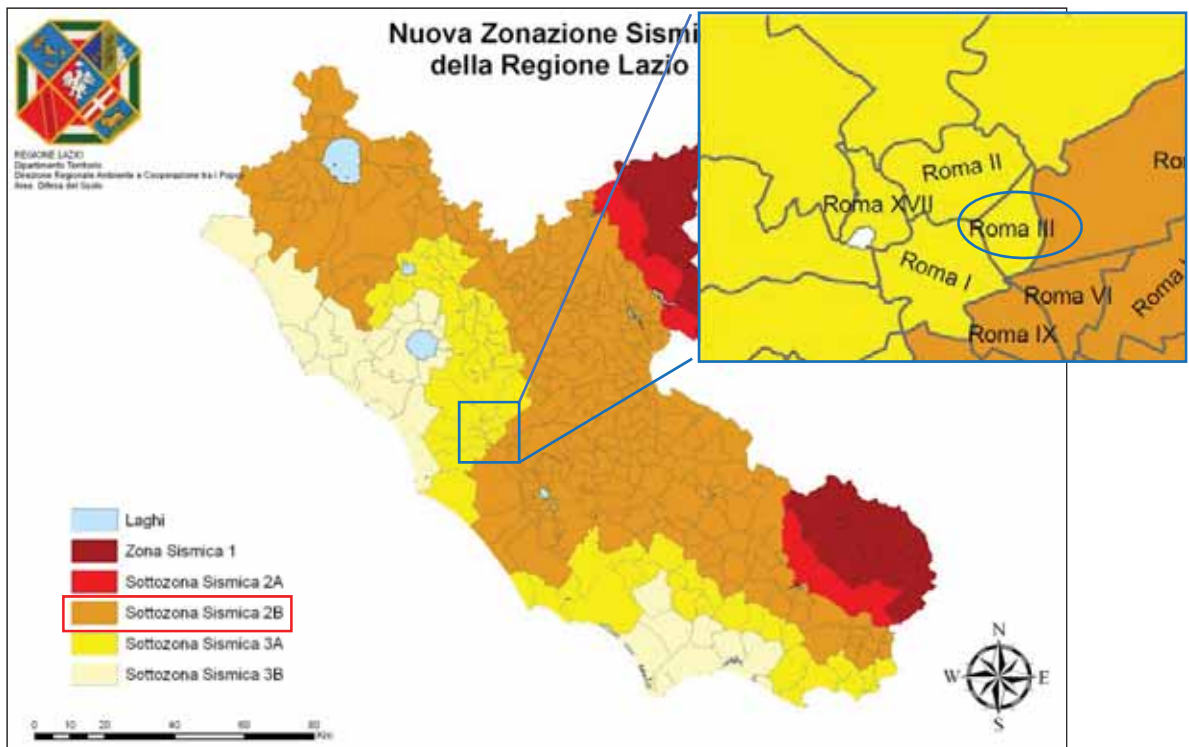


Fig.6: Classificazione sismica del territorio della Regione Lazio

Studi riguardanti la distribuzione delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>) indicano, per il Comune di Roma, come principali eventi sismici che hanno avuto un grande risentimento fino al 2015, quelli nella tabella di seguito riportata con: I - Intensità sismica al sito (MCS); Data - Anno mese giorno e orario; Ax Zona epicentrale; Np - numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io - Intensità sismica epicentrale (MCS); Mw - Magnitudo momento.

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1091 01 27	Roma	1	7	5.1
4	1279 04 30 18	Appennino umbro-marchigiano	17	9	6.2
4	1328 12 01	Valnerina	13	10	6.49
7-8	1349 09 09	Appennino laziale-abruzzese	17	9	6.27
5	1456 12 05	Appennino centro-meridionale	199	11	7.19
5	1484 01 19	Sabina	6	6-7	5.02
4	1619 07 07 22	Aquilano	5	7-8	5.33
7	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.92
7	1703 02 02 11 05	Aquilano	69	10	6.67
5	1706 11 03 13	Maiella	99	10-11	6.84
6	1730 05 12 05	Valnerina	115	9	6.04
4-5	1731 03 20 03	Tavoliere delle Puglie	49	9	6.33
4	1732 11 29 07 40	Irpinia	183	10-11	6.75
5	1750 02 08	Colli Albani	6	5	4.5
4-5	1767 06 05 01 30	Valle Umbra	10	7-8	5.45
4-5	1785 10 03 00 30	Monti Tiburtini	6	5-6	4.5
5-6	1806 08 26 07 35	Colli Albani	35	8	5.61
5-6	1811 02 18 02 15	Colli Albani	3	4-5	3.93
6-7	1812 03 22 02 20	Campagna romana	1	6-7	4.86
4	1861 12 12 06 10	Colli Albani	4	5	4.16
4-5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
4	1873 07 12 06 06	Val Comino	61	7-8	5.38
4	1874 02 24 06 52	Aquilano	26	6-7	5.12
5-6	1876 10 26 14 18	Monti Prenestini	29	7	5.06
4	1877 08 24 02 45	Lazio meridionale	54	7	5.21
5	1879 02 23 18 30	Valnerina	15	8	5.59
5	1883 09 02 07 03	Colli Albani	27	5-6	4.67
4-5	1885 04 10 01 44	Appennino laziale-abruzzese	44	5	4.57
5	1892 01 22	Colli Albani	81	7	5.14
5-6	1895 11 01	Campagna romana	94	6-7	4.83
6-7	1899 07 19 13 18 54.00	Colli Albani	122	7	5.1
4-5	1902 10 23 08 51	Reatino	77	6	4.74
5	1909 08 31 13 41	Roma	44	5	4.15
4-5	1911 04 10 09 43	Colli Albani	79	6	4.74
6-7	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7.08
4-5	1917 07 08 02	Appennino laziale-abruzzese	44	5-6	4.68
4	1919 10 22 06 10	Anzio	142	6-7	5.22
6	1927 12 26 15 06 14.00	Colli Albani	38	7	4.89
4	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5.69
4	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94	7	5.25
5	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5.83
4	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	912	8	5.86
4-5	1995 06 12 18 27 43.38	Campagna romana	125	5-6	3.79
4-5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5	2005 08 22 12 02 07.40	Costa laziale	57	5-6	4.78
4-5	2009 04 06 01 32 40.40	Aquilano	316	9-10	6.29

Tabella. II: Sismicità storica del comune di Roma

Dalla Carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (cfr. Figura 7), si osserva che l'accelerazione orizzontale massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi, è compresa per la zona d'esame nell'intervallo $0.125 \div 0.150$.

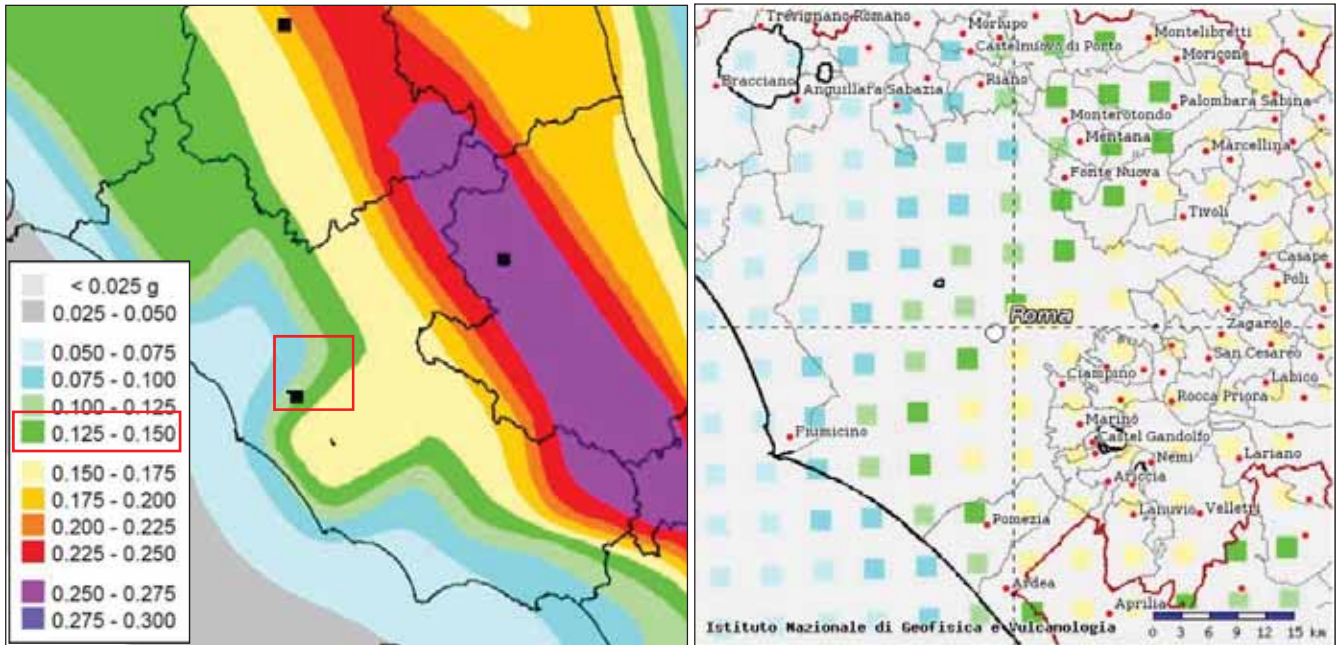


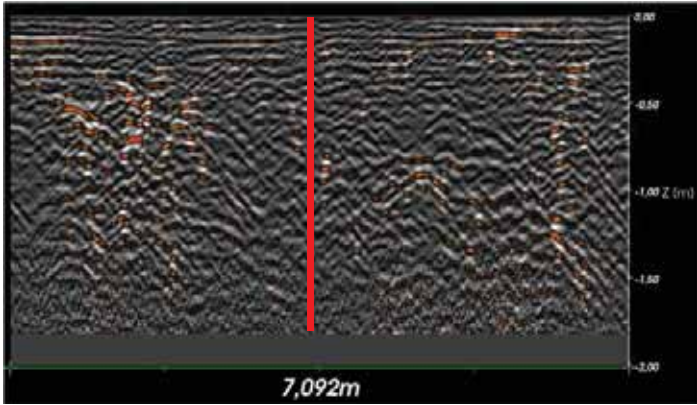
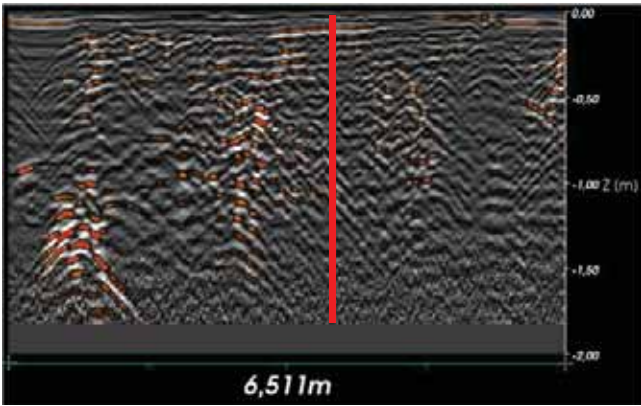




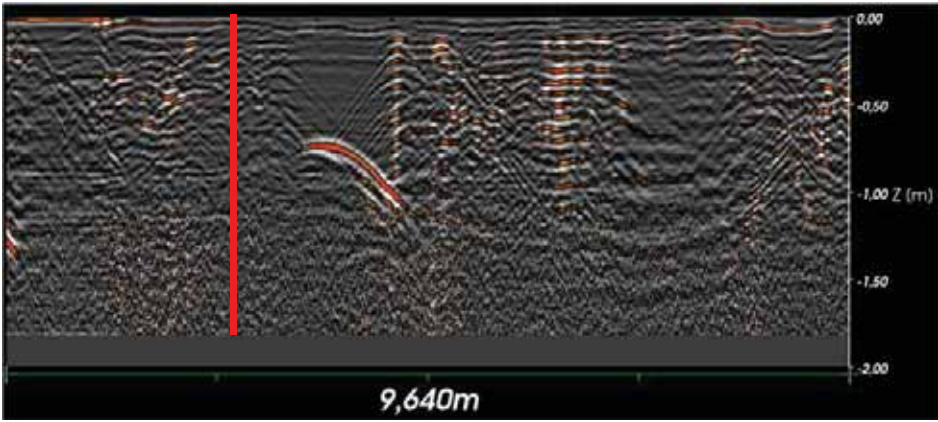
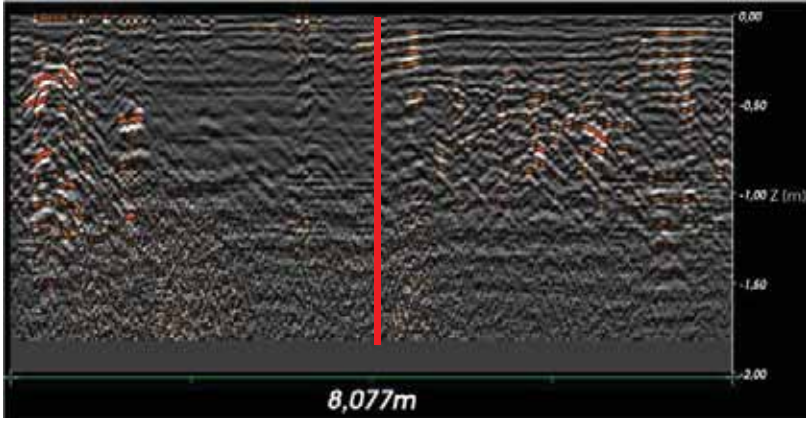
Fig.7: Carta dei valori di pericolosità sismica della regione Lazio con dettaglio sull'area d'indagine



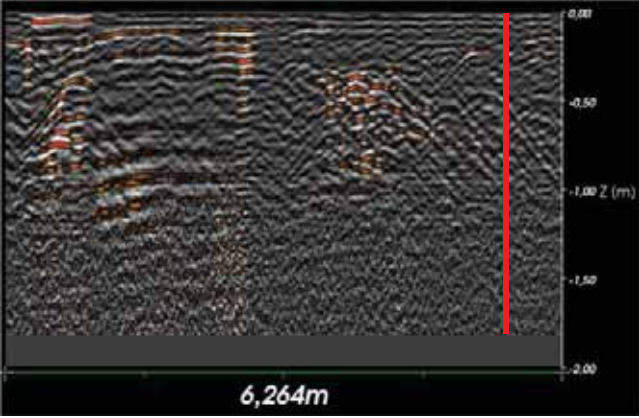
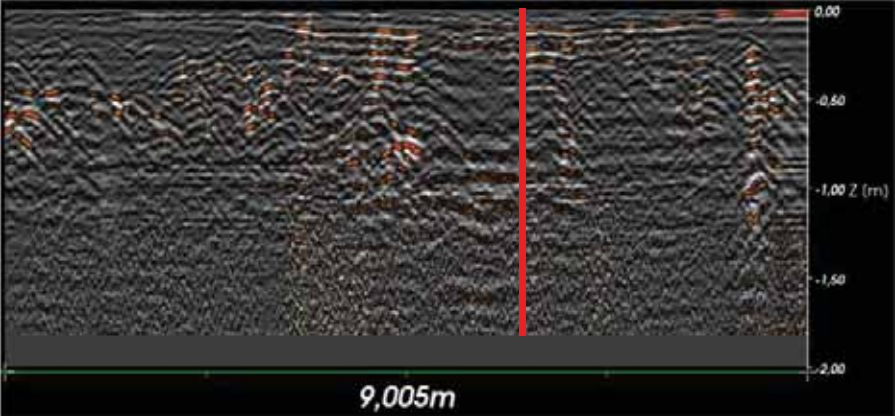
4. RISULTATI DELL'INDAGINE GEORADAR (GPR)

L'indagine georadar è stata eseguita con lo scopo di rilevare l'andamento dei vari sottoservizi e l'eventuale presenza di anomalie riconducibili ad oggetti metallici e non, manufatti antropici, cunicoli, vuoti etc., per ubicare i sondaggi geognostici SDH-01, SCS-01 e SPZ-01.

Nelle tabelle seguenti sono riassunte le informazioni principali dell'indagine eseguita.

GPR_SDH-01	
N° scansioni effettuate: 2	Totale metri acquisiti: 16,1
N° scansioni longitudinali (SSE-NNW): 1	N° scansioni trasversali (WSW-ENE): 1
	
Foto 1: Scansioni effettuate: in rosso L1, in giallo T1.	Foto 2: Panoramica ubicazione sondaggio SDH-01 (cerchio rosso)
	
Radargramma L1-900 Mhz: la linea rossa coincide con la linea di perforazione del sondaggio SDH-01.	
	
Radargramma T1-900 Mhz: la linea rossa coincide con la linea di perforazione del sondaggio SDH-01.	

GPR_SCS-01	
N° scansioni effettuate: 2	Totale metri acquisiti: 17,7
N° scansioni longitudinali (SSE-NNW): 1	N° scansioni trasversali (WSW-ENE): 1
	
Foto 3: Scansioni effettuate: in rosso L2, in giallo T2.	Foto 4: Panoramica ubicazione sondaggio SCS-01 (cerchio rosso)
	
Radargramma L2-900 Mhz: la linea rossa coincide con la linea di perforazione del sondaggio SCS-01.	
	
Radargramma T2-900 Mhz: la linea rossa coincide con la linea di perforazione del sondaggio SCS-01.	

GPR_SPZ-01	
N° scansioni effettuate: 2	Totale metri acquisiti: 15,3
N° scansioni longitudinali (SSE-NNW): 1	N° scansioni trasversali (WSW-ENE): 1
	
Foto 5: Scansioni effettuate: in rosso L3, in giallo T3.	Foto 6: Panoramica ubicazione sondaggio SPZ-01 (cerchio rosso)
	
Radargramma L3-900 Mhz: la linea rossa coincide con la linea di perforazione del sondaggio SPZ-01.	
	
Radargramma T3-900 Mhz: la linea rossa coincide con la linea di perforazione del sondaggio SPZ-01.	

5. ELABORAZIONE E RISULTATI DELLE INDAGINI SUI TERRENI

Le indagini sono state elaborate in conformità a quanto indicato nella *Relazione modalità esecutive indagini geognostiche* (cfr. Allegato 1). L'ubicazione delle stesse è riportata in allegato (cfr. Allegato 2).

5.1. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

I sondaggi geognostici eseguiti, sono stati ubicati (cfr. Allegato 2 - Ubicazione delle indagini): **SDH-01**, lat. lat. 41.927634°N - long. 12.467335°E (sistema di riferimento WGS84), **SCS-01** alle seguenti coordinate geografiche lat. 41.927492°N - long. 12.467394°E (sistema di riferimento WGS84) e **SPZ-01**, alle seguenti coordinate geografiche lat. 41.9273660°N - long. 12.4673926°E (sistema di riferimento WGS84).

Durante l'esecuzione dei sondaggi, prima dell'inizio delle perforazioni, è stata effettuata un'indagine georadar, per escludere la presenza di sottoservizi.

Nel presente paragrafo è riassunto il modello geologico del sottosuolo, emerso dall'analisi dei sondaggi effettuati, per il cui dettaglio si rimanda ai logs stratigrafici in allegato (cfr. Allegato 3 – Stratigrafie sondaggi geognostici). Nell'elaborazione è stato possibile suddividere i terreni intercettati, sulla base di caratteristiche litologiche e geotecniche simili, in quattro livelli litologici, riconducibili ai depositi alluvionali **SFT_{ba}**.

Al di sopra del substrato geologico è presente una coltre di terreno di riporto antropico di spessore variabile, tra un minimo di 0,8 m in SPZ-01 e SCS-01 ad un massimo di 2,7 m in SDH-01.

Di seguito è riportata la descrizione dei caratteri principali dei livelli litologici individuati, la cui distribuzione è schematicamente riportata nella sezione geologico-tecnica in allegato (cfr. Allegato 8). Le quote riportate si riferiscono alla profondità rispetto al piano campagna.

- **Livello litologico n.1 da 0,8÷2,7 m a 10,0 m:** Argilla da con limo a limosa passante verso la base a limo da con argilla ad argilloso e con sabbia, da debolmente umido a saturo (sotto falda), da molto consistente a duro, da poco a moderatamente plastico, di colore marrone scuro.
- **Livello litologico n.2 da 10,0 m a 15,6÷16,0 m:** Sabbia medio fine da limosa a con limo debolmente argillosa, satura, coerente, poco addensata, di colore da marrone chiaro a grigiastro.
- **Livello litologico n.3 da 15,6÷16,0 m a 21,5 m:** Sabbia medio fine da ghiaiosa a con ghiaia e da limosa a con limo, satura, da poco coerente a coerente, moderatamente addensata, di colore grigio scuro.
- **Livello litologico n.4 da 21,5 m a 30,0 m:** Sabbia medio fine da limosa a con limo e con argilla, satura, da poco coerente a coerente, poco addensata, di colore grigio chiaro.

Dal punto di vista idrogeologico, i livelli litologici individuati, sono riconducibili: il n.1 con permeabilità da bassissima a bassa, il numero n.2 con permeabilità medio-alta, il numero n.3 con permeabilità alta e il n.4 con permeabilità medio-alta, al **COMPLESSO DELLE ALLUVIONI E DEI DEPOSITI LACUSTRI**.

Durante l'esecuzione delle indagini, è stata accertata una circolazione idrica, freatica, che interessa parte del livello litologico n.1 e i livelli litologici n.2, n.3 e n.4. Il tetto della circolazione idrica è situato ad una profondità variabile da un minimo di 8,4 m da p.c. (SCS-01) ad un massimo di 8,6 m da p.c. (SDH-01).

All'interno del foro di sondaggio **SCS-01**, sono state installate due celle di Casagrande per la misura delle pressioni interstiziali del livello litologico n.1 e n.2, rispettivamente alle seguenti profondità dal piano campagna: 8,5 m e 15,0 m (cfr. Allegato 3 – Stratigrafie sondaggi geognostici – Schema piezometri SCS-01). Nella giornata del 06/06/2022 sono state eseguite delle misure di pressione interstiziale all'interno dei piezometri installati: il livello dell'acqua è risultato pari a 5,3 m da p.c. nella cella di Casagrande posta a 8,5 m di profondità da p.c. e pari a 8,4 m da p.c. nella cella di Casagrande posta a 15,0 m da p.c. L'altezza piezometrica (h_p) risulta, quindi, essere pari a 3,2 m nella prima cella di Casagrande e pari a 6,6 m nella seconda cella di Casagrande.

All'interno del foro di sondaggio **SPZ-01** invece, è stato installato un piezometro a tubo aperto (cfr. Allegato 3 – Stratigrafie sondaggi geognostici – Schema piezometro SPZ-01) alla profondità di 5,0 m. Dalle misure del livello di falda eseguite nella giornata dal 06/06/2022, il piezometro risulta asciutto.

5.2. PROVE GEOTECNICHE IN SITO – STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

In questo capitolo sono riportati i risultati delle n. 4 prove S.P.T. eseguite durante l'esecuzione del sondaggio SDH-01, i valori dei parametri fisici e geotecnici dei terreni derivanti dalle elaborazioni effettuate.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i parametri definiti dall'elaborazione delle prove SPT per i terreni a comportamento granulare del livello litologico n.2, n.3. e n.4 (cfr. Tabella III).

Livello litologico	Sondaggio Numero prova (n.n)	Prof. prova (m)	N _{SPT} (n)	Punta	N _{I(60)} (n)	Peso specifico saturo g _{sat} (kN/m ³)	Peso specifico secco g _{dry} (kN/m ³)	Densità relativa (%)	Angolo di attrito F R.B.S. (°)
2	SDH-01.1	13,5	8	A	5	18,4	13,8	34	23,6
3	SDH-01.2	16,5	17	A	10	18,9	14,7	47	27,1
3	SDH-01.3	18,5	28	A	15	19,2	15,1	55	29,8
4	SDH-01.4	23,5	8	A	4	18,3	13,7	23	22,5

Tabella. III: Parametri fisici e geotecnici dei livelli granulari da prove SPT

5.3. PROVE GEOTECNICHE IN SITO - POCKET PENETRATION TEST

Le prove di resistenza alla penetrazione (Pocket Penetration Test), eseguite sui carotaggi prelevati, relativamente ai terreni coesivi, hanno permesso di stimare, approssimativamente, i valori della coesione non drenata (**cu**).

Il valore di cu stimato da Pocket Penetration Test, nel livello litologico n.1, è stato individuato adottando la relazione valida per terreni coesivi con frazione granulare (sabbie e limi grossolani) trascurabile ($cu=1/2 R_{pp}$).

I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella seguente, i valori si riferiscono alla media registrata nel singolo sondaggio, nelle stratigrafie i valori di R_{PP} sono espressi in (Kg/cm²).

Sondaggio (n)	Livello Litologico	Coesione non drenata cu da Pocket Penetration Test (kPa)
SDH-01\SCS-01	1	200

Tabella. IV: Valori medi di coesione non drenata (cu) da Pocket Penetration Test

5.4. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Nel corso delle perforazioni sono stati prelevati n.2 campioni indisturbati e n.3 campioni rimaneggiati sottoposti alle prove di laboratorio per la definizione delle caratteristiche fisiche e geotecniche.

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i valori dei parametri misurati; i dati completi sono riportati nei certificati di laboratorio (cfr. Allegato 4 - Certificati laboratorio geotecnico).

Campione	Profondità (m)	Livello litologico (n)	Descrizione	Perc. classi granul. (%)	Peso di volume dei grani γ_s (kN/m ³)	Peso di volume secco γ_{dry} (kN/m ³)	Peso di volume naturale γ_n (kN/m ³)	Caratteristiche di consistenza LL/LP/IP/IC/Wn
SDH01 – C1	3,5 – 4,0	1	Argilla con limo	Sabbia 3% Limo 30% Argilla 67%	25,75	14,86	18,92	67% / 33% / 34% / >1 / 27,3%
SDH01 – C2	9,2 – 9,7	1	Limo con argilla	Ghiaia 0% Sabbia 9% Limo 48% Argilla 43%	26,06	16,11	19,83	45% / 23% / 22% / 1 / 23,1%
SDH01 – C3	15,0 – 15,5	2	Sabbia con limo argillosa	Sabbia 58% Limo 28% Argilla 14%	26,75	14,01	18,61	N.D. / N.D. / N.C. / N.C. / 32,8%
SDH01 – C4	20,5 – 21,0	3	Limo con argilla sabbioso	Sabbia 17% Limo 56% Argilla 27%	26,31	15,81	19,81	32% / 22% / 10% / 0,67 / 25,3%
SDH01 – C4	26,0 – 26,5	4	Sabbia limosa	Sabbia 72% Limo 19% Argilla 9%	26,29	18,11	21,10	N.D. / N.D. / N.C. / N.C. / 16,5%

Tabella. V: Caratteristiche fisiche da analisi di laboratorio

L'analisi dei risultati di laboratorio, per ciò che riguarda le caratteristiche fisiche dei terreni, evidenzia che le classi granulometriche costituenti i campioni sono concordi con quelle definite nelle analisi di campagna e riportate nelle stratigrafie.

I limiti di Atterberg hanno permesso, nel diagramma di plasticità di Casagrande, di individuare che i campioni appartenenti al livello litologico n.1 (cfr. Diagramma di plasticità di Casagrande – cerchio blu) ricadono tra il campo delle “argille inorganiche di media plasticità” e il campo delle “argille inorganiche di alta plasticità”; che i campioni del livello litologico n.3 (cfr. Diagramma di plasticità di Casagrande – cerchio rosso) ricadono nel campo delle “argille inorganiche di media plasticità”. Per i campioni del livello litologico n.1, l'indice plastico $IP=34:22$ individua un terreno potenzialmente plastico, l'indice di consistenza $Ic=>1-Ic=1$ individua un terreno da molto consistente a duro, con comportamento da semisolido a solido, per i campioni del livello litologico n.3, l'indice plastico $IP=10$ individua un terreno potenzialmente poco plastico, l'indice di consistenza $IC=0,67$ indica un terreno consistente, con comportamento plastico.

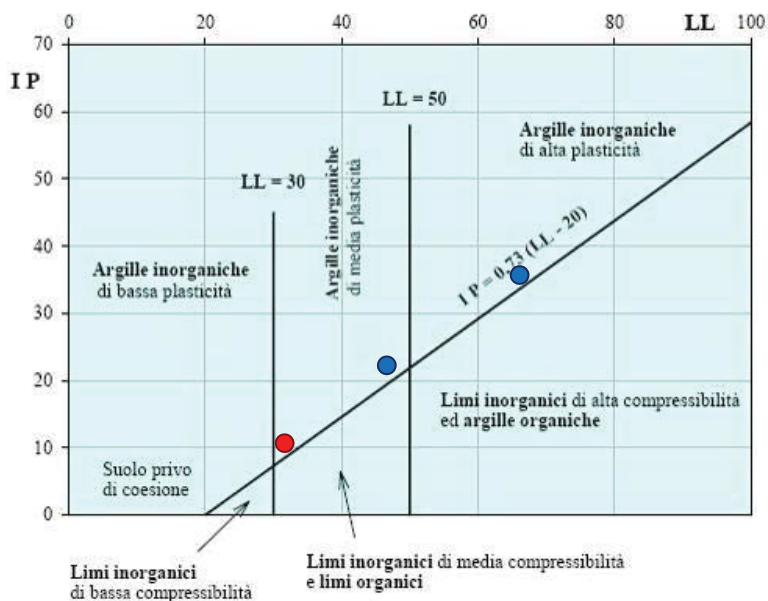


Fig.8: Diagramma di plasticità di Casagrande

Campione	Profondità (m)	Livello Litologico (n)	Prova taglio diretto (TD)		Prova triassiale non consolidata non drenata (UU)	
			c' (kPa)	F' (°)	C _u (kPa)	F _u (°)
SDH01 – C2	9,2 – 9,7	1	-	-	96-125	0
SDH01 – C3	15,0 – 15,5	2	0	31		
SDH01 – C4	20,5 – 21,0	3	0	30		

Tabella. VI: Caratteristiche geotecniche da analisi di laboratorio

Campione	Profondità (m)	Livello Litologico (n)	Prova edometrica (ED)				
			Intervallo pressione applicata (kPa)	Modulo di compressibilità E' (kPa)	Coefficiente di compressibilità mv (kPa ⁻¹)	Coefficiente di consolidazione c _v (cm ² /sec)	Coefficiente di permeabilità k (m/sec)
SDH01 - C1	3,5 – 4,0	1	49 ÷ 98	17.812	5,61*10 ⁻⁵	-	-
			98 ÷ 196	13.475	7,42*10 ⁻⁵	1,94*10 ⁻⁴	1,4*10 ⁻¹¹
			196 ÷ 392	12.803	7,81*10 ⁻⁵	1,99*10 ⁻⁴	1,6*10 ⁻¹¹
			392 ÷ 785	14.702	6,80*10 ⁻⁵	1,52*10 ⁻⁴	1,0*10 ⁻¹¹
			785 ÷ 1570	20.855	4,80*10 ⁻⁵	-	-
			1570 ÷ 3139	32.511	3,08*10 ⁻⁵	-	-

Tabella. VII: Caratteristiche di compressibilità da analisi di laboratorio

Il campione SDH-01 C1 è stato inoltre sottoposto alla prova di colonna risonante, nella tabella seguente sono riassunti i valori dei parametri misurati; i dati completi sono riportati nei certificati di laboratorio (cfr. Allegato 4 - Certificati laboratorio geotecnico).

Deformazione di taglio (%)	Modulo di taglio G (MPa)	Rapporto di smorzamento (%)	G/G ₀
0,0002	80,799	3,21	1,000
0,0018	80,208	3,35	0,993
0,0031	80,19	3,34	0,992
0,0060	79,6	3,36	0,985
0,0145	77,185	3,42	0,955
0,0223	74,27	3,49	0,919
0,0296	71,289	3,80	0,882
0,0346	69,243	3,90	0,857
0,0390	66,52	4,18	0,823
0,0430	65,039	4,19	0,805
0,0475	63,435	4,39	0,785
0,0515	61,736	4,456	0,764
0,0608	58,980	4,705	0,730
0,0675	56,520	4,966	0,700
0,0705	55,218	5,228	0,683
0,0733	54,224	5,479	0,671
0,0761	53,102	5,861	0,657
0,0789	52,129	6,705	0,645
0,0818	50,651	9,114	0,627
0,0891	45,093	9,981	0,558

Tabella. VIII: Risultati prova di colonna risonante campione SDH01-C1

5.5. PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC

Nel corso della campagna d'indagine è stata eseguita n.1 prova di permeabilità Lefranc durante l'esecuzione del sondaggio SDH-01. La prova ha avuto inizio alla profondità di 3,0 m da p.c. all'interno del livello litologico n.1.; la tipologia di prova, a carico costante o variabile, e la dimensione della tasca di assorbimento, sono state definite in fase di realizzazione sulla base degli assorbimenti osservati in una fase preliminare alla prova. Durante l'esecuzione della prova a carico variabile, dopo l'immissione di acqua all'interno del rivestimento, si segnala che non sono stati misurati abbassamenti del livello dell'acqua nell'intervallo di tempo considerato (15" – 60"). Tale andamento, è ascrivibile alla bassissima permeabilità del livello litologico n.1.

5.6. PROVE GEOTECNICHE IN SITO - CPTU

È stata eseguita n.1 indagine penetrometrica statica **CPTu**, spinta fino alla profondità di 30 m dal piano campagna, la cui ubicazione è riportata nell'Allegato 2; i risultati della prova, le metodologie di indagine e la documentazione fotografica, sono riportate nell'Allegato 5.

Dall'analisi dei diagrammi della prova penetrometrica statica, è stata individuata una successione di sette livelli geotecnici, riportata nella tabella seguente, dove sono riassunti: la profondità e lo spessore dei livelli; la litologia individuata; i parametri fisici e geotecnici, stimati dall'elaborazione della prova mediante il programma dedicato. Le profondità si riferiscono al piano di esecuzione delle indagini.

	Profondità base (m)	Descrizione	Spessore (m)	Angolo di attrito Φ (°)	Dr (%)
Livello geotecnico n.1	0,40	Terreno di riporto	0,40	39.32 \pm 0.98	61.57 \pm 4.66
Livello geotecnico n.2	1,0	Sabbia limosa	0,60	39.32 \pm 0.98	61.57 \pm 4.66
Livello geotecnico n.3	11,0	Argilla	10,0	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Livello geotecnico n.4	14,55	Argilla limosa con presenza di livelli sabbiosi	3,55	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Livello geotecnico n.5	20,0	Sabbia	5,45	34.81 \pm 2.68	43.92 \pm 12.04
Livello geotecnico n.6	28,60	Sabbia limosa	8,60	32.05 \pm 0.20	26.55 \pm 2.31
Livello geotecnico n.7	30,06	Sabbia	1,46	32.96 \pm 0.70	36.43 \pm 3.47

Tabella. IX: Caratteristiche fisiche e geotecniche da Prove Penetrometriche Statiche CPTU

Confrontando i risultati della prova CPTU1 con la stratigrafia dal sondaggio SDH-01, e tenendo conto delle reciproche posizioni, è possibile individuare la seguente correlazione: i Livelli geotecnici n.1 e n.2 sono correlabili al terreno di riporto antropico, il Livello geotecnico n.3, è correlabile al Livello litologico n.1; il livello geotecnico n.4 è correlabile al livello litologico n.2, il livello geotecnico n.5 è correlabile al livello litologico n.3 e i livelli geotecnici n.6 e n.7 sono correlabili al livello litologico n.4. In riferimento al terreno di riporto antropico, è possibile individuare che nella prova CPTU si evidenzia uno spessore minore rispetto a quello individuato dal sondaggio geognostico SDH-01.

Dall'analisi dell'andamento delle pressioni interstiziali (piezocono), è stata individuata una falda il cui livello piezometrico è situato alla profondità di 8,0 m dal p.c.

5.7. INDAGINE SISMICA HVSR

Le n.3 indagini sismiche con metodologia HVSR, sono state ubicate: **HVSR1** alle seguenti coordinate geografiche lat. 41.9276266°N - long. 12.4672622°E (sistema di riferimento WGS84); **HVSR2** alle seguenti coordinate geografiche lat. 41.9276279°N - long. 12.4675415°E (sistema di riferimento WGS84) e **HVSR3** sul, alle seguenti coordinate geografiche lat. 41.9273916°N - long. 12.4673588°E (sistema di riferimento WGS84) (cfr. Allegato 2 - Ubicazione delle indagini).

Nelle figure seguenti sono riportate le registrazioni effettuate e le curve HVSR elaborate. Nei grafici in alto troviamo: in ordinata, la velocità misurata secondo le tre componenti Nord-Sud, Est-Ovest, Up-Down, e in ascissa, le frequenze; nei grafici in basso è invece descritto l'andamento del rapporto tra le componenti orizzontali e la componente verticale (rapporto H/V).

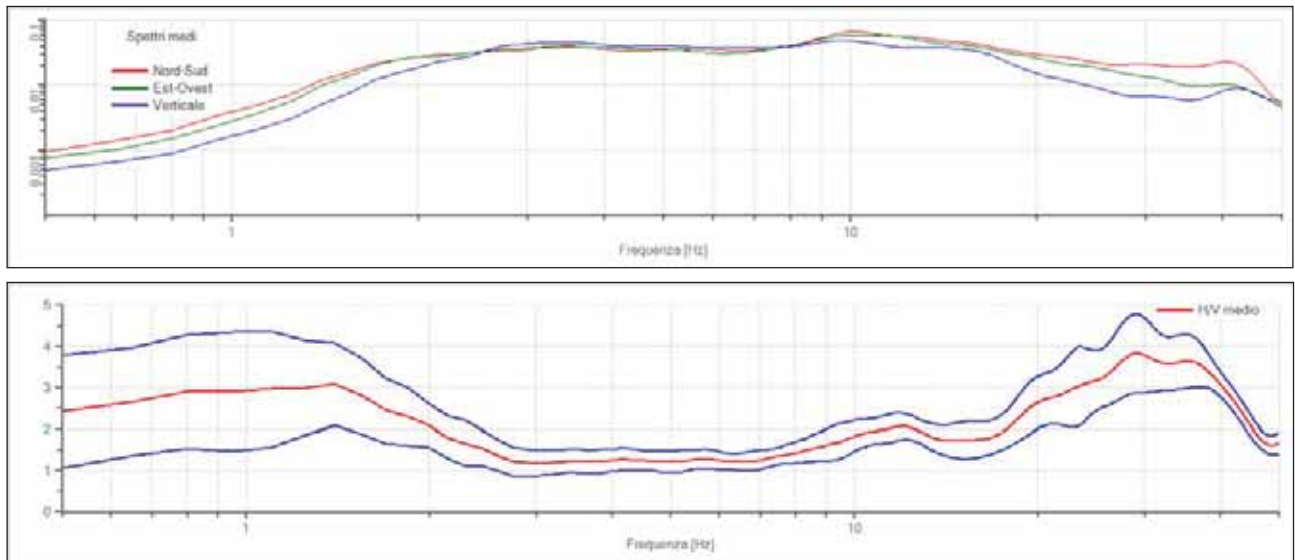


Fig.9: Curve HVSR1

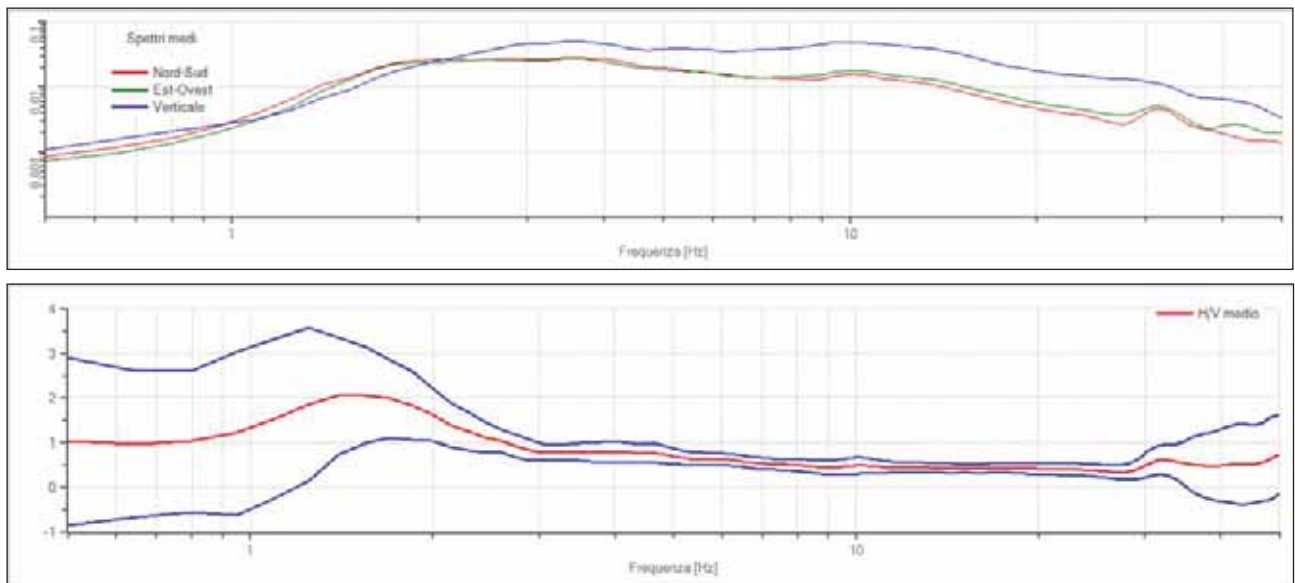


Fig.10: Curve HVSR2

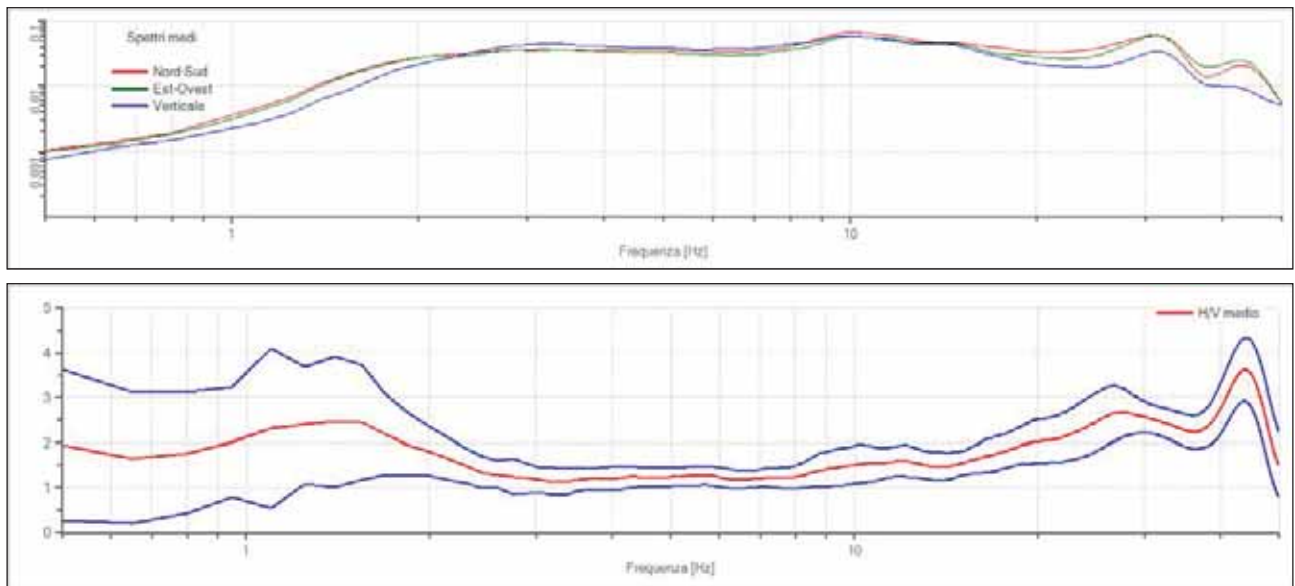


Fig.11: Curve HVSR3

Una volta determinata la curva HVSR sperimentale vi sono alcuni criteri, indicati come criteri SESAME, che consentono di comprendere se tale curva è robusta dal punto di vista statistico (Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation). I primi tre criteri riguardano la curva HVSR nel suo insieme, mentre, altri ulteriori sei criteri sono proposti allo scopo di aiutare a comprendere il peso a valore di un eventuale picco H/V. Nella tabella seguente sono riportati i risultati della verifica rispetto ai criteri SESAME, delle curve e picchi di frequenza individuati dalla HVSR eseguite.

Criteri per una curva HVSR affidabile	HVSR1	HVSR2	HVSR3
$f_0 > 10/L_w$	ok	ok	ok
$n_c(f_0) > 200$	ok	ok	ok
$S_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $S_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	ok	no	ok
Criteri per la definizione di un chiaro picco H/V	HVSR1	HVSR2	HVSR3
Esiste f in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	ok	no	ok
Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	ok	ok	ok
$A_0 > 2$	ok	ok	ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm S_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	ok	no	ok
$S_f < e(f)$	ok	no	ok
$S_A(f_0) < \theta(f_0)$	ok	ok	ok

Tabella. X: Risultati verifica con criteri SESAME delle curve H/V elaborate

L'analisi delle curve non ha evidenziato picchi significativi.

5.8. INDAGINI SISMICHE DOWN-HOLE

Per le metodologie di elaborazione ed esecuzione delle indagini si rimanda alla *Relazione modalità esecutive indagini geognostiche* (cfr. Allegato 1), la prova è stata eseguita sino alla profondità di 30 m dal p.c. nel foro di esecuzione del sondaggio SDH-01, la distanza della sorgente di energizzazione è di 1,5 m.

Sulla base dei tempi di arrivo corretti in funzione della distanza dalla sorgente, relativamente alla prova SDH-01, si determina, per ogni punto di lettura, il valore puntuale delle velocità V_p e V_s , in funzione dei quali si ricavano i parametri elastici dinamici puntuali. I risultati ottenuti dall'analisi sono riportati nelle seguenti tabelle.

Profondità (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	g medio (kN/m^3)	ν	G (MPa)	E (MPa)	E_v (MPa)
1	439,70	156,76	20,57	0,4272	51,54	147,12	336,81
2	437,50	161,79	18,93	0,4208	50,53	143,59	302,11
3	465,51	175,86	18,62	0,4168	58,72	166,39	333,16
4	615,35	247,63	19,59	0,4034	122,50	343,83	593,08
5	580,08	235,45	19,15	0,4014	108,25	303,40	512,75
6	562,27	248,28	19,16	0,3789	120,44	332,15	457,10
7	569,54	235,28	18,80	0,3971	106,12	296,52	480,35
8	647,38	243,20	18,81	0,4178	113,45	321,70	652,61
9	577,67	244,79	18,73	0,3906	114,45	318,31	484,75
10	548,37	240,07	18,56	0,3814	109,08	301,37	423,69
11	616,87	266,21	18,88	0,3856	136,44	378,10	550,69
12	618,31	266,97	18,82	0,3854	136,78	378,99	551,31
13	619,39	260,60	18,66	0,3925	129,22	359,88	557,70
14	584,21	254,40	18,50	0,383	122,09	337,70	481,07
15	661,81	291,64	18,99	0,3795	164,70	454,41	628,54
16	621,47	242,62	18,21	0,4101	109,31	308,28	571,44
17	663,00	292,25	18,90	0,3794	164,61	454,13	627,69
18	663,44	301,28	18,98	0,3701	175,68	481,40	617,64
19	622,63	284,39	18,71	0,3682	154,31	422,25	533,89
20	711,19	284,54	18,67	0,4047	154,14	433,04	757,41
21	664,41	276,80	18,53	0,395	144,77	403,91	641,09
22	664,63	301,92	18,84	0,37	175,12	479,83	615,14
23	712,05	302,04	18,81	0,3903	174,98	486,55	739,19
24	712,25	302,13	18,78	0,3903	174,81	486,08	738,42
25	712,45	311,61	18,87	0,3817	186,84	516,31	727,58
26	712,56	302,28	18,72	0,3903	174,42	484,99	736,67
27	767,40	311,77	18,82	0,4012	186,54	522,76	881,45
28	712,86	311,82	18,79	0,3817	186,30	514,82	725,28
29	712,96	302,45	18,65	0,3903	173,97	483,74	734,74
30	665,69	302,50	18,63	0,3699	173,84	476,29	610,07

Tabella. XI: Parametri puntuali SDH – 01

Mediante i tempi di arrivo, corretti in funzione della profondità, si realizza il grafico delle dromocrone ($t_{corr} - z$), delle onde P e delle onde S, sul quale si individuano i sismostrati, mediante i segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali e la corrispondenza con gli strati omogenei di terreno, individuati nella stratigrafia del sondaggio.

Nella figura seguente, relativa alla prova SDH-01, sono riportati: i grafici delle dromocrone delle onde P e delle onde S; la suddivisione in sismostrati; la correlazione dei sismostrati individuati con la rappresentazione schematica della stratigrafia sismica del sondaggio.

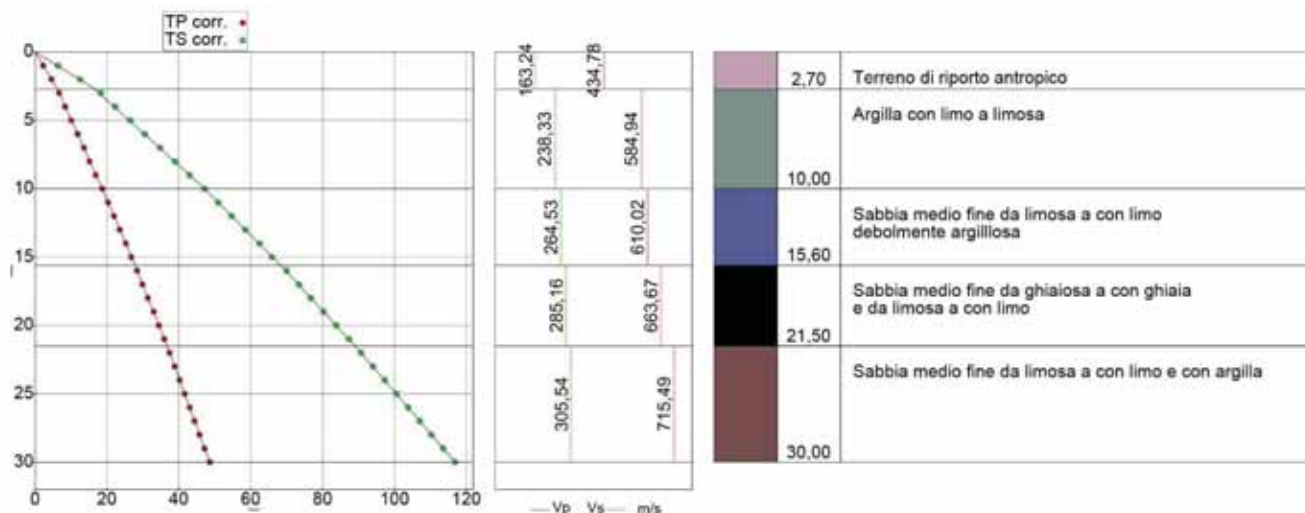


Fig.12: Correlazione dromocrone-sismostrati-stratigrafia sondaggio SDH-01

Dall'elaborazione effettuata nella prova SDH-01, si individuano n.5 sismostrati per i quali sono stati definite: la profondità della base, lo spessore, la V_P e la V_S medie, riportati nelle seguenti tabelle.

Sismostrato	Profondità base da p.c. (m)	Spessore (m)	V_P media (m/s)	V_S media (m/s)
1	2,7	2,7	434,78	163,24
2	10	7,3	584,94	238,33
3	15,6	5,6	610,02	264,53
4	21,5	5,9	663,67	285,16
5	30	8,5	715,49	305,54

Tabella. XII: Sismostrati individuati dall'indagine SDH – 01

Sulla base dei valori di V_p e V_s , sono stati determinati i parametri elastici dinamici medi, dei sismostrati individuati relativi alla prova SDH-01 riportati nella seguente tabella.

Sismostrato	g medio (kN/m^3)	ν medio	G medio (MPa)	E medio (MPa)	E_v medio (MPa)
1	18,24	0,42	49,56	140,56	285,51
2	18,75	0,4	108,61	304,21	509,42
3	19,39	0,38	138,37	383,07	551,38
4	19,63	0,39	162,79	451,51	664,7
5	19,58	0,39	186,43	517,71	773,77

Tabella. XIII: Parametri dinamici dei sismostrati individuati - SDH – 01

dove: V_p = Velocità onde P, V_s = Velocità onde S, g = Peso di volume, ν = Coefficiente di Poisson, E = Modulo di Young, G = Modulo di deformazione al taglio, E_v = Modulo di compressibilità volumetrica

L'andamento delle velocità V_p e V_s e dei parametri elastici, in funzione della profondità, relativi alla prova SDH-01, nei valori medi e nei valori puntuali, sono riportati nei grafici allegati alla relazione (cfr. Allegato 6 - Elaborazione grafica indagini Down-Hole).

Il modello sismico individuato è correlabile al modello geologico definito in precedenza, secondo il seguente schema: sismostrato n. 1 - terreno di riporto; sismostrato n. 2 - livello litologico n.1; sismostrato n. 3 – livello litologico n.2; sismostrato n. 4 - livello litologico n.3 e sismostrato n. 5 - livello litologico n.4.

In relazione al piano campagna di esecuzione dell'indagine sismica SDH-01, è possibile determinare la $V_{s_{eq}}=V_{s_{30}}$ dei terreni al di sotto di esso.

Su tali basi, si ottiene il seguente valore:

SDH-01 $V_{s_{eq(1)}}=V_{s_{30(1)}} = 256,7 \text{ m/s}$

5.9. INDAGINE SISMICA MASW

Sono state eseguite n.2 indagini sismiche con metodologia MASW la cui ubicazione è riportata nell'Allegato 2 – Ubicazione delle indagini e le cui foto sono riportate nell'Allegato 7 – Documentazione fotografica.

Le prove sono state effettuate con le caratteristiche riportate nella tabella seguente.

Per ogni prova, dall'elaborazione della stesa sismica effettuata sono riportati: il grafico con le onde sismiche (dromocrone) ricevute dai geofoni, sulla base dei quali sono determinati i tempi di arrivo; la curva dispersione sperimentale e picking; il grafico di variazione delle velocità Vs con la profondità; una tabella riportante spessori e velocità Vs dei sismostrati individuati.

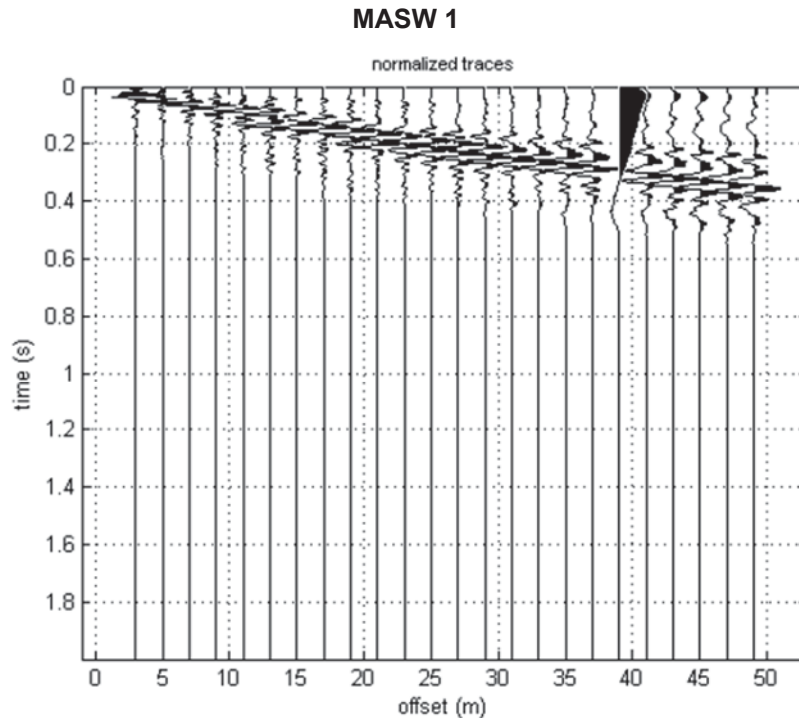


Fig.13: Dromocrone MASW 1

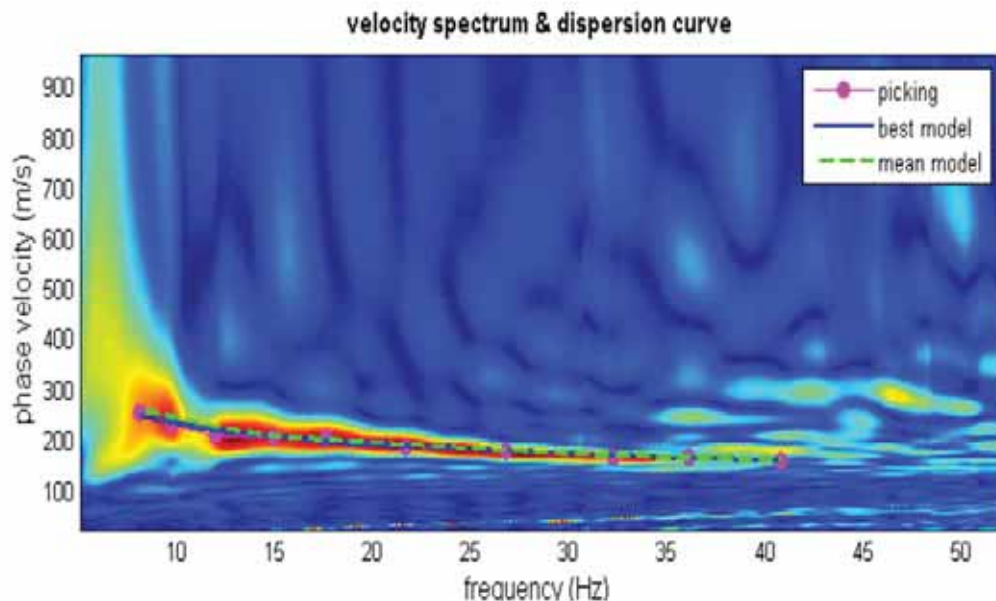


Fig.14: Curva dispersione sperimentale e picking MASW 1

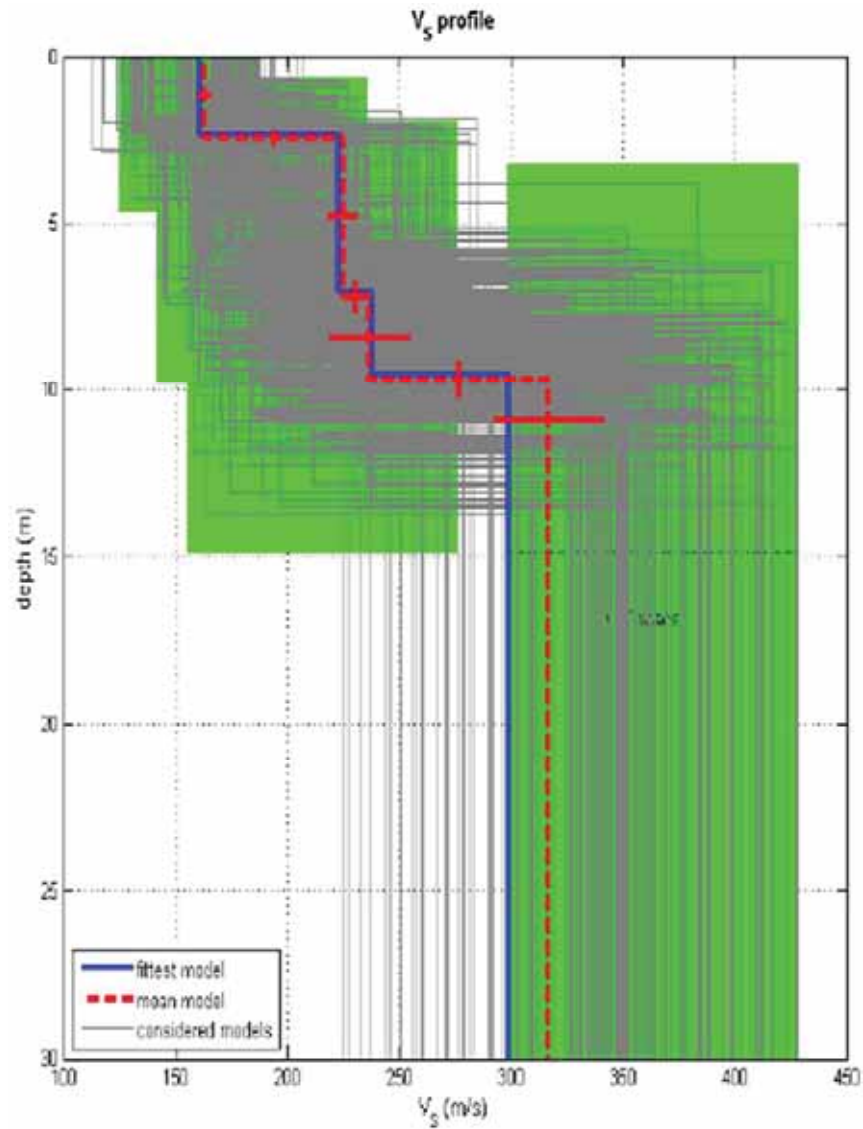


Fig.15: Profilo Vs MASW 1

Sismostrato (n)	Profondità base dal p.c. (m)	Spessore (m)	V_s (m/s)
1	2,4	2,4	163 +/- 3
2	7,3	4,7	225 +/- 6
3	9,8	2,5	237 +/- 18
4	Semi-spazio	-	317 +/- 25

Tabella. XIV: Sismostrati individuati da elaborazione MASW 1

MASW 2

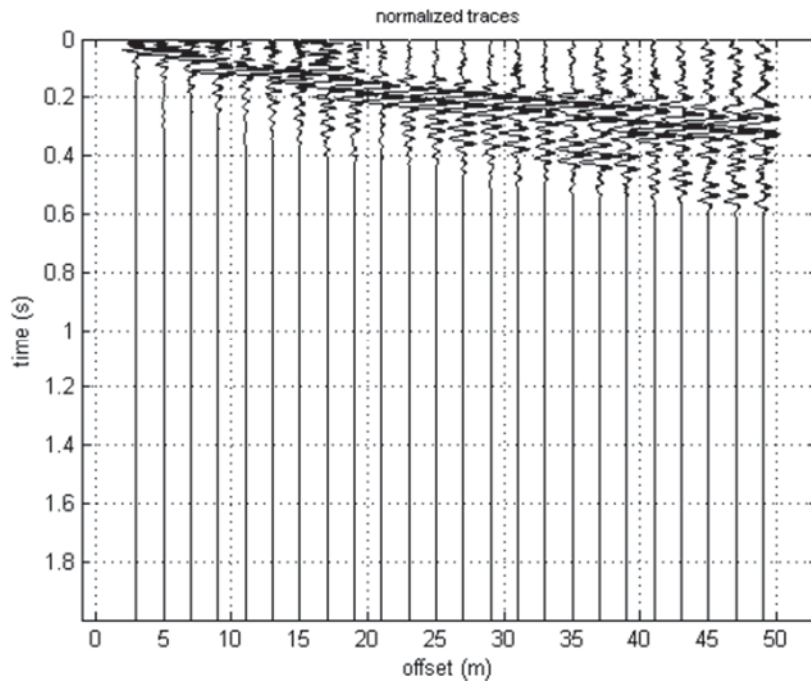


Fig.16: Dromocrone MASW 2

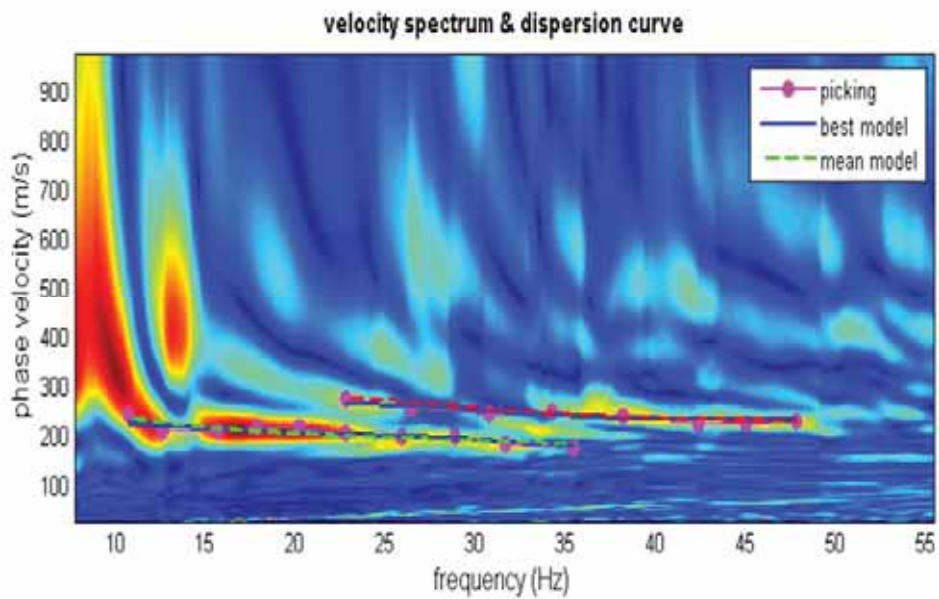


Fig.17: Curva dispersione sperimentale e picking MASW 2

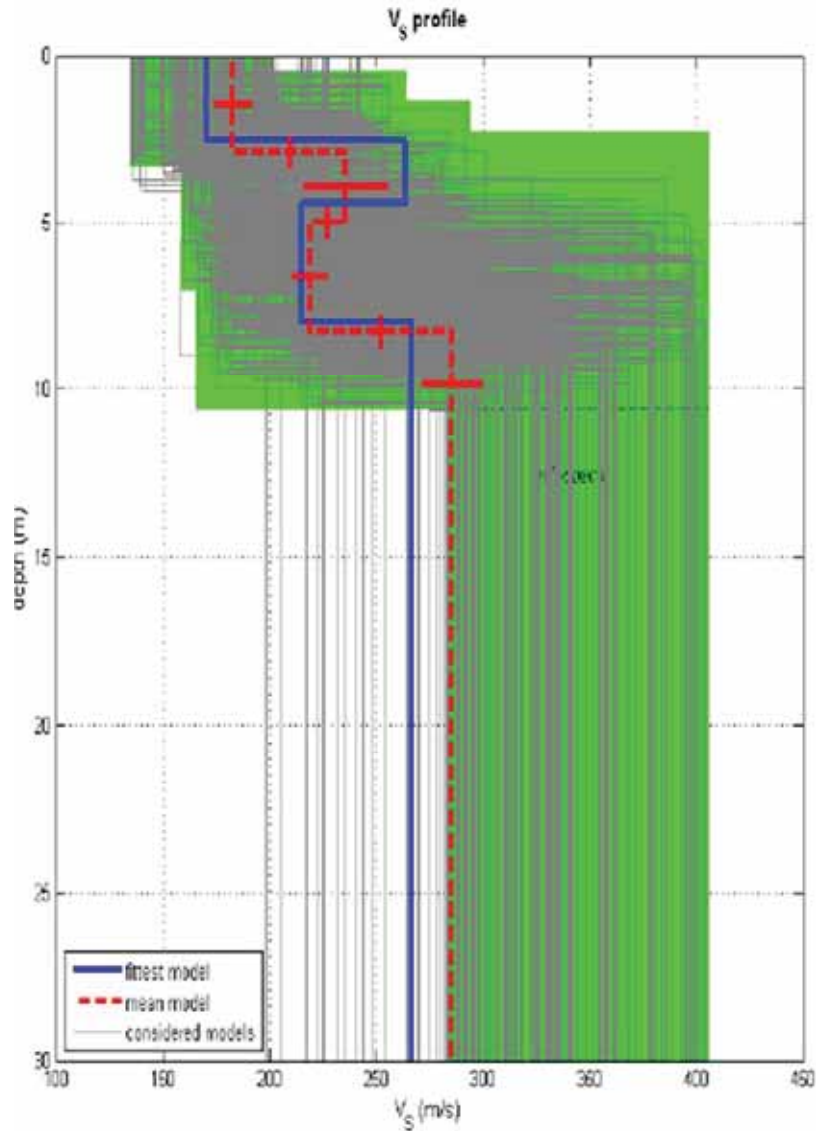


Fig. 18: Profilo Vs MASW 2

Sismostrato (n)	Profondità base dal p.c. (m)	Spessore (m)	V _s (m/s)
1	2,9	2,9	163 +/- 3
2	5,0	2,1	225 +/- 6
3	8,2	3,2	237 +/- 18

Tabella. XV: Sismostrati individuati da elaborazione MASW 2

In relazione al piano campagna di esecuzione delle indagini sismiche è possibile determinare la $V_{Seq}=V_{s30}$ dei terreni al di sotto di esso e la Categoria di sottosuolo (NTC 2018). I risultati sono riportati nella tabella seguente.

Prospezione sismica	V _{Seq} =V _{s30} (m/s)	Categoria Sottosuolo (NTC 2018)
MASW 1	271	C
MASW 2	260	C

Tabella. XVI: Categoria sottosuolo e VSeq=Vs30 ottenuta dalle prospezioni sismiche MASW effettuate

6. INDIVIDUAZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE

6.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La **pericolosità sismica di base**, individuata dai parametri spettrali a_g , F_0 , T_c^* calcolati secondo un reticolo di riferimento con una maglia di circa 10 km di lato (Allegato B della NTC), deve essere definita in base alle coordinate geografiche medie dell'opera, che sono: lat. 41.928653°N - long. 12.469042°E (sistema di riferimento ED 50).

6.2. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base dell'approccio semplificato NTC 2018; Paragrafo 3.2.2), che si basa sulle categorie di sottosuolo e condizioni topografiche, è possibile definire, per il sito 2, che:

- in base alla velocità delle onde di taglio presenti fino alla profondità di 30 m ($V_{seq}=V_{s30}$) dal piano di esecuzione delle indagini, individuata sulla base di specifiche indagini sismiche, pari a $V_{seq(1)}=271,0$ m/sec (Masw 1), $V_{seq(2)}=260,0$ m/sec (Masw 2) e $V_{seq(3)}=256,7$ m/sec (Down Hole), la categoria di sottosuolo (NTC 2018) è **C**: *Depositi a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- in base all'analisi della topografia dell'area la categoria di condizioni topografiche (NTC 2018) è la **T1**: *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.*

6.3. ANALISI PER L'ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

In riferimento ai livelli litologici individuati nel sottosuolo del sito di ubicazione dell'opera, è possibile affermare quanto segue: per i livelli litologici n.1, n.2 e n.3, può essere omessa la verifica a liquefazione, in quanto, è stato verificato che sussistono almeno le condizioni di esclusione del punto 4 al Capitolo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, ovvero, distribuzione granulometrica esterna alla zona indicata per terreni con possibilità di liquefazione; per il livello litologico n.4 può essere omessa la verifica a liquefazione, in quanto, situato a profondità maggiore di 20,0 m dal piano campagna.

In riferimento al livello litologico n.2, per analizzare la condizione di esclusione a verifica di cui al punto 4 delle NTC 2018, la curva granulometrica del campione SDH-01 C3 prelevato nel livello, è stato posto a confronto con i fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (cfr. Figura 19).

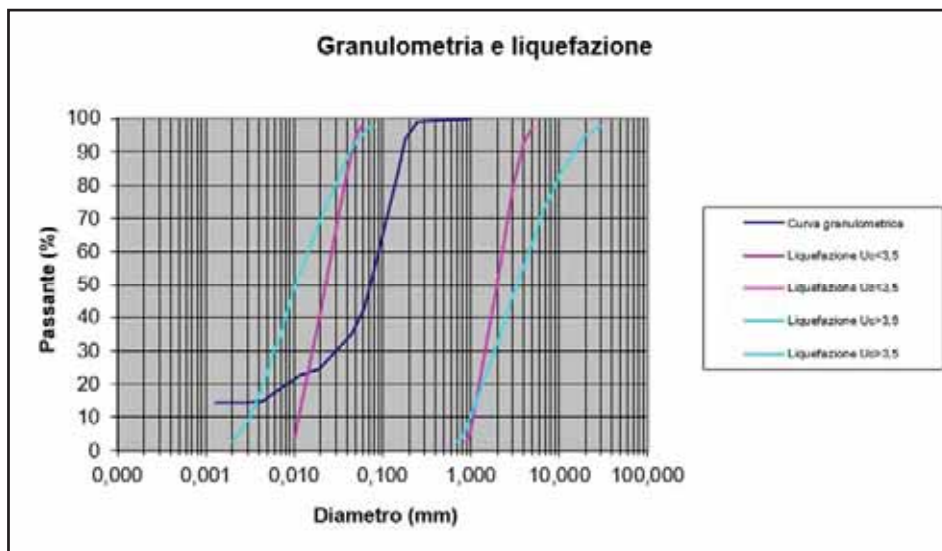


Fig.19: Confronto tra curva granulometrica SDH-01 – C3 e fusi dei terreni suscettibili a liquefazione

Il confronto tra la curva granulometrica (linee blu) e il fuso dei terreni suscettibili a liquefazione, con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (linee azzurra), evidenzia che, sussistono le condizioni di esclusione di cui al punto 4. Pertanto, è possibile evidenziare che il livello litologico n.2 non deve essere sottoposto a verifica di liquefazione.

In riferimento al livello litologico n.3, per analizzare la condizione di esclusione a verifica di cui al punto 4 delle NTC 2018, la curva granulometrica del campione SDH-01 C4 prelevato nel livello, è stato posto a confronto con i fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (cfr. Figura 20).

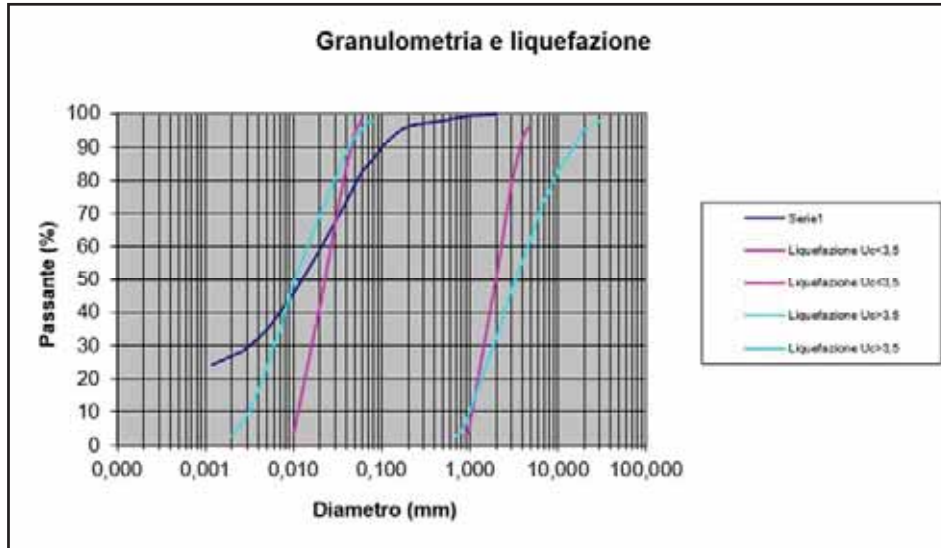


Fig.20: Confronto tra curva granulometrica SDH-01 – C4 e fusi dei terreni suscettibili a liquefazione

Il confronto tra la curva granulometrica (linee blu) e il fuso dei terreni suscettibili a liquefazione, con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (linee azzurra), evidenzia che, sussistono le condizioni di esclusione di cui al punto 4. Pertanto, è possibile evidenziare che il livello litologico n.3 non deve essere sottoposto a verifica di liquefazione.

7. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEI LIVELLI LITOLOGICI

In base all'elaborazione dei risultati delle indagini effettuate in sito è possibile definire, in relazione ai livelli litologici individuati, il valore medio dei parametri geotecnici, riportati nelle seguenti tabelle. Per tale definizione, nell'eventuale scarsità di dati dalle prove effettuate nel sito, si fa riferimento ai dati rilevati in terreni litologicamente simili in aree limitrofe (in tale caso i parametri sono riportati con l'asterisco).

Livello litologico	Descrizione sintetica	Peso di volume naturale K (kN/m ³)	Parametri in termini di tensioni efficaci (condizioni consolidate e drenate)		Parametri in termini di tensioni totali (condizioni non consolidate e non drenate)	
			c' (kPa)	F' (°)	C _u (kPa)	F _u (°)
1	Argilla da con limo a limosa passante verso la base a limo da con argilla ad argilloso e con sabbia, da debolmente umido a saturo (sotto falda), da molto consistente a duro, da poco a moderatamente plastico, di colore marrone scuro	19,5	-	-	96-125	0
2	Sabbia medio fine da limosa a con limo debolmente argillosa, satura, coerente, poco addensata, di colore da marrone chiaro a grigiastro.	18,6	0	31	-	-
3	Sabbia medio fine da ghiaiosa a con ghiaia e da limosa a con limo, satura, da poco coerente a coerente, moderatamente addensata, di colore grigio scuro.	19,8	0	30	-	-
4	Sabbia medio fine da limosa a con limo e con argilla, satura, da poco coerente a coerente, poco addensata, di colore grigio chiaro.	21,0	0 ^{CPTu}	32 ^{CPTu}	-	-

Tabella. XVII: Parametri geotecnici medi

I parametri c' e F' del livello litologico n.4 sono stati ricavati dall'interpretazione della prova CPTu eseguita.

Livello litologico	Modulo compressibilità E' (kpa)	Coefficiente di compressibilità m _v (kPa ⁻¹)	Coefficiente di permeabilità k (m/s)
1	13.475	7,42*10 ⁻⁵	1,4*10 ⁻¹¹

Tabella. XVIII: Parametri di compressibilità e permeabilità livello litologico n.1 (intervallo 98÷196 kPa)

8. CONCLUSIONI

Come richiesto dalle N.T.C. (cfr. D.M. 17.01.2018), sulla base delle indagini geognostiche e sismiche, effettuate in corrispondenza dell'ex stabilimento militare sito in Via Guido Reni (RM), è stato possibile individuare il modello geologico e sismico del sottosuolo, necessario alla progettazione degli interventi inerenti alla riqualificazione dell'area.

MODELLO GEOLOGICO

Il modello geologico individuato dall'analisi dei risultati delle indagini, è costituito da una successione di quattro livelli litologici, riconducibili: ai depositi alluvionali **SFT_{ba}**.

Al di sopra del substrato geologico è presente una coltre di terreno di riporto antropico di spessore variabile, tra un minimo di 0,8 m in SPZ-01 e SCS-01 ad un massimo di 2,7 m in SDH-01.

Di seguito è riportata la descrizione dei caratteri principali dei livelli litologici individuati, la cui distribuzione è schematicamente riportata nella sezione geologico-tecnica in allegato (cfr. Allegato 8). Le quote riportate si riferiscono alla profondità rispetto al piano campagna

- **Livello litologico n.1 da 0,8÷2,7 m a 10,0 m:** Argilla da con limo a limosa passante verso la base a limo da con argilla ad argilloso e con sabbia, da debolmente umido a saturo (sotto falda), da molto consistente a duro, da poco a moderatamente plastico, di colore marrone scuro.
I valori medi dei parametri geotecnici, sono i seguenti:
gn=19,5 kN/m³; Cu=96-126 kPa; Fu=0°; E' (98:196 kPa)= 13.475 kPa; m_v (98:196 kPa)= 7,42*10⁻⁵; k (98:196 kPa)= 1,4*10⁻¹¹
- **Livello litologico n.2 da 10,0 m a 15,6÷16,0 m:** Sabbia medio fine da limosa a con limo debolmente argillosa, satura, coerente, poco addensata, di colore da marrone chiaro a grigiastro.
I valori medi dei parametri geotecnici, sono i seguenti:
gn=18,6 kN/m³; c'=0 kPa F'=31°.
- **Livello litologico n.3 da 15,6÷16,0 m a 21,5 m:** Sabbia medio fine da ghiaiosa a con ghiaia e da limosa a con limo, satura, da poco coerente a coerente, moderatamente addensata, di colore grigio scuro.
I valori medi dei parametri geotecnici, sono i seguenti:
gn=19,8 kN/m³; c'=0 kPa F'=30°.
- **Livello litologico n.4 da 21,5 m a 30,0 m:** Sabbia medio fine da limosa a con limo e con argilla, satura, da poco coerente a coerente, poco addensata, di colore grigio chiaro.
I valori medi dei parametri geotecnici, sono i seguenti:
gn=21,0 kN/m³, c'=0 kPa (CPTu) F'=32°(CPTu)

Dal punto di vista idrogeologico, i livelli litologici individuati, sono riconducibili: il n.1 con permeabilità da bassissima a bassa, il numero n.2 con permeabilità medio-alta, il numero n.3 con permeabilità alta e il n.4 con permeabilità medio-alta, al **COMPLESSO DELLE ALLUVIONI E DEI DEPOSITI LACUSTRI**.

Durante l'esecuzione delle indagini, è stata accertata una circolazione idrica, freatica, che interessa parte del livello litologico n.1 e i livelli litologici n.2, n.3 e n.4. Il tetto della circolazione idrica è situato ad una profondità variabile da un minimo di 8,4 m da p.c. (SCS-01) ad un massimo di 8,6 m da p.c. (SDH-01).

All'interno del foro di sondaggio **SCS-01**, sono state installate due celle di Casagrande per la misura delle pressioni interstiziali del livello litologico n.1 e n.2, rispettivamente alle seguenti profondità dal piano campagna: 8,5 m e 15,0 m (cfr. Allegato 3 – Stratigrafie sondaggi geognostici – Schema piezometri SCS-01). Nella giornata del 06/06/2022 sono state eseguite delle misure di pressione interstiziale all'interno dei piezometri installati: il livello dell'acqua è risultato pari a 5,3 m da p.c. nella cella di Casagrande posta a 8,5 m di profondità da p.c e pari a 8,4 m da p.c. nella cella di Casagrande posta a 15,0 m da p.c. L'altezza piezometrica (hp) risulta, quindi, essere pari a 3,2 m nella prima cella di Casagrande e pari a 6,6 m nella seconda cella di Casagrande.

All'interno del foro di sondaggio **SPZ-01** invece, è stato installato un piezometro a tubo aperto (cfr. Allegato 3 – Stratigrafie sondaggi geognostici – Schema piezometro SPZ-01) alla profondità di 5,0 m. Dalle misure del livello di falda eseguite nella giornata dal 06/06/2022, il piezometro risulta asciutto.

RISCHIO IDROGEOLOGICO

Gli aspetti di Rischio idrogeologico (Rischio idraulico e Rischio Geomorfologico), sono stati analizzati facendo riferimento alla cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere. L'analisi della suddetta cartografia ha messo in evidenza:

- in riferimento al rischio idraulico, l'area in esame ricade in una zona a rischio R3 (cfr. Figura 2);
- in riferimento al rischio geomorfologico, l'area in esame non ricade in aree di pericolo di frana (cfr. Figura 3).

AZIONE SISMICA

Nell'ambito della classificazione sismica del Lazio, attualmente in vigore, rappresentata dalla D.G.R. n.387 del 22/05/2009, il territorio del Comune di Roma Municipio II (ex III) è inserito nella **sottozona sismica 3A**.

I parametri dell'azione sismica di progetto, andranno definiti rispetto alla **pericolosità sismica di base**, individuata in funzione delle coordinate geografiche (ED 50) medie dell'opera, che sono le seguenti: **latitudine 41.928653°N - longitudine 12.469042°E**.

In base alla velocità delle onde di taglio presenti fino alla profondità di 30 m ($V_{seq}=V_{s30}$) dal piano di esecuzione delle indagini, individuata sulla base di specifiche indagini sismiche, pari a $V_{seq(1)}=271,0$ m/sec (Masw 1), $V_{seq(2)}=260,0$ m/sec (Masw 2) e $V_{seq(3)}=256,7$ m/sec (Down Hole), la categoria di sottosuolo (NTC 2018) è **C**: *Depositi a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

La topografia dell'area e delle zone circostanti permettono di definire, la Categoria topografica **T1** - *Superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$* .

In riferimento ai livelli litologici individuati nel sottosuolo del sito di ubicazione dell'opera, è possibile affermare quanto segue: per i livelli litologici n.1, n.2 e n.3, può essere omessa la verifica a liquefazione, in quanto, è stato verificato che sussistono almeno le condizioni di esclusione del punto 4 al Capitolo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, ovvero, distribuzione granulometrica esterna alla zona indicata per terreni con possibilità di liquefazione; per il livello litologico n.4 può essere omessa la verifica a liquefazione, in quanto, situato a profondità maggiore di 20,0 m dal piano campagna.

Roma, 15 luglio 2022

IL GEOLOGO
Dott. Massimo Mattioli



Allegato 1

RELAZIONE MODALITA' ESECUTIVE INDAGINI GEOGNOSTICHE

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
2.	MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI	2
2.1.	SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	2
2.2.	PRELIEVO DI CAMPIONI INDISTURBATI E RIMANEGGIATI	3
2.3.	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	3
2.4.	INSTALLAZIONE PIEZOMETRI TIPO CASAGRANDE	3
2.5.	INSTALLAZIONE PIEZOMETRO A TUBO APERTO.....	4
2.6.	PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC	4
2.7.	INDAGINE SISMICA MASW	5
2.8.	PROVE SISMICHE DOWN-HOLE.....	6
2.8.1.	Strumentazione utilizzata.....	7
2.9.	INDAGINE SISMICA HVSR	8
2.10.	INDAGINE GEORADAR GPR.....	9
3.	PRESENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	12
3.1.	SONDAGGI STRATIGRAFICI	12
3.1.1.	POCKET PENETRATION TEST E VANE TEST	12
3.2.	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO SU CAMPIONI DI TERRENO	13
3.3.	PIEZOMETRI DI TIPO CASAGRANDE	13
3.4.	PIEZOMETRO A TUBO APERTO	13
3.5.	PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC	13
3.6.	INDAGINE SISMICA MASW	14
3.7.	INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE	15
3.7.1.	Introduzione	15
3.7.2.	Elaborazione dati	16
3.8.	INDAGINE SISMICA HVSR	16
3.9.	INDAGINE GEORADAR GPR.....	17
4.	INDIVIDUAZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE.....	18
4.1.	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO NTC 2018.....	18
4.2.	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE NTC 2018	19
4.3.	ANALISI DELLA STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	19
4.4.	ANALISI DI VERIFICA A LIQUEFAZIONE.....	20

1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato fornisce una descrizione delle modalità esecutive, delle elaborazioni inerenti i risultati delle indagini geognostiche e sismiche, effettuate al fine di definire il modello geologico e sismico dei terreni presenti nell'area di studio.

Le indagini geologico-tecniche sono eseguite sulla base degli specifici programmi d'indagine approvati dalla Direttore dei Lavori della Committenza, con eventuali modifiche apportate durante l'esecuzione dei lavori per esigenze logistiche o tecniche.

Le indagini effettuate e l'elaborazione dei risultati sono realizzate in conformità a quanto riportato nello specifico Capitolato tecnico di R.F.I.

In particolare, tutte le fasi dell'indagine sono eseguite adeguatamente, sulla base delle seguenti normative tecniche di riferimento: alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" - A.G.I. (1977); all'eventuale legislazione e normativa tecnica, inerente alle singole prove, redatta dagli organi internazionali, American Society for Testing and Materials (norme ASTM), Deutsches Institut für Normung (norme DIN), International Organization for Standardization (norme ISO), Associazione Geotecnica Internazionale (norme ISSMFE).

L'elaborazione dei risultati delle prove e la loro presentazione sono effettuate nel pieno rispetto delle normative tecniche vigenti: Indagini sui terreni e sulle rocce, e la realizzazione di scavi e di fondazioni sia superficiali che profonde - D.M. LL. PP. n. 47 del 11 marzo 1988; "Progettazione geotecnica - Eurocodice7" della Normativa Internazionale UNI - ENV 1997; "Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 17.01.2018.

2. MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI

2.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi geognostici sono eseguiti in conformità alle seguenti normative:

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- ASTM D4220-95 (2000). Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples;
- ASTM D5079-02 (1996). Standard Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples;
- ASTM D6032-96. Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.

I sondaggi verticali sono effettuati a carotaggio continuo, il metodo di perforazione utilizzato è a rotazione a circolazione diretta di acqua.

I sondaggi possono essere eseguiti con una tre perforatrici idrauliche di seguito indicate: Soil System modello SE CK 600 SL; Soil Impianti modello SI TR 900 CSO; CMV modello MK 420D.

Le perforatrici sono attrezzate con: aste di perforazione; carotiere semplice da 101 mm di diametro esterno e lunghezza 150/300 cm con corona al widia; carotiere doppio T2 da 101 mm di diametro esterno e lunghezza 150 cm con corona al widia/diamante, per eventuali carotaggi su roccia.

Per la stabilizzazione dei fori durante le perforazioni e la successiva installazione delle tubazioni per la prova Down-Hole, sono utilizzati dei rivestimenti provvisori in tubi di acciaio del diametro 127/152 mm, spessore 10 mm, lunghezza 150 mm

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche tecniche principali delle perforatrici utilizzate.

Perforatrice SE CK 600 SL	Perforatrice SI TR 900 CSO	Perforatrice CMV MK 420 D
Coppia max. di rotazione 600 kgm	Coppia max. di rotazione 900 kgm	Coppia max. di rotazione 490 kgm
Giri max. di rotazione 600 rpm	Giri max. di rotazione 400 rpm	Giri max. di rotazione 200 rpm
Corsa utile della rotary 3200 mm	Corsa utile della rotary 3300 mm	Corsa utile della rotary 2200 mm
Forza di spinta e di tiro 3500-3500 kg	Forza di spinta e di tiro 4500-6000 kg	Forza di spinta e di tiro 2700 - 3500 kg
Carico massimo argano 1300 kg	Carico massimo argano 1200 kg	Carico massimo argano 1300 kg
Coppia max. morse 3000 kgm	Coppia max. morse 4800 kgm	Coppia max. morse 3500 kgm
Pompa fluidi di perforazione pressione max 60 bar portata 100 l/min;	Pompa fluidi di perforazione pressione max 60 bar portata 120 l/min;	Pompa fluidi di perforazione pressione max 21 bar portata 125 l/min;
Pompa ad alta pressione per campionamento pressione max 100 bar	Pompa ad alta pressione per campionamento pressione max 100 bar	Pompa ad alta pressione per campionamento pressione max 150 bar

Tabella. I: Caratteristiche tecniche perforatrici idrauliche

I carotaggi prelevati sono conservati in apposite cassette in pvc, sottoposti ad analisi speditive in sito (valutazione della litologia, umidità, consistenza, plasticità, colore, ecc..) e fotografate. Le cassette sono opportunamente contrassegnate con: committente; cantiere di riferimento; data di esecuzione; nome sondaggio; numero cassetta; profondità di campionamento; prove effettuate e campioni prelevati.

Sui carotaggi prelevati, relativamente ai terreni coesivi (limi e argille), sono seguite: prove di resistenza alla penetrazione (Pocket Penetration Test) con penetrometro tascabile CONTROLS modello 16-T0160 per la stima della consistenza; prove scissometriche (Vane Test) con scissometro tascabile CONTROLS modello 16-T0175 per la stima della resistenza al taglio non drenata.

Durante l'esecuzione delle perforazioni è effettuato, all'interno dei fori di sondaggio, il rilievo del livello piezometrico mediante freatimetro elettrico.

2.2. PRELIEVO DI CAMPIONI INDISTURBATI E RIMANEGGIATI

Il prelievo di campioni indisturbati è eseguito impiegando: campionatori a pareti sottili di tipo aperto infissi a pressione (campionatore Shelby), di norma in presenza di terreni coesivi di medio-bassa consistenza o a grana fine di medio addensamento; campionatore a pistone infisso idraulicamente (tipo Osterberg), di norma in presenza di terreni coesivi di medio-alta consistenza o a grana fine di basso-medio addensamento; campionatore rotativo a pareti sottili, con scarpa sporgente (tipo Denison), di norma in presenza di terreni coesivi di alta consistenza; campionatore rotativo a doppia parete (tipo Mazier), di norma in terreni coesivi di altissima consistenza e rocce.

Il tubo di infissione utilizzato (fustella) è in acciaio, di diametro 86 cm, spessore di 3 mm e lunghezza variabile 60-70 cm con, alla base, un tagliente con un angolo della scarpa di 10° e 15°.

Preventivamente al prelievo del campione è controllata la pulizia del foro, mediante il confronto tra la quota misurata in foro con lo scandaglio graduato e la quota raggiunta dall'ultima manovra di perforazione.

Il contenitore del campione, subito dopo il prelievo, è sigillato ermeticamente con coperchio e paraffina per mantenere invariate le caratteristiche meccaniche e il contenuto di umidità del campione stesso.

Su ogni campione prelevato sono riportati: il sondaggio di prelievo; la data di prelievo; la profondità di prelievo.

Durante il carotaggio sono stati prelevati anche campioni rimaneggiati di terreno direttamente dalle apposite cassette in pvc.

2.3. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Durante il carotaggio sono prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno, successivamente sottoposti a prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica e meccanica.

Le prove sono effettuate presso il laboratorio geotecnico della Geoplanning s.r.l. autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti, con Decreto n.53582 del 01.07.2005 ai sensi del D.P.R. 246/1993, Circolare LL.PP. 349/1999, D.P.R. 380/2001.

2.4. INSTALLAZIONE PIEZOMETRI TIPO CASAGRANDE

Ove previsto, all'interno del foro di sondaggio alla profondità raggiunta, sono installate le tubazioni per la realizzazione di un piezometro di tipo Casagrande.

La cella piezometrica di Casagrande è composta da un filtro a candela e da un telaio, il filtro ha un diametro esterno di circa 55 mm e una lunghezza compresa tra 200 e 500 mm, è composto da agglomerato di silice, o materiale equivalente con porosità compresa tra 0,2 e 0,6 mm, il telaio ha all'estremità superiore due raccordi da 1/2 " e a quella inferiore una forma a cono.

Ai raccordi presenti nella parte superiore del telaio, sono collegate due tubazioni, una di spurgo e una di misura, costituite da tubi in PVC aventi diametro nominale 1/2 " e lunghezza 3 m, uniti tramite appositi manicotti filettati. Prima dell'installazione, le pareti del foro sono stabilizzate con rivestimento da 127 mm di diametro esterno, inserito con metodo di perforazione a rotazione a circolazione diretta di acqua.

Terminata l'installazione del rivestimento è eseguito un controllo della quota di fondo foro con apposito scandaglio, dopo di che si realizza un tappo impermeabile di fondo dello spessore di 0,5-1 m mediante l'introduzione di apposito quantitativo di palline di bentonite con progressivo sollevamento del rivestimento. Una volta controllato lo spessore del tappo impermeabile con apposito scandaglio, si introduce del ghiaietto pulito con progressivo sollevamento del rivestimento, a formare uno strato di circa 0,5 m che vada a compattare la bentonite sottostante, tale operazione deve essere svolta preferibilmente con il foro pieno d'acqua.

Dopo un ulteriore controllo della quota di fondo foro, si inserisce la cella di Casagrande collegata all'apposita tubazione, fino al fondo foro collegando le tubazioni necessarie e controllandone la corretta sigillatura, la cella è preventivamente saturata mantenendola immersa in acqua per un tempo di almeno 1 ora.

Al termine dell'installazione, è introdotto nell'anello sabbia silicea pulita, con progressivo sollevamento della tubazione di rivestimento, a formare uno strato drenante intorno alla cella e per uno spessore di circa 0,5 m al di sopra della stessa, controllando le quote raggiunte mediante scandaglio.

Terminata la messa in opera del filtro, si forma il tappo impermeabile superiore dello spessore di 0,3-0,5 m costipato superiormente da uno strato di ghiaietto dello spessore di circa 30 cm, tali operazioni eseguite sempre con progressivo sollevamento del rivestimento e foro pieno d'acqua. Infine, il tratto tra il tappo impermeabile superiore e il piano campagna, è cementato con miscela di acqua-sabbia-cemento-bentonite. Terminata l'installazione, si procede alle operazioni di spurgo della cella, introducendo acqua pulita in una delle due tubazioni per almeno 20 minuti o fino a quando l'acqua che esce dall'altra tubazione è priva di torbidità. Al termine, si chiude la parte superiore delle tubazioni ed è installato un chiusino a protezione della strumentazione.

Nei giorni successivi all'installazione sono eseguite misure piezometriche, per rilevare il livello di falda e sue eventuali variazioni.

2.5. INSTALLAZIONE PIEZOMETRO A TUBO APERTO

Nei fori di sondaggio ove previsto, è stato installato un piezometro del tipo a tubo aperto, costituito da tubi in PVC di diametro 40 mm con giunzione a bicchiere, con un tratto cieco iniziale e un tratto microfessurato (Allegato R.G. - Stratigrafie sondaggi geognostici - Schema Piezometro).

Dopo la stabilizzazione del foro di sondaggio mediante rivestimento provvisorio di diametro 127 mm, sono state installate le tubazioni opportunamente sigillate. Al termine dell'installazione, è stato introdotto nell'anulare ghiaietto siliceo, con progressiva rimozione della tubazione di rivestimento.

Successivamente, controllato che la quota dello strato filtrante abbia raggiunto il tratto cieco della tubazione, è stato formato il tappo impermeabile dello spessore di 100 cm, mediante l'immissione di bentonite in pellets.

Il tratto cieco, tra il tappo impermeabile e il piano campagna, è stato riempito con miscela di acqua-cemento-bentonite, infine, è stato installato un chiusino carrabile di calcestruzzo, a protezione della strumentazione. Al termine dell'installazione sono state eseguite azioni di sviluppo del piezometro, per la pulizia della tubazione.

Nei giorni successivi all'installazione, sono state eseguite misure piezometriche, fino alla stabilizzazione del livello piezometrico (Allegato R.G. - Stratigrafie sondaggi geognostici - Schema Piezometro).

2.6. PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC

Le prove di permeabilità Lefranc, sono eseguite in conformità alle seguenti normative:

- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. -1977);
- Tariffa IG - Catalogo tariffe prestazioni e lavori di R.F.I.

La prova permette di determinare la permeabilità di terreni presenti al fondo del foro di sondaggio, al di sopra o al di sotto del livello di falda, la procedura di esecuzione della prova prevede le seguenti fasi: realizzazione della tasca drenante; esecuzione della prova.

La strumentazione utilizzata per l'esecuzione della prova di permeabilità, è costituita da:

- un contaltri (prova a carico costante);
- un cronometro per la misurazione dei tempi;
- un freatimetro di adeguata lunghezza per la lettura del livello dell'acqua.

Per la realizzazione della tasca, dopo la perforazione con carotiere (diametro 101 mm) e l'estrazione del carotaggio, si avanza con il rivestimento (diametro 127 mm) fino alla quota raggiunta, senza l'uso di fluido di perforazione almeno negli ultimi 100 cm di infissione. Dopo di che, si solleva la batteria di rivestimento di una lunghezza pari a quella della tasca da realizzare, con il solo tiro della sonda o comunque senza fluido di circolazione.

Terminata l'operazione, si misura la profondità del fondo foro, con scandaglio graduato o metro, per verificare che la tasca sia stabile e libera da detriti nell'eventualità che non si usi ghiaia per la stabilizzazione, eventualmente, se si registra la presenza di detrito, sono eseguite le operazioni di pulizia.

Nell'eventualità di instabilità delle pareti della tasca, prima del sollevamento del rivestimento si introduce ghiaietto grossolano pulito, per la costituzione di un filtro che stabilizzi le pareti del foro.

Per la determinazione della permeabilità al di sopra del livello di falda, la prova deve essere preceduta da una fase di saturazione, da considerarsi conclusa quando si raggiunge, in condizioni di portata costante, la stabilità del livello dell'acqua all'interno del foro, tale fase, dovrà comunque avere una durata non inferiore ai 30 minuti.

Eseguite correttamente le fasi sopra descritte, la prova si differenzia nelle procedure a seconda che sia eseguita a carico variabile o a carico costante.

Nella configurazione a carico variabile, si inizia riempiendo di acqua il rivestimento fino all'estremità, dopo di che si ferma l'afflusso di acqua e si fa partire il cronometro, successivamente, si registrano gli abbassamenti letti nei tempi prefissati fino al termine della prova che può avere una durata variabile, generalmente tra i 30 e i 60 minuti.

Nella configurazione a carico costante, si immette acqua pulita nel rivestimento, variandone il quantitativo, fino ad individuare una portata di immissione che determina una stabilizzazione del livello dell'acqua all'interno del tubo di rivestimento e quindi un carico idraulico costante, dopo di che mediante il contaltri e il cronometro si individua la portata di immissione che determina il carico idraulico costante.

Tali condizioni di immissione a regime costante, sono mantenute per almeno 20-30 minuti, verificando mediante misurazioni e registrazione dei dati eseguite ogni 2-4 minuti, la portata immessa e il livello piezometrico all'interno del rivestimento, i parametri devono mantenere una certa costanza, altrimenti la prova non è corretta e deve essere ripetuta.

2.7. INDAGINE SISMICA MASW

Le sollecitazioni di un terremoto sono strettamente correlabili al contrasto di impedenza sismica degli strati litologici e quindi alla diversa densità e velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs negli stessi; il calcolo di quest'ultimo parametro è perciò fondamentale nell'ambito della valutazione dell'amplificazione del moto del suolo dovuto ad un sisma.

La stima delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita facendo una trattazione spettrale del sismogramma ottenuto in sito, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. Tale analisi spettrale permette di differenziare il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D.

La procedura per l'elaborazione dei dati acquisiti in sito è così sintetizzata:

- definizione delle velocità di propagazione delle onde di superficie per le diverse frequenze, mediante il picking della curva di dispersione sperimentale;
- calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la definizione del modello geologico iniziale;
- modifica della curva teorica variando opportunamente lo spessore h , la velocità delle onde di taglio Vs e la densità γ di ogni strato indagato, fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale tra la curva sperimentale e quella di dispersione teorica;
- determinazione del profilo verticale delle Vs rispetto alla profondità.

Al fine di effettuare la caratterizzazione microsismica dei primi 30 metri del sito geologico in esame, come previsto dal D.M. 17 gennaio 2018, sono state effettuate n. 2 sezioni sismiche con acquisizioni "MASW" ovvero Multichannel Analysis of Surface Waves.

Tramite un metodo d'inversione della curva di dispersione con software winMASW 6.0, si è determinato il profilo verticale delle Vs,eq con la profondità da cui ricavare il valore medio pesato della velocità delle onde S entro i primi 30 metri dal p.c. Lo strumento è composto da una sorgente di onde sismiche (mazza battente), da 24 geofoni posti a 2 metri di distanza con frequenza 4,5 Hz, per la misurazione dell'intensità e dei tempi di arrivo del treno di onde e da un dispositivo hardware di registrazione dei dati. La sorgente delle onde sismiche è costituita dall'impatto di un martello di 8 kg su una piastra circolare metallica posizionata perpendicolarmente al terreno, in grado di generare un treno di onde sismiche, i cui tempi di arrivo e l'intensità delle stesse vengono registrate dai geofoni ed inviate al sismografo centrale di acquisizione. Si eseguono due o più energizzazioni in due offset diversi e si misura l'attenuazione del segnale sismico lungo lo stendimento.

La strumentazione impiegata per l'esecuzione della prova MASW è costituita da

- Sismografo digitale **MAE mod. X820S 24 bit** a 24-96 canali dotato delle seguenti specifiche tecniche:

- Numero canali integrati: da 24 - 48 - 72 - 96
- Sistema di alimentazione: batterie interne ioni di litio 11,1V da 10,4Ah/115W
- Assorbimento medio in acquisizione: 1,5 A
- Condizioni di funzionamento: Temperatura (°C): -20 a 80; Umidità rel. (RH): 0-90%
- Display: TFT-LCD capacitivo da 10" con touch-screen integrato
- Filtri digitali: Selezionabili da applicazione X820S seismic app.
- Formato registrazione: SEG2
- Interfacce disponibili: LAN, USB, HDMI, Display Port
- Modulo GPS integrato
- Risoluzione campione: ADC Delta-Sigma @24 bit (Fc max 50000 Hz)
- Banda passante: 0-25000Hz / selezionabile Low Pass Filter max.2000Hz
- Distorsione massima: 0.0005%
- Range dinamico: 128dB
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
- Diafonia: -128dB a 20 Hz
- Frequenza di campionamento: Selezionabile da 60 Hz a 52000 Hz
- Soglia di rumore dell'amplificatore: 1 μ V
- Filtro anti alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80dB
- Range massimo segnale in ingresso: +/-1.25V
- Impedenza di ingresso: 39KOhm



-
- Trigger: su uno dei canali, positivo, negativo, con soglia di attivazione impostabile tramite software.
 - Pre-trigger: Selezionabile fino a 6255 campioni.
 - Test di linea: rilevamento geofoni, rilevamento corto circuito e circuito aperto
-
- 24 geofoni verticali con frequenza di 4,5 Hz
 - sorgente meccanica costituita da una massa di battuta da 8 kg e relativo geofono starter che fa da trigger

2.8. PROVE SISMICHE DOWN-HOLE

L'esecuzione di una prova Down-Hole prevede una sorgente energizzante in superficie e dei sensori all'interno del foro di sondaggio opportunamente predisposto con tubazione in PVC del diametro interno 3 pollici, come da specifiche al paragrafo di descrizione dell'installazione.

I sensori che si utilizzano sono assemblati in modo da essere calati e ancorati a profondità crescenti; energizzando in superficie e misurando i tempi di arrivo del primo impulso ai geofoni, si ha la possibilità di determinare la velocità verticale dei litotipi incontrati durante la perforazione.

Il fronte d'onda e il relativo raggio sismico non determinano fenomeni di rifrazione per un angolo di incidenza normale alle superfici di discontinuità elastica. Ciò consente di ottenere le velocità dell'onda diretta, senza le limitazioni della sismica a rifrazione per la quale è invece indispensabile che la velocità di propagazione aumenti con la profondità.

Eventuali inversioni di velocità all'interno dei terreni indagati non costituiscono pertanto elemento di incertezza nella fase interpretativa. In genere è mantenuta una certa distanza tra la sorgente sismica e la boccaforo; tale accortezza, oltre alle esigenze logistiche, è necessaria al fine di evitare il propagarsi dell'onda lungo il materiale di condizionamento del foro stesso.

L'interpretazione dei dati avviene calcolando le velocità medie delle onde longitudinali e trasversali tra il punto di energizzazione posto in superficie e il punto di registrazione posizionato di volta in volta a profondità crescente.

Al fine di ottenere la migliore approssimazione dei dati acquisiti alle reali caratteristiche elastiche dei terreni, è eseguito il computo delle "velocità intervallari", che si ottengono dividendo la distanza tra due posizioni geofoniche successive ed il relativo di intervallo di tempo.

A tale proposito per eseguire una prova Down-Hole occorrono:

- un sismografo multicanale in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- geofono tridimensionale con appropriata risposta in frequenza (4,5 – 14 Hz), direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- un trasduttore (geofono starter) posto vicino alla sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente;
- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche.

2.8.1. Strumentazione utilizzata

Di seguito è riportata la strumentazione utilizzata per la prova Down-Hole, con le relative specifiche tecniche.

Sismografo digitale PASI mod. Gea24

Numero di canali: 24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati: Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento: Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can.- fino a 31,25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione: 27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux)
Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.: 0/52 dB, selezionabile via software
Stacking: Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso: 2M Ω // 22nF
Rapporto S/N: 117db @1ksps
Distorsione: 0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB Largh.Banda +/- 0.1dB: 6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps
3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
Filtri: Passa Basso:125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch": 50-60Hz + armoniche
Trigger: Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivi), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce: Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor: Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario): 1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione: 1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati: SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione: 5VDC da USB, 0.25A
Temp. operativa/stoccaggio: -30°C to +80°C
Umidità: 80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni: 24cm x19.5cm x11cm
Peso: 2 Kg



Geofono da foro tridimensionale con frequenza di 10 Hz

Componente verticale: n. 1
Componenti orizzontali: n. 2
Sfasamento delle componenti orizzontali: 90°
Bloccaggio: con clamping a pistone pneumatico
Corpo sonda: in acciaio inox di diametro 50 mm
Lunghezza: 440 mm



Sorgente meccanica

Massa di battuta da 8 kg e relativo geofono starter che fa da trigger

Preventivamente all'esecuzione della prova, è verificato che il foro sia completamente libero e misurata la profondità della tubazione.

La generazione delle onde longitudinali (P) è ottenuta con un colpo verticale della massa battente di 8 kg su una piastra in alluminio, ubicata a distanza fissa dal foro (3 m), mentre per le onde trasversali (S) si utilizza un asse di legno, posto trasversalmente al foro e opportunamente appoggiato al terreno in modo da garantire la perfetta aderenza, colpito della massa battente di 8 kg alternativamente su entrambe le facce, per distinguere, grazie alla doppia energizzazione (uguale direzione, verso opposto), l'inversione di fase delle onde trasversali sulla traccia del sismografo (picco positivo - picco negativo).

Una volta collegati al sismografo, il geofono tridimensionale da foro e il geofono starter, la prova è realizzata eseguendo le acquisizioni ogni metro, a partire da 1 metro sotto il piano di campagna, fino alla profondità di 35 m.

Durante ogni acquisizione, sono eseguite le battute orizzontali (destre e sinistre) e la battuta verticale, con il geofono posizionato alla profondità prevista e ancorato alle pareti del foro con un sistema pneumatico, secondo lo schema riportato nella figura seguente.

L'acquisizione dati è effettuata per mezzo del software Pasi-Gea24 di produzione PASI e registrata su Hard-Disk.

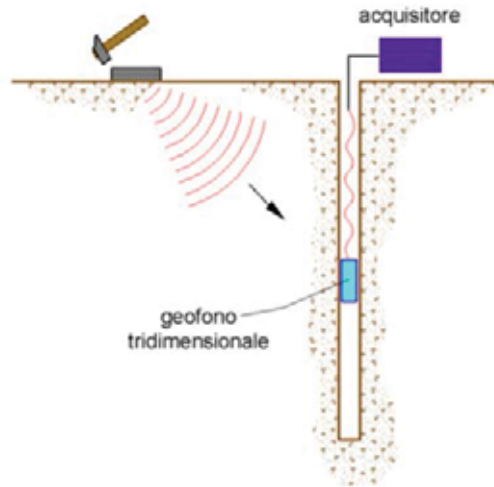


Figura 1. Schema prova Down-Hole

2.9. INDAGINE SISMICA HVSR

L'utilizzo del rapporto spettrale tra la componente orizzontale (H) e quella verticale (V), eseguito nel dominio delle frequenze, fu introdotto come strumento speditivo per stimare l'incidenza delle condizioni locali sull'amplificazione dello scuotimento dovuto a un sisma. Il principio si basa sul fatto che, misurando il rapporto H/V determinabile da microtremori, cioè oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici, si stimano le frequenze che possono essere amplificate di eventi sismici (Nakamura, 1989, 1996, 2000). Fenomeni naturali e attività antropiche producono necessariamente onde che determinano un microtremore: il loro studio in relazione ai fenomeni che ne sono responsabili risale già agli anni '50 (Gutenberg, 1958). Onde meccaniche/marine, venti e perturbazioni meteorologiche locali e regionali, microsismi tettonici e vulcanici, fattori antropici, immettono onde, sia di superficie che di volume (Koper et al. 2001), che caratterizzano il campo dei microtremori a diverse frequenze (Cessaro, 1994).

Le linee guida utilizzate per acquisire ed elaborare i dati delle analisi HVSR, fanno riferimento al progetto SESAME, e sono consultabili presso il seguente indirizzo (Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation).

Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza, determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa di impedenza sismica. I due strati in questione, sono rappresentati dal Bedrock sismico ($V_s > 800$ m/sec) e dalla sua copertura, la frequenza di risonanza (f_r) è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio V_s della copertura, dalla seguente relazione.

- $f_r = V_{SH} / 4 H$
- V_{SH} = velocità media delle onde S nello spessore H
- H = spessore della copertura al di sopra del Bedrock sismico

L'indagine HVSR è in grado di fornire una stima affidabile delle principali frequenze di risonanza del/nel sottosuolo. Su tale base, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche in profondità, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento per lo studio stratigrafico.

Lo strumento di misura utilizzato per questa indagine è il Geobox della Sara Electronic Instruments, dotato delle seguenti specifiche tecniche.

- Alimentazione: batteria interna ricaricabile, consumo minore di 1W.
- Numero canali ed a/d converter: 3 (SD) dinamica di 144dB (24 bit effettivi fra 0.1 e 10Hz, ENOB).
- Sensibilità con velocimetri da 2Hz: < 1 nanometro/secondo per count.
- Campionamento: simultaneo sui tre canali a 10,20,50,100,200,300,400,480,600Hz.
- Precisione RTC: +/-10ppm fra -20/+50°C (+/-40ms rispetto ad UTC).
- Interfaccia dati: RS232 con cavo da 8 metri e adattatore USB in dotazione.
- Contenitore: Monoblocco in alluminio IP66.
- Temperatura operativa: -20/+50°C

2.10. INDAGINE GEORADAR GPR

Nel campo della geofisica applicata, con il termine “georadar” o “radar per il sottosuolo” (GPR, Ground Probing Radar), si intende una metodologia di prospezione indiretta che utilizza impulsi elettromagnetici inviati in mezzi materiali, per rilevarne le riflessioni generate sulle discontinuità presenti all’interno di questi.

Le prime sperimentazioni risalgono agli inizi del secolo come frutto indiretto degli studi nel campo della propagazione delle onde elettromagnetiche. Vere e proprie applicazioni nell’ambito delle prospezioni geofisiche, possono farsi risalire agli inizi degli anni '70, quando, in una missione Apollo, una strumentazione georadar fu utilizzata per scandagliare il suolo lunare.

Successivamente il radar è stato utilizzato nell’esplorazione archeologica e per la ricerca di cavità negli ammassi rocciosi. Più recentemente, la metodologia è stata inserita nel campo delle prospezioni su strutture artificiali, segnatamente gallerie, ponti, sedi stradali e per la mappatura dei sottoservizi.

Negli ultimi anni, i sistemi basati su microprocessori che producono segnali digitali di elevata qualità, uniti alle innovazioni nella produzione di antenne con migliorate prestazioni, hanno permesso lo sviluppo di applicazioni di notevole interesse (es. la tomografia tridimensionale o l’analisi di sottili spessori di materiali quali intonaci e tappetini bituminosi). Sistemi asserviti da Personal Computer, sui quali sono implementati software in grado di automatizzare le procedure di elaborazione, sono oggi correntemente utilizzati nella stesura di mappe dei tracciati della rete di sottoservizi, e nella ricerca di siti archeologici.

Le strumentazioni attuali, sono basate su registrazione digitale mediante supporto magnetico e risultano notevolmente compatte.

Le antenne commerciali disponibili, che spaziano da frequenze di 20 MHz a 2500 MHz, coprono una vasta gamma di applicazioni, in funzione della rispettiva profondità di penetrazione che oscilla (per i modelli prima citati) da oltre 20 m a meno di 20 cm, con risoluzioni relative da 5 m a qualche cm.

Il substrato interessato dalla propagazione degli impulsi è tanto più trasparente quanto maggiore è la sua impedenza (un parametro legato sia alla conduttività sia alla permittività dielettrica relativa) sicché, i terreni migliori sono le sabbie non in falda e le rocce secche.

La presenza di materiali conduttivi (es. soluzioni saline o metalli) produce riflessioni molto forti che permettono la ricerca di questo tipo di bersagli, così la prospezione può essere specificamente indirizzata all’individuazione di zone di infiltrazione e quindi di fratturazione, sia nelle rocce sia nei substrati artificiali.

La traccia tipica prodotta dalle indagini radar è costituita da iperboli di diffrazione (cfr. Figura 2), nella quale le iperboli corrispondono, in questo caso, ad altrettanti tubi sepolti.

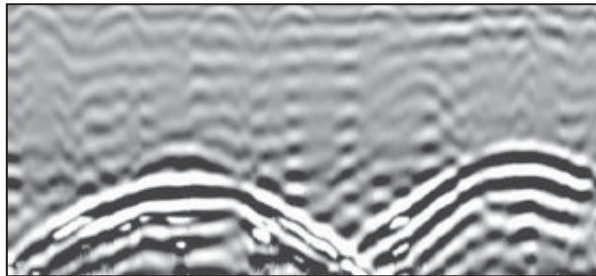


Figura 2. Esempio di iperboli su tracciato georadar.

Un altro tipo di riflessione è costituito da quelle continue, ovviamente associate alla presenza di riflettori continui (passaggi di strato e discontinuità), come quelli raffigurati nella figura seguente.

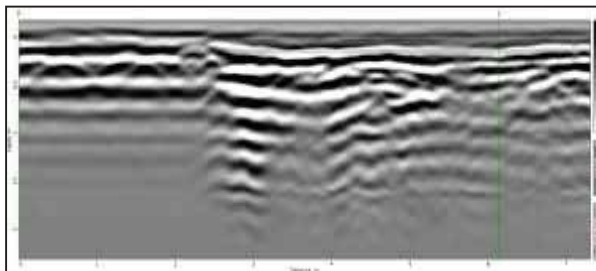


Figura 3. Esempio di riflettori continui su tracciato georadar.

Come già accennato, un limite all’utilizzo della metodologia GPR è costituito dall’impossibilità di operare qualora il mezzo che accoglie i bersagli di interesse risulta conduttivo; per esempio, è impossibile investigare terreni

argillosi saturi o gallerie rivestite con pannelli metallici, anche se sottili. Tutti i profili acquisiti, infatti, richiedono un programma di filtraggio più o meno complesso (cfr. Figura 4) finalizzato, sia a eliminare i segnali spuri non connessi ai dati reali (il cosiddetto “clutter” delle antenne) sia a enfatizzare l’entità di segnali troppo fiochi. Anche in presenza di tracciati strumentalmente “ottimali”, ossia con elevato rapporto segnale/rumore, la lettura delle riflessioni resta un processo che richiede una notevole esperienza nell’interpretazione.

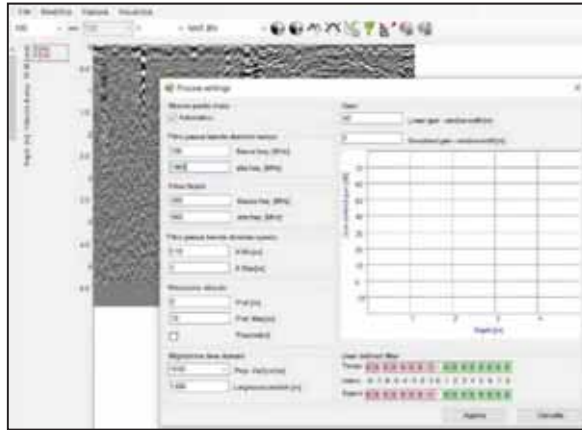


Figura 4. Consolle grafica virtuale per la selezione dei parametri di filtraggio (filtro passa-banda)

Strumentazione utilizzata

L’acquisizione dei dati GPR è stata condotta utilizzando l’unità di acquisizione campale RIS MF Hi-Mod prodotto da IDS GeoRadar S.r.l. nella seguente configurazione:

- **Sistema controllo radar:** costituito da un’unità di controllo Radar DAD che genera una serie di pulsazioni elettriche alle antenne.
- **Sensori antenna:** n.2 antenne con frequenza 400 MHz & 900 MHz.
- **Encoder:** necessario per misurare la distanza percorsa dal sistema.
- **Laptop:** usato per controllare e salvare i dati radar attraverso il software dedicato k2FastWave.



Figura 5. Sistema GPR utilizzato

Condizioni operative

L'indagine è stata eseguita secondo le seguenti fasi:

- sopralluogo preliminare, finalizzato all'individuazione dell'area da indagare ed alla valutazione di eventuali problematiche;
- montaggio e cablaggio dell'unità di acquisizione (setup del sistema, impostazione parametri, verifica corretto funzionamento);
- taratura e calibrazione dei segnali e delle antenne, in modo da ottimizzare la risposta strumentale in base alle condizioni di sito (stratigrafia, acqua, etc.); le scansioni sono state registrate campionando 512 scan/sec, ed impostando un range temporale di fondo scala di 40 nsec per l'antenna da 900 MHz e 60 nsec per l'antenna da 400 MHz.
- acquisizione dei dati con contestuale operazione di verifica e controllo dei dati su PC.

3. PRESENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

3.1. SONDAGGI STRATIGRAFICI

L'elaborazione delle stratigrafie dei sondaggi è eseguita con il programma **Stratigrafie 10.0** della SGEO. Per ogni sondaggio eseguito è redatta una stratigrafica riportata in allegato alla Relazione, con indicazioni relative alla prova, secondo lo schema riportato di seguito.

Nell'intestazione iniziale sono riportare, in ordine di riga:

- committente; nome sondaggio;
- riferimento lavoro, opera indagata e linea ferroviaria di ubicazione; data di esecuzione (inizio/fine);
- coordinate di ubicazione del sondaggio (coordinate geografiche WGS84); quota del piano campagna in s.l.m.;
- attrezzatura utilizzata per la perforazione con specificato tipo di carotiere e diametro (eventuale utilizzo di corona al diamante), il diametro del rivestimento.

Nella stratigrafia sottostante sono riportare, in ordine di colonna (le colonne sono presenti solo se l'informazione contenuta è stata rilevata/effettuata):

- utilizzo del rivestimento (riga grigia fino alla profondità del foro rivestita);
- presenza e ubicazione dei livelli acquiferi (A) eventualmente intercettati (riga azzurra), alle relative profondità di rinvenimento (r) e stabilizzazione del livello (s);
- litologia dei livelli attraversati alle varie profondità, con campiture e colorazioni diverse rappresentanti il livello attraversato;
- valori rilevati dalle prove con penetrometro tascabile (RP espressa in kg/cm²);
- valori rilevati dalle prove con vane test (VT espressa in kg/cm²);
- percentuali di carotaggio (Prel. % da 0-100 - linea blu);
- prove SPT (Standard Penetration Test) con indicato, profondità della prova in m, numero di colpi nei tre settori (SPT), numero di colpi NSPT (N), e tipo di punta utilizzata (A-aperta C-chiusa);
- campioni di terreno prelevati con indicato, il numero, il tipo di campionatore utilizzato (She- Shelby, Ost- Osterberg, Den-Denison, rim-campione rimaneggiato), le profondità di ubicazione del prelievo;
- per ogni livello di terreno attraversato sono individuate: profondità relativa al piano campagna di esecuzione dell'indagine (prof. in metri); quota definita come coordinata Z (di segno negativo nelle stratigrafie) ovvero, affondamento dalla chiave dell'arco o dall'intradosso impalcato (Quota in metri); lo spessore (Spess. In metri);
- descrizione litologica dei terreni attraversati, con individuate le seguenti caratteristiche, la composizione granulometrica nei termini correnti (blocchi, ghiaia, sabbia, limo, argilla), l'eventuale tessitura o stratificazione, la presenza di sostanze organiche o torbe, fossili, legno ecc, il grado di umidità, la coerenza o presenza di cementazione, le caratteristiche di consistenza e plasticità nei terreni coesivi, le caratteristiche di addensamento nei terreni granulari, il colore/i prevalente del livello, il diametro massimo e la natura della frazione grossolana (ghiaie e blocchi) con grado di arrotondamento e/o di appiattimento.

A corredo di ogni sondaggio eseguito, allegata alla Relazione, è riportata una documentazione fotografica relativa a: postazione di sondaggio; cassette catalogatrici; eventuale altre fasi di lavorazione.

Nella Relazione, sulla base delle stratigrafie redatte, è individuato il modello geologico del sottosuolo.

3.1.1. POCKET PENETRATION TEST E VANE TEST

Le prove di resistenza alla penetrazione (Pocket Penetration Test) e scissometrica (Vane Test) eseguite sui carotaggi prelevati, relativamente ai terreni coesivi, permettono di stimare, approssimativamente, il valore medio della coesione non drenata (**cu**), dei terreni di natura prevalentemente coesiva, mediante le seguenti correlazioni.

$$cu = 1/2 \div 1/3 R_{PP}$$

$$cu = R_{VT}$$

in cui:

R_{PP} = resistenza misurata nell'esecuzione del Pocket Penetration Test;

R_{VT} = resistenza misurata nell'esecuzione del Vane Test.

Laddove le prove di resistenza alla penetrazione (Pocket Penetration Test), sono eseguite su terreni coesivi con una frazione granulare (sabbie e limi grossolani) non trascurabile, la coesione non drenata (c_u) è stimata con maggiore precisione dal valore relativo a $1/3 R_{PP}$, mentre, se la frazione granulare è trascurabile, la coesione non drenata (c_u) è stimata con maggiore precisione dal valore relativo a $1/2 R_{PP}$.

I valori calcolati sono in seguito mediati per ogni livello litologico riconosciuto e riportati in apposite tabelle all'interno della Relazione, utilizzati per la definizione dei parametri geotecnici medi, dei livelli costituenti il modello geologico individuato.

3.2. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO SU CAMPIONI DI TERRENO

I campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno, prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi stratigrafici, sono sottoposti alle prove di laboratorio, precedentemente descritte, per la definizione delle caratteristiche fisiche, geotecniche e geomeccaniche.

I dati completi relativi alle prove effettuate e la loro interpretazione, sono riportati nei certificati di laboratorio allegati alla Relazione.

Nella Relazione sono riportati, sinteticamente, i valori dei parametri misurati, utilizzati per la definizione dei parametri geotecnici medi, dei livelli costituenti il modello geologico individuato.

L'analisi dei risultati di laboratorio, all'interno della Relazione, per ciò che riguarda le caratteristiche fisiche dei terreni, consiste nel confronto delle classi granulometriche dei campioni con quelle definite nelle analisi di campagna e riportate nelle stratigrafie. Inoltre, per i terreni coesivi, sulla base del diagramma di plasticità di Casagrande e dei limiti di Atterberg rilevati, si individua la classificazione dei diversi tipi di terreno.

3.3. PIEZOMETRI DI TIPO CASAGRANDE

Per ogni piezometro installato, è redatto uno schema che ne identifica le caratteristiche, quali: tipo di piezometro; denominazione; data di installazione; lunghezza; profondità cella; tratto cementato; tratto impermeabile; tratto filtrante; tipo di filtro; tipo di chiusino; esecuzione spurgo.

Lo schema del piezometro installato, è riportato in allegato alla R.G. (cfr. Allegato R.G. - Indagini geognostiche - Schema Piezometro).

Nella pagina dello schema, relativamente alla colonna "rilievo del livello dell'acqua", sono inoltre riportate le letture del livello di falda effettuate, tali letture, sono utilizzate per definire il livello della circolazione idrica, riportata nel modello geologico del sottosuolo individuato nella R.G.

3.4. PIEZOMETRO A TUBO APERTO

In riferimento alla strumentazione installata, alla relazione è allegata una scheda con lo schema del piezometro, nella quale sono individuate le caratteristiche principali, quali la lunghezza e posizione, del tratto cieco, del tratto microfessurato, del tappo impermeabile e del tratto cementato (Allegato R.G. - Stratigrafie sondaggi geognostici - Schema Piezometro). Inoltre in questa scheda, sono riportate le misurazioni del livello piezometrico, effettuate durante il periodo di esecuzione dei lavori.

Nella relazione, si analizza la variazione delle misurazioni effettuate e i livelli piezometrici individuati contribuiscono a definire l'andamento della circolazione idrica sotterranea.

3.5. PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC

Carico variabile

Nella prova a carico variabile di tipo Lefranc, la permeabilità (K) del terreno indagato è calcolata mediante la seguente formula:

$$K = \frac{S}{C * (t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

in cui:

S = area di base del foro di sondaggio (in m^2);

C = coefficiente di forma (in m) funzione della tasca di diametro D e lunghezza L , determinato mediante l'equazione di Wilkinson (1968), riportata nell'allegato di calcolo della prova (cfr. Allegato R.G. - Elaborazione prove di permeabilità);

h_1 e h_2 = altezza dei livelli di acqua nel foro rispetto al livello della falda indisturbata o al fondo del foro stesso agli istanti t_1 e t_2 (in m);

t_1 e t_2 = tempi ai quali si misurano h_1 e h_2 .

L'elaborazione delle prove di permeabilità Lefranc è effettuata mediante un foglio di calcolo Excel, nel quale sono state impostate le formule succitate. I fogli dell'elaborazione, sono in allegato alla relazione, in essi sono riportate: l'anagrafica della prova; i dati riguardanti la posizione rispetto al piano di riferimento usato per le misure (testa del rivestimento), del piano campagna, dell'acqua interna la rivestimento a inizio misurazioni, della falda esterna, della posizione del rivestimento e della profondità del foro; le specifiche della prova, diametro interno rivestimento, diametro della tasca e lunghezza della tasca; le letture registrate; i risultati di permeabilità (K) ottenuti, relativi all'intervallo mediano (120 ÷ 1200 sec) di esecuzione della prova, caratterizzato da linearità. (cfr. Allegato R.G. - Elaborazione prove di permeabilità).

Carico costante

Nella prova a carico costante di tipo Lefranc, la permeabilità (K) del terreno indagato è calcolata mediante la seguente formula:

$$K = \frac{Q}{C * H}$$

in cui:

Q = portata immessa a regime di carico idraulico costante (in m³/sec);

C = coefficiente di forma (in m) funzione della tasca di diametro D e lunghezza L, determinato mediante l'equazione di Wilkinson (1968), riportata nell'allegato di calcolo della prova (cfr. Allegato R.G. - Elaborazione prove di permeabilità), valida per tasca piana in terreno uniforme;

H = carico idraulico a regime (in m).

L'elaborazione delle prove di permeabilità Lefranc è effettuata mediante un foglio di calcolo Excel, nel quale sono state impostate le formule succitate. I fogli dell'elaborazione, sono in allegato alla relazione, in essi sono riportate: l'anagrafica della prova; i dati riguardanti la posizione rispetto al piano di riferimento usato per le misure (testa del rivestimento), del piano campagna, dell'acqua interna la rivestimento a inizio misurazioni, della falda esterna, della posizione del rivestimento e della profondità del foro; le specifiche della prova, diametro della tasca e lunghezza della tasca; le letture registrate; l'assorbimento misurato in litri (l) e metri cubi (m³), la portata di assorbimento in metri cubi al secondo (m³/sec), risultati di permeabilità (K) puntuali relativi agli intervalli di lettura; la permeabilità media relativa all'intervallo di esecuzione della prova. (cfr. Allegato R.G. - Elaborazione prove di permeabilità).

3.6. INDAGINE SISMICA MASW

La stima delle onde S mediante tecnica MASW, viene eseguita facendo una trattazione spettrale del sismogramma ottenuto in sito, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. Tale analisi spettrale, permette di differenziare il modo fondamentale delle onde di superficie, da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs, per successiva inversione 1-D.

La procedura per l'elaborazione dei dati acquisiti in sito è così sintetizzata:

- definizione delle velocità di propagazione delle onde di superficie per le diverse frequenze, mediante il picking della curva di dispersione sperimentale;
- calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la definizione del modello geologico iniziale;
- modifica della curva teorica variando opportunamente lo spessore h, la velocità delle onde di taglio Vs e la densità γ di ogni strato indagato, fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale tra la curva sperimentale e quella di dispersione teorica;
- determinazione del profilo verticale delle Vs rispetto alla profondità.

Tramite un metodo d'inversione della curva di dispersione con software win MASW 6.0, dall'analisi dei sismogrammi acquisiti, si è determinato il profilo verticale delle Vs con la profondità, da cui ricavare il valore medio pesato della velocità delle onde S, dei terreni al di sopra del substrato sismico $V_{s_{eq}}$ (NTC 2018). Chiaramente, se la profondità del substrato sismico è superiore ai 30 m, $V_{s_{eq}} = V_{s_{30}}$.

I risultati dell'elaborazione sono riportati nelle singole R.G., il modello sismico individuato sarà utilizzato per la determinazione diretta della MASW- $V_{s_{eq}}$ relativa al piano di esecuzione dell'indagine, o per definire la $V_{s_{eq}}$ relativa al piano di fondazione di ogni struttura (se conosciuto). La restituzione grafica dei risultati costituita dalla dromocroma acquisita, lo spettro delle velocità di fase identificato e la curva di interpolazione, la tabella con il parametro Vs in funzione della profondità, è riportata all'interno della R.G.

3.7. INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE

3.7.1. Introduzione

La liberazione istantanea di energia nel terreno genera un sistema di onde sismiche tra cui quelle di volume (body waves), distinte in onde di compressione o onde prime e in onde di taglio o onde seconde. Nel complesso, le onde sismiche creano sollecitazioni e di conseguenza deformazioni nel mezzo attraversato, che generalmente ricadono nel campo elastico del diagramma sforzi/deformazioni.

Le onde di compressione sono deformazioni che si propagano in linea retta, con un'alternanza continua di compressioni e dilatazioni della materia lungo il percorso di propagazione, le onde di taglio diversamente dalle prime sono deformazioni che si propagano nella stessa direzione delle precedenti, ma con un'oscillazione delle particelle ortogonale alla direzione di propagazione della perturbazione. La velocità di propagazione delle onde sismiche dipende dalle costanti elastiche e dalla densità del mezzo attraversato, pertanto risulterà variabile in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche del terreno interessato. In uno stesso tipo di materiale si propagano più velocemente le onde di compressione (onde prime) rispetto alle onde di taglio (onde seconde). I valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali e trasversali tra terreni e rocce variano notevolmente anche in funzione dello stato fisico e meccanico dei mezzi; nella tabella seguente è schematicamente riportato l'intervallo dei valori comunemente rilevati in terreni e rocce oltretutto acqua e aria.

MATERIALE	Vp (m/s)	Vs (m/s)
Acqua	1480 - 1520	-
Terreni sciolti	200 - 2000	100 - 600
Rocce	2000 - 5000	500 - 3000
Aria	344	-

Tabella. II: Valori di riferimento Vp e Vs di alcuni materiali

Uno degli obiettivi principali delle indagini geofisiche in foro è quello di ricavare i parametri elasto-meccanici, dinamici, utili a caratterizzare i terreni quali: il coefficiente di Poisson (ν), il Modulo di Young (E) ed il modulo di Taglio (G) Modulo di compressibilità volumetrica o di Bulk (E_v). Tali parametri si ricavano a partire dalle velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S) misurate durante le acquisizioni e attraverso l'utilizzo di complesse formule matematiche.

La propagazione delle onde sismiche provoca tensioni e deformazioni di modestissima entità nei terreni e nelle rocce; per questo possono essere considerate, in prima approssimazione, materiali omogenei isotropi ed elastici ai quali è applicabile quindi la legge di Hooke, proporzionalità tra lo sforzo applicato (σ) e la deformazione prodotta (ϵ): $\sigma = \epsilon \cdot E$

La costante E, definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale, rappresenta il modulo elastico longitudinale (o di Young) del materiale, ha le dimensioni di una pressione ed è molto variabile. Il modulo di elasticità tangenziale o di taglio (rigidità) G ha le dimensioni di una pressione ed è definito come il rapporto tra la sollecitazione ortogonale (trasversale o di taglio) e la deformazione.

Il Coefficiente di Poisson (ν) è il rapporto tra le velocità delle onde di compressione e quelle di taglio e ha valori compresi da 0 a 0,5, rappresentato da un numero adimensionale, è senza dubbio il parametro che consente la più rapida valutazione della qualità meccanica dei litotipi investigati: a parità di litologia un aumento o una diminuzione del modulo "v", indica rispettivamente un peggioramento o un miglioramento delle qualità geomeccaniche. Tra i fattori che influenzano la velocità di propagazione delle onde longitudinali e trasversali, e quindi il valore del coefficiente di Poisson, vanno ricordati la fratturazione, la presenza di fluidi, la porosità, la facies mineralogica e petrografica, il carico litostatico e l'età geologica.

Si sottolinea che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico (e non statico), ricavandosi tale modulo da prove dinamiche (o sismiche) e che i parametri ricavati hanno in genere valori superiori a quelli ottenuti da prove statiche di laboratorio, proprio per il diverso campo di sollecitazione applicata e la diversa deformazione raggiunta.

La tabella seguente indica per questi parametri l'intervallo di valori comunemente associati ai materiali.

MATERIALE	(E) MPa	(G) MPa	Poisson ν
Rocce compatte	6 - 11x10 ⁴	> 1000-	0.15 - 0.25
Rocce tenere o fratturate	4 - 6 x10 ⁴	500 - 1000	0.25 - 0.35
Terreni sciolti	< 4x10 ⁴	< 500	> 0,35

Tabella. III: Valori di riferimento E, G e ν di alcuni materiali

3.7.2. Elaborazione dati

I sismogrammi acquisiti e registrati su hard-disk sono analizzati per l'acquisizione dei tempi di arrivo delle onde longitudinali (P) e trasversali (S). I tempi dell'onda P e S sono "normalizzati" rispetto alla verticale del foro mediante calcoli trigonometrici che tengono conto della distanza del punto di energizzazione rispetto alla quota del geofono nel foro di sondaggio. I risultati sono inseriti in apposita tabella all'interno della Relazione.

La definizione dell'andamento delle velocità delle onde P ed S sono ottenuti mediante l'elaborazione effettuata con software dedicato "Geostru – DownHole".

Determinato l'andamento delle velocità delle onde P e S, e definiti graficamente i sismostrati, sono determinati i relativi parametri elastici mediante le relazioni di seguito riportate:

- coefficiente di Poisson medio: $\nu = 0,5 * [(Vp/Vs)^2 - 2] / [(Vp/Vs)^2 - 1]$
- modulo elastico (Young) medio: $E = \rho Vp^2 [(1 + \nu)(1 - 2\nu)] / (1 - \nu) = 2 \rho Vs^2 (1 + \nu)$
- modulo elastico tangenziale (taglio) medio: $G = \rho Vs^2$
- modulo di compressibilità volumetrica (di Bulk) medio: $Ev = \rho (Vp^2 - 4/3 Vs^2)$

I risultati dell'elaborazione sono riportati nella Relazione, il modello sismico individuato sarà utilizzato per la determinazione diretta della DH- Vs_{30} relativa al piano di esecuzione dell'indagine e per estrapolare la Vs_{30} relativa al piano di fondazione di ogni struttura. La documentazione fotografica relativa alle fasi di esecuzione della prova, è riportata in allegato alla relazione (Allegato R.G. - Documentazione fotografica). La restituzione grafica dei risultati costituita dall'andamento dei parametri in funzione della profondità, è riportata in allegato alla relazione (Allegato R.G. - Elaborazione grafica prove Down-Hole).

3.8. INDAGINE SISMICA HVSR

I dati dall'acquisizione fatta in sito, sono elaborati tramite il software Easy HVSR della Geostru.

L'elaborazione del segnale tramite il software, permette di produrre due grafici: il primo, riporta la velocità misurata secondo le tre componenti Nord-Sud, Est-West, Up-Down, in funzione delle frequenze; il secondo, riporta l'andamento del rapporto tra le componenti orizzontali e la componente verticale, in funzione delle frequenze, nel quale si identifica il picco del rapporto spettrale, a cui corrisponde la frequenza di sito.

Una volta determinata la curva HVSR sperimentale vi sono alcuni criteri, indicate come criteri SESAME, che consentono di comprendere se tale curva è robusta dal punto di vista statistico (Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation). I primi tre criteri riguardano la curva HVSR nel suo insieme, mentre, altri ulteriori sei criteri sono proposti allo scopo di aiutare a comprendere il peso a valore di un eventuale picco H/V.

Nella Relazione sono riportati i due grafici succitati, una tabella in cui viene individuata la frequenza relativa al picco (frequenza di sito) e il valore HVSR del picco, sulla base dei quali individuare il modello sismico del sottosuolo.

3.9. INDAGINE GEORADAR GPR

I dati di cantiere sono stati elaborati tramite l'utilizzo del software GRED HD, appositamente sviluppato per la visualizzazione, elaborazione ed interpretazione dei dati GPR.

La procedura standard di elaborazione comporta una serie di processi orientati a ottimizzare la visibilità delle caratteristiche di interesse; di seguito si elenca, più dettagliatamente, la procedura di elaborazione.

- Normalizzazione della scala orizzontale. Con questo processo il radargramma viene ricampionato per far sì che le distanze risultino scalate a piacere per estensione e densità.
- Normalizzazione della scala verticale (o dei tempi). Mediante questa fase di elaborazione viene eliminato l'effetto dell'offset dello zero strumentale, che viene fatto coincidere con lo zero del segnale e quindi con l'inizio della scala dei tempi. Eventuali fasce profonde del radargramma, esterne alla profondità di effettiva penetrazione e quindi non in grado di restituire informazioni, vengono eliminate con processi di "cut out". La scala dei tempi viene poi convertita in profondità per applicazione di una velocità di propagazione verosimile, calcolata possibilmente su diversi punti del tracciato. Si sottolinea che in questa fase non è possibile applicare valori distinti alle varie fasce di profondità. Pertanto tutte le profondità indicate si intendono stimate con un errore massimo del 5-10%;
- Normalizzazione delle amplificazioni. Questo processo tende ad equalizzare l'entità delle ampiezze di riflessione all'interno di un singolo profilo, per ridurre i fenomeni di amplificazione accidentale indotti da anomalie superficiali localizzate (es. acqua in superficie, variazioni di trasparenza elettromagnetica etc.). Un processo di AGC (automatic gain control) sulla singola traccia viene applicato solo se in fase di acquisizione, si sono verificati errori di taratura iniziale delle antenne;
- Filtraggio in frequenza. Un filtro in frequenza (passa-banda) viene poi applicato per minimizzare l'incidenza del rumore strumentale e del "clutter" dell'antenna. Per clutter dell'antenna si intende l'insieme dell'energia raccolta dalla sezione ricevente dell'antenna e non connessa a interfacce reali ma a fenomeni fisici connessi allo schema delle antenne stesse e dei circuiti. Le frequenze di taglio sono legate alla frequenza centrale caratteristica dell'antenna. Questo filtraggio è solitamente indispensabile perché il clutter può assumere entità rilevante, addirittura predominante rispetto ai segnali reali.

Dopo questa fase di elaborazione dei dati, si procede all'interpretazione delle scansioni, al fine di individuare anomalie nel segnale riconducibili alla presenza di sottoservizi, cunicoli, manufatti od altro.

Nella relazione, viene riportata l'immagine con l'ubicazione su Google Earth della direzione della scansione effettuata, la panoramica della scansione con dettaglio sul punto scelto per l'ubicazione del sondaggio geognostico ed i radargrammi relativi, con all'interno evidenziata la linea che indica la posizione del sondaggio rispetto alla scansione effettuata.

4. INDIVIDUAZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE

La normativa di riferimento in materia sismica viene di seguito riportata.

- Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003, concernente “primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 concernente “criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.
- Norme Tecniche per le Costruzioni Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture.
- Norme Tecniche per le Costruzioni Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 hanno come obiettivo il controllo del livello di danneggiamento della costruzione, a fronte di un terremoto che può verificarsi nel sito di costruzione.

Tali norme riprendono in parte quanto riportato nell'Ordinanza Ministeriale del 3274 del 20 marzo 2003, riguardo l'azione sismica di progetto, ma introducono un'importante novità: il concetto di **stato limite**.

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

La NTC individua 4 stati limite.

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significative.
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile, pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici; significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

La **pericolosità sismica di base**, del sito è il punto di partenza per poter determinare l'**azione sismica di progetto**, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite.

La pericolosità sismica è descritta in termini di valore di accelerazione massima orizzontale attesa (a_g) e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta su un sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale.

I parametri che definiscono le forme spettrali sono:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri, sul territorio italiano, sono calcolati secondo un reticolo di riferimento con una maglia di circa 10 km di lato (Allegato B della NTC). La loro definizione è individuata in base alle coordinate geografiche (ED 50) medie dell'opera, individuate nella Relazione.

4.1. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO NTC 2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella seguente, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

V_{s,i} velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} 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.

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

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

4.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE NTC 2018

Nell'individuazione della risposta sismica di progetto, per condizioni topografiche semplici, si può adottare la seguente classificazione:

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

In base all'analisi dei risultati delle indagini, nella Relazione saranno determinate le categorie di sottosuolo e topografiche relative alla struttura in esame.

4.3. ANALISI DELLA STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Il sito oggetto di indagine deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi,

prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate (cfr-NTC 2018 - Capitolo 7.11.3.4).

La verifica a liquefazione può essere omessa quando il sito o i terreni presenti in profondità manifestino almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_i)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_i)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 6 (sinistra) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ Figura 6 (destra).

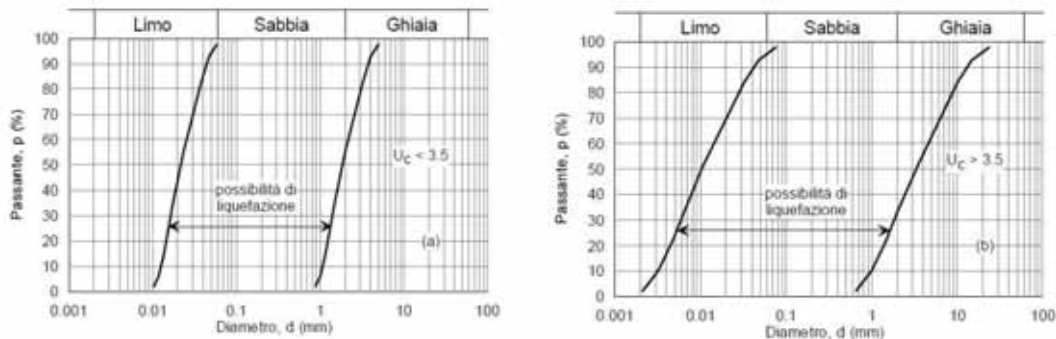


Figura 6. Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione, $U_c < 3,5$ (sinistra) – $U_c > 3,5$ (destra)

In base all'analisi dei risultati delle indagini, nella Relazione di ogni sito è valutato se i terreni presenti nel sottosuolo della struttura in esame, possono essere omessi dalla verifica a liquefazione.

Dalle risultanze delle indagini, se le prime quattro condizioni di esclusione non sono verificate, si procede all'esame della quinta condizione, effettuando l'analisi granulometrica del campione rimaneggiato (solitamente il C3r), preventivamente prelevato nello strato potenzialmente liquefacibile, sulla base di quanto evidenziato nel Capitolato tecnico Indagini geognostiche. Il confronto tra curva granulometrica determinata e i fusi granulometrici dei terreni suscettibili a liquefazione, riportato nella Relazione, permetterà di determinare il risultato della quinta condizione di esclusione.

Alla fine dell'analisi, nel caso siano presenti uno o più livelli, per i quali non è possibile escludere la verifica a liquefazione, si procede a tale verifica, secondo le metodologie riportate nel paragrafo successivo.

4.4. ANALISI DI VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Nelle N.T.C.2018 il termine "liquefazione" denota una diminuzione della resistenza al taglio e/o di rigidezza, causata dall'aumento di pressione interstiziale durante lo scuotimento sismico, in un terreno saturo non coesivo, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci del terreno.

La resistenza che un deposito sabbioso saturo oppone alla liquefazione, viene definita attraverso un fattore di sicurezza (F_s) corrispondente al rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione (CRR Cyclic Resistance Ratio) e la domanda di resistenza a liquefazione (CSR Cyclic Stress Ratio). Nelle condizioni in cui il $F_s < 1$ il terreno sabbioso saturo risulta propenso alla liquefazione, per le NTC 2018 il terreno non è soggetto a liquefazione per $F_s > 1,25$.

$$F_s = CRR/CSR$$

in cui:

CRR è il rapporto di resistenza ciclica e rappresenta, la resistenza tangenziale di un terreno alla liquefazione, la determinazione è effettuata sulla base dei risultati di prove in sito.

CSR è il rapporto di stress ciclico e rappresenta, la tensione tangenziale ciclica prodotta da un sisma, la determinazione è effettuata sulla base delle caratteristiche sismologiche del sito.

Il parametro CSR per terremoti di magnitudo massima di 7,5 è definito dall'equazione semiempirica proposta da Seed e Idriss (1971), riportata di seguito.

$$CSR = \tau_{av}/S_{vo}' = 0,65 * a_{max}/g * S_{vo}/S_{vo}' * r_d * 1/MSF$$

in cui:

τ_{av} = valore medio definito come $0,65 \tau_{max}$;

a_{max} = accelerazione massima in superficie (cm/sec^2);

g = accelerazione di gravità ($980 cm/sec^2$);

S_{vo} = tensione litostatica verticale totale (kg/cm^2);

S_{vo}' = tensione litostatica verticale efficace (kg/cm^2);

r_d = coefficiente di riduzione delle tensioni pari a $r_d = 1 - 0,00765z$ per $z \leq 9,15$ m e $r_d = 1,171 - 0,0267z$ per $9,15 < z \leq 15$ m, in cui z è la profondità dello strato;

MSF (Magnitudo ScalingFactor) coefficiente correttivo dipendente dalla magnitudo evento atteso in sito M_w .

Il parametro CRR, nell'analisi eseguita, è definito dalle 2 equazioni riportate di seguito, legate al numero di colpi registrato dalle prove SPT, la prima proposta da Boulanger and Idriss (2004) e la seconda da Seed et alii (1985).

Boulanger and Idriss (2004)

$$CRR = \exp[(N_{I(60)cs}/14,1) + (N_{I(60)cs}/126)^2 - (N_{I(60)cs}/23,6)^3 + (N_{I(60)cs}/25,4)^4 - 2,8]$$

in cui:

$N_{I(60)cs}$ = è il numero di colpi della prova SPT corretto come $N_{I(60)}$ escluso il fattore C_w di Terzaghi Peck (1948), indicato nella Relazione come $N_{I(60)}$, più una correzione per l'eventuale presenza di frazione fine $FC > 5\%$.

Nell'utilizzo di questa relazione il fattore r_d per il calcolo della CSR, diventa:

$$r_d = \{[-1,012 - 1,126 * \sin(z/11,73 + 5,133)] + [0,106 + 0,118 * \sin(z/11,28 + 5,142) * MSF]\}$$

Con l'utilizzo di tale formula, gli autori indicano un $F_s > 1$ per escludere la liquefazione, mentre, le NTC 2008 indicano un $F_s > 1,25$ per escludere la liquefazione.

Seed et alii (1985)

$$CRR = [a + (c * N_{I(60)}) + (e * N_{I(60)}^2) + (g * N_{I(60)}^3)] / [1 + (b * N_{I(60)}) + (d * N_{I(60)}^2) + (f * N_{I(60)}^3) + (h * N_{I(60)}^4)]$$

in cui:

$N_{I(60)}$ = è il numero di colpi della prova SPT corretto come $N_{I(60)}$, escluso il fattore C_w di Terzaghi Peck (1948), indicato nella Relazione come $N_{I(60)}$.

$a = 0,04844$; $b = 0,1248$; $c = 0,004721$; $d = 0,009578$;

$e = 0,0006136$; $f = -0,0003285$; $g = -0,00001673$; $h = 0,000003714$.

Con l'utilizzo di tale formula, gli autori indicano un $F_s > 1$ per escludere la liquefazione, mentre, le NTC 2008 indicano un $F_s > 1,25$ per escludere la liquefazione.

Il rischio di liquefazione sarà valutato nella Relazione, per tutti i livelli che non rientrano nelle condizioni di esclusione, di cui al Capitolo 7.11.3.4 delle NTC 2008, riportate nel paragrafo precedente.

L'elaborazione sarà effettuata mediante il software Liquefaction of Soil 2014, per programma Excel, distribuito dalla EPC editore.

Il programma necessita, riguardo il calcolo della CSR, l'individuazione dei seguenti parametri, determinati nella Relazione, secondo le modalità di seguito descritte.

La magnitudo dell'evento atteso in sito (M_w), necessaria per l'individuazione del fattore MSF, sarà definita sulla base delle coordinate geografiche della struttura, allo stato limite di collasso, utilizzando il sito dell'I.N.G.V. (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>);

Il valore di accelerazione massima in superficie a_{max} , sarà definito mediante il programma Spettri NTC versione 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sulla base: delle coordinate geografiche della struttura; del tempo di riferimento dell'azione sismica (T_r) di 75 anni, determinato considerando la struttura in Classe d'uso III (Coefficiente d'uso $C_U = 1,5$) e con Vita nominale (V_N) di 50 anni. Il valore sarà individuato, allo stato limite di collasso (SLC), relativamente alla categoria di sottosuolo individuata dalle indagini, e topografica, individuata dalla morfologia del sito.

Il valore di peso specifico, del livello sottoposto a verifica e dei livelli posti superficialmente, nonché la profondità del livello di falda, sulla base dei quali il programma calcola, la tensione litostatica verticale totale (S_{vo}) e la tensione litostatica verticale efficace (S_{vo}').

Il programma necessita, riguardo il calcolo della CRR, l'individuazione dei seguenti parametri, determinati nella Relazione, secondo le modalità di seguito descritte.

Il valore di N_{SPT} registrato e la profondità di esecuzione, della prova eseguita nel livello soggetto a verifica a liquefazione, sulla base dei quali il programma calcola apportando i dovuti fattori di correzione, i valori $N_{I(60)}$ e $N_{I(60)cs}$.

La frazione fine FC, individuata come percentuale passante al setaccio 200 ASTM (0.075 mm), nell'analisi granulometrica effettuata sul campione di terreno del livello sottoposto a verifica, sulla base della quale, per $FC > 5\%$, il programma calcola il fattore di correzione per la determinazione di $N_{I(60)cs}$.

I valori dei parametri individuati e immessi nel programma di calcolo, saranno riportati nella Relazione, in un'apposita tabella, saranno poi riportati i risultati dell'analisi a liquefazione effettuata, sulla base dei quali individuare la possibilità di liquefazione del livello analizzato.

Nel caso per il livello analizzato si individuino fattori di sicurezza $F_s > 1,25$, indicanti una suscettibilità a liquefazione, nella Relazione sarà indicata la necessità di svolgere uno studio di Risposta Sismica Locale per il sito indagato.

Allegato 2

UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Ubicazione indagini

Progetto di riqualificazione ex stabilimento militare Guido Reni

Legenda

- HVSR
- MASW
- Prova CPTu
- Sezione geologico-tecnica A-A'
- Sondaggio geognostico



Allegato 3

STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI E SCHEMA PIEZOMETRI

Committente: RINA spa	Sondaggio: SPZ-01
Riferimento: Progetto di riqualificazione ex stabilimento militare Guido Reni	Data: 27.05.2022
Coordinate: Lat. 41.9273660°N Long.12.4673926°E	Quota: 16,0 m s.l.m.
Perforazione: Carotiere semplice diametro 101 mm rivestimento diametro 152 mm	

SCALA 1 :40

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

R v	A r	metri s batt.	LITOLOGIA	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni	Cass.	prof. m	Quota m	Spess. m	DESCRIZIONE
							m	S.P.T.	N Pt						
															Terreno di riporto antropico in matrice sabbioso-ghiaioso-limosa, da asciutto a moderatamente umido, incoerente, poco addensato, di colore grigio chiaro.
		1									0,8	15,2	0,8		Argilla da con limo a limosa, debolmente umida, da molto consistente a dura, da poco a moderatamente plastica, di colore marrone scuro.
				3.0	1.5										
				3.9	1.9										
		2		3.7	1.8										
				3.4	1.7					1					
		3		3.6	1.8										
				>4	>2										
		4		>4	>2										
				>4	>2										
				>4	>2										
		5		>4	>2						5,0	11,0	4,2		

Installato piezometro a tubo aperto alla profondità di 5,0 m

Il Responsabile di sito
Geol. Cecchinelli Paolo

Il Direttore
Geol. Simoncelli Marco

Committente: RINA spa	Sondaggio: SCS-01
Riferimento: Progetto di riqualificazione ex stabilimento militare Guido Reni	Data: 27.05.2022
Coordinate: Lat. 41.927492°N Long.12.467394°E	Quota: 16,0 m s.l.m.
Perforazione: Carotiere semplice diametro 101 mm rivestimento diametro 152 mm	

SCALA 1:100

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

R v	A r	S batt.	metri	LITOLOGIA	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni	Cass.	prof. m	Quota m	Spess. m	DESCRIZIONE
								m	S.P.T.	N Pt						
			1									0,8	15,2	0,8	Terreno di riporto antropico in matrice sabbioso-ghiaioso-limosa, da asciutto a moderatamente umido, incoerente, poco addensato, di colore grigio chiaro.	
			2		4	2									Argilla da con limo a limosa passante verso la base a limo da con argilla ad argilloso e con sabbia, da debolmente umido a saturo (sotto falda), da molto consistente a duro, da poco a moderatamente plastico, di colore marrone scuro.	
			3		>4	>2								1		
			4		>4	>2										
			5		>4	>2										
			6		>4	>2									2	
			7		>4	>2										
			8		>4	>2									3	
			9		4	2										
			10		3	1,5						10,0	6,0	9,2	Sabbia medio fine da limosa a con limo debolmente argillosa, saturo, coerente, poco addensata, di colore da marrone chiaro a grigiastro.	
			11		2,4	1,2									4	
			12													
			13													
			14													
			15												4	
			16									16,0	0,0	6,0		

Installato due piezometri con cella di Casagrande rispettivamente a 8,5 m e a 15,0 m

Il Responsabile di sito
Geol. Cecchinelli Paolo

Il Direttore
Geol. Simoncelli Marco

Committente: RINA spa	Sondaggio: SDH-01
Riferimento: Progetto di riqualificazione ex stabilimento militare Guido Reni	Data: 30-31.05.2022
Coordinate: Lat. 41.927634°N Long.12.467335°E	Quota: 16,0 m s.l.m.
Perforazione: Carotiere semplice diametro 101 mm rivestimento diametro 152 mm	

SCALA 1:100

STRATIGRAFIA

Pagina 2/2

R v	A r	metri batt.	LITOLOGIA	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni	Cass.	prof. m	Quota m	Spess. m	DESCRIZIONE
							m	S.P.T.	N Pt						
		21												Sabbia medio fine da ghiaiosa a con ghiaia e da limosa a con limo, satura, da poco coerente a coerente, moderatamente addensata, di colore grigio scuro. -Da 17,6 a 17,7 m si segnala la presenza di resti lignei.	
		22													
		23					23,5	3-4-4	8	A					Sabbia medio fine da limosa a con limo e con argilla, satura, da poco coerente a coerente, poco addensata, di colore grigio chiaro.
		24													
		25													
		26													
		27													
		28													
		29													
		30													
											30,0	-14,0	8,5		

Installata tubazione per esecuzione prova sismica Down-Hole alla profondità di 30,0 m

Il Responsabile di sito
Geol. Cecchinelli Paolo

Il Direttore
Geol. Simoncelli Marco

Allegato 4

CERTIFICATI LABORATORIO GEOTENICO

geoplanning

SERVIZI PER IL TERRITORIO

Prove Geotecniche di laboratorio

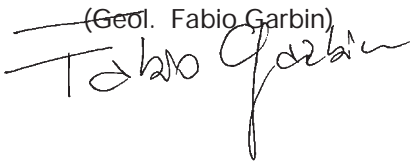
Commessa: 3864
Lavoro: 099/22

Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immobiliare S.r.l.

Cantiere: Progetto di riqualificazione ex stabilimento militare Guido Reni – Città della scienza. Via Guido Reni (Roma)

Documento approvato da:
il Direttore del Laboratorio
(Geol. Fabio Garbin)



AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV
ISO 9001

Laboratorio qualificato
n° 103



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

LABORATORIO AUTORIZZATO
SETTORE A

Prove su terre, di carico su piastra, di densità in sito
Decreto n° 553 del 25 ottobre 2019
ai sensi dell'art. 59 D.P.R. 380/2001, Circolare II.TT. 7618/2010/STC

SIMBOLOGIA

γ	=	peso di volume	(kN/m ³)	W_n	=	contenuto naturale d'acqua	(%)
γ_n	=	peso di volume naturale	(kN/m ³)	W_i	=	contenuto d'acqua iniziale	(%)
γ_{dry}	=	peso di volume secco	(kN/m ³)	W_f	=	contenuto d'acqua finale	(%)
γ_s	=	peso di volume dei grani	(kN/m ³)	W_{LL}	=	contenuto d'acqua al LL	(%)
γ_{sat}	=	peso di volume saturo	(kN/m ³)	W^*	=	contenuto d'acqua	(%)
H_0	=	altezza iniziale	(cm)	n_0	=	porosità iniziale	
H_{dry}	=	altezza del secco	(cm)	e	=	indice dei vuoti	
V_0	=	volume iniziale	(cm ³)	e_0	=	indice dei vuoti iniziale	
a	=	area	(cm ²)	S_r	=	grado di saturazione	(%)
Δh	=	cedimento	(mm)	i	=	gradiente idraulico	
d	=	deformazione	(mm)	i_0	=	gradiente idraulico iniziale	(cm)
ϕ	=	diametro	(mm)	σ_v	=	carico verticale	(kPa)
h	=	ore		σ_3	=	pressione di cella	(kPa)
n	=	porosità		σ'_{cons}	=	tens. effic. media consolidaz.	(kPa)
LL	=	limite liquido	(%)	A	=	indice di attività	
LP	=	limite plastico	(%)	IG	=	indice di gruppo	
IP	=	indice di plasticità	(%)	E'	=	modulo di compressibilità	(kPa)
LR	=	limite di ritiro	(%)	m_v	=	coefficiente di compressibilità	(kPa ⁻¹)
IC	=	indice di consistenza		c_v	=	coefficiente di consolidazione	(cm ² /sec)
IL	=	indice di liquidità		k	=	coefficiente di permeabilità	(m/sec)
I_r	=	Indice di ritiro		Md	=	modulo di deformazione	(N/mm ²)
R_r	=	Rapporto di ritiro		M'd	=	mod. deform. (2° ciclo carico)	(N/mm ²)

PROVE

Lim.	=	Limiti	TxUU*	=	Triassiale UU
Gran.	=	Granulometria	ELL*	=	Espansione Laterale Libera
TD*	=	Taglio Diretto	K	=	Permeabilità
TDRév.*	=	Taglio Diretto reverse	Rig.	=	Rigonfiamento
TDLL*	=	Taglio Diretto al LL	CS*	=	Compressione Semplice
ED	=	Edometrica	Proctor	=	Compattazione
TxCD*	=	Triassiale CD	CBR	=	C.B.R.
TxCU*	=	Triassiale CU	S.Org.	=	Sostanza Organica

N.D. = Non Determinabile

N.C. = Non Calcolabile

N.E. = Non Eseguitabile

M.I.** = Misura Indicativa

 Zone imbibite d'acqua (rammollimenti)

 Livelli limosi

 Livelli sabbiosi

 Livelli argillosi

* I numeri riportati accanto alla prova indicano il relativo provino

** Misura eseguita con strumentazione non tarabile e/o non tarata



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14283/a
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/1

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 1

Profondità di prelievo:
da m 03.50 a m 04.00

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	non dichiarata	Forma del campione:	cilindrica
Tipo di campionatore (dichiarato):	non dichiarato	Diametro della carota ϕ :	85 mm
Contenitore:	fustella cilindrica	Lunghezza della carota:	480 mm
Diametro esterno ϕ del contenitore:	91 mm	Data di prelievo del campione:	--
Lunghezza del contenitore:	500 mm	Classe di Qualità (dichiarata):	non dichiarata
Data di consegna del campione:	01/06/22	Data di apertura del campione:	06/06/22
Data di apertura Commessa:	01/06/22	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22

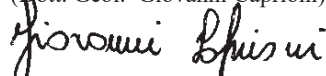
SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET	VANE	PROVE	DESCRIZIONE
	cm	PENETR.	TEST	ESEGUITE	
	ALTO				
10		350		W ₁ ED	Argilla con limo marrone-olivastro, da molto consistente a dura, a struttura nel complesso omogenea, plastica ed inattiva relativamente alle caratteristiche mineralogiche, reattiva ad HCl. Sono presenti concrezioni carbonatiche.
20		460		γ_s Gran. W ₂	
30				Lim. γ_n RC	
40		400		W ₃	
50		450			
60					
70	BASSO				

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità.

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14283/b
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/1

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 1

Profondità di prelievo:
da m 03.50 a m 04.00


CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-1)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	07/06/22
	Determinazione W_1	Determinazione W_2	Determinazione W_3
Peso lordo umido (g)	67,29	84,25	97,88
Peso lordo secco (g)	57,21	69,97	81,59
Tara (g)	21,10	17,45	20,97
Umidità relativa W (%)	27,9	27,2	26,9
UMIDITA' NATURALE MEDIA W_n	27,3	%	DEVIAZIONE STANDARD 0,51

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)

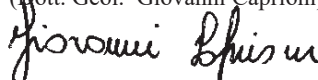
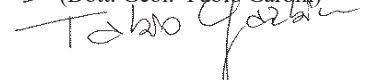

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-2)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22
Peso umido del terreno (g)	397,20	Volume (cm ³)	205,96
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n	18,92	kN/m ³	Determinazione eseguita tramite: fustella tarata

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)




Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: **14283/c**
(foglio 1 di 1)Verbale di Accettazione: **3864/1**Lavoro di laboratorio: **099/22**Sondaggio n° **DH01**Campione n° **1**Profondità di prelievo:
da m **03.50** a m **04.00**

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANI

(UNI CEN ISO 17892-3)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	08/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

Determinazione n° 1	Quantità misurate	Determinazione n° 2
84,79	Tara picnometro (g)	90,29
100,14	Picnometro + campione secco (g)	106,22
220,31	Picnometro + campione + acqua (g)	221,98
27,7	Temperatura di prova (°C)	27,7
210,78	Picnometro + acqua (g)	212,11
25,81	P. di vol. dei grani misurato (kN/m ³)	25,75

PESO DI VOLUME DEI GRANI γ_s	25,78 kN/m ³	DEVIATION STANDARD	0,049
-------------------------------------	--------------------------------	--------------------	--------------

Note: il peso specifico assoluto a 20° C è pari a 25,83 (2,633).

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)
Giovanni Caprioni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin

CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

INDICE DEI VUOTI	e	0,738	GRADO DI SATURAZIONE	S_r	97 %
POROSITA'	n	0,425	PESO DI VOLUME SECCO	γ_{dry}	14,86 kN/m ³
PESO DI VOL. SATURO	γ_{sat}	19,03 kN/m ³	PESO DI VOL. IMMERSO	γ'	9,11 kN/m ³

Note:

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)
Giovanni Caprioni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 1

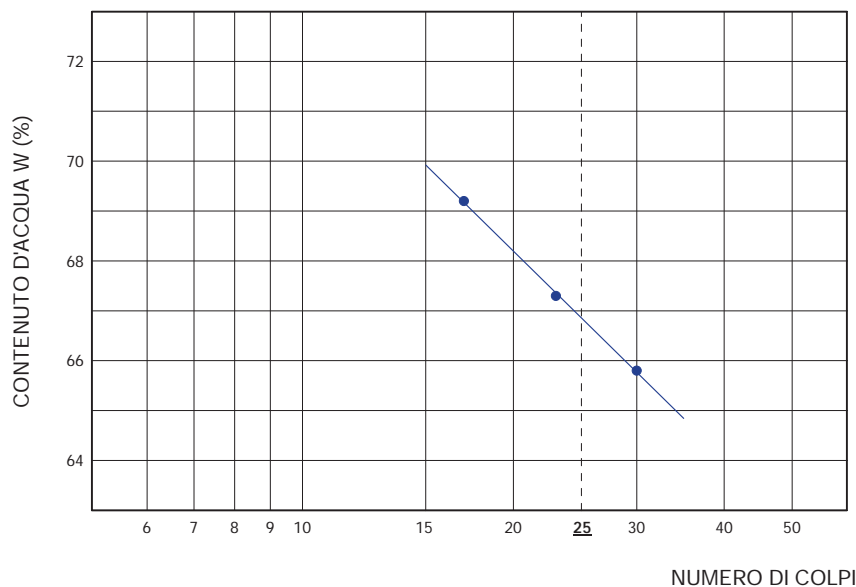
Certificato di prova: 14283/d
(foglio 1 di 1)Verbale di Accettazione: 3864/1
Lavoro di laboratorio: 099/22Profondità di prelievo:
da m 03.50 a m 04.00

CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA

(UNI CEN ISO 17892-12)

Data di inizio prova LL e LP		06/06/22		Data di fine prova LL e LP		13/06/22																	
Data di inizio prova LR		--		Data di fine prova LR		--																	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	67	%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>prova n°</th> <th>colpi n°</th> <th>W %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>17</td><td>69,2</td></tr> <tr><td>2</td><td>23</td><td>67,3</td></tr> <tr><td>3</td><td>30</td><td>65,8</td></tr> <tr><td>4</td><td>--</td><td>--</td></tr> <tr><td>5</td><td>--</td><td>--</td></tr> </tbody> </table>	prova n°	colpi n°	W %	1	17	69,2	2	23	67,3	3	30	65,8	4	--	--	5	--	--	LL
prova n°	colpi n°	W %																					
1	17	69,2																					
2	23	67,3																					
3	30	65,8																					
4	--	--																					
5	--	--																					
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	33	%																				
INDICE DI PLASTICITA'	IP	34	%																				
LIMITE DI RITIRO	LR	--	%																				
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	W _n	27,3	%																				
INDICE DI CONSISTENZA	IC	>1		<table border="1"> <thead> <tr> <th>prova n°</th> <th>Dev. Stand.</th> <th>W %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,35</td><td>32,3</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>32,8</td></tr> </tbody> </table>	prova n°	Dev. Stand.	W %	1	0,35	32,3	2		32,8	LP									
prova n°	Dev. Stand.	W %																					
1	0,35	32,3																					
2		32,8																					
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	<0																					
INDICE DI RITIRO	I _r	--		<table border="1"> <tbody> <tr><td>1</td><td>--</td></tr> <tr><td>2</td><td>--</td></tr> </tbody> </table>	1	--	2	--	LR														
1	--																						
2	--																						
RAPPORTO DI RITIRO	R _r	--																					
INDICE DI ATTIVITA'	A	0,51																					

LIMITE DI LIQUIDITA'



Note:

Roma, 22/06/22

 il Tecnico Sperimentatore
 (Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

 il Direttore del Laboratorio
 (Dott. Geol. Fabio Garbin)

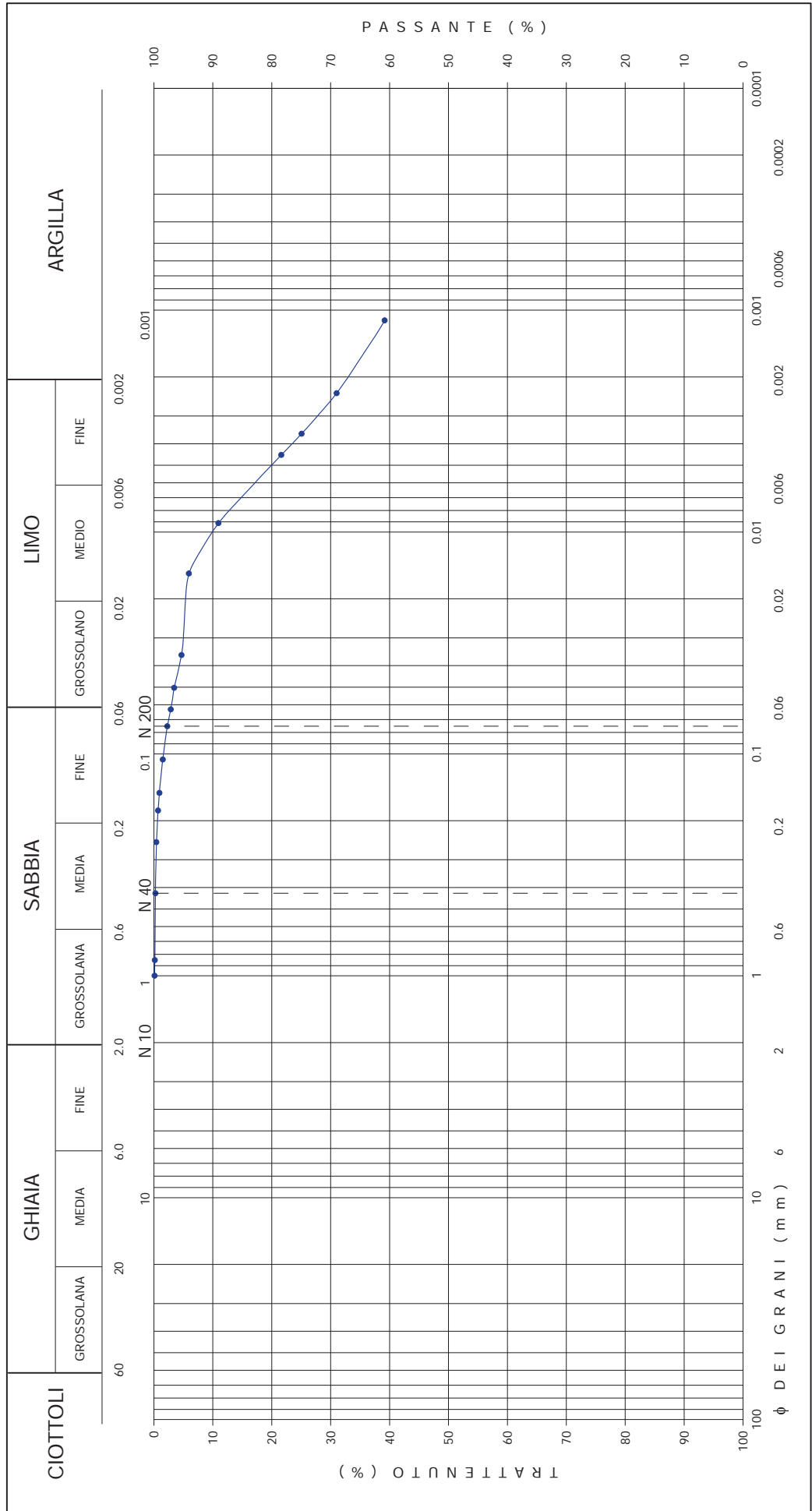


ANALISI GRANULOMETRICA

(UNI CEN ISO 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: ARGILLA CON LIMO DEBOLMENTE SABBIOSA.

GHIAIA > 2 mm	%	SABBIA 0.06 - 2 mm	%	LIMO 0.002 - 0.06 mm	%	ARGILLA < 0.002 mm	%
PASSANTE AI SETACCI N 10 2 mm	0	N 10 2 mm	100	N 40 0.425 mm	30	N 200 0.075 mm	67
					100		98



Note: il diametro del granulo maggiore è di 1 mm circa.



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 1

Certificato di prova: **14283/f**
(foglio 2 di 4)

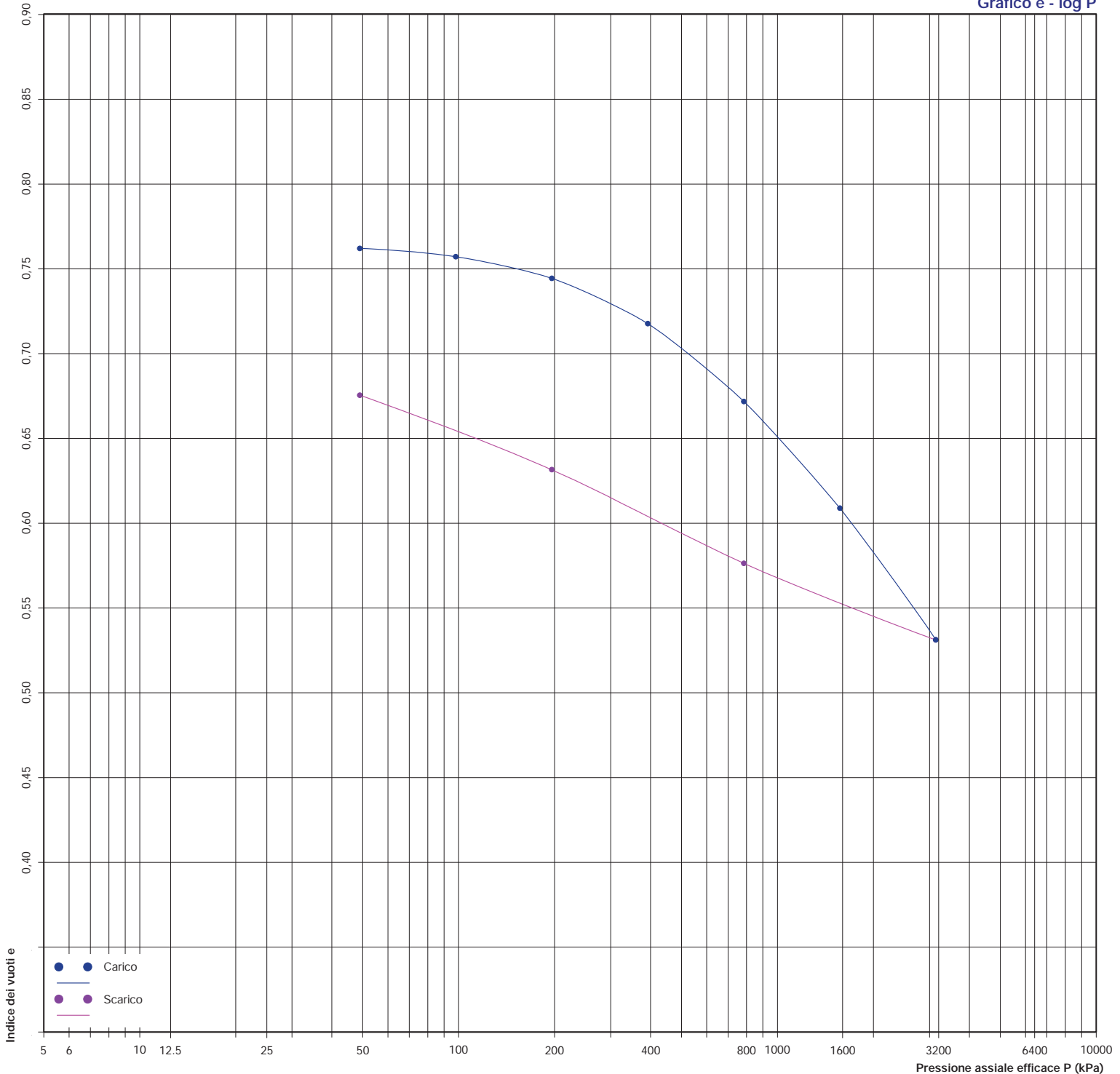
Verbale di Accettazione: **3864/1**
Lavoro di laboratorio: **099/22**

Profondità di prelievo:
da m **03.50** a m **04.00**

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO 17892-5)

Grafico e - log P



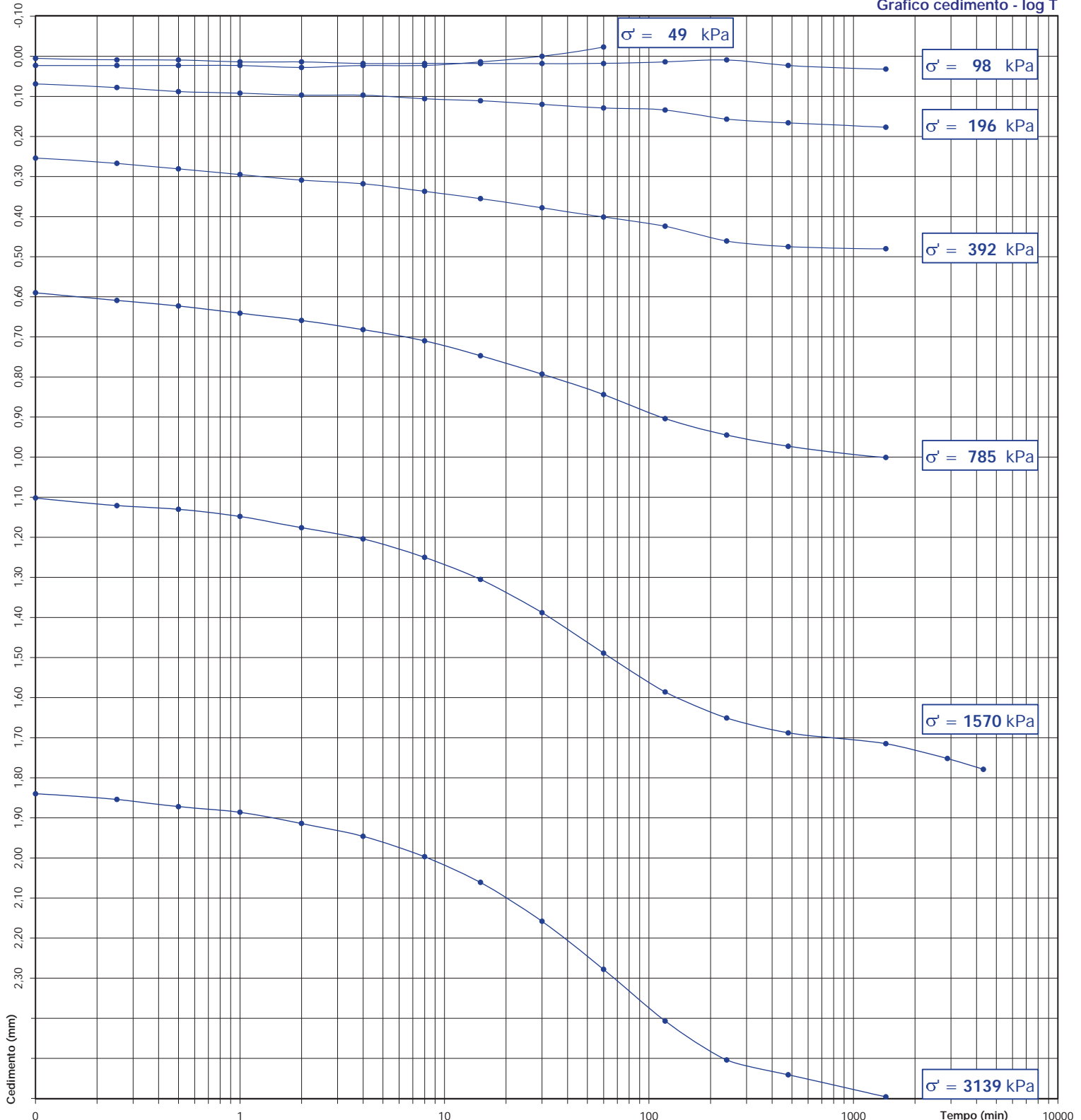
Note:



PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO 17892-5)

Grafico cedimento - log T



Note:



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: **14283/f**
(foglio 4 di 4)Verbale di Accettazione: **3864/1**Lavoro di laboratorio: **099/22**Sondaggio n° **DH01**Campione n° **1**Profondità di prelievo:
da m **03.50** a m **04.00**

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO 17892-5)

MISURAZIONI ACQUISITE

Pressione (kPa)	49	98	196	392	785	1570	3139	785	196	49									
Data (gg/mm)	6/6	6/6	7/6	8/6	9/6	10/6	13/6	14/6	14/6	15/6									
Tempi	Cedimenti (mm)																		
0"	0,000	-0,023	0,023	0,177	0,480	1,001	1,779	2,596	2,084	1,457									
6"	0,023	0,005	0,069	0,254	0,590	1,102	1,840												
15"	0,023	0,009	0,078	0,267	0,609	1,121	1,854												
30"	0,023	0,009	0,088	0,281	0,623	1,130	1,872												
1'	0,023	0,014	0,092	0,295	0,641	1,148	1,886												
2'	0,028	0,014	0,097	0,309	0,659	1,176	1,914												
4'	0,023	0,018	0,097	0,318	0,682	1,204	1,946												
8'	0,023	0,018	0,106	0,337	0,710	1,250	1,997												
15'	0,014	0,018	0,111	0,355	0,747	1,305	2,061												
30'	0,000	0,018	0,120	0,378	0,793	1,388	2,158												
60'	-0,023	0,018	0,129	0,401	0,844	1,489	2,278												
120'		0,014	0,134	0,424	0,904	1,586	2,407												
240'		0,009	0,157	0,461	0,945	1,651	2,504												
480'		0,023	0,166	0,475	0,973	1,688	2,541												
1440'		0,032	0,177	0,480	1,001	1,715	2,596	2,084	1,457	0,959									
2880'							1,752												
4320'							1,779												

Note: in corrispondenza di 49 kPa si sono verificati dei rigonfiamenti: pertanto dopo 60 minuti (1 ora) dall'imposizione della pressione, si è provveduto a passare allo step di carico successivo. Le deformazioni ottenute durante la fase di scarico e relative a tutti i carichi sono state registrate dopo 12 ore (720') dall'imposizione delle pressioni.



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 1

 Certificato di prova: 14283/g
 (foglio 1 di 2)

Verbale di Accettazione: 3864/1

Lavoro di laboratorio: 099/22

 Profondità di prelievo:
 da m 03.50 a m 04.00

PROVA DI COLONNA RISONANTE

(A.S.T.M. D4015)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	14/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

Diametro	ϕ	20,292	cm	Peso di volume dei grani	γ_s	25,78	kN/m ³
Altezza iniziale	H_0	10,150	cm	Grado di saturazione	S_r	99	%
Area	a	20,292	cm ²	Peso di volume saturo	γ_{sat}	18,96	kN/m ³
Volume iniziale	V_0	205,964	cm ³	Peso di volume secco	γ_{dry}	14,75	kN/m ³
Contenuto d'acqua iniziale	W_i	28,3	%	Porosità iniziale	n_0	0,429	
Peso di volume	γ	18,92	kN/m ³	Indice dei vuoti iniziale	e_0	0,752	

FASE DI SATURAZIONE

Pressione di cella	σ_3	330	kPa	Pressione dei pori	U	291,30	kPa
Back pressure	BP	230	kPa	Coefficiente B di Skempton		0,88	

FASE DI CONSOLIDAZIONE

Pressione di cella	σ_3	580	kPa	Pressione efficace	σ'	350	kPa
Back pressure	BP	230	kPa	Volume finale	V_c	203,711	cm ³

MODALITA' DI PROVA

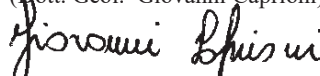
Campo deformativo esplorato	0,00017-0,0891	%	Tipo di eccitazione	torsionale
Onda eccitativa	sinusoidale		Campo frequenze di eccitazione	68 - 95 Hz

DATI DI PROVA

Valori misurati				Valori misurati				Valori normalizzati		Valori normalizzati		Legenda
γ_{sa} %	G MPa	D %	U kPa	γ_{sa} %	G MPa	D %	U kPa	G/G_{max}	$\Delta U/\sigma'$	G/G_{max}	$\Delta U/\sigma'$	
0,0002	80,799	3,21	240,8	0,0475	63,435	4,39	245,5	1,000	0,000	0,785	0,013	Deformazione di taglio in singola ampiezza
0,0015	80,208	3,35	240,8	0,0515	61,736	4,456	247,1	0,993	0,000	0,764	0,018	
0,0031	80,19	3,34	240,8	0,0608	58,980	4,705	250,9	0,992	0,000	0,730	0,029	
0,0060	79,6	3,36	240,8	0,0675	56,520	4,966	254,7	0,985	0,000	0,700	0,040	
0,0145	77,185	3,42	241	0,0705	55,218	5,228	256,8	0,955	0,001	0,683	0,046	G
0,0223	74,27	3,49	241,1	0,0733	54,224	5,479	259	0,919	0,001	0,671	0,052	Modulo di taglio
0,0296	71,289	3,80	241,6	0,0761	53,102	5,861	261,3	0,882	0,002	0,657	0,059	
0,0346	69,243	3,90	242	0,0789	52,129	6,705	263,5	0,857	0,003	0,645	0,065	D
0,0390	66,52	4,18	243,2	0,0818	50,651	9,114	266	0,823	0,007	0,627	0,072	Rapporto di smorzamento di taglio
0,0430	65,039	4,19	244,2	0,0891	45,093	9,981	269,3	0,805	0,010	0,558	0,081	

Roma, 22/06/22

 il Tecnico Sperimentatore
 (Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



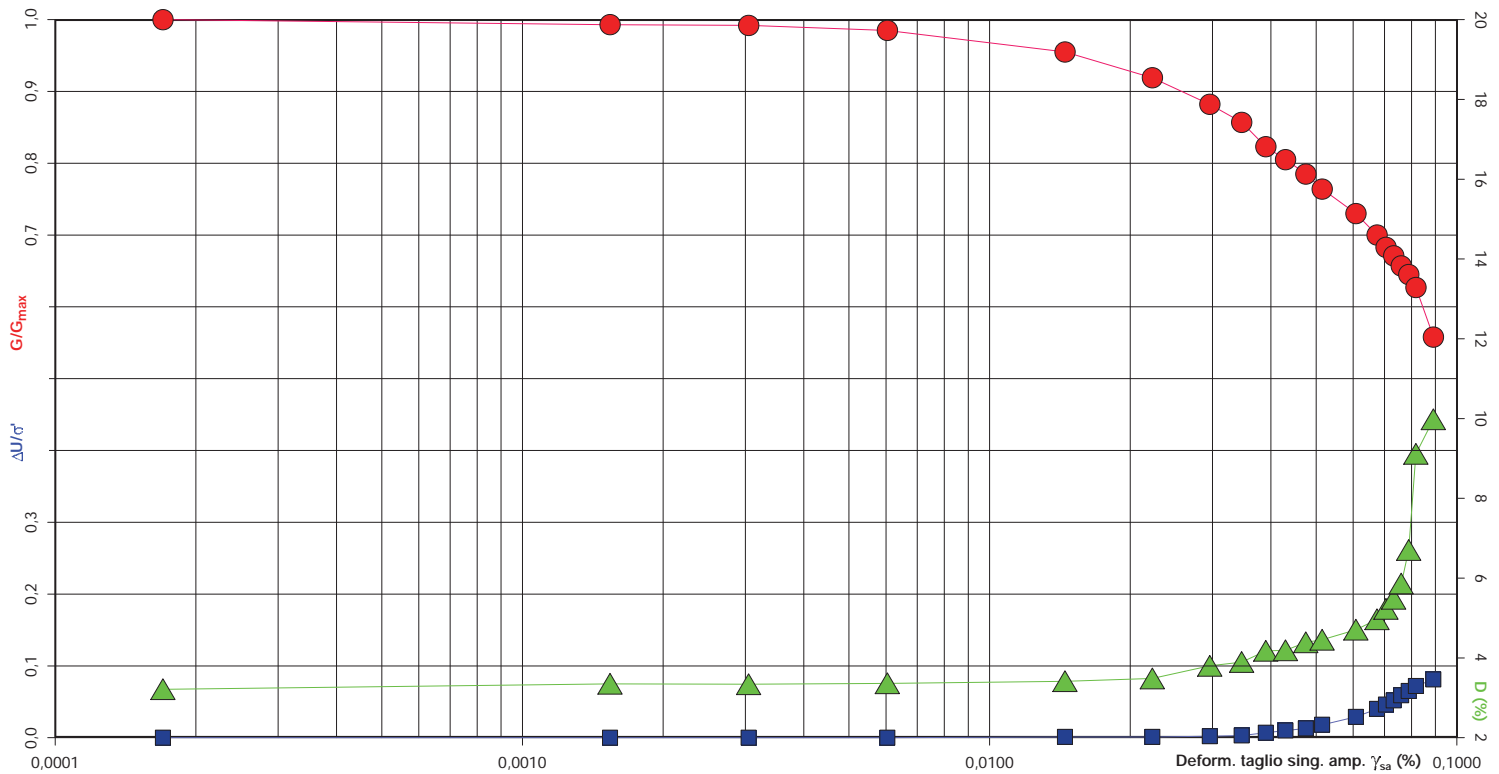
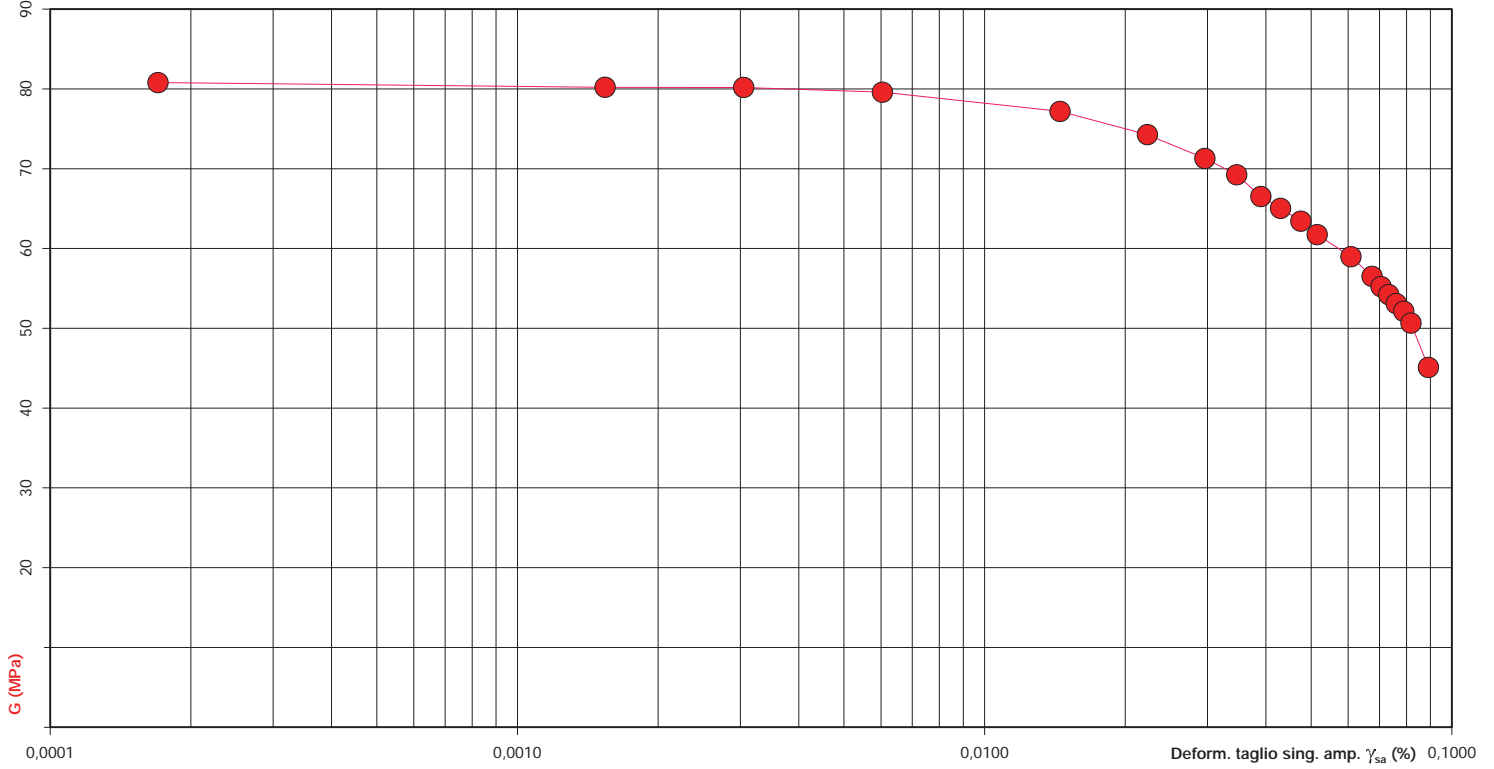
 il Direttore del Laboratorio
 (Dott. Geol. Fabio Garbin)





PROVA DI COLONNA RISONANTE

(A.S.T.M. D4015)



Note:



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14284/a
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/2

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 2

Profondità di prelievo:
da m 09.20 a m 09.70

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	non dichiarata	Forma del campione:	cilindrica
Tipo di campionatore (dichiarato):	non dichiarato	Diametro della carota ϕ :	85 mm
Contenitore:	fustella cilindrica	Lunghezza della carota:	530 mm
Diametro esterno ϕ del contenitore:	90 mm	Data di prelievo del campione:	--
Lunghezza del contenitore:	535 mm	Classe di Qualità (dichiarata):	non dichiarata
Data di consegna del campione:	01/06/22	Data di apertura del campione:	06/06/22
Data di apertura Commessa:	01/06/22	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22

SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET PENETR.	VANE TEST	PROVE ESEGUITE	DESCRIZIONE
	cm	kPa (M.I.)	kPa (M.I.)		
ALTO	10	200		W ₁ TxUU1	Limo con argilla grigio-olivastro scuro con qualche screziatura nerastra, da consistente a molto consistente, a struttura nel complesso omogenea, plastico ed inattivo relativamente alle caratteristiche mineralogiche, reattivo ad HCl.
20	210	110	γ_s Lim. γ_n Gran.	W ₂ TxUU2	
40	110		W ₃	TxUU3	
50	220				
BASSO	70				

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità. Sono stati eseguiti pocket penetrometer test trasversalmente alla carota a 29 cm circa dall'alto, che hanno evidenziato valori di resistenza (nell'ordine dall'esterno verso l'interno) di 210, 220 e 230 kPa.

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)
Giovanni Caprioni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14284/b
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/2

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 2

Profondità di prelievo:
da m 09.20 a m 09.70

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-1)

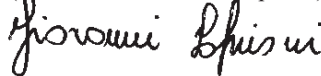
Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	07/06/22
	Determinazione W_1	Determinazione W_2	Determinazione W_3
Peso lordo umido (g)	65,14	61,52	67,88
Peso lordo secco (g)	56,80	53,93	58,90
Tara (g)	20,50	20,92	20,14
Umidità relativa W (%)	23,0	23,0	23,2
UMIDITA' NATURALE MEDIA W_n	23,1	%	
		DEVIAZIONE STANDARD	0,12

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)



PESO DELL'UNITA' DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-2)

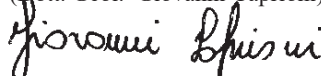
Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22
Peso umido del terreno (g)	172,65	Volume (cm ³)	85,42
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n	19,83	kN/m ³	Determinazione eseguita tramite: fustella tarata

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: **14284/c**
(foglio 1 di 1)Verbale di Accettazione: **3864/2**Lavoro di laboratorio: **099/22**Sondaggio n° **DH01**Campione n° **2**Profondità di prelievo:
da m **09.20** a m **09.70**

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANI

(UNI CEN ISO 17892-3)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	08/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

Determinazione n° 1	Quantità misurate	Determinazione n° 2
82,85	Tara picnometro (g)	87,13
98,25	Picnometro + campione secco (g)	103,23
214,83	Picnometro + campione + acqua (g)	218,70
27,7	Temperatura di prova (°C)	27,7
205,21	Picnometro + acqua (g)	208,66
26,09	P. di vol. dei grani misurato (kN/m ³)	26,03


PESO DI VOLUME DEI GRANI γ_s	26,06 kN/m ³	DEVIATIONE STANDARD	0,040
-------------------------------------	--------------------------------	---------------------	--------------

Note: il peso specifico assoluto a 20° C è pari a 26,1 (2,661).

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)



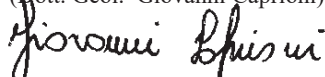
CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

INDICE DEI VUOTI	e	0,621	GRADO DI SATURAZIONE	S_r	99 %
POROSITA'	n	0,383	PESO DI VOLUME SECCO	γ_{dry}	16,11 kN/m ³
PESO DI VOL. SATURO	γ_{sat}	19,82 kN/m ³	PESO DI VOL. IMMERSO	γ'	10,02 kN/m ³

Note:

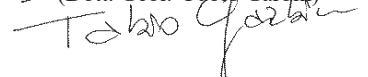
il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 2

 Certificato di prova: **14284/d**
 (foglio 1 di 1)

 Verbale di Accettazione: **3864/2**
 Lavoro di laboratorio: **099/22**

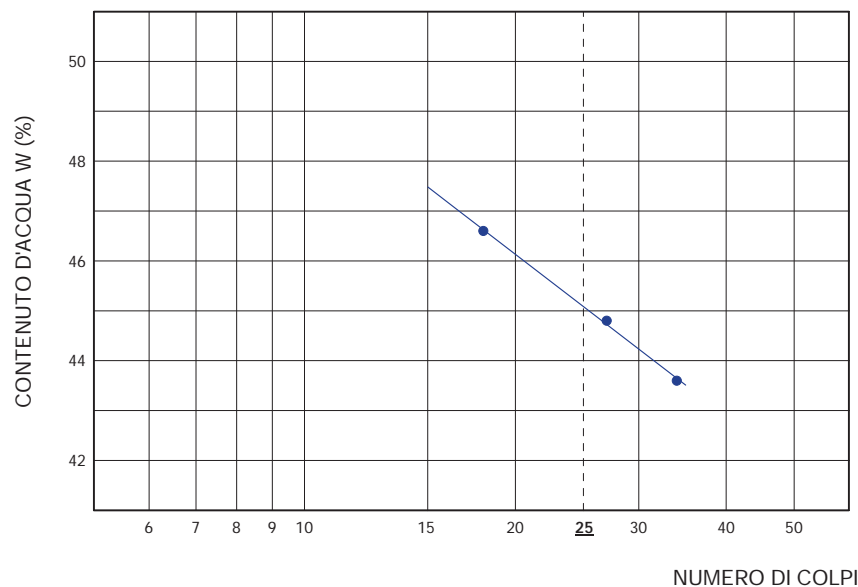
 Profondità di prelievo:
 da m **09.20** a m **09.70**

CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA

(UNI CEN ISO 17892-12)

Data di inizio prova LL e LP		06/06/22	Data di fine prova LL e LP		14/06/22
Data di inizio prova LR		--	Data di fine prova LR		--
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	45 %	prova n°	colpi n°	W %
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	23 %	1	18	46,6
INDICE DI PLASTICITA'	IP	22 %	2	27	44,8
LIMITE DI RITIRO	LR	-- %	3	34	43,6
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	W _n	23,1 %	4	--	--
INDICE DI CONSISTENZA	IC	1,00	5	--	--
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	0,00	1	Dev. Stand. 0,21	22,5
INDICE DI RITIRO	I _r	--	2		22,8
RAPPORTO DI RITIRO	R _r	--	1		--
INDICE DI ATTIVITA'	A	0,51	2		--

LIMITE DI LIQUIDITA'



Note:

Roma, 22/06/22

 il Tecnico Sperimentatore
 (Dott. Geol. Giovanni Capriani)
Giovanni Capriani

 il Direttore del Laboratorio
 (Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14284/f
(foglio 1 di 4)

Verbale di Accettazione: 3864/2

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 2

Profondità di prelievo:
da m 09.20 a m 09.70

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE (UU)

(UNI CEN ISO 17892-8)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	10/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

CARATTERISTICHE INIZIALI DEI PROVINI

Provino		1	2	3
Altezza	cm	7,458	7,609	7,378
Diametro	cm	3,831	3,799	3,806
Volume	cm ³	86,013	86,295	83,939
Peso di volume	kN/m ³	19,72	20,05	19,71
Contenuto d'acqua	%	23,3	23,4	22,9
Peso di volume dei grani	kN/m ³	26,06	26,06	26,06
Indice dei vuoti		0,632	0,606	0,628
Grado di saturazione	%	98	103	97

FASE DI TAGLIO

Provino		1	2	3
Velocità di deformazione	mm/min	0,9896	0,9896	0,9896
Pressione di cella totale	kPa	226	324	422
Pressione interstiziale iniziale	kPa	--	--	--
Back pressure	kPa	--	--	--
Contenuto finale d'acqua	%	24,1	23,4	23,0

NOTE

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

Giovanni Caproni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)

Fabio Garbin



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 2

Certificato di prova:
(foglio 2 di 4)

14284/f

Verbale di Accettazione:

3864/2

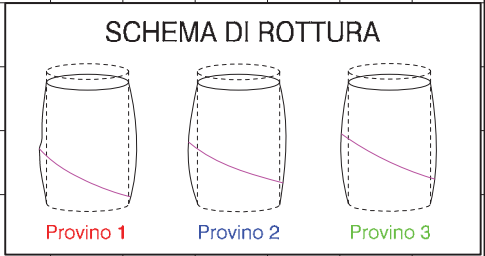
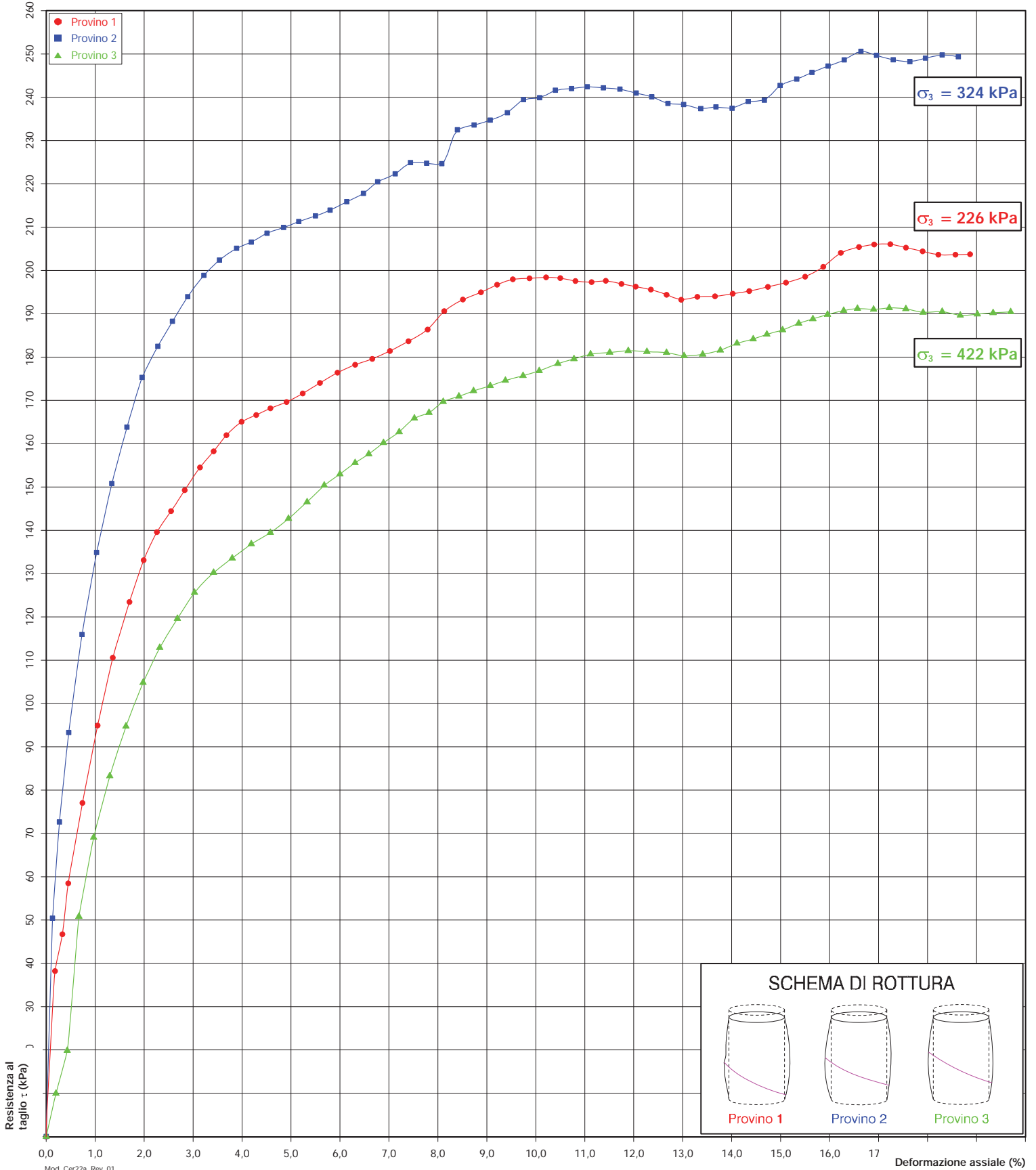
Lavoro di laboratorio:

099/22

Profondità di prelievo:
da m 09.20 a m 09.70

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE (UU)

(UNI CEN ISO 17892-8)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14284/f
(foglio 3 di 4)

Verbale di Accettazione: 3864/2

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 2

Profondità di prelievo:
da m 09.20 a m 09.70

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE (UU)

(UNI CEN ISO 17892-8)

MISURAZIONI ACQUISITE

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Deformazione assiale (%)	Pressione interstiziale (kPa)	Tensione deviatorica (kPa)	Deformazione assiale (%)	Pressione interstiziale (kPa)	Tensione deviatorica (kPa)	Deformazione assiale (%)	Pressione interstiziale (kPa)	Tensione deviatorica (kPa)
0,00		0	0,00		0	0,00		0
0,18		38	0,13		50	0,20		10
0,33		47	0,27		73	0,43		20
0,45		58	0,46		93	0,67		51
0,74		77	0,73		116	0,97		69
1,05		95	1,03		135	1,30		83
1,36		111	1,34		151	1,63		95
1,70		123	1,65		164	1,98		105
1,99		133	1,96		175	2,32		113
2,26		140	2,28		182	2,68		120
2,55		144	2,58		188	3,03		126
2,83		149	2,89		194	3,42		130
3,14		155	3,22		199	3,80		134
3,42		158	3,54		202	4,19		137
3,68		162	3,89		205	4,58		139
3,99		165	4,19		207	4,95		143
4,29		167	4,51		209	5,33		147
4,58		168	4,85		210	5,68		150
4,91		170	5,16		211	6,00		153
5,24		172	5,50		213	6,31		156
5,59		174	5,80		214	6,59		158
5,95		176	6,14		216	6,89		160
6,31		178	6,48		218	7,21		163
6,66		180	6,77		220	7,52		166
7,02		181	7,13		222	7,82		167
7,40		184	7,44		225	8,11		170
7,79		186	7,77		225	8,43		171
8,13		191	8,08		225	8,73		172
8,51		193	8,40		232	9,07		173
8,88		195	8,74		234	9,38		175



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14284/f
(foglio 4 di 4)

Verbale di Accettazione: 3864/2

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 2

Profondità di prelievo:
da m 09.20 a m 09.70

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE (UU)

(UNI CEN ISO 17892-8)

MISURAZIONI ACQUISITE

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Deformazione assiale (%)	Pressione interstiziale (kPa)	Tensione deviatorica (kPa)	Deformazione assiale (%)	Pressione interstiziale (kPa)	Tensione deviatorica (kPa)	Deformazione assiale (%)	Pressione interstiziale (kPa)	Tensione deviatorica (kPa)
9,21		197	9,07		235	9,74		176
9,53		198	9,42		236	10,07		177
9,87		198	9,75		239	10,45		178
10,21		198	10,08		240	10,78		180
10,50		198	10,40		242	11,12		181
10,81		198	10,73		242	11,51		181
11,14		197	11,05		242	11,89		181
11,43		198	11,38		242	12,27		181
11,75		197	11,72		242	12,67		181
12,04		196	12,05		241	13,03		180
12,35		196	12,37		240	13,41		181
12,67		194	12,70		239	13,77		182
12,97		193	13,02		238	14,11		183
13,30		194	13,37		237	14,44		184
13,66		194	13,68		238	14,72		185
14,02		195	14,01		237	15,04		186
14,36		195	14,34		239	15,37		188
14,74		196	14,67		239	15,66		189
15,11		197	14,99		243	15,96		190
15,50		199	15,33		244	16,29		191
15,87		201	15,64		246	16,57		191
16,23		204	15,97		247	16,90		191
16,60		205	16,30		249	17,22		191
16,91		206	16,64		251	17,56		191
17,24		206	16,96		250	17,91		190
17,56		205	17,30		249	18,30		191
17,90		204	17,64		248	18,67		190
18,22		204	17,96		249	19,02		190
18,57		204	18,30		250	19,34		190
18,87		204	18,63		249	19,70		190



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14285/a
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/3

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01




Campione n° 3

Profondità di prelievo:
da m 15.00 a m 15.50

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	non dichiarata	Forma del campione:	cilindrica
Tipo di campionatore (dichiarato):	non dichiarato	Diametro della carota ϕ :	85 mm
Contenitore:	fustella cilindrica	Lunghezza della carota:	470 mm
Diametro esterno ϕ del contenitore:	89 mm	Data di prelievo del campione:	--
Lunghezza del contenitore:	490 mm	Classe di Qualità (dichiarata):	non dichiarata
Data di consegna del campione:	01/06/22	Data di apertura del campione:	06/06/22
Data di apertura Commessa:	01/06/22	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22

SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET PENETR.	VANE TEST	PROVE ESEGUITE	DESCRIZIONE
	cm	kPa (M.I.)	kPa (M.I.)		
ALTO				W_1  TD1 γ_n  TD2 γ_s  TD3 W_2 Lim. W_3	Sabbia con limo argillosa grigio scuro-nerastro, a struttura caotica con presenza di irregolari zone aventi tenori più alti o più bassi della frazione sabbiosa, non plastica relativamente alle caratteristiche mineralogiche, reattiva ad HCl.
10		N.D.	N.D.		
20					
30					
40					
50					
60					
70	BASSO				

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità.

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)
Giovanni Caprioni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14285/b
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/3

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 3

Profondità di prelievo:
da m 15.00 a m 15.50

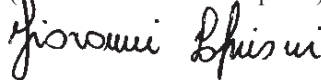
CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-1)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	07/06/22
	Determinazione W_1	Determinazione W_2	Determinazione W_3
Peso lordo umido (g)	73,61	63,66	104,73
Peso lordo secco (g)	59,98	53,25	83,67
Tara (g)	17,91	21,08	21,13
Umidità relativa W (%)	32,4	32,4	33,7
UMIDITA' NATURALE MEDIA W_n	32,8	%	DEVIAZIONE STANDARD 0,75

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)

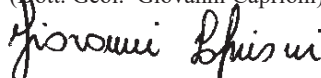

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-2)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22
Peso umido del terreno (g)	138,13	Volume (cm ³)	72,82
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n	18,61	kN/m ³	Determinazione eseguita tramite: fustella tarata

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)




Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: **14285/c**
(foglio 1 di 1)Verbale di Accettazione: **3864/3**Lavoro di laboratorio: **099/22**Sondaggio n° **DH01**Campione n° **3**Profondità di prelievo:
da m **15.00** a m **15.50**

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANI

(UNI CEN ISO 17892-3)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	08/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

Determinazione n° 1	Quantità misurate	Determinazione n° 2
90,56	Tara picnometro (g)	84,91
106,48	Picnometro + campione secco (g)	100,95
222,62	Picnometro + campione + acqua (g)	212,90
27,7	Temperatura di prova (°C)	27,7
212,54	Picnometro + acqua (g)	202,72
26,70	P. di vol. dei grani misurato (kN/m ³)	26,81

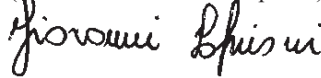
PESO DI VOLUME DEI GRANI γ_s	26,75 kN/m ³	DEVIATION STANDARD	0,078
-------------------------------------	--------------------------------	--------------------	--------------

Note: il peso specifico assoluto a 20° C è pari a 26,8 (2,732).

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)



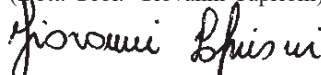
CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

INDICE DEI VUOTI	e	0,913	GRADO DI SATURAZIONE	S_r	98 %
POROSITA'	n	0,477	PESO DI VOLUME SECCO	γ_{dry}	14,01 kN/m ³
PESO DI VOL. SATURO	γ_{sat}	18,74 kN/m ³	PESO DI VOL. IMMERSO	γ'	8,80 kN/m ³

Note:

il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 3

 Certificato di prova: 14285/d
 (foglio 1 di 1)

 Verbale di Accettazione: 3864/3
 Lavoro di laboratorio: 099/22

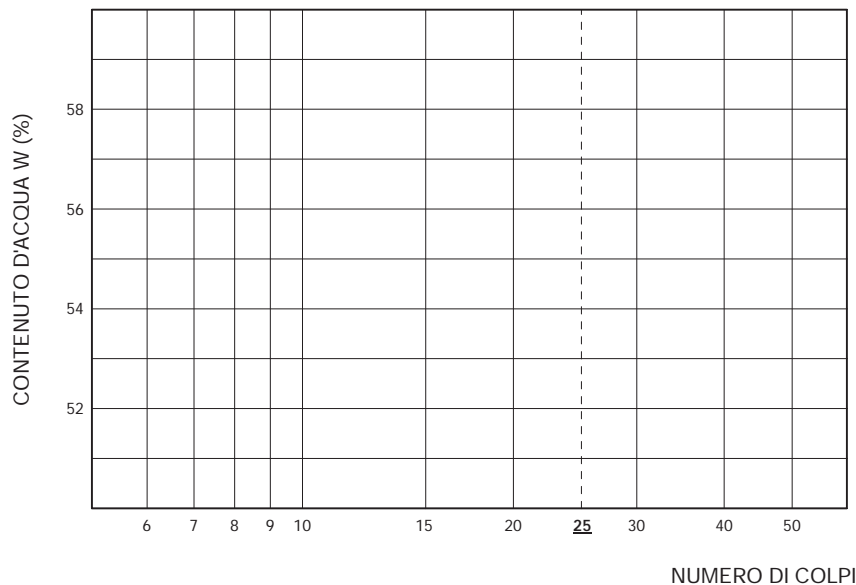
 Profondità di prelievo:
 da m 15.00 a m 15.50

CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA

(UNI CEN ISO 17892-12)

Data di inizio prova LL e LP		06/06/22		Data di fine prova LL e LP		06/06/22	
Data di inizio prova LR		--		Data di fine prova LR		--	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	N.D.	%	prova n°	colpi n°	W %	LL
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	N.D.	%	1	--	--	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	N.C.	%	2	--	--	
LIMITE DI RITIRO	LR	--	%	3	--	--	
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	W _n	32,8	%	4	--	--	
INDICE DI CONSISTENZA	IC	N.C.		5	--	--	LP
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	N.C.		1		--	
INDICE DI RITIRO	I _r	--		2		--	
RAPPORTO DI RITIRO	R _r	--		1		--	LR
INDICE DI ATTIVITA'	A	N.C.		2		--	

LIMITE DI LIQUIDITA'



Note:

Roma, 22/06/22

 il Tecnico Sperimentatore
 (Dott. Geol. Giovanni Caproni)

 il Direttore del Laboratorio
 (Dott. Geol. Fabio Garbin)

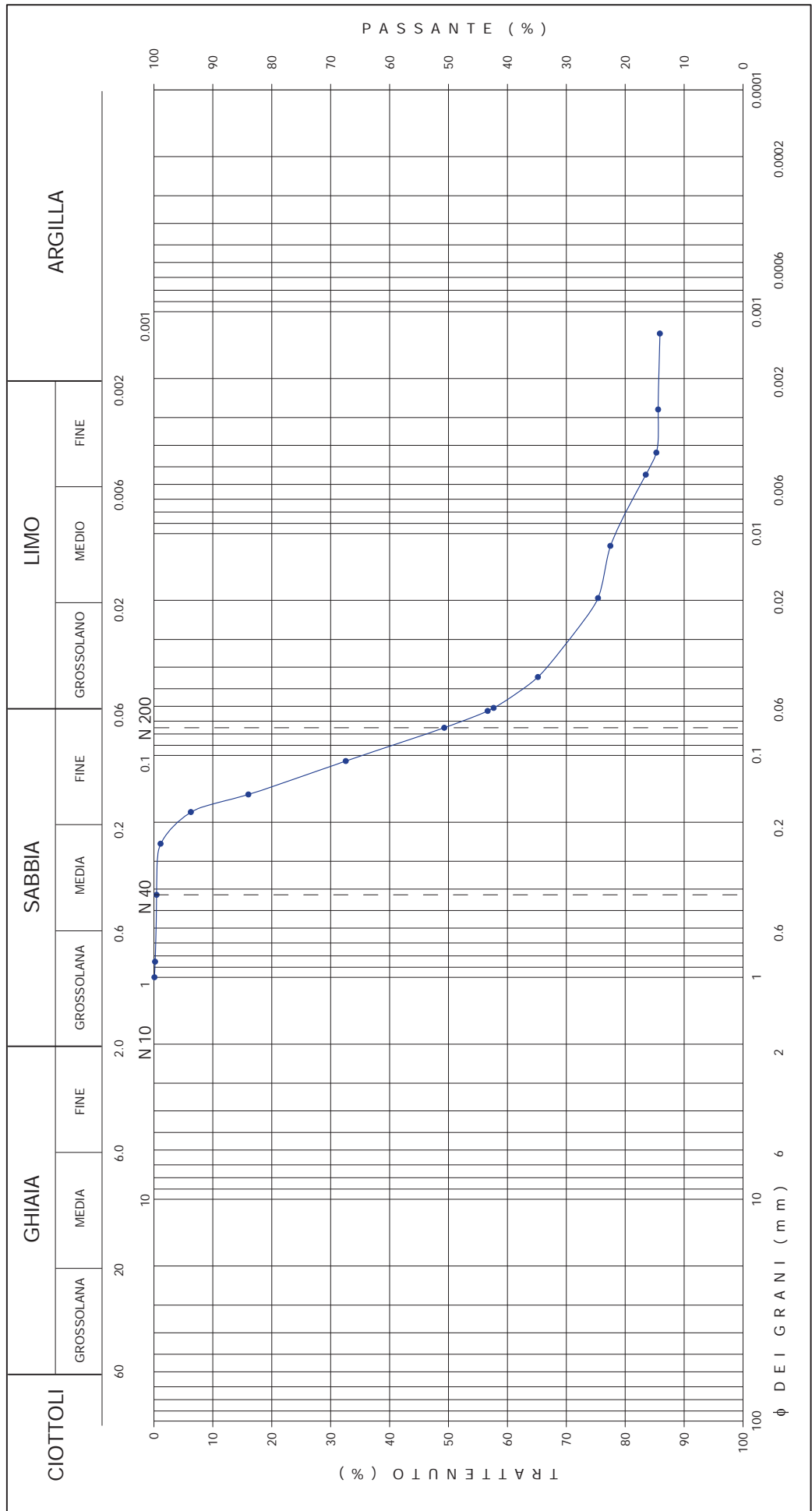


ANALISI GRANULOMETRICA

(UNI CEN ISO 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: **SABBIA CON LIMO ARGILLOSA.**

GHIAIA		SABBIA		LIMO		ARGILLA	
> 2 mm	%	0,06 - 2 mm	%	0,002 - 0,06 mm	%	< 0,002 mm	%
0	0	58	58	28	28	14	14
PASSANTE AI SETACCI		N 10 2 mm	100	N 40 0,425 mm	100	N 200 0,075 mm	51



Note: il diametro del granulo maggiore è minore di 1 mm.



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14285/f
(foglio 1 di 4)

Verbale di Accettazione: 3864/3

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 3

Profondità di prelievo:
da m 15.00 a m 15.50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO 17892-10)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	08/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

CARATTERISTICHE INIZIALI DEI PROVINI

Provino		1	2	3
Altezza	cm	2,012	2,008	1,997
Lato	cm	6,021	6,021	6,034
Volume	cm ³	72,94	72,80	72,71
Peso di volume	kN/m ³	18,48	18,67	18,67
Contenuto d'acqua	%	31,8	34,3	37,2
Peso di volume dei grani	kN/m ³	26,75	26,75	26,75
Indice dei vuoti		0,911	0,928	0,969
Grado di saturazione	%	95	101	105

FASE DI CONSOLIDAZIONE

Provino		1	2	3
Carico verticale efficace	kPa	98	196	294
Durata	h	24	24	24
Cedimento	mm	1,40	2,12	2,37

FASE DI TAGLIO

Provino		1	2	3
Velocità di deformazione	mm/min	0,0125	0,0125	0,0125
Carico verticale efficace	kPa	98	196	294
Contenuto finale d'acqua	%	28,6	33,7	26,1

NOTE

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

Giovanni Caproni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)

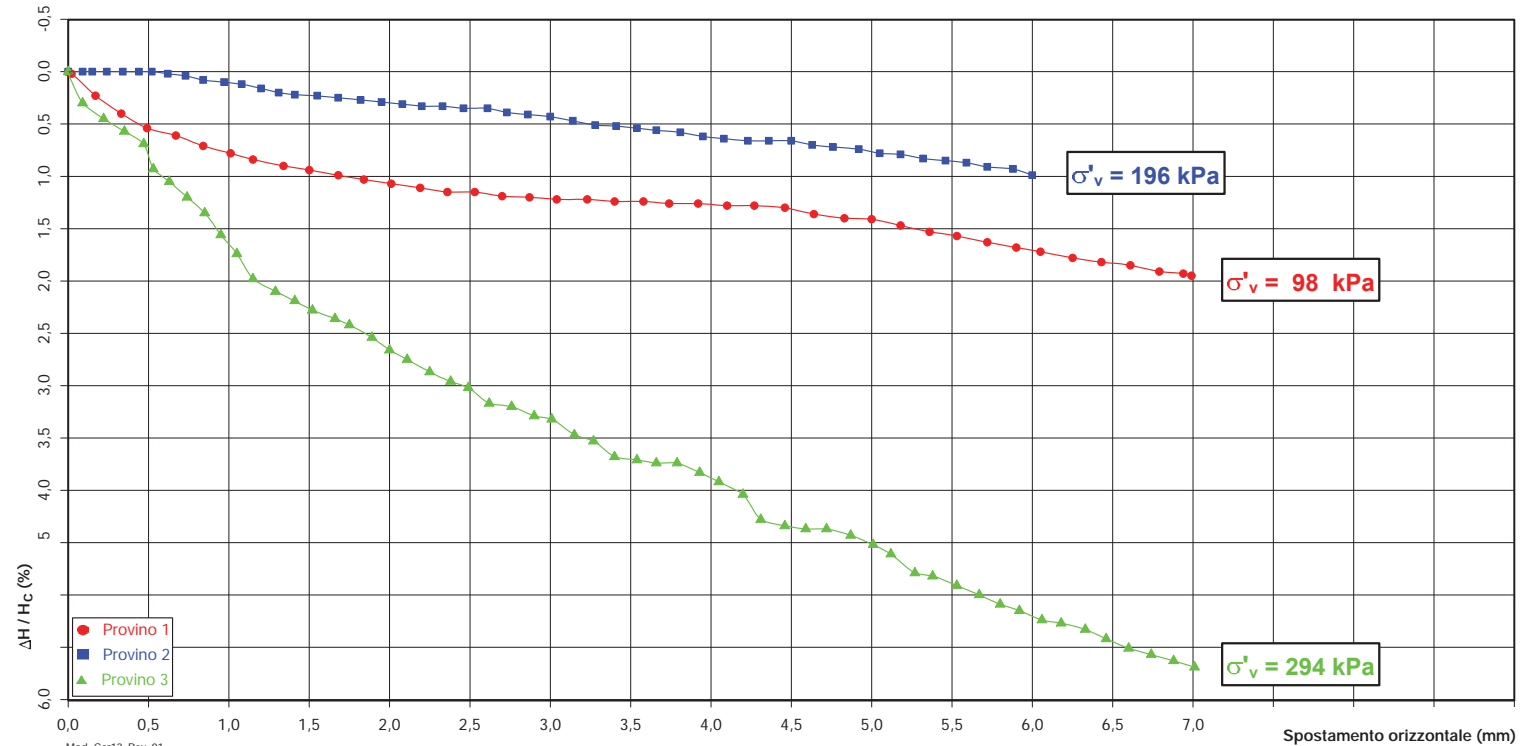
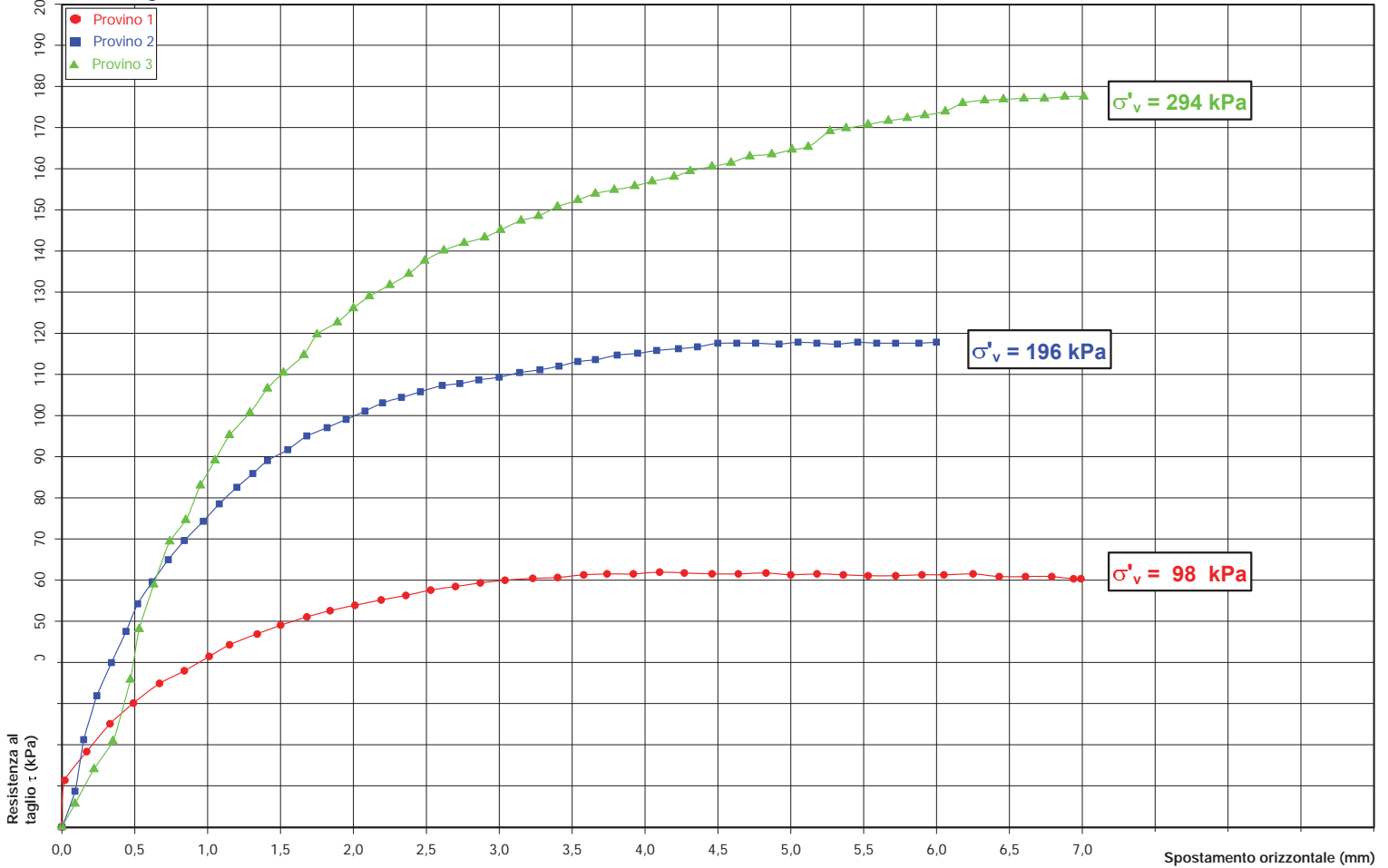
Fabio Garbin



PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO 17892-10)

Fase di taglio





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14285/f
(foglio 3 di 4)

Verbale di Accettazione: 3864/3

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 3

Profondità di prelievo:
da m 15.00 a m 15.50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO 17892-10)

MISURAZIONI ACQUISITE

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)
0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
0,02	0,02	11	0,09	0,00	9	0,09	0,30	6
0,17	0,23	18	0,15	0,00	21	0,22	0,45	14
0,33	0,40	25	0,24	0,00	32	0,35	0,57	21
0,49	0,54	30	0,34	0,00	40	0,47	0,69	36
0,67	0,61	35	0,44	0,00	48	0,53	0,93	48
0,84	0,71	38	0,52	0,00	54	0,63	1,05	59
1,01	0,78	41	0,62	0,02	60	0,74	1,20	69
1,15	0,84	44	0,73	0,04	65	0,85	1,35	75
1,34	0,90	47	0,84	0,08	70	0,95	1,56	83
1,50	0,94	49	0,97	0,10	74	1,05	1,74	89
1,68	0,99	51	1,08	0,12	79	1,15	1,98	95
1,84	1,03	53	1,20	0,16	83	1,29	2,10	101
2,01	1,07	54	1,31	0,20	86	1,41	2,19	107
2,19	1,11	55	1,41	0,22	89	1,52	2,28	110
2,36	1,15	56	1,55	0,23	92	1,66	2,36	115
2,53	1,15	58	1,68	0,25	95	1,75	2,42	120
2,70	1,19	58	1,82	0,27	97	1,89	2,54	123
2,87	1,20	59	1,95	0,29	99	2,00	2,66	126
3,04	1,22	60	2,08	0,31	101	2,11	2,75	129
3,23	1,22	60	2,20	0,33	103	2,25	2,87	132
3,40	1,24	61	2,33	0,33	104	2,38	2,96	134
3,58	1,24	61	2,46	0,35	106	2,49	3,02	138
3,74	1,26	62	2,61	0,35	107	2,62	3,17	140
3,92	1,26	62	2,73	0,39	108	2,76	3,20	142
4,10	1,28	62	2,86	0,41	109	2,90	3,29	143
4,27	1,28	62	3,00	0,43	109	3,01	3,32	145
4,46	1,30	62	3,14	0,47	110	3,15	3,47	147
4,64	1,36	62	3,28	0,51	111	3,27	3,53	149
4,83	1,40	62	3,41	0,52	112	3,40	3,68	151



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14286/a
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/4

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 4

Profondità di prelievo:
da m 20.50 a m 21.00

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	non dichiarata	Forma del campione:	cilindrica
Tipo di campionatore (dichiarato):	non dichiarato	Diametro della carota ϕ :	85 mm
Contenitore:	fustella cilindrica	Lunghezza della carota:	450 mm
Diametro esterno ϕ del contenitore:	92 mm	Data di prelievo del campione:	--
Lunghezza del contenitore:	460 mm	Classe di Qualità (dichiarata):	non dichiarata
Data di consegna del campione:	01/06/22	Data di apertura del campione:	06/06/22
Data di apertura Commessa:	01/06/22	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22

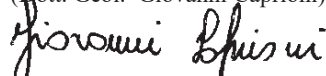
SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET	VANE	PROVE	DESCRIZIONE
	cm	PENETR.	TEST	ESEGUITE	
		kPa (M.I.)	kPa (M.I.)		
ALTO	10	N.D.	N.D.	W_1	Sabbia limosa debolmente argillosa grigio, a struttura nel complesso omogenea, reattiva ad HCl.
	20	120		γ_s TD1	Limo con argilla sabbioso da grigio chiaro a grigio scuro a nerastro, da plastico a consistente, a struttura caotica, poco plastico ed inattivo relativamente alle caratteristiche mineralogiche, reattivo ad HCl.
	30	70		γ_n TD2	
	40	65		Gran. W_2 TD3	Sabbia limosa debolmente argillosa grigio, a struttura nel complesso omogenea, reattiva ad HCl.
	50	N.D.	N.D.	Lim. W_3	
BASSO	70				

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità.

Roma, 22/06/22

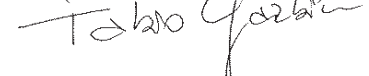
il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14286/b
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/4

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 4

Profondità di prelievo:
da m 20.50 a m 21.00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-1)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	07/06/22
	Determinazione W_1	Determinazione W_2	Determinazione W_3
Peso lordo umido (g)	86,07	90,71	93,89
Peso lordo secco (g)	72,32	76,87	79,71
Tara (g)	20,17	21,22	21,82
Umidità relativa W (%)	26,4	24,9	24,5
UMIDITA' NATURALE MEDIA W_n	25,3	%	DEVIAZIONE STANDARD 1,00

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)

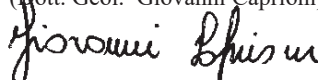
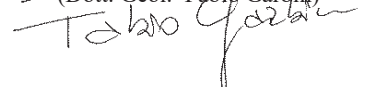

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-2)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22
Peso umido del terreno (g)	147,35	Volume (cm ³)	72,95
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n	19,81	kN/m ³	Determinazione eseguita tramite: fustella tarata

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)




Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: **14286/c**
(foglio 1 di 1)Verbale di Accettazione: **3864/4**Lavoro di laboratorio: **099/22**Sondaggio n° **DH01**Campione n° **4**Profondità di prelievo:
da m **20.50** a m **21.00**

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANI

(UNI CEN ISO 17892-3)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	08/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

Determinazione n° 1	Quantità misurate	Determinazione n° 2
82,54	Tara picnometro (g)	92,73
98,17	Picnometro + campione secco (g)	108,96
212,70	Picnometro + campione + acqua (g)	224,09
27,7	Temperatura di prova (°C)	27,7
202,89	Picnometro + acqua (g)	213,90
26,32	P. di vol. dei grani misurato (kN/m ³)	26,31

PESO DI VOLUME DEI GRANI γ_s	26,31 kN/m ³	DEVIATION STANDARD	0,006
-------------------------------------	--------------------------------	--------------------	--------------

Note: il peso specifico assoluto a 20° C è pari a 26,36 (2,687).

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)
Giovanni Caprioni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin

CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

INDICE DEI VUOTI	e	0,667	GRADO DI SATURAZIONE	S_r	102 %
POROSITA'	n	0,400	PESO DI VOLUME SECCO	γ_{dry}	15,81 kN/m ³
PESO DI VOL. SATURO	γ_{sat}	19,72 kN/m ³	PESO DI VOL. IMMERSO	γ'	10,00 kN/m ³

Note: i controlli effettuati non hanno evidenziato errori di procedura, di misura e/o di calcolo.

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)
Giovanni Caprioni

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 4

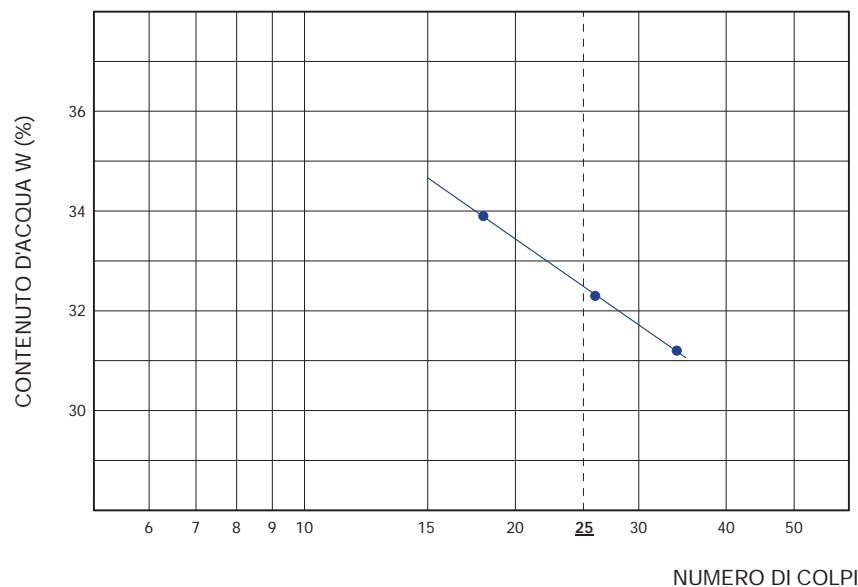
Certificato di prova: 14286/d
(foglio 1 di 1)Verbale di Accettazione: 3864/4
Lavoro di laboratorio: 099/22Profondità di prelievo:
da m 20.50 a m 21.00

CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA

(UNI CEN ISO 17892-12)

Data di inizio prova LL e LP		06/06/22		Data di fine prova LL e LP		13/06/22																														
Data di inizio prova LR		--		Data di fine prova LR		--																														
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	32	%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>prova n°</th> <th>colpi n°</th> <th>W %</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>18</td> <td>33,9</td> <td rowspan="5">LL</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>26</td> <td>32,3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>34</td> <td>31,2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td rowspan="2">Dev. Stand. 0,07</td> <td>22,0</td> <td rowspan="2">LP</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>22,1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td rowspan="2"></td> <td>--</td> <td rowspan="2">LR</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>	prova n°	colpi n°	W %		1	18	33,9	LL	2	26	32,3	3	34	31,2	4	--	--	5	--	--	1	Dev. Stand. 0,07	22,0	LP	2	22,1	1		--	LR	2	--
prova n°	colpi n°	W %																																		
1	18	33,9	LL																																	
2	26	32,3																																		
3	34	31,2																																		
4	--	--																																		
5	--	--																																		
1	Dev. Stand. 0,07	22,0	LP																																	
2		22,1																																		
1		--	LR																																	
2		--																																		
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	22	%																																	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	10	%																																	
LIMITE DI RITIRO	LR	--	%																																	
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	W _n	25,3	%																																	
INDICE DI CONSISTENZA	IC	0,67																																		
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	0,33																																		
INDICE DI RITIRO	I _r	--																																		
RAPPORTO DI RITIRO	R _r	--																																		
INDICE DI ATTIVITA'	A	0,37																																		

LIMITE DI LIQUIDITA'



Note:

Roma, 22/06/22

 il Tecnico Sperimentatore
 (Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

 il Direttore del Laboratorio
 (Dott. Geol. Fabio Garbin)



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14286/f
(foglio 1 di 4)

Verbale di Accettazione: 3864/4

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 4

Profondità di prelievo:
da m 20.50 a m 21.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO 17892-10)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	09/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

CARATTERISTICHE INIZIALI DEI PROVINI

Provino		1	2	3
Altezza	cm	2,012	2,017	2,012
Lato	cm	6,021	6,009	6,027
Volume	cm ³	72,94	72,83	73,09
Peso di volume	kN/m ³	19,80	20,08	19,56
Contenuto d'acqua	%	28,7	26,3	24,9
Peso di volume dei grani	kN/m ³	26,31	26,31	26,31
Indice dei vuoti		0,713	0,658	0,683
Grado di saturazione	%	108	107	98

FASE DI CONSOLIDAZIONE

Provino		1	2	3
Carico verticale efficace	kPa	98	196	294
Durata	h	24	24	24
Cedimento	mm	1,23	2,28	2,37

FASE DI TAGLIO

Provino		1	2	3
Velocità di deformazione	mm/min	0,0042	0,0042	0,0042
Carico verticale efficace	kPa	98	196	294
Contenuto finale d'acqua	%	23,7	21,3	23,1

NOTE

Al termine della fase di taglio si è constatato che le semiscatole che contenevano il provino n° 3 fossero a contatto.

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)
Giovanni Caproni

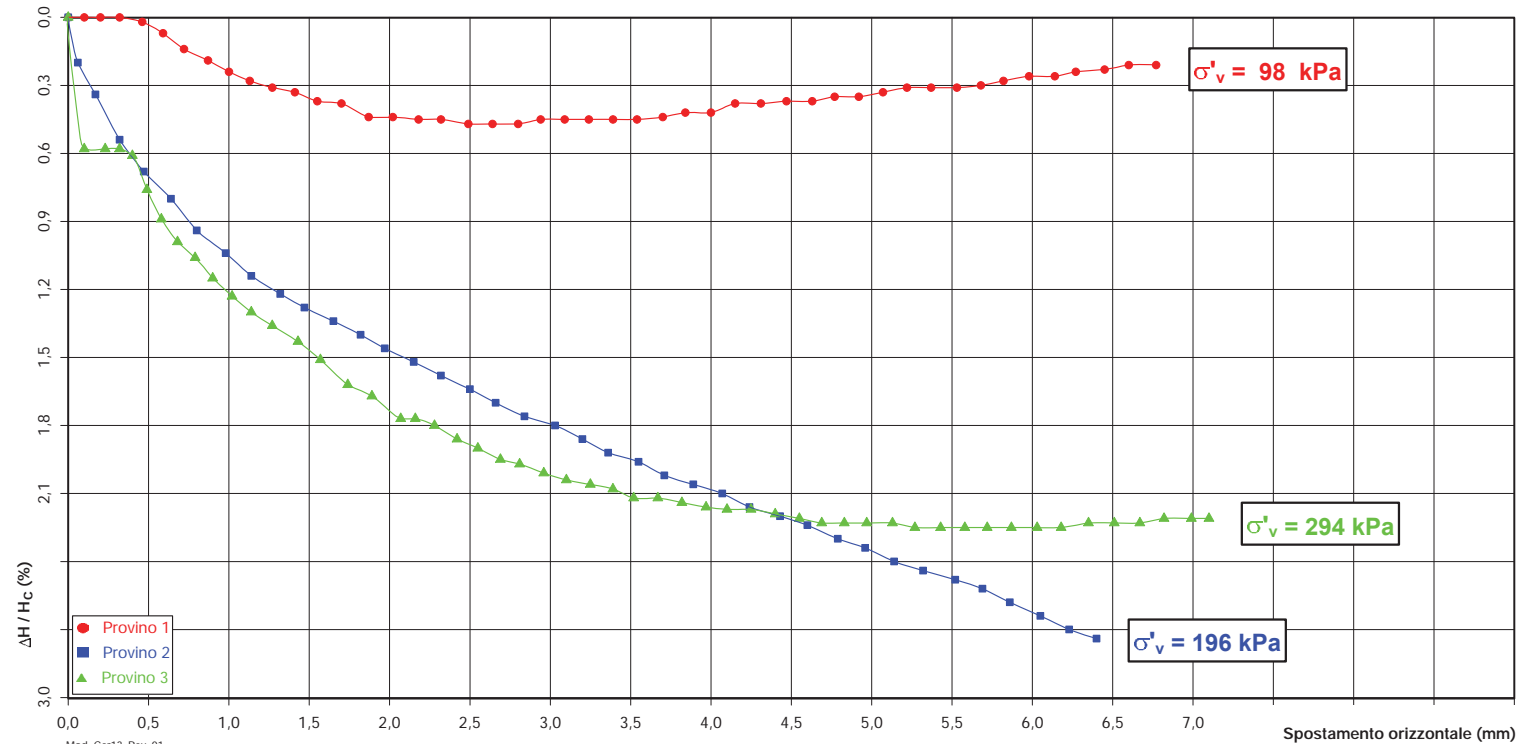
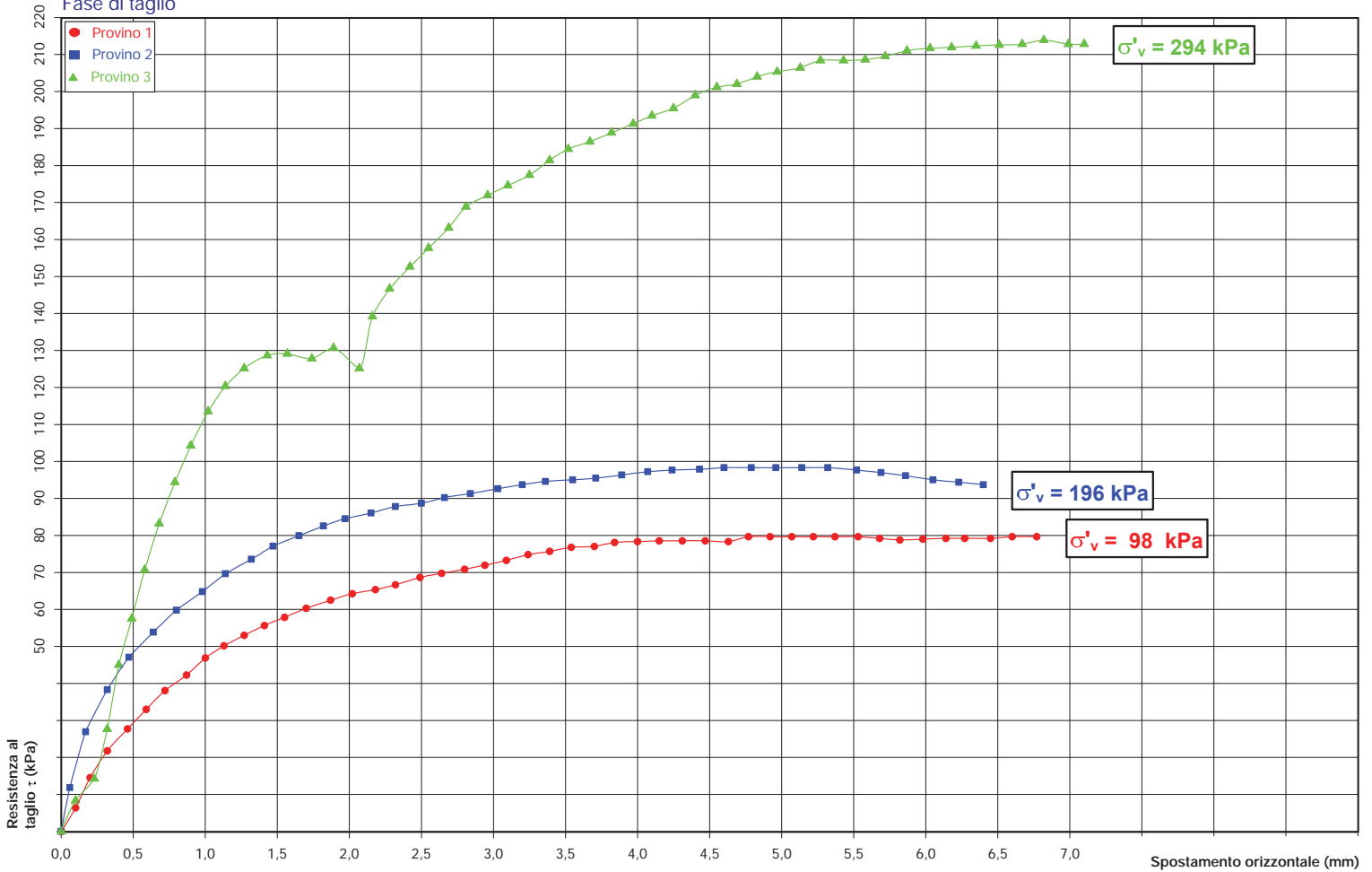
il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)
Fabio Garbin



PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO 17892-10)

Fase di taglio





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14286/f
(foglio 3 di 4)

Verbale di Accettazione: 3864/4

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 4

Profondità di prelievo:
da m 20.50 a m 21.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO 17892-10)

MISURAZIONI ACQUISITE

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)
0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
0,10	0,00	6	0,06	0,20	12	0,10	0,58	8
0,20	0,00	15	0,17	0,34	27	0,23	0,58	14
0,32	0,00	22	0,32	0,54	38	0,32	0,58	28
0,46	0,02	28	0,47	0,68	47	0,40	0,61	45
0,59	0,07	33	0,64	0,80	54	0,49	0,76	58
0,72	0,14	38	0,80	0,94	60	0,58	0,89	71
0,87	0,19	42	0,98	1,04	65	0,68	0,99	83
1,00	0,24	47	1,14	1,14	70	0,79	1,06	94
1,13	0,28	50	1,32	1,22	74	0,90	1,15	104
1,27	0,31	53	1,47	1,28	77	1,02	1,23	114
1,41	0,33	56	1,65	1,34	80	1,14	1,30	120
1,55	0,37	58	1,82	1,40	83	1,27	1,36	125
1,70	0,38	60	1,97	1,46	85	1,43	1,43	129
1,87	0,44	63	2,15	1,52	86	1,57	1,51	129
2,02	0,44	64	2,32	1,58	88	1,74	1,62	128
2,18	0,45	65	2,50	1,64	89	1,89	1,67	131
2,32	0,45	67	2,66	1,70	90	2,07	1,77	125
2,49	0,47	69	2,84	1,76	91	2,16	1,77	139
2,64	0,47	70	3,03	1,80	93	2,28	1,80	147
2,80	0,47	71	3,20	1,86	94	2,42	1,86	153
2,94	0,45	72	3,36	1,92	95	2,55	1,90	158
3,09	0,45	73	3,55	1,96	95	2,69	1,95	163
3,24	0,45	75	3,71	2,02	95	2,81	1,97	169
3,39	0,45	76	3,89	2,06	96	2,96	2,01	172
3,54	0,45	77	4,07	2,10	97	3,10	2,04	175
3,70	0,44	77	4,24	2,16	98	3,25	2,06	177
3,84	0,42	78	4,43	2,20	98	3,39	2,08	181
4,00	0,42	78	4,60	2,24	98	3,52	2,12	184
4,15	0,38	79	4,79	2,30	98	3,67	2,12	186



Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14287/a
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/5

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 5

Profondità di prelievo:
da m 26.00 a m 26.50

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	non dichiarata	Forma del campione:	cilindrica
Tipo di campionatore (dichiarato):	non dichiarato	Diametro della carota ϕ :	85 mm
Contenitore:	fustella cilindrica	Lunghezza della carota:	490 mm
Diametro esterno ϕ del contenitore:	91 mm	Data di prelievo del campione:	--
Lunghezza del contenitore:	500 mm	Classe di Qualità (dichiarata):	non dichiarata
Data di consegna del campione:	01/06/22	Data di apertura del campione:	06/06/22
Data di apertura Commessa:	01/06/22	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22

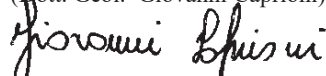
SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET PENETR.	VANE TEST	PROVE ESEGUITE	DESCRIZIONE
	cm	kPa (M.I.)	kPa (M.I.)		
ALTO		(250)		W_1 γ_n	Sabbia limosa da grigio a grigio scuro (aspetto a bande dato dall'alternanza di livelli di differente tonalità), a struttura a livelli irregolari da millimetrici a centimetrici di sabbia fittamente ed irregolarmente alternati a livelli millimetrici e velature limoso-sabbiosi o limoso-argillosi, non plastica relativamente alle caratteristiche mineralogiche, reattiva ad HCl.
10		(320)		Lim.	
20		(300)	N.D.	Gran. γ_s	
30				W_2	
40		(250)	N.D.		
50	▲			W_3	
60					
70	BASSO				

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità. Durante l'esecuzione di tutti i pocket penetrometer test, il campione si è fessurato: le resistenze ottenute sono riportate tra parentesi.

Roma, 22/06/22

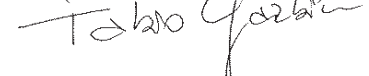
il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: 14287/b
(foglio 1 di 1)

Verbale di Accettazione: 3864/5

Lavoro di laboratorio: 099/22

Sondaggio n° DH01

Campione n° 5

Profondità di prelievo:
da m 26.00 a m 26.50

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-1)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	07/06/22
	Determinazione W_1	Determinazione W_2	Determinazione W_3
Peso lordo umido (g)	76,71	71,86	86,69
Peso lordo secco (g)	68,02	64,50	77,07
Tara (g)	17,95	17,77	17,74
Umidità relativa W (%)	17,4	15,8	16,2
UMIDITA' NATURALE MEDIA W_n	16,5	%	DEVIAZIONE STANDARD 0,83

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)

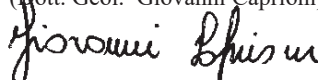
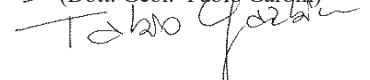

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO 17892-2)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	06/06/22
Peso umido del terreno (g)	156,24	Volume (cm ³)	72,64
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n	21,10	kN/m ³	Determinazione eseguita tramite: fustella tarata

Note:

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Fabio Garbin)




Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Certificato di prova: **14287/c**
(foglio 1 di 1)Verbale di Accettazione: **3864/5**Lavoro di laboratorio: **099/22**Sondaggio n° **DH01**Campione n° **5**Profondità di prelievo:
da m **26.00** a m **26.50**

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANI

(UNI CEN ISO 17892-3)

Data di inizio prova:	06/06/22	Data di fine prova:	08/06/22
-----------------------	----------	---------------------	----------

Determinazione n° 1	Quantità misurate	Determinazione n° 2
83,18	Tara picnometro (g)	78,69
99,16	Picnometro + campione secco (g)	94,82
215,15	Picnometro + campione + acqua (g)	208,70
27,7	Temperatura di prova (°C)	27,7
205,12	Picnometro + acqua (g)	198,58
26,31	P. di vol. dei grani misurato (kN/m ³)	26,27

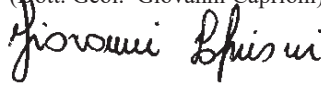
PESO DI VOLUME DEI GRANI γ_s	26,29 kN/m ³	DEVIATIONE STANDARD	0,027
-------------------------------------	--------------------------------	---------------------	--------------

Note: il peso specifico assoluto a 20° C è pari a 26,34 (2,685).

Roma, 22/06/22

il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)



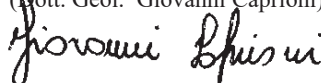
CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

INDICE DEI VUOTI	e	0,454	GRADO DI SATURAZIONE	S_r	98 %
POROSITA'	n	0,312	PESO DI VOLUME SECCO	γ_{dry}	18,11 kN/m ³
PESO DI VOL. SATURO	γ_{sat}	21,19 kN/m ³	PESO DI VOL. IMMERSO	γ'	11,29 kN/m ³

Note:

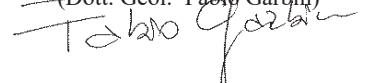
il Tecnico Sperimentatore

(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)



il Direttore del Laboratorio

(Dott. Geol. Fabio Garbin)





Committente: Rina S.p.A.

Richiedente: Cassa Depositi e Prestiti Immob. S.r.l.

Cantiere: Via Guido Reni (Roma)

Sondaggio n° DH01

Campione n° 5

 Certificato di prova: **14287/d**
 (foglio 1 di 1)

 Verbale di Accettazione: **3864/5**
 Lavoro di laboratorio: **099/22**

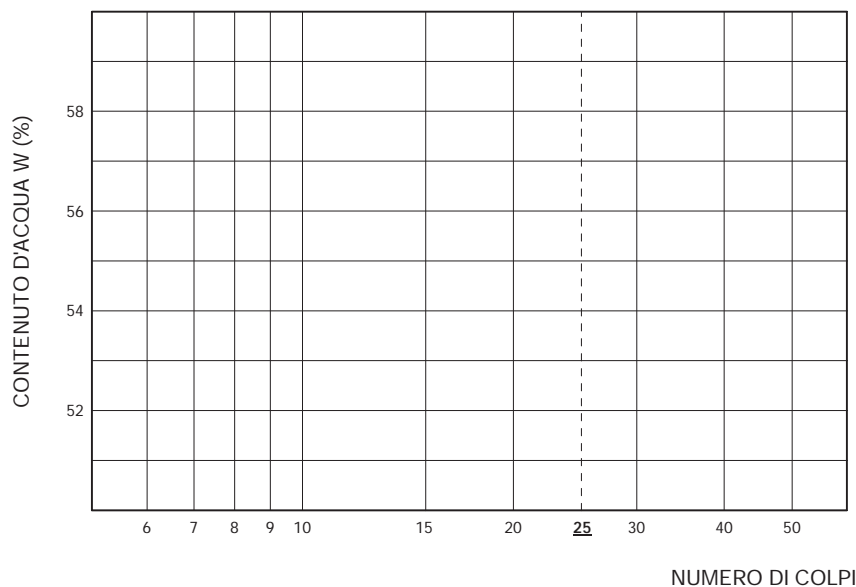
 Profondità di prelievo:
 da m **26.00** a m **26.50**

CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA

(UNI CEN ISO 17892-12)

Data di inizio prova LL e LP		06/06/22		Data di fine prova LL e LP		06/06/22	
Data di inizio prova LR		--		Data di fine prova LR		--	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	N.D.	%	prova n°	colpi n°	W %	LL
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	N.D.	%	1	--	--	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	N.C.	%	2	--	--	
LIMITE DI RITIRO	LR	--	%	3	--	--	
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	W _n	16,5	%	4	--	--	
INDICE DI CONSISTENZA	IC	N.C.		5	--	--	LP
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	N.C.		1		--	
INDICE DI RITIRO	I _r	--		2		--	
RAPPORTO DI RITIRO	R _r	--		1		--	LR
INDICE DI ATTIVITA'	A	N.C.		2		--	

LIMITE DI LIQUIDITA'



Note:

Roma, 22/06/22

 il Tecnico Sperimentatore
 (Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

 il Direttore del Laboratorio
 (Dott. Geol. Fabio Garbin)

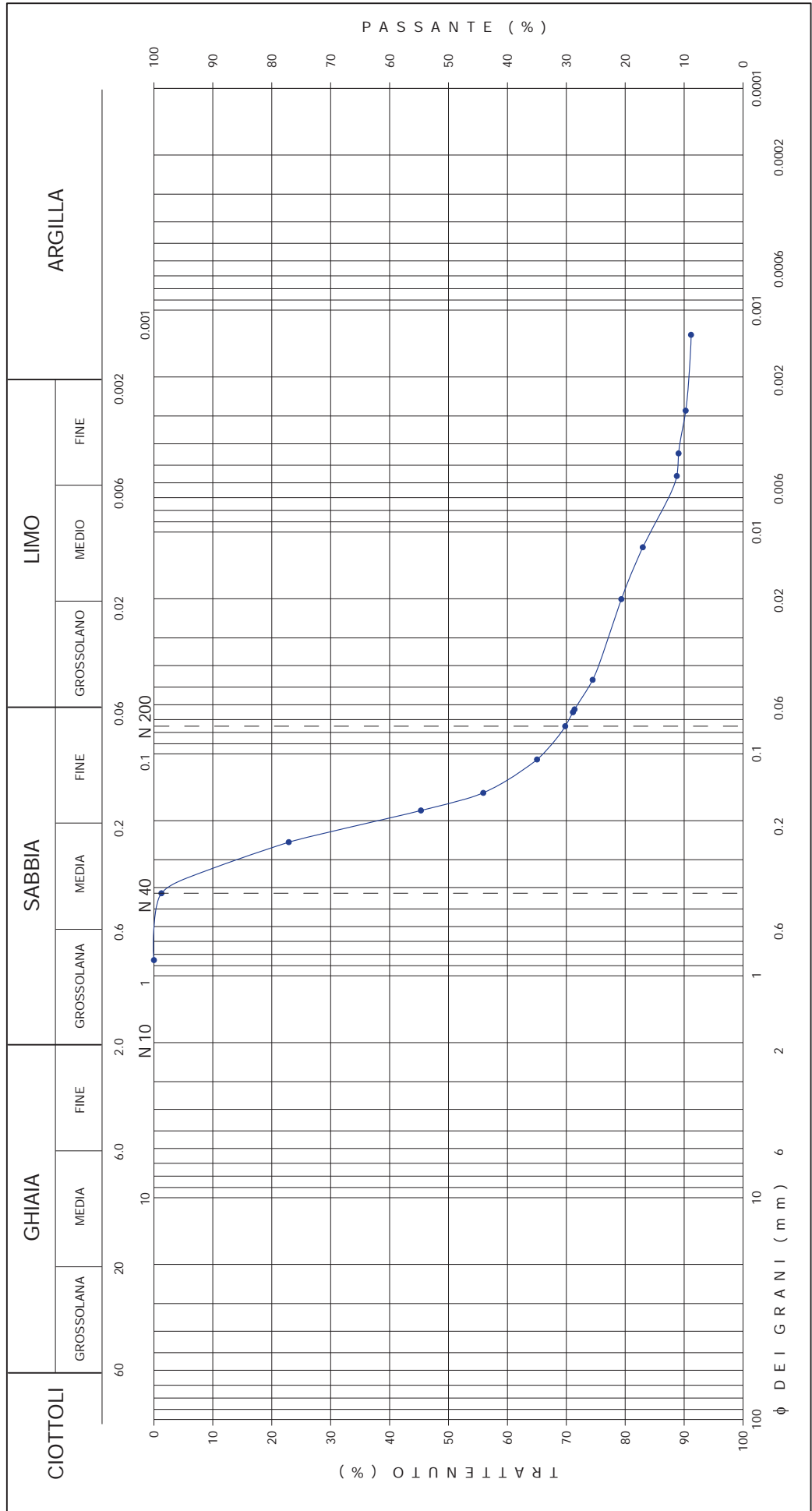


ANALISI GRANULOMETRICA

(UNI CEN ISO 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: **SABBIA LIMOSA DEBOLMENTE ARGILLOSA.**

GHIAIA > 2 mm	%	SABBIA 0.06 - 2 mm	%	LIMO 0.002 - 0.06 mm	%	ARGILLA < 0.002 mm	%
0		72		19		9	
PASSANTE AI SETACCI		N 10 2 mm	100	N 40 0.425 mm	99	N 200 0.075 mm	30



Note: il diametro del granulo maggiore è minore di 1 mm.

NORME DI RIFERIMENTO PER LE PROVE DI LABORATORIO

Descrizione e classificazione dei terreni

- Racc. A.G.I. (1963) : "Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre"
 A.S.T.M. D 2487 : "Classification of the soil for engineering purposes"
 A.S.T.M. D 2488 : "Standard practise for description and identification of soils"

Determinazione del contenuto d'acqua allo stato naturale

- UNI EN ISO 17892-1 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 1: determinazione del contenuto in acqua"

Determinazione del peso dell'unità di volume allo stato naturale

- UNI EN ISO 17892-2 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 2: determinazione della massa volumica"

Determinazione del peso specifico assoluto dei granuli

- UNI EN ISO 17892-3 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 3: determinazione della massa volumica dei granuli solidi"

Determinazione dei Limiti di consistenza

- UNI CEN ISO 17892-12 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 12: determinazione dei limiti liquidi e plastici"

Analisi granulometrica

- UNI CEN ISO 17892-4 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 4: determinazione della distribuzione granulometrica";

Classificazione del materiale

- UNI 11531-2 : "Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 2: materiali granulari e miscele di aggregati legati con leganti idraulici e aerei"
 A.S.T.M. D 2487 : "Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)"

Prova di consolidazione monodimensionale (edometrica)

- UNI CEN ISO 17892-5 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 5: prova edometrica ad incrementi di carico"

Prova di rigonfiamento

- UNI CEN ISO 17892-5 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 5: prova edometrica ad incrementi di carico";
 HUDER & AMBERG (1970) : "Quellung in Mergel, Opalinuston und Anhydrit"

Prova di permeabilità

- UNI CEN ISO 17892-11 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 11: prove di permeabilità"

Prova di taglio con scissometro

- A.S.T.M. D 4648 : "Standard test methods for laboratory miniature Vane shear test for saturated fine-grained clayey soil"

Prova di compressione ad espansione laterale libera

- UNI CEN ISO 17892-7 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 7: prova di compressione non confinata"

Prove triassiali

- UNI CEN ISO 17892-9 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 9: prove di compressione triassiale consolidate su terreni saturi"
 UNI CEN ISO 17892-8 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 8: prova triassiale non consolidata non drenata"

Prova di taglio diretto

- UNI CEN ISO 17892-10 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 10: prove di taglio diretto"

Prova di taglio per la definizione della resistenza residua

UNI CEN ISO 17892-10 : "Indagini e prove geotecniche - prove di laboratorio sui terreni – Parte 10: prove di taglio diretto"

Prove dinamiche

A.S.T.M. D 4015 : "Standard test methods for modulus and damping of soils by fixed-base resonant column devices"
 A.S.T.M. STP 13219S : "Towards standardization of torsional shear testing"

Prova Proctor

UNI EN 13286-2 : "Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 2: metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto d'acqua di riferimento di laboratorio – Costipamento Proctor"

Prova C.B.R.

UNI EN 13286-47 : "Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 47: metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR, dell'indice di portanza immediata e del rigonfiamento"

Densità massima e minima

A.S.T.M. D 4253 : "Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table"
 A.S.T.M. D 4254 : "Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density"

Determinazione del contenuto in sostanze organiche

A.S.T.M. D 2974 : "Standard test methods for determining the water (moisture) content, ash content, and organic material of peat and other organic soils";

Determinazione del tenore in carbonati

BS 1377-3 : "6 - Determination of carbonate content";

Determinazione del grado di reazione (pH)

D.M. 13/09/99 : "Ministero Politiche Agricole, Cap. III";

Determinazione del Contenuto Iniziale in Calce (CIC)

UNI CEN/TS 17693-1 : Opere di terra - Prove per la verifica del trattamento delle terre - Parte 1: misura del pH per la determinazione consumo iniziale di calce (CIC) dei terreni per la stabilizzazione
 ASTM D 6276 : "Standard test method for using pH to estimate the soil-lime proportion requirement for soil stabilization"

Determinazione della densità in sito

C.N.R. B.U. n° 22
 A.S.T.M. D 1556 : "Standard test method for density and unit weight of soil in place by sand-cone method".

Prova di carico su piastra

C.N.R. B.U. n° 146
 A.S.T.M. E 2835 : "Standard test method for measuring deflections using a portable impulse plate load test device"

NOTE:

QUALORA VENGA RICHIESTA L'ESECUZIONE DI UNA PROVA DI CUI NON ESISTE UNA NORMATIVA NAZIONALE OD INTERNAZIONALE, FARA FEDE LA PROCEDURA INTERNA DI RIFERIMENTO.

Allegato 5

ELABORAZIONE GRAFICA PROVA CPTU

Indice

1	INTRODUZIONE.....	2
2	INDAGINE PENETROMETRICA STATICA CPTu.....	3
2.1	Strumentazione utilizzata.....	3
2.2	Descrizione della prova	3
2.3	Elaborazione della prova	4
2.4	Risultati	5
3	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	6
	ALLEGATI	7
	Allegato 1: Indagini penetrometriche statiche CPTu	

Indice delle figure

Fig. 1-1:	Ubicazione delle indagini su foto aerea (Google Earth).	2
Fig. 2-1:	Strumentazione per l'esecuzione di prove penetrometriche statiche – a) Penetrometro statico – dinamico Pagani TG 63-200; b) Centralina di acquisizione e piezocono.	3
Fig. 2-2:	Carta di Robertson (1990) per il riconoscimento stratigrafico da prova CPT.....	4

Acronimi e Abbreviazioni

CPTu	Cone Penetration Test
------	-----------------------

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono riportate le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un'indagine pentrometrica statica CPTu effettuata presso Via Guido Reni, nel Comune di Roma.

La campagna di indagini è stata eseguita nel mese di Maggio 2022. Nelle pagine seguenti saranno descritte le caratteristiche della metodologia d'indagine, le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione delle stesse.



Fig. 1-1: Ubicazione delle indagini su foto aerea (Google Earth).

2 INDAGINE PENETROMETRICA STATICA CPTU

2.1 Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata per la campagna di indagine oggetto della presente relazione è un Penetrometro statico – dinamico Pagani TG 63-200. È stato utilizzato per le acquisizioni un piezocono Pagani, matricola MKJ385.

2.2 Descrizione della prova

La prova penetrometrica statica con piezocono CPTu consiste nell'infissione per mezzo di un martinetto idraulico, di una punta conica strumentata posta all'estremità di una batteria di aste. La velocità di infissione della batteria di aste deve essere costante (2 cm/s), indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il contrasto necessario per l'infissione della punta si ottiene ancorando il penetrometro al terreno mediante viti e/o con zavorra, in modo tale da poter usufruire completamente della capacità di spinta totale.

Su una centralina, durante l'infissione, per ogni intervallo di profondità pari a 1 cm, vengono registrati la resistenza alla punta, l'attrito laterale sul manicotto della punta strumentata e la sovrappressione interstiziale indotta.

I dati acquisiti vengono restituiti per l'analisi attraverso dei grafici che mostrano gli andamenti della resistenza alla punta, dell'attrito laterale e delle sovrappressioni interstiziali, in funzione della profondità. Da questi diagrammi è possibile l'identificazione della successione stratigrafica lungo la verticale indagata (Robertson, 1990), nonché la stima di numerosi parametri geotecnici (densità relativa, angolo di attrito, permeabilità, resistenza a taglio non drenata, ecc....).



a)



b)

Fig. 2-1: Strumentazione per l'esecuzione di prove penetrometriche statiche – a) Penetrometro statico – dinamico Pagani TG 63-200; b) Centralina di acquisizione e piezocono.

2.3 Elaborazione della prova

Si riportano le risultanze delle indagini penetrometriche statiche eseguite.

In dettaglio viene mostrato l'andamento con la profondità di:

- resistenza alla punta misurata (Cone resistance q_t) e normalizzata Q_{tn}
- attrito laterale misurato (Sleeve Friction f_s) e normalizzato Fr
- sovrappressioni interstiziali misurate (Pore Pressure u) e normalizzate U_2

Inoltre si riportano la stratigrafia con l'attribuzione della classe granulometrica dei materiali e la corrispondente caratterizzazione geotecnica per ciascuno strato, dedotte dalle indagini.

L'elaborazione dei dati acquisiti nelle prove CPTu è stata eseguita seguendo quanto descritto in Robertson, 1990. Sulla base della resistenza alla punta e dell'attrito laterale, l'autore ha prodotto una carta per il riconoscimento stratigrafico della verticale studiata. La carta di Robertson, un piano bilogarithmico avente in ascissa l'attrito laterale normalizzato Fr e in ordinate la resistenza alla punta normalizzata Q_{tn} , è suddivisa in 9 zone, cui corrispondono altrettante classi di terreno. Per ogni misura acquisita, mediante le due misure normalizzate, è possibile calcolare l'indice del tipo di terreno, I_c , ed identificare i terreni.

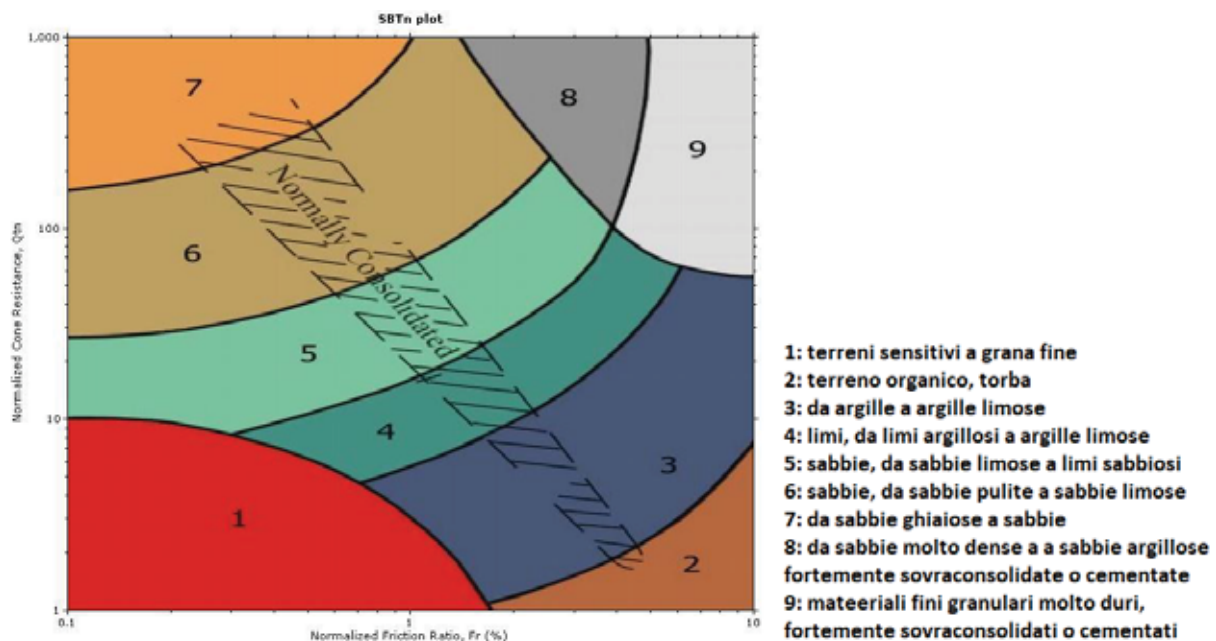


Fig. 2-2: Carta di Robertson (1990) per il riconoscimento stratigrafico da prova CPT.

Le misure normalizzate sono definite come segue:

- Resistenza alla punta normalizzata

$$Q_{tn} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

dove:

q_t è la resistenza alla punta misurata

σ_{v0} è la tensione totale litostatica

σ'_{v0} è la tensione efficace litostatica

- Attrito laterale normalizzato

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \cdot 100$$

dove:

f_s è l'attrito laterale misurato

q_t è la resistenza alla punta misurata

σ_{v0} è la tensione totale litostatica

- Pressione interstiziale normalizzata

$$U_2 = \frac{u - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$$

dove:

u è la sovrappressione interstiziale misurata

u_0 è la pressione idrostatica

q_t è la resistenza alla punta misurata

σ_{v0} è la tensione totale litostatica

Infine l'indice del tipo di terreno I_c è definito come segue:

$$I_c = \sqrt{(\log F_r + 1.22)^2 + (\log Q_{tn} - 3.47)^2}$$

2.4 Risultati

Per le risultanze della prova CPTu eseguita si rimanda all'Allegato 1.

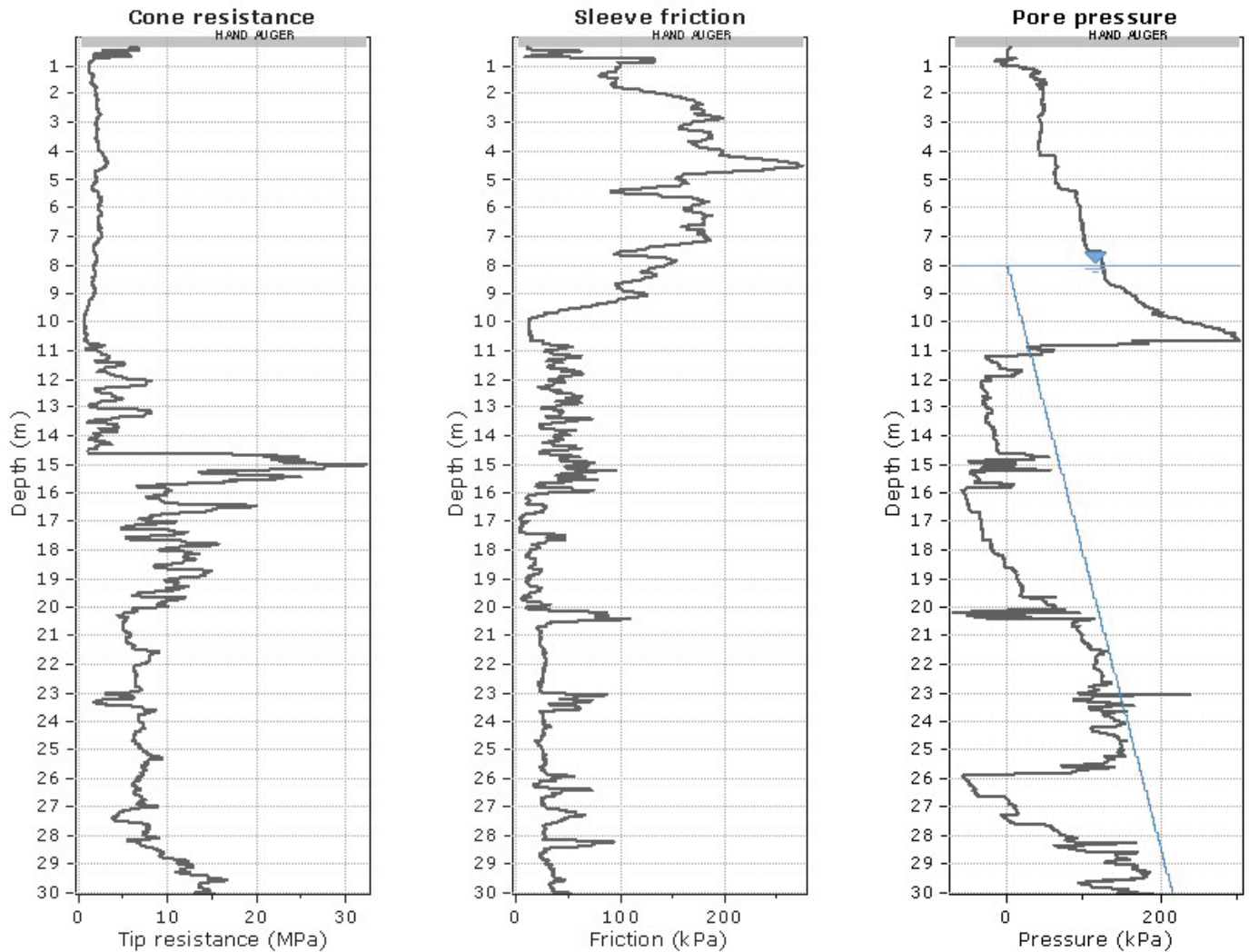
3 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



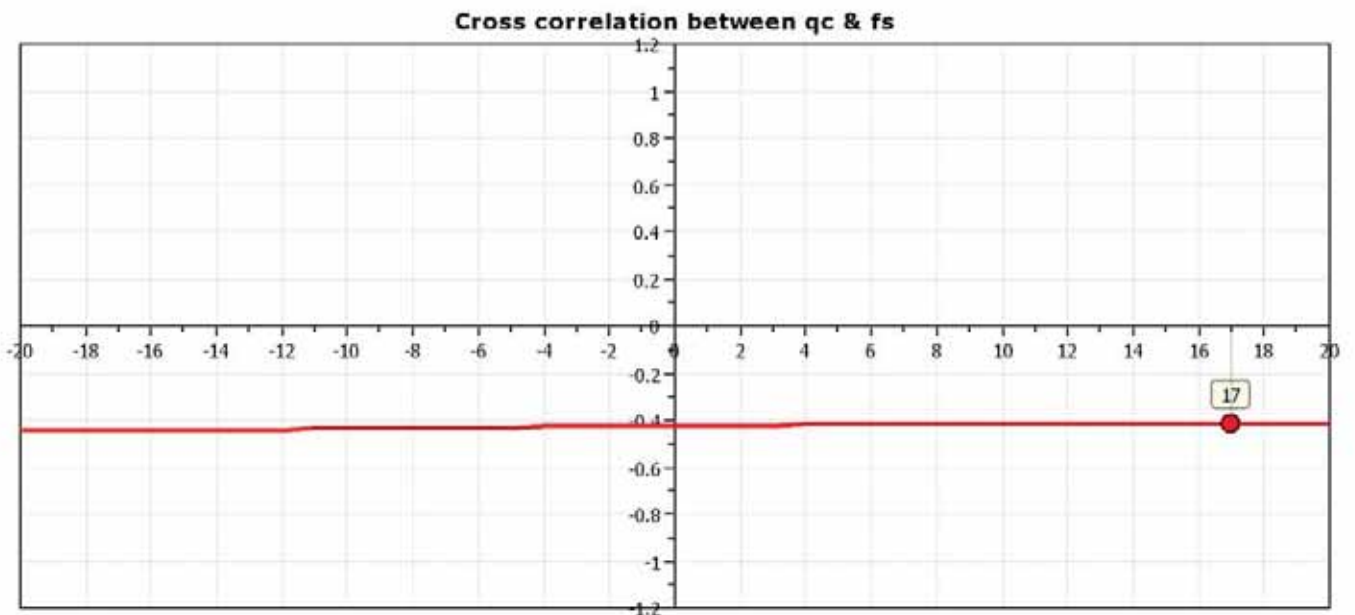
ALLEGATI

ALLEGATO 1

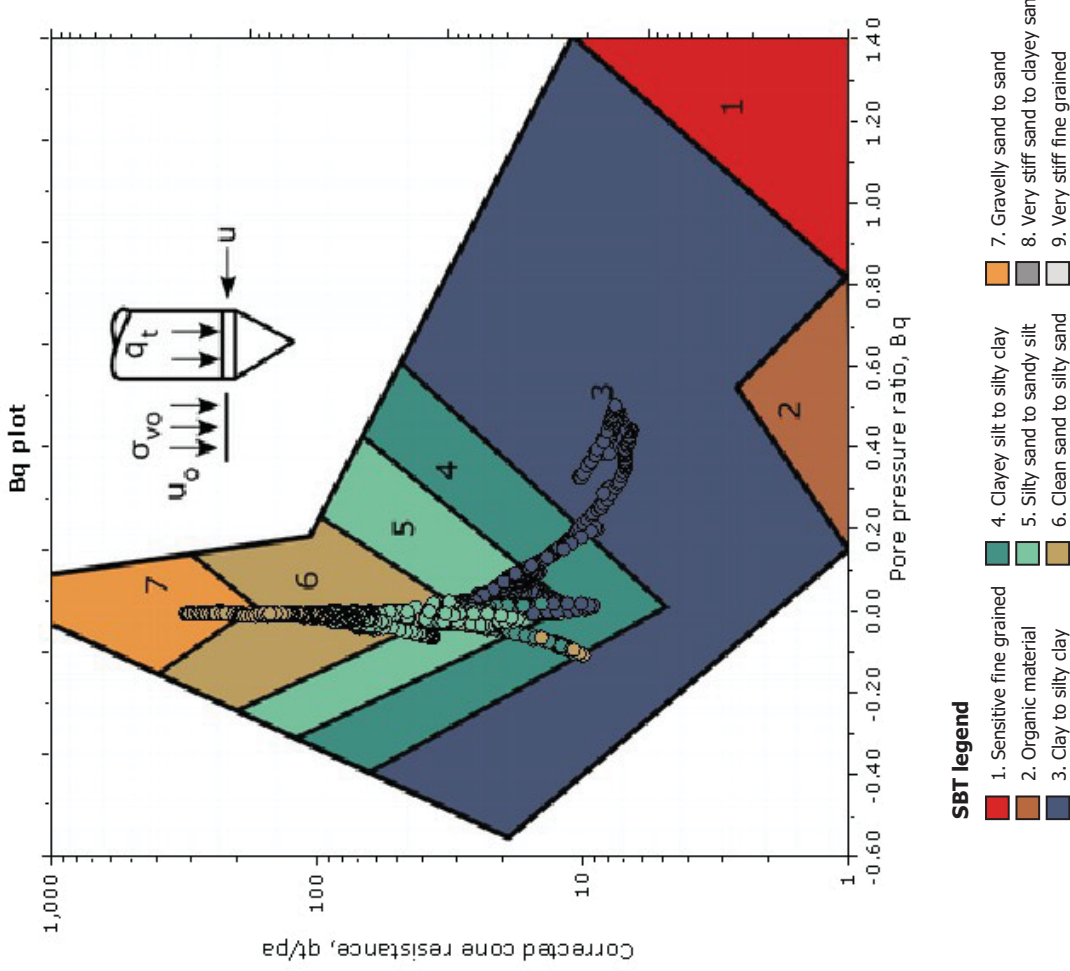
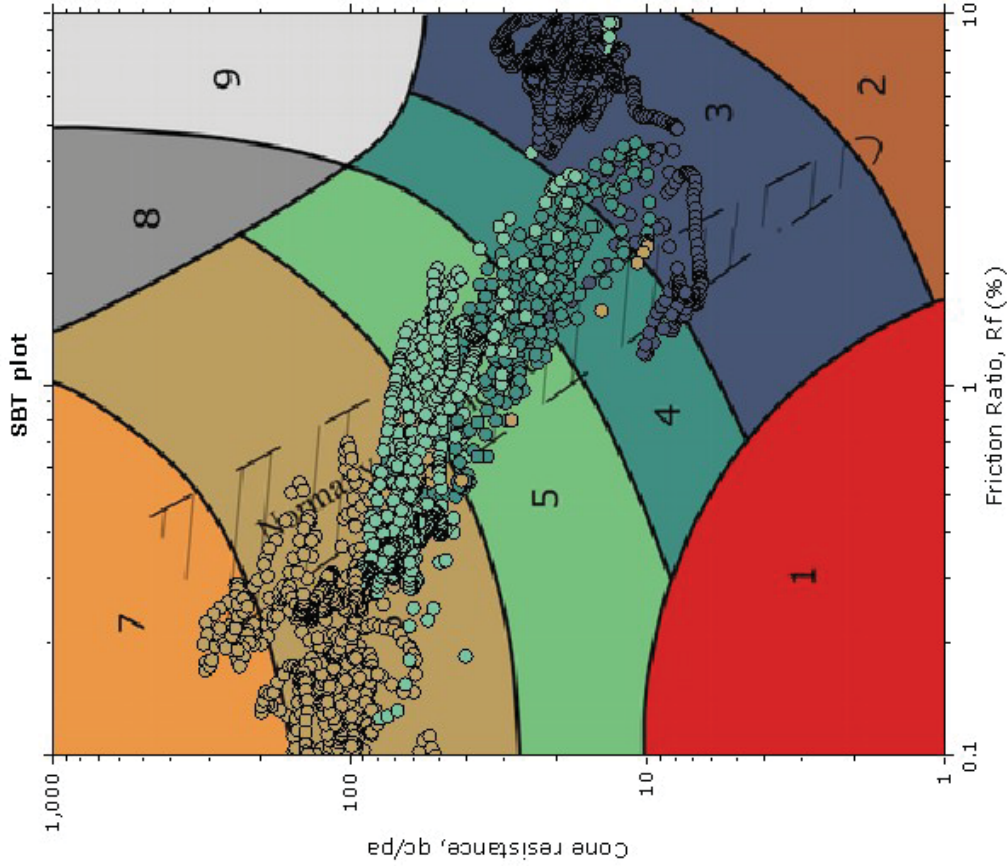
INDAGINI PENETROMETRICHE CPT_u



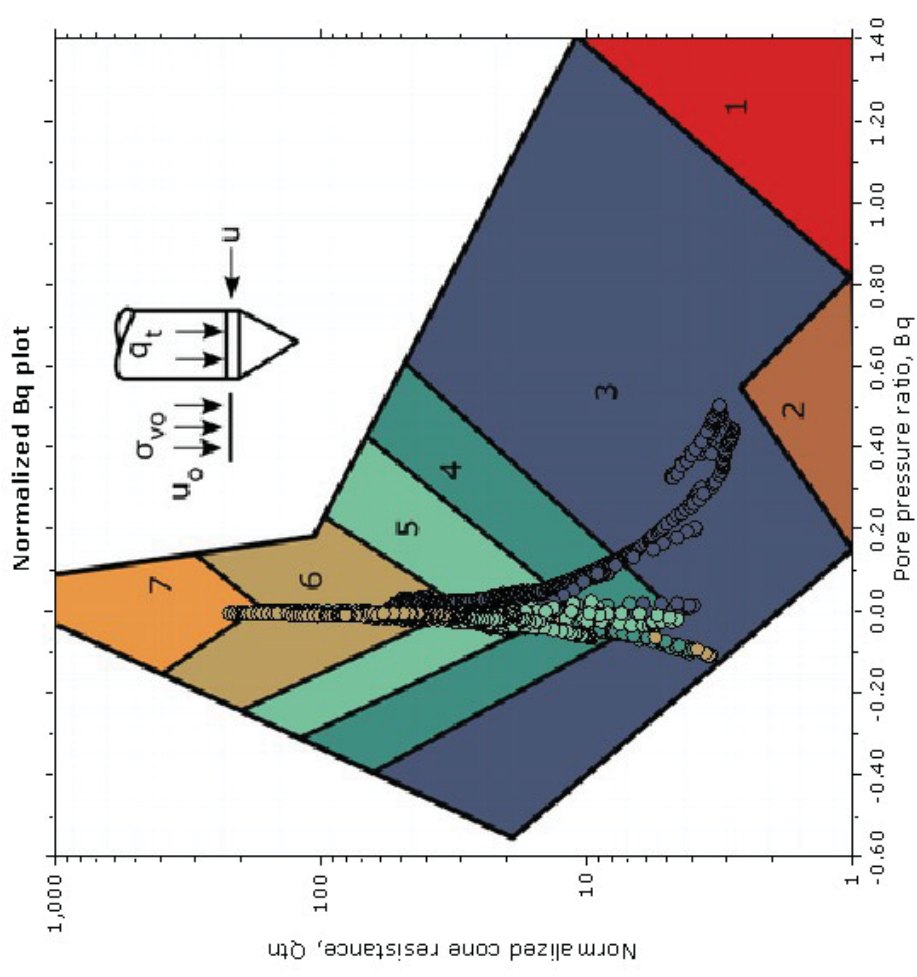
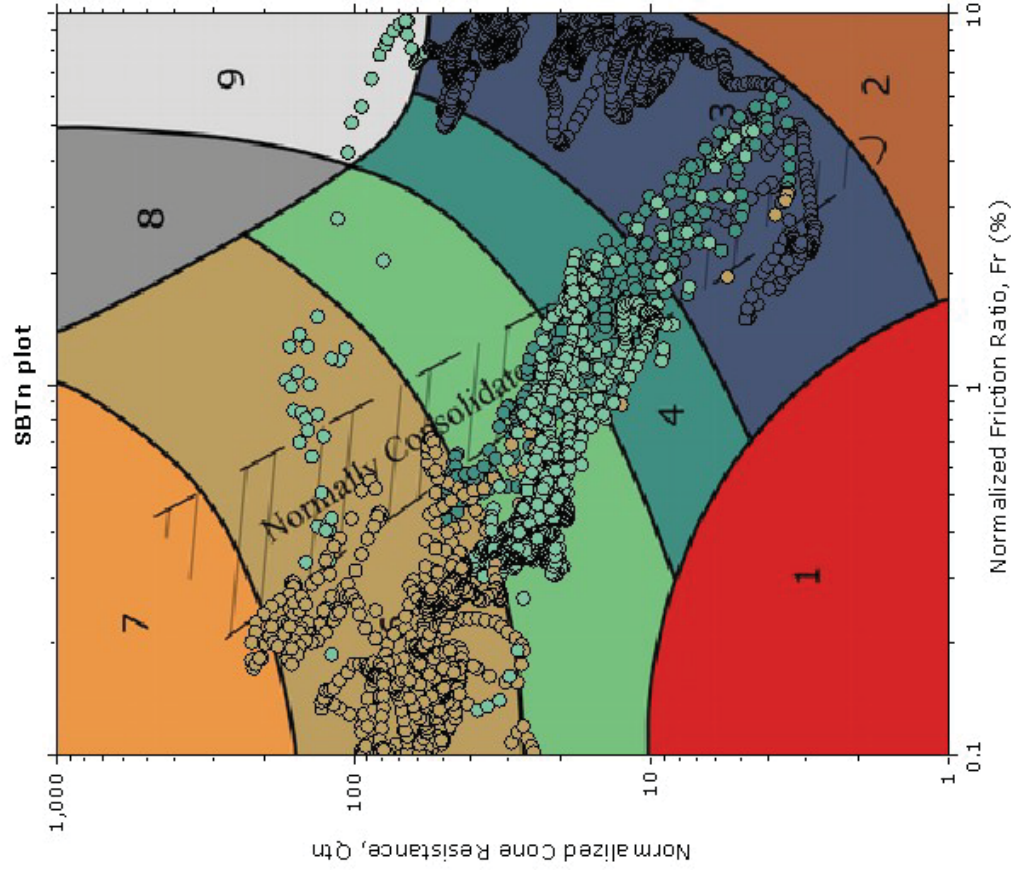
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



SBT - Bq plots



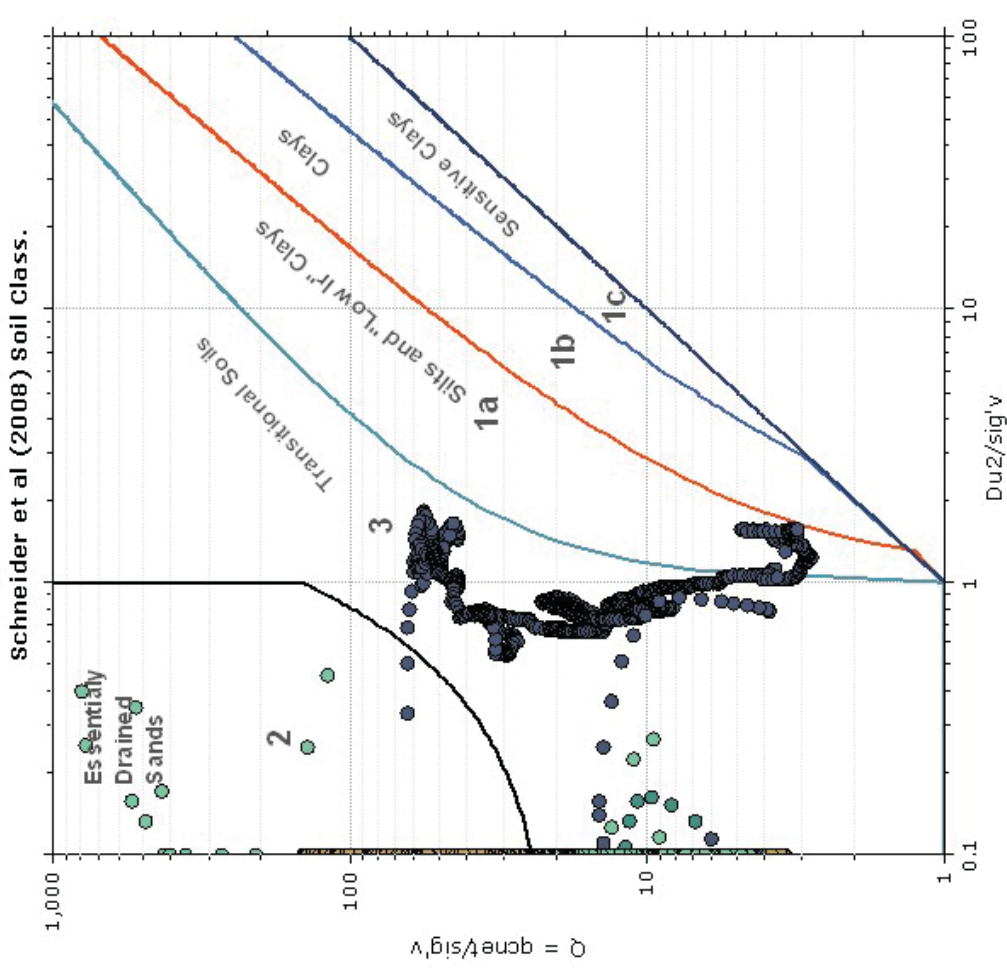
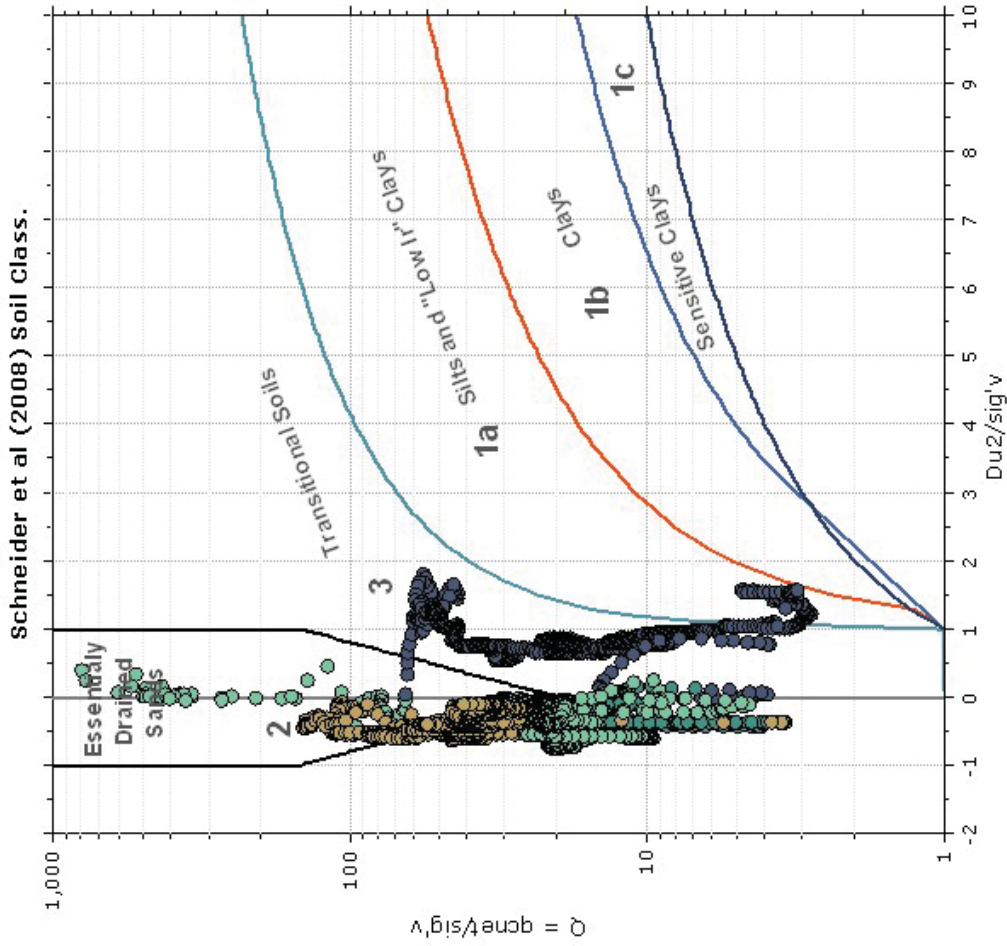
SBT - Bq plots (normalized)

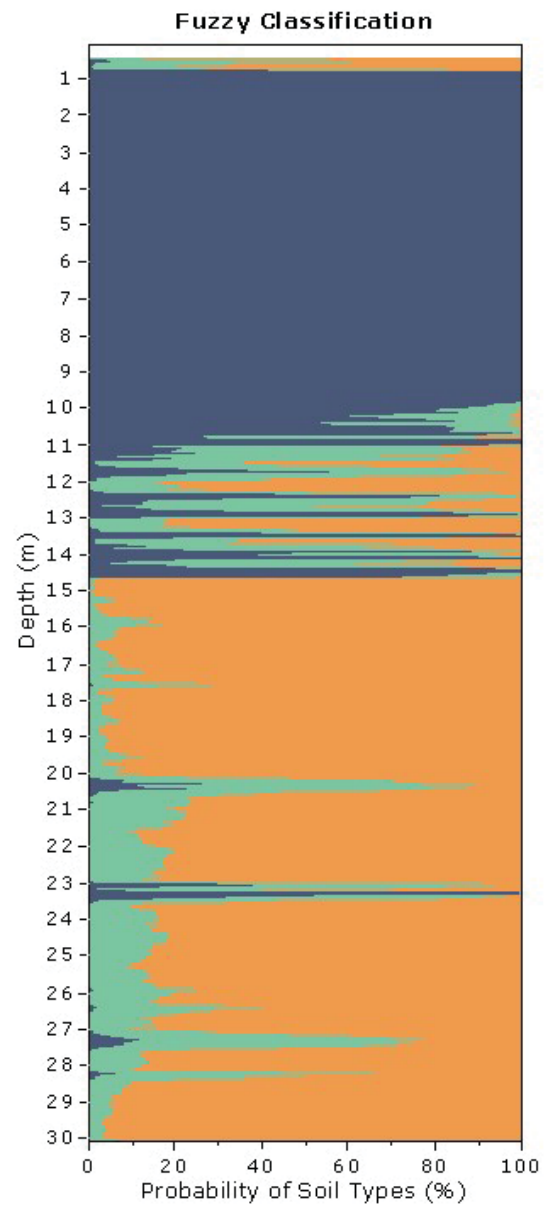
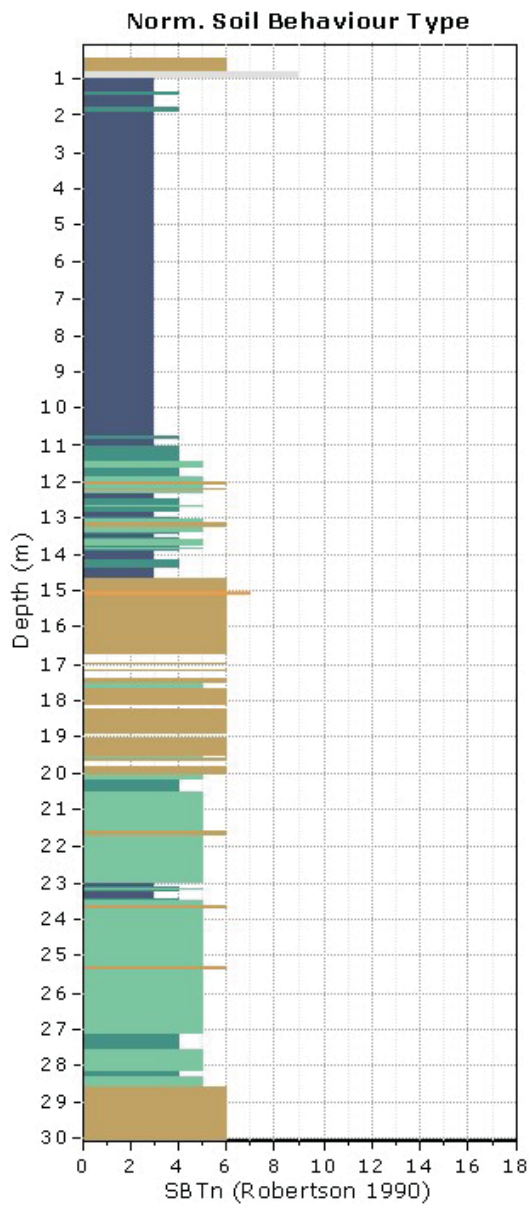


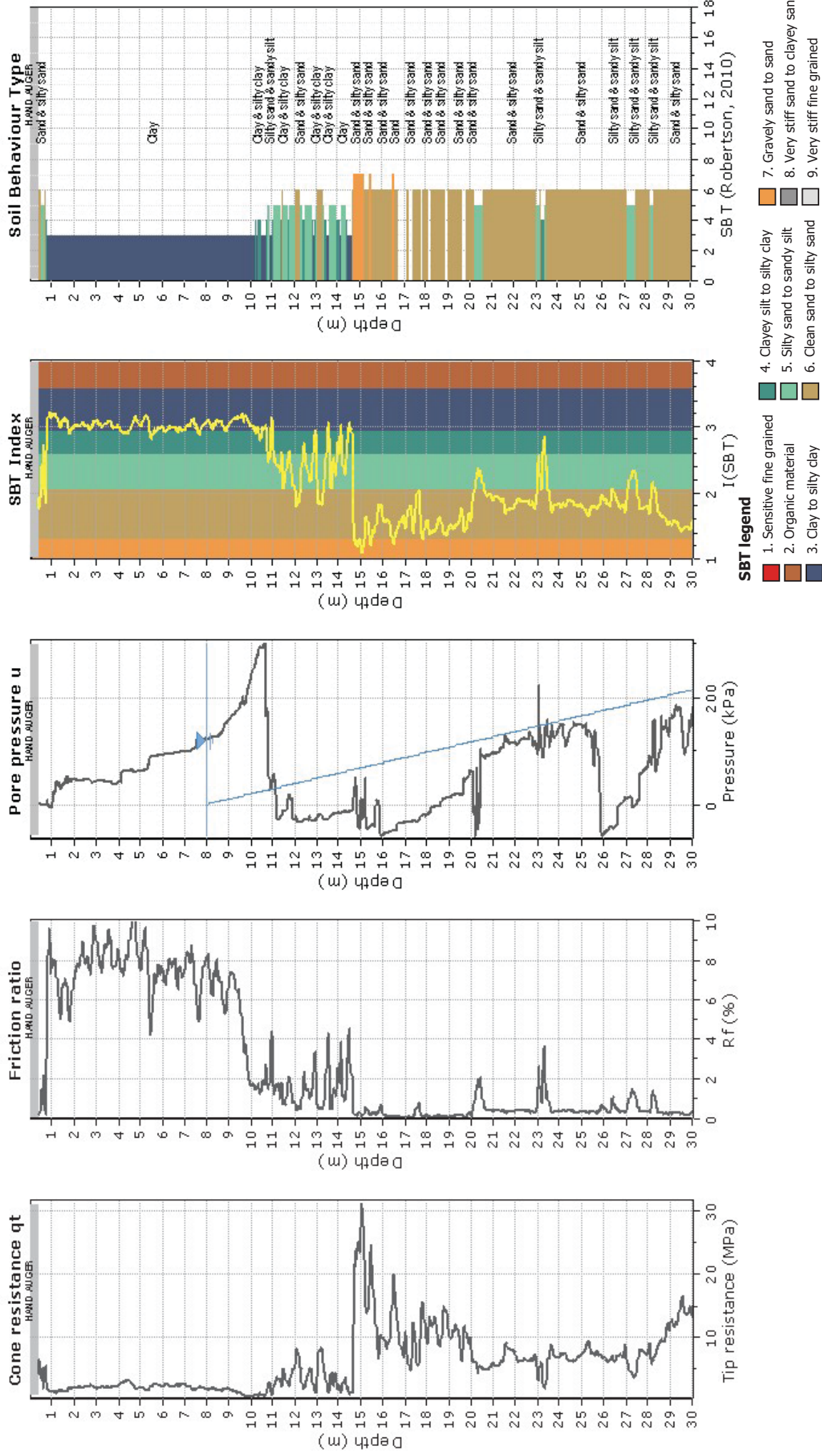
SBTn legend

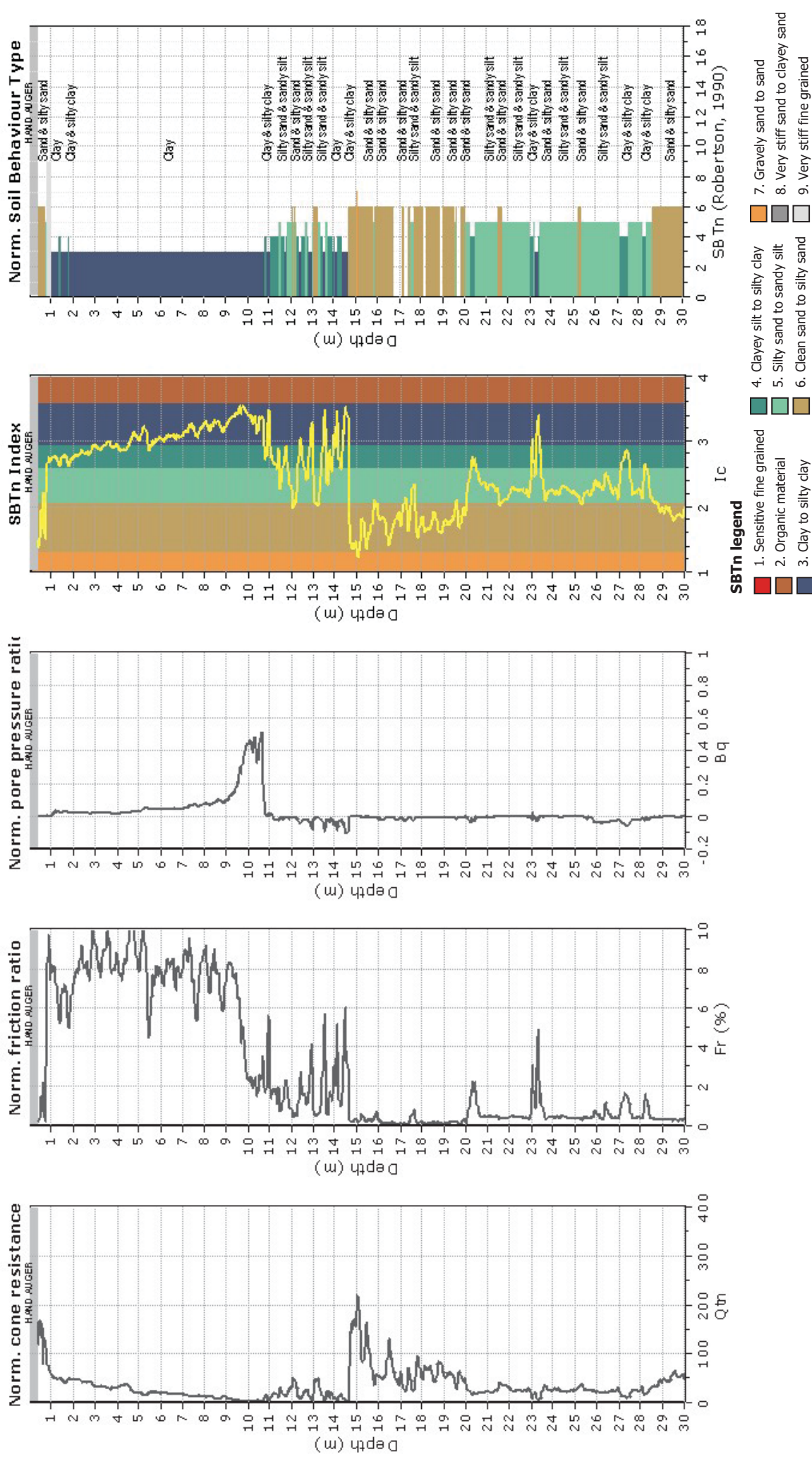
- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clayey silt to silty clay
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Gravely sand to sand
- 8. Very stiff sand to clayey sand
- 9. Very stiff fine grained

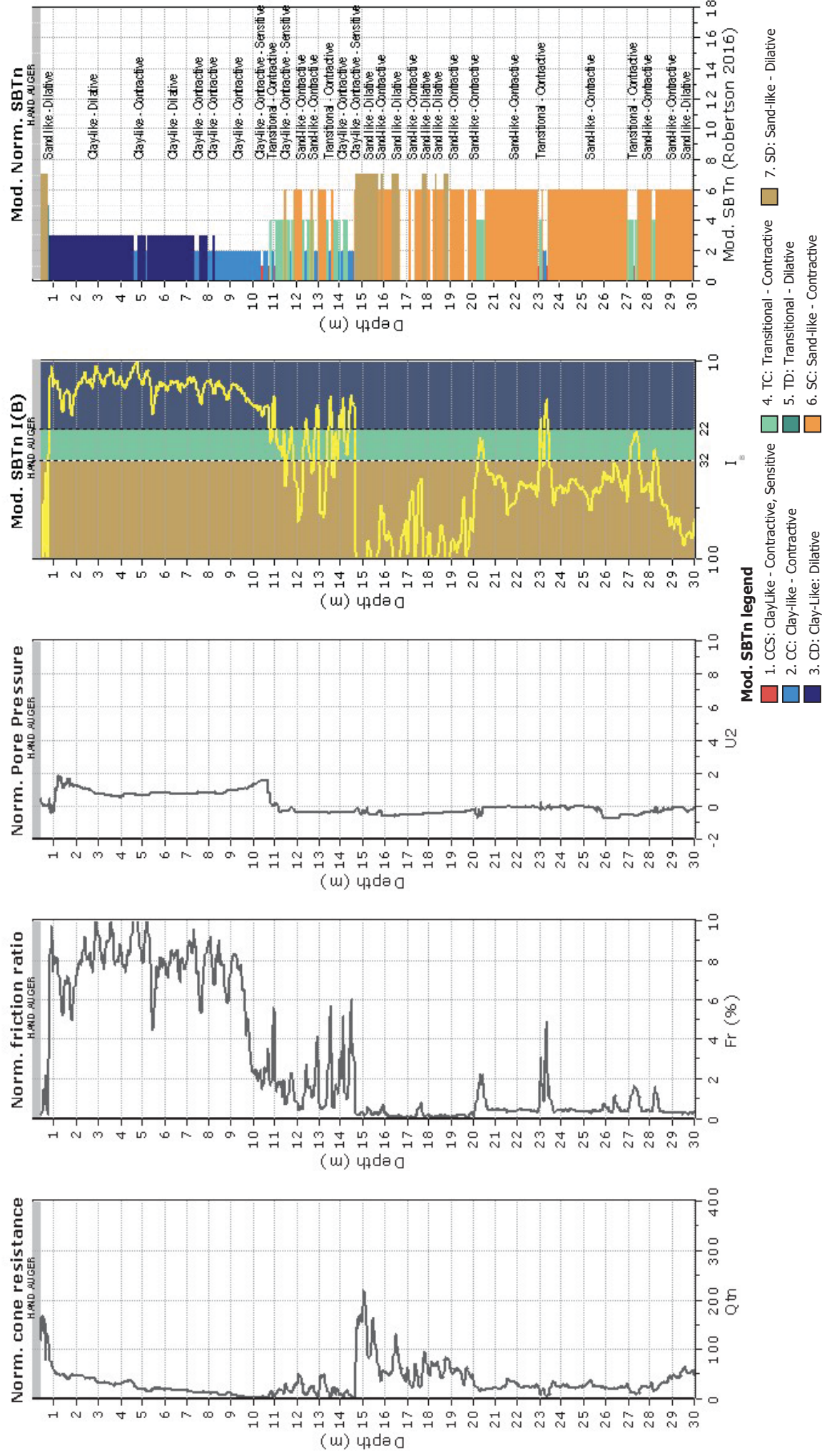
Bq plots (Schneider)



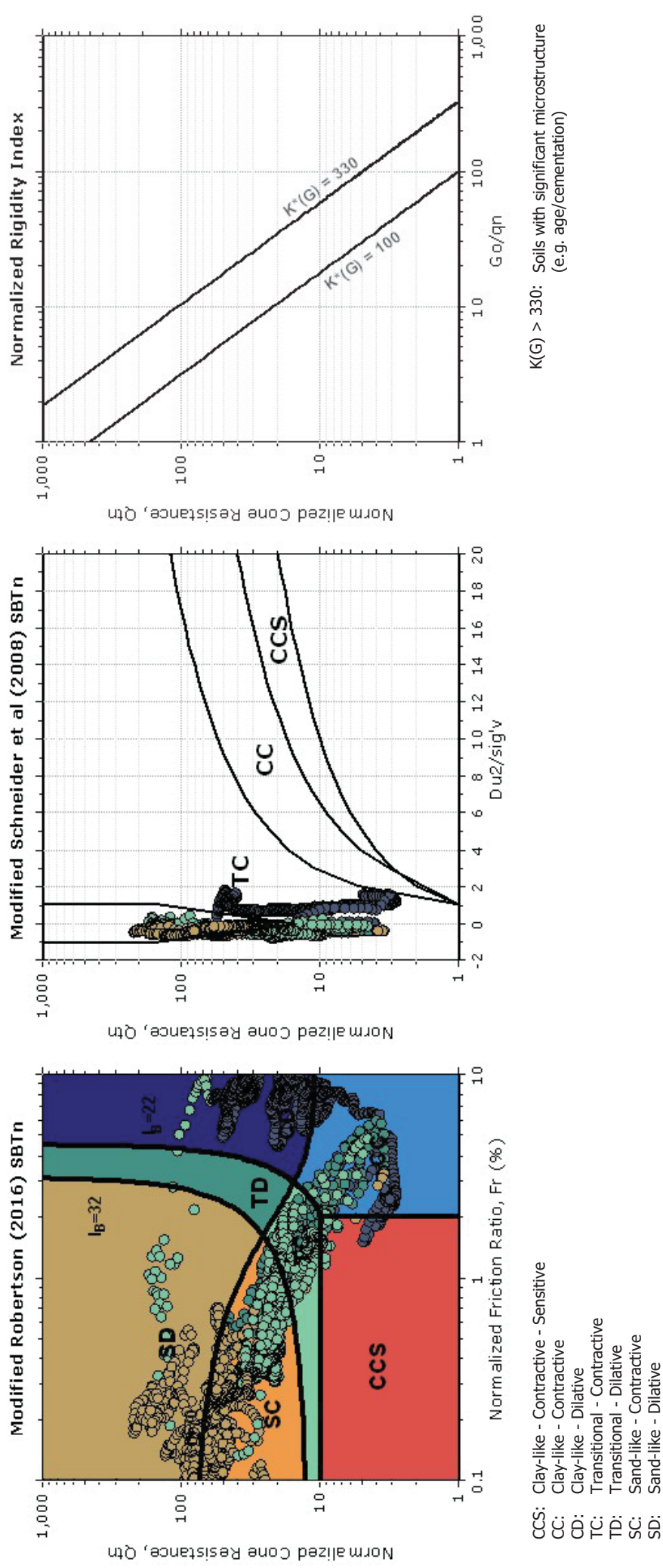


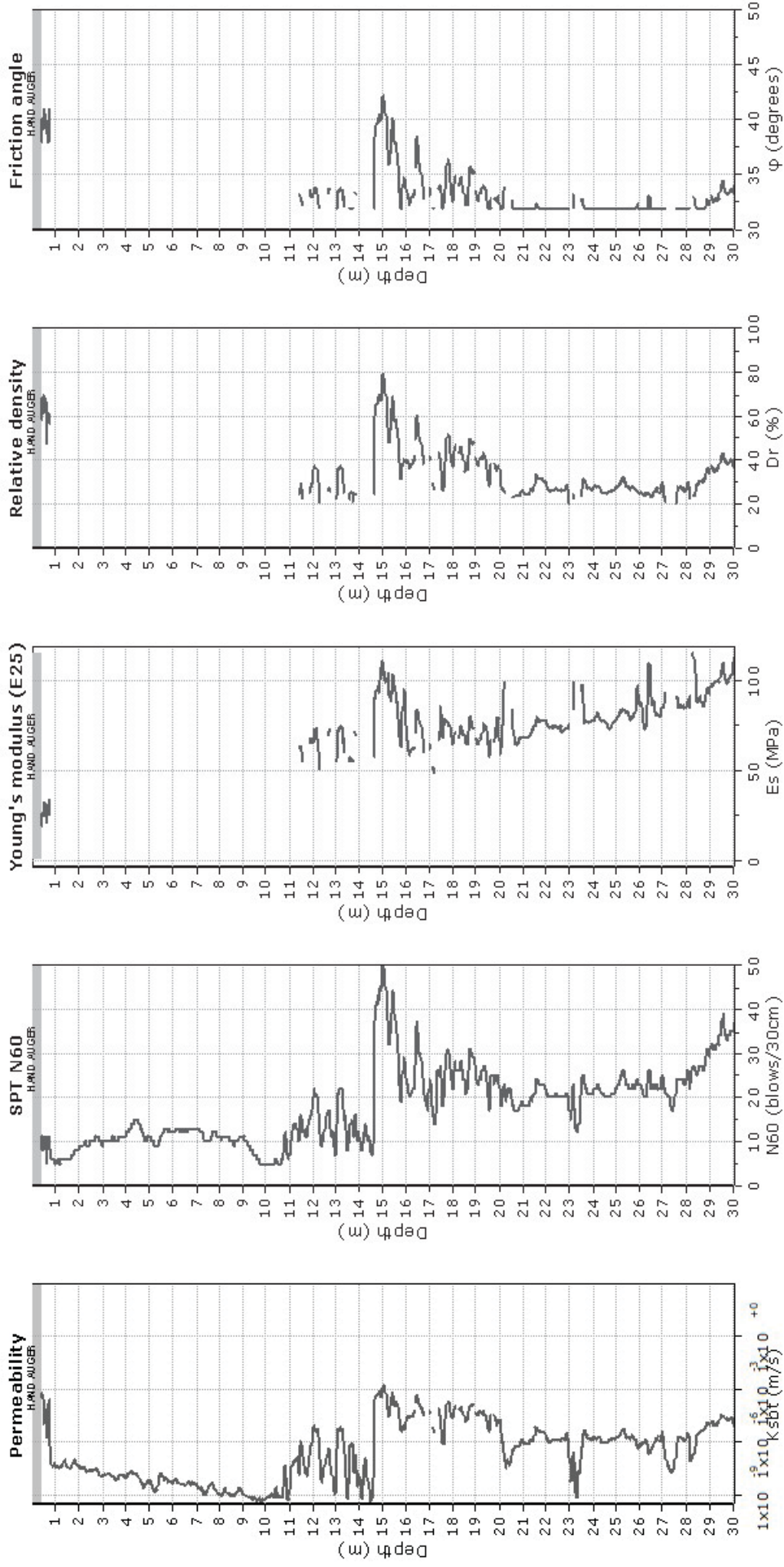






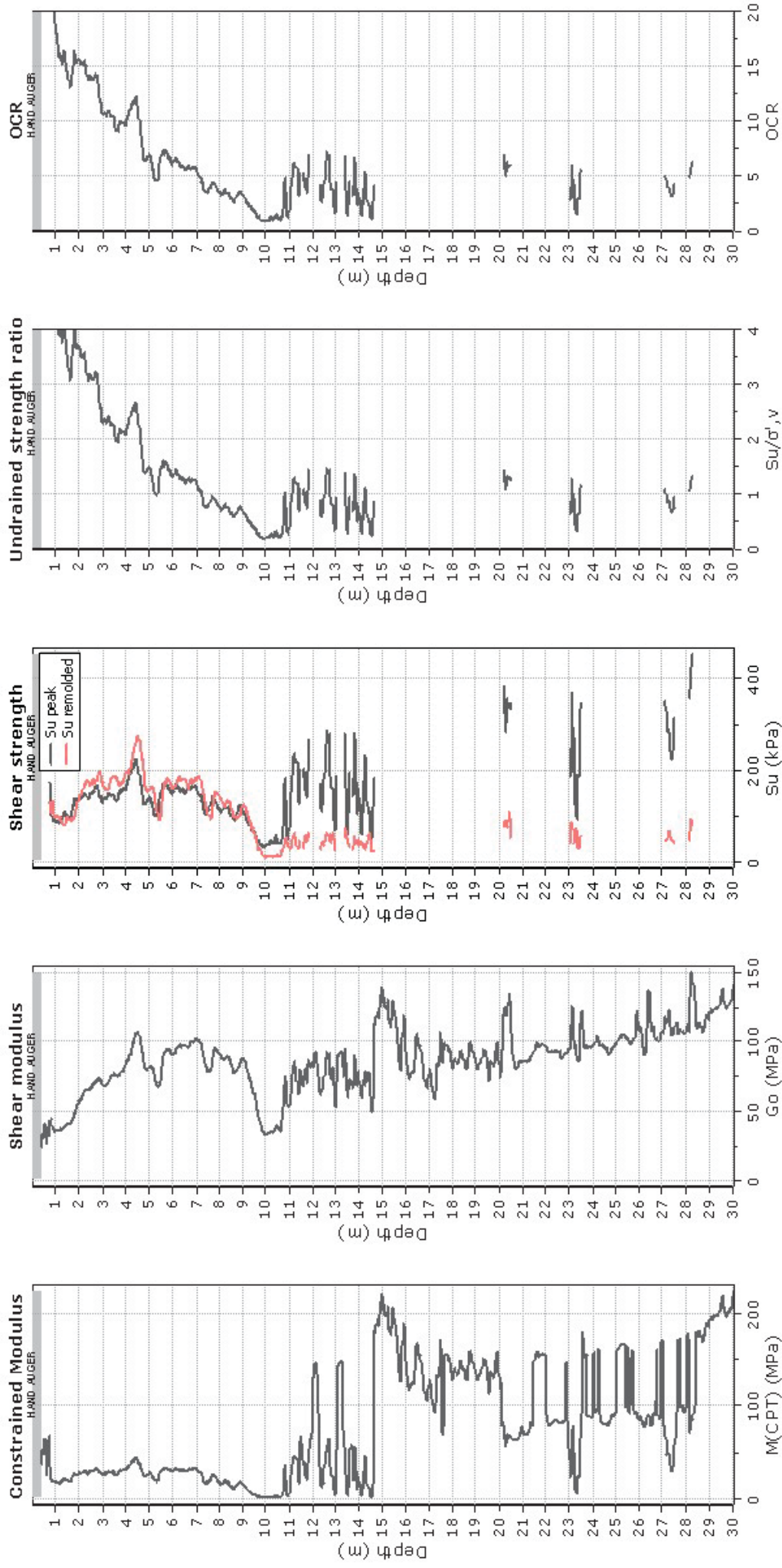
Updated SBTn plots





Calculation parameters

Permeability: Based on $S_{BT,n}$
 SPT N_{60} : Based on I_c and q_t
 Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009) —●— User defined estimation data
 Relative density constant, C_{Dr} : 350.0
 Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable alpha using I_c and Q_{in} (Robertson, 2009)

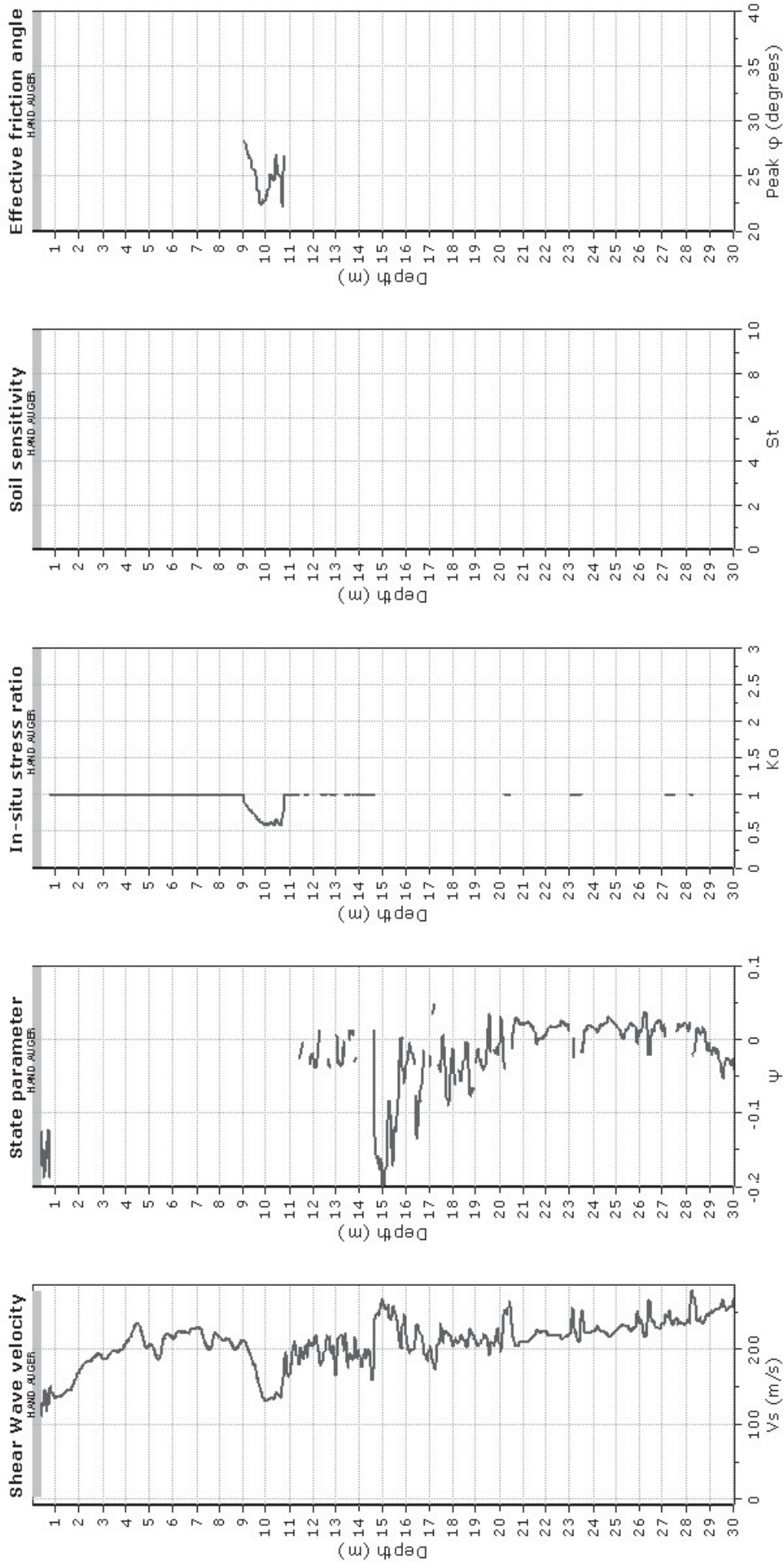
Go: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

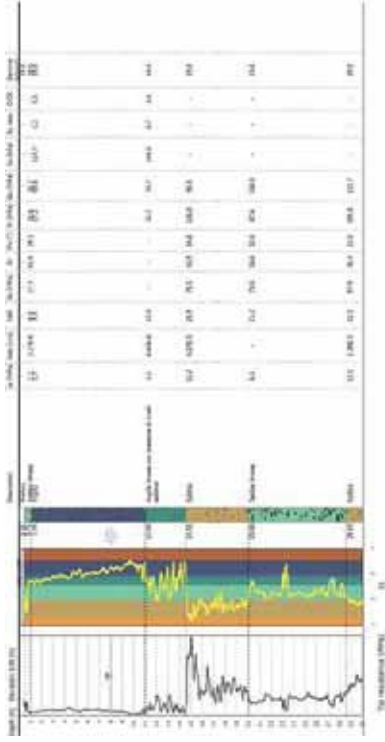
—●— Flat Dilatometer Test data

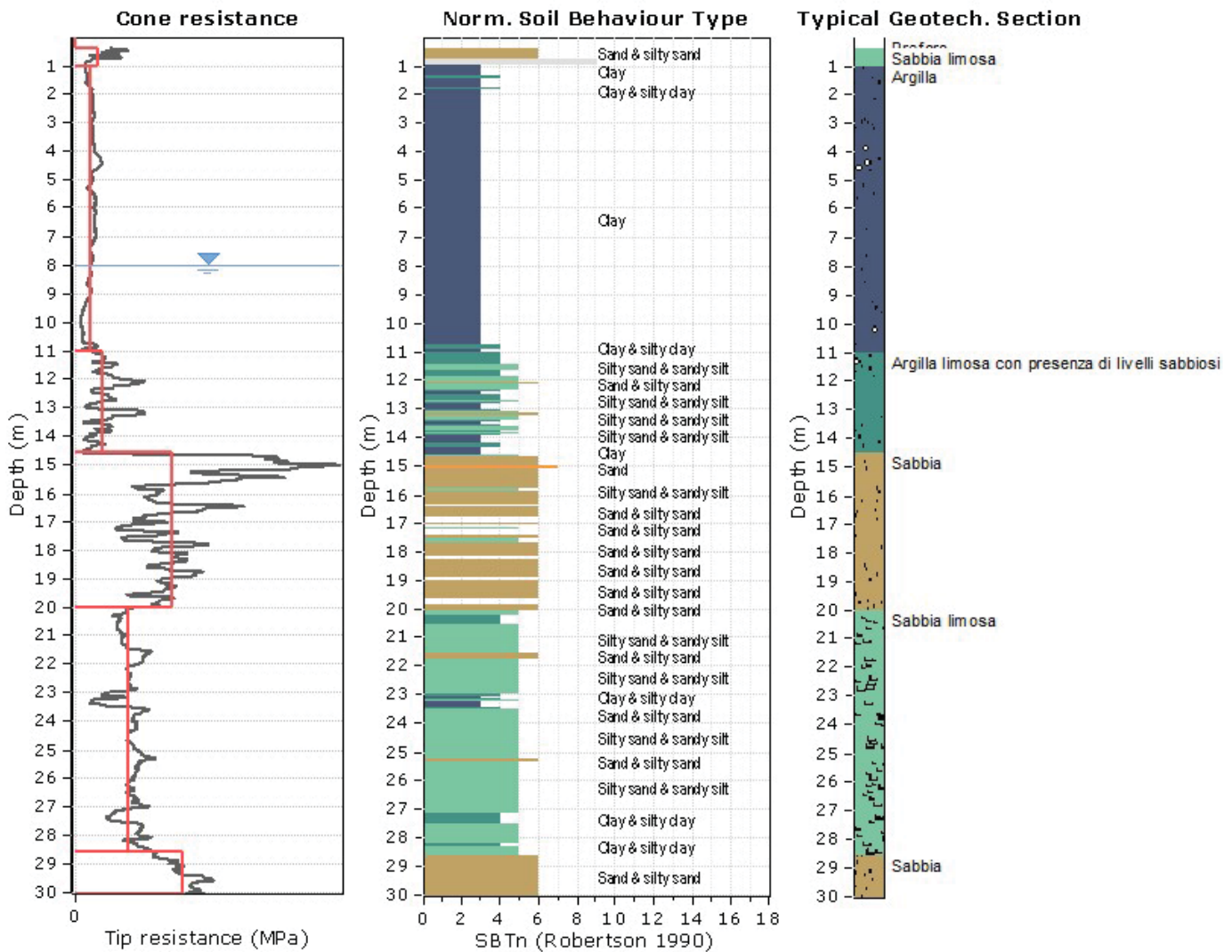


Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 350.00

—●— User defined estimation data





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 0	Start depth: 0.01 (m), End depth: 0.40 (m)	
Description: Preforo		
Basic results		
Total cone resistance:	0.00 ±0.00 MPa	
Sleeve friction:	9999.00 ±20252.76 kPa	
Ic:	0.00 ±0.00	
SBT _n :	0	
SBTn description:	N/A	
Estimation results		
Permeability:	0.00E+00 ±0.00E+00 m/s	Constrained Mod.: 0.00 ±0.00 MPa
N ₆₀ :	0.00 ±0.00 blows	Go: 0.00 ±0.00 MPa
Es:	0.00 ±0.00 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	19.00 ±0.00 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code: 1** **Start depth: 0.41 (m), End depth: 1.00 (m)****Description:** Sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.73 ±1.70 MPa
 Sleeve friction: 49.98 ±45.67 kPa
 Ic: 2.06 ±0.50
 SBT_n: 5
 SBTn description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 3.27E-06 ±1.37E-04 m/s
 N₆₀: 8.00 ±2.19 blows
 Es: 27.33 ±3.23 MPa
 Dr (%): 61.57 ±4.66
 φ (degrees): 39.32 ±0.98 °
 Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 35.61 ±18.88 MPa
 Go: 35.70 ±3.91 MPa
 Su: 0.00 ±0.00 kPa
 Su ratio: 0.00 ±0.00
 O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code: 2** **Start depth: 1.00 (m), End depth: 11.00 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.75 ±0.57 MPa
 Sleeve friction: 108.51 ±65.07 kPa
 Ic: 3.05 ±0.22
 SBT_n: 3
 SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 0.00E+00 ±2.06E-08 m/s
 N₆₀: 9.43 ±2.61 blows
 Es: 0.00 ±0.00 MPa
 Dr (%): 0.00 ±0.00
 φ (degrees): 0.00 ±0.00 °
 Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 17.21 ±11.73 MPa
 Go: 69.85 ±21.12 MPa
 Su: 114.71 ±43.05 kPa
 Su ratio: 1.18 ±1.09
 O.C.R.: 5.47 ±5.06

::: Layer No: 4 :::**Code: 3** **Start depth: 11.00 (m), End depth: 14.55 (m)****Description:** Argilla limosa con presenza di livelli sabbiosi**Basic results**

Total cone resistance: 3.08 ±1.93 MPa
 Sleeve friction: 40.16 ±11.26 kPa
 Ic: 2.65 ±0.39
 SBT_n: 4
 SBTn description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: 6.65E-08 ±1.88E-06 m/s
 N₆₀: 12.89 ±3.90 blows
 Es: 0.00 ±0.00 MPa
 Dr (%): 0.00 ±0.00
 φ (degrees): 0.00 ±0.00 °
 Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 32.24 ±43.53 MPa
 Go: 74.73 ±10.24 MPa
 Su: 144.97 ±62.65 kPa
 Su ratio: 0.75 ±0.35
 O.C.R.: 3.45 ±1.64

::: Layer No: 5 :::**Code: 4** **Start depth: 14.55 (m), End depth: 20.00 (m)****Description:** Sabbia**Basic results**

Total cone resistance: 11.19 ±5.62 MPa
 Sleeve friction: 19.24 ±18.76 kPa
 Ic: 1.74 ±0.27
 SBT_n: 6
 SBTn description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 4.07E-05 ±2.75E-04 m/s
 N₆₀: 25.86 ±8.09 blows
 Es: 75.46 ±12.99 MPa
 Dr (%): 43.92 ±12.04
 φ (degrees): 34.81 ±2.68 °
 Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 136.85 ±33.82 MPa
 Go: 90.46 ±17.47 MPa
 Su: 0.00 ±0.00 kPa
 Su ratio: 0.00 ±0.00
 O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 6 :::**Code:** 5 **Start depth:** 20.00 (m), **End depth:** 28.60 (m)**Description:** Sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 6.34 ±1.37 MPa

Sleeve friction: 31.16 ±17.17 kPa

Ic: 2.32 ±0.23

SBT_n: 5

SBTn description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 0.00E+00 ±2.02E-06 m/s

N₆₀: 21.18 ±2.68 blows

Es: 79.00 ±8.45 MPa

Dr (%): 26.55 ±2.31

φ (degrees): 32.05 ±0.20 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 87.60 ±40.90 MPa

Go: 100.89 ±12.52 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 7 :::**Code:** 6 **Start depth:** 28.60 (m), **End depth:** 30.06 (m)**Description:** Sabbia**Basic results**

Total cone resistance: 12.51 ±1.93 MPa

Sleeve friction: 33.32 ±5.85 kPa

Ic: 1.92 ±0.08

SBT_n: 6

SBTn description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 1.28E-05 ±8.31E-06 m/s

N₆₀: 32.05 ±3.30 blows

Es: 97.89 ±6.28 MPa

Dr (%): 36.43 ±3.47

φ (degrees): 32.96 ±0.70 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 195.78 ±12.57 MPa

Go: 122.69 ±7.88 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Summary table of mean values

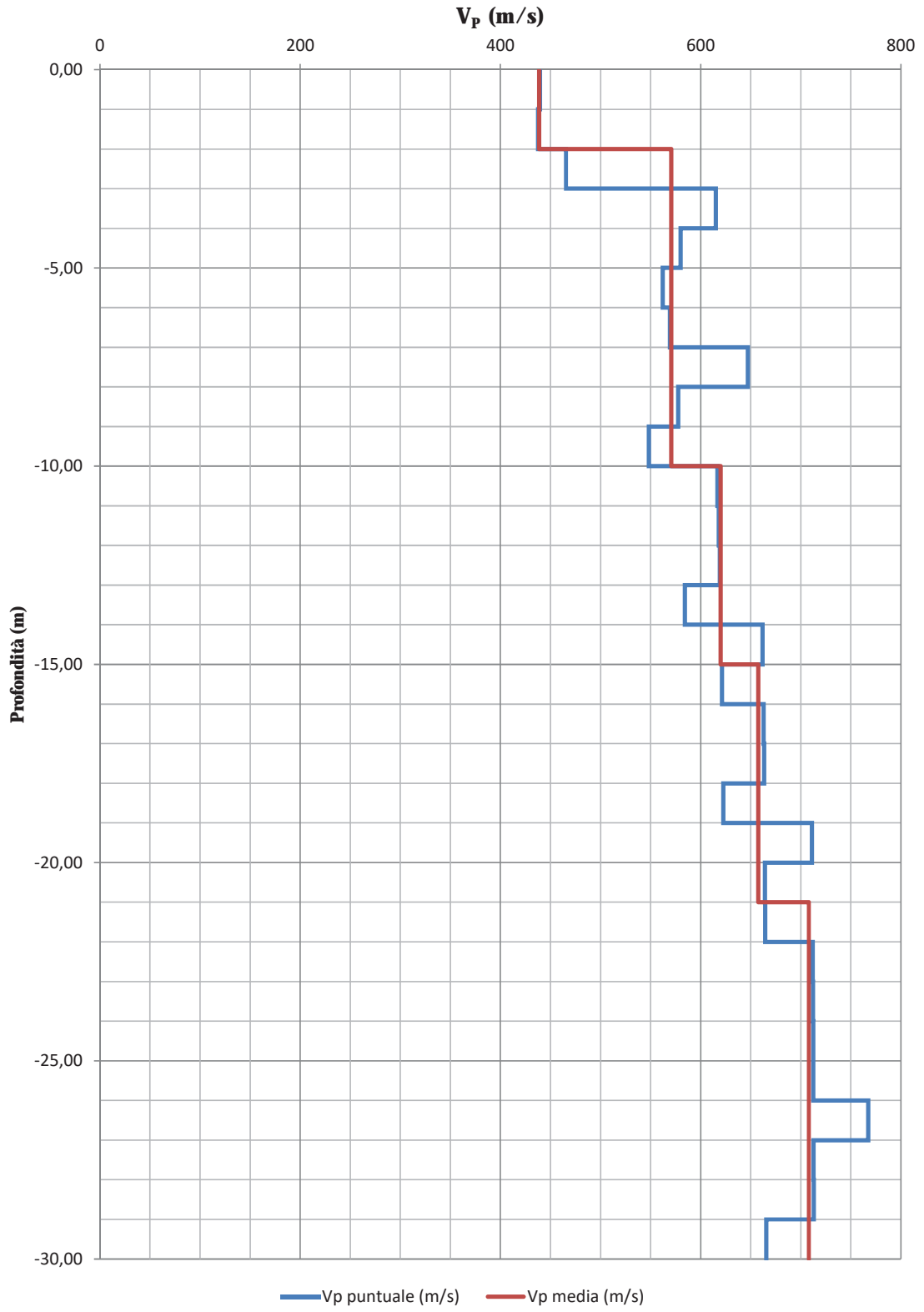
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.01	0.39	0.00E+00 (±0.00E+00)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
0.41	0.59	3.27E-06 (±1.37E-04)	8.0 (±2.2)	27.3 (±3.2)	61.6 (±4.7)	39.3 (±1.0)	35.6 (±18.9)	35.7 (±3.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
1.00	10.00	0.00E+00 (±2.06E-08)	9.4 (±2.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.2 (±11.7)	69.8 (±21.1)	114.7 (±43.1)	1.2 (±1.1)	5.5 (±5.1)	19.0 (±0.0)
11.00	3.55	6.65E-08 (±1.88E-06)	12.9 (±3.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	32.2 (±43.5)	74.7 (±10.2)	145.0 (±62.7)	0.7 (±0.4)	3.4 (±1.6)	19.0 (±0.0)
14.55	5.45	4.07E-05 (±2.75E-04)	25.9 (±8.1)	75.5 (±13.0)	43.9 (±12.0)	34.8 (±2.7)	136.8 (±33.8)	90.5 (±17.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
20.00	8.60	0.00E+00 (±2.02E-06)	21.2 (±2.7)	79.0 (±8.5)	26.6 (±2.3)	32.0 (±0.2)	87.6 (±40.9)	100.9 (±12.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
28.60	1.46	1.28E-05 (±8.31E-06)	32.1 (±3.3)	97.9 (±6.3)	36.4 (±3.5)	33.0 (±0.7)	195.8 (±12.6)	122.7 (±7.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

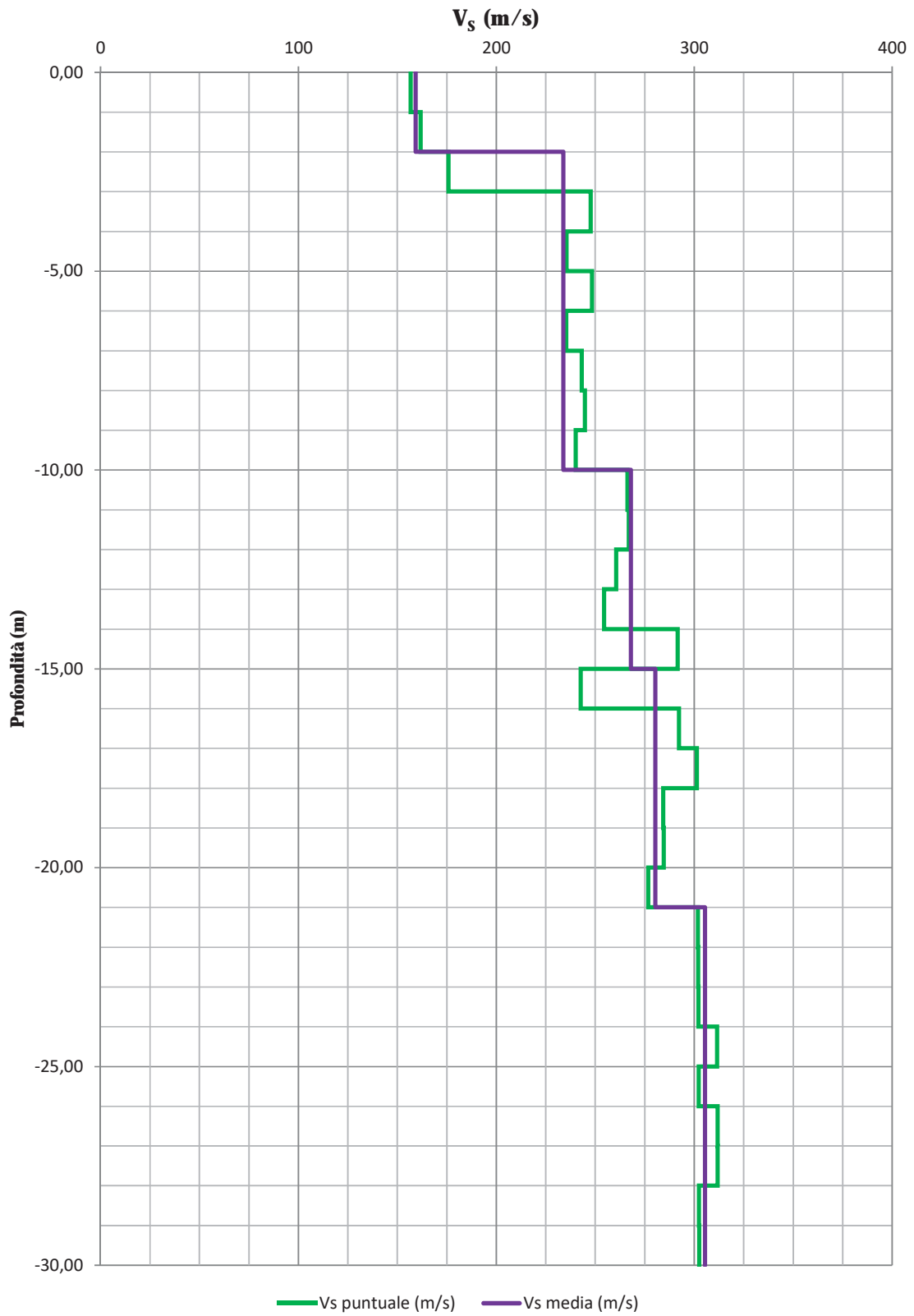
Allegato 6

ELABORAZIONE GRAFICA PROVE DOWN-HOLE

SDH-01 Velocità onde P

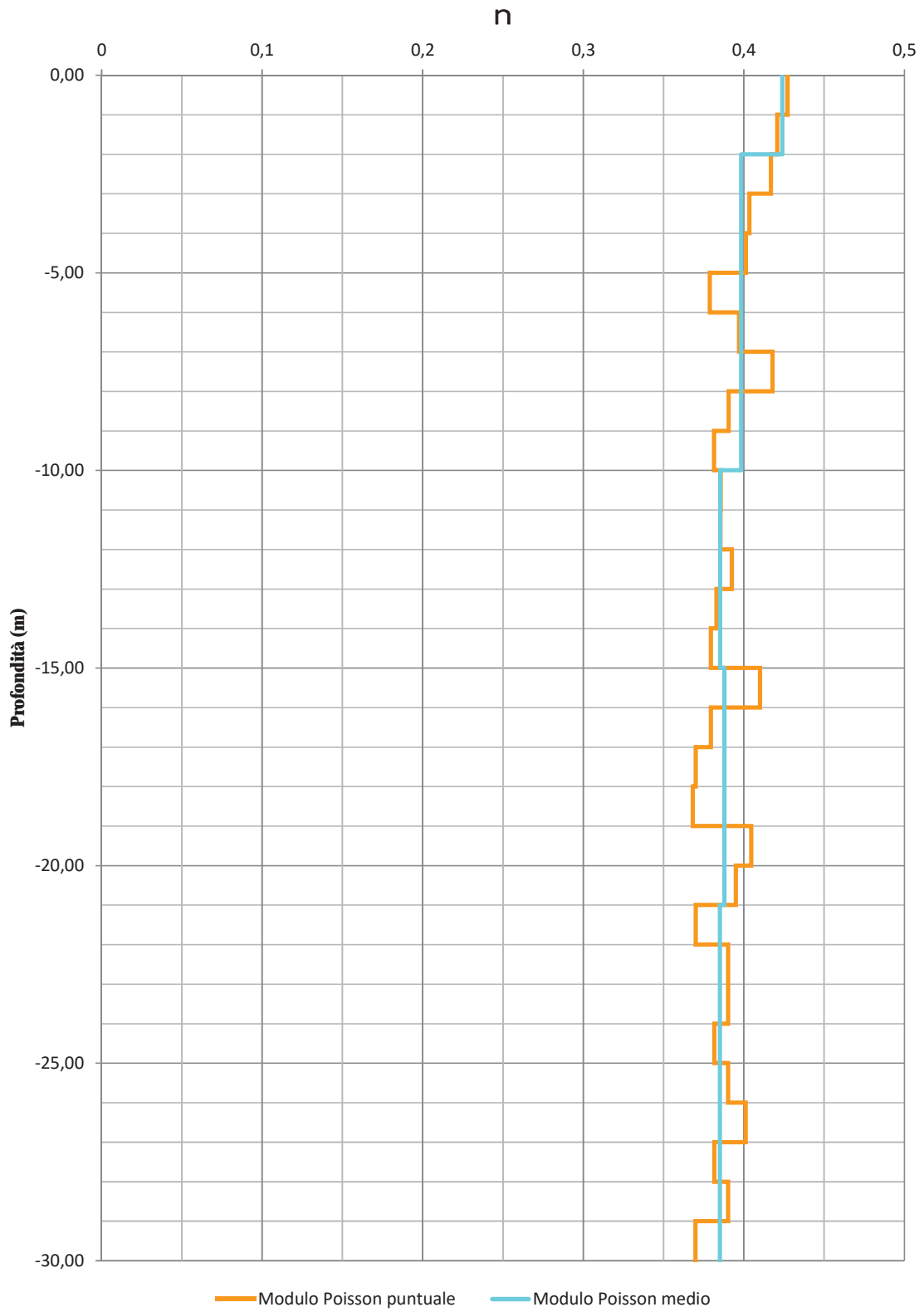


SDH-01 Velocità onde S

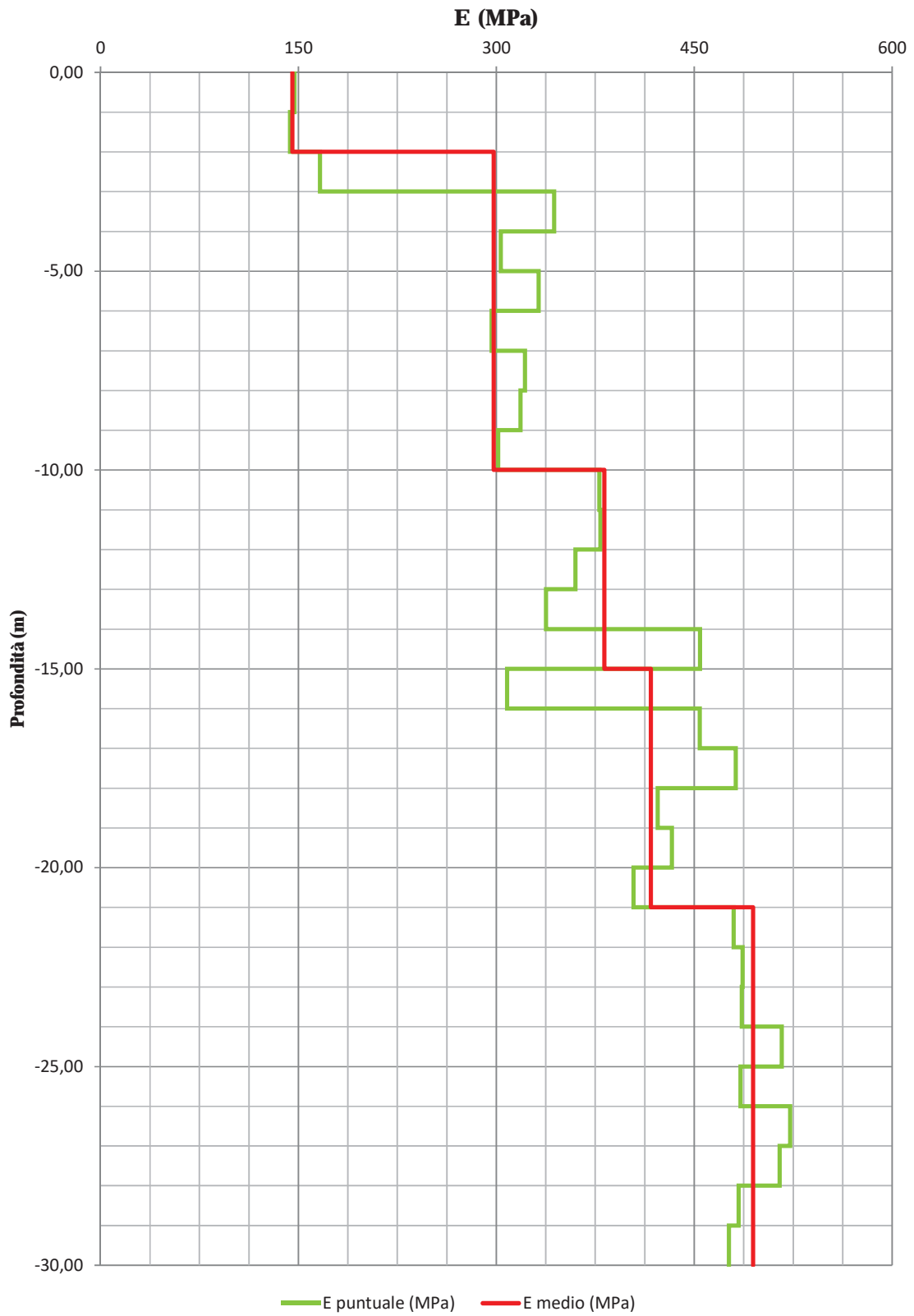


SDH-01

Modulo di Poisson ν

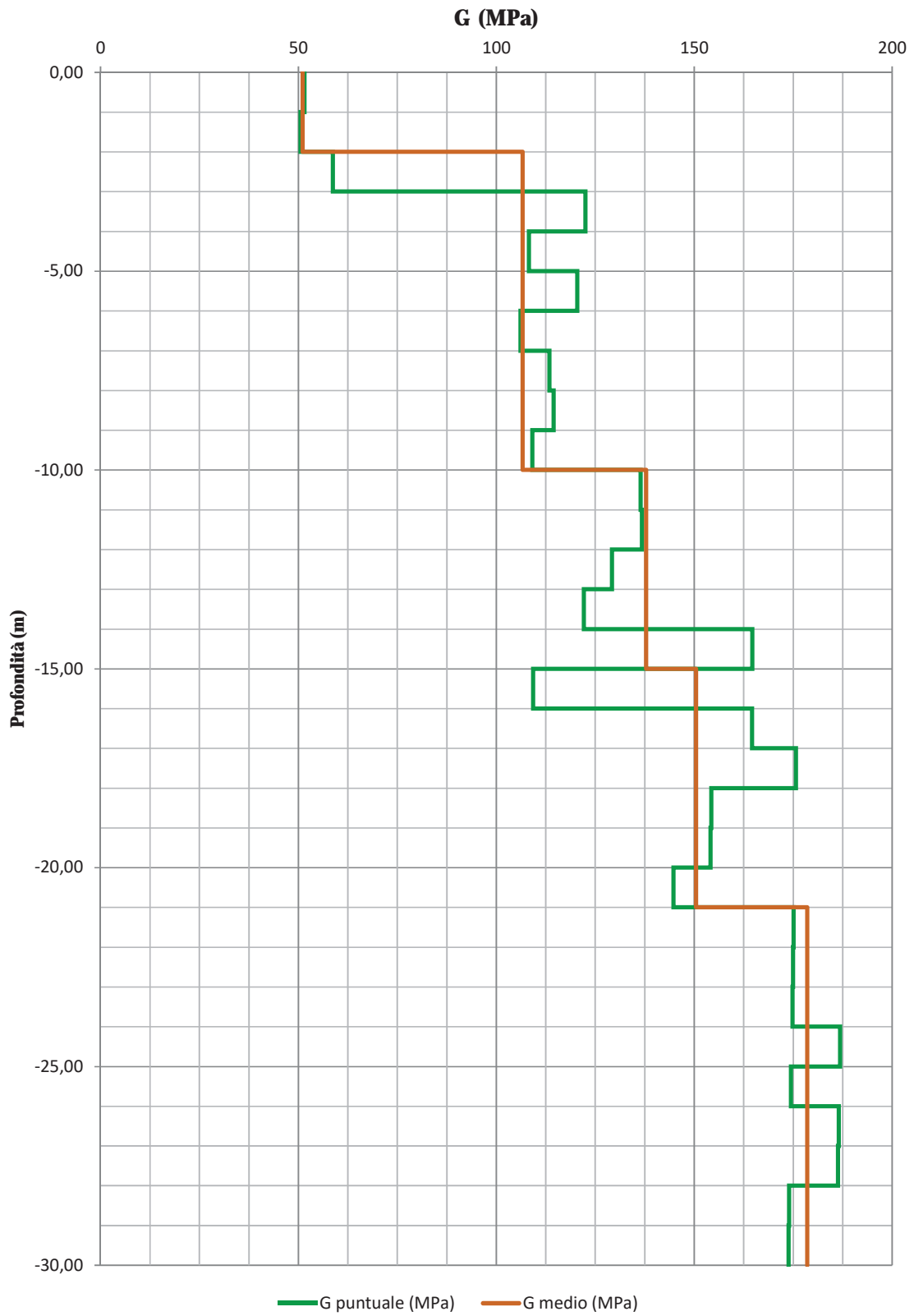


SDH-01 Modulo di elasticità (Young)



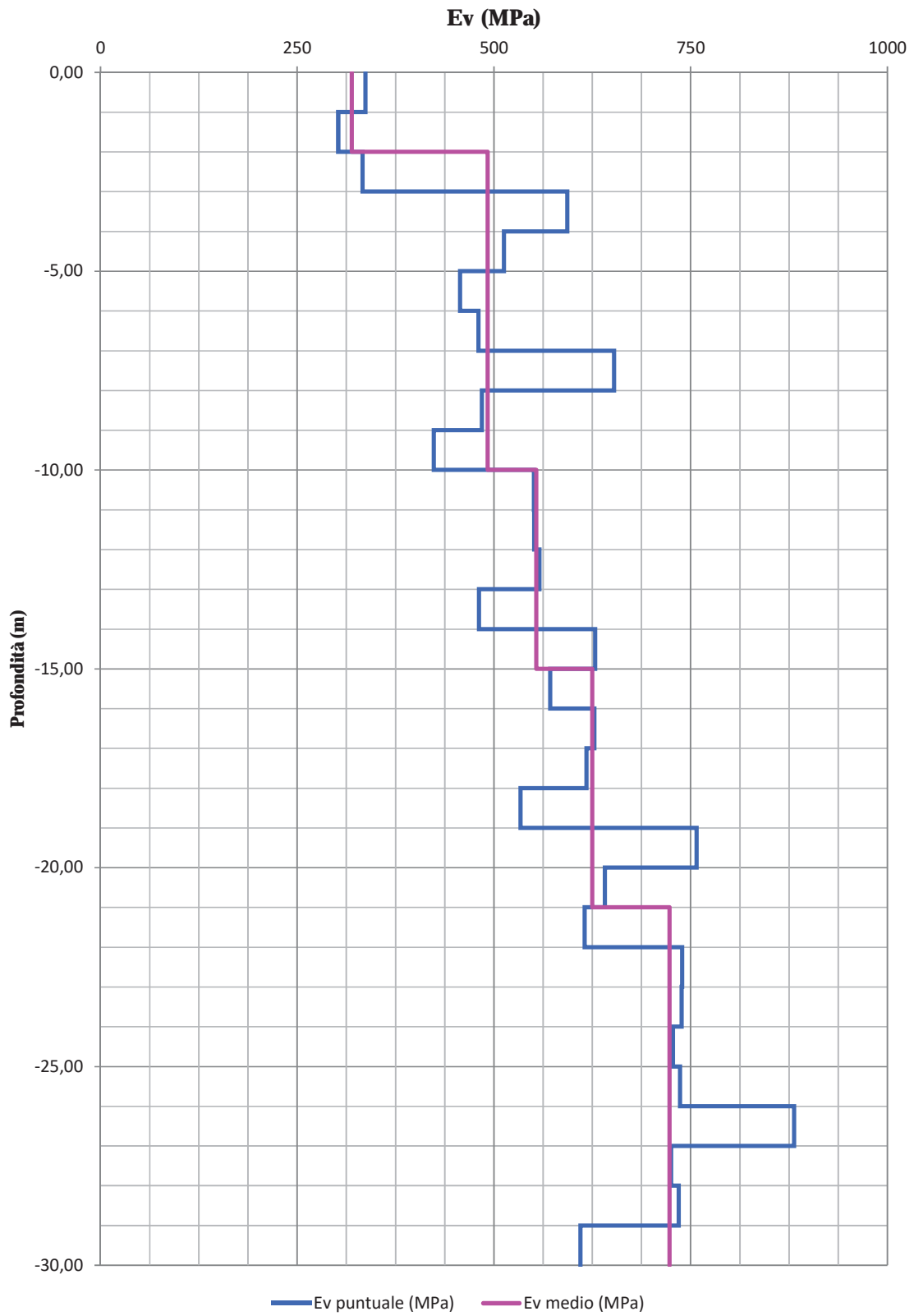
SDH-01

Modulo di deformazione al taglio



SDH-01

Modulo di compressibilità volumetrica



Allegato 7

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1 SONDAGGI GEOGNOSTICI



Foto n.1: SPZ-01 – Postazione sondaggio



Foto n.3: SPZ01 – Dettaglio cassetta 1 da 0,0 a 5,0 m



Foto n.2: SPZ01 – Cassetta 1 da 0,0 a 5,0 m



Foto n.4: SCS-01 – Postazione sondaggio



Foto n.5: SCS-01 – Cassetta 1 da 0,0 a 5,0 m



Foto n.7: SCS-01 – Cassetta 2 da 5,0 a 10,0 m



Foto n.6: SCS-01 – Dettaglio cassetta 1 da 0,0 a 5,0 m



Foto n.8: SCS-01 – Dettaglio cassetta 2 da 5,0 a 10,0 m



Foto n.9: SCS-01 – Cassetta 3 da 10,0 a 15,0 m



Foto n.10: SCS-01 – Dettaglio cassetta 3 da 10,0 a 15,0 m



Foto n.11: SDH-01 – Postazione sondaggio



Foto n.12: SDH-01 – Cassetta a da 0,0 a 5,0 m



Foto n.13: SDH-01 – Dettaglio cassetta 1 da 0,0 a 5,0 m



Foto n.15: SDH-01 – Dettaglio cassetta 2 da 5,0 a 10,0 m



Foto n.14: SDH-01 – Cassetta 2 da 5,0 a 10,0 m



Foto n.16: SDH-01 – Cassetta 3 da 10,0 a 15,0 m



Foto n.17: SDH-01 – Dettaglio cassetta 3 da 10,0 a 10,5 m



Foto n.19: SDH-01 – Dettaglio cassetta 4 da 15,0 a 20,0 m



Foto n.18: SDH-01 – Cassetta 4 da 15,0 a 20,0 m



Foto n.20: SDH-01 – Cassetta 5 da 20,0 a 25,0 m



Foto n.21: SDH-01 – Dettaglio cassetta 5 da 20,0 a 25,0 m



Foto n.23: SDH-01 – Dettaglio cassetta 6 da 25,0 a 30,0 m



Foto n.22: SDH-01 – Cassetta 6 da 25,0 a 30,0 m

2 INDAGINE SISMICA HVSR



Foto n.24: Postazione prova HVSR1



Foto n.26: Postazione prova HVSR3



Foto n.25: Postazione prova HVSR2

3 INDAGINE SISMICA DOWN HOLE



Foto n.27: Panoramica postazione SDH-01



Foto n.29: SDH-01 – Panoramica acquisizione onde S1



Foto n.28: SDH-01 – Panoramica acquisizione onde P



Foto n.30: SDH-01 – Panoramica acquisizione onde S2

4 INDAGINE SISMICA MASW



Foto n.31: Postazione prova MASW 1 – vista 1



Foto n.33: Postazione prova MASW 2 – vista 1



Foto n.32: Postazione prova MASW 1 – vista 2



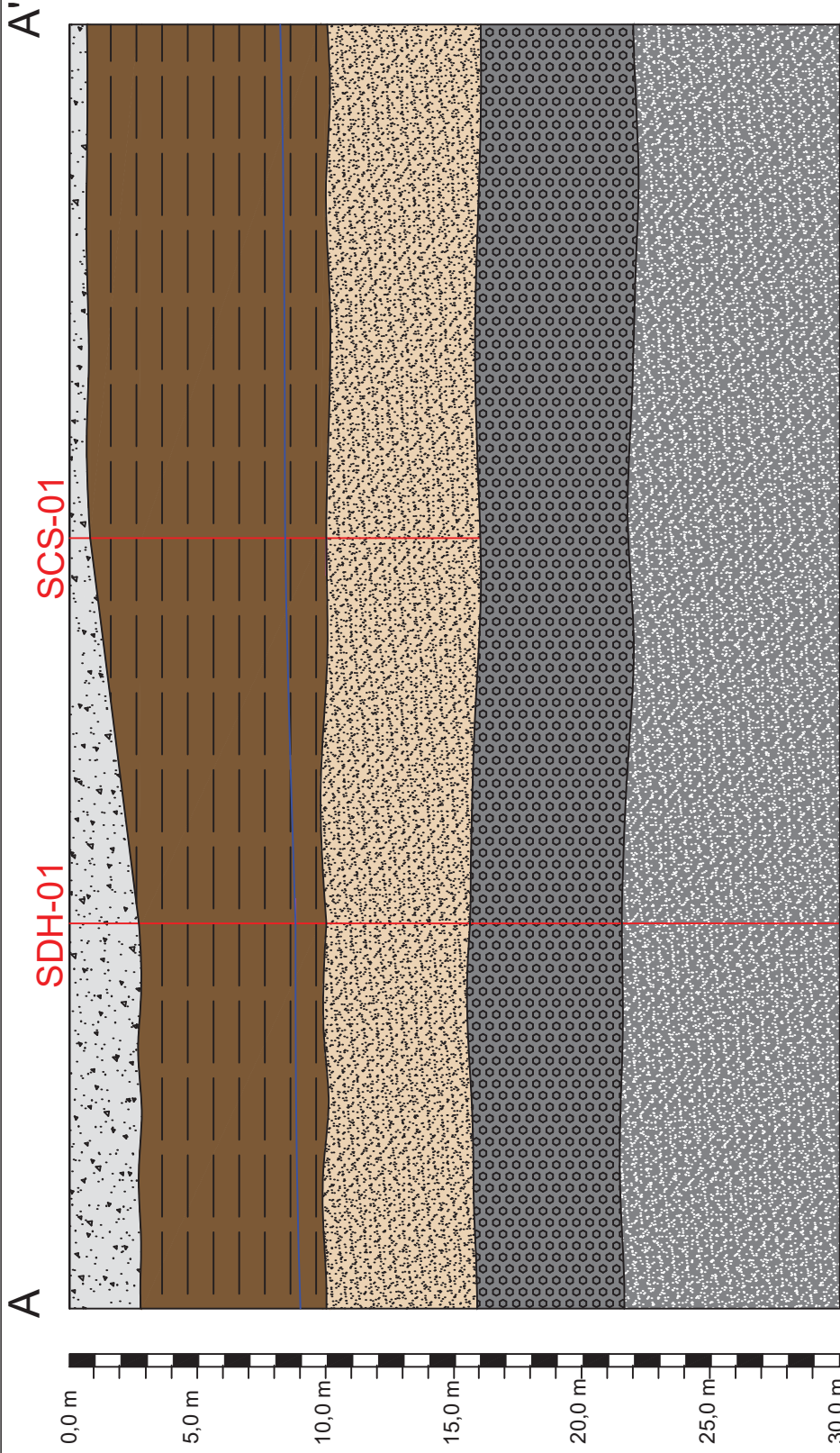
Foto n.34: Postazione prova MASW 2 – vista 2

Allegato 8

SEZIONE GEOLOGICO-TECNICA

SEZIONE GEOLOGICO TECNICA AA'

Scala 1:200



Legenda



Livello litologico n.1: Argilla da con limo a limosa passante verso la base a limo da con argilla ad argilloso e con sabbia, da debolmente umido a saturo (sotto falda), da molto consistente a duro, da poco a moderatamente plastico, di colore marrone scuro.
Parametri geotecnici medi: $\gamma_n = 19,5 \text{ kN/m}^3$, $C_u = 96-125 \text{ kPa}$, $\phi_u = 0^\circ$
 $E' (98:196 \text{ kPa}) = 13.475 \text{ kPa}$, $Mv (98:196 \text{ kPa}) = 7,42 \cdot 10^{-5}$;
 $k (98:196 \text{ kPa}) = 1,4 \cdot 10^{-11}$.



Livello litologico n.2: Sabbia medio fine da limosa a con limo debolmente argilloso, saturo, coerente, poco addensata, di colore da marrone chiaro a grigiastro.
Parametri geotecnici medi: $\gamma_n = 18,6 \text{ kN/m}^3$, $c' = 0 \text{ kPa}$, $\phi = 31^\circ$



Livello litologico n.3: Sabbia medio fine da ghiaiosa a con ghiaia e da limosa a con limo, saturo, da poco coerente a coerente, moderatamente addensata, di colore grigio scuro.
Parametri geotecnici medi: $\gamma_n = 19,8 \text{ kN/m}^3$, $c' = 0 \text{ kPa}$, $\phi = 30^\circ$

Livello litologico n.4: Sabbia medio fine da limosa a con limo e argilla, saturo, da poco coerente a coerente, poco addensata, di colore grigio chiaro.
Parametri geotecnici medi: $\gamma_n = 21,0 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0 \text{ kPa}$ (CPTu), $\phi = 32^\circ$ (CPTu).

— Livello di intercettazione circolazione idrica freatica

