CAP ACQUA CHE GENERA FUTURO

COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)

ATO Città Metropolitana Milano

PROGETTO ESECUTIVO

PARCO DELL'ACQUA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

R.U.P

Ing. Davide Chiuch - CAP Holding S.p.A.

PROGETTISTA

Ing. Marco Callerio - CAP Holding S.p.A.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE OPERE SPECIALISTICHE

Ing. Marco Cottino – J+S S.p.A.

J+S

G26-9315-PE-R-GEN-025-A-RSP

GIUGNO 2026

GRUPPO CAP

Paderno Dugnano (MI)

Indagini geologiche, geotecniche e ambientali per la caratterizzazione del terreno presente in Via Paisiello all'interno del comune di Paderno Dugnano

Commessa	Committente	Documento
431/20 del 22/09/2020	**Gruppo CAP**	Relazione geologica con caratterizzazione geotecnica
Redatto da	**Revisione**	**Firma**
Dr. geol. Nicolò GIUSSANI *Dr. geol. Devid STAIN*	00	
Approvato da	**Data**	**Firma**
Dr. geol. Alessandro MAGGI	14/12/2021	

In-Co s.r.l. – Indagini e Consolidamenti
Sede legale: Via dell'Industria, 36 – 25040 Malonno (BS) – ITALY - Codice fiscale e partita IVA 03478400983 PEC: In-cosrl@pec.it
Amministrazione: Tel. +39 3669001927 e-mail: info@in-cosrl.it - Uff.Tecnico: Tel. +39 3459705611 e-mail: tecnico@in-cosrl.it
Attest. SOA OS20b – OS21 Cl. IV - Certificazione Sistema di qualità ISO 9001:2015 - ISO 45001:2018 - ISO 14000:2015

SOMMARIO

PREMESSA 5
STUDIO GEOLOGICO COMUNALE VIGENTE 6
INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE 9
Sondaggi stratigrafici 9
Generalità 9
Attrezzatura e metodologia di perforazione 12
Stratigrafia dei sondaggi 14
Sondaggio S1 14
Sondaggio S2 16
Sondaggio S3 19
Sondaggio S4 22
Sondaggio SA1 25
Sondaggio SA2 26
Sondaggio SA3 28
Sondaggio SA4 30
Sondaggio SA5 32
Sondaggio SA6 35
Sondaggio SA7 37
Sondaggio SA8 39
Sondaggio SA9 40
Profondità della falda acquifera ed installazione di n. 3 piezometri 42
Prove di permeabilità in foro 43
Generalità 43
Prove Lefranc a livello Costante 43
Risultati delle prove 44
Prove penetrometriche dinamiche (SPT) 51
Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT 51
Elaborazione dati SPT e prove penetrometriche SCPT 58
INDAGINE SISMICA TIPO MASW 60
Ubicazione stendimento MASW 62
Acquisizione MASW 1 62
ANALISI DI II LIVELLO SISMICO 68
MODELLO GEOLOGICO 71
VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE 71
CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA 72
ANALISI AMBIENTALI DI LABORATORIO 79
CONCLUSIONI 80

Allegati nel testo

Figura 1. Carta di fattibilità geologica, scala 1:5000, Comune di Paderno Dugnano 7
Figura 2. Carta di pericolosità sismica locale, scala 1:5000, del Comune di Paderno Dugnano 7
Figura 3. Carta dei Vincoli, scala 1:5000, del Comune di Paderno Dugnano 8
Figura 4. Carta geologica, scala 1:5000, del Comune di Paderno Dugnano 8
Figura 5. Corografia. 9
Figura 6. Area di studio. 10
Figura 7. Ubicazione delle indagini eseguite. 11
Figura 8. Scheda tecnica sonda GM 660 C. 13
Figura 9. Stratigrafia del sondaggio S1. 15
Figura 10. Stratigrafia del sondaggio S2. 17
Figura 11. Stratigrafia del sondaggio S3. 20
Figura 12. Stratigrafia del sondaggio S4. 23
Figura 13. Stratigrafia del sondaggio Sa1. 25
Figura 14. Stratigrafia del sondaggio Sa2. 27
Figura 15. Stratigrafia del sondaggio Sa3. 29
Figura 16. Stratigrafia del sondaggio Sa4. 31
Figura 17. Stratigrafia del sondaggio Sa5. 33
Figura 18. Stratigrafia del sondaggio Sa6. 35
Figura 19. Stratigrafia del sondaggio Sa7. 37
Figura 20. Stratigrafia del sondaggio Sa8. 39
Figura 21. Stratigrafia del sondaggio Sa9. 41
Figura 22. Risultati prova di permeabilità S1 K1. 45
Figura 23. Risultati prova di permeabilità S2 K1. 46
Figura 24. Risultati prova di permeabilità S2 K2. 47
Figura 25. Risultati prova di permeabilità S2 K3. 48
Figura 26. Risultati prova di permeabilità S3 K1. 49
Figura 27. Risultati prova di permeabilità S3 K2. 50
Figura 28. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 1. 53
Figura 29. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 2. 54
Figura 30. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 3. 55
Figura 31. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 4. 56
Figura 32. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 5. 57
Figura 33. Schema stendimento sismico MASW 60
Figura 34. Ubicazione indagini MASW 62
Figura 35. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF) 63
Figura 36. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF) 63
Figura 37. Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF) 64
Figura 38. Inversione congiunta delle onde Rayleigh e Love 64
Figura 39. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh 65
Figura 40. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love 65
Figura 41. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale 66
Figura 42. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models 66
Figura 43. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models 66
Figura 44. Profilo VS 67

Foto 1. Sondaggio S1 da 0.00 m a 5.00 m. 16
Foto 2. Sondaggio S2 da 0.00 m a 5.00 m. 18
Foto 3. Sondaggio S2 da 5.00 m a 10.00 m. 18
Foto 4. Sondaggio S2 da 10.00 m a 15.00 m. 19
Foto 5. Sondaggio S3 da 0.00 m a 5.00 m. 21
Foto 6. Sondaggio S3 da 5.00 m a 10.00 m. 21
Foto 7. Sondaggio S4 da 0.00 m a 5.00 m. 24
Foto 8. Sondaggio S4 da 5.00 m a 10.00 m. 24
Foto 9. Sondaggio SA1 da 0.00 m a 2.00 m. 26
Foto 10. Sondaggio SA2 da 0.00 m a 2.00 m. 28
Foto 11. Sondaggio SA3 da 0.00 m a 2.00 m. 30
Foto 12. Sondaggio SA4 da 0.00 m a 2.00 m. 32
Foto 13. Sondaggio SA5 da 0.00 m a 5.00 m. 34
Foto 14. Sondaggio SA5 da 5.00 m a 6.00 m. 34

Foto 15. Sondaggio SA6 da 0.00 m a 5.00 m. 36
Foto 16. Sondaggio SA6 da 5.00 m a 6.00 m. 36
Foto 17. Sondaggio SA7 da 0.00 m a 5.00 m. 38
Foto 18. Sondaggio SA7 da 5.00 m a 6.00 m. 38
Foto 19. Sondaggio SA8 da 0.00 m a 5.00 m. 40
Foto 20. Sondaggio SA9 da 0.00 m a 5.00 m. 42

Tabella 1. Riepilogo delle indagini in sito. 6
Tabella 2. Misurazioni falda acquifera all'interno dei piezometri. 42
Tabella 3. Risultati delle prove di permeabilità. 44
Tabella 4. Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT. 51
Tabella 5. Elaborazione Spt S1 58
Tabella 6. Elaborazione prova penetrometrica 1 58
Tabella 7. Elaborazione prova penetrometrica 2 58
Tabella 8. Elaborazione prova penetrometrica 3 58
Tabella 9. Elaborazione prova penetrometrica 4 59
Tabella 10. Elaborazione prova penetrometrica 5 59
Tabella 11. Dati modello medio e modello migliori 67
Tabella 12. Scheda litologia ghiaiosa. 69
Tabella 13. Valori soglia comunali 70
Tabella 14. Modello geologico-geotecnico locale 71
Tabella 15. Zone sismiche OPCM 3274/2003 e DL n.2129 72
Tabella 16. Vita nominale VN per diversi tipi di opere 73
Tabella 17. Valori del coefficiente d'uso Cu 74
Tabella 18. Parametri opera in progetto 75
Tabella 19. Categorie di suolo 75
Tabella 20. Categorie topografiche 76
Tabella 21. Forme spettrali SLE e SLU 77
Tabella 22. Espressioni si Ss e di Cc. 77
Tabella 23. Coefficienti sismici 78
Tabella 24. Categoria di riduzione accelerazione massima di sito 78
Tabella 25. Parametri di progettazione sismica 79
Tabella 26. Riepilogo dei campioni prelevati e risultati sintetici delle analisi ambientali. 80

Allegati al testo

Allegato 1 – Risultati delle analisi ambientali di laboratorio

PREMESSA

Con incarico di Gruppo CAP in seguito al Contratto aperto, Rep. N. 2455 del 13/05/2020, sono state eseguite delle indagini geognostiche ed ambientali per la caratterizzazione del terreno presente all'interno del comune di Paderno Dugnano (MI). Sono stati realizzati n. 4 sondaggi geognostici con profondità compresa tra 5.00 m e 15.00 m durante i quali sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche SPT e prove di permeabilità Lefranc a livello costante. Successivamente alla loro conclusione sono stati anche installati n. 3 piezometri del tipo a tubo aperto con diametro pari a 2" per l'identificazione di eventuali falde sospese. Sono stati inoltre realizzati n. 9 sondaggi ambientali con profondità compresa tra 2.00 m e 6.00 m. Al termine di ogni sondaggio sono dunque stati prelevati campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

L'indagine si è articolata con attività in sito e con analisi in laboratorio dei campioni prelevati. Nel dettaglio, in sito, sono stati eseguiti:

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo a profondità compresa tra 5.00 m e 15.00 m;
- n. 9 sondaggi ambientali a profondità compresa tra 2.00 m e 6.00 m;
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro;
- esecuzione di prove di permeabilità in terreno;
- prelievo di campioni per le analisi di laboratorio;
- esecuzione di n. 5 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT;
- esecuzione 1 indagine MASW della lunghezza di 65 m;

Di seguito è riportato un riepilogo dei lavori effettuati.

Indagine	Tipologia	Simbologia	Caratteristiche	
1	Sondaggio geognostico	S1	Lunghezza (m)	5.0
			Permeabilità Lefranc	1
			Campioni ambientali	2
2	Sondaggio geognostico	S2	Lunghezza (m)	15.0
			Permeabilità Lefranc	3
			Campioni ambientali	3
			Piezometro/falda	15.0/ n.r.
3	Sondaggio geognostico	S3	Lunghezza (m)	10.0
			Permeabilità Lefranc	2
			Campioni ambientali	3
			Piezometro/falda	10.0/n.r.
4	Sondaggio geognostico	S4	Lunghezza (m)	10.0
			Prove SPT	3
			Campioni ambientali	3
			Piezometro/falda	10.0/ n.r.

5	Sondaggio ambientale	Sa1	Lunghezza (m)	2.0
			Campioni ambientali	2
6	Sondaggio ambientale	Sa2	Lunghezza (m)	2.0
			Campioni ambientali	2
7	Sondaggio ambientale	Sa3	Lunghezza (m)	2.0
			Campioni ambientali	2
8	Sondaggio ambientale	Sa4	Lunghezza (m)	2.0
			Campioni ambientali	2
9	Sondaggio ambientale	Sa5	Lunghezza (m)	6.0
			Campioni ambientali	3
10	Sondaggio ambientale	Sa6	Lunghezza (m)	6.0
			Campioni ambientali	3
11	Sondaggio ambientale	Sa7	Lunghezza (m)	6.0
			Campioni ambientali	3
12	Sondaggio ambientale	Sa8	Lunghezza (m)	5.0
			Campioni ambientali	3
13	Sondaggio ambientale	Sa9	Lunghezza (m)	5.0
			Campioni ambientali	3
14	Prova penetrometrica SCPT	SCPT1	Lunghezza (m)	4.20
15	Prova penetrometrica SCPT	SCPT2	Lunghezza (m)	6.30
16	Prova penetrometrica SCPT	SCPT3	Lunghezza (m)	3.60
17	Prova penetrometrica SCPT	SCPT4	Lunghezza (m)	5.10
18	Prova penetrometrica SCPT	SCPT5	Lunghezza (m)	6.00
19	Indagine sismica	MASW1	Lunghezza (m)	65.00

Tabella 1. Riepilogo delle indagini in sito.

I lavori hanno avuto inizio il giorno 04/11/2021 con il trasporto delle attrezzature e dei materiali necessari all'esecuzione delle indagini e si sono conclusi il giorno 11/11/2021 con l'evacuazione delle attrezzature. Nella presente relazione geologica sono esposte per area i risultati delle indagini e delle misure eseguite in sito, sono inoltre riportate le modalità di esecuzione dei lavori in cantiere, oltre ad alcune informazioni tecniche sulle attrezzature impiegate.

STUDIO GEOLOGICO COMUNALE VIGENTE

Dall'analisi della componente geologica del PGT comunale di Paderno Dugnano attualmente vigente e realizzato dallo studio idrogeotecnico associato Adriano Ghezzi, si evince quanto segue.

*L'area presenta una fattibilità geologica **2 A**, fattibilità con modeste limitazioni. Aree pianeggianti litologicamente costituite da ghiaie e sabbie con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterate. Possibile presenza di terreni fini superficiali discontinui.*

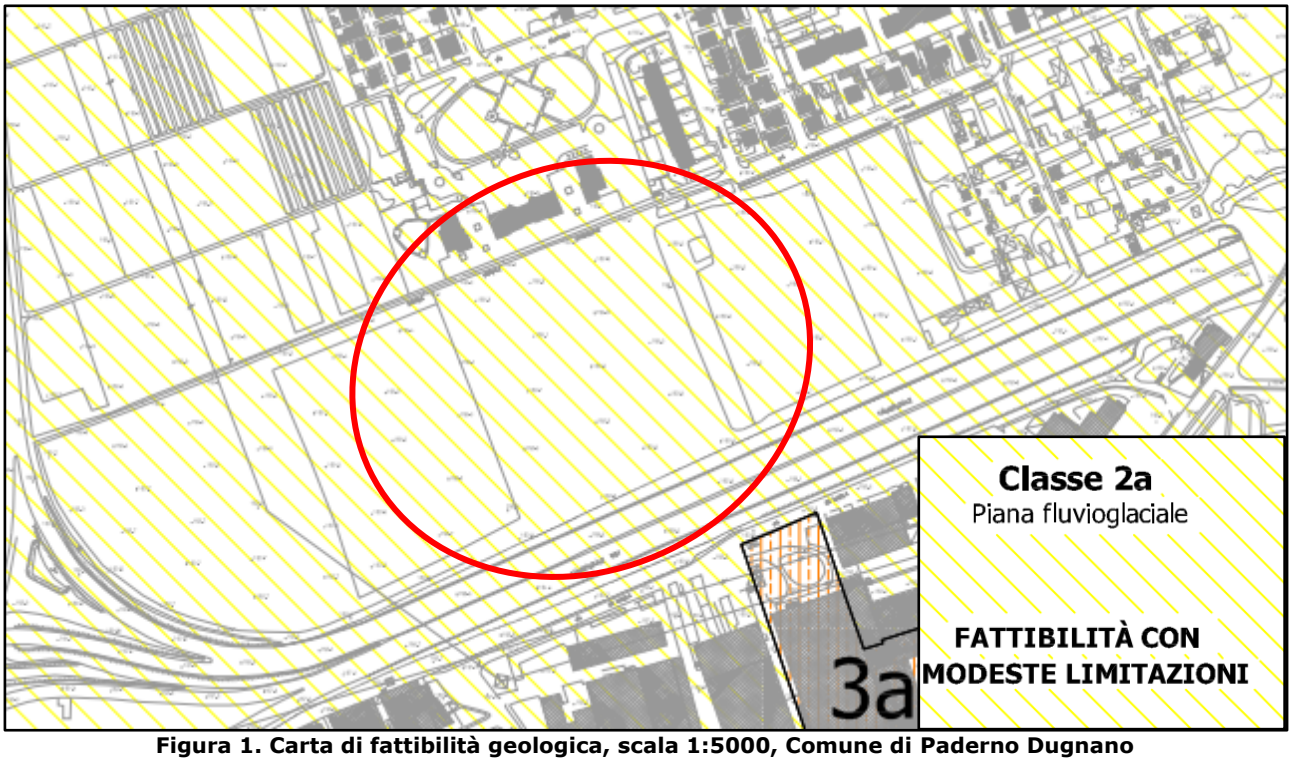


Figura 1. Carta di fattibilità geologica, scala 1:5000, Comune di Paderno Dugnano

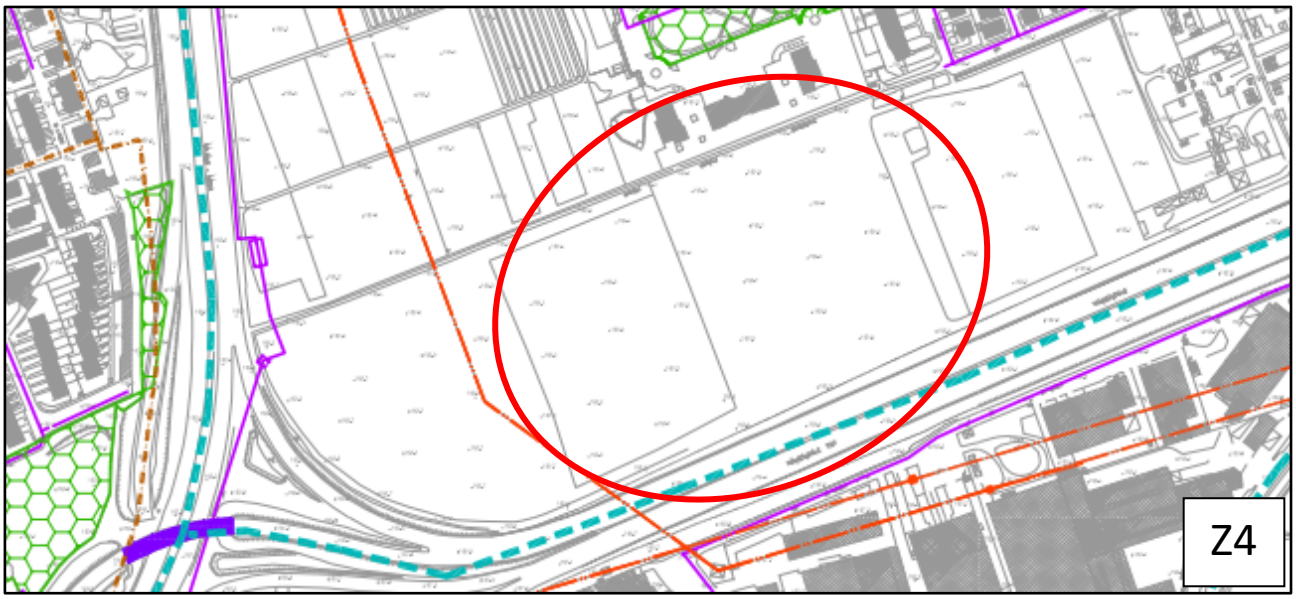


Figura 2. Carta di pericolosità sismica locale, scala 1:5000, del Comune di Paderno Dugnano

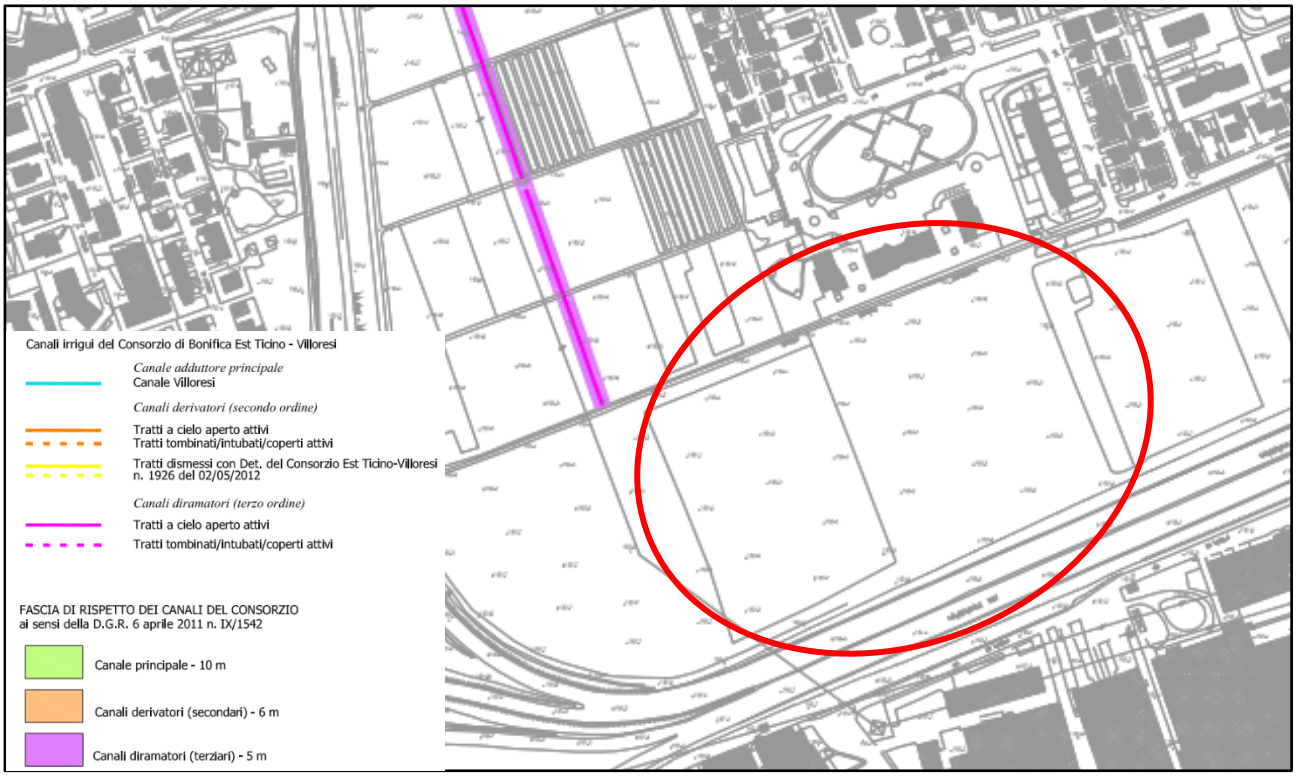


Figura 3. Carta dei Vincoli, scala 1:5000, del Comune di Paderno Dugnano

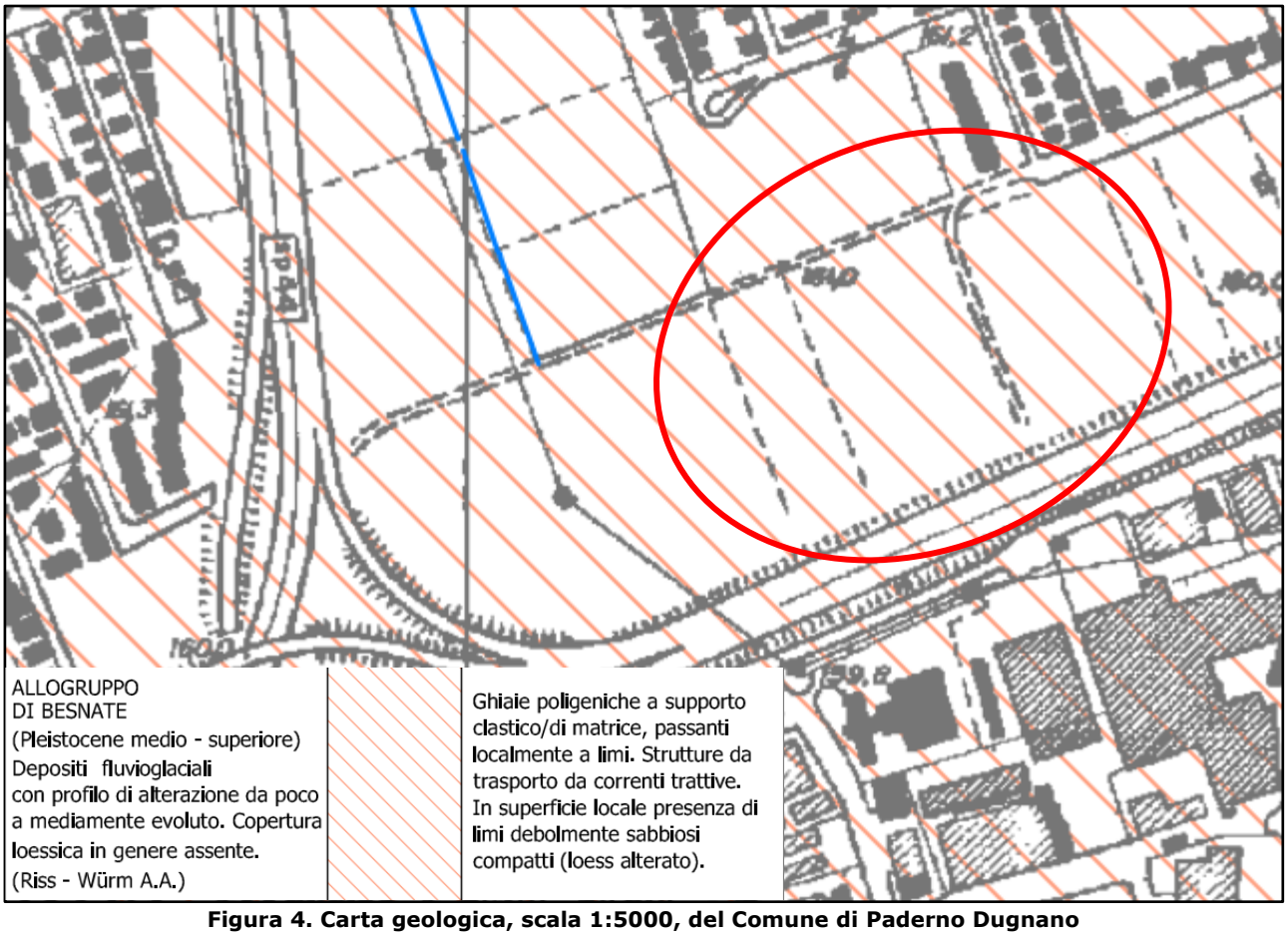


Figura 4. Carta geologica, scala 1:5000, del Comune di Paderno Dugnano

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE

Sondaggi stratigrafici

Generalità

I sondaggi sono stati posizionati all'interno dell'area di studio visibile all'interno delle figure seguenti.

Figura 5. Corografia.

Figura 6. Area di studio.

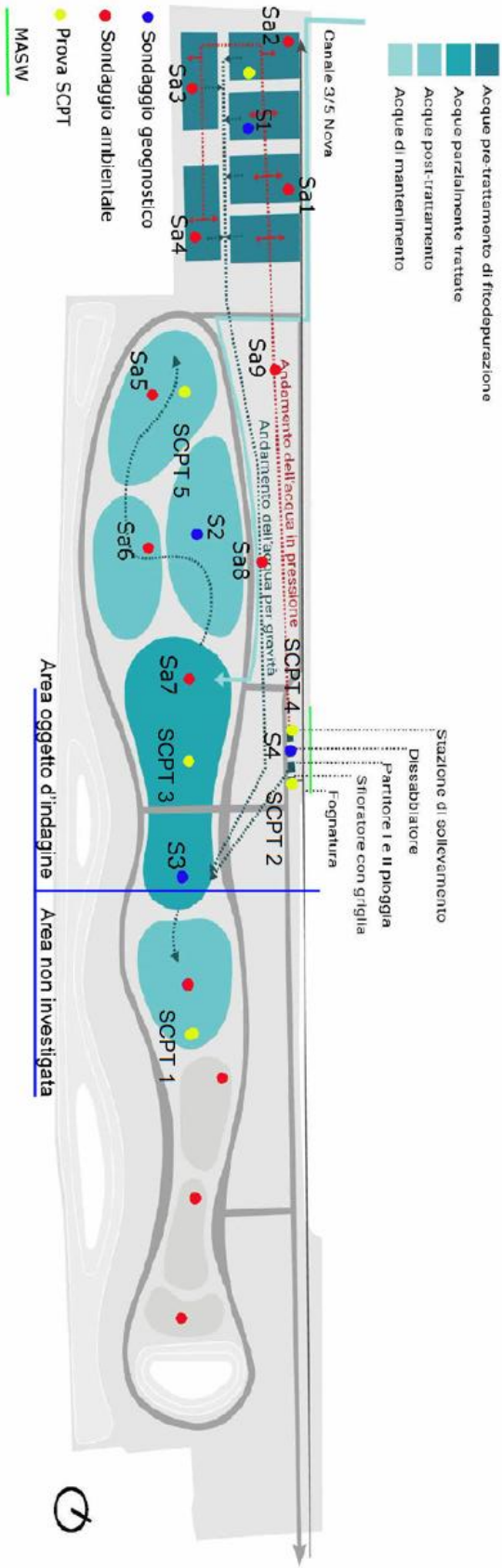


Figura 7. Ubicazione delle indagini eseguite.

Attrezzatura e metodologia di perforazione

I sondaggi sono stati eseguiti utilizzando una sonda GM mod. 600C avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Peso totale 62.3 q.li
- Larghezza 2.0 m
- Altezza slitta 5.5 m + prolunga
- Coppia massima 600 kmg
- Velocità di rotazione da 28 a 550 giri rpm con 8 velocità
- Passaggio morse 220 mm
- Spinta 2600 kg
- Tiro 4000 kg
- Corsa testa idraulica 3400 mm

La sonda ha montata sul carro una pompa triplex per fanghi/acqua aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

- Portata (l) 200
- Pressione continua (kg/cm2) 45
- Pressione max intermittente (kg/cm2) 55

Sono state utilizzate inoltre le seguenti attrezzature:

- Batteria di aste D.=76 mm, L=1,5 m;
- Carotiere semplice con diametro esterno 101 mm
- Batteria di rivestimenti D. =127 mm L=1,5 m;
- Campionatore Raymond a punta chiusa;
- Maglio per prove penetrometriche dinamiche.

GEOMARC Srl

DATI TECNICI	GM 600 C	MATR. 10/2005
CARRO CINGOLATO	**A 5 - 17**	
MOTORE	**DEUTZ F4L914**	
Potenza	56 KW	
Capacità serbatoio gasolio	80 lt.	
Capacità serbatoio olio idr.	150 lt.	
SLITTA	**GM 600**	
Lunghezza	5500 mm	
Corsa testa di rotazione	3400 mm	
Forza max di estrazione	4000 Kg	
Spinta max	2600 Kg	
Velocità rapida spinta	32 m/min.	
Velocità rapita risalita	22 m/min.	
GRUPPO MORSE		
Freno max capacità	220 mm	
Svitatore max capacità	220 mm	
Freno forza serraggio	88 mm	
Svitatore coppia	21 mm	
ARGANO	**BH 200**	
Tiro	2000 Kg	
Diametro fune	12 mm	
Velocità	36 m/min	

TESTA DI ROTAZIONE

Coppia	Nm	lenta RPM	rapida RPM	Coppia Nm
I	6050	28	75	2300
II	2400	68	180	940
III	1490	114	339	498
IV	800	215	550	310

POMPA TRIPLEX 200	**MATR. 679.05**
Portata	200 lt/min
Pressione massima	35 Bar

IMPIANTO IDRAULICO

Pompa pistoni	Q_1 =	44 l /min	240	Bar
Pompa ingranaggi Doppia	Q_2 =	67 l /min	175	Bar
	Q_3 =	50 l /min	175	Bar

DIMENSIONI

Lunghezza **5.600** mm Larghezza **2.000** mm Altezza **2.200** mm

PESO TOTALE MACCHINA **6.230 Kg**

Figura 8. Scheda tecnica sonda GM 660 C.

Stratigrafia dei sondaggi

Tutto il materiale prelevato durante i sondaggi a carotaggio continuo è stato riposto all'interno di apposite cassette catalogatrici con capienza pari a 5.00 metri dove è stato possibile effettuare una descrizione del materiale presente ed una definizione delle stratigrafie relative ad ognuno di essi. Dalle cassette catalogatrici sono stati successivamente prelevati anche i campioni di materiale destinato al laboratorio per l'esecuzione di prove fisico-meccaniche. Ognuno di essi è stato classificato con una sigla univoca ed è stato trasportato al laboratorio addetto all'esecuzione delle analisi all'interno di cassette catalogatrici per mantenerne intatta la qualità. Durante l'esecuzione dei lavori sono stati installati n. 3 piezometri, del tipo a tubo aperto, con diametro pari a 2", per l'individuazione di eventuali falde sospese avendo la falda acquifera nella zona una soggiacenza superiore a 30.00 m di profondità. Le misurazioni eseguite al termine dei sondaggi tuttavia, non hanno rilevato la presenza di acqua all'interno dei piezometri installati.

Sondaggio S1

In corrispondenza del sondaggio S1 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Durante l'esecuzione del sondaggio è stata eseguita n. 1 prova di permeabilità Lefranc a livello costante e alla sua conclusione sono stati prelevati n. 2 campioni di terreno per le analisi ambientali di laboratorio.

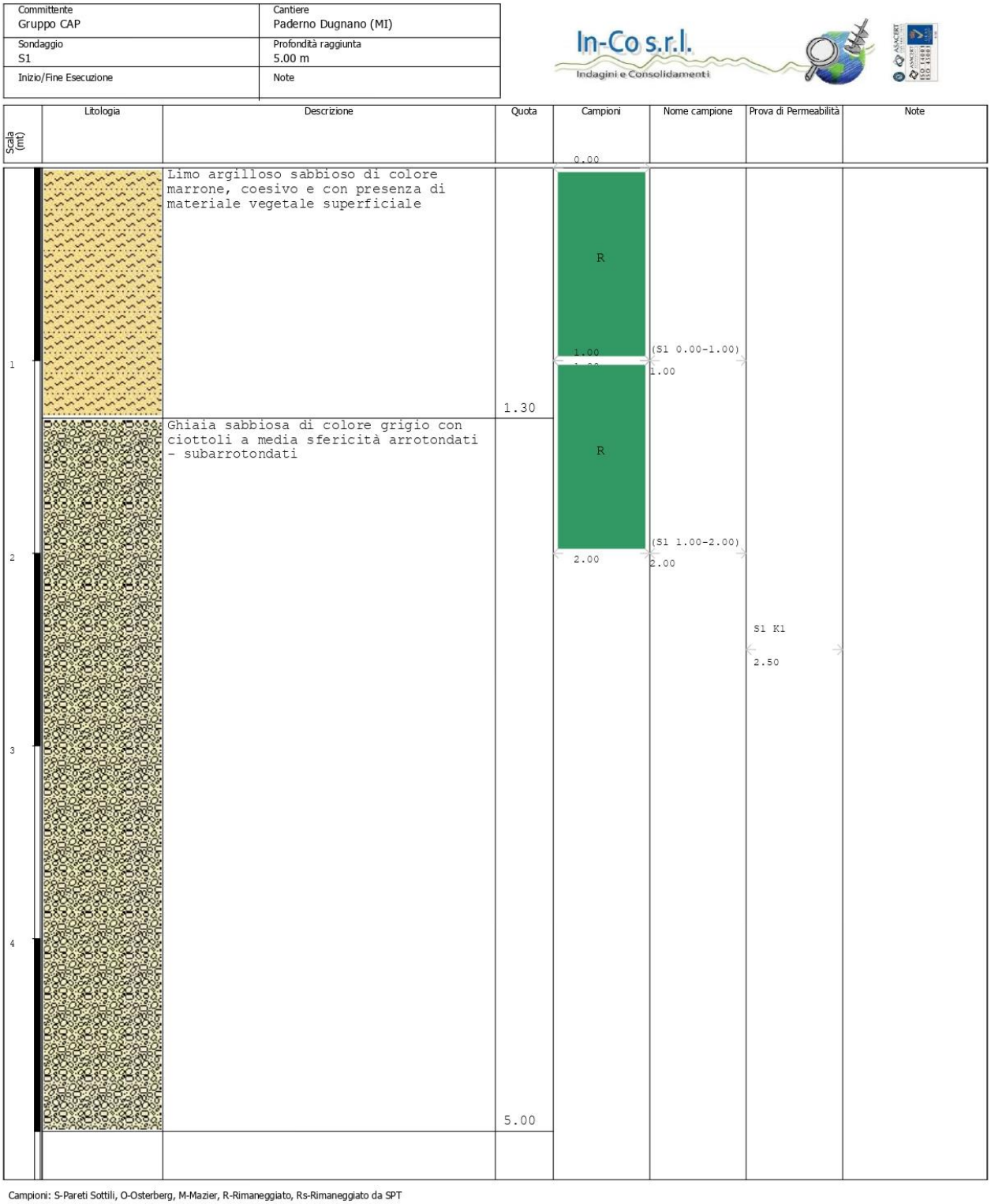


Figura 9. Stratigrafia del sondaggio S1.

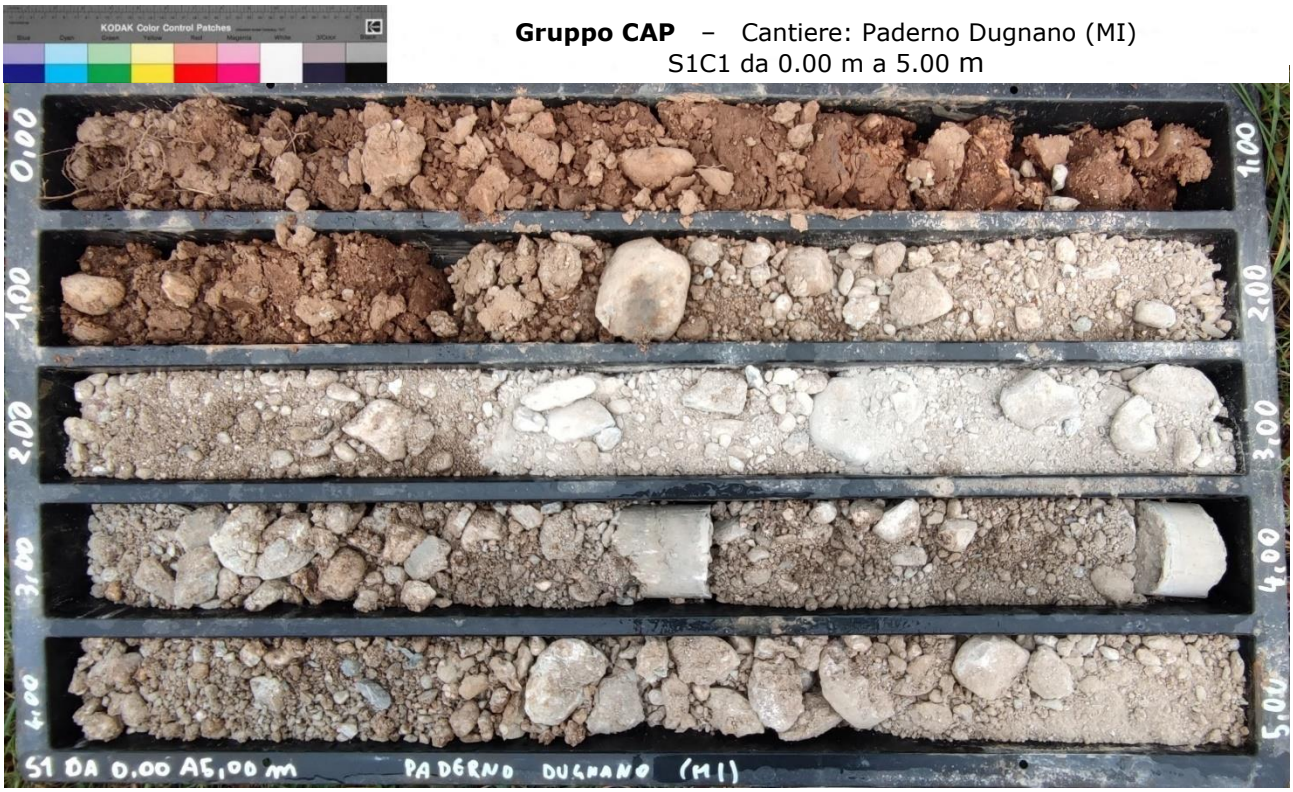


Foto 1. Sondaggio S1 da 0.00 m a 5.00 m.

Sondaggio S2

In corrispondenza del sondaggio S2 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Durante l'esecuzione del sondaggio sono state eseguite n. 3 prove di permeabilità Lefranc a livello costante e alla sua conclusione sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per le analisi ambientali di laboratorio. Inoltre, è stato installato un piezometro, del tipo a tubo aperto con diametro pari a 2" e la misurazione della soggiacenza della falda acquifera eseguita al suo interno ha mostrato l'assenza di acqua fino a 15.00 m di profondità.

Committente	Cantiere
Gruppo CAP	Paderno Dugnano (MI)
Sondaggio S2	Profondità raggiunta 15.00 m
Inizio/Fine Esecuzione	Note

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Nome campione	Prova di Permeabilità	Note	Piezometro (P) o Inclinometro (I)
				0.00				P-(1)
1		Limo sabbioso argilloso di colore marrone coesivo e con presenza di materiale vegetale superficiale	1.30	R 1.00	(S2 0.00-1.00) 1.00		Assenza di acqua 1.00	
2		Ghiaia sabbiosa - ghiaia e sabbia di colore grigio con ciottoli a media - alta sfericità arrotondati - subarrotondati con dimensioni anche pluricentimetriche		2.00 R 4.00	(S2 2.00-4.00) 3.00	S2 K1 4.00		
3								
4								
5				R 6.00	(S2 4.00-6.00) 5.00			
6						S2 K2 6.50		
7								
8						S2 K3 8.00		
9								
10								
11								
12								
13								
14			15.00					A 15.00

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande

Figura 10. Stratigrafia del sondaggio S2.

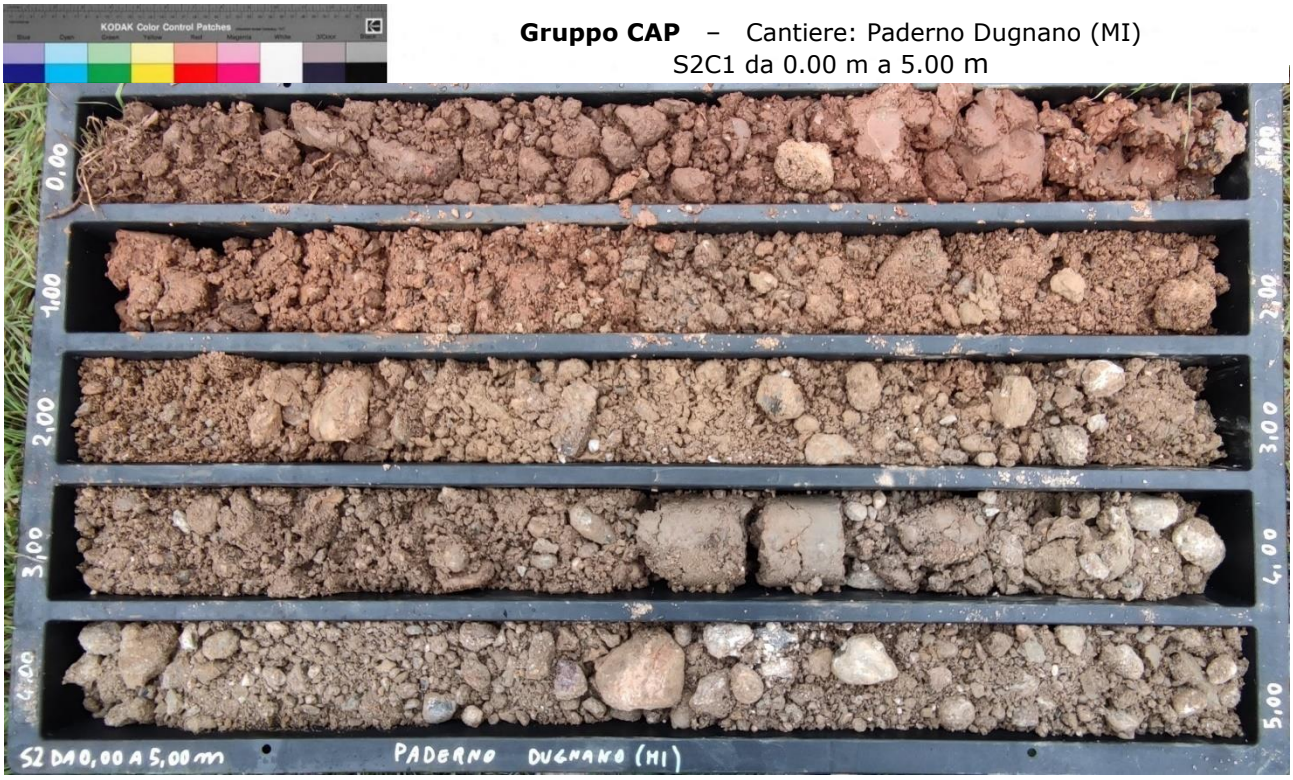


Foto 2. Sondaggio S2 da 0.00 m a 5.00 m.

Foto 3. Sondaggio S2 da 5.00 m a 10.00 m.

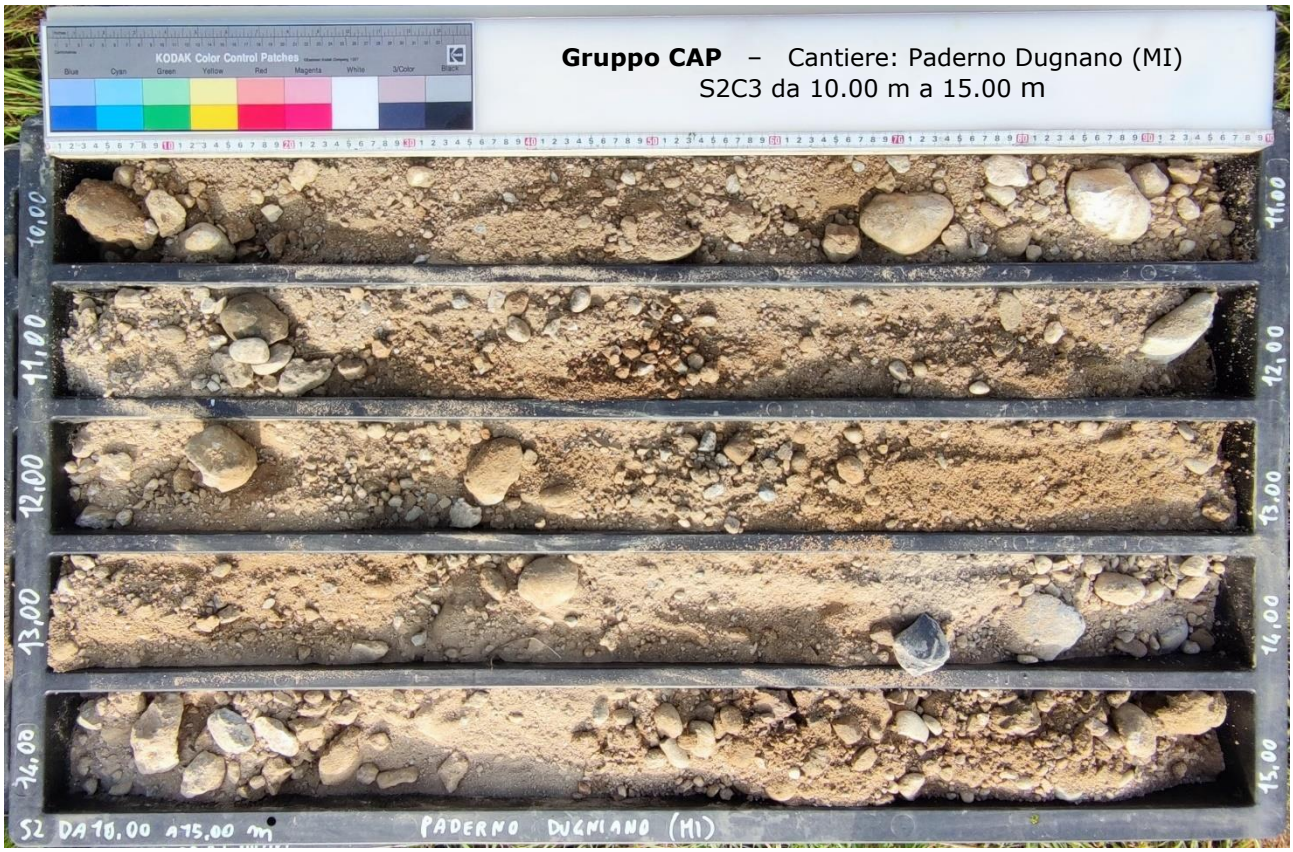


Foto 4. Sondaggio S2 da 10.00 m a 15.00 m.

Sondaggio S3

In corrispondenza del sondaggio S3 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Durante l'esecuzione del sondaggio sono state eseguite n. 2 prove di permeabilità Lefranc a livello costante e alla sua conclusione sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per le analisi ambientali di laboratorio. Inoltre, è stato installato un piezometro, del tipo a tubo aperto con diametro pari a 2" e la misurazione della soggiacenza della falda acquifera eseguita al suo interno ha mostrato l'assenza di acqua fino a 10.00 m di profondità.

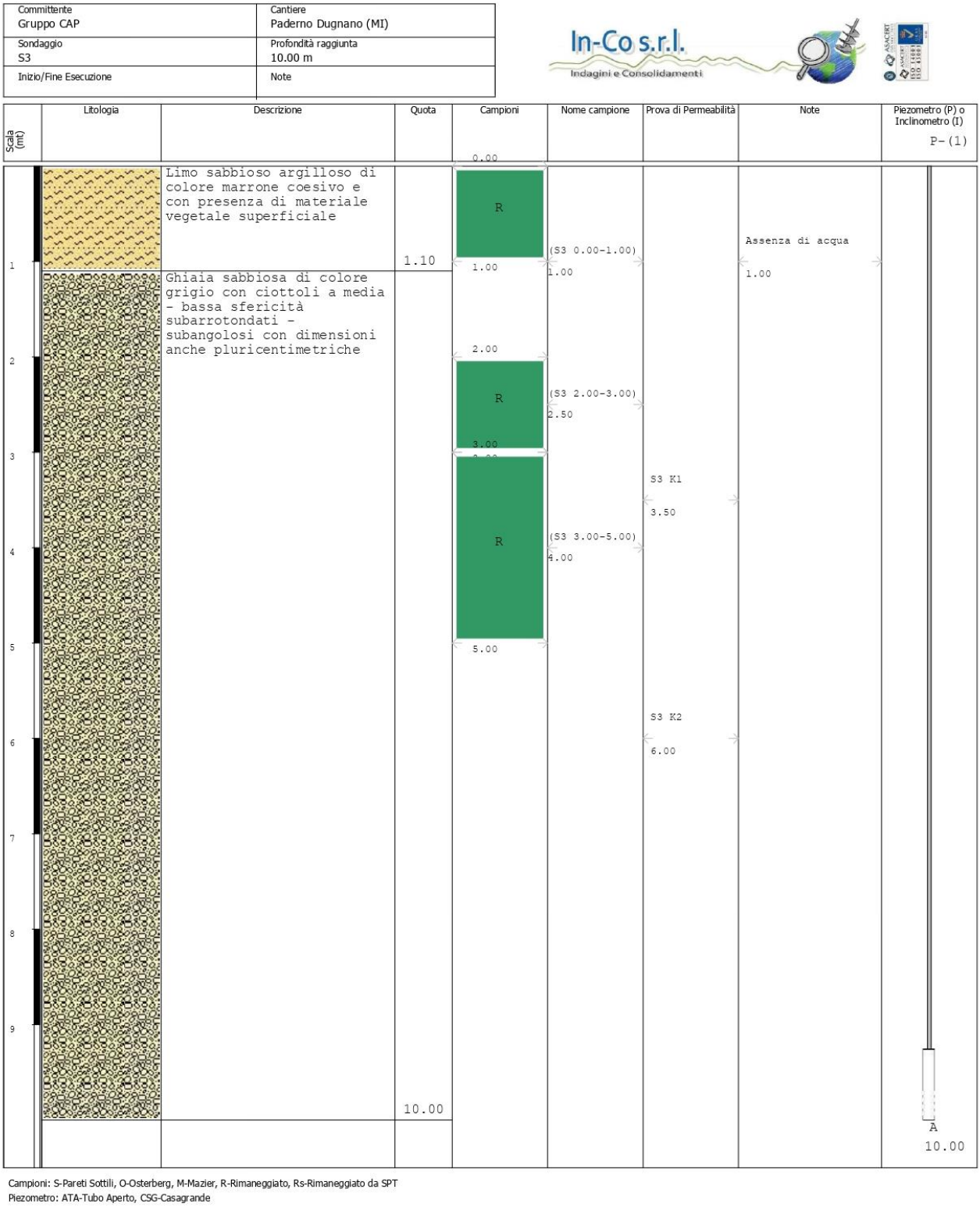


Figura 11. Stratigrafia del sondaggio S3.

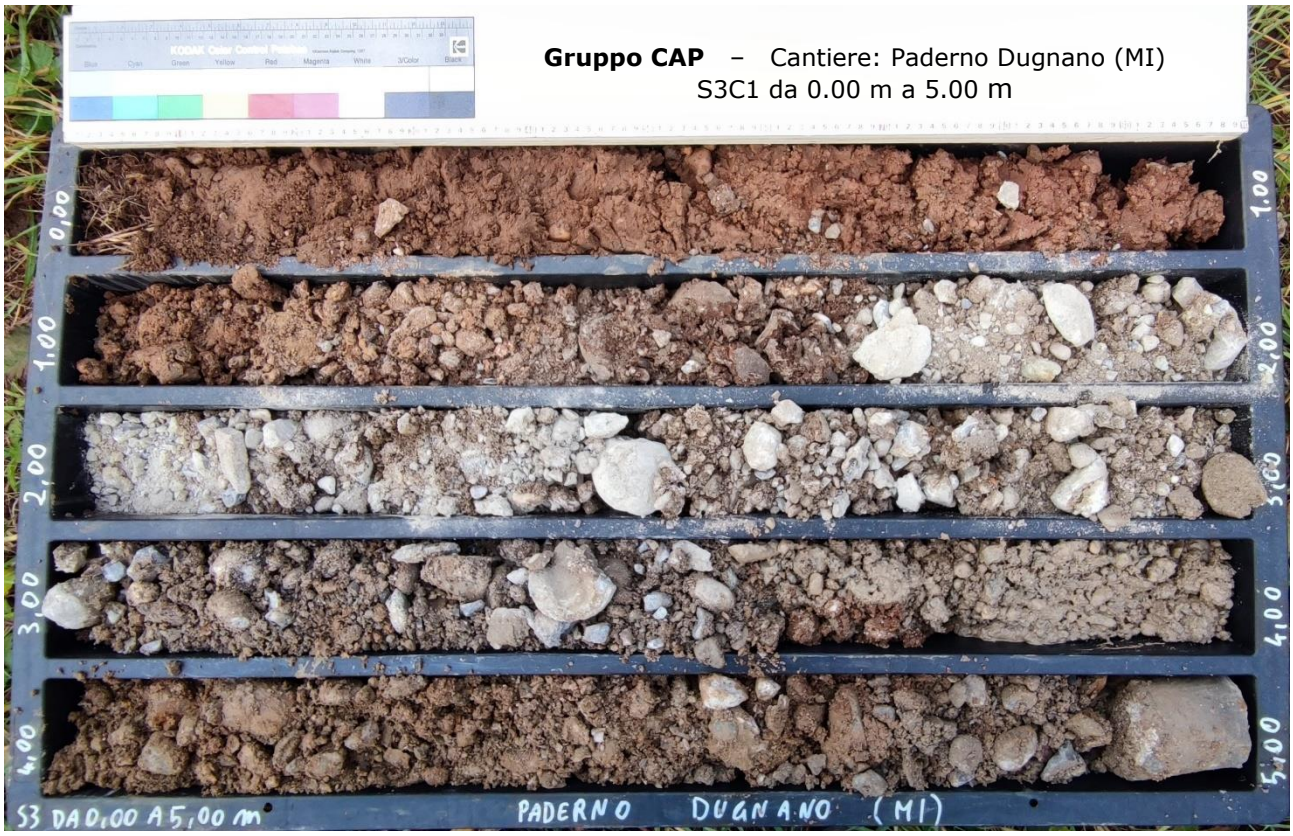


Foto 5. Sondaggio S3 da 0.00 m a 5.00 m.

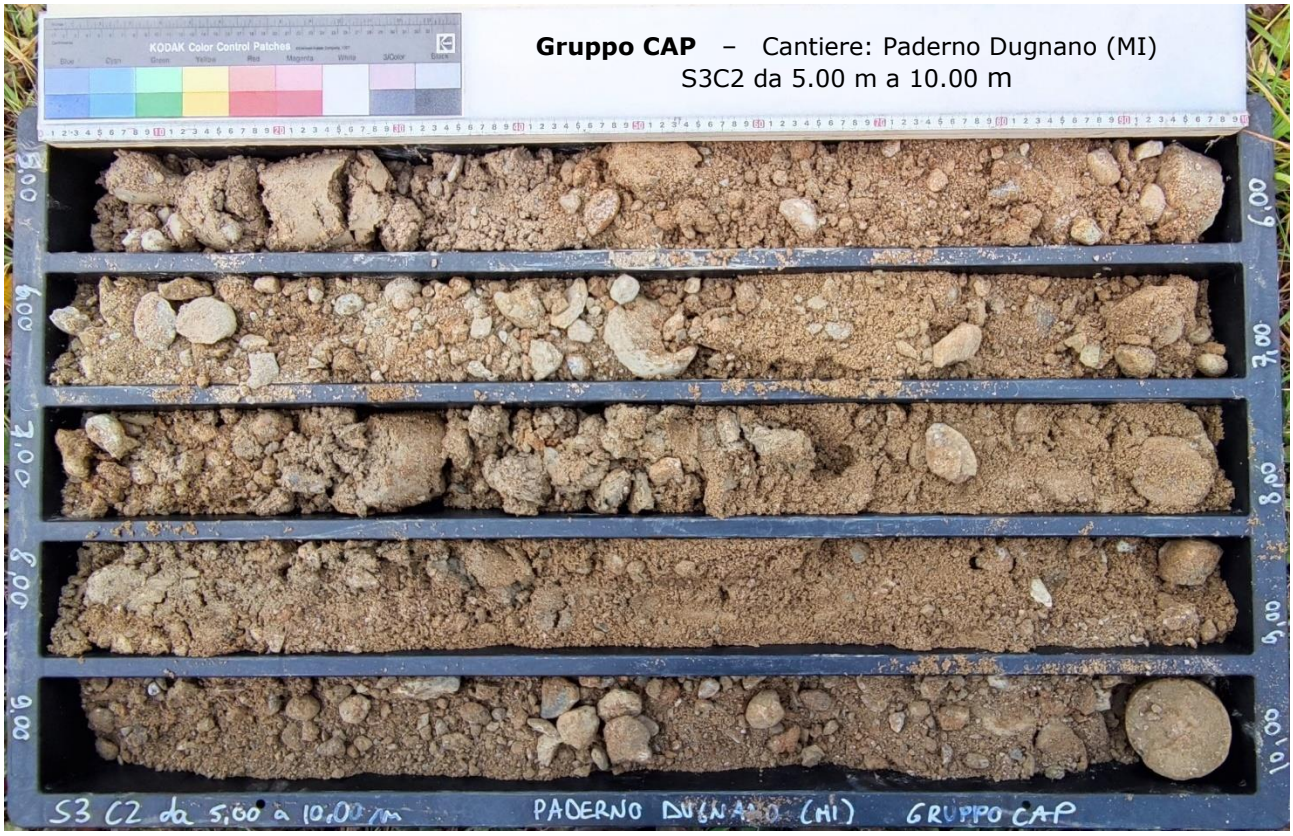


Foto 6. Sondaggio S3 da 5.00 m a 10.00 m.

Sondaggio S4

In corrispondenza del sondaggio S4 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Durante l'esecuzione del sondaggio sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche dinamiche SPT e alla sua conclusione sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per le analisi ambientali di laboratorio. Inoltre, è stato installato un piezometro, del tipo a tubo aperto con diametro pari a 2" e la misurazione della soggiacenza della falda acquifera eseguita al suo interno ha mostrato l'assenza di acqua fino a 10.00 m di profondità.

Committente	Cantiere
Gruppo CAP	Paderno Dugnano (MI)
Sondaggio S4	Profondità raggiunta 10.00 m
Inizio/Fine Esecuzione	Note

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

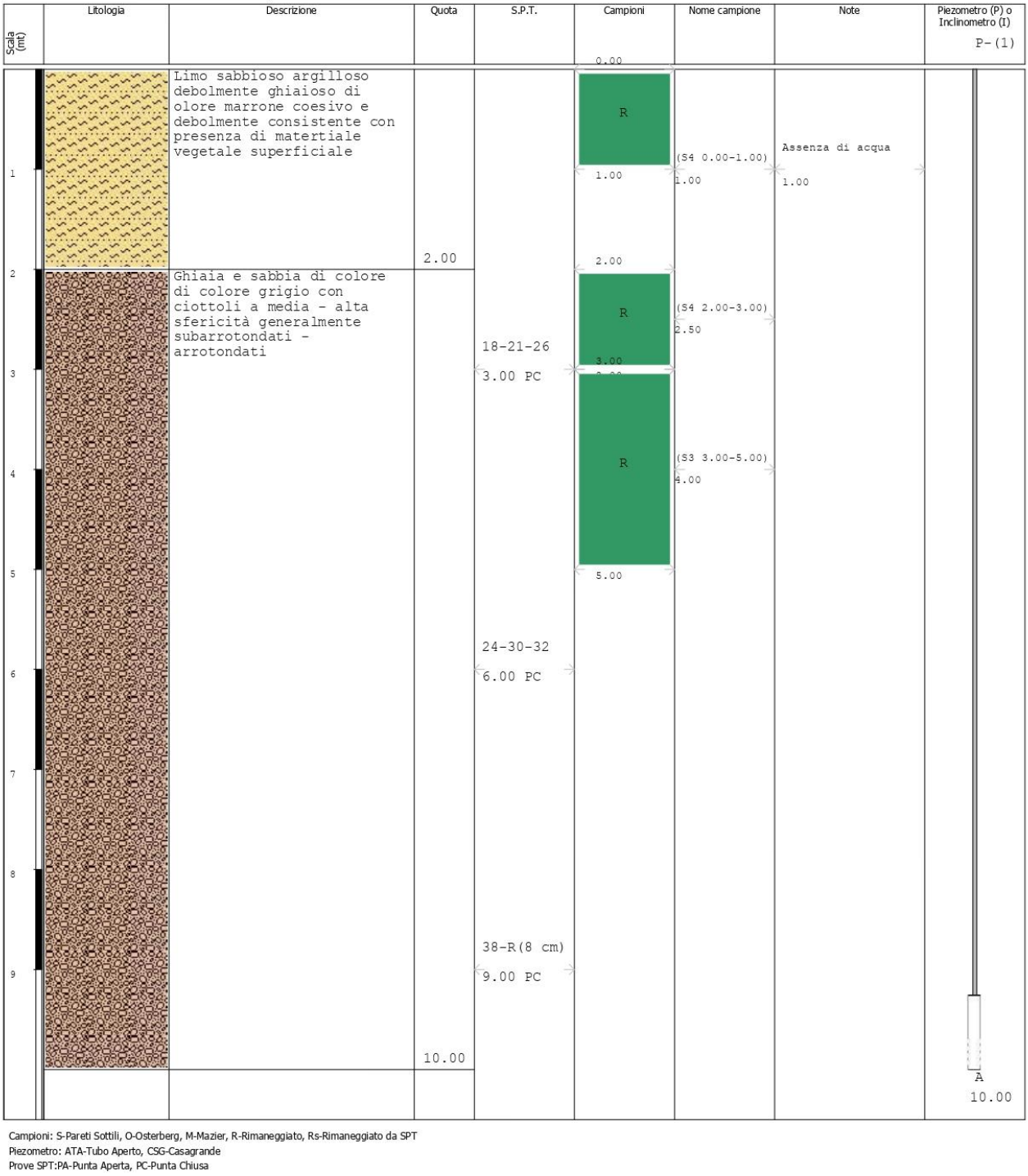


Figura 12. Stratigrafia del sondaggio S4.

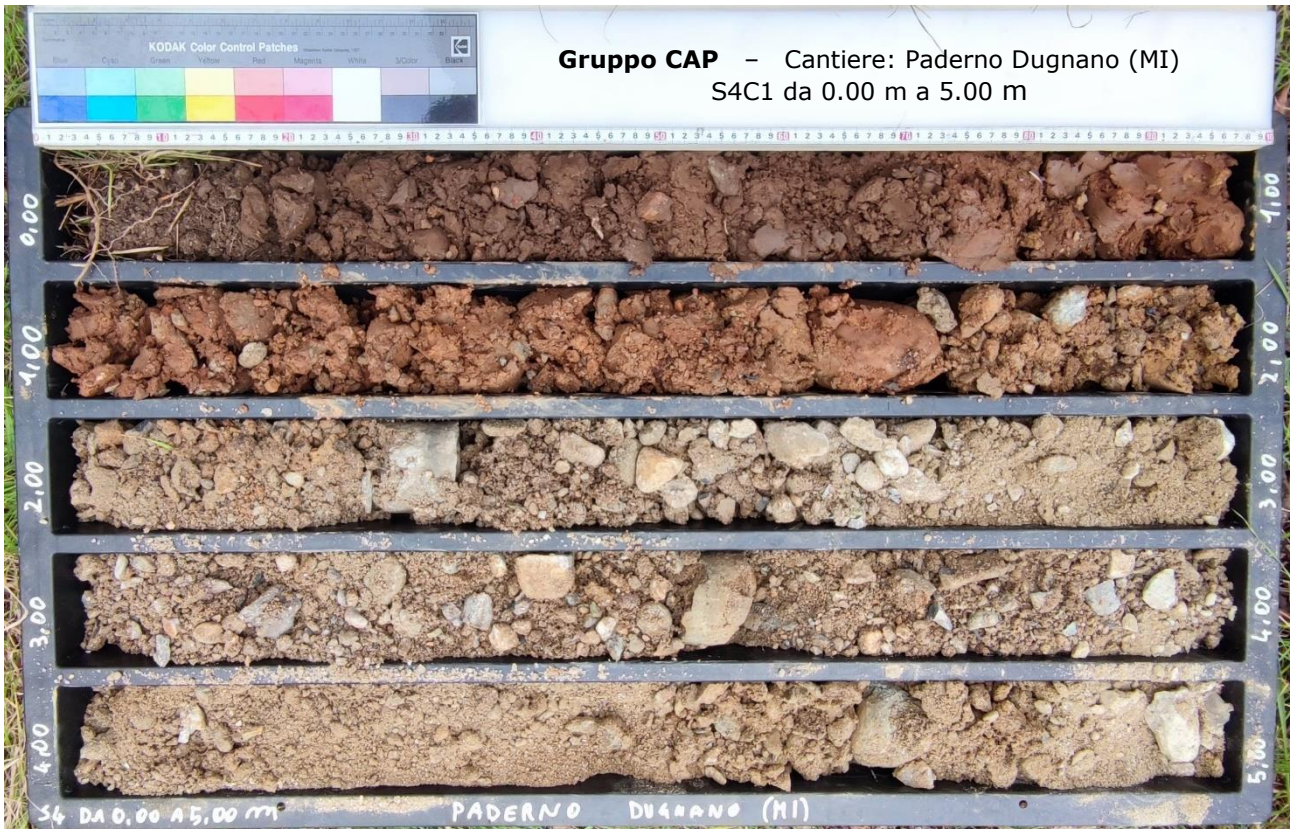


Foto 7. Sondaggio S4 da 0.00 m a 5.00 m.

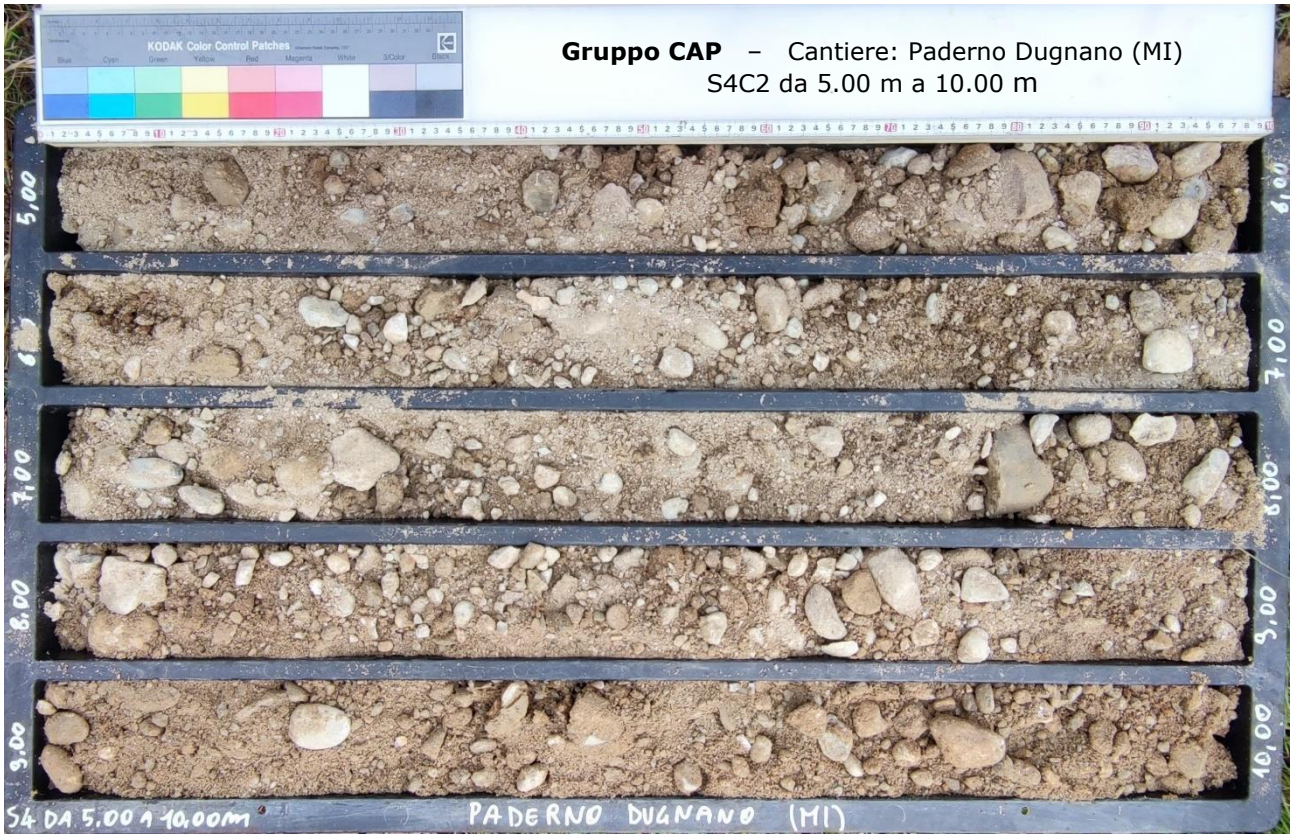


Foto 8. Sondaggio S4 da 5.00 m a 10.00 m.

Sondaggio SA1

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA1 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 2 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

Figura 13. Stratigrafia del sondaggio Sa1.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA1C1 da 0.00 m a 2.00 m

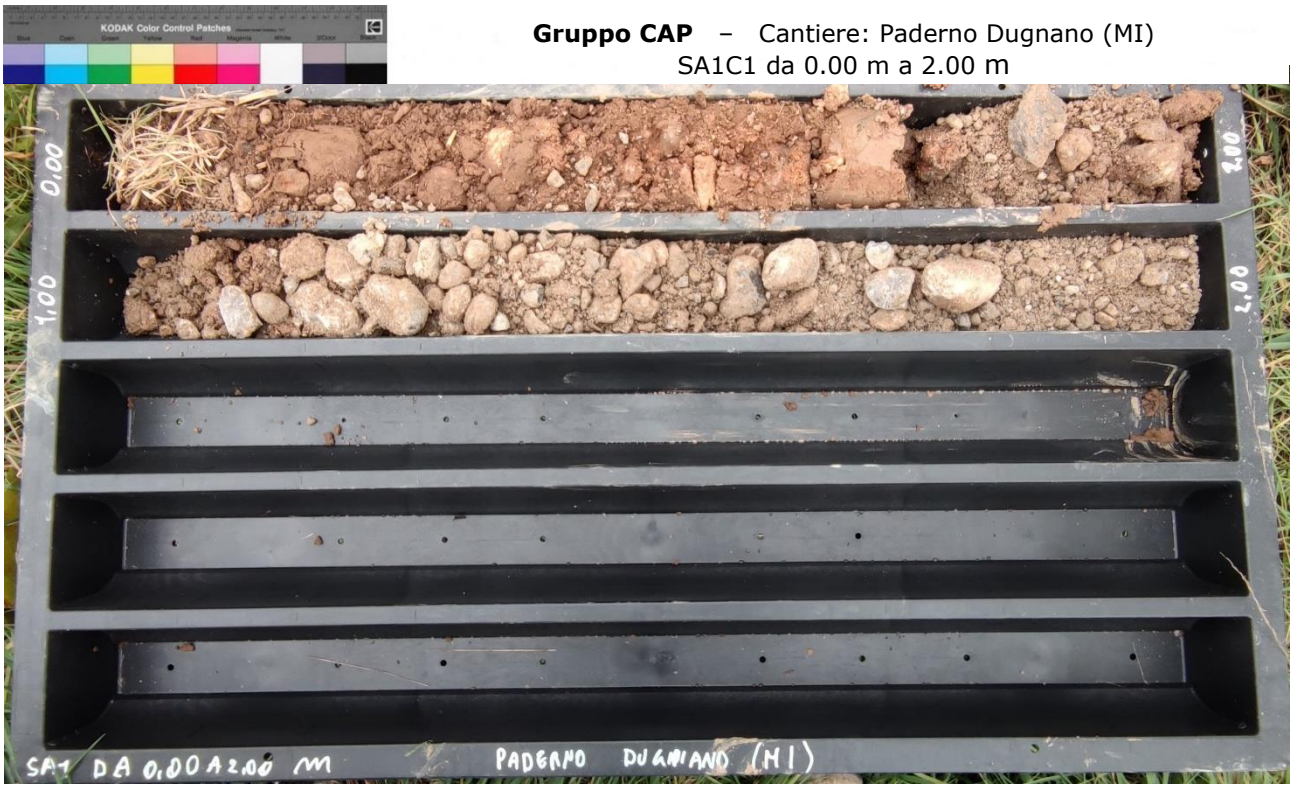


Foto 9. Sondaggio SA1 da 0.00 m a 2.00 m.

Sondaggio SA2

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA2 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 2 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

Committente	Cantiere
Gruppo CAP	Paderno Dugnano (MI)
Sondaggio	Profondità raggiunta
Sa2	2.00 m
Inizio/Fine Esecuzione	Note

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Nome campione	Note
1		Limo sabbioso argilloso di colore marrone coesivo e debolmente consistente con presenza di materiale vegetale superficiale	0.00	R	(Sa2 0.00-1.00) 0.50	
		Ghiaia sabbiosa di colore grigio con ciottoli a media sfericità arrotondati	1.20	R	(Sa2 1.00-2.00) 1.50	
			2.00	2.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT

Figura 14. Stratigrafia del sondaggio Sa2.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA2C1 da 0.00 m a 2.00 m

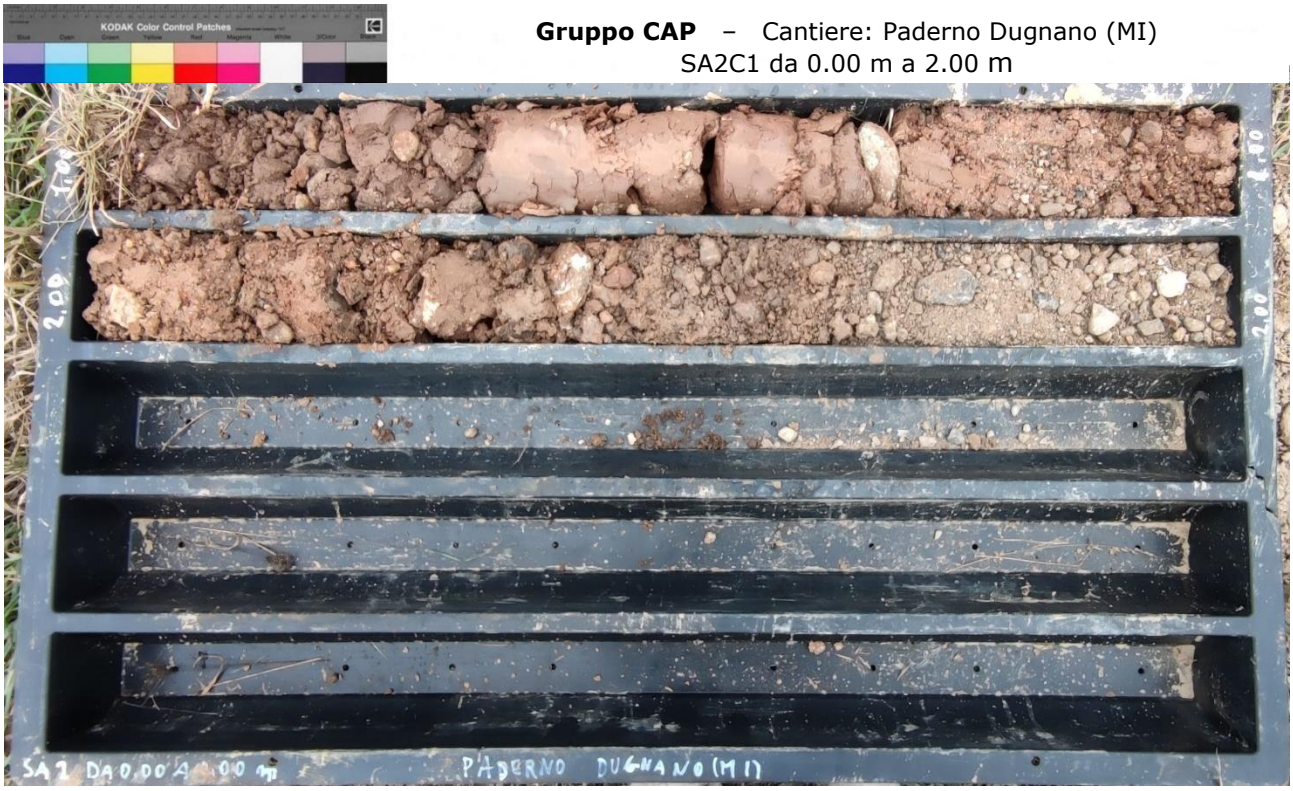


Foto 10. Sondaggio SA2 da 0.00 m a 2.00 m.

Sondaggio SA3

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA3 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 2 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

Figura 15. Stratigrafia del sondaggio Sa3.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA3C1 da 0.00 m a 2.00 m

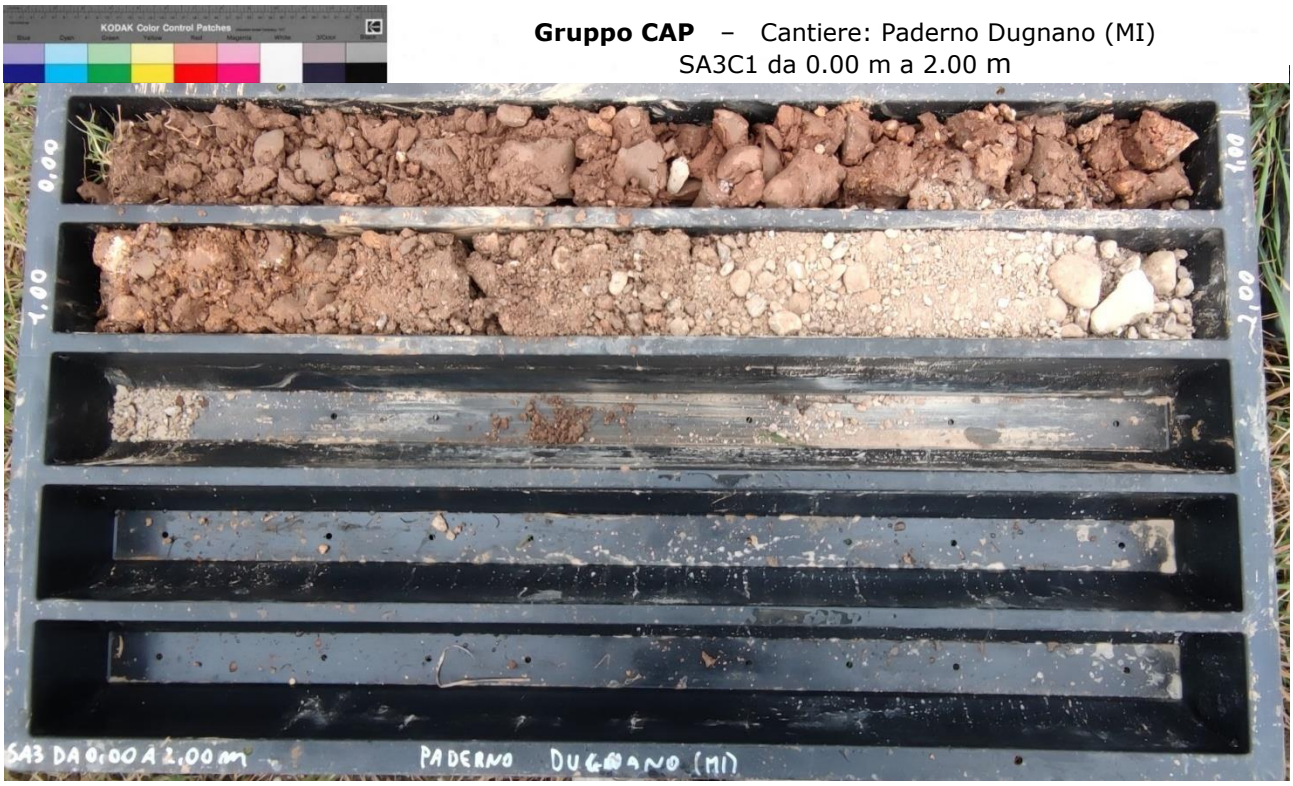


Foto 11. Sondaggio SA3 da 0.00 m a 2.00 m.

Sondaggio SA4

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA4 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 2 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

Committente	Cantiere
Gruppo CAP	Paderno Dugnano (MI)
Sondaggio	Profondità raggiunta
Sa4	2.00 m
Inizio/Fine Esecuzione	Note

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Nome campione	Note
				0.00		
1		Limo sabbioso argilloso di colore marrone coesivo e debolmente consistente con presenza di materiale vegetale superficiale		R	(Sa4 0.00-1.00) 0.50	
				1.00		
		Ghiaia sabbiosa di colore grigio con ciottoli a media sfericità arrotondati	1.20	R	(Sa4 1.00-2.00) 1.50	
			2.00	2.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT

Figura 16. Stratigrafia del sondaggio Sa4.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA4C1 da 0.00 m a 2.00 m

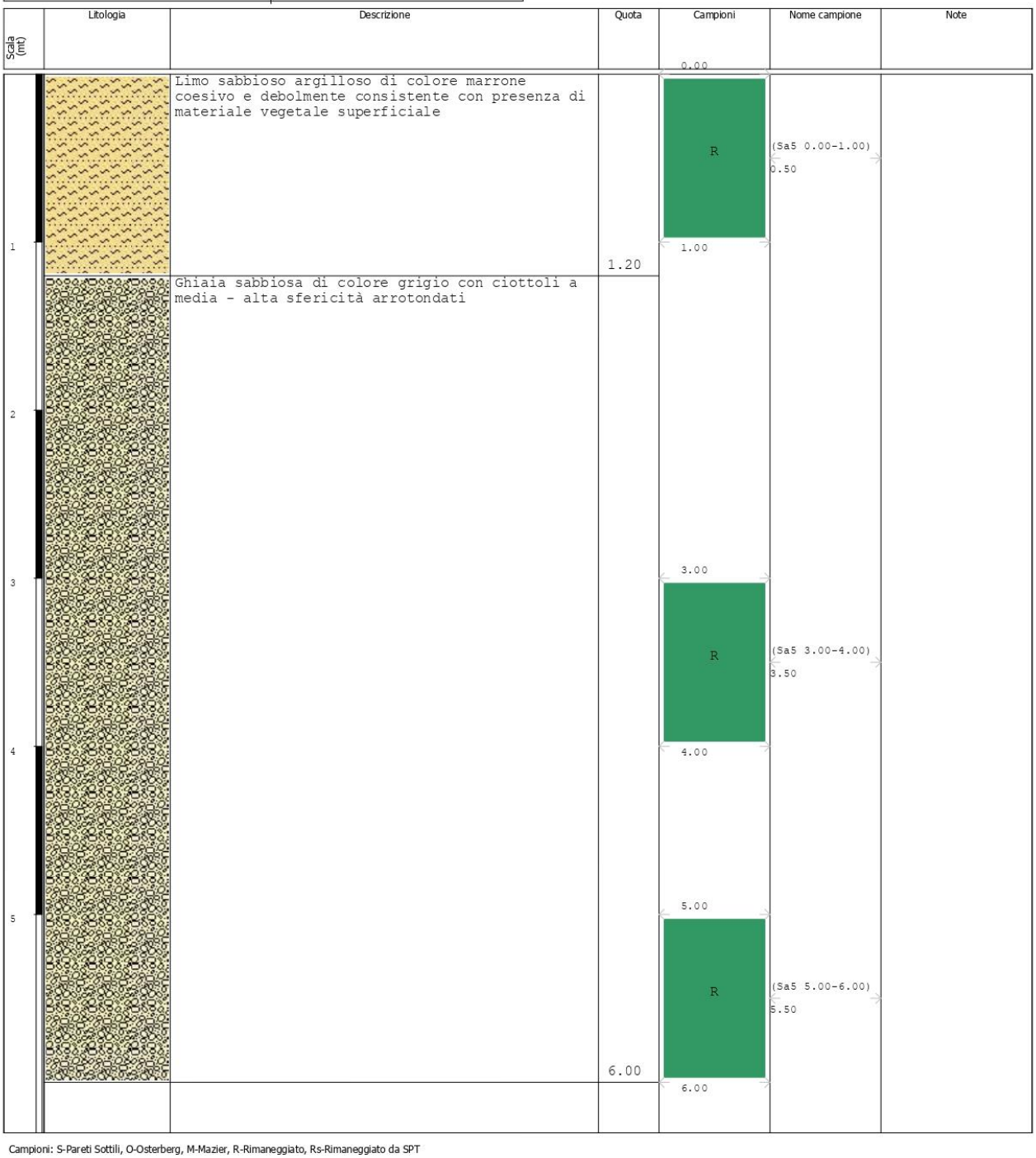
Foto 12. Sondaggio SA4 da 0.00 m a 2.00 m.

Sondaggio SA5

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA5 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

Committente	Cantiere
Gruppo CAP	Paderno Dugnano (MI)
Sondaggio	Profondità raggiunta
Sa5	6.00 m
Inizio/Fine Esecuzione	Note

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti



Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT

Figura 17. Stratigrafia del sondaggio Sa5.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA5C1 da 0.00 m a 5.00 m

Foto 13. Sondaggio SA5 da 0.00 m a 5.00 m.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA5C2 da 5.00 m a 6.00 m

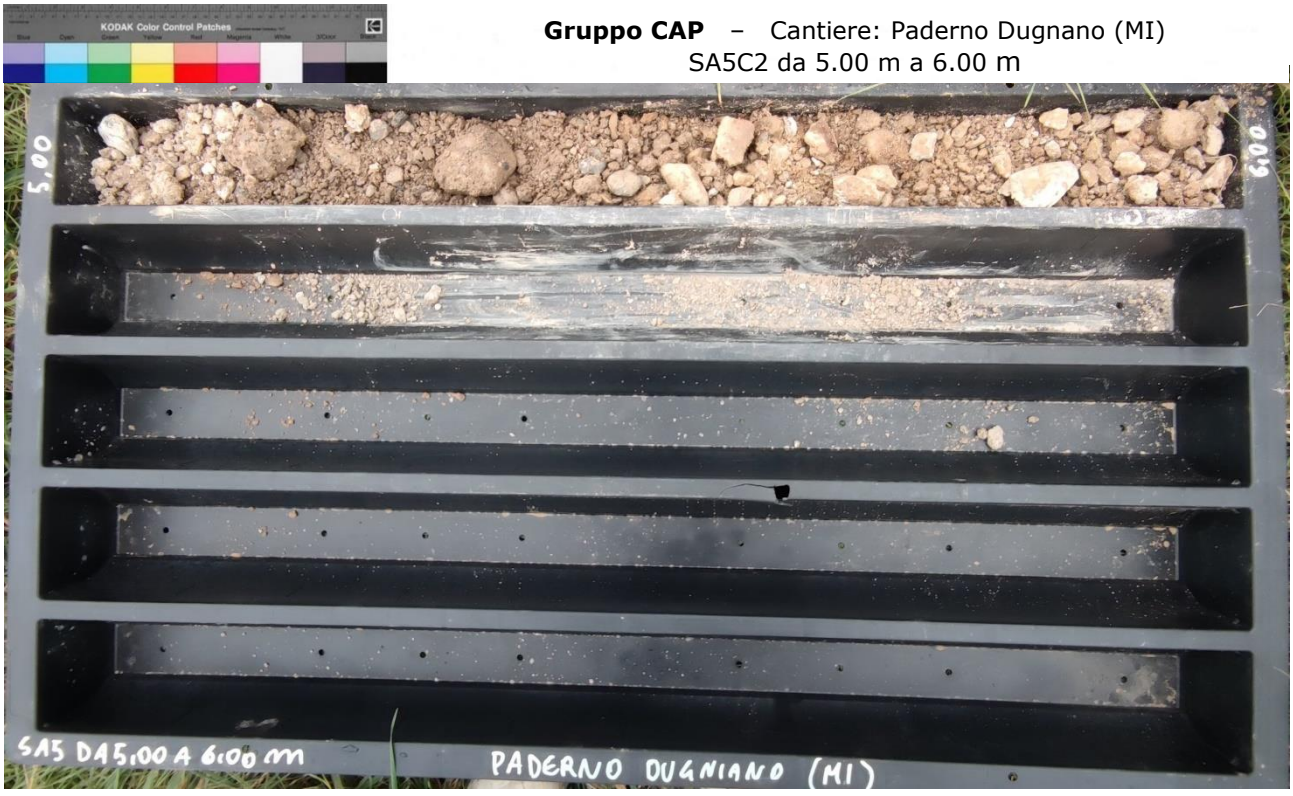


Foto 14. Sondaggio SA5 da 5.00 m a 6.00 m.

Sondaggio SA6

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA6 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

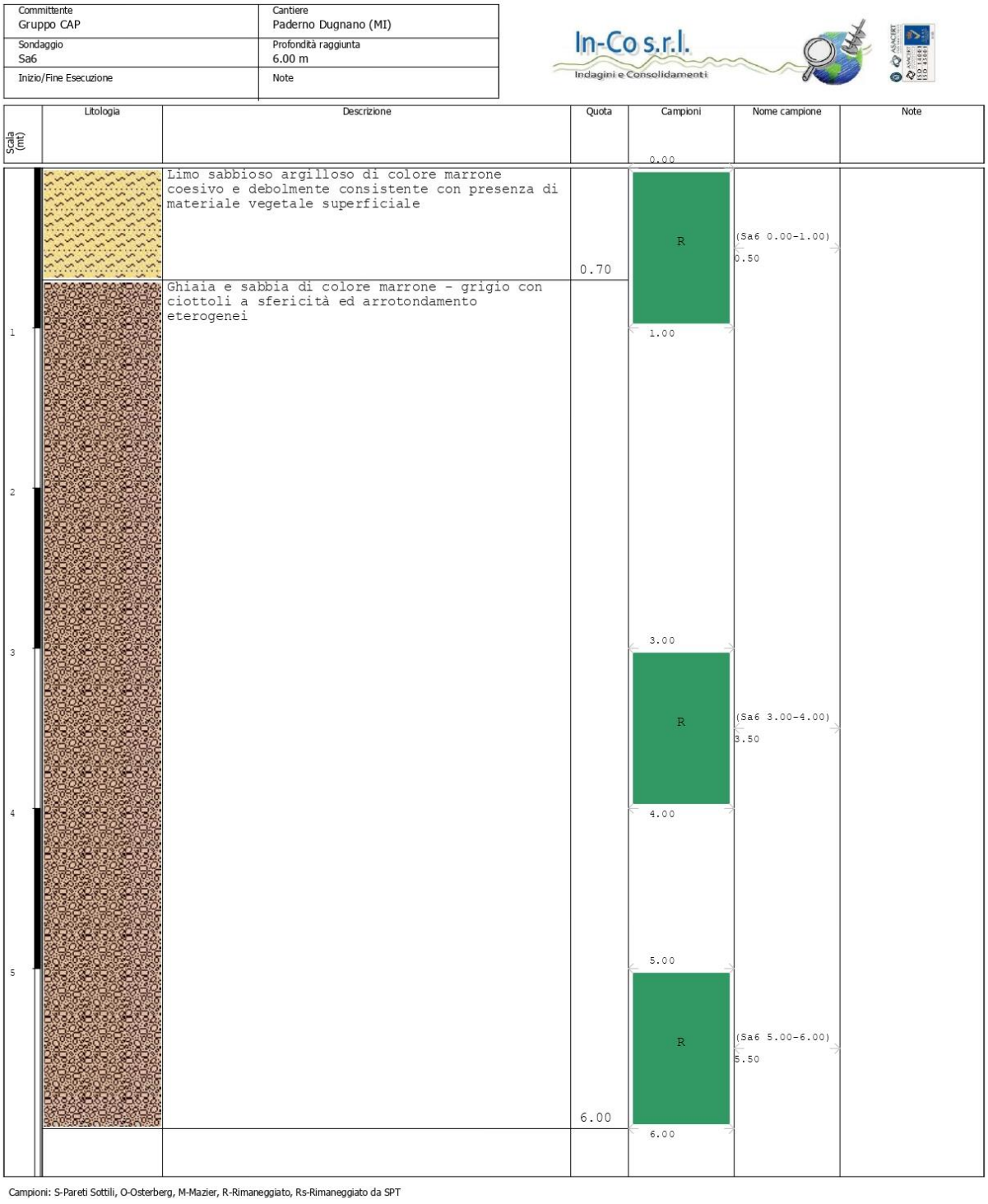


Figura 18. Stratigrafia del sondaggio Sa6.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA6C1 da 0.00 m a 5.00 m

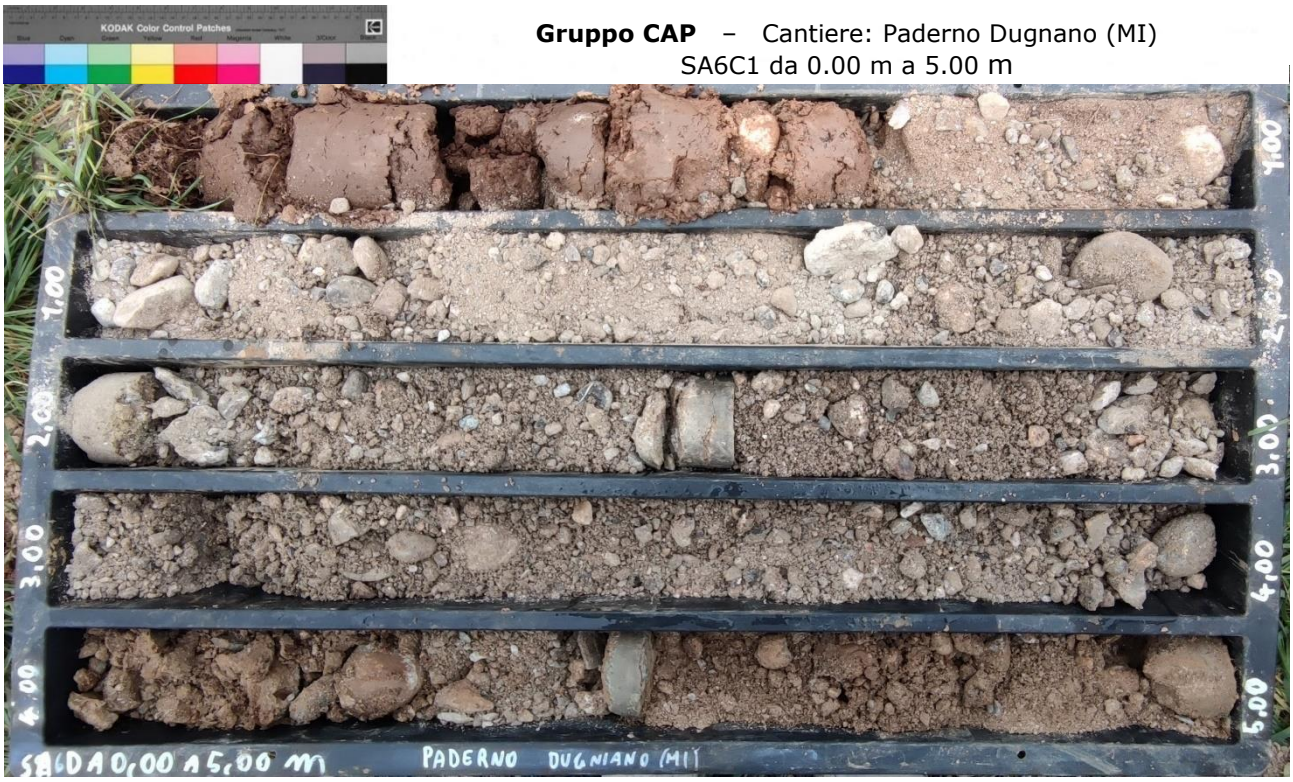


Foto 15. Sondaggio SA6 da 0.00 m a 5.00 m.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA6C2 da 5.00 m a 6.00 m

Foto 16. Sondaggio SA6 da 5.00 m a 6.00 m.

Sondaggio SA7

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA7 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia, soprattutto oltre i 3.00 m di profondità. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

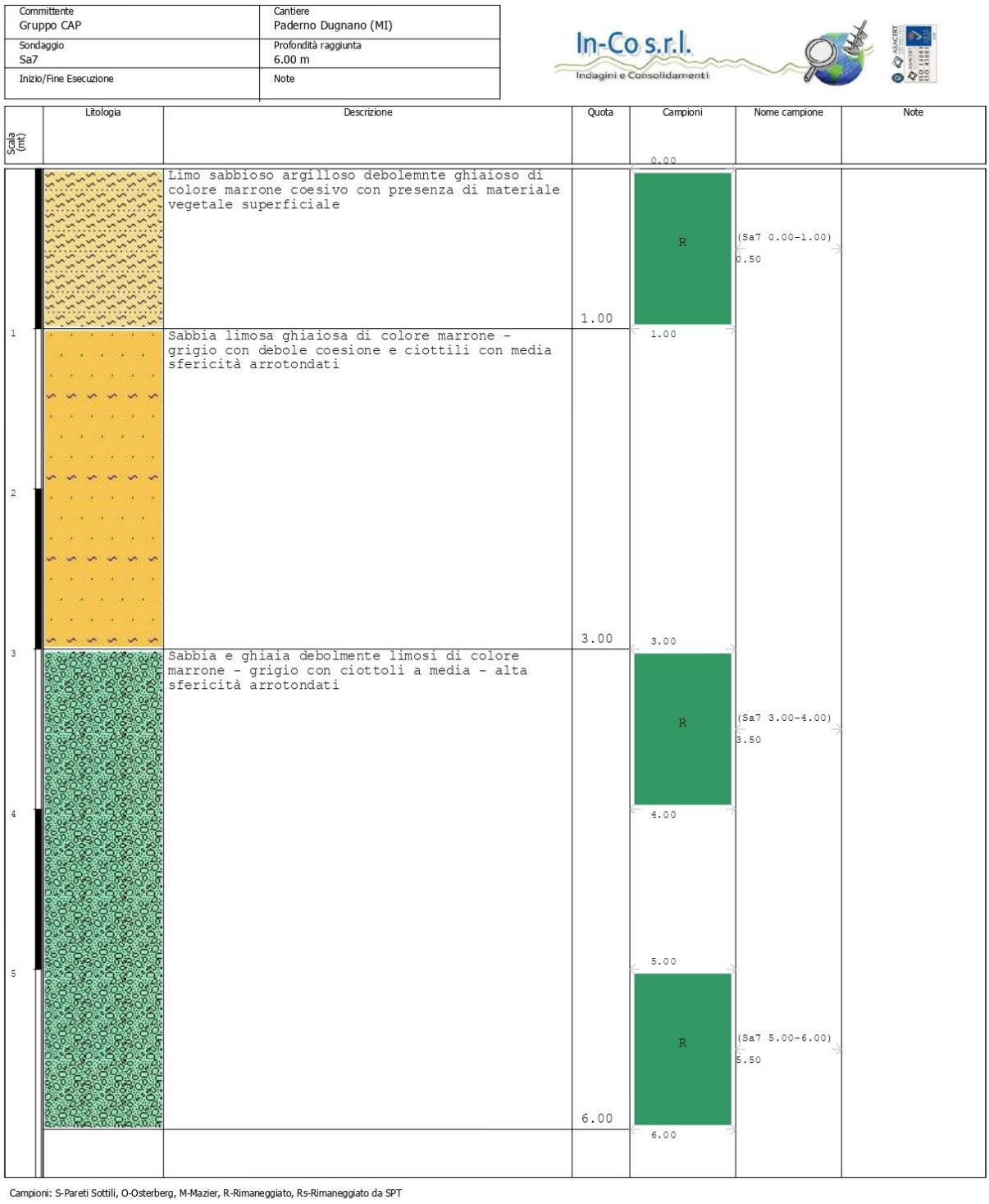


Figura 19. Stratigrafia del sondaggio Sa7.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA7C1 da 0.00 m a 5.00 m

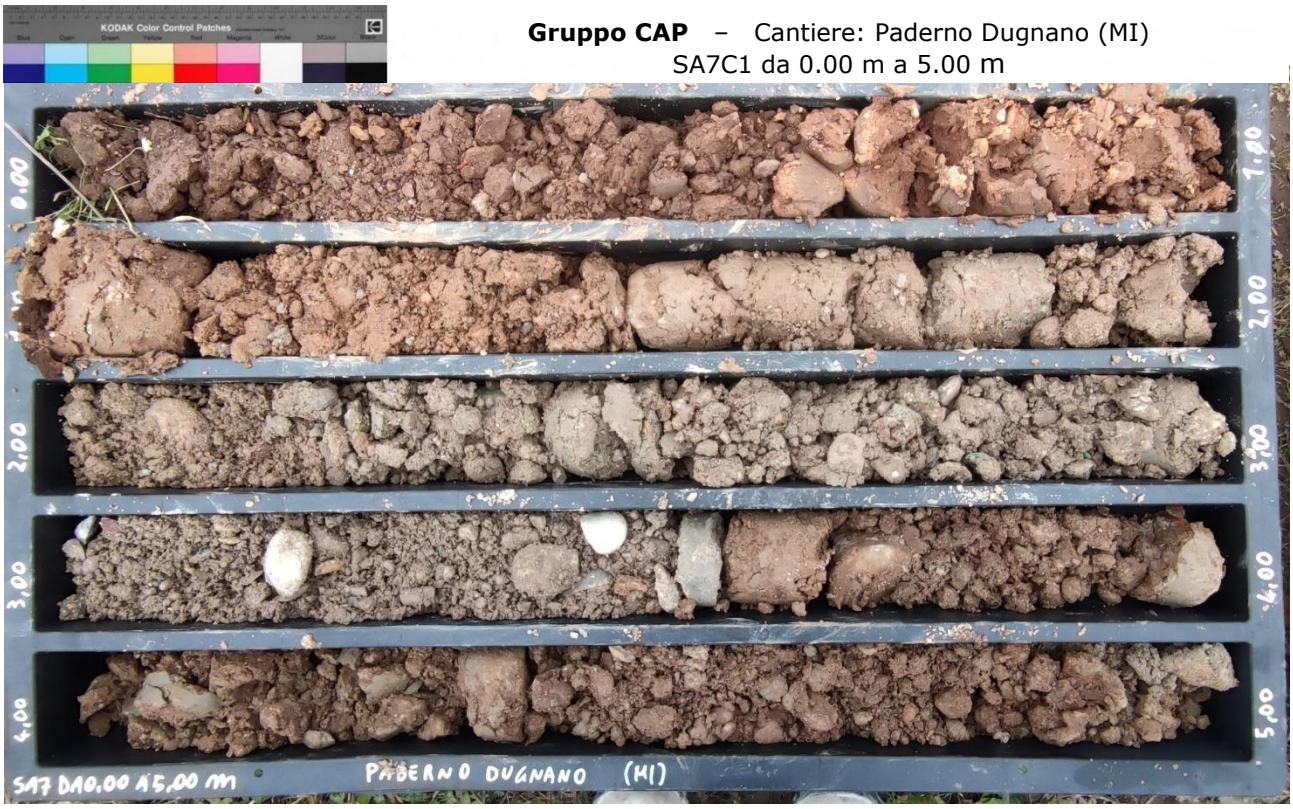


Foto 17. Sondaggio SA7 da 0.00 m a 5.00 m.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA7C2 da 5.00 m a 6.00 m

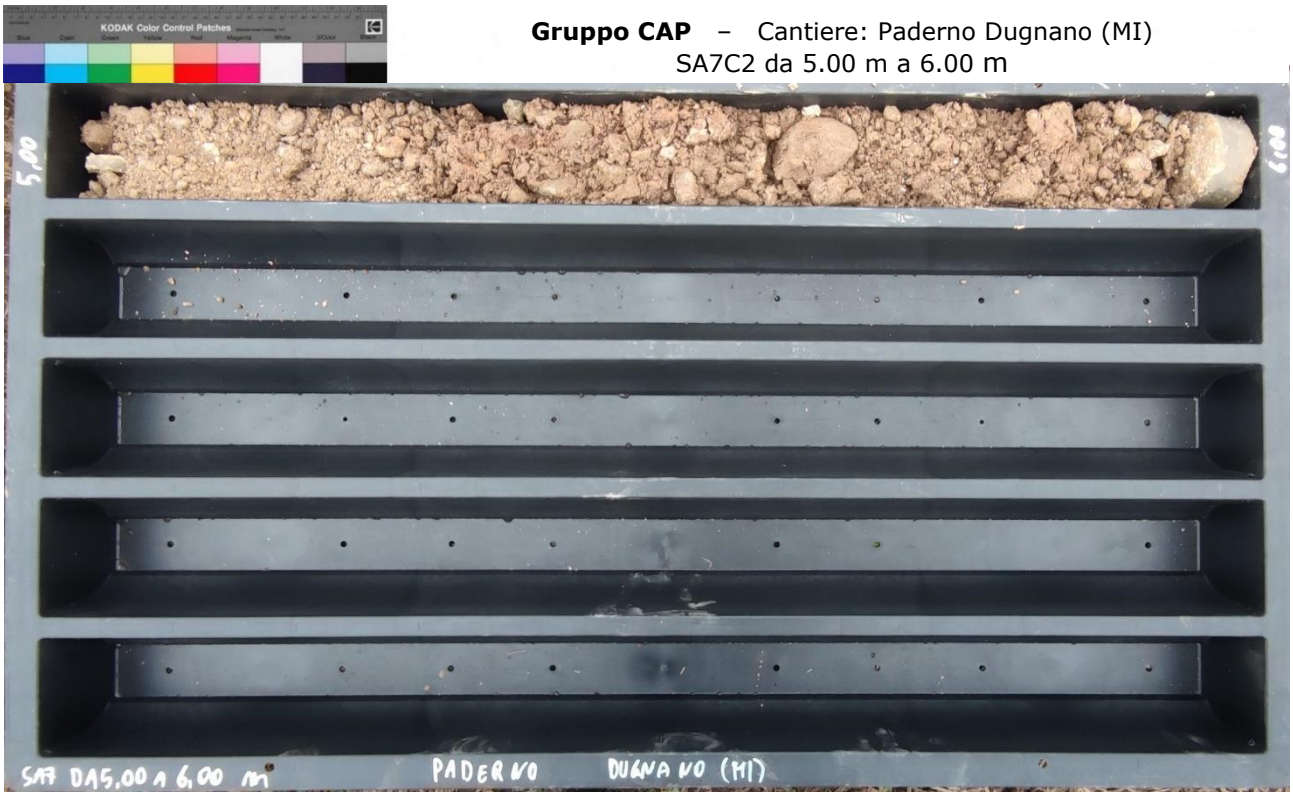


Foto 18. Sondaggio SA7 da 5.00 m a 6.00 m.

Sondaggio SA8

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA8 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

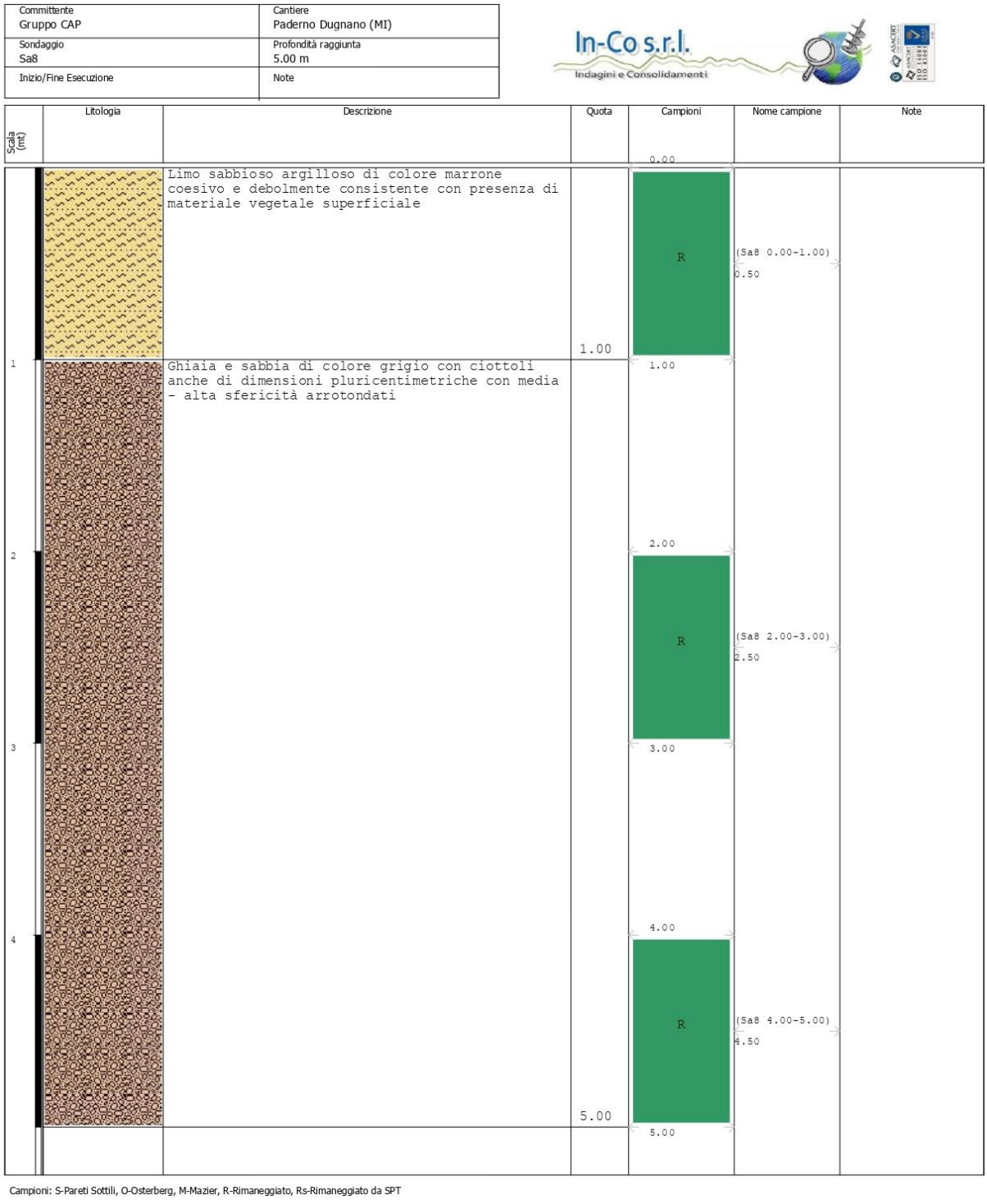


Figura 20. Stratigrafia del sondaggio Sa8.

Gruppo CAP – Cantiere: Paderno Dugnano (MI)
SA8C1 da 0.00 m a 5.00 m

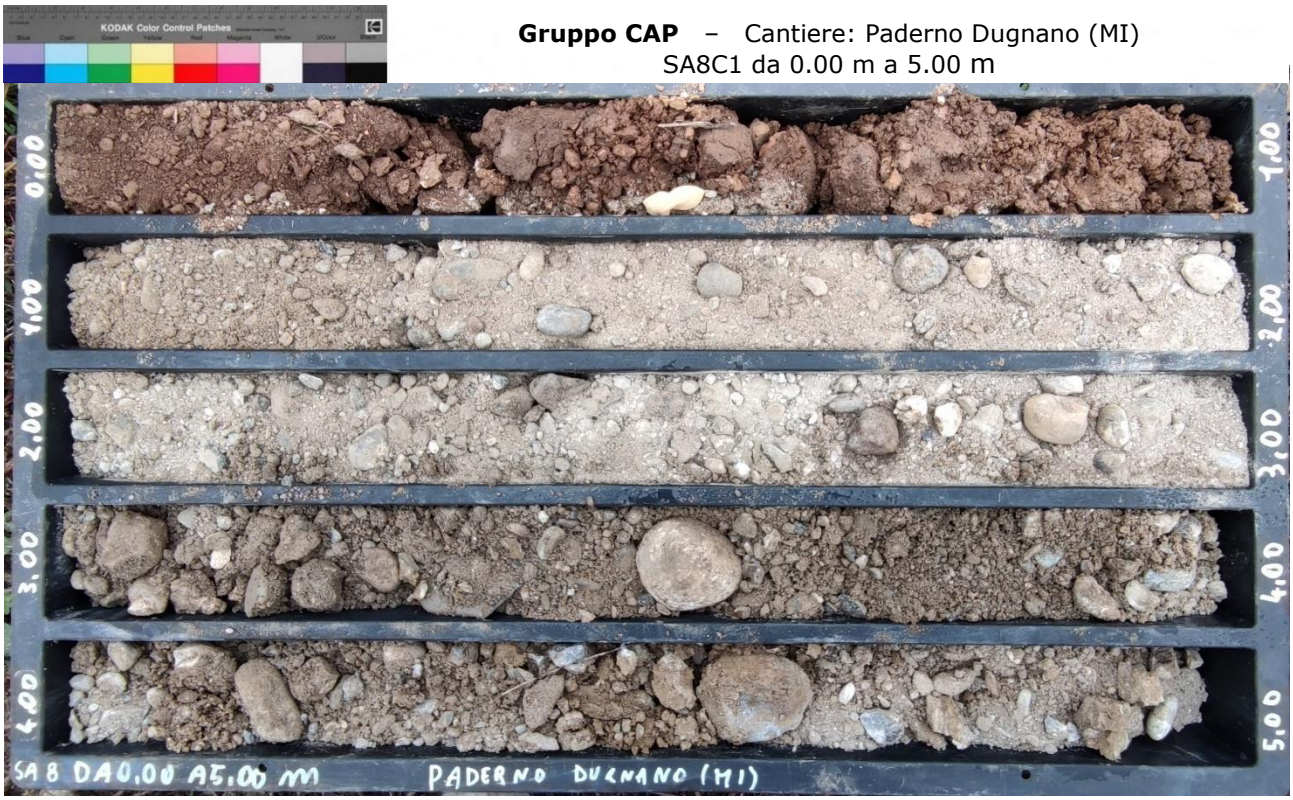


Foto 19. Sondaggio SA8 da 0.00 m a 5.00 m.

Sondaggio SA9

In corrispondenza del sondaggio ambientale SA9 è presente terreno fine limoso sabbioso argilloso nella porzione superficiale, con spessore metrico, seguito da terreno maggiormente grossolano caratterizzato da ghiaia e sabbia. Successivamente alla conclusione del sondaggio sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno per l'esecuzione delle analisi ambientali di laboratorio.

Figura 21. Stratigrafia del sondaggio Sa9.

Foto 20. Sondaggio SA9 da 0.00 m a 5.00 m.

Profondità della falda acquifera ed installazione di n. 3 piezometri

All'interno dell'area indagata la soggiacenza della falda acquifera risulta essere maggiormente profonda rispetto ai sondaggi eseguiti durante l'indagine; Tuttavia, al fine di rilevare la possibile presenza falde acquifere sospese, all'interno dei sondaggi S2, S3 e S4 è stato posizionato un piezometro del tipo, a tubo aperto con diametro di 2" che raggiunge la massima profondità investigata. In corrispondenza dei tratti fessurati è stato posto del ghiaietto mentre la parte superficiale, dopo aver realizzato un tappo impermeabile con bentonite, è stata cementata. Nei giorni seguenti alla conclusione dei carotaggi sono state eseguite le misurazioni della soggiacenza della falda freatica con i seguenti risultati.

Sondaggio	Tratto fessurato	Tratto cieco	Soggiacenza falda acquifera (m)
S2	Da -15 m a -3 m	Da -3 m a 0 m	Assenza di acqua
S3	Da -10 m a -4 m	Da -4 m a 0 m	Assenza di acqua
S4	Da -10 m a -4 m	Da -4 m a 0 m	Assenza di acqua

Tabella 2. Misurazioni falda acquifera all'interno dei piezometri.

Prove di permeabilità in foro

Generalità

La permeabilità è l'attitudine di un mezzo a lasciarsi attraversare dall'acqua per effetto di un gradiente idraulico ed esprime la resistenza del mezzo al deflusso dell'acqua. Essa viene misurata con il coefficiente di permeabilità (K) e rappresenta il volume di acqua in m^3 che attraversa con moto laminare nell'unità di tempo (1 s) una unità di sezione (1 m^2) ortogonale alla direzione del deflusso, sotto l'effetto di un gradiente idraulico unitario ed ella temperatura di 20°C. Le prove possono essere eseguite sul fondo di fori di sondaggio sia sotto che sopra il livello di falda; in quest'ultimo caso il terreno deve essere preventivamente saturato. Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con una tubazione per l'intero tratto non interessato dalla prova. Nel caso di terreni che tendono a franare o a rifluire sul fondo il tratto di terreno in prova viene riempito con materiale filtrante.

Le prove a carico variabile, sotto falda, posso essere eseguite con un emungimento dell'acqua e misurando i tempi di risalita (prova di risalita) oppure riempiendo il foro d'acqua e misurando la velocità di abbassamento (prova di abbassamento).

Le prove a carico costante si eseguono misurando la portata necessaria per mantenere costante il livello dell'acqua.

Per determinare il Coefficiente di Permeabilità (K), nel caso in cui i fori di sondaggio attraversino terreni sciolti, si effettuano prove di tipo Lefranc.

Prove Lefranc a livello Costante

L'esecuzione di questo tipo di prova prevede la misura della portata necessaria per mantenere costante il livello dell'acqua nel foro, superiore a quello stabilizzato corrispondente alla falda esterna. Dopo la preventiva immissione di un tubo di rivestimento all'interno del foro, posizionato ad una distanza prefissata dal fondo foro, in modo da creare una "tasca" di terreno di prova, e sporgente dal terreno di qualche decimetro, l'acqua viene immessa all'interno del tubo. La prova consiste nel portare l'acqua a livello costante misurandone la portata per mezzo di un contalitri. Prima di dare inizio alla prova, si attende che il livello si assesti. Si eseguono letture controllando la costanza dell'altezza del livello (h) e della portata, a determinati intervalli di tempo (t) Per le prove a carico costante il coefficiente di permeabilità è dato dalla seguente relazione:

$$kk = \mathrm{q}/CF*h*d$$

dove:

q = Portata immessa [m3*sec1]

h = Livello dell'acqua nel foro [m]

d = Diametro del foro

CF= Coefficiente di forma 2,85

Risultati delle prove

I risultati delle prove effettuate sono riassunti nella tabella sottostante.

Foro n.	Prova n.	Materiale interessato dalla prova	Tipo di prova	Tratto di prova		Permeabilità
				Da m	a m	K (m/s)
S1	K1	Terreno	Lefranc costante	2.00	2.50	8.5E-04
S2	K1	Terreno	Lefranc costante	3.50	4.00	4.1E-04
S2	K2	Terreno	Lefranc costante	6.00	6.50	3.6E-04
S2	K3	Terreno	Lefranc costante	7.50	8.00	1.9E-04
S3	K1	Terreno	Lefranc costante	3.00	3.50	7.4E-04
S3	K2	Terreno	Lefranc costante	5.50	6.00	1.6E-04

Tabella 3. Risultati delle prove di permeabilità.

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

PROVA DI PERMEABILITA': METODO LEFRANC A LIVELLO COSTANTE

Cantiere:	Paderno Dugnano (MI)	Prova n°:	K1
Committente:	Gruppo CAP	Sondaggio n°:	S1
Oggetto:	Permeabilità del terreno	Data:	05/11/21

INSERIMENTO DATI

Profondità del foro da p.c.:	m	2.5
Profondità del rivestimento da p.c.:	m	2.0
Sporgenza della testa del tubo da p.c.:	m	0.2
Diametro esterno del tubo di rivestimento:	mm	127.0
Lunghezza del tratto di foro di prova:	m	0.5
Diametro del tratto di foro in prova:	mm	101.0
Livello stabilizzato dell'acqua (distanza dal bordo del rivest.):		0.0
Livello statico della falda da p.c.:	m	

TABELLA DELLE IMMISSIONI

Tempi	Immissioni	Permeabilità
min	l	m/s
1	110	0.0007879
2	232	0.0008739
4	476	0.0008739
10	1203	0.0008679

Valore di Permeabilità k 8.5E-04 **m/s**

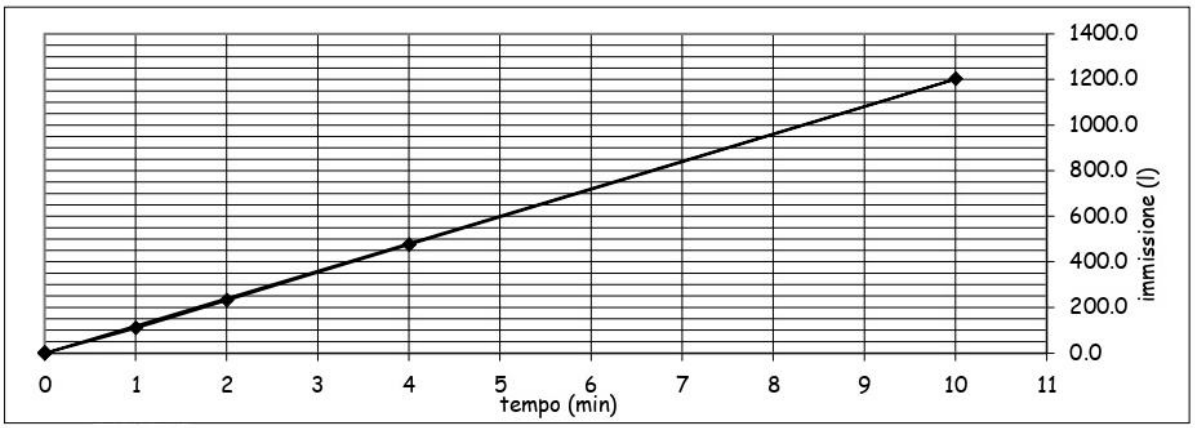


Figura 22. Risultati prova di permeabilità S1 K1.

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

PROVA DI PERMEABILITA': METODO LEFRANC A LIVELLO COSTANTE

Cantiere:	Paderno Dugnano (MI)	Prova n°:	K1
Committente:	Gruppo CAP	Sondaggio n°:	S2
Oggetto:	Permeabilità del terreno	Data:	08/11/21

INSERIMENTO DATI

Profondità del foro da p.c.:	m	4.0
Profondità del rivestimento da p.c.:	m	3.5
Sporgenza della testa del tubo da p.c.:	m	0.2
Diametro esterno del tubo di rivestimento:	mm	127.0
Lunghezza del tratto di foro di prova:	m	0.5
Diametro del tratto di foro in prova:	mm	101.0
Livello stabilizzato dell'acqua (distanza dal bordo del rivest.):		0.0
Livello statico della falda da p.c.:	m	

TABELLA DELLE IMMISSIONI

Tempi	Immissioni	Permeabilità
min	l	m/s
1	93	0.0004283
2	178	0.0003914
4	354	0.0004052
10	899	0.0004183

Valore di Permeabilità k 4.1E-04 **m/s**

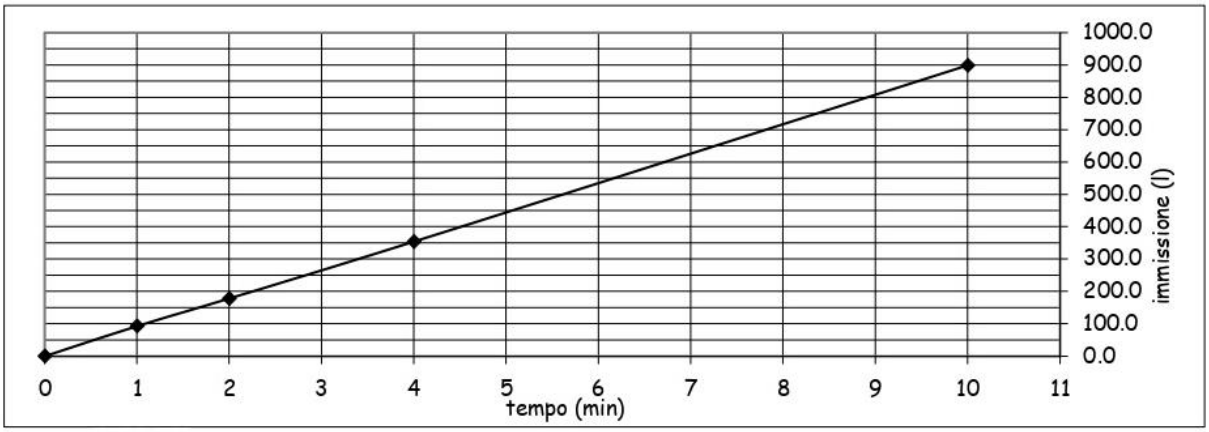


Figura 23. Risultati prova di permeabilità S2 K1.

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

PROVA DI PERMEABILITA': METODO LEFRANC A LIVELLO COSTANTE

Cantiere:	Paderno Dugnano (MI)	Prova n°:	K2
Committente:	Gruppo CAP	Sondaggio n°:	S2
Oggetto:	Permeabilità del terreno	Data:	08/11/21

INSERIMENTO DATI

Profondità del foro da p.c.:	m	6.5
Profondità del rivestimento da p.c.:	m	6.0
Sporgenza della testa del tubo da p.c.:	m	0.2
Diametro esterno del tubo di rivestimento:	mm	127.0
Lunghezza del tratto di foro di prova:	m	0.5
Diametro del tratto di foro in prova:	mm	101.0
Livello stabilizzato dell'acqua (distanza dal bordo del rivest.):		0.0
Livello statico della falda da p.c.:	m	

TABELLA DELLE IMMISSIONI

Tempi	Immissioni	Permeabilità
min	l	m/s
1	130	0.0003753
2	250	0.0003464
4	503	0.0003652
10	1221	0.0003454

Valore di Permeabilità k 3.6E-04 **m/s**

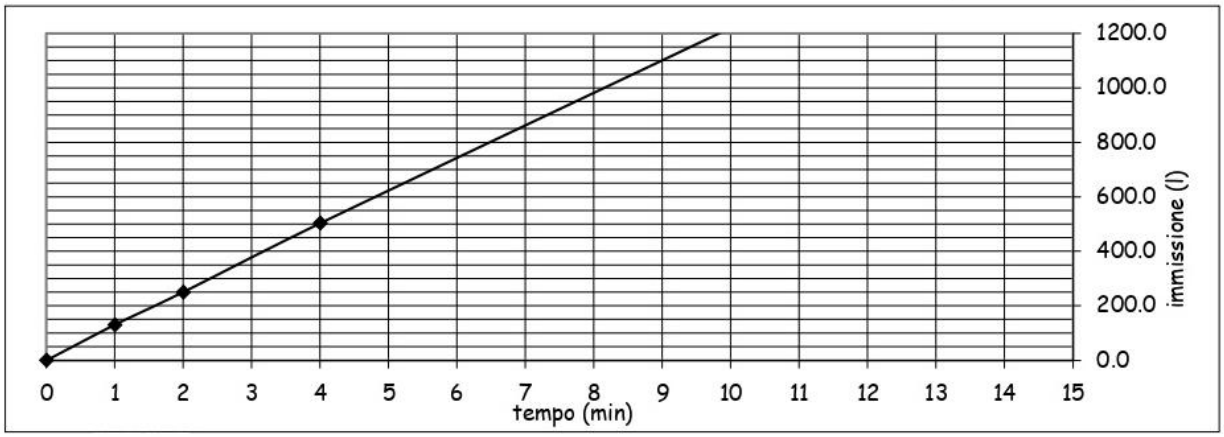


Figura 24. Risultati prova di permeabilità S2 K2.

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

PROVA DI PERMEABILITA': METODO LEFRANC A LIVELLO COSTANTE

Cantiere:	Paderno Dugnano (MI)	Prova n°:	K3
Committente:	Gruppo CAP	Sondaggio n°:	S2
Oggetto:	Permeabilità del terreno	Data:	08/11/21

INSERIMENTO DATI

Profondità del foro da p.c.:	m	8.0
Profondità del rivestimento da p.c.:	m	7.5
Sporgenza della testa del tubo da p.c.:	m	0.2
Diametro esterno del tubo di rivestimento:	mm	127.0
Lunghezza del tratto di foro di prova:	m	0.5
Diametro del tratto di foro in prova:	mm	101.0
Livello stabilizzato dell'acqua (distanza dal bordo del rivest.):		0.0
Livello statico della falda da p.c.:	m	

TABELLA DELLE IMMISSIONI

Tempi	Immissioni	Permeabilità
min	l	m/s
1	80	0.0001887
2	172	0.000217
4	312	0.0001651
10	759	0.0001757

Valore di Permeabilità k 1.9E-04 **m/s**

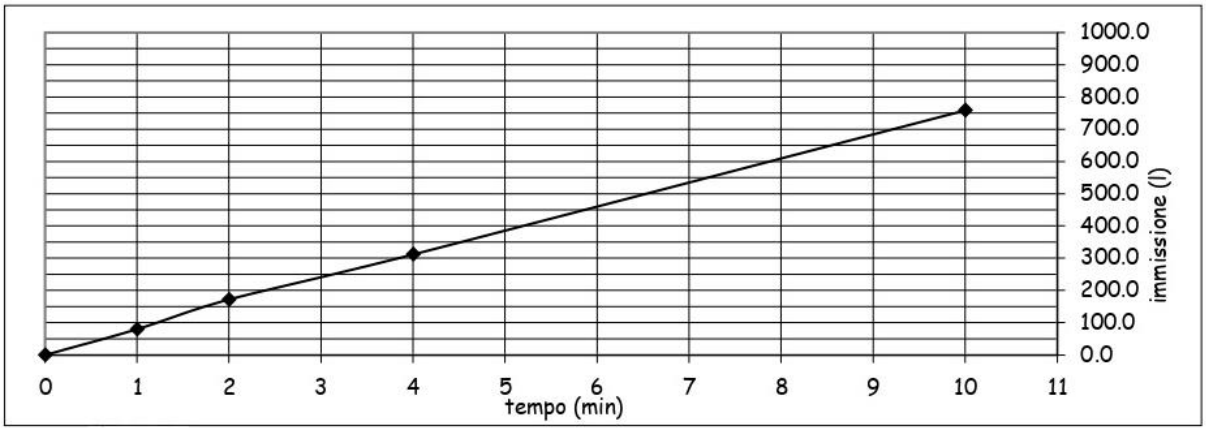


Figura 25. Risultati prova di permeabilità S2 K3.

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

PROVA DI PERMEABILITA': METODO LEFRANC A LIVELLO COSTANTE

Cantiere:	Paderno Dugnano (MI)	Prova n°:	K1
Committente:	Gruppo CAP	Sondaggio n°:	S3
Oggetto:	Permeabilità del terreno	Data:	11/11/21

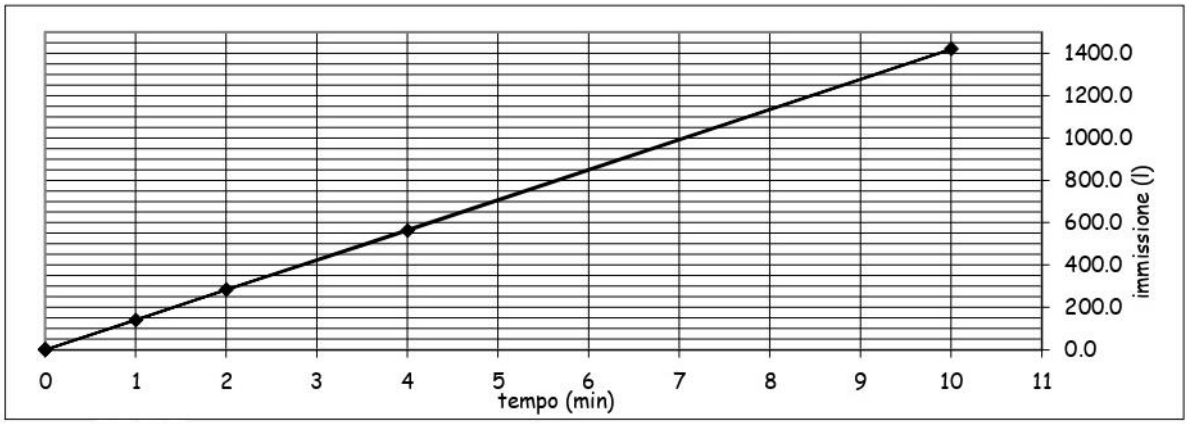
INSERIMENTO DATI

Profondità del foro da p.c.:	m	3.5
Profondità del rivestimento da p.c.:	m	3.0
Sporgenza della testa del tubo da p.c.:	m	0.2
Diametro esterno del tubo di rivestimento:	mm	127.0
Lunghezza del tratto di foro di prova:	m	0.5
Diametro del tratto di foro in prova:	mm	101.0
Livello stabilizzato dell'acqua (distanza dal bordo del rivest.):		0.0
Livello statico della falda da p.c.:	m	

TABELLA DELLE IMMISSIONI

Tempi	Immissioni	Permeabilità
min	l	m/s
1	140	0.0007318
2	283	0.0007475
4	562	0.0007292
10	1421	0.0007484

Valore di Permeabilità k 7.4E-04 m/s



Nota: Con una portata massima pari a circa 140 l/min non è stato possibile portare il livello dell'acqua all'interno del foro fino a piano campagna; Per questo motivo si può affermare che la permeabilità in questo tratto è superiore a 7.4E-04 m/s

Figura 26. Risultati prova di permeabilità S3 K1.

In-Co s.r.l.
Indagini e Consolidamenti

PROVA DI PERMEABILITA': METODO LEFRANC A LIVELLO COSTANTE

Cantiere:	Paderno Dugnano (MI)	Prova n°:	K2
Committente:	Gruppo CAP	Sondaggio n°:	S3
Oggetto:	Permeabilità del terreno	Data:	11/11/21

INSERIMENTO DATI

Profondità del foro da p.c.:	m	6.0
Profondità del rivestimento da p.c.:	m	5.5
Sporgenza della testa del tubo da p.c.:	m	0.2
Diametro esterno del tubo di rivestimento:	mm	127.0
Lunghezza del tratto di foro di prova:	m	0.5
Diametro del tratto di foro in prova:	mm	101.0
Livello stabilizzato dell'acqua (distanza dal bordo del rivest.):		0.0
Livello statico della falda da p.c.:	m	

TABELLA DELLE IMMISSIONI

Tempi	Immissioni	Permeabilità
min	l	m/s
1	50	0.000156
2	106	0.0001747
4	204	0.0001529
10	504	0.000156

Valore di Permeabilità k 1.6E-04 **m/s**

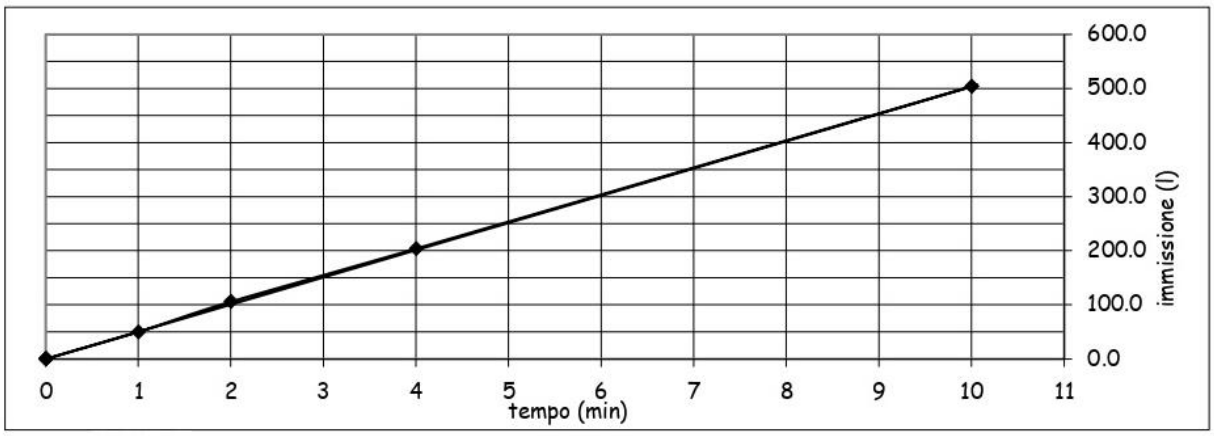


Figura 27. Risultati prova di permeabilità S3 K2.

Prove penetrometriche dinamiche (SPT)

Durante l'esecuzione dei sondaggi verticali è stata interrotta la perforazione per poter eseguire delle prove penetrometriche dinamiche (SPT). L'attrezzatura impiegata consiste in un maglio con sgancio automatico (produzione Nenzi-Geomarc) avente le seguenti caratteristiche:

- Massa battente kg 63.5
- Altezza di caduta 76 cm

e di un campionatore Raymond munito, per la presenza di terreno grossolano, di punta chiusa. La prova consiste nell'infiggere a percussione nel terreno, alla quota prevista e quindi sospendendo momentaneamente la perforazione del sondaggio, di un campionatore Raymond munito di scarpetta o punta chiusa (in relazione alla granulometria del terreno) e di registrare il numero dei colpi necessari all'avanzamento di 3 tratti di 15 cm.

Le quote alle quali sono state eseguite le prove sono visibili in stratigrafia e sono anche riassunte nella sottostante tabella.

Sondaggio	Profondità da m	a m	N_1	N_2	N_3	N_{spt}*
S4	3.00	3.45	18	21	26	47
S4	6.00	6.45	24	30	32	62
S4	9.00	9.45	38	R (8 cm)		

(*) Valore non normalizzato

Tabella 4. Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT

Le prove penetrometriche dinamiche SCPT sono state eseguite con penetrometro dinamico super pesante PAGANI TG 73, montato su automezzo gommato a trazione integrale, i cui componenti sono rigorosamente conformi alle norme geotecniche in materia; in particolare il penetrometro impiegato può essere descritto come classe DPSH tipo "Meardi".

I dati tecnici del penetrometro sono così riassumibili:

- *Diametro delle aste: 34 mm*
- *Diametro dei rivestimenti: 48 mm 1" ½*
- *Punta conica – diametro: 50.8 mm 2"*
- *Conicità: 60°*
- *Peso del maglio: 73 kg (160 libbre)*
- *Altezza di caduta (volata)*: *75 cm (30")*

La prova consiste nel misurare il numero dei colpi (NSCPT) necessari all'infissione delle aste D. 34 mm per un intervallo pari a 30 centimetri (N/colpi/piede) seguite dai tubi di rivestimento D. 48 mm per evitare attrito tra aste e terreno (e per l'avanzamento dei quali si registra il numero dei colpi necessario all'avanzamento).

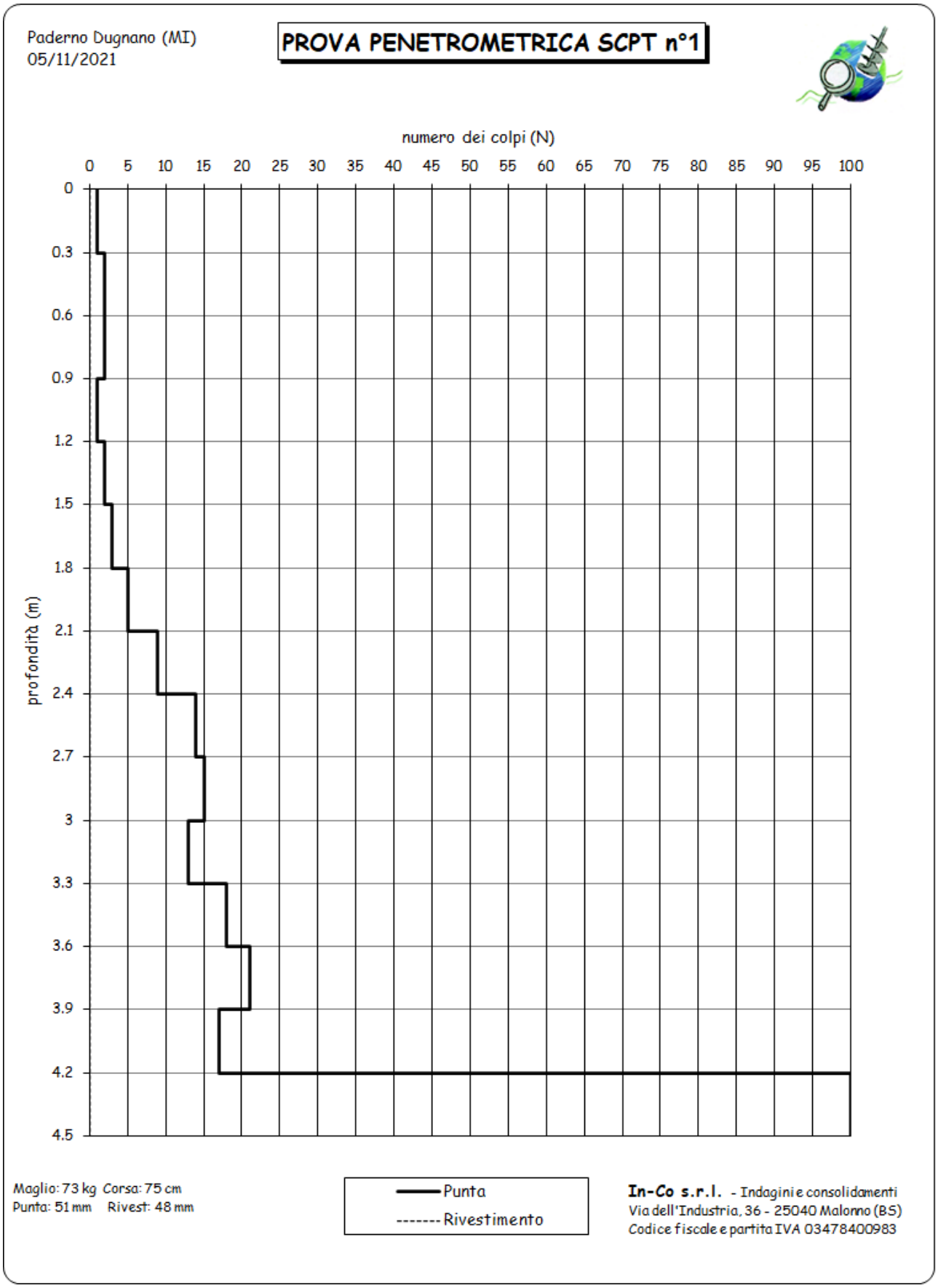


Figura 28. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 1.

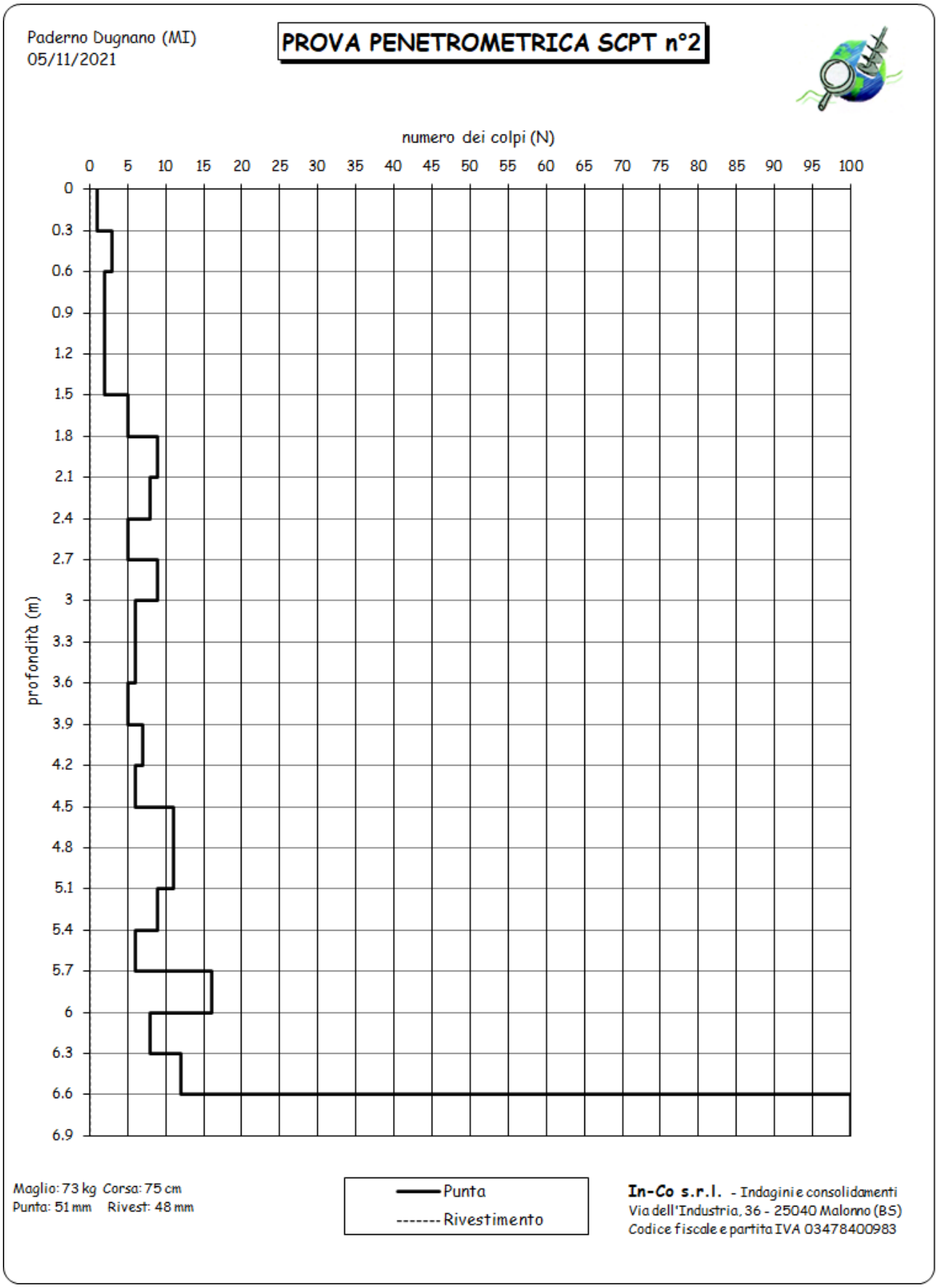


Figura 29. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 2.

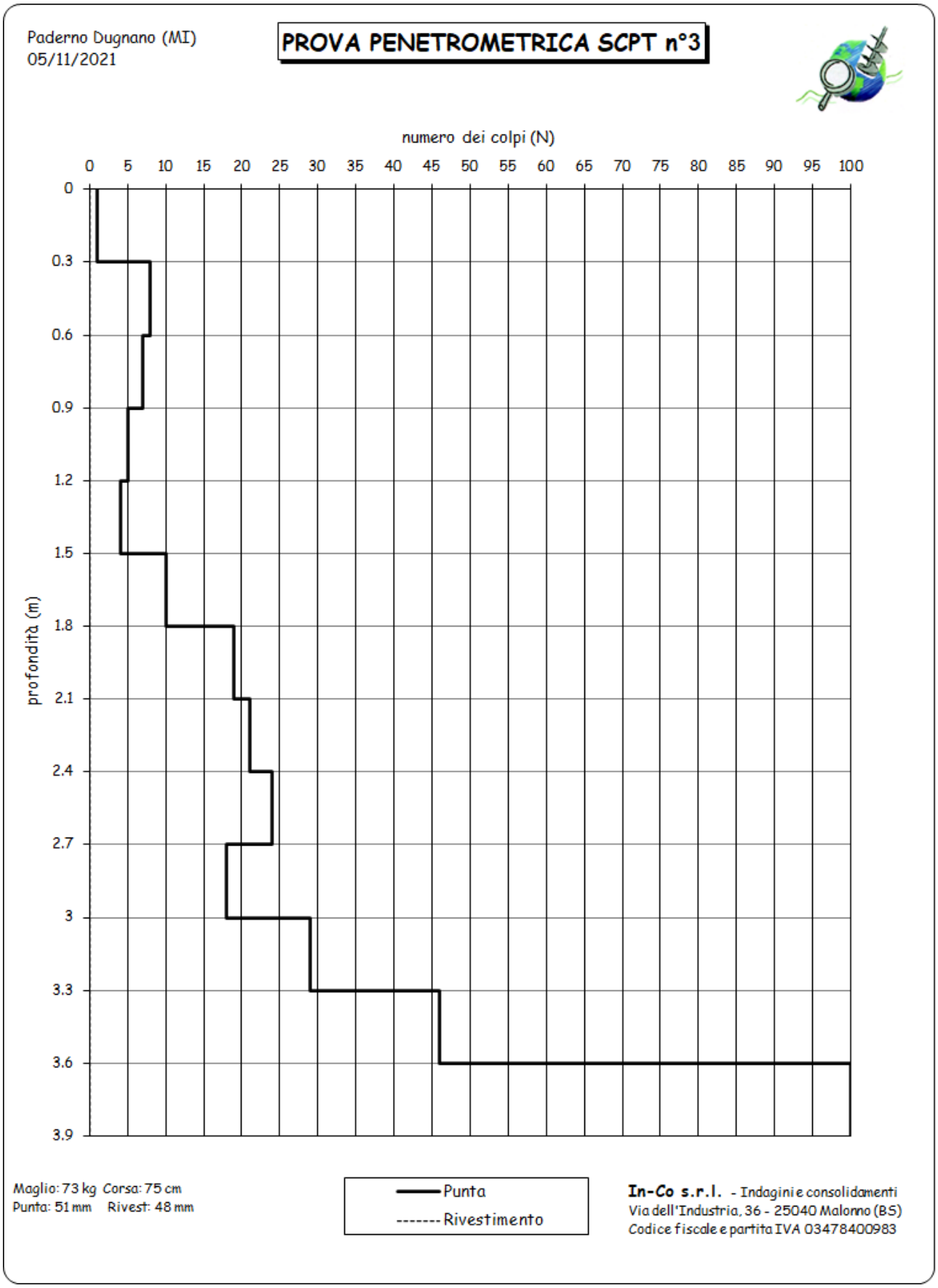


Figura 30. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 3.

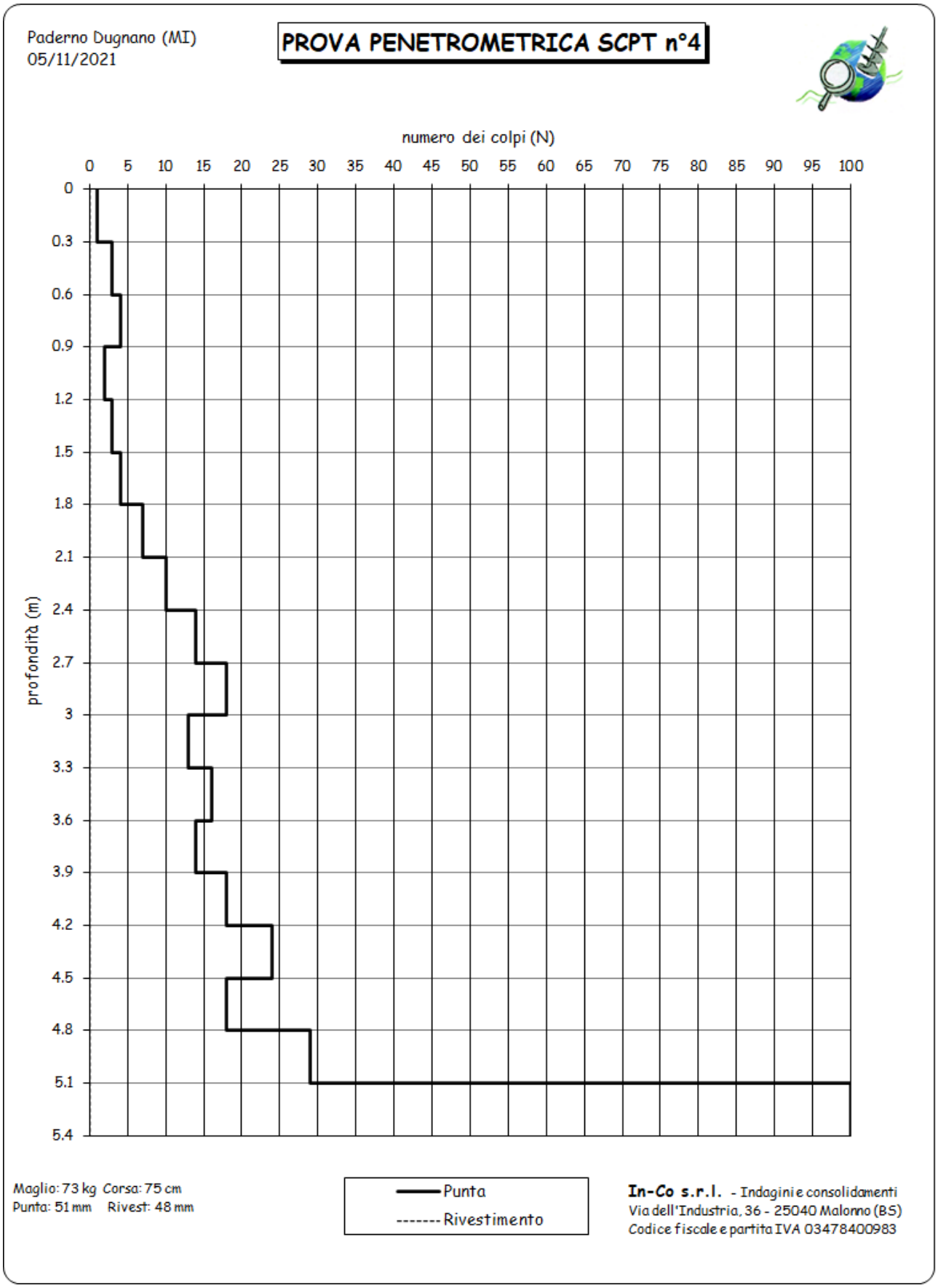


Figura 31. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 4.

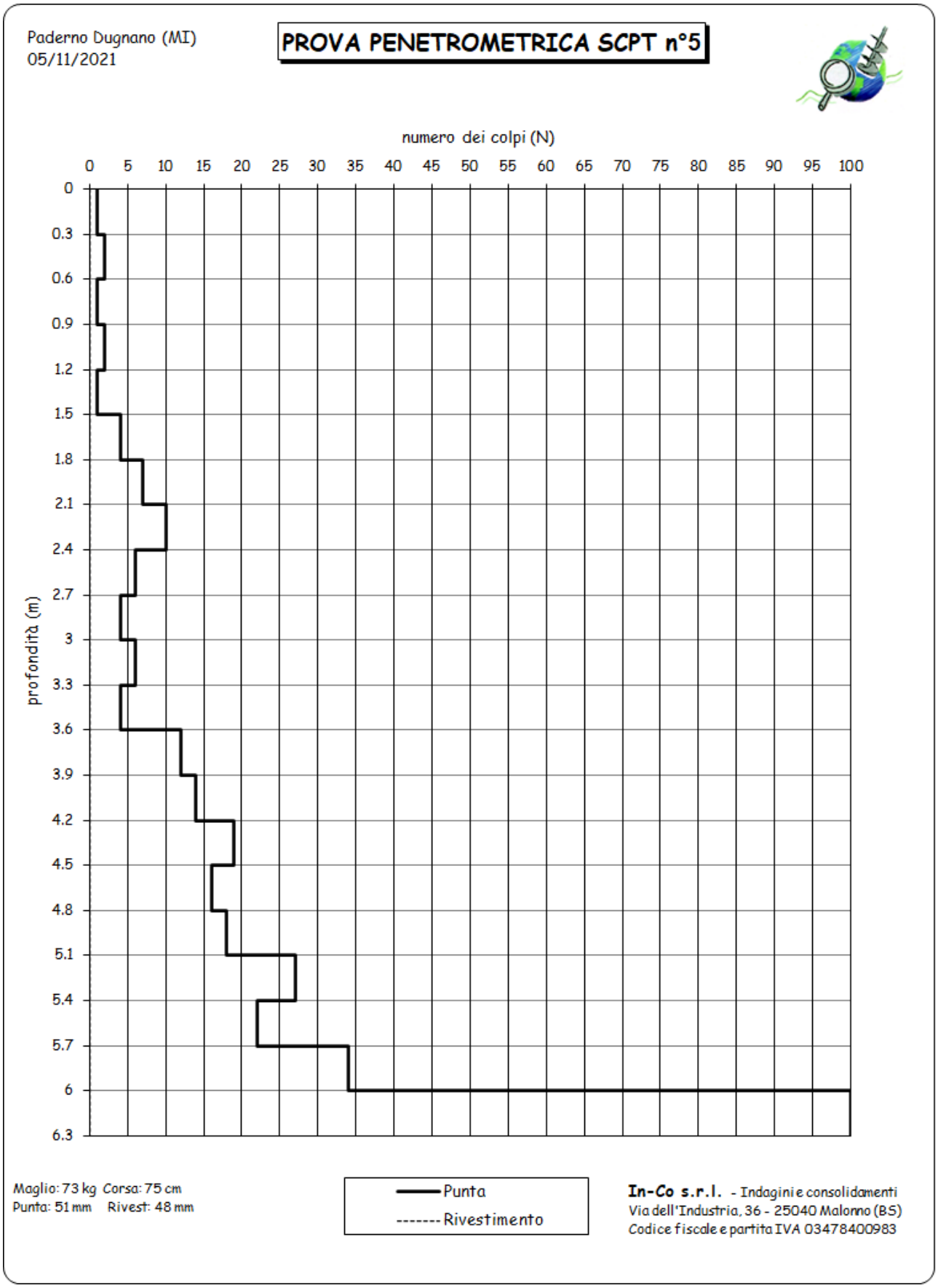


Figura 32. Risultati prova penetrometrica dinamica continua SCPT 5.

Elaborazione dati SPT e prove penetrometriche SCPT

Dai dati ottenuti dalle prove SPT e dalle prove penetrometriche sono stati ottenuti i seguenti valori:

SPT S4								
Profondità da p.f. (cm)	**Nspt**	**Angolo di resistenza al taglio**	**Coesione non drenata**	**Densità relativa**	**Peso unità di volume**	**Peso unità di volume saturo**	**Modulo di Young**	**Modulo di Poisson**
300 ÷ 345	18-21-26	ϕ =32°-33°	- Kg/cm²	77.9	γ = 1,83 t/m³	γ = 2,14 t/m³	E = 310 Kg/cm²	0.26
600 ÷ 645	24-30-32	ϕ =34°-35°	- Kg/cm²	92.41	γ = 1,91 t/m³	γ = 2,19 t/m³	E = 385 Kg/cm²	0.23
900 ÷ 945	38-50-50	ϕ =36°-37°	- Kg/cm²	100	γ = 1,95 t/m³	γ = 2,21 t/m³	E = 575 Kg/cm²	0.15

Tabella 5. Elaborazione Spt S4

PROVA SCPT 1									
Profondità da p.f. (cm)	**Tipo di terreno**	**Nspt Medio**	**Angolo di resistenza al taglio**	**Coesione non drenata**	**Densità relativa**	**Peso unità di volume**	**Peso unità di volume saturo**	**Modulo di Young**	**Modulo di Poisson**
0 ÷ 180	Strato 1	2	ϕ = 20°-21°	- Kg/cm²	12.38	γ = 1,37 t/m³	γ = 1,85 t/m³	E = 16 Kg/cm²	0.35
180 ÷ 390	Strato 2	17	ϕ = 32°-33°	- Kg/cm²	46.50	γ = 1,56 t/m³	γ = 1,97 t/m³	E = 136 Kg/cm²	0.32

Tabella 6. Elaborazione prova penetrometrica 1

PROVA SCPT 2									
Profondità da p.f. (cm)	**Tipo di terreno**	**Nspt Medio**	**Angolo di resistenza al taglio**	**Coesione non drenata**	**Densità relativa**	**Peso unità di volume**	**Peso unità di volume saturo**	**Modulo di Young**	**Modulo di Poisson**
0 ÷ 420	Strato 1	6	ϕ = 24°-25°	- Kg/cm²	23.45	γ = 1,43 t/m³	γ = 1,89 t/m³	E = 48 Kg/cm²	0.34
420 ÷ 630	Strato 2	12	ϕ = 30°-31°	- Kg/cm²	37.24	γ = 1,50 t/m³	γ = 1,94 t/m³	E = 96 Kg/cm²	0.33

Tabella 7. Elaborazione prova penetrometrica 2

PROVA SCPT 3									
Profondità da p.f. (cm)	**Tipo di terreno**	**Nspt Medio**	**Angolo di resistenza al taglio**	**Coesione non drenata**	**Densità relativa**	**Peso unità di volume**	**Peso unità di volume saturo**	**Modulo di Young**	**Modulo di Poisson**
0 ÷ 120	Strato 1	6	ϕ = 24°-25°	- Kg/cm²	23.45	γ = 1,43 t/m³	γ = 1,89 t/m³	E = 48 Kg/cm²	0.34
120 ÷ 330	Strato 2	27	ϕ = 35°-36°	- Kg/cm²	60.30	γ = 1,67 t/m³	γ = 2,04 t/m³	E = 216 Kg/cm²	0.30

Tabella 8. Elaborazione prova penetrometrica 3

PROVA SCPT 4									
Profondità da p.f. (cm)	**Tipo di terreno**	**Nspt Medio**	**Angolo di resistenza al taglio**	**Coesione non drenata**	**Densità relativa**	**Peso unità di volume**	**Peso unità di volume saturo**	**Modulo di Young**	**Modulo di Poisson**
0 ÷ 180	Strato 1	4	ϕ = 22°-23°	- Kg/cm²	18.12	γ = 1,40 t/m^3	γ = 1,87 t/m^3	E = 32 Kg/cm²	0.35
180 ÷ 480	Strato 2	20	ϕ = 32°-33°	- Kg/cm²	51.23	γ = 1,60 t/m^3	γ = 1,99 t/m^3	E = 160 Kg/cm²	0.31

Tabella 9. Elaborazione prova penetrometrica 4

PROVA SCPT 5									
Profondità da p.f. (cm)	**Tipo di terreno**	**Nspt Medio**	**Angolo di resistenza al taglio**	**Coesione non drenata**	**Densità relativa**	**Peso unità di volume**	**Peso unità di volume saturo**	**Modulo di Young**	**Modulo di Poisson**
0 ÷ 330	Strato 1	4	ϕ = 22°-23°	- Kg/cm²	18.12	γ = 1,40 t/m^3	γ = 1,87 t/m^3	E = 32 Kg/cm²	0.35
120 ÷ 570	Strato 2	24	ϕ = 34°-35°	- Kg/cm²	56.72	γ = 1,64 t/m^3	γ = 2,02 t/m^3	E = 192 Kg/cm²	0.31

Tabella 10. Elaborazione prova penetrometrica 5

INDAGINE SISMICA TIPO MASW

Il metodo MASW "Multichannel Analysis of Surface Waves" è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni posti sulla superficie del suolo.

Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love, sono dette superficiali perché la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di superficie, rispetto le onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado, l'andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale.

Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale, che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidezza del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

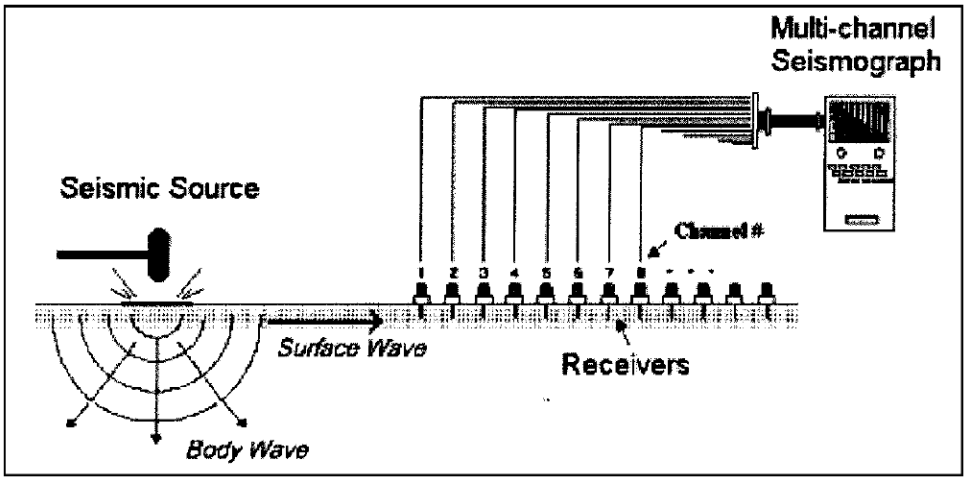


Figura 33. Schema stendimento sismico MASW

La normativa antisismica (Ordinanza n° 3274 e Nuove Norme Tecniche per le costruzioni) ha introdotto la classificazione dei terreni secondo la velocità delle Onde di taglio "Onde S" con precisione il fattore discriminante è il Vs30.
Il parametro Vs30 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{hi}{Vi}}$$

Dove *hi* è lo spessore dello strato esimo

Vi è la velocità dello strato iesimo

Le norme tecniche delle costruzioni 2018 introducono il concetto di Vs equivalente (VsE):

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

in cui la profondità H è quella a cui la velocità VS è pari o superiore a 800 m/s (bedrock sismico).

Si tratta in pratica di una variazione sul tema rispetto al parametro Vs30, in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m. Di fatto se il bedrock sismico è più profondo di 30 m dal piano di fondazione la Vs equivalente è uguale alla Vs30.

Ubicazione stendimento MASW

Di seguito l'ubicazione dello stendimento sismico.

Figura 34. Ubicazione indagini MASW

Acquisizione MASW 1

L' acquisizione di campagna è stata condotta mediante il sismografo Pasi 16S24U, su uno stendimento di 65 metri, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spaziati di 2.5 m, un offset sorgente di 10 metri ed un'energizzazione costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per effettuare un'analisi approfondita delle onde di superficie si è proceduto alle seguenti analisi:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
  - 24 geofoni verticali da 4,5 Hz
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
  - 24 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
  - 24 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
  - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW Academy 2019, nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF) e HVSR. Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a

questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF), (RVF-THF). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati.

La combinazione utilizzata è stata (ZVF-THF).

MASW

Stendimento: 65 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

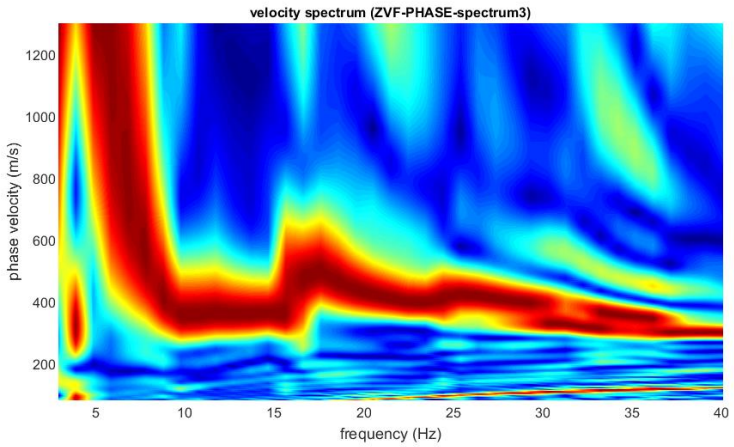


Figura 35. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

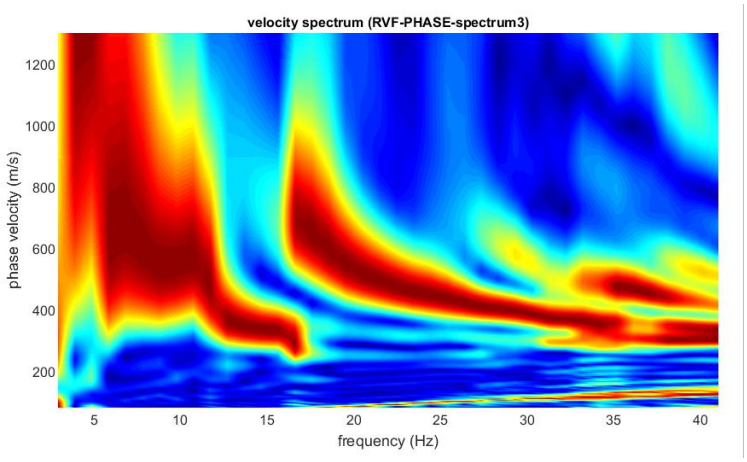


Figura 36. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

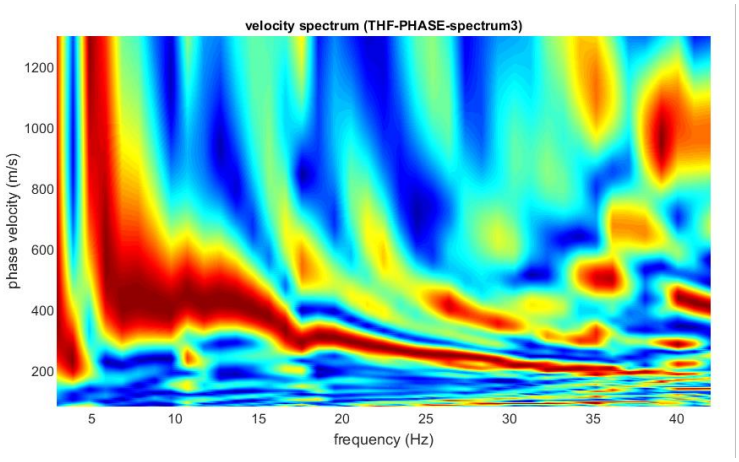


Figura 37. Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE

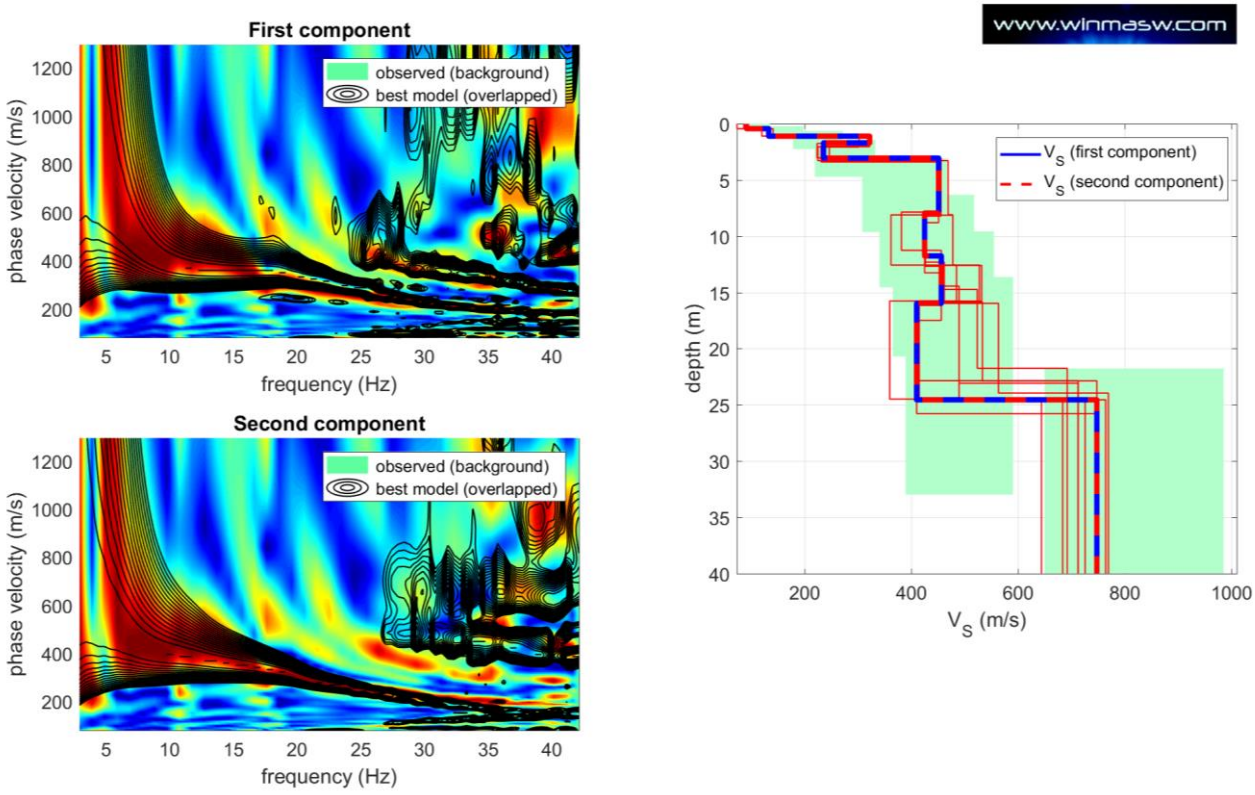


Figura 38. Inversione congiunta delle onde Rayleigh e Love

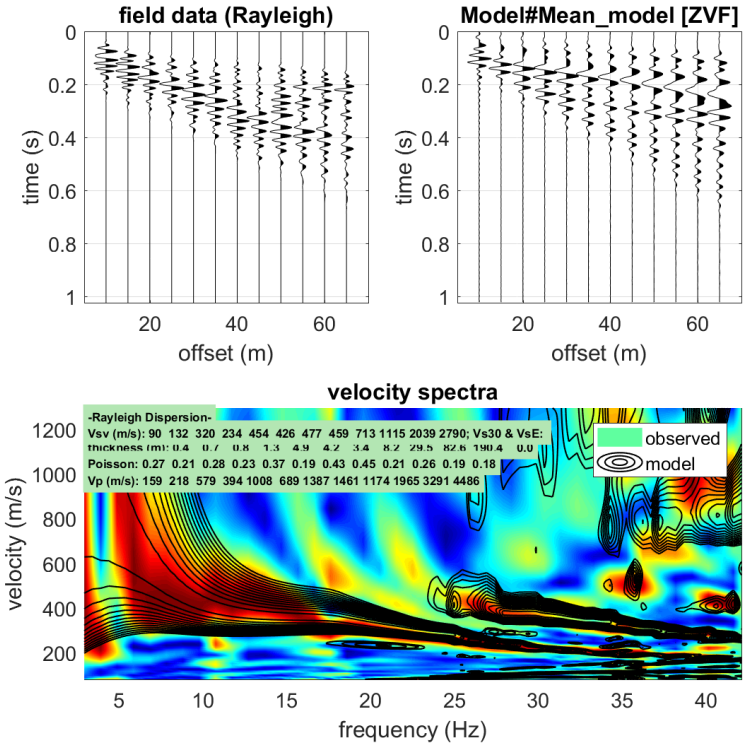


Figura 39. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh

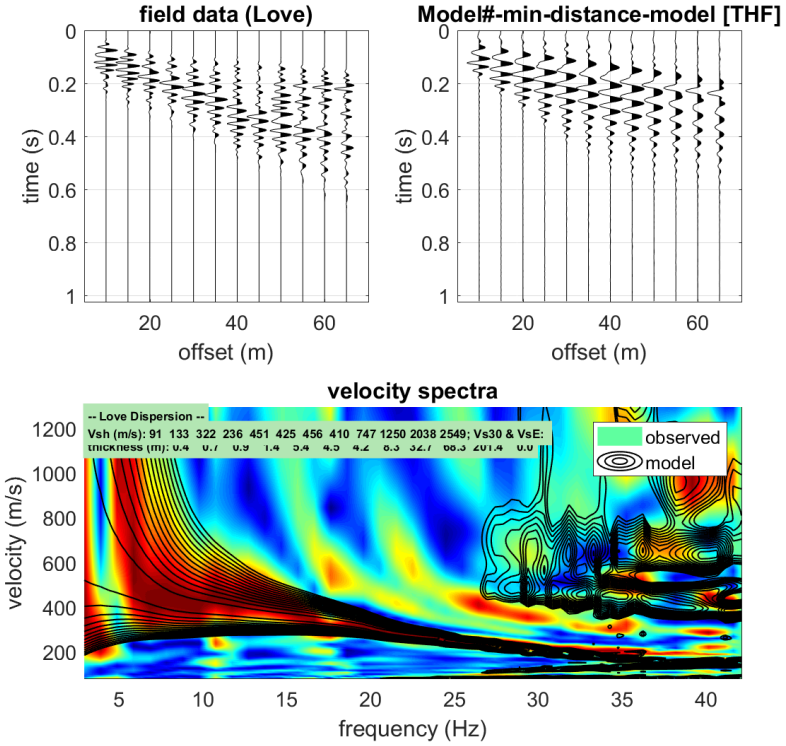


Figura 40. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love

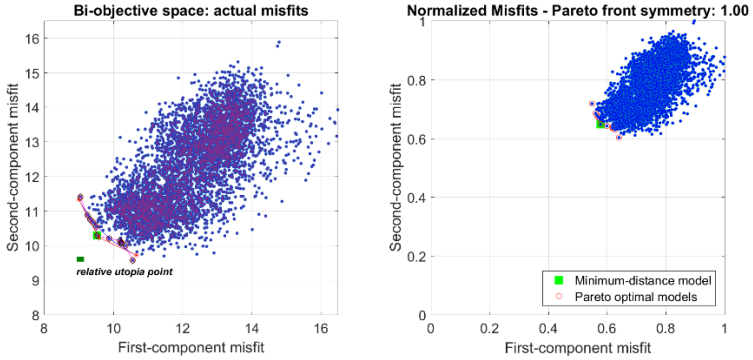


Figura 41. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale

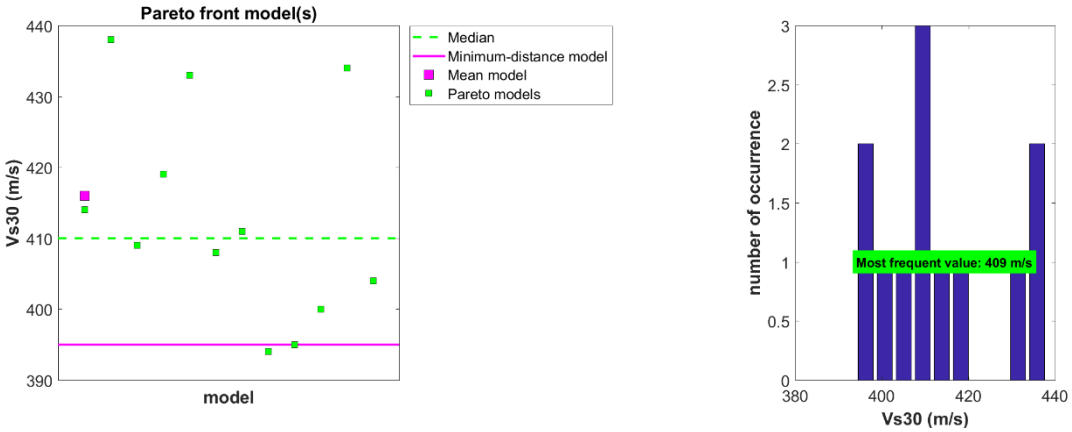


Figura 42. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models

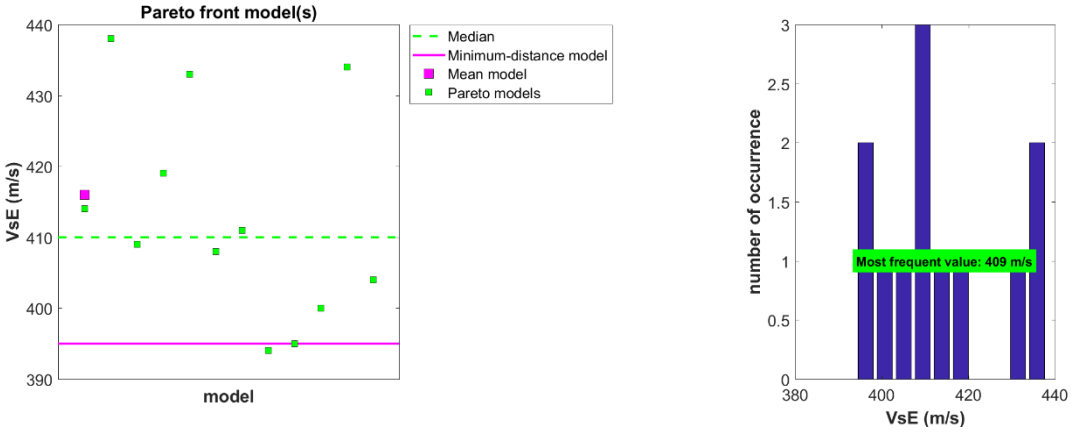


Figura 43. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models

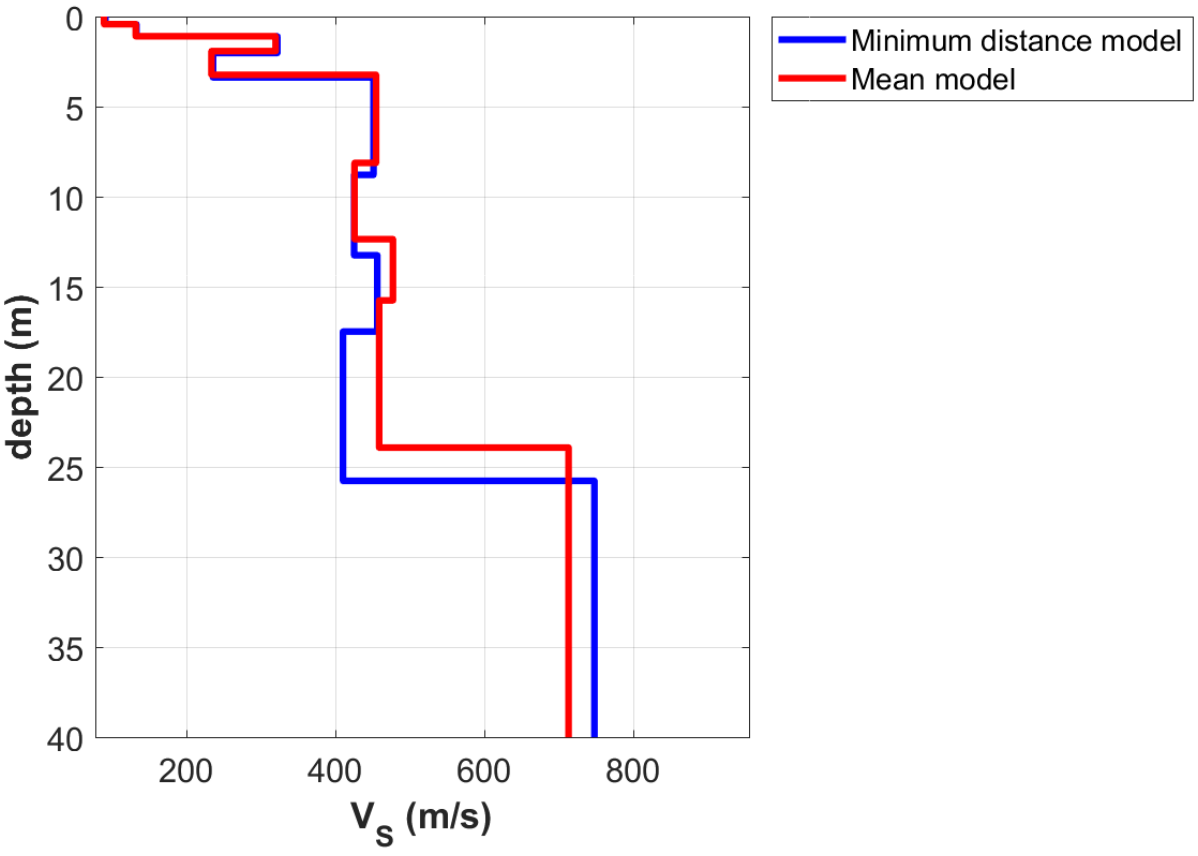


Figura 44. Profilo VS

Dati Mean Model

90	0.4	0.4
132	0.7	1.1
320	0.8	1.9
234	1.3	3.2
454	4.9	8.1
426	4.2	12.3
477	3.4	15.7
459	8.2	23.9
713	29.5	53.4
1115	82.6	136.0
2039	190.4	326.4
2790		

Dati Best Model

91	0.4	0.4
133	0.7	1.1
322	0.9	2.0
236	1.4	3.4
451	5.4	8.8
425	4.5	13.3
456	4.2	17.5
410	8.3	25.8
747	32.7	58.5
1250	68.3	126.8
2038	201.4	328.2
2549		

Tabella 11. Dati modello medio e modello migliori

Minimum VsE (m/s): 394 **Maximum VsE (m/s): 438**

Minimum Vs30 (m/s): 394 **Maximum Vs30 (m/s): 438**

Minimum distance model:

Vs (m/s): 90, 132, 320, 234, 454, 426, 477, 459, 713, 1115, 2039, 2790

VsE (m/s): 409

Vs30 (m/s): 409

Thickness (m): 0.4, 0.7, 0.8, 1.3, 4.9, 4.2, 3.4, 8.2, 29.5, 82,6, 190,4

Mean model:

Vs (m/s): 91, 133, 322, 236, 451, 425, 456, 410, 747, 1250, 2038, 2549

VsE (m/s): 395

Vs30 (m/s): 395

Thickness (m): 0,4, 0,7, 0,9, 1,4, 5,4, 4,5, 4,2, 8,3, 32,7, 68,3, 201,4

ANALISI DI II LIVELLO SISMICO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello medio "mean" individuato con la MASW soprastante. Prima di tutto calcoliamo il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)} = \boxed{\text{T = 0,36 s}}$$

ove *hi* e *Vsi* sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

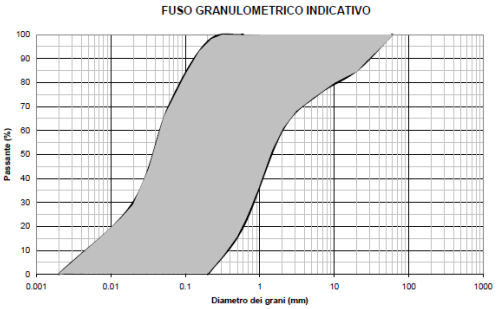
Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia sabbiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nell'immagine sottostante.

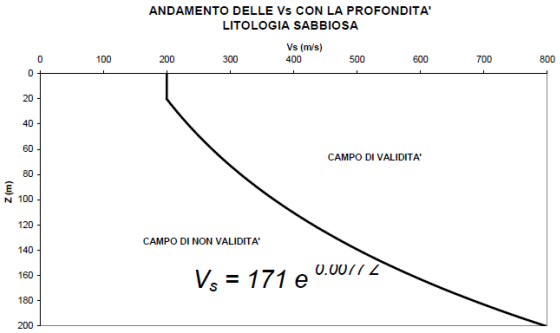
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

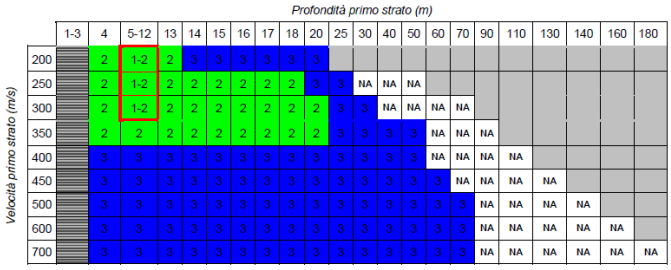
PARAMETRI INDICATIVI

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

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



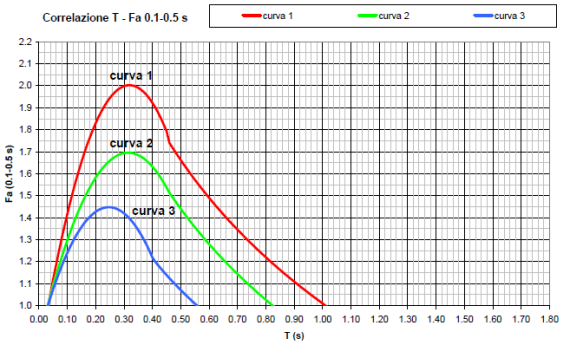


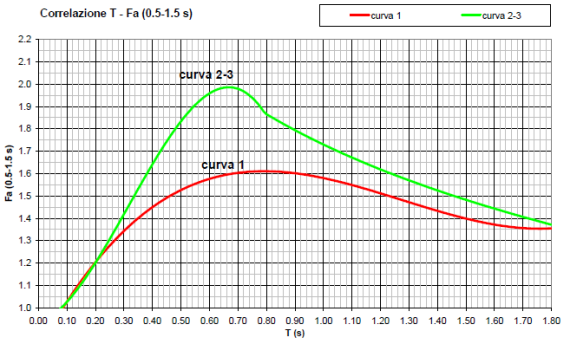


Vs < 300 m/s
Vs > 500 m/s
0
5 - 12 m

ove
la sigla NA indica *Fa* = 1

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





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

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

Tabella 12. Scheda litologia ghiaiosa.

Nel calcolo per il periodo 0.1-0.5 è stata utilizzata la formula della curva 2 verde considerando i primi 5 sismostrati come un unico strato di 8,1 ~ 8 metri con una velocità media di circa 350 m/s.

Fa periodo 0.1-0.5 = 1,67 < 1.9 (soglia comunale C)

In base al valore Fa e ai valori soglia comunali, la categoria di suolo B individuata nella MASW non si ritiene verificata.

Valori Soglia Comunali	Intervallo di periodo	Categoria di Suolo B	Categoria di Suolo C	Categoria di Suolo D	Categoria di Suolo E
Paderno Dugnano	0.1 – 0.5	1.4	1.9	2.2	2.0

Tabella 13. Valori soglia comunali

La velocità delle onde S equivalente è uguale a 395 m/s, è corrispondente alla **categoria di suolo C** per il periodo 0.1-0.5, avendo valutato le amplificazioni litologiche di sito e il fattore di amplificazione.

Dal Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, le nuove categorie di sottosuolo sono:

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

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di 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.

MODELLO GEOLOGICO

Il territorio di Paderno Dugnano è caratterizzato in superficie dalla presenza di depositi appartenenti alle più recenti espansioni glaciali ed attribuibili in particolare all'Allogruppo di Besnate (Pleistocene medio – Pleistocene superiore; corrisponde al Riss-Würm degli autori precedenti). L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali in genere ad alta energia di sedimentazione, con profilo di alterazione da poco a mediamente evoluto (spessore massimo di 3 m) e copertura loessica in genere assente, costituiti da ghiaie poligeniche a supporto clastico/di matrice sabbiosa debolmente limosa, passanti localmente a limi. In superficie possono essere presenti depositi fini discontinui. La genesi dei terreni, riferibile a depositi fluvioglaciali crea le condizioni perché si possano presentare delle discontinuità stratigrafiche costituite da lenti di geometria irregolare sia verticalmente che lateralmente. La falda acquifera non è stata individuata all'interno dei piezometri predisposti.

In tutte le indagini geognostiche effettuate sono stati individuati principalmente 2 strati:

- Strato 1: Limo sabbioso argilloso
- Strato 2: Ghiaia e sabbia

Il modello geologico-geotecnico è stato ottenuto, considerando le peggiori situazioni incontrate dalle indagini, a favore di sicurezza.

MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO LOCALE										
Strato	**Prof. (m)**	**Tipo di terreno**	**Nspt Medio**	**Angolo di resistenza al taglio**	**Coesione non drenata** (Kg/cm^2)	**Densità relativa** (t/m^3)	**Peso unità di volume** (t/m^3)	**Peso unità di volume saturo** (t/m^3)	**Modulo di Young** (Kg/cm^2)	**Modulo di Poisson**
1	0 ÷ 420	Limi	4	ϕ = 22°-23°	-	18.12	γ = 1,40	γ = 1,87	E = 32	0.35
2	420 ÷ 1500	Sabbia e ghiaia	20	ϕ = 32°-33°	-	51.23	γ = 1,60	γ = 1,99	E = 160	0.31

Tabella 14. Modello geologico-geotecnico locale

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

Ai sensi del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si

manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

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

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna

sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure
qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

Le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti sono uguali a 0.711 m/s² pari a 0.072 g inferiore a 0.1 g per questo motivo si esclude la verifica alla liquefazione.

CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Il Comune di Paderno Dugnano con la normativa sismica l'OPCM 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.2129, è classificato in zona sismica 4.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Tabella 15. Zone sismiche OPCM 3274/2003 e DL n.2129

Con l'entrata in vigore del **D.M. 17 gennaio 2018**, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica, ed è funzione delle condizioni topografiche del sito e della categoria sismica di sottosuolo. Per la caratterizzazione sismica del sito si è fatto riferimento alla sezione 3.2 *"Azione sismica"* delle Norme Tecniche per le Costruzioni che prevede, a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, l'individuazione delle azioni sismiche di progetto.

Stima della pericolosità sismica di base

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla **"pericolosità sismica di base"** del sito oggetto di intervento, a sua volta definita dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R espresso in anni), si verifichi un evento sismico di entità almeno pari al valore V_R prefissato. La probabilità è denominata **"Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" P_{VR}**.

Si tratta quindi di definire i parametri relativi:

1) <u>all'opera in progetto</u>:

- Tipo di costruzione e Vita nominale V_N;
- Classe d'uso e coefficiente d'uso C_U;
- Vita di riferimento V_R;
- Tipo di verifica sull'opera in progetto;

2) <u>ai fattori di amplificazione sismica locale</u>:

- Categoria di sottosuolo;
- Condizioni topografiche;

per poi procedere:

al calcolo delle forme spettrali a_g, F_O, T^*_C per il sito

alla definizione dei coefficienti sismici S_S e C_C riguardanti le condizioni stratigrafiche

all'individuazione dei parametri per la progettazione sismica A_{max}, K_h , K_v

Parametri caratteristici dell'opera in progetto

<u>Tipo di opera e Vita nominale V_N</u>

La vita nominale di un'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata (Par. 2.4.1 delle NTC 2018).

La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tabella seguente:

	Tipi di Costruzione	Vita Nominale V_N (anni)
1	Opere provvisorie[1] – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	< 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

1) Le verifiche sismiche di strutture provvisorie o in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

Tabella 16. Vita nominale VN per diversi tipi di opere

Con riferimento al caso in esame, è stato adottato un valore di **$V_N \geq 50$ anni**

Classe d'uso e coefficiente d'uso C_U

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel caso in esame siamo in presenza di opere di dispersione; facendo riferimento alle indicazioni contenute nelle NTC 2018 è quindi stata adottata la **Classe d'uso II**.

A partire dalla classe d'uso dell'edificio è poi possibile ricavare il coefficiente d'uso **C_U**, utilizzando la tabella 2.4.

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso* C_U

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

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Tabella 17. Valori del coefficiente d'uso Cu

Per il caso in esame, **$C_U = 1,0$**

Vita di riferimento V_R

Le azioni sismiche per ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_N * C_U$$

Se $V_R \leq 35$ anni, si pone comunque $V_R = 35$ anni

Considerando che, per il caso in esame, l'opera in progetto è di tipo ordinario (V_N = 50 anni) e si è in presenza di una classe d'uso II (C_U= 1.0), si ottiene un valore di V_R pari a:

$$\mathbf{V_R = 50 * 1.0 = 50 \text{ anni}}$$

Tipo di verifica sull'opera in progetto

Questo parametro si riferisce alla tipologia dell'opera che si prevede di realizzare. Il caso in esame rientra tra le **opere di fondazione**.

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri relativi all'opera in progetto descritti in dettaglio nei paragrafi precedenti:

Parametri opera in progetto	
Tipo di costruzione	**2**
Vita nominale VN	**50 anni**
Classe d'uso	**II**
Coefficiente d'uso CU	**1.0**
Vita di riferimento VR	**50 anni**
Tipo di verifica sull'opera in progetto	**Opere di fondazione**

Tabella 18. Parametri opera in progetto

Fattori di amplificazione sismica locale

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati oppure eseguendo specifiche analisi. Nel caso in esame si è adottato il metodo semplificato, basato sull'esame della categoria di sottosuolo, delle condizioni topografiche e delle condizioni stratigrafiche del sito in esame.

Categoria di sottosuolo

In base alla tabella 3.2.II contenuta nelle NTC 2018 e riportata nel seguito, dalla indagine MASW effettuata in sito e dall'analisi di II livello, la categoria corretta è la **C**.

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 19. Categorie di suolo

Condizioni topografiche

Per la determinazione dell'amplificazione sismica è necessario tenere in considerazione anche dei fattori morfologici locali che possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde di passaggio dal "bedrock" alla superficie.

Nel caso di condizioni topografiche semplici come quelle del caso in esame, che è caratterizzata da superficie pianeggiante, è possibile adottare la classificazione contenuta nelle NTC 2018 e riportata nel seguito:

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

Tabella 20. Categorie topografiche

Il sito in esame ricade in **categoria T1**.

Stima dell'effetto sismico per l'opera in progetto

Forme spettrali di sito

Le forme spettrali di sito sono costituite dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione massima orizzontale al sito;
- F_O valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

per la stima dei quali bisogna considerare la posizione geografica del sito e fare riferimento, secondo la procedura dettagliata nel seguito, alla Tabella 1 del DM 17 gennaio 2018, che fornisce la terna dei valori di a_g, F_O, T^*_C per un reticolo che copre tutto il territorio Nazionale.

A partire dalle coordinate geografiche del sito di interesse:

Sistema di dispersione	Long = 9,184311	Lat= 45,565505

si sono individuati i 4 nodi del reticolo di riferimento, all'interno dei quali ricade il sito di interesse

Punti griglia	
1	11816
2	11817
3	11595
4	11594

Attraverso la media ponderata (rispetto all'inverso della distanza) dei valori di a_g, F_O e T^*_C forniti dalla Tab. 1 delle NTC per ciascuno dei suddetti nodi, è poi possibile calcolare (per interpolazione rispetto ai valori di tabella) le "forme spettrali" nel sito di interesse per i vari tempi di ritorno T_R, relativi alla vita di riferimento V_R (vedi 6.1.1) ed alle diverse condizioni di "stato limite":

Forme spettrali		**V_R**	**SLE**		**SLU**	
			SLO	SLD	**SLV**	SLC
Tempo di ritorno	T_R anni	50	30	50	**475**	975
Accelerazione di picco orizzontale	a_g [g]	0,023	0,018	0,023	**0,048**	0,058
Fatt.amplif.spettro acceleraz.orizz.	F_0[-]	2,537	2,557	2,537	**2,649**	2,688
Periodo inizio Vcost. Spettro acc.orizz	T*c [S]	0,188	0,159	0,188	**0,279**	0,299

Tabella 21. Forme spettrali SLE e SLU

Coefficienti sismici/Condizioni stratigrafiche

Anche le condizioni stratigrafiche, come quelle morfologiche locali, possono modificare le caratteristiche del moto sismico filtrando le onde di passaggio dal "bedrock".

Le modifiche di tipo stratigrafico sono legate alla successione stratigrafica, alle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra substrato rigido ed i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno.

La tabella 3.2.V delle NTC indica le espressioni che permettono calcolare i coefficienti sismici S_S e C_C in funzione della categoria di sottosuolo:

Tabella 3.2.V – *Espressioni di* S_S *e di* C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,80 \cdot$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 22. Espressioni si Ss e di Cc.

Conoscendo i fattori di amplificazione sismica locale (par. 6.1.2) e le forme spettrali di sito (6.2.1), mediante le espressioni della tabella precedente è possibile calcolare i relativi coefficienti sismici S_s
e C_c:

Coefficienti sismici		**SLE**		**SLU**	
		SLO	SLD	**SLV**	SLC
Amplificazione stratigrafica	Ss	1,500	1,500	**1,500**	1,500
Coeff.funzione categoria sottosuolo	Cc	1,920	1,820	**1,600**	1,560
Amplificazione topografica	St	1,000	1,000	**1,000**	1,000

Tabella 23. Coefficienti sismici

Determinazione dei parametri per la progettazione sismica

Utilizzando tutti i parametri precedentemente illustrati si arriva infine alla determinazione dei parametri da utilizzare per la progettazione sismica, costituiti da:

- accelerazione massima attesa al sito $A_{max} = a_g * g * Ss * St$ [m/ s^2]
- coefficiente sismico orizzontale $K_h = \beta_s * A_{max}/g$
- coefficiente sismico verticale $K_v = \pm 0.5 \times k_h$

dove β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ed è funzione sia di a_g, sia della categoria di sottosuolo (vedi tabella NTC riportata nel seguito).

Tabella 7.11.II - *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

Tabella 24. Categoria di riduzione accelerazione massima di sito

Parametri progettazione sismica		**SLE**		**SLU**	
		SLO	SLD	**SLV**	SLC
Accelerazione massima attesa al sito	A_{max} [m/s^2]	0,269	0,341	**0,711**	0,857
Coeff.riduzione dell'accelerazione massima A_{max}	β	0,200	0,200	**0,200**	0,200
Coeff. sismico orizzontale $K_h = \beta_s * A_{max}/g$	Kh [%]	0,005	0,007	**0,015**	0,017
Coeff.sismico verticale $K_v = \pm 0.5 \times k_h$	Kv [%]	0,005	0,003	**0,007**	0,009

Tabella 25. Parametri di progettazione sismica

Si precisa infine che secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni, il rispetto dei vari stati limite relativamente agli elementi strutturali, viene conseguito:

- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi (SLU) quando sono soddisfatte le verifiche relative al solo SLV (salvaguardia vita).
- nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio (SLE) quando sono soddisfatte le verifiche relative al solo SLD (danno).

ANALISI AMBIENTALI DI LABORATORIO

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati un totale di n. 34 campioni ambientali di terreno e sono stati riposti all'interno di vasetti di capacità 1 lt di vetro e sigillati per preservarne le caratteristiche. Le prove di laboratorio sono state eseguite presso il laboratorio LAB-CONTROL Srl di San Martino di Venezze (RO).
Di seguito si riporta la tabella dei campioni prelevati per le analisi ambientali.

Sondaggio	Profondità (m)	Materiale	Colonna A	Colonna B
S1	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
S1	1.00-2.00	Terreno	Tutti analiti	
S2	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
S2	2.00-4.00	Terreno	Tutti analiti	
S2	4.00-6.00	Terreno	Tutti analiti	
S3	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
S3	2.00-3.00	Terreno	Tutti analiti	
S3	3.00-5.00	Terreno	Tutti analiti	
S4	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	

S4	2.00-3.00	Terreno	Tutti analiti	
S4	3.00-5.00	Terreno	Tutti analiti	
SA1	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA1	1.00-2.00	Terreno	Tutti analiti	
SA2	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA2	1.00-2.00	Terreno	Tutti analiti	
SA3	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA3	1.00-2.00	Terreno	Tutti analiti	
SA4	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA4	1.00-2.00	Terreno	Tutti analiti	
SA5	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA5	3.00-4.00	Terreno	Tutti analiti	
SA5	5.00-6.00	Terreno	Tutti analiti	
SA6	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA6	3.00-4.00	Terreno	Tutti analiti	
SA6	5.00-6.00	Terreno	Tutti analiti	
SA7	0.00-1.00	Terreno	Restanti analiti	Piombo
SA7	3.00-4.00	Terreno	Tutti analiti	
SA7	5.00-6.00	Terreno	Tutti analiti	
SA8	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA8	2.00-3.00	Terreno	Tutti analiti	
SA8	4.00-5.00	Terreno	Tutti analiti	
SA9	0.00-1.00	Terreno	Tutti analiti	
SA9	2.00-3.00	Terreno	Tutti analiti	
SA9	4.00-5.00	Terreno	Tutti analiti	

Tabella 26. Riepilogo dei campioni prelevati e risultati sintetici delle analisi ambientali.

Relativamente ai risultati delle analisi effettuate, per la determinazione del codice del rifiuto, i valori rilevati evidenziano che il rifiuto può essere trattato come inerte non pericoloso con codice CER 17 05 04 (terra e rocce non contenenti sostanze pericolose).

CONCLUSIONI

Questa relazione geologica con caratterizzazione geotecnica è la realizzazione di un nuovo sistema di trattamento e smaltimento delle acque bianche nel Comune di Paderno Dugnano (MI).

Dal punto di vista della pianificazione geologica ricade nelle seguenti classi:

- 2A: fattibilità con modeste limitazioni. Aree pianeggianti litologicamente costituite da ghiaie e sabbie con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterate. Possibile presenza di terreni fini superficiali discontinui.
- Z4: zone soggette ad amplificazioni litologiche
- Non sono presenti vincoli

Il territorio di Paderno Dugnano è caratterizzato in superficie dalla presenza di depositi appartenenti alle più recenti espansioni glaciali ed attribuibili in particolare all'Allogruppo di Besnate (Pleistocene medio – Pleistocene superiore; corrisponde al Riss-Würm degli autori precedenti). L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali in genere ad alta energia di sedimentazione, con profilo di alterazione da poco a mediamente evoluto (spessore massimo di 3 m) e copertura loessica in genere assente, costituiti da ghiaie poligeniche a supporto clastico/di matrice sabbiosa debolmente limosa, passanti localmente a limi. In superficie possono essere presenti depositi fini discontinui. La genesi dei terreni, riferibile a depositi fluvioglaciali crea le condizioni perché si possano presentare delle discontinuità stratigrafiche costituite da lenti di geometria irregolare sia verticalmente che lateralmente. La falda acquifera non è stata individuata all'interno dei piezometri predisposti.

In tutte le indagini geognostiche effettuate sono stati individuati principalmente 2 strati:

- Strato 1: Limo sabbioso argilloso con angolo di attrito di 22°-23°.
- Strato 2: Ghiaia e sabbia con angolo di attrito di 32°-33°.

La falda acquifera non è stata individuata nei piezometri predisposti. Le prove Lefranc a livello costante effettuate sono tutte nell'ordine di K= E-04 m/s.

Da punto di vista sismico, è stato effettuato l'approfondimento sismico di II livello, la categoria di suolo appropriata è la C.

Dal punto di vista ambientale, abbiamo individuato un superamento alla colonna B per il piombo nel SA7 tra 0.00 m. I restanti analiti restano nella colonna A della tabella 1 allegato 5 del DL 3 Aprile 2006 n. 152.

Relativamente ai risultati delle analisi effettuate, per la determinazione del codice del rifiuto, i valori rilevati evidenziano che il rifiuto può essere trattato come inerte non pericoloso con codice CER 17 05 04 (terra e rocce non contenenti sostanze pericolose).

Malonno, Dicembre 2021

Dott. Geol. Alessandro Maggi

Dott. Geol. Devid Stain