

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.**

CUP: J14D20000010001

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA

LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I N 1 A 2 0 D 2 6 G E G E 0 0 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M. Galanti	Dic. 2021	R. Rauseo	Dic. 2021	C.Mazzocchi	Dic. 2021	A.Perego Gen. 2022
B	EMISSIONE ESECUTIVA	V. Reale	Gen. 2022	R. Rauseo	Gen. 2022	C.Mazzocchi	Gen. 2022	

File:

INDICE

1	PREMESSA	6
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	8
3.1	Inquadramento geografico	8
3.2	Geologia	9
3.3	Assetto stratigrafico dell'area in esame	14
3.4	Geomorfologia.....	17
3.5	Caratteri idrogeologici.....	18
3.6	Modello geologico e profilo di progetto	21
4	INDAGINI IN SITO E PROVE DI LABORATORIO	24
4.1	Indagine Italferr 1998	24
4.2	Indagine Italferr 2003	25
4.3	Indagine Italferr 2014	26
4.4	Indagine Italferr 2016	27
4.5	Indagine Italferr 2019	28
4.6	Indagine Italferr 2020	29
4.7	Indagine Italferr 2020-2021 – P.D. Ingresso Verona Ovest.....	29
4.8	Campagna indagini Italferr 2021 – p.d. Ingresso Verona Est	30
4.9	Indagini Italferr 2021 – F. Adige	32
4.10	Prospezioni Geofisiche.....	33
4.11	Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc.....	36
4.12	Monitoraggio piezometrico	44
4.13	INDAGINI GEOTECNICHE DI LABORATORIO	49
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	57
5.1	Criteri di interpretazione delle indagini geotecniche e correlazioni utilizzate	57
5.2	Normalizzazione dei valori SPT	57
5.3	Moduli di reazione orizzontale alla Matlock & Reese (1960).....	61
5.4	Risultati delle prove SPT	62
6	SISMICITA'	84
6.1	Classificazione sismica del sito	84
6.2	Sismicità storica.....	86
6.3	Sorgenti sismogenetiche	93
6.4	Faglie capaci.....	100
6.5	Magnitudo di riferimento.....	103
6.6	Pericolosità sismica	106
6.7	Azione sismica di riferimento.....	109
6.8	Microzonazione sismica	112
6.9	Analisi preliminare del rischio di liquefazione	113
7	CARATTERIZZAZIONE PER PROGRESSIVA	115
7.1	Dal km 151+200 al km 153+100 – SCALO CASON.....	115
7.2	Dal km 153+100 al km 154+046 – SCALO CASON.....	115

Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 3 di 119
7.3 Dal km 154+046 al km 156+000 – (NV01) Sottopasso Parco Urbano Verona PN						116
7.4 Dal km 156+000 al km 157+200						116
7.5 Dal km 157+600 al km 158+100 – Fiume Adige.....						117
7.6 Dal km 158+100 al km 161+000						117

INDICE TABELLE

Tabella 4-1 - Sondaggi geognostici 1998.....	25
Tabella 4-2 - Sondaggi geognostici Italferr 2003.....	25
Tabella 4-3 - Sondaggi geognostici Italferr 2014.....	26
Tabella 4-4 - Sondaggi geognostici Italferr 2016.....	28
Tabella 4-5 - Sondaggi geognostici Italferr 2019.....	28
Tabella 4-6 – Sondaggio geognostico Italferr 2020	29
Tabella 4-7 - Sondaggi geognostici Italferr 2020-2021.....	29
Tabella 4-8 - Sondaggi geognostici ITALFERR 2021 – Verona Est	31
Tabella 4-9 - Campagna geognostica ITALFERR 2021 – Sondaggi nel F.Adige	32
Tabella 4-10 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021: valori di Vseq (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle prove sismiche di tipo M.A.S.W./Re.Mi.	33
Tabella 4-11 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021: frequenze fondamentali di vibrazione del sito (f0) relative a picchi spettrali di possibile significato stratigrafico	34
Tabella 4-12 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2020-21: valori di Vseq (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle n.5 prove sismiche di tipo Down-Hole.....	34
Tabella 4-13 - Campagna Indagini geofisiche ITALFERR 2021; valori di Vseq (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle prove sismiche di tipo M.A.S.W./Re.Mi.	35
Tabella 4-14 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021. Prove sismiche HVSr	36
Tabella 4-15 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021: valori di Vseq (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle n. 4 prove sismiche di tipo Down-Hole.....	36
Tabella 4-16 - Prove di permeabilità realizzate nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2020-21 Verona Est	37
Tabella 4-17 - Prove di permeabilità realizzate nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2020-21 Verona Ovest.....	39
Tabella 4-18 - Prove di permeabilità realizzate nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2020.....	40
Tabella 4-19 - Prove di permeabilità realizzate nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2019.....	40
Tabella 4-20 - Prove di permeabilità realizzate nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2016.....	41
Tabella 4-21 - Prove di permeabilità realizzate nell’ambito della campagna geognostica Italferr 2014.....	41
Tabella 4-22 - Prove di permeabilità realizzate nell’ambito della campagna geognostica ITALFERR 2003.	41
Tabella 4-23 - Piezometri Italferr 2021 - Verona EST.....	44
Tabella 4-24 - Piezometri Italferr 2020-21 - Verona Ovest	44
Tabella 4-25 - Piezometri Italferr 2016	45
Tabella 4-26 - Piezometri Italferr 2014	45
Tabella 4-27 - Piezometri Italferr 2003	45
Tabella 4-28 – Monitoraggio piezometrico ottobre 2020 - febbraio 2021	45
Tabella 4-29 - Monitoraggio piezometrico marzo-agosto 2021	46
Tabella 4-30 - Distribuzione granulometrica dei campioni analizzati.....	49
Tabella 4-31 - Analisi geotecniche di laboratorio su campioni sabbioso-limosi.....	55
Tabella 4-32 - Analisi geotecniche di laboratorio su campioni argilloso-limosi.....	55
Tabella 5-1 - Gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale	61

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 4 di 119

Tabella 6-1 - Storia sismica di Verona [45.438, 10.994] Numero di eventi: 151.....	87
Tabella 6-2. Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno Tr pari a 475 anni	108
Tabella 6-3. Sintesi dei risultati delle campagne indagini geofisiche eseguite da ITALFERR. Si riportano i valori di Vseq (m/s) e relativa categoria di sottosuolo con indicazioni delle pk di esecuzione delle prove..	109

INDICE FIGURE

Figura 1. Inquadramento geografico generale dell'area di intervento; in rosso è evidenziato il tracciato di progetto (da Google Earth).....	8
Figura 2 - Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 Foglio n. 49 Verona (stralcio non in scala), (S.G.I. 1967)	10
Figura 3 - Legenda della Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 Foglio n. 49 Verona, (S.G.I. 1967).....	11
Figura 4 - Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 Foglio n. 48 - Peschiera del Garda e sezione geologica I (stralci non in scala), (S.G.I. 1969).....	12
Figura 5 - Legenda della Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 Foglio n. 48 Peschiera del Garda (S.G.I. 1969).....	13
Figura 6 - Stralcio della mappa delle unità deposizionali del Veneto (ARPAV, 2010). L'area di interesse è caratterizzata dall'unità deposizionale A=Adige (evidenziata in rosso)	17
Figura 7 - Modello idrogeologico della Pianura Veneta (Prov. VE Serv. Geologico, 2011). Sezione tipo della pianura con direzione N-S. Si distingue la zona dell'Alta Pianura dove avviene la ricarica dell'acquifero, la zona di Media Pianura dove inizia a svilupparsi il sistema multi-falde in pressione e in cui le acque freatiche vengono a giorno (fascia delle risorgive), ed infine la zona di Bassa Pianura.	18
Figura 8 – Stralcio della Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige scala 1:30000 (A. Dal Prà e P. De Rossi, 1989).....	19
Figura 9 - Stralcio Carta geologica in scala 1:25.000 dell'areale di Verona. La polilinea gialla indica il tracciato ferroviario E-O Brescia-Verona-Vicenza-Padova. In tratteggio il limite dell'abitato di Verona.....	21
Figura 10 - Stralcio del profilo geologico della Tavola 2/4, in cui si può notare il passaggio all'unità più antica Fg R3 in profondità a circa 28/30m circa	22
Figura 11 - Stralcio del profilo geologico della Tavola 3 / 4, in cui si evidenzia oltre all'incremento dello spessore dei depositi antropici, anche un aumento degli spessori argillosi in profondità contrapposta tra le due unità ghiaiose.....	23
Figura 12 - Variazione dei valori di permeabilità per le unità geologiche e per il riporto	42
Figura 13 - Valore massimo, minimo e medio di permeabilità per le unità geologiche e per il riporto.....	42
Figura 14 - Valori di permeabilità dei complessi idrogeologici.	43
Figura 15 - Grafico dell'andamento dei livelli di falda misurati da marzo 2021 a novembre 2021. Per i grafici e le letture di dettaglio si rimanda al "Report monitoraggio piezometrico" (Cod. IN1A20D69RHGE0002001A)	48
Figura 16 - Distribuzione della resistenza alla penetrazione (Nspt) in funzione della profondità.....	63
Figura 17 - Distribuzione della frazione granulometrica ghiaiosa (classificazione AGI)	64
Figura 18 - Distribuzione della frazione granulometrica sabbiosa (classificazione AGI).....	65
Figura 19 - Distribuzione della frazione granulometrica fine limoso-argillosa (classificazione AGI).....	66
Figura 20 - Distribuzione dei valori di Densità relativa Dr con la profondità.....	67
Figura 21. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).....	85
Figura 22. Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici (CPTI15) che hanno interessato la zona di Verona . In colore rosso si riporta l'area oggetto di studio.	86
Figura 23. Storia sismica di Verona	93

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Figura 24. Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)”, Version 3.2.1.....	94
Figura 25. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS076.....	95
Figura 26. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITIS140.....	96
Figura 27. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS114.....	97
Figura 28. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS073.....	98
Figura 29. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica incerta ITDS075.....	99
Figura 30. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica incerta ITDS074.....	99
Figura 31. Catalogo ITHACA: stralcio cartografico dell’area di interesse con indicazione schematica dell’area oggetto di studio (rettangolo nero) e della faglia capace S. Ambrogio Valpolicella.....	100
Figura 32. ITHACA; Parametri descrittivi della faglia capace S. Ambrogio Valpolicella (Scardia, G., Festa, A., Monegato, G., Pini, R., Rogledi, S., Tremolada, F., & Galadini, F. Evidence for late Alpine tectonics in the Lake Garda area (northern Italy) and seismogenic implications. GSA Bulletin, 127(1-2), 113-130. 2015	100
Figura 33. Localizzazione delle tomografie elettriche e delle stese di sismica tomografica a rifrazione (Campagna indagini ITALFERR 2021).....	101
Figura 34. Sezioni sismiche tomografiche L1 e L2.....	102
Figura 35. Stralcio sezione geologica IN1A20D69N6GE0001004A, in viola vengono riportati gli stendimenti eseguiti nel 2021.....	103
Figura 36. Zone sismogenetiche ZS9 del nord Italia (Meletti e Valensise, 2004).....	104
Figura 37. Valori di Mwmax per le zone sismogenetiche ZS9.....	104
Figura 38. Valori di pericolosità sismica del territorio regionale (particolare della regione Veneto). Nel riquadro rosso è evidenziata l’area di studio. Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).....	105
Figura 39. Valori di pericolosità sismica dell’area di Verona. Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).....	107
Figura 40. Carta delle M.O.P.S. del Comune di Verona e relativa legenda. In tratteggio nero l’area di progetto.	112
Figura 41 - fusi granulometrici per terreni suscettibili alla liquefazione – $U_c < 3,5$	113
Figura 42 - fusi granulometrici per terreni suscettibili alla liquefazione – $U_c > 3,5$	114



LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA
LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST

Relazione Geotecnica Generale
(Compresa Sismica)

COMMESSA
IN1A

LOTTO
20

CODIFICA
D 26 GE

DOCUMENTO
GE0000 001

REV.
A

FOGLIO
6 di 119

1 PREMESSA

Scopo del presente documento è la descrizione del modello geotecnico del sottosuolo che sarà adottato per il Progetto Definitivo AV/AC NODO VERONA: ENTRATA EST.

Il modello geotecnico e la caratterizzazione dei materiali esistenti sono stati creati con tutti i dati disponibili e rilevanti. Sono stati quindi ottenuti sia i dati della campagna per il progetto definitivo, sia i rilievi e le prove effettuate in tutto il campo e in laboratorio delle precedenti campagne.

Per tutto il tracciato sono stati definiti quindi i profili ed i parametri geotecnici di progetto da adottarsi per le verifiche di sicurezza e funzionalità delle principali opere d'arte previste, e si è data una caratterizzazione per progressiva, a cui riferirsi per le opere minori.

Per tutti i dettagli si veda la sintesi sinottica nei profili geotecnici di progetto.

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La campagna di indagini e l’elaborazione dei relativi risultati sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore, ed in particolare:

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- RFI DTC SI GE MA IFS 001 B del Dic. 2020: Manuale di progettazione delle Opere Civili - Parte II –Sezione 7 – Geologia
- Tariffa dei prezzi “IG” per le indagini geognostiche e le prove geotecniche - edizione 2021
- RFI DTC SI GE SP IFS 001 C del 31-12-2020 “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili, Parte II – Sez. 3 – Rilievi geologici e indagini geognostiche”.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53)

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Inquadramento geografico

L'area oggetto di studio è localizzata in corrispondenza del limite settentrionale della Pianura Veneta, nel settore meridionale della città di Verona (Figura 1), all'interno del comune amministrativo di Verona.

Il tracciato ferroviario in progetto si sviluppa in affiancamento alla linea esistente, a partire dal Bivio San Massimo e Santa Lucia della linea ferroviaria Verona-Brennero, per circa 7km in direzione est e attraversa la stazione di Verona Porta Nuova fino alla stazione di Verona Porta Vescovo. Di interesse per il presente studio è anche l'area dello Scalo Cason, che si sviluppa, per circa 2.5km in direzione Ovest a partire dal Bivio San Massimo e Santa Lucia della linea ferroviaria Verona-Brennero.

Le quote topografiche variano da circa 82 m s.l.m. nella porzione ovest dell'area di progetto, a circa 52 m s.l.m. nella porzione est. Il principale elemento idrografico è il fiume Adige che interseca il tracciato di progetto con andamento circa N-S.

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studio è individuabile all'interno dei Fogli 48 "Peschiera del Garda" e 49 "Verona" in scala 1:100.000, nei fogli 123 e 124 Serie 50 (scala 1:50.000), nelle Tavole 048 II-NE (Pescantina) e 049 III-NO (Verona) in scala 1:25.000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Veneto, nelle sezioni 123160 e 124130 in scala 1:10.000 e negli elementi 123164, 123161 e 124134 in scala 1:5.000.

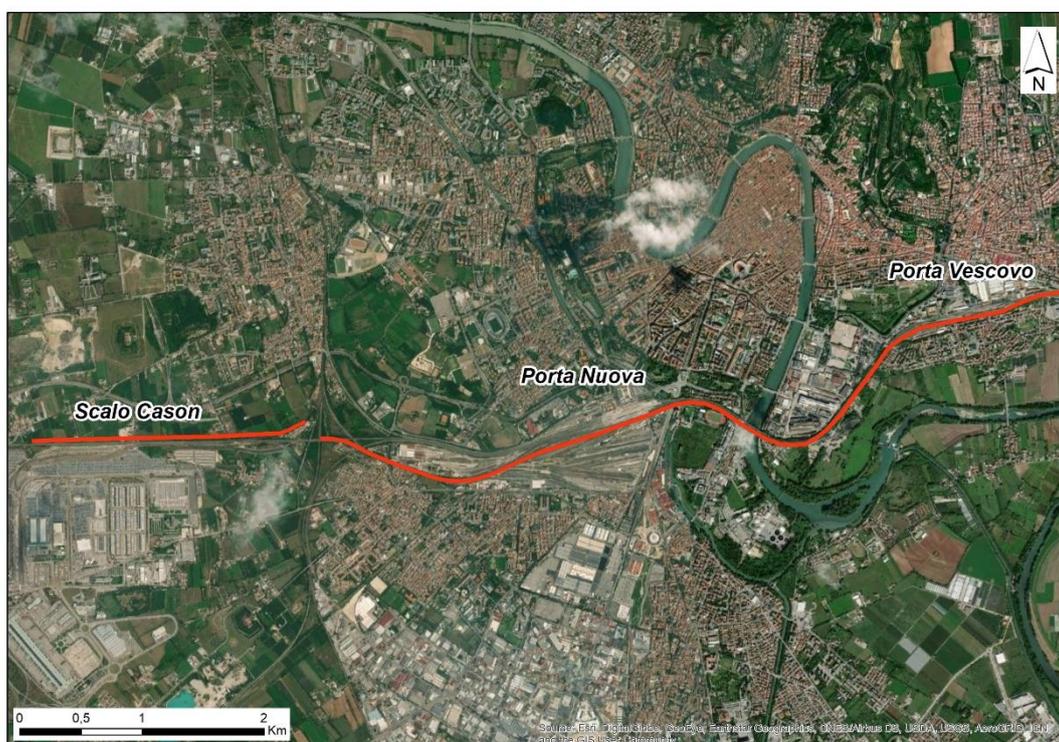


Figura 1. Inquadramento geografico generale dell'area di intervento; in rosso è evidenziato il tracciato di progetto (da Google Earth)

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

3.2 Geologia

Dal punto di vista geologico generale, l'area di progetto si inserisce nell'ambito dell'Alta Pianura Veronese, al piede dei Monti Lessini, in corrispondenza delle propaggini meridionali delle Prealpi Vicentine (appartenenti alla Prealpi Venete). L'assetto geologico attuale è direttamente connesso non solo alle fasi deformative compressive del Tardo Cretaceo che hanno interessato l'arco alpino, ma anche alla sua evoluzione geomorfologica recente, guidata in larga misura dalle fasi glaciali quaternarie.

In questo settore si osservano essenzialmente tre distinti elementi geologico-strutturali: la Catena Alpina, il Bacino del Po e la Catena Appenninica. Le principali unità stratigrafico-strutturali che costituiscono il settore in esame corrispondono alle formazioni rocciose delle Alpi Meridionali e ai depositi di materiali sciolti quaternari della Pianura padano-veneta.

Più in dettaglio, il territorio della Provincia di Verona può essere distinto in due differenti settori:

1. settore collinare-montuoso: è caratterizzato dalla presenza dei Monti Lessini, rilievi prevalentemente calcarei degradanti verso le zone di pianura e immergenti verso sud al di sotto dei depositi alluvionali dell'Alta Pianura. L'altopiano lessineo, costituito da una successione litoide di età compresa fra il Triassico Superiore e il Paleocene-Eocene, è solcato longitudinalmente da estese e strette incisioni vallive disposte a ventaglio aperto verso sud confluenti nell'Alta Pianura dell'Adige, il cui orientamento sembra coincidere con quello delle direttrici tettoniche della regione (ISPRA, 1967);
2. pianura alluvionale del fiume Adige: l'evoluzione geomorfologica e geologica della pianura veronese è legata principalmente all'interazione fra agenti e fattori morfogenetici: il fiume Adige, le oscillazioni climatiche del Quaternario e le conseguenti variazioni di portata del corso d'acqua a carattere fluvioglaciale. L'alternanza di fasi di espansione e di ritiro del ghiacciaio che occupava il Lago di Garda e la Val d'Adige, con le conseguenti variazioni del flusso idrico e del trasporto solido, hanno determinato la costruzione dello spesso materasso alluvionale denominato Antica Conoide dell'Adige, che si estende, con tipica forma a ventaglio, dallo sbocco della Val d'Adige fino a Legnago. Fra la parte apicale del conoide, caratterizzata da granulometrie prevalentemente grossolane (Alta Pianura), e la parte più distale (Media e Bassa Pianura) si osserva una progressiva diminuzione granulometrica dei depositi. La stessa variazione granulometrica è osservabile anche tra le porzioni assiali e periferiche del conoide (ISPRA, 1967). Il conoide è inoltre diviso da una profonda incisione, nota come "piano di divagazione dell'Adige", che assume una notevole ampiezza proprio a partire dalla città di Verona (Sorbini et al., 1984).

Pertanto, l'area di studio ricadente nell'Alta Pianura Veronese è costituita da una vasta piattaforma alluvionale solcata dal fiume Adige, caratterizzata dalla presenza di depositi fluviali e fluvioglaciali antichi e recenti, prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi disposti in ampie conoidi.

Le caratteristiche delle unità geologiche presenti nell'area sono intimamente legate agli elementi geomorfologici riconosciuti in superficie e, complessivamente, sono il prodotto dei processi deposizionali ed erosivi avvenuti tra le fasi finali del Pleistocene e l'Attuale, ovvero negli ultimi 150.000 anni circa.

Dall'analisi della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 49 - Verona e Foglio 48 - Peschiera del Garda (**Error! Reference source not found. - Error! Reference source not found.**) il cui è collocato la quasi totalità del tracciato ferroviario in progetto, il sottosuolo dell'area di studio è costituito da sedimenti alluvionali fluvioglaciali e fluviali depositi dall'antico fiume Adige al termine del percorso montano. In dettaglio, da ovest verso est, nei Fogli sopra citati affiorano:

Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 10 di 119
---	------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	---------------------

- fg^{R2} : alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, da molto grossolane a ghiaiose, con strato di alterazione superficiale argilloso, giallo-rossiccio, di ridotto spessore. Terrazzate, sospese sui 30 metri, costituiscono l’alta pianura, generalmente a monte della zona delle risorgive e si raccordano con le cerchie moreniche maggiori dell’anfiteatro del Garda. RISS;
- fg^{R3} : alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, ghiaiose, con terreno argilloso rossastro di alterazione superficiale. Terrazzate e sospese sui 25 metri, si raccordano con le cerchie più interne del morenico Riss. RISS RECENTE;
- a^2 : alluvioni sabbioso, ghiaiose, terrazzate, antiche;
- a^3 : alluvioni prevalentemente sabbiose, attuali e recenti dell’Adige.

Nel Foglio 48 - Peschiera del Garda, a nord dell’area di interesse, nei pressi dell’abitato di Pescantina, è ubicata la sezione stratigrafica I; interessante è il passaggio tra le alluvioni fluvio-glaciali del RISS (fg^{R2}) e le alluvioni fluvio-glaciali del RISS RECENTE (fg^{R3}).

Le informazioni riportate nella cartografia geologica disponibile sono state confermate dai dati geognostici derivanti dalle indagini realizzate a supporto delle varie fasi di progettazione. Tali dati hanno evidenziato la presenza di un potente materasso alluvionale costituito in gran parte da depositi di notevole spessore di ghiaie e ghiaie sabbiose, intercalate, subordinatamente, a sabbie e rari livelli limosi e argillosi.

Più a sud dell’area di interesse, nella media e bassa pianura, le ampie conoidi ghiaiose dell’Adige si intercalano con i depositi sabbiosi, limosi e argillosi dando luogo alla “fascia delle risorgive”.

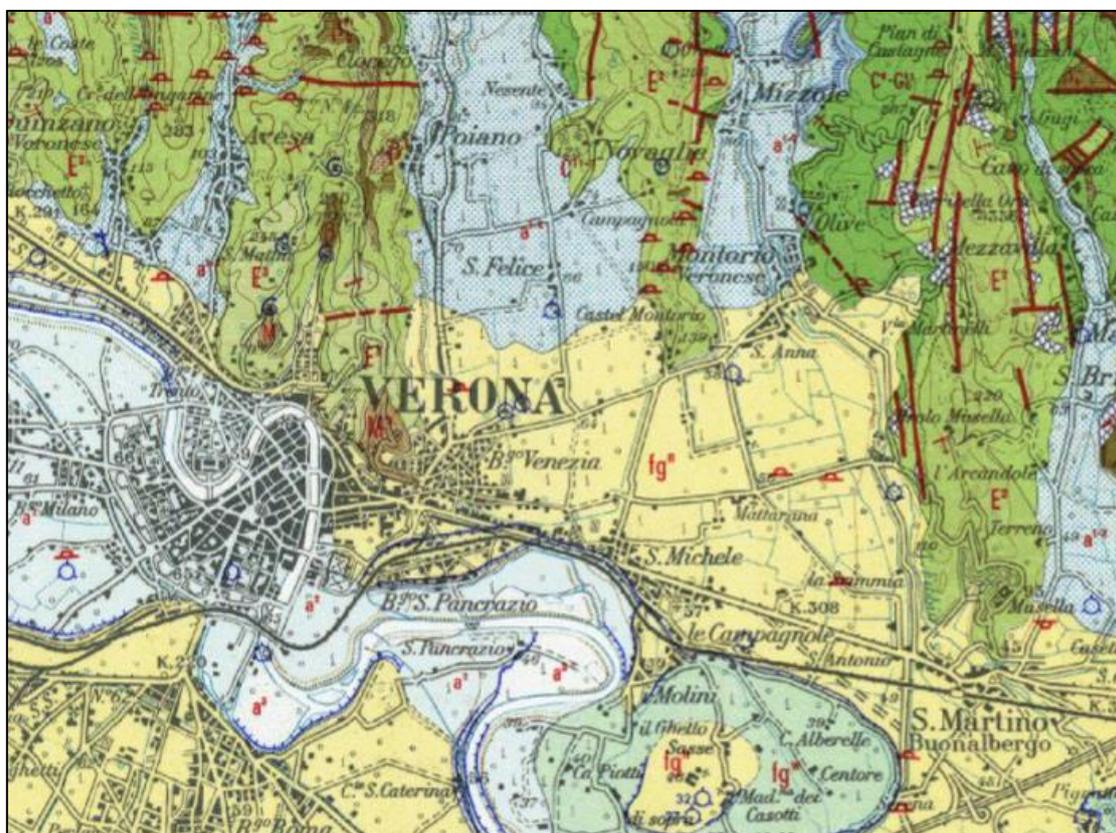


Figura 2 - Carta Geologica d’Italia Scala 1:100.000 Foglio n. 49 Verona (stralcio non in scala), (S.G.I. 1967)

OLOCENE

a³



Alluvioni prevalentemente sabbiose, attuali e recenti, dell'Adige.

a²



Alluvioni sabbioso-ghiaiose, terrazzate, antiche.

PLEISTOCENE

fg^R



Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, da ciottolose a ghiaiose, con strato di alterazione superficiale argilloso, giallo-rossiccio, di ridotto spessore; terrazzate e sospese sui 30 m; costituiscono l'alta pianura a monte della zona delle risorgive e si raccordano con le cerchie moreniche maggiori dell'anfiteatro del Garda. Alluvioni dell'antica conoide dell'Adige, prevalentemente cementate, arrossate e terrazzate. *RISS.*

Simbologia convenzionale



Orlo e scarpata di terrazzo di costruzione fluviale.



Cordone morenico.



Pozzo per acqua (profondità in metri).



Cava.

Figura 3 - Legenda della Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 Foglio n. 49 Verona, (S.G.I. 1967)

OLOCENE

a^2



Alluvioni prevalentemente sabbiose, attuali e recenti.

a^1



Alluvioni sabbioso-ghiaiose, terrazzate, talora esondabili, antiche; conoidi fissati.

PLEISTOCENE

fg^{R3}



Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, ghiaiose, con terreno argilloso rossastro di alterazione superficiale. Terrazzate e sospese sui 25 metri, si raccordano con le cerchie più interne del morenico Riss (Salionze, ecc.). **RISS RECENTE.**

fg^{R2}



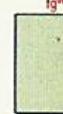
Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, da molto grossolane a ghiaiose, con strato di alterazione superficiale argilloso, giallo-rossiccio, di ridotto spessore. Terrazzate, sospese sui 30 metri, costituiscono l'alta pianura generalmente a monte della zona delle risorgive e si raccordano con le cerchie moreniche maggiori dell'anfiteatro del Garda (Lonato-Esenta, Castiglione delle Stiviere, ecc.). **RISS.**

fg^{R1}



Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente ghiaiose, alterate per oltre un metro in argille rossastre. Terrazzate e sospese di 40 e più metri, si raccordano con le cerchie moreniche più esterne dell'anfiteatro del Garda e di quello atesino di Rivoli Veronese. **RISS ANTICO.**

fg^{W2}



Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, a ghiaie grossolane con ciottoli porfirici, terrazzate e raccordate con stadi tardowürmiani (Val d'Adige, Mincio). All'interno delle cerchie moreniche, sono comprensive della fase di ritiro tardo-würmiana, a sabbie e ghiaie e, talora, con morenico fangoso di fondo. **WÜRM RECENTE.**

fg^{W11}



Alluvioni fluvio-glaciali e pluvio-fluviali, prevalentemente sabbiose, con strato di alterazione brunastro, di spessore limitato. Pluviale würmiano (pl^w) esterno all'ambito glaciale con conoidi (Pesina-Caprino). Costituiscono la media pianura generalmente a valle della zona delle risorgive e si raccordano con le cerchie moreniche del massimo würmiano. **WÜRM.**

EOCENE

E^2



Calcareniti giallastre, a: *Pentacrinus gastaldii* MICHY. (Fenil dei Coltri, Gaòn, Pizzone); calcari compatti, a: *Nummulites complanatus* LMK., *N. perforatus* (MONTF.) e nullipore; calcari marnosi, tufacei, a *Discocyclus* spp.; calcari terrosi giallognoli («Pietra Gallina di Avesa»): Luteziano medio. Calcari marnosi ad *Harpotocarcinus punctulatus* DESM.; calcari nulliporici e coralligeni, a: *Nummulites atocicus* LEYM., alveoline e molluschi. Luteziano inferiore. **LUTEZIANO.**

Simbologia convenzionale



Orlo e scarpata di terrazzo di costruzione fluviale.



Cordone morenico.



Traccia di sezione.

Figura 5 - Legenda della Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 Foglio n. 48 Peschiera del Garda (S.G.I. 1969)

Recenti studi indicano che i depositi fluvioglaciali affioranti sono più recenti di quanto indicato nella legenda della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000, per la quale i depositi fluvioglaciali sono databili Riss e Riss Recente (Fontana et al., 2014). Infatti, i sedimenti più antichi, datati mediante analisi pollinica, risalgono al Riss-Würm e si trovano ad una quota inferiore a 78 m al di sotto del livello del mare. Ciò testimonia l'esistenza di un fenomeno di subsidenza posteriore a tale fase interglaciale. L'analisi pollinica ha evidenziato poi la presenza di vari livelli, riferibili sia a vari stadi del Würm che a interstadi. La cronologia è confermata dall'esecuzione di datazioni con il metodo del 14C. Questi sedimenti sono costituiti principalmente da ghiaie e sabbie, che verso SE passano gradualmente a sedimenti più fini (Sorbini et al., 1984).

La fase finale di costruzione del conoide è sicuramente posteriore a 25.000 anni B.P. e forse collocabile in corrispondenza della massima espansione dei ghiacciai würmiani. Successivamente, il conoide è stato inciso dall'Adige, che ha formato un ampio solco all'interno del quale è rimasto poi confinato. Nella zona di Verona l'entità dell'erosione verticale è pari a circa 25 m. A causa di successive variazioni delle sue caratteristiche idrologiche, l'Adige ha poi assunto andamento meandriforme (Sorbini et al., 1984).

I sedimenti fini affioranti a SE di Verona testimoniano i più recenti episodi di esondazione dell'Adige, datati sia con il 14C che con l'individuazione di livelli archeologici (Sorbini et al., 1984).

Tutte le morene datate Riss nella Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Foglio 48 - Peschiera del Garda, sono in realtà riferibili all'Ultimo Massimo Glaciale.

3.3 Assetto stratigrafico dell'area in esame

Con riferimento agli elaborati di cartografia geologica in scala 1:2000, la stratigrafia dei termini affioranti e/o rinvenuti nei sondaggi, è rappresentata dalle seguenti unità del Quaternario, descritte dalle più antiche alle più recenti.

Il Quaternario comprende unità derivanti da fenomeni glaciali e da fenomeni trattivi (depositi fluviali, fluvioglaciali, terrazzi alluvionali). La distinzione della provenienza dei sedimenti è stata condotta mediante l'analisi petrografica della componente ghiaiosa. I depositi di provenienza dal bacino del fiume Adige presentano abbondanti clasti calcareo-dolomitici provenienti dall'erosione delle Dolomiti nord-occidentali.

Le unità che interessano l'area di interesse sono di seguito elencate (dalla più antica alla più recente).

- Depositi fluvioglaciali – Fg^{R2}
- Depositi fluvioglaciali – Fg^{R3}
- Depositi alluvionali terrazzati – bn
- Depositi alluvionali recenti – bb
- Depositi alluvionali attuali – ba1
- Depositi di riporto antropico – h

- **Unità FgR2 – Depositi fluvioglaciali del Würm recente (Pleniglaciale)**

Si tratta di un'unità costituita da ghiaie medie/grossolane, poligeniche ed eterometriche (\emptyset max > 6 cm), da angolari ad arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e argilloso-limosa, di colore avana, beige, nocciola, grigio, marrone, rossastro e giallastro, da scarsa ad abbondante; talora sono presenti ciottoli (\emptyset max >10 cm) e a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose debolmente argillose e limi sabbiosi di colore nocciola, marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate e rari blocchi angolosi. La natura dei ciottoli è prevalentemente carbonatica, ma si rinvencono anche clasti di natura metamorfica, vulcanica (porfidi) e plutonica (graniti). Nell'area di sviluppo

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 15 di 119

di progetto possono essere presenti all'interno dell'Unità descritta intercalazioni di livelli limoso-sabbiosa (Fg^{R2}), che presentano un buon grado di addensamento. Questa Unità è stata intercettata nella maggior parte dei sondaggi a profondità maggiori dei 30m rispetto al piano campagna (campagne ITALFERR, 2020-2021).

- **Unità FgR3 – Depositi fluvioglaciali del Würm Recente**

L'unità è costituita da depositi ghiaiosi medio/grossolani (Fg^{R31}), con matrice sabbiosa-limosa e clasti da sub-arrotondati ad arrotondati di dimensione superiore ai 10 cm. La composizione litologica dei clasti è poligenica: sono essenzialmente di natura calcarea, ma sono presenti anche ciottoli di natura ignea e metamorfica. Nella parte basale, a profondità superiori di 30 m, sono presenti intercalazioni sabbiose (Fg^{R32}), limoso-sabbiose (Fg^{R33}) e livelli argilloso-limosi (Fg^{R34}). L'unità basale è databile dalla fase di arretramento glaciale alla fine del Würm recente, come riportano le datazioni del lavoro di Sorbini et al. 1984.

I livelli sabbiosi (Fg^{R32}) sono generalmente moderatamente addensati sono di colore avana. Questa *litofacies* è stata intercettata, in maniera significativa, nei sondaggi S23 e S19 (campagna ITALFERR Verona Ovest 2020-21) e nei sondaggi SD15, SD14 e SD13 (campagna ITALFERR Verona Est 2021), nelle campagne degli anni precedenti nei sondaggi BH1 e BH2.

Le intercalazioni limose-sabbiose (Fg^{R33}) sono meno frequenti delle altre *litofacies*, hanno spessore limitato e ridotta estensione areale.

Gli orizzonti argillosi-limosi (Fg^{R34}) sono quelli maggiormente diffusi all'interno della *litofacies* ghiaiosa e sono particolarmente ricchi di materia organica. Tale *litofacies* potrebbe essere riconducibile alla parte basale dell'unità FgR3 ed è databile a circa 18000anni (et al. 1984); inoltre, essa ha uno spessore ma un'estensione areale che si intercetta in tutti i sondaggi del Nodo di Verona.

Il limite inferiore dell'Unità FgR3 è con l'unità FgR2, sebbene il passaggio tra le due unità non è ben evidente all'interno di Verona.

- **Unità bn – depositi alluvionali terrazzati**

Depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale, lago di meandro e canale in fase di abbandono, costituiti da tre differenti *litofacies* a composizione ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico erosivo sulle unità più antiche. Di seguito si descrivono le tre distinte *litofacies*:

(bn1) Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore avana, nocciola, marrone, grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; talora sono presenti ciottoli e blocchi da angolosi a sub-angolosi; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, oca e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da angolose ad arrotondate e rari blocchi angolosi.

(bn2) Sabbie e sabbie limose a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie poligeniche, da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e limi sabbioso-argillosi a struttura indistinta o debolmente laminata.

(bn3) Limo e limoso argilloso e/o argilloso limosa con tonalità di colore da avana a grigio scuro, con all'interno rare ghiaie poligeniche, da angolose ad arrotondate.

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

(bn4) Argilla e limoso argilloso limosa di colore scuro; a luoghi si rinvengono passaggi di limi sabbiosi e limi sabbioso-argillosi a struttura indistinta o debolmente laminata, con frequenti resti vegetali.

Si ritiene che l'età di formazione corrisponda alla fine del Pleistocene superiore-Olocene.

- **Unità bb – depositi alluvionali recenti**

Depositi continentali di canale fluviale, argine e piana inondabile, lago di meandro e canale in fase di abbandono, costituiti da due differenti *litofacies* a composizione ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e/o limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante ed con contatto erosivo sulle unità più antiche.

La *litofacies* bb1 è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche da sub-angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e argilloso-limosa da scarsa ad abbondante; talora sono presenti ciottoli e blocchi da angolosi a sub-angolosi e lenti di sabbie ghiaiose; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose debolmente argillose e limi sabbiosi a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate e rari blocchi angolosi.

La *litofacies* bb2 è costituita da sabbie e sabbie limose a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie poligeniche, da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di limi sabbiosi, e rare ghiaie poligeniche, da angolose ad arrotondate.

La *litofacies* bb2 è costituita da aabbie e sabbie limose a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie poligeniche, da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di limi sabbiosi, e rare ghiaie poligeniche, da angolose ad arrotondate.

Tale Unità si intercetta, nell'ultima campagna ITALFERR 2021, nei sondaggi SD5, SD6, SD7 e SD9. L'età di formazione è probabilmente riferibile alla fine dell'Olocene.

- **Unità ba – depositi alluvionali attuali**

Depositi continentali di canale fluviale (alveo attivo dell'Adige), area golenale argine e piana inondabile, costituiti da una singola *litofacies* a composizione prevalentemente ghiaiosa, subordinatamente sabbiosa; sono formati da una sabbia ghiaiosa e/o ghiaia con sabbia debolmente limosa di colore marrone chiaro-grigiastro, come evidenza i sondaggi nel fiume S1Adige e S2Adige (campagna ITALFERR 2021).

- **Depositi antropici (h)**

Si tratta di depositi eterogenei ed eterometrici riconducibili ad attività antropiche (riporti, riempimenti); sono costituiti da ghiaie di natura poligenica in matrice sabbiosa, come evidenza il sondaggio S19 (campagna ITALFERR, 2020-21).

3.4 Geomorfologia

Il tracciato ferroviario in progetto attraversa un territorio caratterizzato da morfologie regolari, sub-pianeggiante debolmente degradante verso est.

L'aspetto morfologico attuale della pianura veneta è fortemente legato all'evoluzione tardo pleistocenica e olocenica dei fiumi alpini Adige, Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta. Essi hanno ripetutamente cambiato percorso a valle del loro sbocco montano, interessando aree molto ampie. Si sono così formati sistemi sedimentari di notevole estensione areale allungati fino al mare, caratterizzati da una notevole selezione granulometrica dei sedimenti da monte a valle (più grossolani nelle zone di monte e più fini a valle). L'area di studio è caratterizzata dall'unità deposizionale del fiume Adige. Il tracciato ferroviario in progetto si sviluppa all'interno del grande conoide dell'Adige, sovrainciso e terrazzato per l'azione erosiva degli alvei würmiani ed attuali del fiume.

Il tracciato di progetto si inserisce in un contesto fortemente urbanizzato, in cui le evidenze morfologiche naturali sono state in parte o completamente obliterate dalle attività antropiche. In particolare, il tracciato è in affiancamento all'attuale linea dove non si evidenziano forme, processi e depositi particolarmente significativi e che possano rappresentare una criticità.

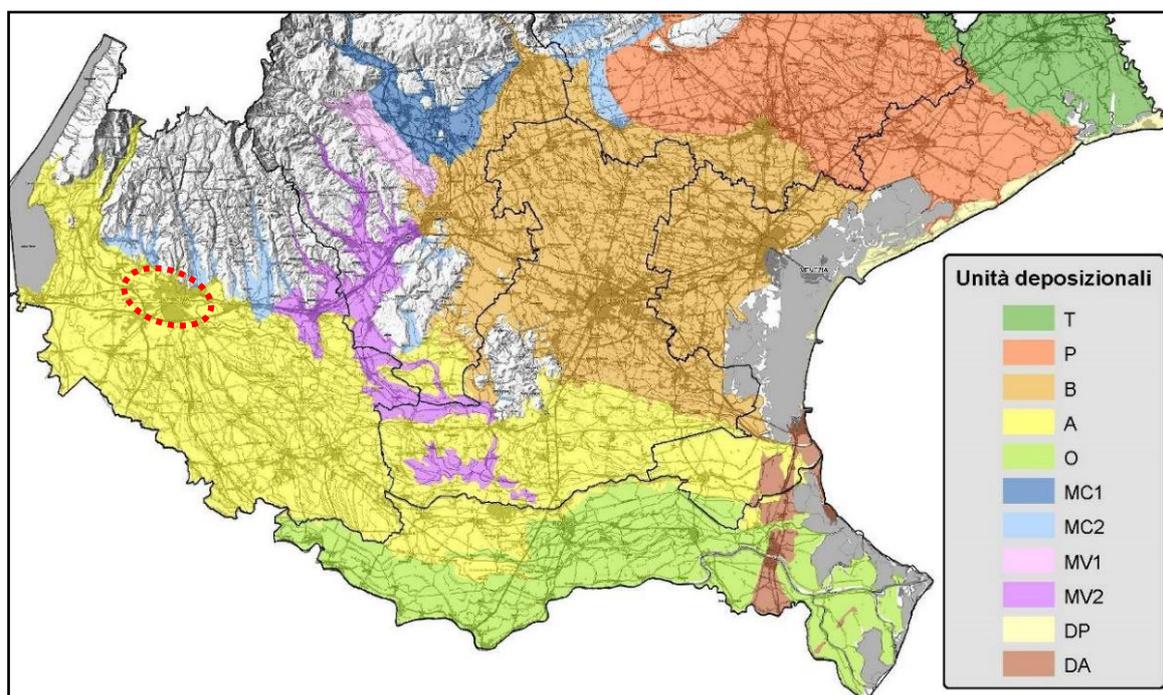


Figura 6 - Stralcio della mappa delle unità deposizionali del Veneto (ARPAV, 2010).
 L'area di interesse è caratterizzata dall'unità deposizionale A=Adige (evidenziata in rosso)

3.5 Caratteri idrogeologici

L'Alta Pianura Veronese è solcata da una fitta rete di paleoalvei disposti con andamento prevalentemente N-S o leggermente NO-SE e costituisce la parte più elevata del conoide pleistocenico atesino-gardesano. La porzione nord del conoide, a ridosso del rilievo prealpino lessineo, ospita la valle olocenica del fiume Adige, profondamente scavata e delimitata da netti orli di terrazzo (Boscolo e Mion, 2008).

Il sottosuolo dell'Alta Pianura Veronese è costituito prevalentemente da materiali sciolti a granulometria grossolana, ghiaioso-sabbiosi, di origine fluvioglaciale, depositati dal fiume Adige e dai corsi d'acqua provenienti dalle valli dei Monti Lessini, che hanno costruito grandi conoidi sovrapposte con spessori che raggiungono i 200 metri. Questo materasso ghiaioso con permeabilità media elevata, è caratterizzato dalla presenza di un unico grande acquifero freatico indifferenziato e ospita una potente falda freatica, con profondità che variano da circa 50 metri da p.c. nella zona NO di Verona, a circa 1 metro da p.c. nella porzione immediatamente a monte della fascia delle risorgive. Procedendo verso SE si suddivide progressivamente in sistemi di più acquiferi sovrapposti e separati tra loro da livelli di sedimenti fini praticamente impermeabili. Questi livelli a minor permeabilità, assumono notevole importanza nel settore delle risorgive, consentendo nel sottosuolo la strutturazione tipica del sistema multifalदे in pressione e l'emergenza dei fontanili. (Boscolo e Mion, 2008).

Come si evince dallo stralcio della Carta idrogeologica dell'alta pianura dell'Adige - Scala 1:30.000, che interessa una parte dell'area di interesse, la direzione media del deflusso idrico sotterraneo è NNO-SSE quindi subparallela alla direzione di deflusso del fiume Adige.

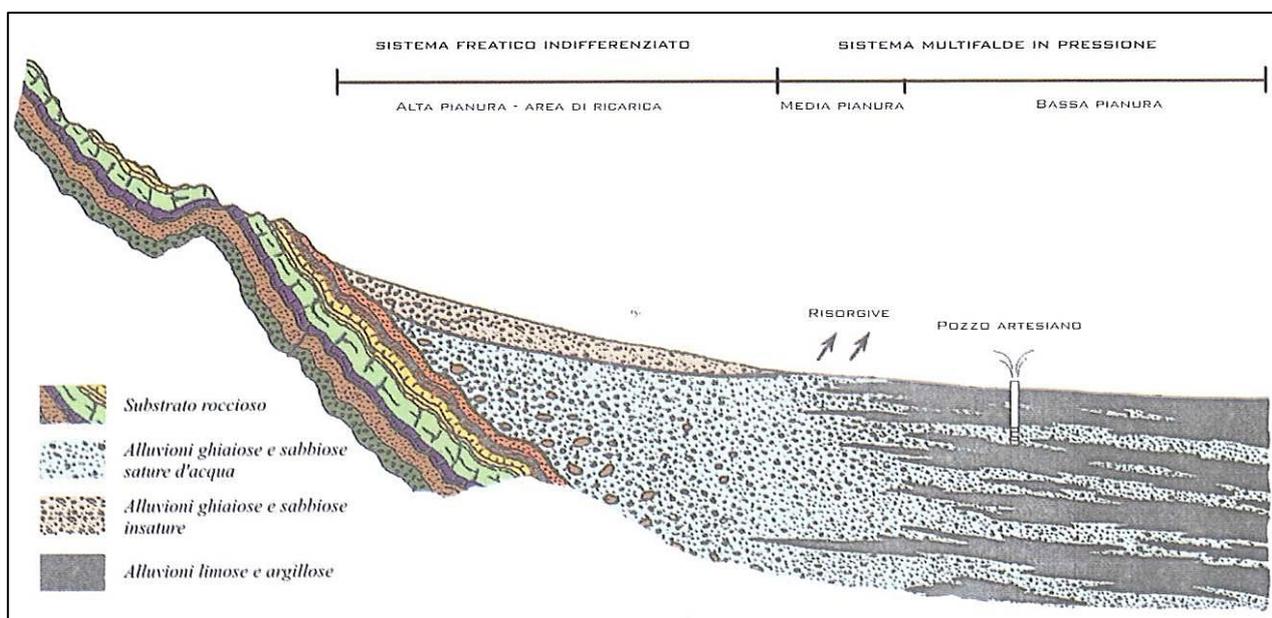


Figura 7 - Modello idrogeologico della Pianura Veneta (Prov. VE Serv. Geologico, 2011). Sezione tipo della pianura con direzione N-S. Si distingue la zona dell'Alta Pianura dove avviene la ricarica dell'acquifero, la zona di Media Pianura dove inizia a svilupparsi il sistema multi-falदे in pressione e in cui le acque freatiche vengono a giorno (fascia delle risorgive), ed infine la zona di Bassa Pianura.

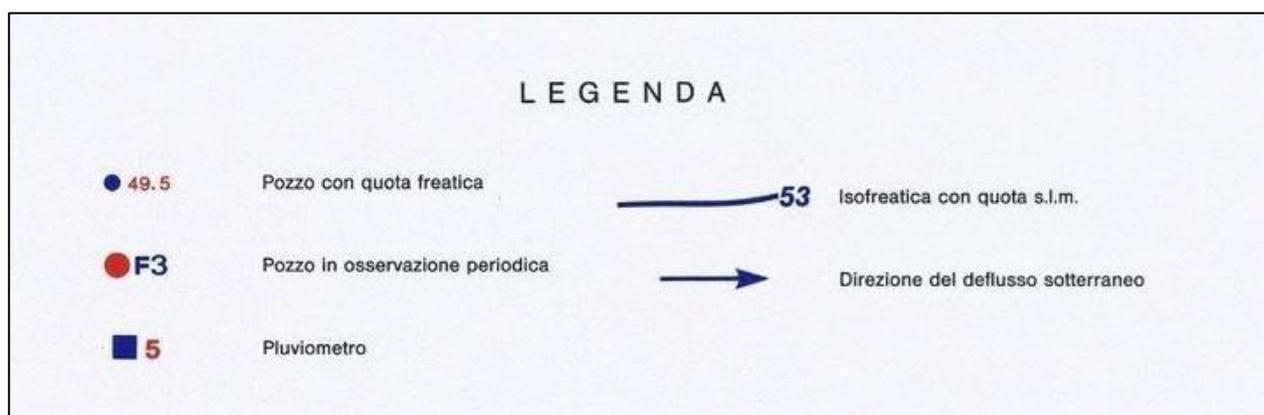
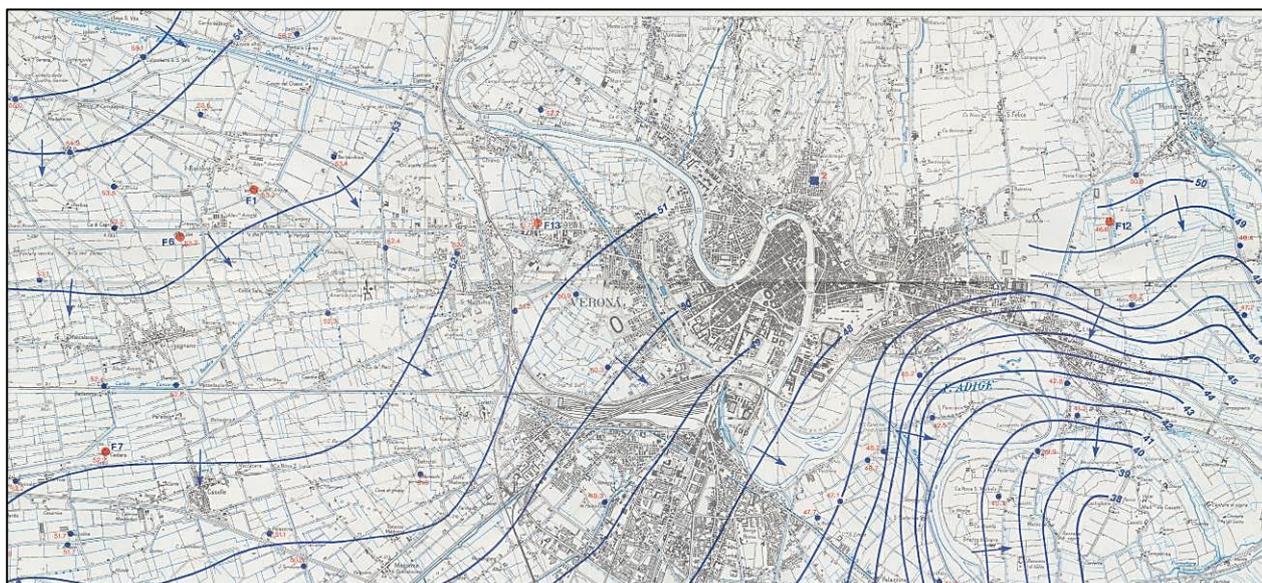


Figura 8 – Stralcio della Carta Idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige scala 1:30000 (A. Dal Prà e P. De Rossi, 1989).

In riferimento ai caratteri di permeabilità dei vari litotipi e alle misure realizzate nei fori di sondaggio nel corso delle diverse campagne di indagine, nell'area sono stati individuati i seguenti complessi idrogeologici.

Complesso dei Materiali di Riporto (CMR)

Materiali di riporto a composizione variabile, generalmente ghiaie in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e argilloso-limosa da scarsa ad abbondante; localmente sono presenti laterizi, ciottoli e blocchi; a luoghi si rinvenivano passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con locali ghiaie.

Costituiscono acquiferi porosi di buona trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono potenzialmente sede di falde idriche di discreta rilevanza, che possono avere interscambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da media ad alta.

Complesso ghiaioso-sabbioso (CGS)

Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e argilloso-limosa da scarsa ad abbondante; talora sono presenti ciottoli e blocchi angolosi a sub-angolosi e lenti

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

di sabbie ghiaiose; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da angolose ad arrotondate e rari blocchi angolosi.

Costituiscono acquiferi porosi di buona trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di discreta rilevanza, che possono avere interscambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è generalmente media.

Le unità geologiche che costituiscono il complesso ghiaioso-sabbioso sono i depositi fluvioglaciali (fg^{R31}) e (fg^{R21}) ed i depositi alluvionali attuali, recenti e terrazzati a composizione prevalentemente ghiaiosa.

Complesso sabbioso-limoso (CSL)

Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie e ciottoli poligenici, da angolosi ad arrotondati; a luoghi si rinvencono passaggi di argille, limi argillosi, limi sabbioso-argillosi e sabbie argilloso limose a struttura indistinta o debolmente laminata, con resti vegetali e rare ghiaie e ciottoli poligenici, da angolose ad arrotondate.

Costituiscono acquiferi porosi di discreta trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, che possono avere interscambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è generalmente medio bassa.

Le unità geologiche che costituiscono il complesso sabbioso-limoso sono depositi fluvioglaciali (fg^{R32}) e (fg^{R22}) ed i depositi alluvionali attuali, recenti e terrazzati a composizione prevalentemente sabbiosa.

Complesso argilloso-limoso (CAL)

Argille limose e limi argillosi a struttura indistinta o laminata, a luoghi stratificata, con frequenti intercalazioni di argille limoso-sabbiose e limi argilloso-sabbiosi; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbioso-argillosi e lenti di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose ad arrotondate; talora sono presenti livelli di torbe e terreni organici, con incluse concrezioni e patine di ossidazione.

Costituiscono dei limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nello specifico contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli *aquiclude* di importanza variabile in relazione allo spessore dei depositi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, a meno di piccole falde stagionali all'interno degli orizzonti sabbioso-ghiaiosi più spessi. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a bassa.

Le unità geologiche che costituiscono il complesso argilloso limoso sono depositi fluvioglaciali limosi (fg^{R33}) e argillosi (fg^{R44}) e i depositi alluvionali attuali, recenti e terrazzati a composizione prevalentemente limosa e argillosa.

3.6 Modello geologico e profilo di progetto

Per l'area in esame è stato sviluppato lungo l'asse di progetto il profilo geologico riportato nei documenti "Carta geologica e profilo geologico (tav. dalla 1 alla 4) -cod. doc. IN1A20D69N6GE0001001/4A. Il profilo geologico costituisce una ricostruzione interpretativa basata sulle informazioni di terreno, integrate dai risultati delle indagini geognostiche condotte nelle varie fasi di progettazione all'interno dell'areale di progetto.

In figura 9 si riporta uno stralcio geologico dell'areale di Verona in scala 1:25.000.

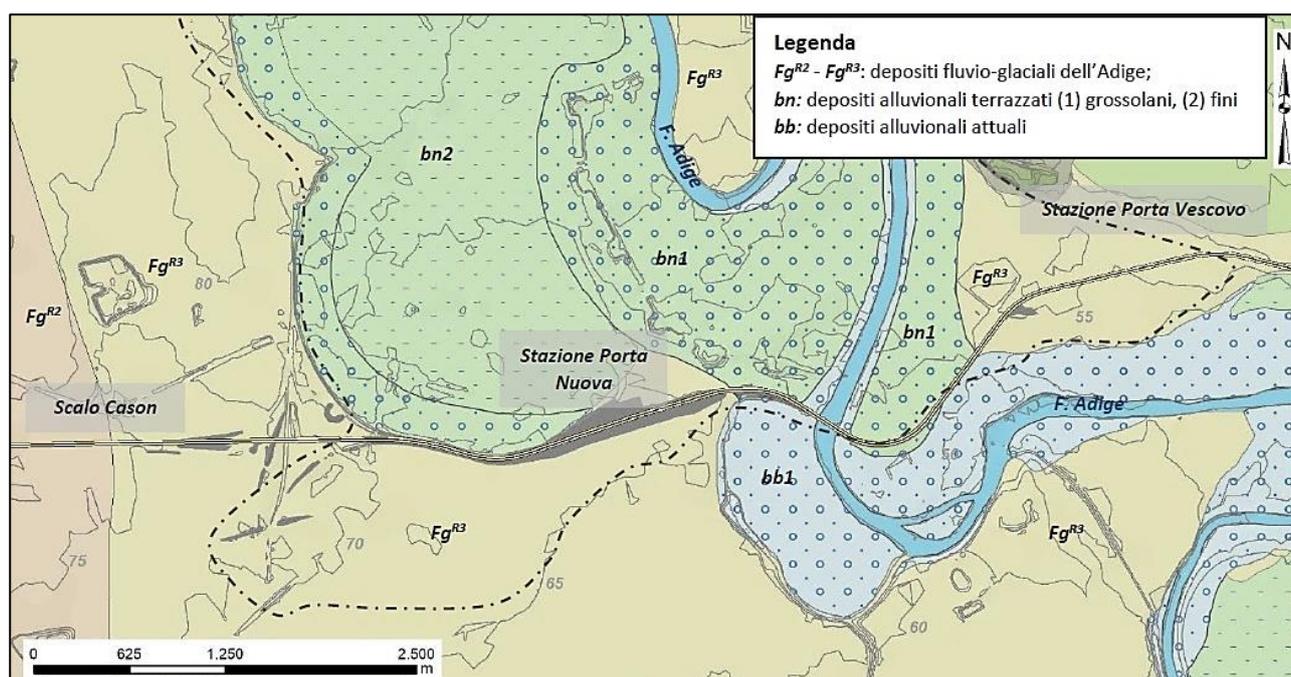


Figura 9 - Stralcio Carta geologica in scala 1:25.000 dell'areale di Verona. La polilinea gialla indica il tracciato ferroviario E-O Brescia-Verona-Vicenza-Padova. In tratteggio il limite dell'abitato di Verona

Di seguito si riporta una descrizione del profilo geologico in asse al progetto.

Il tracciato ferroviario di progetto si sviluppa all'aperto, interamente su depositi sciolti di natura grossolana, ghiaioso-sabbiosa con intercalazioni di materiali più fini. La successione geologica di sottosuolo è abbastanza omogenea lungo tutto il tracciato in esame ed è costituita da depositi fluvio-glaciali e fluviali pleistocenici fg^{R2} e fg^{R3} , al di sopra dei quali poggiano i depositi alluvionali recenti ($bb1$) e terrazzati ($bn1$). Il passaggio tra le alluvioni fg^{R3} e fg^{R2} è marcato da un livello di limi argillosi/argille limose di colore grigio con spessore mediamente pari a 5 m. I primi metri della successione (variabili da un minimo di 3 m ad un massimo di circa 10 m, in prossimità della stazione di Verona Porta Nuova) sono invece costituiti da materiale di riporto antropico.

SCALO CASON

Nel primo tratto di profilo, compreso circa tra le pk 151+400 e 152+900 (circa tra i sondaggi S8 e S11), affiorano per tutta la profondità indagata le ghiaie poligeniche eterometriche (\varnothing max > 6 cm), da angolari ad arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa di colore avana, afferenti ai depositi fluvio-glaciali (Fg^{R31}) del Würm. A partire circa dalla progressiva 152+900, l'unità fluvio-glaciale più recente fg^{R3} (Würm recente) poggia sull'unità fg^{R2} , costituita da ghiaie poligeniche eterometriche addensate in matrice sabbiosa, sabbioso-

limosa e argilloso-limosa, di colore avana; localmente possono essere presenti livelli centimetrici sabbiosi. Si ritiene che il limite tra le due unità fluvioglaciali sia posto in corrispondenza di un livello pelitico costituito da argille limose grigio-nerastre, riferibili all'unità fg^{R3} , a profondità da piano campagna comprese tra 28 e 36 m.

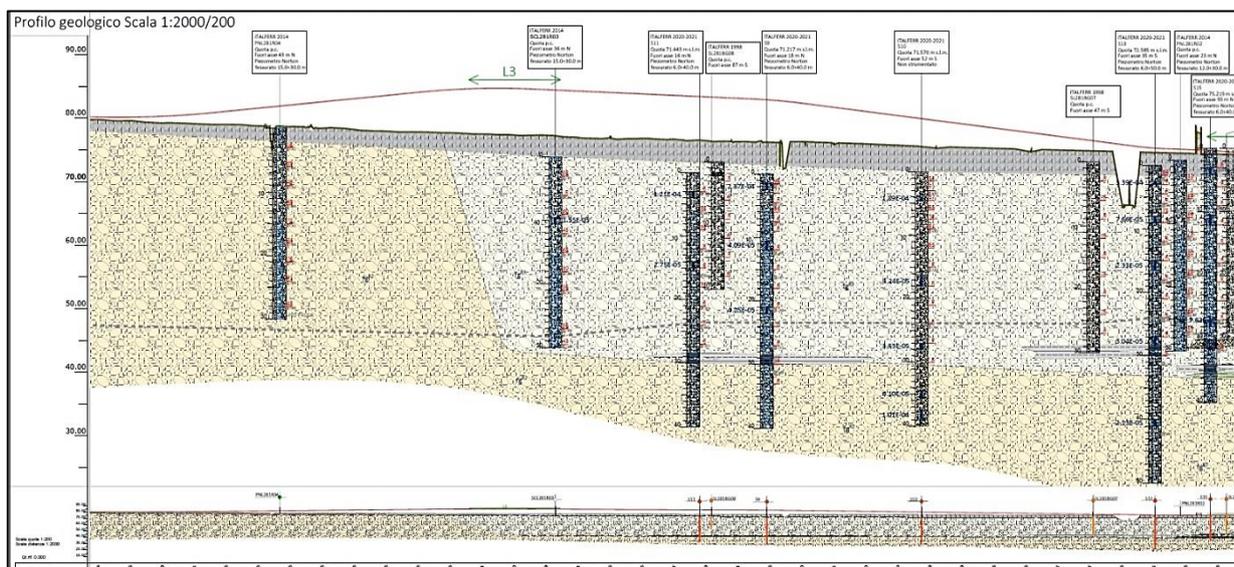


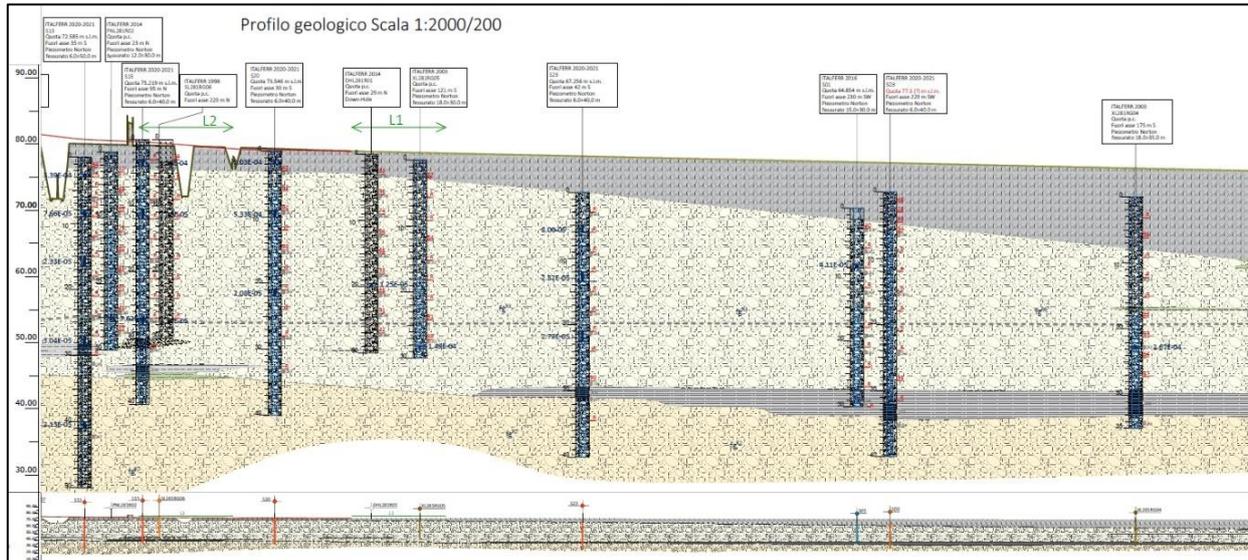
Figura 10 - Stralcio del profilo geologico della Tavola 2/4, in cui si può notare il passaggio all'unità più antica $Fg R3$ in profondità a circa 28/30m circa

VERONA EST

La successione litostratigrafica del tracciato di progetto di Verona est è sostanzialmente omogeneo: affiorano, infatti, sostanzialmente con andamento piano-parallelo le alluvioni fg^{R3} al di sopra delle fg^{R2} , il cui limite è marcato in maniera abbastanza definita dalle peliti di colore grigio scuro-nero dell'unità fg^{R33} (limi sabbiosi e limi argillosi) e fg^{R34} (argille limose). I livelli di ghiaie fg^{R31} sono intervallati da lenti di dimensioni più o meno rilevanti di materiali più fini, soprattutto riferibili all'unità sabbiosa fg^{R32} .

L'unico settore la cui litostratigrafia si distingue è l'alveo del fiume Adige: al di sopra delle alluvioni fg^{R2} affiorano infatti i depositi alluvionali recenti (bb1) e terrazzati (bn1) olocenici. Questi sono depositi continentali costituiti da tre differenti litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche.

Al di sopra delle alluvioni oloceniche affiorano i depositi alluvionali attuali ba1, ovvero depositi continentali riferibili all'alveo attivo dell'Adige, costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (max 10 cm), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.



	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

4 INDAGINI IN SITO E PROVE DI LABORATORIO

Nel presente capitolo viene fornita la sintesi delle indagini in sito e di laboratorio effettuate.

In particolare, le campagne di indagine condotte sono:

- Campagna di indagine geognostica 1998 condotta tra luglio e agosto 1998 per caratterizzare l'area interessata dagli interventi urbanistici del nodo ferroviario di Verona.
- Nel 2003 è stata effettuata la campagna di indagini geognostiche per la progettazione preliminare del Nodo Ferroviario AV/AC di Verona.
- Nel periodo maggio-giugno 2014, su incarico di Italferr Spa, e stata eseguita una campagna di indagini geognostiche per la progettazione preliminare, sulla Linea Brescia Verona, del Nodo AV/VC di Verona: Ingresso Ovest. Il rilievo è consistito nell'esecuzione di 5 carotaggi in continuo.
- Ad agosto 2016 sono state eseguite 5 indagini geognostiche per la progettazione preliminare del Nodo di Verona - ingresso est. Nell'ambito di questa indagine sono stati eseguiti carotaggi continui, pozzi downhole, prove Lefranc e analisi di laboratorio.
- Indagini geognostiche, di cui 2 perforazioni di sondaggio nell'area RFI della stazione di VERONA PORTA NUOVA, sono state eseguite nel 2019 da Italferr. Nell'ambito di questo progetto sono state eseguite prove di permeabilità SPT e Lefranc, installazione di piezometri a tubo aperto e prove MASW.
- Sono state effettuate indagini diagnostiche 2020 per la modellazione fisica del fiume Adige a Verona, nell'ambito del Nodo Verona PP - Entrata Est.
- Nel 2021-21 è stata realizzata una campagna di indagini con n.20 perforazioni geognostiche, comprendente prove geotecniche in sito e in laboratorio, a supporto della progettazione definitiva del Nodo AV/AC di Verona – Ingresso Ovest;
- Nel corso del 2021 è stata realizzata una specifica campagna geognostica a supporto della presente progettazione del Nodo AV/AC di Verona – ingresso EST, comprendente n. 13 sondaggi a carotaggio continuo, prove in sito e analisi di laboratorio. Ulteriori n.2 sondaggi geognostici sono stati realizzati in alveo per la modellazione fisica del fiume Adige.

4.1 Indagine Italferr 1998

Durante la campagna indagini ITALFERR 1998, nei mesi di luglio e agosto 1998, sulla linea Brescia-Verona, Nodo di Verona, sono stati realizzati n. 5 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT (*Standard Penetration Test*).

Nella tabella 4-1 che segue si riporta il dettaglio dei sondaggi realizzati.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Tabella 4-1 - Sondaggi geognostici 1998

Sondaggio	Profondità (m)	Prove SPT	Piezometro
SL281BG06	30	9	-
SL281BG07	30	9	-
SL281BG08	20	6	-
XL281RG10	25	7	Piezometro t.a. (20,00 m)
SL281RG11	20	6	-

4.2 Indagine Italferr 2003

La campagna di indagini Italferr 2003 ha compreso l'esecuzione di cinque sondaggi geognostici a carotaggio continuo (XL281PG01, SL281PG02, XL281OG03, XL281RG04, XL281RG05), quattro dei quali strumentati con piezometri a tubo aperto in PVC (diametro 1" e 1/2) per il rilievo ed il campionamento della falda acquifera (XL281PG01, XL281OG03, XL281RG04, XL281RG05).

Nel corso della campagna sono state svolte le seguenti operazioni:

- Esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- Prelievo di campioni indisturbati Shelby e campioni rimaneggiati;
- Esecuzione di prove di prove di permeabilità Lefranc;
- Esecuzione di prove penetrometriche con penetrometro tascabile (pocket penetrometer test);
- Esecuzione di indagini geofisiche (prospezioni geoelettriche).

La tabella 4-2 che segue riporta un quadro riassuntivo delle indagini geognostiche eseguite.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai documenti "Campagna d'indagini geognostiche 2003", cod. L28100R69SGGE0005002A, redatto da Eurogeo srl, ed al documento "Indagini geofisiche", cod. L28100R69IGGE0005001A.

Tabella 4-2 - Sondaggi geognostici Italferr 2003

Sondaggio	Profondità (m)	Campioni		Prove SPT	Prove Lefranc	Piezometro t.a. (m)
		Ind.	Rim.			
XL281PG01	50	1	5	14	1	50
SL281PG02	50	1	4	13	-	-
XL281OG03	40	1	4	12	1	40
XL281RG04	35	1	3	9	1	35
XL281RG05	30	-	2	9	1	30

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

I campioni indisturbati ed i campioni rimaneggiati prelevati durante la campagna indagini Italferr 2003 sono stati assoggettati alle seguenti prove di laboratorio eseguite da Vincenzetto srl:

- Prove di determinazione del contenuto naturale d’acqua, peso dell’unità di volume, peso specifico e dei limiti di Atterberg;
- Analisi granulometriche;
- Prove penetrometriche (pocket penetrometer test);
- Due prove di taglio diretto;
- Tre prove triassiali (TX-CIU);
- Tre prove edometriche (IL);

Per ulteriori dettagli si rimanda al documento “Certificati prove geotecniche di laboratorio”, cod. L28100R69PRGE0005001A.

4.3 Indagine Italferr 2014

La campagna indagini Italferr 2014 è stata condotta nell’ambito della progettazione preliminare del Nodo AV/AC di Verona, ingresso Ovest. Essa comprende cinque sondaggi geognostici a carotaggio continuo (DHL281R01, PLN281R02, SCL281R03, PLN281R04, DHL281O05), tre dei quali strumentati con piezometri a tubo aperto in PVC (diametro 3’’) per il rilievo ed il campionamento della falda acquifera (PLN281R02, SCL281R03 e PLN281R04), due dei quali rivestiti tubo aperto in PVC (diametro 3’’) per l’esecuzione di prove geofisiche down-hole (sondaggi DHL281R01 e DHL281O05).

- Esecuzione di prove di prove di permeabilità Lefranc;
- Esecuzione di prove penetrometriche con penetrometro tascabile (pocket penetrometer test);
- Esecuzione di indagini geofisiche (analisi elettromagnetiche, prove down-hole e rilievi tomografici-elettrici).

In Tabella 4-3 è riportato un quadro riassuntivo delle indagini geognostiche eseguite.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai documenti “Esiti indagini e prove in sito”, cod. L28110R69RHGE0001001A, “Esiti campagna geofisica”, cod. IN0910R69RHGE0005001A, e “Relazione geotecnica”, cod. IN0910R26RHGE0000001A.

I campioni rimaneggiati prelevati durante la campagna indagini Italferr 2014 sono stati sottoposti ad analisi granulometriche per la descrizione e la classificazione dei terreni.

Per ulteriori dettagli si rimanda al documento “Esiti prove di laboratorio”, cod. IN0910R69SHGE0001001A.

Tabella 4-3 - Sondaggi geognostici Italferr 2014

Sondaggio		Coordinate UTM	Prove SPT	Strumentazione
-----------	--	----------------	-----------	----------------

	Profondità (m)	Nord	Est		
DHL281R01	30	45°25,635'	10°57,202'	9	Tubazione per Down-Hole
PNL281R02	30	45°25,630'	10°56,910'	9	Piezometro Norton 3"
SCL281R03	30	45°25,635'	10°56,156'	9	Piezometro Norton 3"
PNL281R04	30	45°25,641'	10°55,821'	8	Piezometro Norton 3"
DHL281O05	30	45°25,647'	10°54,704'	9	Tubazione per Down-Hole

Durante la campagna geofisica ITAFERR 2014, sulla linea Brescia-Verona, Nodo di Verona AV/AC Ingresso Ovest, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- analisi elettromagnetiche in corrispondenza delle piazzole di perforazione per l'identificazione di eventuali anomalie metalliche;
- prove *Down-Hole* in foro (DHL281R01) per la definizione dei moduli dinamici dei terreni carotati;
- profili tomografici elettrici per la ricostruzione dei rapporti geostratigrafici tra le unità litostratigrafiche individuate.

4.4 Indagine Italferr 2016

La campagna indagini Italferr 2016 comprende cinque sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2, S3, S4, S5), quattro dei quali strumentati con piezometri a tubo aperto in PVC (diametro 3") per il rilievo ed il campionamento della falda acquifera (S1, S2 S4 e S5) e uno dei quali strumentato con tubo aperto in pvc (diametro 3") per l'esecuzione di una prova sismica down-hole (sondaggio S3).

Le seguenti operazioni sono state svolte nel corso di tale campagna:

- Esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- Prelievo di campioni indisturbati Shelby e campioni rimaneggiati;
- Esecuzione di prove di prove di permeabilità Lefranc;
- Esecuzione di prove penetrometriche con penetrometro tascabile (pocket penetrometer test);
- Esecuzione di indagini geofisiche (una prova down-hole, indagini elettromagnetiche e geoelettriche, indagine sismica a rifrazione).

La tabella 4-4 riporta il quadro riassuntivo delle indagini geognostiche eseguite.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai documenti "Esiti indagini e prove in situ", cod. IN0F20R69SGGE0001001A, redatto da Eurogeo srl, ed al documento "Esiti geofisica" redatto da Vincenzetto srl, cod. IN0F20R69IGGE0001001A.

I campioni indisturbati ed i campioni rimaneggiati prelevati durante la campagna indagini Italferr 2016 sono stati assoggettati alle seguenti prove di laboratorio eseguite da Vincenzetto srl:

- Prove di determinazione del contenuto naturale d'acqua, peso dell'unità di volume, peso specifico e dei limiti di Atterberg;
- Analisi granulometriche;
- Una prova triassiale consolidata isotropa non drenata (TX-CIU);
- Una prova consolidata isotropa drenata (TX-CID);
- Una prova di taglio diretto.

Per ulteriori dettagli si rimanda al documento "Prove di laboratorio" redatto da Vincenzetto srl, cod. INOF20R69PRGE0001001A.

Tabella 4-4 - Sondaggi geognostici Italferr 2016

Sondaggio	Profondità (m)	Coordinate		Quota	Strumentazione
		Gauss Boaga X	Gauss Boaga Y	(m s.l.m.)	
S 01	30	1.653.500.263	5031990.88	64.9	Piezometro Norton 3"
S 02	30	1.654.883.606	5.032.502.454	67.1	Piezometro Norton 3"
S 03	50	1656027.46	5.032.430.147	52.8	Down-Hole
S 04	30	1657119.37	5.032.841.275	54	-
S 05	30	1.657.242.823	5.033.008.826	54	Piezometro Norton 3"

4.5 Indagine Italferr 2019

La campagna di indagine del 2019 a supporto del progetto di Centralizzazione delle cabine IS di Verona Porta Nuova comprende n. 2 perforazioni geognostiche eseguite nell'area RFI della stazione VERONA PORTA NUOVA, alla profondità di 30 m da p.c. con associate prove SPT e di permeabilità Lefranc ed installazione di piezometri a tubo aperto. Sono state inoltre realizzate, in corrispondenza dei sondaggi n. 2 prove MASW, per la definizione dell'azione sismica di progetto secondo quanto stabilito dalle NTC2018.

Per gli approfondimenti si rimanda all'elaborato "INOV00D69RGGE0001001A – Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica".

Tabella 4-5 - Sondaggi geognostici Italferr 2019

Sondaggio	Quota (m)	Coordinate		SPT	Campioni rim.	Prove Lefranc	Strumentazione
		Gauss Boaga X	Gauss Boaga Y				
BH1	67.0	1.655.351.007	5.032.474.621	7	3	2	Piezometro Norton 3"
BH2	65.0	1.655.117.780	5.032.346.305	8	3	2	Piezometro Norton 3"

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

4.6 Indagine Italferr 2020

L'indagine eseguita nel 2020 a supporto del progetto di definizione del *Modello fisico del nuovo ponte sul Fiume Adige* ha visto l'esecuzione di n.4 pozzetti superficiali e n.1 sondaggio a rotazione con carotaggio continuo, comprendente prove penetrometriche in foro di tipo SPT, prove di permeabilità tipo *Lefranc*, prove pressiometriche con pressimetro *Menard*, e prelievo di campioni da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio.

Inoltre in corrispondenza dei sondaggi sono state realizzate prospezioni geofisiche per la definizione dell'azione sismica di progetto secondo quanto stabilito dalle NTC2018. Tali prospezioni sono consistite in n. 3 rilievi sismici con tecnica MASW, n. 3 rilievi HVSR e n.1 rilievo in foro con tecnica down-hole.

Per i dettagli si rimanda ai seguenti documenti: "IN0F2AR69SGGE0005001A – Sondaggi geognostici e prove in sito", "IN0F2AR69PRGE0005001A – Prove di laboratorio", e "IN0F2AR69IGGE0005001A – Indagini geofisiche".

La tabella 4-6 riporta in sintesi le operazioni svolte.

Tabella 4-6 – Sondaggio geognostico Italferr 2020

Sondaggio	Perforazione	Profondità (m)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Prove SPT	Prove Lefranc	Prove pressiom. Menard	Strumentazione
VR-01	Carotaggio	50	1	6	7	2	2	Tubo PVC 3" Down-Hole

4.7 Indagine Italferr 2020-2021 – P.D. Ingresso Verona Ovest

Durante la campagna geognostica ITALFERR 2020-2021, nel periodo compreso tra ottobre 2020 e febbraio 2021, per il progetto "Esecuzione di indagini geognostiche per la progettazione definitiva dell'ingresso Ovest di Verona", sono stati eseguiti in totale n. 25 sondaggi geognostici (**Error! Reference source not found.**4-7).

In particolare, sono stati realizzati:

- n. 21 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove in foro, di tipo S.P.T., prove di permeabilità tipo Lefranc ed installazione di strumentazione per il monitoraggio geotecnico (piezometri Tubo Aperto tipo Norton) e geofisico (tubazione *Down-Hole*).
- n. 4 sondaggi a distruzione di nucleo con esecuzione di prove di permeabilità tipo Lefranc e installazione di strumentazione per il monitoraggio geofisico (tubazione *Down-Hole*).

Ai fini del presente studio sono stati utilizzati i risultati ricavati dai soli sondaggi elencati in 4-7.

Tutte le lavorazioni sono state precedute dal rilievo di masse metalliche in superficie e in foro.

Tabella 4-7 - Sondaggi geognostici Italferr 2020-2021

Sondaggio	Perforazione	Profondità (m)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Prove SPT	Prove Lefranc	Strumentazione
-----------	--------------	----------------	-----------------------	-----------------------	-----------	---------------	----------------

S6	Carotaggio	40	-	9	12	3	Piezometro Tubo Aperto 2"
S7	Carotaggio	40	-	7	10	3	Piezometro Tubo Aperto 2"
S7-bis	Carotaggio + distruzione	40	-	-	-	1	Tubo P.V.C. 3" Down-Hole
S8	Carotaggio	40	-	10	11	4	Piezometro Tubo Aperto 2"
S9	Carotaggio	40	-	9	14	3	Piezometro Tubo Aperto 2"
S10	Carotaggio	40	-	4	13	5	Foro ritombato
S11	Carotaggio	40	-	7	9	2	Piezometro Tubo Aperto 2"
S12	Carotaggio	42	1	1	10	2	Piezometro Tubo Aperto 2"
S13	Carotaggio	50	-	7	13	5	Piezometro Tubo Aperto 2"
S14	Carotaggio	42	-	10	9	4	Piezometro Tubo Aperto 2"
S15	Carotaggio	40	1	5	10	3	Piezometro Tubo Aperto 2"
S16	Carotaggio	40	-	3	9	5	Piezometro Tubo Aperto 2"
S16-bis	Carotaggio + distruzione	40	-	-	-	-	Tubo P.V.C. 3" Down-Hole
S19	Carotaggio	40	1	7	13	5	Piezometro Tubo Aperto 2"
S20	Carotaggio	40	-	7	10	3	Piezometro Tubo Aperto 2"
S21	Carotaggio	40	-	8	13	4	Tubo P.V.C. 3" Down-Hole
S22	Carotaggio	40	-	8	13	4	Tubo P.V.C. 3" Down-Hole
S23	Carotaggio	40	1	7	10	3	Piezometro Tubo Aperto 2"

Analisi di laboratorio

Nel corso della campagna geognostica sono stati prelevati campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico. Vista la natura incoerente delle unità litologiche sono stati prelevati, principalmente, campioni rimaneggiati.

Sui campioni sono state effettuate le seguenti prove:

- Apertura campione (ASTM D 2488/93);
- Analisi Granulometrica (ASTM D422/63 – Class. AGI 1977);
- Classificazione terreno USCS (ASTM D 2487/93);
- Classificazione terreno CNR-UNI 10006 (in accordo con AASHTO).

Per i certificati di laboratorio si demanda al documento IN1A20D69PRGE0005003A “Prove di laboratorio – PD Ingresso Verona Ovest”.

4.8 Campagna indagini Italferr 2021 – p.d. Ingresso Verona Est

Durante la campagna geognostica ITALFERR 2021, nel periodo compreso tra febbraio e maggio, per il progetto “Esecuzione di indagini geognostiche per la progettazione definitiva dell’ingresso Est di Verona”, sono stati eseguiti in totale n. 17 sondaggi geognostici a carotaggio continuo e distruzione di nucleo (Tabella 4-8).

Per i certificati delle prove si rimanda all’elaborato IN1A20D69SGGE0005001A “Report tecnico: stratigrafie e prove in sito”.

Tabella 4-8 - Sondaggi geognostici ITALFERR 2021 – Verona Est

Sondaggio	Perforazione	Prof. (m)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Prove SPT	Prove Lefranc	Prove MPT	Strumentazione (m)
SD2	Carotaggio	40	-	8	14	4	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD2bis	Carotaggio + Distruzione	40	-	-	-	-	-	Tubo PVC 3'' per Down-Hole (40.00)
SD3	Carotaggio	40	1	4	12	5	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD4	Carotaggio	40	1	7	14	5	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD5	Carotaggio	40	1	5	14	4	-	Foro ritombato
SD6	Carotaggio	40	2	6	14	4	-	Foro ritombato
SD7	Carotaggio	40	1	5	14	4	1	Foro ritombato
SD8	Carotaggio	40	1	6	14	5	1	Foro ritombato
SD9	Carotaggio	40	1	6	13	4	1	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD10	Carotaggio	40	1	5	14	5	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD10bis	Carotaggio + Distruzione	40	-	-	-	-	-	Tubo PVC 3'' per Down-Hole (40.00)
SD12	Carotaggio	40	1	6	14	4	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD13	Carotaggio	40	1	7	14	4	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD13bis	Carotaggio + Distruzione	40	-	-	-	-	-	Tubo PVC 3'' per Down-Hole (40.00)
SD14	Carotaggio	40	-	9	14	4	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD15	Carotaggio	40	-	8	14	5	-	Piezometro T.A. 2'' (40.00)
SD15bis	Carotaggio + Distruzione	40	-	-	-	-	-	Tubo PVC 3'' per Down-Hole (40.00)

Analisi di laboratorio

Nel corso della campagna geognostica Italferr 2021, a supporto del presente progetto, sono stati prelevati campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico. Vista la natura incoerente delle unità litologiche sono stati prelevati, principalmente, campioni rimaneggiati.

Sui campioni sono state effettuate le seguenti prove:

- Apertura campione (ASTM D 2488/93);
- Analisi Granulometrica (ASTM D422/63 – Class. AGI 1977);
- Classificazione terreno USCS (ASTM D 2487/93);

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

- Classificazione terreno CNR-UNI 10006 (in accordo con AASHTO).

Per i certificati delle prove si rimanda al report IN1A20D69PRGE0005001A “PROVE DI LABORATORIO”.

4.9 Indagini Italferr 2021 – F. Adige

Durante la campagna geognostica ITALFERR 2021, nel mese di Settembre 2021, sempre inerente il presente progetto “Esecuzione di indagini geognostiche per la progettazione definitiva dell’ingresso Est di Verona”, sono stati eseguiti in totale n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo sul Fiume Adige per la modellazione del Nuovo Ponte (Tabella 4-9).

Per i certificati delle prove si rimanda all’elaborato IN1A20D69SGGE0005002A “Report tecnico: stratigrafie e prove in sito dei sondaggi nel Fiume Adige”. Per le prove di laboratorio si demanda al documento IN1A20D69PRGE0005002A “Prove di laboratorio geotecniche Fiume Adige”.

Tabella 4-9 - Campagna geognostica ITALFERR 2021 – Sondaggi nel F. Adige

Sondaggio	Perforazione	Prof. (m)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Prove SPT	Prove Lefranc	Prove MPT	Strumentazione (m)
SD1_Adige	Carotaggio	45	-	7	13	4	1	-
SD2_Adige	Carotaggio	45	1	7	14	4	-	-

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

4.10 Prospezioni Geofisiche

- **Indagini geofisiche 2020-21 – P.D. ingresso Verona Ovest**

Durante la campagna geognostica ITALFERR 2020-2021, per il progetto “Esecuzione di indagini geognostiche per la progettazione definitiva dell’ingresso Ovest di Verona”, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- n. 8 acquisizioni sismiche di tipo M.A.S.W./Re.Mi., identificate con sigle da M1/R1 a M8/R8, finalizzate alla determinazione dei parametri V_{seq} e alla definizione delle categorie sismiche dei suoli di fondazione, ai sensi delle N.T.C. 2018. Le prove sono state caratterizzate da stendimenti di n. 24 geofoni posizionati ad intervalli regolari di 3.0 m (da M2/R2 a M8/R8) e 5.0 m (M1/R1).
- n. 8 prove sismiche passive di tipo H.V.S.R. denominate da HV1 a HV8, finalizzate alla definizione delle frequenze di risonanza di sito nonché alla verifica congiunta degli eventuali contrasti di impedenza sismica osservati nelle rispettive prove di tipo M.A.S.W./Re.Mi. per la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico in termini di velocità V_s ;
- n. 5 prove sismiche di tipo *Down-Hole*, denominate DH1, DH2, DH7, DH16 e DH21, realizzate rispettivamente nei fori di sondaggio opportunamente attrezzati S1bis, S2bis, S7bis, S16bis e S21 terebrati fino alle profondità di 40.0 m (S1bis, S7bis, S16bis e S21) e 50.0 m (S2bis), finalizzati alla definizione dei profili di velocità V_p , V_s e alla determinazione dei parametri V_{seq} ai sensi delle N.T.C. 2018, nonché dei moduli dinamici dei terreni carotati.

Ai fini del presente progetto saranno prese in considerazione n. 6 prove M.A.S.W. (da M3/R3 a M8/R8) e H.V.S.R. (da HV3 a HV8) e n. 2 prove *Down-Hole* (S16bis e S21).

Per i certificati delle indagini geofisiche ITALFERR 2020-2021 si rimanda al report IN1A20D69IGGE0005002A “Report indagini campagne geofisiche PD Verona Ovest” dell’aprile 2021.

Prove sismiche di tipo M.A.S.W./Re.Mi.

In riferimento alle prove MASW, in tabella 4-10 è riportato il valore di V_{seq} calcolato, con relativa profondità di misura e conseguente categoria di suolo sismico, per le sole prove eseguite all’interno dell’area di interesse.

Tabella 4-10 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021: valori di V_{seq} (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle prove sismiche di tipo M.A.S.W./Re.Mi.

Sigla Prova	V_{seq} (m/sec)	Profondità di riferimento (m)	Categoria suolo
M3/R3	561	30	B
M4/R4	452	30	B
M5/R5	476	30	B
M6/R6	492	30	B
M7/R7	333	30	C
M8/R8	538	30	B

Prove sismiche passive di tipo H.V.S.R.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Le misure H.V.S.R. eseguite hanno permesso di evidenziare, in alcune prove, dei picchi significativi di rapporto spettrale con possibile significato stratigrafico (nel range di frequenze di interesse ingegneristico 1-20 Hz). Tali picchi hanno consentito di determinare le frequenze fondamentali di vibrazione di sito f_0 riassunte in tabella 4-11 per le sole prove ricadenti all'interno dell'area di interesse.

Tabella 4-11 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021: frequenze fondamentali di vibrazione del sito (f_0) relative a picchi spettrali di possibile significato stratigrafico

Sigla Prova	f_0
HV3	-
HV4	14.84 Hz
HV5	-
HV6	16.56 Hz
HV7	6.56 Hz
HV8	-

Prove Down-Hole

L'analisi dei dati relativi alle velocità delle onde di taglio (V_s) ha consentito di definire le categorie sismiche dei suoli come indicato in tabella 4-12.

Tabella 4-12 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2020-21: valori di V_{seq} (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle n.5 prove sismiche di tipo Down-Hole

Sigla Prova	V_{seq} (m/sec)	Profondità di calcolo (m dal p.c.)	Categoria suolo
DH-S16	498	0-30	B
DH-S21	520	0-30	B

- **Indagini geofisiche ITALFERR 2021 – P.D. ingresso Verona Est**

Durante la campagna geognostica ITALFERR 2021, per il progetto “Esecuzione di indagini geognostiche per la progettazione definitiva dell'ingresso Est di Verona”, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- n. 9 acquisizioni sismiche di tipo MASW, finalizzate alla determinazione dei parametri V_{seq} e alla definizione delle categorie sismiche dei suoli di fondazione, ai sensi delle N.T.C. 2018. Le prove sono state caratterizzate da stendimenti di n. 24 ricevitori da 4.5 Hz con spaziatura di 2.5 metri per un totale di 57.5 metri cadauna. Le misure sismiche attive relative alle onde di superficie sono state elaborate congiuntamente con le rispettive prove HVSR.
- n. 12 prove sismiche passive di tipo HVSR, finalizzate alla definizione delle frequenze di risonanza di sito nonché alla verifica congiunta degli eventuali contrasti di impedenza sismica osservati nelle rispettive prove di tipo M.A.S.W., per la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico in termini di

velocità V_s . Le prove sono state eseguite con tempo di acquisizione di 20 minuti in corrispondenza del centro degli array MASW e in corrispondenza delle 4 prove Down-Hole.

- n. 4 prove sismiche di tipo Down-Hole in foro di sondaggio, finalizzate alla definizione dei profili di velocità V_p , V_s e alla determinazione dei parametri V_{seq} ai sensi delle N.T.C. 2018. Le prove Down Hole sono state eseguite con energizzazioni ad ogni metro di profondità polarizzate sia in onde di compressione (P) che di taglio (S);
- n. 2 stese di sismica tomografica a rifrazione;
- n. 2 tomografie elettriche.

Prove sismiche di tipo M.A.S.W.

I valori di V_{seq} e della profondità del *bedrock* sismico (se presente - 800 m/s) dei terreni investigati sono stati ottenuti dall'elaborazione delle prove MASW. Con tali parametri è possibile caratterizzare i terreni secondo quanto previsto dalla normativa vigente (Decreto Ministeriale 17/01/2018).

In tabella 4-13 sono riportati i risultati delle prove, con relativa categoria di suolo sismico.

Tabella 4-13 - Campagna Indagini geofisiche ITALFERR 2021; valori di V_{seq} (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle prove sismiche di tipo M.A.S.W./Re.Mi.

Sigla Prova	V_{seq} (m/sec)	Categoria suolo
MASW1	454	B
MASW2	405	B
MASW3	453	B
MASW4	350	C
MASW5	335	C
MASW6	358	C
MASW7	383	B
MASW8	444	B
MASW9	356	C

Prove sismiche passive di tipo H.V.S.R.

Le prove HVSR sono state eseguite in prossimità delle prove MASW e delle prove Down-Hole, per completezza di informazioni, misurando il rumore ambientale e determinando la frequenza naturale di sito e la stima della velocità delle onde sismiche di taglio, per circa 30 metri dal piano campagna.

I risultati delle prove, con relativa categoria di sottosuolo, sono riportati in tabella 4-14

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Tabella 4-14 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021. Prove sismiche HVSR

Sigla Prova	f0 (Hz)	A0 (H/V)	Vseq (m/sec)	Categoria suolo
HVSR219	14.4	2.1	454	B
HVSR216	1.27	2.7	405	B
HVSR218	14.0	2.1	453	B
HVSR212	0.87	3.1	350	C
HVSR213	0.58	1.8	358	C
HVSR214	1.5	2.5	383	B
HVSR217	11.68	1.9	444	B
HVSR162	1.22	3.0	356	C
HVSR 128_SD2	15.20	3.6	426	B
HVSR 126_SD10	16.7	3.2	385	B
HVSR 127_SD13	1.0	2.4	39	B
HVSR 129_SD15	15.54	3.8	439	B

Prove Down-Hole

All'interno di 4 fori di sondaggio opportunamente attrezzati con tubo PVC cementato sono state eseguite prove di tipo Down-Hole, mediante le quali sono stati determinati i logs di velocità delle onde di compressione, taglio e moduli dinamici.

L'analisi dei dati relativi alle velocità delle onde di taglio (V_s) ha consentito di definire le categorie sismiche dei suoli come indicato in tabella 4-14.

Tabella 4-15 - Campagna indagini geofisiche ITALFERR 2021: valori di V_{seq} (m/s) e relativa categoria di sottosuolo delle n. 4 prove sismiche di tipo Down-Hole

Sigla Prova	V_{Seq} (m/sec)	Profondità (m dal p.c.)	Categoria suolo
SD2	443	39	B
SD10	368	40	B
SD13	366	40	B
SD15	427	40	B

4.11 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc

Nell'ambito delle campagne geognostiche che hanno interessato l'area, in particolare le indagini Italferr 2020-2021, Italferr 2019, Italferr 2016, Italferr 2014 e Italferr 2003, sono state effettuate prove di permeabilità in foro tipo Lefranc per la definizione della permeabilità delle unità geologiche. Inoltre, allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee ed il relativo andamento della superficie piezometrica, è stata effettuata, ed è a tutt'oggi in essere, una campagna di monitoraggio nei tubi piezometrici installati nei fori di sondaggio di nuova realizzazione ed in alcuni di quelli esistenti.

Per poter definire le caratteristiche di permeabilità dei principali corpi idrogeologici presenti nell'area di intervento, sono state analizzate le prove di permeabilità condotte nell'ambito delle campagne geognostiche che si sono succedute dal 2003 ad oggi.

Nelle tabelle che seguono sono riportate le caratteristiche delle suddette prove e i valori di permeabilità che ne sono risultati.

Tabella 4-16 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2020-21 Verona Est

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
SD1 Adige	4.75	3.46E-04	Lefranc	ALL1
SD1 Adige	10.75	3.27E-04	Lefranc	ALL1
SD1 Adige	36.5	9.99E-05	Lefranc	fgR2_1
SD1 Adige	17.25	3.71E-06	Lefranc	fgR3_4
SD2	8.25	5.15E-05	Lefranc	fgR3_1
SD2	13.50	4.71E-05	Lefranc	fgR3_1
SD2	1.75	1.91E-04	Lefranc	R
SD2	3.50	8.52E-05	Lefranc	R
SD2 Adige	5.25	3.87E-04	Lefranc	ALL1
SD2 Adige	11.25	4.11E-04	Lefranc	ALL1
SD2 Adige	35.25	3.05E-04	Lefranc	fgR2_1
SD2 Adige	17.25	2.01E-06	Lefranc	fgR3_4
SD3	18.75	1.10E-05	Lefranc	fgR2_1
SD3	5.25	1.36E-04	Lefranc	fgR3_1
SD3	8.50	1.27E-05	Lefranc	fgR3_1
SD3	13.50	3.15E-05	Lefranc	fgR3_1
SD3	2.50	1.86E-04	Lefranc	R
SD4	6.00	8.49E-05	Lefranc	fgR3_1
SD4	10.50	4.95E-05	Lefranc	fgR3_1
SD4	19.50	4.63E-06	Lefranc	fgR3_4
SD4	2.00	1.30E-03	Lefranc	R
SD4	4.50	9.83E-05	Lefranc	R
SD5	3.50	8.90E-05	Lefranc	ALL1
SD5	7.50	1.06E-04	Lefranc	ALL1
SD5	13.40	7.38E-05	Lefranc	fgR3_1
SD5	18.75	1.64E-04	Lefranc	fgR3_1

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
SD6	1.75	5.84E-04	Lefranc	ALL1
SD6	8.80	2.58E-04	Lefranc	ALL1
SD6	5.25	7.55E-06	Lefranc	ALL2
SD6	14.50	4.12E-04	Lefranc	fgR2_1
SD7	10.35	6.72E-05	Lefranc	ALL2
SD7	12.30	1.04E-05	Lefranc	ALL2
SD7	14.50	2.32E-04	Lefranc	fgR2_1
SD7	2.50	1.40E-04	Lefranc	R
SD8	2.00	5.80E-04	Lefranc	ALL1
SD8	3.75	1.37E-04	Lefranc	ALL1
SD8	6.75	2.11E-04	Lefranc	ALL1
SD8	16.00	2.51E-04	Lefranc	fgR2_1
SD8	12.00	2.77E-06	Lefranc	fgR3_4
SD9	2.75	2.67E-04	Lefranc	ALL1
SD9	5.50	1.37E-04	Lefranc	ALL1
SD9	13.50	8.88E-05	Lefranc	fgR2_1
SD9	18.00	7.68E-05	Lefranc	fgR2_1
SD10	15.00	2.48E-05	Lefranc	fgR2_1
SD10	19.50	9.75E-05	Lefranc	fgR2_1
SD10	9.75	4.26E-05	Lefranc	fgR3_1
SD10	1.25	4.89E-03	Lefranc	R
SD10	4.50	6.34E-05	Lefranc	R
SD12	20.25	1.28E-04	Lefranc	fgR2_1
SD12	5.25	9.58E-05	Lefranc	fgR3_1
SD12	11.50	1.09E-05	Lefranc	fgR3_4
SD12	1.25	2.74E-04	Lefranc	R
SD13	19.20	4.34E-05	Lefranc	fgR2_1
SD13	4.00	9.34E-05	Lefranc	fgR3_1
SD13	7.00	4.07E-05	Lefranc	fgR3_1
SD13	1.75	2.58E-04	Lefranc	R
SD14	5.50	2.47E-04	Lefranc	fgR3_1
SD14	10.00	3.17E-05	Lefranc	fgR3_1
SD14	18.75	3.45E-05	Lefranc	fgR3_1
SD14	2.50	4.31E-04	Lefranc	R
SD15	18.50	4.67E-05	Lefranc	fgR2_1
SD15	5.75	1.43E-04	Lefranc	fgR3_1
SD15	10.00	3.20E-04	Lefranc	fgR3_1
SD15	2.50	2.18E-03	Lefranc	R
SD15	4.00	7.03E-04	Lefranc	R

Tabella 4-17 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2020-21 Verona Ovest

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
S6	2.0	9.39E-05	Lefranc	fgR2_1
S6	9.5	3.72E-04	Lefranc	fgR2_1
S6	15.5	3.64E-04	Lefranc	fgR2_1
S7	3.5	2.30E-04	Lefranc	fgR2_1
S7	14.0	7.12E-05	Lefranc	fgR2_1
S7	24.5	4.78E-05	Lefranc	fgR2_1
S7bis	34.0	4.86E-05	Lefranc	fgR2_1
S8	3.5	3.06E-05	Lefranc	fgR2_1
S8	5.0	2.21E-04	Lefranc	fgR2_1
S8	15.8	1.74E-05	Lefranc	fgR2_1
S8	33.5	2.71E-05	Lefranc	fgR2_1
S9	2.0	2.37E-04	Lefranc	fgR3_1
S9	11.3	4.09E-05	Lefranc	fgR3_1
S9	21.5	4.25E-05	Lefranc	fgR3_1
S10	4.3	1.89E-04	Lefranc	fgR3_1
S10	17.3	4.24E-05	Lefranc	fgR3_1
S10	27.5	3.53E-05	Lefranc	fgR3_1
S10	35.0	6.10E-05	Lefranc	fgR2_1
S10	38.3	1.01E-04	Lefranc	fgR2_1
S11	3.5	1.21E-04	Lefranc	fgR3_1
S11	14.5	2.75E-05	Lefranc	fgR3_1
S12	2.0	2.41E-04	Lefranc	fgR3_1
S12	11.0	6.99E-05	Lefranc	fgR3_1
S13	2.8	3.39E-04	Lefranc	fgR3_1
S13	8.5	7.66E-05	Lefranc	fgR3_1
S13	15.8	2.33E-05	Lefranc	fgR3_1
S13	27.8	3.04E-05	Lefranc	fgR3_1
S13	40.5	2.13E-05	Lefranc	fgR2_1
S14	4.3	2.07E-04	Lefranc	fgR3_1
S14	15.5	6.43E-05	Lefranc	fgR3_1
S14	24.5	4.87E-05	Lefranc	fgR3_1
S14	33.8	7.10E-05	Lefranc	fgR2_1
S15	3.5	1.38E-04	Lefranc	fgR3_1
S15	11.3	7.08E-05	Lefranc	fgR3_1
S15	27.5	3.15E-05	Lefranc	fgR3_1
S16	1.8	5.93E-04	Lefranc	fgR3_1
S16	3.5	1.60E-04	Lefranc	fgR3_1

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
S16	14.3	5.03E-05	Lefranc	fgR3_1
S16	23.3	3.13E-05	Lefranc	fgR3_1
S16	35.3	1.55E-05	Lefranc	fgR2_1
S19	2.3	3.90E-04	Lefranc	R
S19	6.8	6.84E-05	Lefranc	R
S19	12.8	3.98E-05	Lefranc	fgR3_1
S19	18.8	2.46E-05	Lefranc	fgR3_1
S19	29.3	2.12E-05	Lefranc	fgR3_1
S20	1.8	5.03E-04	Lefranc	fgR3_1
S20	9.5	5.33E-04	Lefranc	fgR3_1
S20	21.5	2.08E-05	Lefranc	fgR3_1
S21	3.5	3.22E-04	Lefranc	fgR3_1
S21	9.5	6.36E-05	Lefranc	fgR3_1
S21	15.8	1.81E-05	Lefranc	fgR3_1
S21	24.8	1.90E-05	Lefranc	fgR3_1
S22	2.5	1.41E-04	Lefranc	fgR2_1
S22	12.5	3.66E-05	Lefranc	fgR2_1
S22	25.5	1.82E-05	Lefranc	fgR2_1
S23	5.5	8.00E-05	Lefranc	fgR3_1
S23	12.8	2.32E-05	Lefranc	fgR3_1
S23	21.8	2.79E-05	Lefranc	fgR3_1

Tabella 4-18 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2020

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
VR01	25.25	1.10E-04	Lefranc	fgR2_1
VR01	12.25	4.66E-04	Lefranc	ALL1

Tabella 4-19 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2019.

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
BH1	1.5	4.34E-05	Lefranc	R
BH1	9.5	3.83E-05	Lefranc	fgR3_1
BH2	1.5	1.21E-04	Lefranc	R
BH2	11.3	3.95E-05	Lefranc	fgR3_1

Tabella 4-20 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2016

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
S01	8.8	4.11E-05	Lefranc	fgR3_1
S03	14.3	1.72E-05	Lefranc	fgR3_1

Tabella 4-21 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2014

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
SCL281R03	10.0	1.55E-05	Lefranc	fgR3_1
PNL281R02	25.3	7.62E-06	Lefranc	fgR3_1
DHL281R01	19.8	1.25E-05	Lefranc	fgR3_1

Tabella 4-22 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica ITALFERR 2003

Sigla	Profondità media (m da p.c.)	K (m/s)	Tipo di prova	Unità geologica di riferimento
XL281RG05	28.4	1.49E-04	Lefranc	fgR3_1
XL281RG04	22.8	2.67E-04	Lefranc	fgR3_1

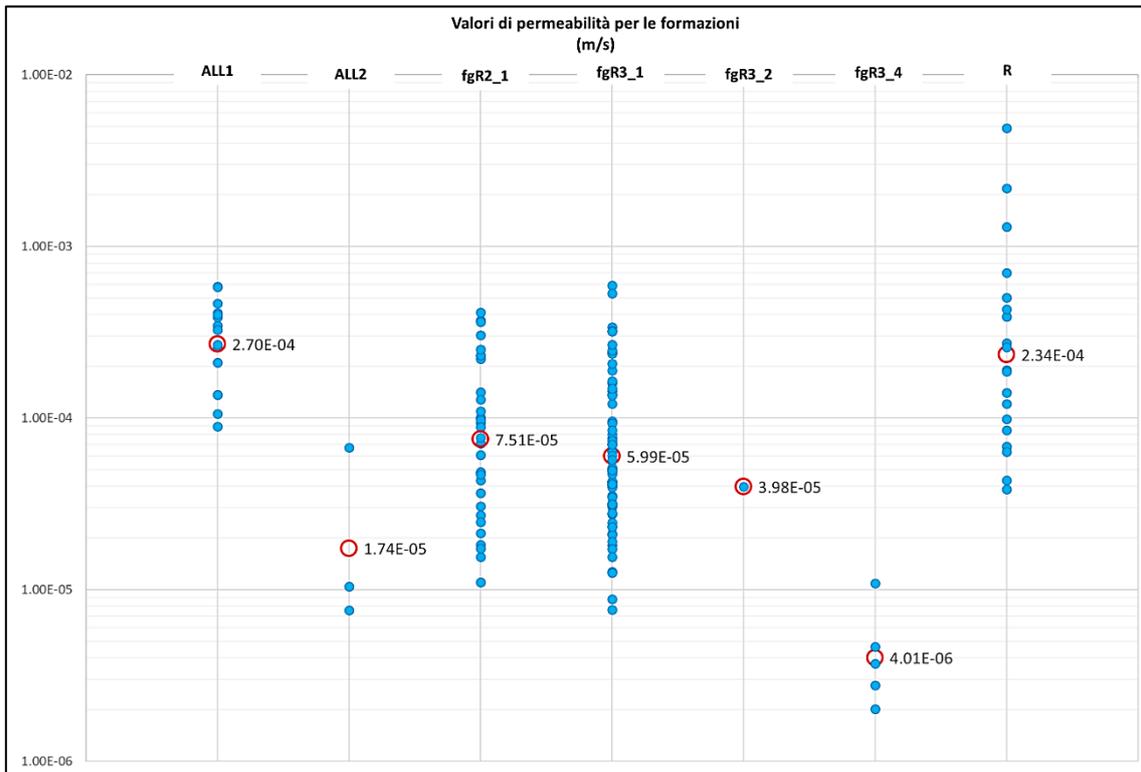


Figura 12 - Variazione dei valori di permeabilità per le unità geologiche e per il riporto

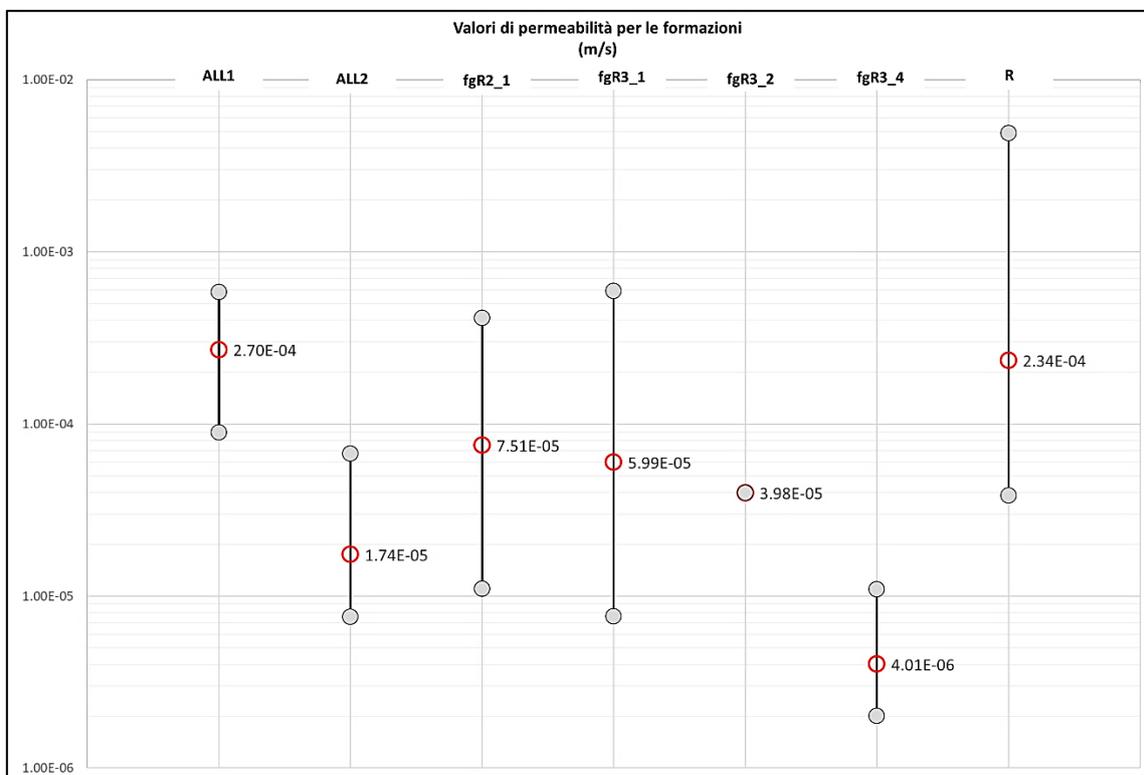


Figura 13 - Valore massimo, minimo e medio di permeabilità per le unità geologiche e per il riporto

Nei grafici che seguono si riportano i valori di permeabilità in rapporto ai complessi idrogeologici individuati (vedi par. 4.5).

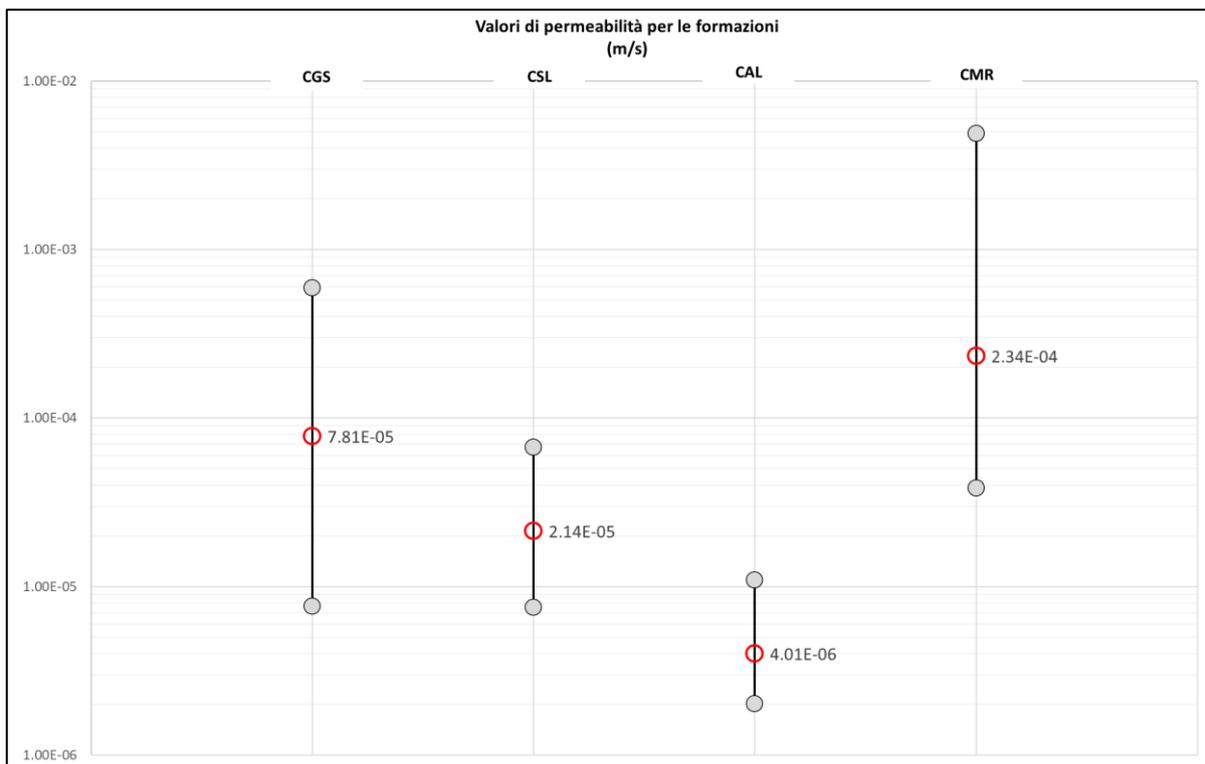
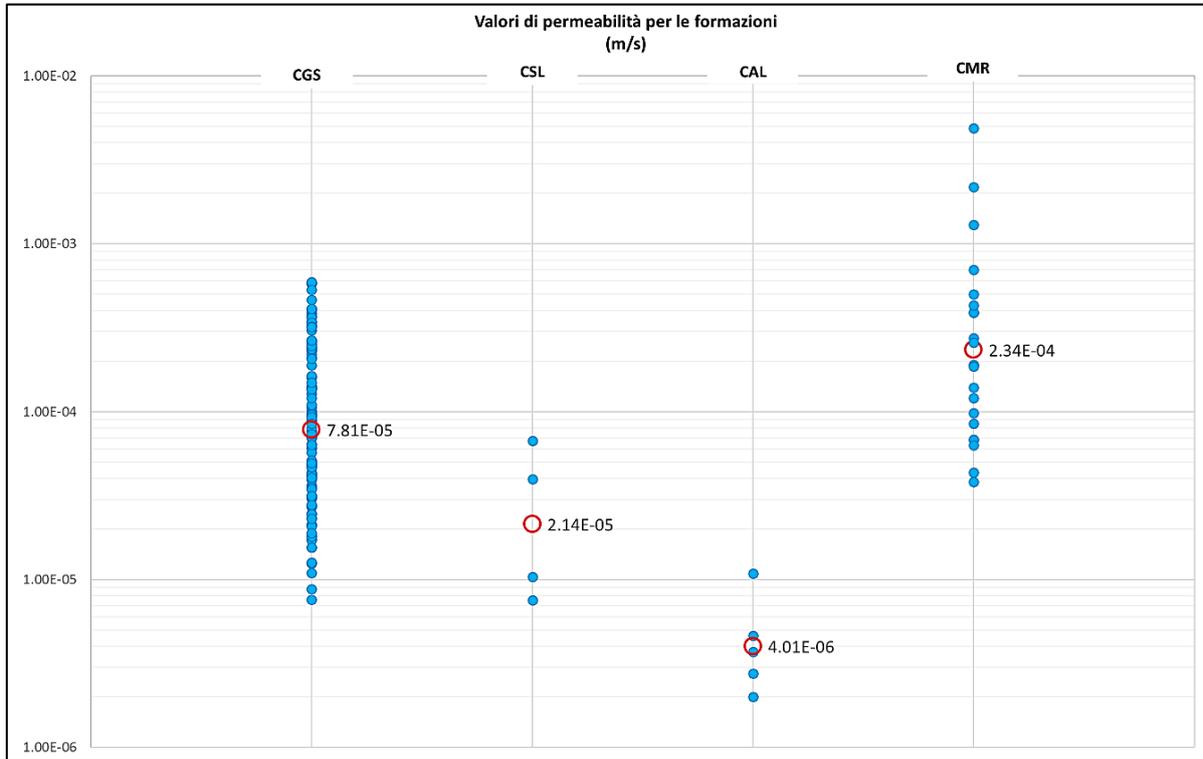


Figura 14 - Valori di permeabilità dei complessi idrogeologici.

4.12 Monitoraggio piezometrico

Il monitoraggio piezometrico della nuova campagna indagini è iniziato a marzo 2021 ed è tutt'ora in corso. Sono ancora in corso anche i monitoraggi delle precedenti campagne indagini ITALFERR.

Piezometri installati

Nelle tabelle che seguono si riportano le caratteristiche dei piezometri installati in riferimento alle varie campagne di indagine.

Tabella 4-23 - Piezometri Italferr 2021 - Verona EST

Sondaggio	Profondità (m)	Strumentazione	Tratto fenestrato (m)
SD3	50	Piezometro Tubo Aperto 2"	15.0÷30.0
SD2	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	33.0÷40.0
SD4	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
SD5	30	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷30.0
SD9	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	3.0÷40.0
SD10	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷21.0
SD12	42	Piezometro Tubo Aperto 2"	4.0÷40.0
SD13	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷26.0
SD14	42	Piezometro Tubo Aperto 2"	24.0÷40.0
SD15	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0

Tabella 4-24 - Piezometri Italferr 2020-21 - Verona Ovest

Sondaggio	Profondità (m)	Strumentazione	Tratto fenestrato (m)
S1	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S2	50	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷50.0
S4	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S5	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S6	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	3.0÷40.0
S7	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S8	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	3.0÷40.0
S9	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S11	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S12	42	Piezometro Tubo Aperto 2"	36.0÷42.0
S13	50	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷50.0
S14	42	Piezometro Tubo Aperto 2"	34.0÷42.0
S15	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S16	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S19	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	9.0÷30.0
S20	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0

Sondaggio	Profondità (m)	Strumentazione	Tratto fenestrato (m)
S22	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0
S23	40	Piezometro Tubo Aperto 2"	6.0÷40.0

Tabella 4-25 - Piezometri Italferr 2016

Sondaggio	Profondità (m)	Strumentazione	Tratto fenestrato (m)
S01	30	Piezometro Tubo Aperto 3"	15.0÷30.0
S02	30	Piezometro Tubo Aperto 3"	15.0÷30.0

Tabella 4-26 - Piezometri Italferr 2014

Sondaggio	Profondità (m)	Strumentazione	Tratto fenestrato (m)
PNL281R02	30	Piezometro Tubo Aperto 3"	12.0÷30.0
SCL281R03	30	Piezometro Tubo Aperto 3"	15.0÷30.0
PNL281R04	30	Piezometro Tubo Aperto 3"	15.0÷30.0

Tabella 4-27 - Piezometri Italferr 2003

Sondaggio	Profondità (m)	Strumentazione	Tratto fenestrato (m)
XL281PG01	50	Piezometro Tubo Aperto 1.5"	24.0÷50.0
XL281RG04	35	Piezometro Tubo Aperto 1.5"	18.0÷35.0
XL281RG05	30	Piezometro Tubo Aperto 1.5"	18.0÷30.0

Si riportano nel seguito i livelli piezometrici rilevati contemporaneamente alla perforazione dei sondaggi nel periodo Ottobre 2020 – Febbraio 2021, e successivamente nel periodo marzo/agosto-2021.

Tabella 4-28 – Monitoraggio piezometrico ottobre 2020 - febbraio 2021

SONDAGGIO	Prof. (m da p.c.)	Tratto microfessurato (m)	Data di installazione	ott-20	nov-20	dic-20	gen-21	feb-21
S1	40.00	6.00/40.00	14.11.2020		32.32			33.18
S2	50.00	6.00/40.00	03.11.2020		33.69			34.72
S4	40.00	6.00/40.00	18.12.2020			33.92	33.74	34.10
S5	40.00	6.00/40.00	19.11.2020		32.56			33.43
S6	40.00	3.00/40.00	27.10.2020	25.02	32.37			33.63
S7	40.00	6.00/40.00	01.12.2020			26.37		33.88

SONDAGGIO	Prof. (m da p.c.)	Tratto microfessurato (m)	Data di installazione	ott-20	nov-20	dic-20	gen-21	feb-21
S8	40.00	3.00/40.00	02.11.2020		32.34			33.22
S9	40.00	6.00/40.00	01.12.2020			22.75		23.21
S11	40.00	6.00/40.00	27.11.2020		22.79	22.92		23.40
S12	42.00	36.00/40.00	01.12.2020			24.42		24.85
S13	50.00	6.00/50.00	15.01.2021				33.74	24.78
S14	42.00	34.00/40.00	14.12.2020			23.00		23.56
S16	40.00	6.00/40.00	05.02.2021					23.47
S15	40.00	6.00/40.00	12.01.2021				27.05	27.40
S19	30.00	9.00/40.00	14.01.2021				19.30	19.66
S20	40.00	6.00/40.00	27.11.2020		21.28			25.83
S22	40.00	6.00/40.00	18.11.2020		30.36			31.10
S23	40.00	6.00/40.00	26.01.2021				19.35	19.57

Tabella 4-29 - Monitoraggio piezometrico marzo-agosto 2021

PIEZOM. Sigla	17/03	27/04	25/05	05/07	27/07	24/08	05/10	26/10	17/11
	m da p.c.								
S1	33,40	33,67	33,55	32,85	32,25	31,75	31,50	32,05	32,60
S2	34,93	35,30	35,10	34,50	33,85	33,40	33,10	33,65	34,25
S4	34,33	34,66	34,47	33,80	33,25	32,75	32,50	33,00	33,55
S5	33,62	15,02	27,80	32,80	32,10	32,20	31,80	32,40	32,90
S6	33,80	34,22	34,00	33,35	32,80	32,40	32,05	32,60	33,10
S7	34,10	21,00	24,20	22,45	23,60	22,40	32,30	32,85	33,35
S8	33,43	33,80	33,62	32,95	32,45	31,95	31,65	32,20	32,70
S9	23,40	23,80	23,63	23,00	22,55	22,10	21,80	22,30	22,75
S11	23,57	24,00	23,80	23,15	22,70	22,20	21,90	22,45	22,90
S12	25,05	25,43	25,25	24,70	24,20	23,70	23,55	23,95	24,40
S13	24,95	25,30	25,15	24,60	24,20	23,75	23,50	23,90	24,35
S14	23,80	24,13	23,93	23,45	23,00	22,50	22,30	22,75	23,15
S15	27,55	27,90	27,70	27,20	26,80	26,30	26,10	26,50	non acc.
S16	23,73	24,00	23,83	23,30	22,85	22,40	22,20	22,60	23,05
S19	19,87	20,20	20,15	19,90	19,65	19,20	19,00	19,20	19,35
S20	26,00	26,35	26,20	25,70	25,25	24,80	24,60	25,00	25,45
S22	31,35	31,70	31,50	30,85	30,30	29,85	29,55	30,10	30,60
S23	19,75	20,17	20,00	19,55	19,20	18,75	18,50	18,80	19,20
SD2_est	20,93	21,25	21,15	20,70	20,30	19,90	19,70	20,00	20,40
SD3_est	19,85	20,20	20,05	19,70	19,30	18,80	18,60	18,90	19,30

PIEZOM. Sigla	17/03	27/04	25/05	05/07	27/07	24/08	05/10	26/10	17/11
	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.
SD4_est	18,75	19,00	non acc.	18,65	18,50	18,15	non acc.	18,25	18,30
SD9_est	non realiz.	non realiz.	3,90	3,80	3,60	3,40	3,50	non acc.	3,70
SD10_est	non realiz.	8,10	7,63	7,55	7,50	7,30	7,65	7,65	7,75
SD12_est	non realiz.	6,00	5,65	5,50	5,35	5,10	non acc.	5,40	5,50
SD13_est	non realiz.	10,65	10,40	10,45	10,50	10,40	10,70	10,75	10,75
SD14_est	10,35	10,66	10,30	10,30	10,15	10,00	10,10	10,25	10,35
SD15_est	non realiz.	19,53	19,43	19,15	18,80	18,40	18,20	18,40	18,60
BH1	-	-	-	-	-	18,50	18,40	18,60	18,65
S01	20,15	20,50	20,35	20,00	19,55	19,20	18,90	19,20	19,55
S02	20,02	20,37	20,18	19,95	19,80	19,40	19,30	19,40	19,55
PNL281R02	24,77	25,10	24,90	24,40	23,95	23,50	23,25	23,70	24,15
SCL281R03	28,25	28,70	28,45	27,80	27,25	26,85	26,40	27,10	27,60
PNL281R04	asciutto	asciutto	asciutto	29,70	29,20	28,70	28,40	non acc.	non acc.
PNIB01C01	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	non acc.	asciutto
PNIB01C03	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
PNIB01O04	26,90	28,00	27,75	27,25	27,10	26,70	27,05	27,45	28,00
PNIB01G09	asciutto	asciutto	asciutto	29,65	29,35	28,75	28,85	29,30	29,85
PNIB01G10	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
PNIB01G14	13,55	13,92	13,75	13,20	12,80	12,30	12,15	12,50	12,90
XL281PG01	7,47	7,75	7,50	7,20	6,90	6,65	6,60	6,90	7,00
XL281RG04	19,30	19,62	19,50	19,20	18,80	18,40	18,20	18,40	18,70
XL281RG05	24,80	25,12	25,00	24,50	24,10	23,70	23,40	23,80	24,20

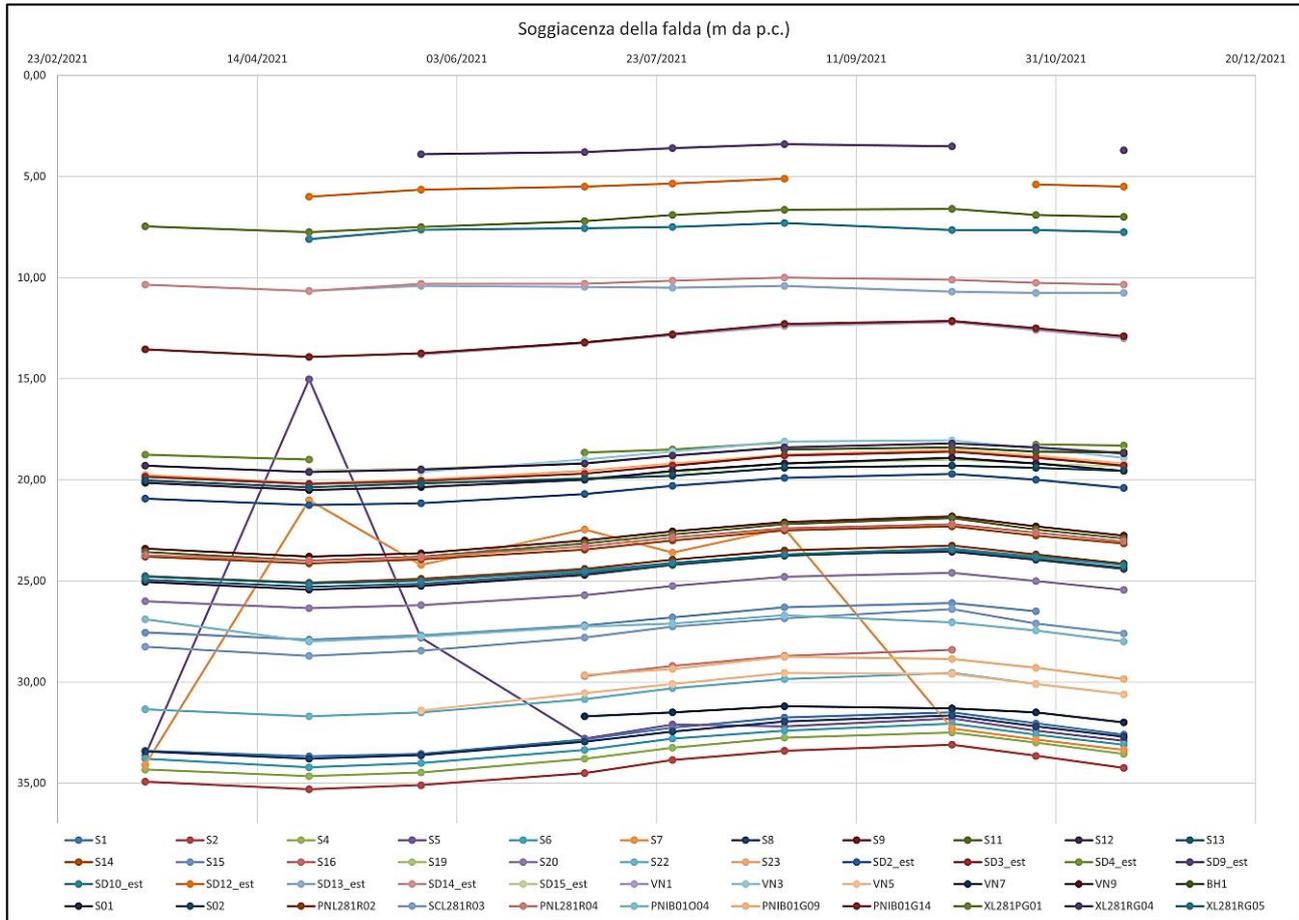


Figura 15 - Grafico dell'andamento dei livelli di falda misurati da marzo 2021 a novembre 2021. Per i grafici e le letture di dettaglio si rimanda al "Report monitoraggio piezometrico" (Cod. IN1A20D69RHGE0002001A)

4.13 INDAGINI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

ANALISI GRANULOMETRICHE

Nella tabella 4-30 si riportano i risultati delle analisi granulometriche eseguite nelle varie campagne di indagine che si sono succedute.

Come si evince chiaramente dalla tabella i risultati hanno mostrato che il materiale preso in esame rientra essenzialmente nella categoria delle ghiaie, ghiaie-sabbiose e sabbie-ghiaiose. Su n.206 campioni analizzati solo n.26, pari al 12,7 %, risultano a composizione limoso-argillosa (evidenziati in verde nella tabella).

con percentuali di argilla + limo non superiori al 25%, salvo casi statisticamente irrilevanti. Le uniche eccezioni sono i campioni S9, S11, S23, S19, che sono indubbiamente classificabili come limi.

La maggior parte delle curve granulometriche presentano coeff. di uniformità superiori a 4 e coeff. di curvatura compresi fra 1 e 3, segno che si tratta di suoli ben gradati e ben assortiti.

Per quanto riguarda la possibilità di utilizzare miscele di iniezione per consolidare porzioni di terreno, l'analisi dei campioni mostra che il terreno esaminato è suscettibile di essere trattato con iniezioni poiché la maggior parte dei campioni stessi ha un D10 maggiore di 0,02 mm e solo n.62 dati presentano un valore minore (celle evidenziate in rosso).

Tabella 4-30 - Distribuzione granulometrica dei campioni analizzati

Id. campione			Granulometria							
Sond.	Campione	Prof. (m)	Ghiaia G (%)	Sabbia S (%)	Limo L (%)	L + A (%)	Argilla A (%)	D60 (mm)	D10 (mm)	Coeff. di uniformità
SD2_EST	CR1	3,20	63,45	25,45	7,72	11,10	3,38	8,20	0,040	205,00
SD2_EST	CR2	9,20	65,23	21,09	9,74	13,68	3,95	12,00	0,020	600,00
SD2_EST	CR3	15,20	66,74	27,06	/	6,20	/	9,00	0,190	47,37
SD2_EST	CR4	18,80	21,48	25,79	46,93	52,74	5,80	0,18	0,004	45,00
SD2_EST	CR6	25,20	31,73	55,97	9,37	12,30	2,92	0,75	0,030	25,00
SD2_EST	CR7	32,60	0,01	29,14	51,17	70,85	19,68	0,036	0,001	36,00
SD3_EST	CR1	6,20	62,49	25,11	9,01	12,40	3,38	11,00	0,030	366,67
SD3_EST	CR3	24,20	40,61	36,89	16,47	22,50	6,03	2,00	0,005	400,00
SD3_EST	CI1	33,00	0,00	10,42	61,93	89,58	27,55	0,018	0,001	18,00
SD4_EST	CR1	3,20	81,90	13,61	/	4,50	/	21,00	6,000	3,50
SD4_EST	CR2	6,20	54,57	25,44	13,59	19,99	6,39	7,50	0,006	1250,00
SD4_EST	CR3	9,20	62,99	27,00	7,01	10,01	2,99	8,00	0,060	133,33
SD4_EST	CR4	15,20	59,42	26,67	9,82	13,91	4,09	7,80	0,016	487,50
SD4_EST	CR5	24,20	60,75	33,81	/	5,44	/	7,50	0,220	34,09
SD4_EST	CR6	29,00	0,03	8,26	80,33	91,71	11,38	0,02	0,002	13,13
SD4_EST	CI1	32,50	0,00	8,63	51,68	91,37	39,68	0,008	0,001	8,00
SD5_EST	CR1	3,20	50,85	37,09	10,10	12,06	1,96	4,00	0,030	133,33
SD5_EST	CR2	7,70	75,57	16,94	/	7,49	/	22,00	0,200	110,00
SD5_EST	CI1	22,00	1,33	14,89	55,64	83,78	28,14	0,015	0,001	15,00

Id. campione			Granulometria							
Sond.	Campione	Prof. (m)	Ghiaia G (%)	Sabbia S (%)	Limo L (%)	L + A (%)	Argilla A (%)	D60 (mm)	D10 (mm)	Coeff. di uniformità
SD5_EST	CR4	24,20	45,17	34,93	15,89	19,90	4,01	3,50	0,012	291,67
SD6_EST	CR1	3,20	68,36	19,83	9,50	11,81	2,31	21,00	0,030	700,00
SD6_EST	CR3	9,60	0,02	1,91	83,74	98,07	14,32	0,016	0,001	16,00
SD6_EST	CR4	10,60	0,16	23,95	64,43	75,89	11,46	0,035	0,001	35,00
SD6_EST	CI1	16,30	0,02	7,83	75,49	92,15	16,65	0,018	0,001	18,00
SD6_EST	CR5	17,60	0,28	75,39	19,25	24,33	5,08	0,300	0,005	60,00
SD6_EST	CI2	19,20	1,92	16,19	52,17	81,89	29,71	0,016	0,001	16,00
SD9_EST	CR1	/	4,87	24,06	56,38	71,07	14,69	0,03	0,001	26,00
SD9_EST	CR2	7,70	71,14	24,85	/	4,01	/	15,00	0,250	60,00
SD9_EST	CR3	13,00	0,02	8,46	76,56	91,52	14,96	0,018	0,001	18,00
SD9_EST	CR4	17,60	0,00	53,14	34,90	46,86	11,96	0,09	0,001	90,00
SD9_EST	CI1	19,00	0,42	25,06	45,77	74,52	28,74	0,021	0,001	21,00
SD9_EST	CR5	20,00	14,41	41,35	31,95	44,24	12,29	0,27	0,001	270,00
SD9_EST	CR6	26,00	41,72	42,33	12,68	15,95	3,27	2,50	0,016	156,25
SD10_EST	CR1	4,70	82,30	9,84	/	7,86	/	28,00	0,150	186,67
SD10_EST	CR2	9,40	29,20	57,33	12,02	13,47	1,45	0,65	0,028	23,21
SD10_EST	CR3	15,20	46,04	26,06	22,90	27,90	5,00	5,00	0,006	833,33
SD10_EST	CI1	23,40	0,01	15,76	60,86	84,23	23,37	0,03	0,001	28,00
SD12_EST	CR1	3,00	78,47	13,74	/	7,80	/	35,00	0,150	233,33
SD12_EST	CR2	8,60	69,91	26,69	/	3,40	/	14,00	0,250	56,00
SD12_EST	CR3	16,60	18,04	71,04	9,45	10,92	1,47	0,35	0,035	10,00
SD12_EST	CI1	19,35	0,48	18,75	54,81	80,77	25,97	0,025	0,001	25,00
SD12_EST	CR6	38,00	62,98	29,66	/	7,35	/	11,00	0,016	687,50
SD13_EST	CR1	3,20	69,34	22,60	/	8,06	/	13,00	0,180	72,22
SD13_EST	CR2	9,20	49,99	25,88	18,33	24,13	5,81	5,00	0,004	1250,00
SD13_EST	CR4	18,20	15,83	45,09	33,19	39,08	5,88	0,210	0,004	56,76
SD13_EST	CR5	19,00	14,41	69,80	12,57	15,79	3,22	0,33	0,020	16,50
SD13_EST	CI1	28,50	0,02	20,91	35,12	79,07	43,95	0,011	0,001	11,00
SD14_EST	CR1	1,70	55,24	27,83	14,90	16,93	2,02	7,60	0,015	300,00
SD14_EST	CR2	7,70	70,42	19,79	7,38	9,79	2,41	18,00	0,060	55,56
SD14_EST	CR5	22,00	0,56	75,38	18,16	24,06	5,91	0,250	0,005	32,00
SD14_EST	CR6	23,00	0,02	28,54	46,18	71,44	25,25	0,032	0,001	32,00
SD14_EST	CR8	33,20	29,18	41,08	24,19	29,74	5,55	0,75	0,005	150,00
SD15_EST	CR1	3,20	76,30	17,20	/	6,49	/	29,00	0,250	116,00
SD15_EST	CR2	7,70	62,31	27,57	8,06	10,12	2,05	9,00	0,060	150,00
SD15_EST	CR3	18,20	61,67	26,35	9,23	11,98	2,75	10,00	0,030	333,33
SD15_EST	CR5	29,20	0,45	13,71	73,04	85,84	12,80	0,03	0,001	30,00
SD15_EST	CR8	33,20	0,00	2,54	55,59	97,46	41,87	0,008	0,001	16,00
SD15_EST	CR6	33,20	44,75	35,85	14,46	19,40	4,94	4,50	0,008	562,50
SD1_2021	CR1	3.70	16.9	77.8		5.30		0.81	0.157	5.16

Id. campione			Granulometria							
Sond.	Campione	Prof. (m)	Ghiaia G (%)	Sabbia S (%)	Limo L (%)	L + A (%)	Argilla A (%)	D60 (mm)	D10 (mm)	Coeff. di uniformità
SD1_2021	CR2	7.70	62.2	33.8		4,00		8,89	0,243	36,53
SD1_2021	CR3	15.20	0,70	73,90	20,60		4,80	0,31	0,005	62,23
SD1_2021	CR4	17.00	0.0	3.7	55.6		40.7	0,01	0,001	12,08
SD1_2021	CR5	25.70	4.0	82.7	10.9		2.4	0,69	0,025	27,50
SD1_2021	CR6	33.20	3.4	78.9	13.1		4.6	0,60	0,011	55,20
SD1_2021	CR7	39.60	25.2	69.2		5,60		0,89	0,205	4,32
SD2_2021	CR1	1.70	12.8	86.1		1,10		0,72	0,278	2,61
SD2_2021	CR2	6.20	60.1	35.8		4,10		8,67	0,322	26,93
SD2_2021	CR3	11.60	39.2	55.2		5,60		1,84	0,216	8,53
SD2_2021	CI1	16.50	1,30	25,80	31,80		41,10	0,02	0,001	24,21
SD2_2021	CR4	20.00	23.9	55.9	16,00		4,20	0,69	0,007	102,83
SD2_2021	CR5	24.20	1.1	89.8		9,10		0,40	0,001	396,42
SD2_2021	CR6	31.60	38.3	43.8	13,50		4,40	1,66	0,009	186,43
SD2_2021	CR7	44.00	59.2	32.7		8,10		7,43	0,107	69,27
VR1_2020	CR1	11,00	66,00	21,90	12,10			7,60	0,060	126,67
VR1_2020	CR2	14,00	85,80	10,30	3,90			15,00	1,400	10,71
VR1_2020	CI1	22,00	2,00	18,50	59,50		20,00	0,008	0,001	8,00
VR1_2020	CR3	25,00	61,80	32,30	5,90			8,50	0,240	35,42
VR1_2020	CR4	29,00	57,70	33,50	8,80			15,00	0,100	150,00
VR1_2020	CR5	33,00	57,90	34,90	7,20			17,00	0,150	113,33
VR1_2020	CR6	48,00	18,20	62,10	19,70			0,36	0,042	8,57
S2_ovest		1,5	55,1	42,16	/	2,74	/		0,425	
S2_ovest		6,2	30,79	48,12	14,24	21,08	6,84		0,012	
S2_ovest		12,2	48,73	38,94	7,46	12,33	4,87		0,043	
S2_ovest		18,2	50,41	38,21	6,8	11,38	4,58		0,059	
S2_ovest		27,2	53,07	35,87	7,31	11,05	3,74		0,059	
S2_ovest		33,2	32,42	46,2	11,66	21,38	9,72		0,006	
S5_ovest		1,6	67,43	24,75	/	7,83	/		0,425	
S5_ovest		3	55,77	31,93	7,08	12,3	5,22		0,058	
S5_ovest		9	67,55	28,03	/	4,41	/		0,850	
S5_ovest		17	33,85	42,17	13,47	23,98	10,51		0,006	
S5_ovest		28	38,21	42,53	10,75	19,26	8,51		0,008	
S4_ovest		4,6	61,42	30,49	/	8,09	/		0,180	
S4_ovest		12,1	37,82	37,07	15,1	25,11	10,01		0,006	
S4_ovest		34	40,4	47,51	6,52	12,09	5,57		0,041	
S6_ovest		1,7	67,83	25,11	/	7,05	/		0,425	
S6_ovest		11	60,12	30,14	/	9,74	/		0,106	
S6_ovest		21,2	60,27	31,56	/	8,16	/		0,425	
S7_ovest		2,1	69,82	15,85	10,97	14,34	3,37		0,042	
S7_ovest		9,1	69,04	22,74	/	8,22	/		0,425	

Id. campione			Granulometria							
Sond.	Campione	Prof. (m)	Ghiaia G (%)	Sabbia S (%)	Limo L (%)	L + A (%)	Argilla A (%)	D60 (mm)	D10 (mm)	Coeff. di uniformità
S7_ovest		18,1	42,86	39,64	10,26	17,49	7,24		0,012	
S8_ovest		3,2	58,95	33,2	/	7,85	/		0,425	
S8_ovest		6,2	71,46	23,62	/	4,92	/		0,850	
S8_ovest		12,2	45,19	37,81	10,4	17	6,6		0,016	
S8_ovest		21,2	52,15	37,6	5,78	10,26	4,47		0,075	
S22_ovest		3,1	59,3	32,23	/	8,47	/		0,425	
S22_ovest		9,1	59,43	32,46	/	8,11	/		0,425	
S22_ovest		18,1	64,21	29,71	/	6,08	/		0,425	
S22_ovest		28,1	48,71	40,94	6,71	10,35	3,64		0,075	
S11_ovest		3,1	61,27	25,75	6,9	12,98	6,08			
S11_ovest		6,1	44,35	37,59	8,91	18,06	9,15			
S11_ovest		16	60	29,37	6,52	10,63	4,12			
S11_ovest		28,65	0	4,7	45,28	95,3	50,02			
S9_ovest		4,6	66,02	23,42	5,67	10,56	4,88			
S9_ovest		7,6	62,41	29,35	/	8,25	/			
S9_ovest		12,1	45,08	43,62	6,17	11,3	5,13			
S9_ovest		21,1	57,1	32,26	7,32	10,64	3,32			
S9_ovest		29,2	0	14,1	42,36	85,91	43,55			
S9_ovest		31	50,76	37,72	7,24	11,51	4,27			
S10_ovest		3,2	48,88	36,88	7,95	14,24	6,29			
S10_ovest		9,1	48,56	38,06	7,74	13,38	5,64			
S10_ovest		15,2	52,98	34,8	7,52	12,22	4,7			
S15_ovest		34,5	0,04	19,39	41,22	80,57	39,35			
S20_ovest		3,2	41,12	43,7	10,99	15,18	4,19			
S20_ovest		9,1	38,66	42,73	12,73	18,61	5,88			
S20_ovest		15,1	42	41,59	10,31	16,41	6,1			
S20_ovest		18,2	38,47	46,35	8,25	15,19	6,93			
S23_ovest		3,2	45,82	43,01	6,03	11,17	5,14			
S23_ovest		9,2	52,89	40,06	/	7,05	/			
S23_ovest		30	0	7,43	65,55	92,57	27,02			
S19_ovest		3,2	61,25	27,21	7,47	11,53	4,06			
S19_ovest		7	47,81	37,46	8,84	14,73	5,9			
S19_ovest		11	8,82	13,97	56,33	77,21	20,88			
S19_ovest		12,2	0,28	34,39	44,1	65,3	21,27			
S19_ovest		33	0	7,82	37,2	92,2	54,95			
S1_2016	CR1	3,00	74,10	19,60		6,30		18,00	0,400	45,00
S1_2016	CR2	6,30	73,90	18,90		7,20		12,00	0,200	60,00
S1_2016	CR3	9,50	61,10	27,30		11,60		7,00	0,060	116,67
S1_2016	CR4	12,50	74,30	18,30		7,40		10,50	0,200	52,50
S1_2016	CR5	15,00	54,30	36,80		8,90		6,00	0,080	75,00

Id. campione			Granulometria							
Sond.	Campione	Prof. (m)	Ghiaia G (%)	Sabbia S (%)	Limo L (%)	L + A (%)	Argilla A (%)	D60 (mm)	D10 (mm)	Coeff. di uniformità
S1_2016	CR6	19,00	56,30	23,70		20,00		7,50	0,015	500,00
S1_2016	CR7	21,50	68,30	25,90		5,80		10,30	0,250	41,20
S1_2016	CR8	29,50	69,30	25,00		5,70		10,10	0,290	34,83
S2_2016	CR1	14,50	64,70	24,70		10,60		10,00	0,060	166,67
S2_2016	CR2	17,50	62,40	30,00		7,60		6,50	0,160	40,63
S2_2016	CR3	21,50	35,20	37,20		27,60		1,00	0,012	83,33
S2_2016	CR4	24,00	42,00	32,20		25,80		2,50	0,013	192,31
S2_2016	CR5	26,00	52,80	36,50		10,70		4,75	0,060	79,17
S2_2016	CR6	28,00	39,90	34,10		26,00		2,00	0,015	133,33
S3_2016	CR1	1,50	1,00	75,80		23,20		0,18	0,022	8,18
S3_2016	CR2	5,00	77,20	13,10		9,70		12,30	0,060	205,00
S3_2016	CR3	7,50	72,10	23,70		4,20		12,00	0,250	48,00
S3_2016	CR4	10,50	63,30	26,20		10,50		7,80	0,060	130,00
S3_2016	CR5	13,50	72,80	24,40		2,80		12,00	0,420	28,57
S3_2016	CR6	16,50	0,00	90,40		9,60		0,26	0,060	4,33
S3_2016	CI1	18,00	0,00	3,60		96,40		0,008	0,001	7,80
S3_2016	CR7	19,50	0,00	15,40		84,60		0,01	0,001	10,00
S3_2016	CR8	22,50	69,80	23,80		6,40		12,00	0,200	60,00
S3_2016	CR9	25,50	64,90	27,50		7,60		10,70	0,150	71,33
S3_2016	CR10	28,50	71,50	18,80		9,70		16,00	0,060	266,67
S3_2016	CR11	31,00	66,80	25,30		7,90		19,00	0,150	126,67
S3_2016	CR12	35,00	68,20	27,20		4,60		19,00	0,190	100,00
S3_2016	CR13	39,50	17,70	65,90		16,40		0,34	0,028	12,14
S3_2016	CR14	45,40	10,20	79,30		10,50		0,32	0,063	5,08
S3_2016	CR15	49,50	69,80	24,10		6,10		17,00	0,130	130,77
S4_2016	CR1	5,00	65,70	28,80		5,50		9,50	0,250	38,00
S4_2016	CR2	9,50	18,10	72,30		9,60		0,52	0,060	8,67
S4_2016	CR3	12,00	75,10	22,60		2,30		14,00	0,360	38,89
S4_2016	CR4	15,50	63,70	25,70		10,60		8,50	0,063	134,92
S4_2016	CR5	19,50	0,00	66,00		34,00		0,21	0,010	21,00
S4_2016	CI1	21,50	0,00	8,80		91,20		0,012	0,002	8,00
S4_2016	CR6	24,00	40,60	22,20		37,20		2,000	0,002	1000,00
S4_2016	CR7	27,00	57,80	24,10		18,10		12,500	0,008	1562,50
S5_2016	CR1	3,50	67,40	16,90		15,70		12,50	0,014	892,86
S5_2016	CR2	9,00	63,60	34,10		2,30		12,00	0,330	36,36
S5_2016	CR3	10,50	41,40	53,60		5,00		2,70	0,130	20,77
S5_2016	CR4	14,00	72,60	24,90		2,50		15,00	0,320	46,88
S5_2016	CI1	18,00	0,00	16,40		83,60		0,014	0,001	10,00
S5_2016	CR5	21,00	64,20	24,30		11,50		15,00	0,060	250,00
S5_2016	CR6	23,50	64,20	27,80		8,00		8,00	0,110	72,73

Id. campione			Granulometria							
Sond.	Campione	Prof. (m)	Ghiaia G (%)	Sabbia S (%)	Limo L (%)	L + A (%)	Argilla A (%)	D60 (mm)	D10 (mm)	Coeff. di uniformità
DHL281O05-2014		3	58,8	20,4	6,4	8,3	1,9		0,159	
DHL281O05-2014		6	54,4	32,9	9,9	12,7	2,8		0,040	
DHL281O05-2014		9	69,2	18,4	8,9	12,4	3,5		0,039	
DHL281O05-2014		12	52,6	33	11,5	14,4	2,9		0,029	
DHL281O05-2014		15	60,6	28,8	8,4	10,6	2,2		0,055	
DHL281O05-2014		18	59,6	28,1	9,5	12,3	2,8		0,039	
DHL281O05-2014		21	55,3	32,4		12,3			0,074	
DHL281O05-2014		27	65,5	24		10,5			0,074	
DHL281O05-2014		29,5	61,1	28,8		10,1			0,074	
PNL281R04-2014		3	78,1	16,2	4,6	5,7	1,1		0,420	
PNL281R04-2014		6	64,3	24,3	8,8	11,4	2,6		0,040	
PNL281R04-2014		9	61,1	26,3	8,8	12,6	3,8			
PNL281R04-2014		12	56,9	29,8		10,6			0,074	
PNL281R04-2014		15	57,1	33,1		9,8			0,074	
PNL281R04-2014		18	59,3	31,4		9,3			0,149	
PNL281R04-2014		21	60,4	28		11,6			0,074	
PNL281R04-2014		24	61,7	28,2		10,1			0,074	
PNL281R04-2014		27	32,7	28		9,3			0,149	
SCL281R03-2014		3	63,2	25,5	7,9				0,074	
SCL281R03-2014		6	63	26,8	7,5				0,074	
SCL281R03-2014		9	66,7	23,8	6,9				0,149	
SCL281R03-2014		12	71,8	18,2	7,1				0,074	
SCL281R03-2014		15	56,8	28,3	12,3				0,029	
SCL281R03-2014		18	76,5	17,3	4,5				0,420	
SCL281R03-2014		21	75,1	19,4		5,5			0,420	
SCL281R03-2014		27	82,4	14,8		2,8				
SCL281R03-2014		29,5	71,8	24,4		3,8				

PROVE DI LABORATORIO

Nelle tabelle 4-31 e 4-32 seguenti si riportano i risultati delle analisi geotecniche di laboratorio eseguite su n. 35 campioni di terreno, 18 rimaneggiati e 17 indisturbati, prelevati nel corso delle perforazioni di sondaggio dalle unità limoso-argillosa e sabbioso-limosa.

Sono state eseguite:

- n.17 prove di taglio diretto
- n. 6 prove di taglio triassiali UU, non consolidate e non drenate
- n. 6 prove di taglio triassiali CIU, consolidate e non drenate
- n. 5 prove di taglio triassiali CID, consolidate e drenate.

Tabella 4-31 - Analisi geotecniche di laboratorio su campioni sabbioso-limosi

Sond.	Camp.	Prof. (m)	Taglio Diretto	
			Coesione c' (kPa)	Angolo ϕ' (°)
SD6_EST	CR5	17,60	0,90	39,30
SD9_EST	CR4	17,60	2,20	38,30
SD14_EST	CR5	22,00	1,10	34,10
SD2_2021	CR5	24,20	0,00	33,90
S9_ovest	CR8	29,20	12,60	20,80
S11_ovest	CR8	28,65	1,20	27,40
S20_ovest	CR1	3,20	12,20	38,60
S20_ovest	CR4	18,20	13,20	38,90
media			5,43	33,91
min			0,00	20,80
max			13,20	39,30

Tabella 4-32 - Analisi geotecniche di laboratorio su campioni argilloso-limosi

Sond.	Camp.	Prof. (m)	Taglio Diretto		TRX UU cu (kPa)	TRX (ciu - cid)				Edom Eed (kPa)
			Coesione c' (kPa)	Angolo ϕ' (°)		TRX c' (kPa)	TRX ϕ' (°)	TRX CU c cu (kPa)	TRX CU ϕ cu (°)	
SD2_EST	CR4	18,80	31,80	29,60						
SD2_EST	CR7	32,60	1,80	26,90						
SD3_EST	CI1	33,00			112,00					
SD4_EST	CR6	29,00	1,30	27,40						
SD4_EST	CI1	32,50			124,00					

Sond.	Camp.	Prof. (m)	Taglio Diretto		TRX UU	TRX (ciu - cid)				Edom Eed (kPa)
			Coesione c' (kPa)	Angolo ϕ' (°)	TRX UU cu (kPa)	TRX c' (kPa)	TRX ϕ' (°)	TRX CU c cu (kPa)	TRX CU ϕ cu (°)	
SD5_EST	CI1	22,00			97,00					
SD6_EST	CR3	9,60								6249,00
SD6_EST	CR4	10,60	1,30	29,10						
SD6_EST	CI1	16,30				34,00	30,30	54,00	25,90	
SD6_EST	CI2	19,20								8414,00
SD9_EST	CR3	13,00	1,90	29,10						
SD9_EST	CI1	19,00				2,00	29,50	43,00	14,80	
SD10_EST	CI1	23,40				11,00	30,10	29,00	17,10	7491,00
SD12_EST	CI1	19,35			121,00					
SD13_EST	CR5	19,00	8,60	33,40						
SD13_EST	CI1	28,50				23,00	25,00			
SD14_EST	CR6	23,00								11154,00
SD15_EST	CR5	29,20	6,40	33,80						
S3_2016	CI1	18,00				0,00	26,40			
S4_2016	CI1	21,50	0,00	25,00						
S5_2016	CI1	18,00				0,00	22,60			
VR1_2020	CI1	22,00				0,00	25,00			
SD1_2021	CR4	17,00	8,60	26,40	70,00					
SD2_2021	CI1	16,50			127,00	12,00	27,40			
S9_ovest	CI1	29,20				69,00				
S13_ovest	CI1	30,00				12,00	23,10			
S20_ovest	CI1	12,20				24,00	24,30			

media	6,86	28,97	108,50	17,00	27,04	42,00	19,27	8327,00
min	0,00	25,00	70,00	0,00	22,60	29,00	14,80	6249,00
max	31,80	33,80	127,00	69,00	30,30	54,00	25,90	11154,00

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Si riporta nel seguito la caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti lungo il tracciato ferroviario del Nodo Verona AV/AC di Verona, elaborata in base alle risultanze di tutte le indagini svolte in sito ed in laboratorio, già descritte nel capitolo precedente.

La predominanza di terreni granulari di natura ghiaiosa e sabbiosa, e la conseguente impossibilità al campionamento per analisi di laboratorio, richiede l'adozione di modalità di caratterizzazione basate sugli esiti di prove geotecniche in sito, quali prove penetrometriche SPT.

L'esperienza maturata nei numerosi lavori effettuati, applicando il metodo degli Standard Penetration Test (SPT), ha evidenziato che per ottenere parametri geotecnici attendibili è opportuno elaborare i dati degli SPT con più metodi a confronto. Ciò permette di scegliere con maggiore attendibilità il valore più appropriato per il caso in esame.

I dati geotecnici e la descrizione geologica permettono di definire le unità geotecniche che sono poi caratterizzate puntualmente mediante le principali correlazioni disponibili in letteratura.

Tale caratterizzazione è posta a base del profilo geotecnico-geomeccanico che sintetizzerà tutti gli elementi di base utili per il dimensionamento di tutti gli interventi lungo il tracciato.

5.1 Criteri di interpretazione delle indagini geotecniche e correlazioni utilizzate

Ai fini della caratterizzazione dei terreni si è fatto riferimento ai risultati delle:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati;
- indagini sismiche (prove Cross-hole, Down-Hole, MASW).

5.2 Normalizzazione dei valori SPT

I valori delle prove SPT, somma dei valori N_2 e N_3 , sono stati normalizzati in funzione della tensione verticale efficace σ'_{vo} secondo la formulazione proposta da Liao & Whitman (1986):

$$N_{1(60)} = C_N * N_{SPT}$$

$$\text{Con } C_N = (\sigma'_0 / \sigma'_{vo})^{0,5}$$

dove:

σ'_0 : pressione di riferimento – 100 kPa;

σ'_{vo} : pressione verticale efficace alla quota della prova

Nel caso di valori a rifiuto negli strati 2 e 3, si è adottato un valore $N_{SPT} = 2N_1$. I casi di rifiuto nel primo strato sono stati scartati dalle statistiche.

- Stima della densità relativa D_r

- *Skempton, 1986*

$$D_r = \left[\frac{N_{SPT}}{20 \cdot \left(2 + \frac{\sigma'_v}{p_a} \right)} \right]^{0.5}$$

- *Bazaraa, 1967*

Nelle elaborazioni che seguono la densità relativa D_r è stata determinata con la correlazione di *Bazaraa* (1967), definita dall'autore in base a sperimentazioni in sito, muovendo dalla critica alle correlazioni di laboratorio che non considerano fattori di primaria importanza per i depositi naturali quali cementazione, invecchiamento e storia dello stato tensionale. Sono state così definite le seguenti due relazioni:

$$\text{Per } \sigma'_v \leq 0,732 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow D_r^2 = \frac{N_{spt}}{20 \cdot (1 + 4,1 \cdot \sigma'_{vo})}$$

$$\text{Per } \sigma'_v > 0,732 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow D_r^2 = \frac{N_{spt}}{20 \cdot (3,24 + 1,024 \cdot \sigma'_{vo})}$$

- Stima dell'angolo di resistenza al taglio – ϕ

L'angolo di resistenza al taglio è stato stimato in modo indiretto a partire dai valori di densità relativa, utilizzando alcune delle più consolidate correlazioni. In questa sede si è optato per le seguenti:

- *Schmertmann, 1977*

$\phi'(^{\circ}) = 28 + 0,14 \cdot D_R$	Sabbia fine uniforme
$\phi'(^{\circ}) = 31,5 + 0,115 \cdot D_R$	Sabbia media uniforme e sabbia fine ben gradata
$\phi'(^{\circ}) = 34,5 + 0,10 \cdot D_R$	Sabbia grossa uniforme e sabbia media ben gradata
$\phi'(^{\circ}) = 38 + 0,08 \cdot D_R$	Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa

Nel nostro caso si utilizzerà la formulazione relativa al fuso 4 per ghiaia media e fine, sabbia e ghiaia poco limosa.

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

- **Bolton, 1986**

Poiché sono disponibili alcuni risultati di prove di taglio diretto, è possibile adottare la formulazione proposta da Bolton a partire dal valore di φ'_{cv} , che nel nostro caso assumeremo cautelativamente pari a 35° , coerente con quanto riportato in letteratura per sabbie ben gradate (33° - 38°), ed in ogni caso inferiore ai risultati di prove TD, che danno valori superiori a 35° .

La formulazione generale è la seguente:

$$\varphi' = \varphi'_{cv} + m * D_R * [Q - \ln(p'_f)] - 1$$

dove:

φ'	angolo di resistenza al taglio di picco riferito a pressioni di 272 kPa
φ'_{cv}	angolo di resistenza al taglio a volume costante = 35°
m	=3
p'_f	=380 kPa
Q	=10

- **Pasqualini, 1983**

Secondo quanto riportato dal prof. Pasqualini (*Bellotti et al., 1983*) l'angolo di attrito φ' può essere valutato in base a N_{SPT} e allo sforzo verticale efficace σ'_{v0} mediante le seguenti due correlazioni utilizzate in Giappone e che sono in ottimo accordo con la correlazione proposta da De Mello (1971):

$$\varphi' = \sqrt{15N_{SPT}} + 15 \quad (\text{Road Bridge Specification})$$

$$\varphi' = 0.3 \cdot N_{SPT} + 20 \quad (\text{Japanese National Railway})$$

• **Stima dei parametri di deformabilità**

I moduli elastici iniziali di taglio G_0 e di Young E_0 possono essere determinati secondo le seguenti due relazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{g} (V_s)^2 \quad [kPa]$$

$$E_0 = 2 \cdot (1 + \nu') \cdot G_0 \quad [kPa]$$

dove:

γ_t = peso dell'unità di volume del terreno naturale in kN/m^3

g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2)

ν' = rapporto di Poisson del terreno ($0.15 \div 0.20$)

V_s = velocità delle onde di taglio in m/s

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

La velocità delle onde di taglio V_s può essere ricavata dalle prove SPT secondo la correlazione proposta da Ohta e Goto (1978):

$$V_s = C \cdot N^{0.171} \cdot z^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad [m/s]$$

con:

$$C = 67.3$$

z = profondità dal piano campagna in metri

f_A = coefficiente dell'epoca geologica del deposito (*Olocene* -> 1.0)

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (*Ghiaie e sabbie* -> 1.15)

Moduli elastici operativi

A causa del comportamento non lineare dei terreni i moduli di deformazione subiscono variazioni in funzione delle pressioni efficaci medie, dei livelli di deformazione indotti o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio. Peraltro la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche dipende anche dal metodo di analisi adottato.

La risposta sforzi-deformazioni è di tipo lineare per deformazioni inferiori allo 0,001%. Per deformazioni superiori, tipicamente comprese fra lo 0,1% e 1,0% per le opere geotecniche, occorre operare una riduzione dei moduli deformativi, che tenga conto del decadimento delle caratteristiche dei materiali coinvolti in funzione delle deformazioni indotte.

I valori di calcolo saranno scelti secondo i seguenti criteri:

- Rilevati: $E'_{RIL} = E_0/10$
- Opere d'arte: $E'_{OC} = E_0/5$

I moduli elastici “operativi” per sabbie e ghiaie possono essere ricavati direttamente dalle prove SPT. Secondo *Jamiolkowski et al.* (1988) per la stima dei moduli elastici operativi in base ai risultati di prove SPT valgono le seguenti relazioni:

- $E'_{25} = (10.5 - 3.5 \cdot D_R) \cdot \frac{N_{SPT}}{10}$ [Mpa] per terreni normalconsolidati
- $E'_{25} = (52.5 - 35 \cdot D_R) \cdot \frac{N_{SPT}}{10}$ [Mpa] per terreni sovraconsolidati

dove:

E'_{25} = modulo di Young secante in corrispondenza di un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%

D_R = densità relativa - N_{SPT} = numero di colpi della prova SPT

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

5.3 Moduli di reazione orizzontale alla Matlock & Reese (1960)

Nel progetto delle fondazioni profonde su pali i moduli di reazione orizzontale iniziali (E_{Hi}) alla Matlock & Reese (1960), utili per definire la parte iniziale delle curve p-y, verranno valutati in accordo alla seguente espressione:

$$E_{Hi} = k_{Hi} \cdot z \quad (\text{kPa})$$

essendo:

k_{Hi} = gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale, riportato nella tabella 5-1 (vedi Reese et al, 1974 e Elson, 1984) (kN/m^3)

z = profondità dal piano campagna originario.

Tabella 5-1 - Gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale

D_r (%)	K_{hi} (kN/m^3)
35%	6000 ÷ 10000
50%	12000 ÷ 17000
70%	20000 ÷ 25000

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

5.4 Risultati delle prove SPT

Come descritto nei capitoli precedenti nell'area in esame affiorano diffusamente depositi alluvionali di natura essenzialmente ghiaiosa e sabbioso-ghiaiosa. Relativamente alle prove in foro di sondaggio, sono state eseguite n. 179 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) e n. 57 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Nei n. 13 sondaggi geognostici a carotaggio continuo realizzati specificatamente ai fini del presente progetto definitivo, le prove penetrometriche effettuate restituiscono valori di N_{spt} nel complesso elevati, anche nella porzione più superficiale di sottosuolo, con prove spesso a rifiuto anche nei primi 10 m da piano campagna.

Valori così elevati di N_{spt} dipendono sia dalla litologia dei terreni (poiché i metri sono costituiti essenzialmente da terre granulari, con presenza di ghiaie grossolane e ciottoli), sia dalle caratteristiche genetiche dei depositi. In figura 10 si riporta una sintesi dei risultati delle prove SPT in funzione della profondità di esecuzione delle singole prove; si consideri che in questo grafico sono stati esclusi i valori "a rifiuto" (ovvero il 41% del totale delle prove eseguite). Su un totale di n. 179 prove SPT, i valori non "a rifiuto" sono quindi n. 105.

Il raggiungimento del "rifiuto" e, quindi, la fine della prova si determinano per un numero di colpi superiore a 50 per l'infissione nei primi 15 cm, oppure per un numero di colpi superiore a 100 per l'infissione nel secondo e terzo tratto (ultimi 30 cm).

Dal grafico nella Fig. 16 si nota come i valori di N_{spt} siano effettivamente elevati per la maggior parte delle prove eseguite (anche a profondità ridotte), ma anche una leggera correlazione tra l'aumento della profondità e dei valori di N_{spt} .

Le successive figure 17, 18 e 19 illustrano la distribuzione delle frazioni granulometriche (secondo la classificazione AGI) risultante dalle prove granulometriche di laboratorio condotte su n. 71 campioni (n. 11 campioni indisturbati e n. 60 rimaneggiati), da cui ben si nota la prevalenza della componente ghiaiosa nei primi 10 m di sottosuolo, poi marcatamente sostituita da terreni a granulometria più fine (accorpendo le abbondanze percentuali di limi e argille).

Le sabbie mostrano invece un trend simile a quello delle terre coesive e inverso rispetto a quello delle ghiaie, con le maggiori abbondanze comprese tra 15 e 40 m da p.c.

A seguire nella figura 20 si riporta la distribuzione con la profondità dei valori di Densità relativa. Dal grafico si evidenziano i valori decisamente alti anche nei livelli più superficiali, con una sensibile tendenza ad aumentare con l'approfondimento.

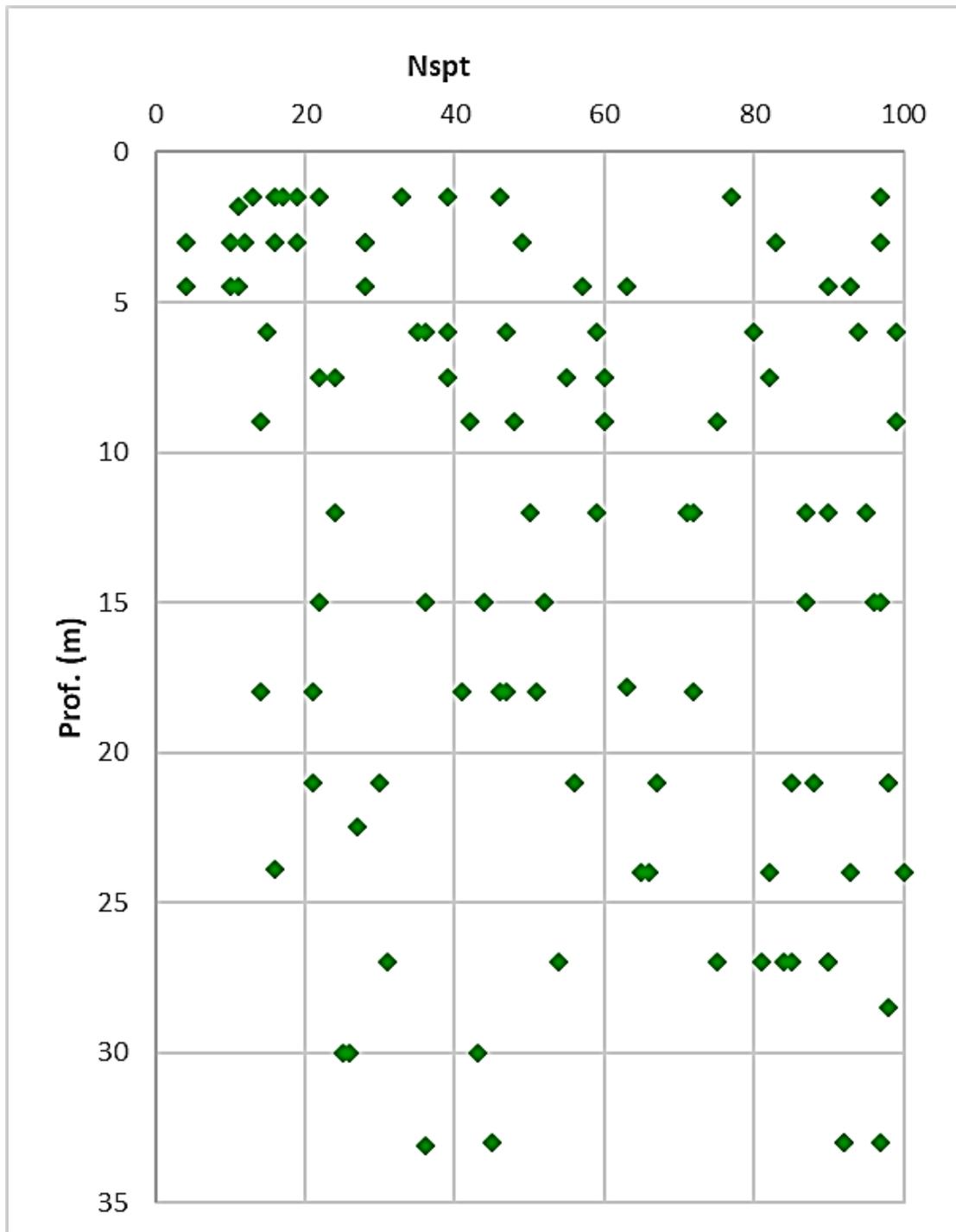


Figura 16 - Distribuzione della resistenza alla penetrazione (Nspt) in funzione della profondità

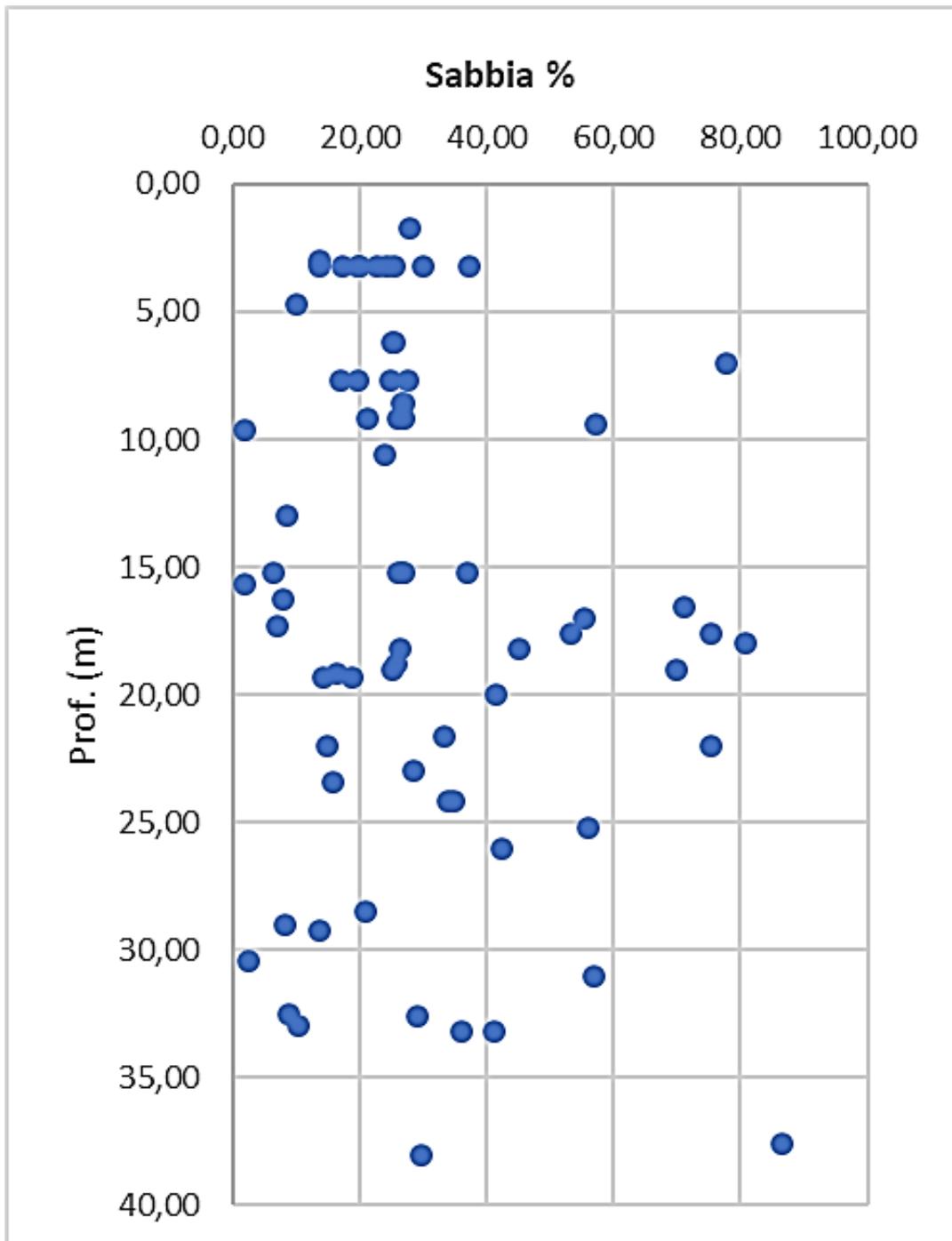


Figura 18 - Distribuzione della frazione granulometrica sabbiosa (classificazione AGI)

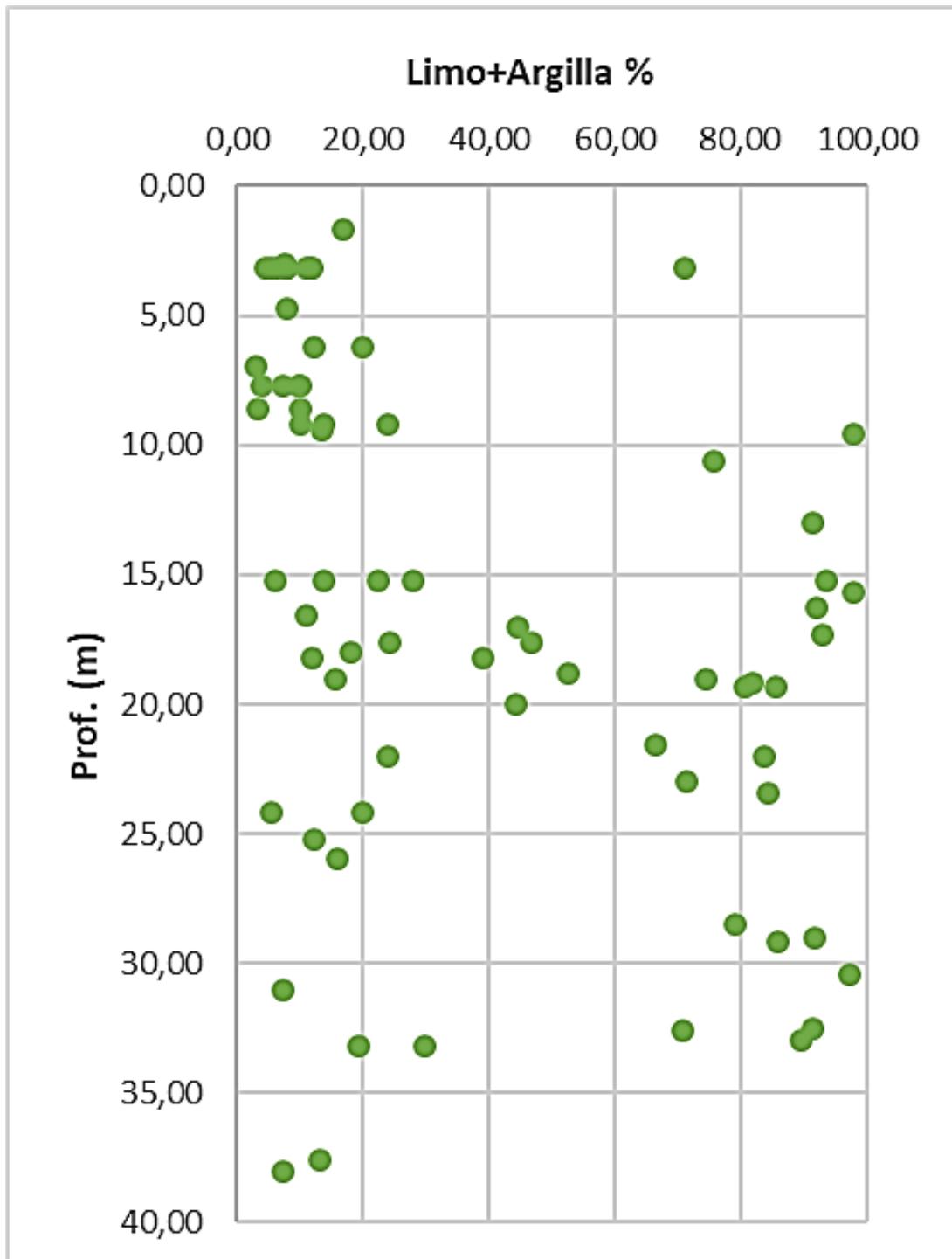


Figura 19 - Distribuzione della frazione granulometrica fine limoso-argillosa (classificazione AGI)

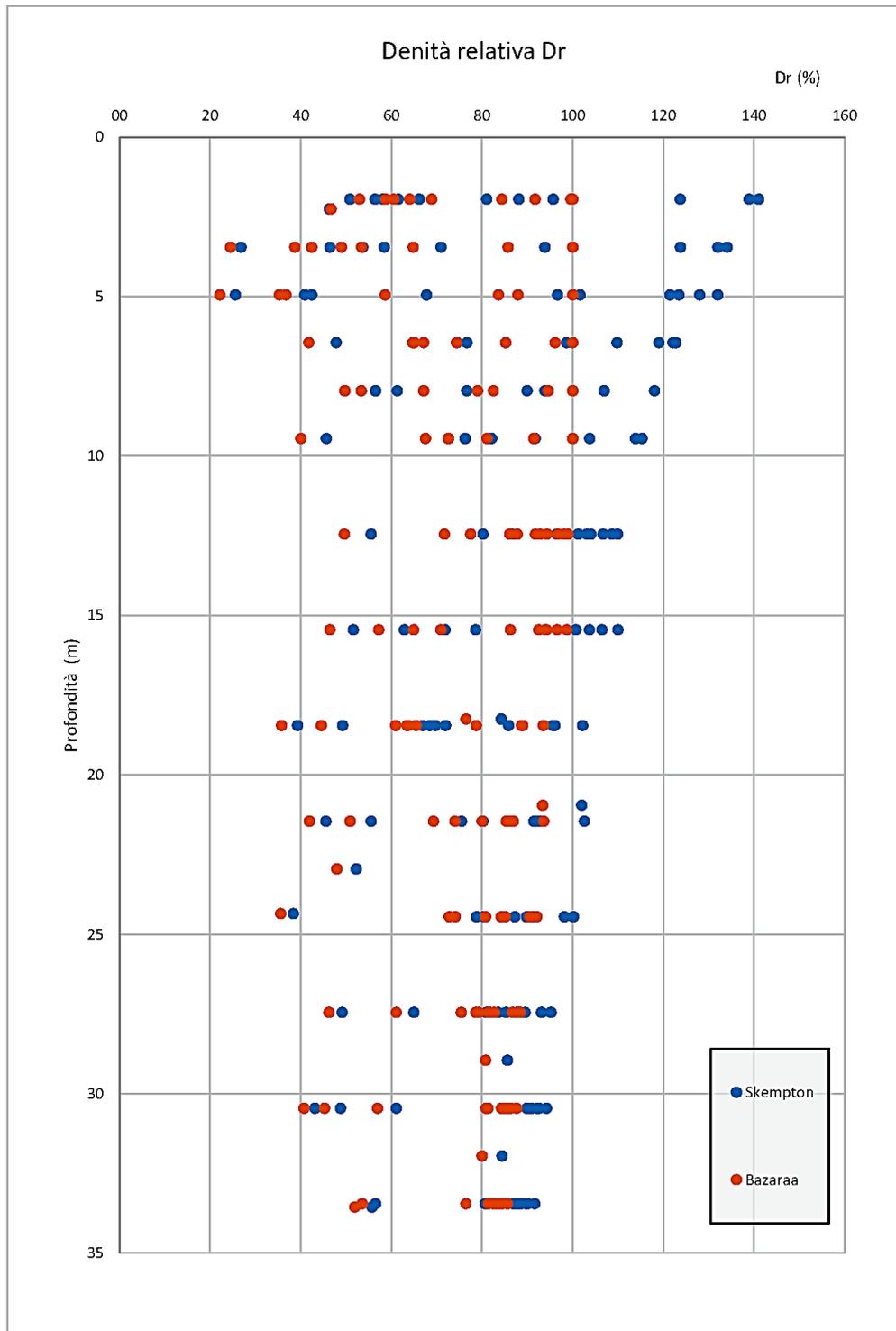
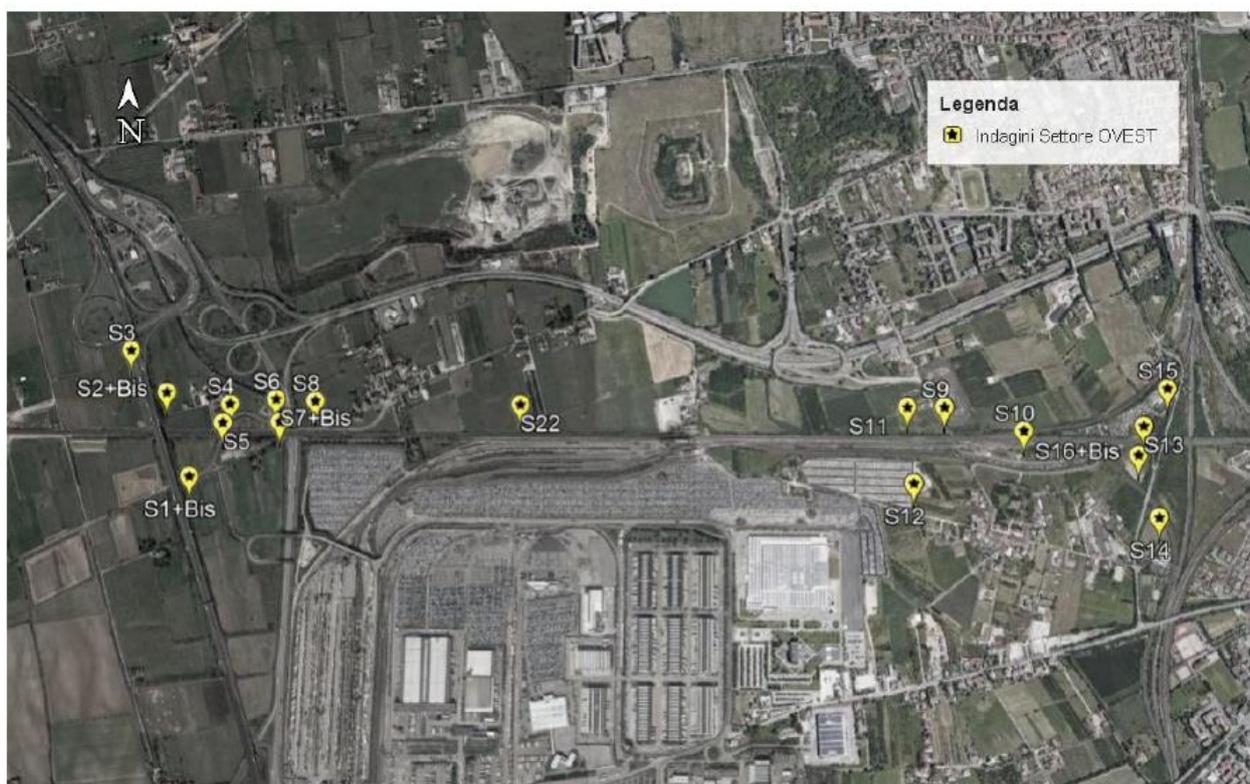
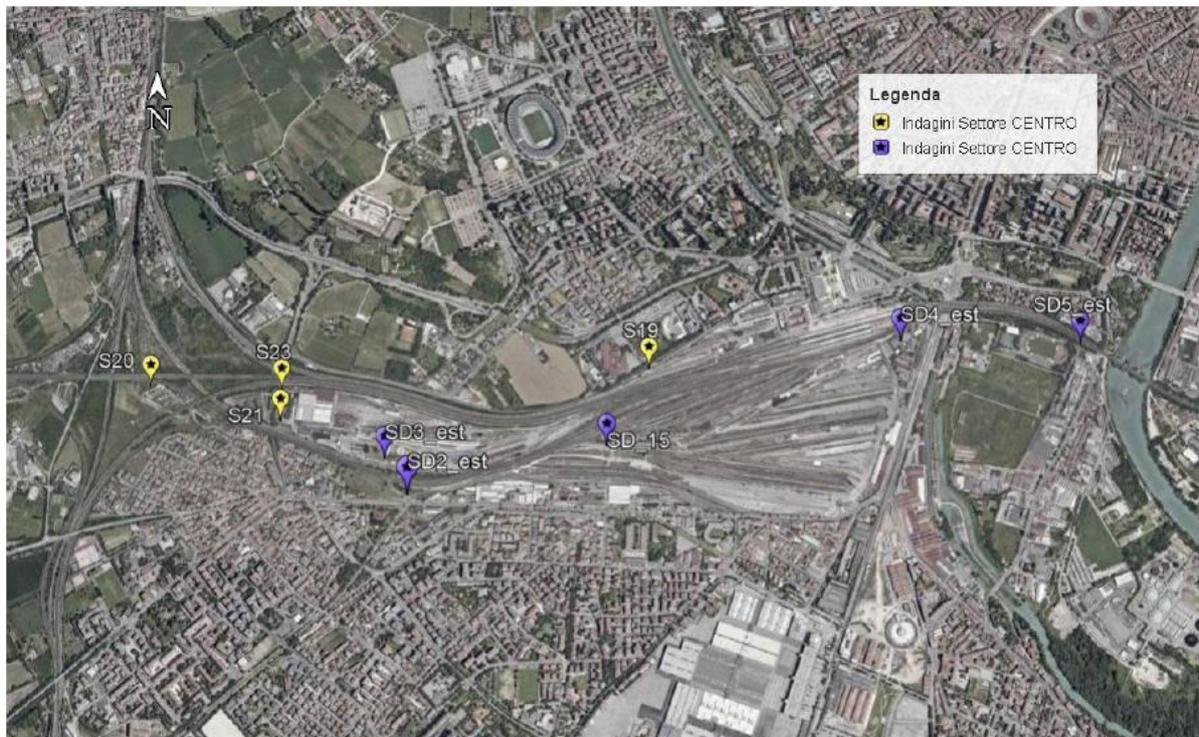


Figura 20 - Distribuzione dei valori di Densità relativa Dr con la profondità

Per quanto riguarda i parametri di resistenza e deformabilità nella tabella e nelle figure seguenti si riporta una sintesi della distribuzione dei valori medi dell'angolo di resistenza al taglio e dei moduli di elasticità, determinati sulla base delle risultanze disponibili per l'unità predominante ghiaioso-sabbiosa, rivenienti dal complesso delle prove SPT effettuate, riferiti alle sezioni principali del tracciato di progetto: settore ovest – scalo Cason, settore centrale Porta Nuova, settore est – Porta Vescovo.



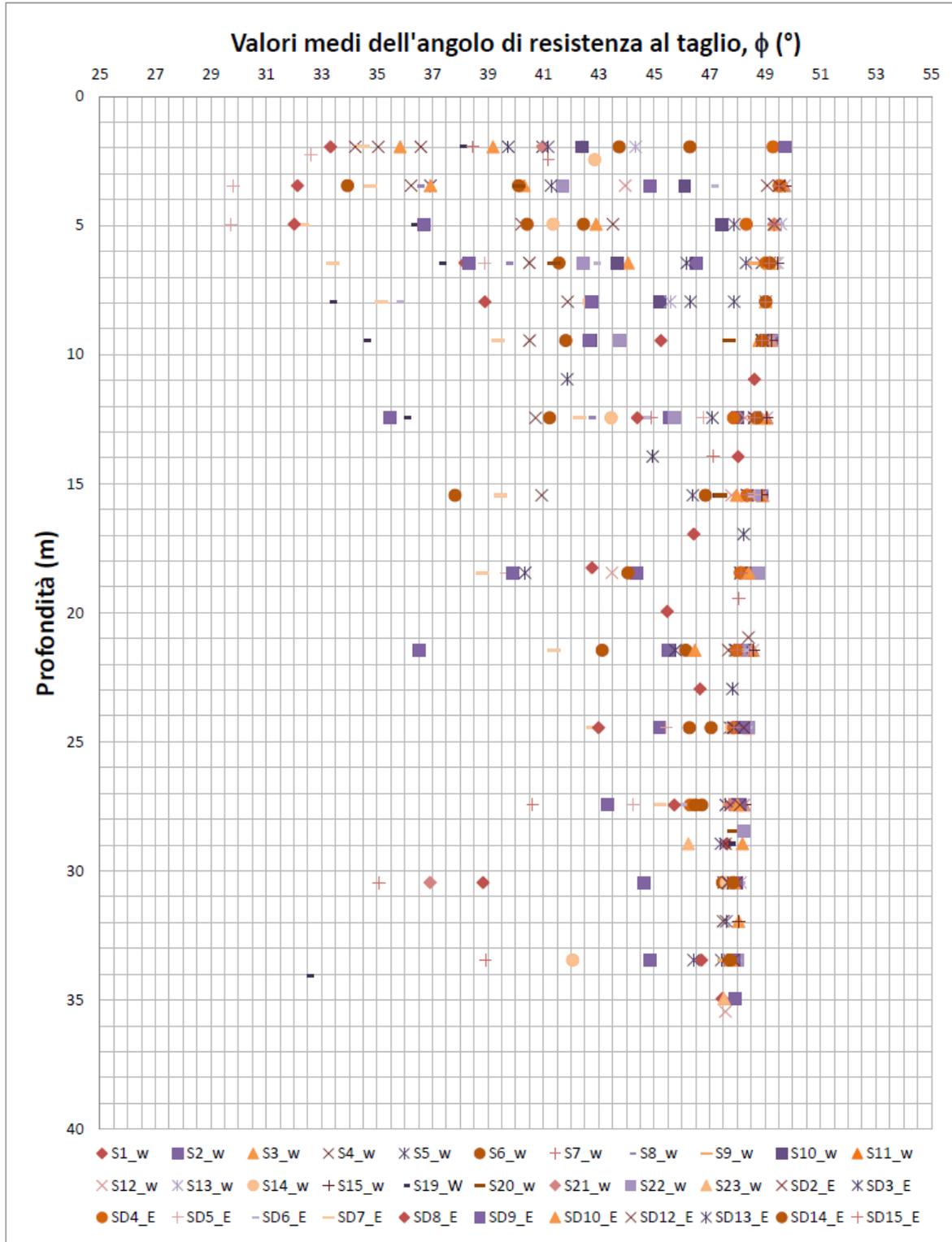
Ubicazione indagini Settore Ovest

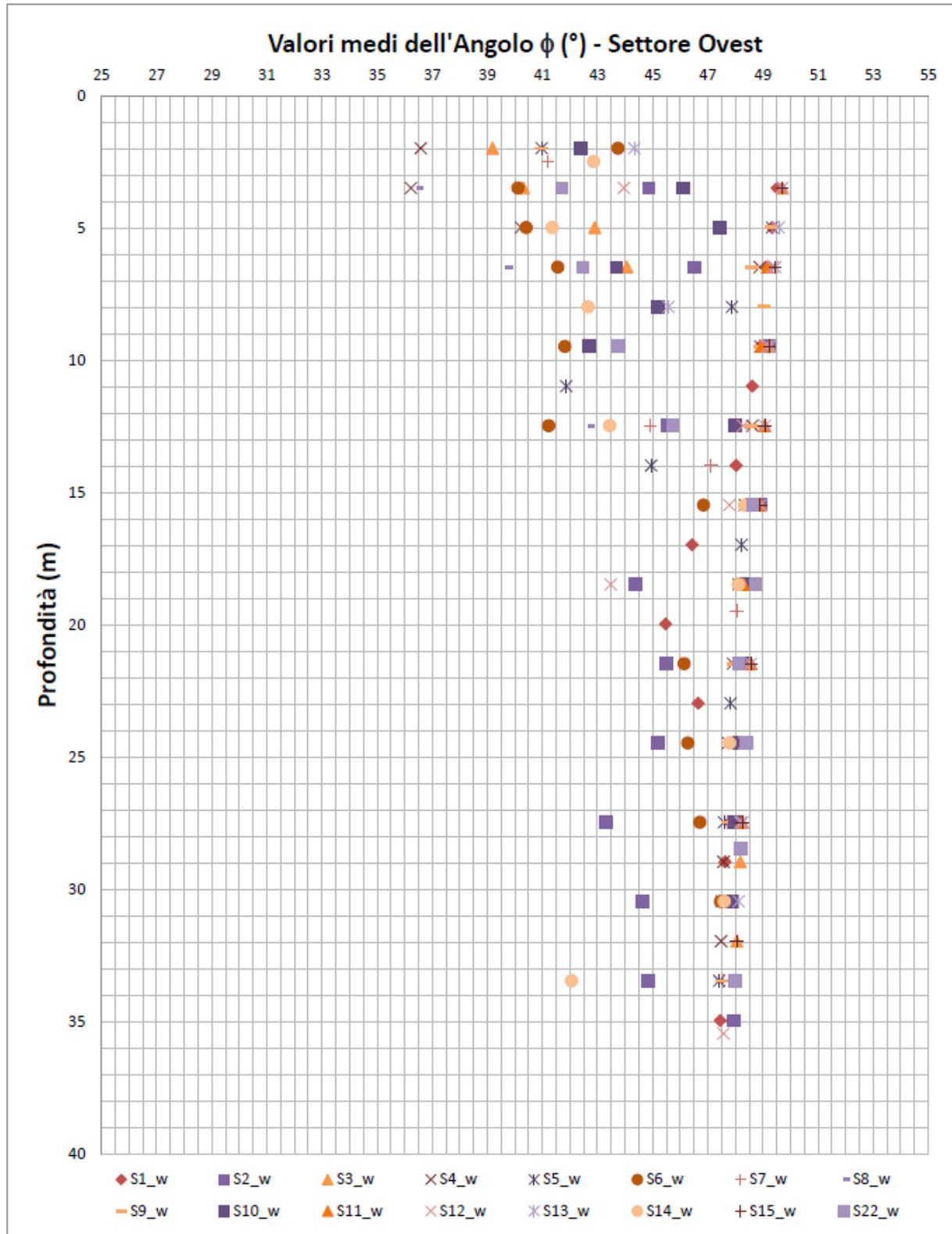


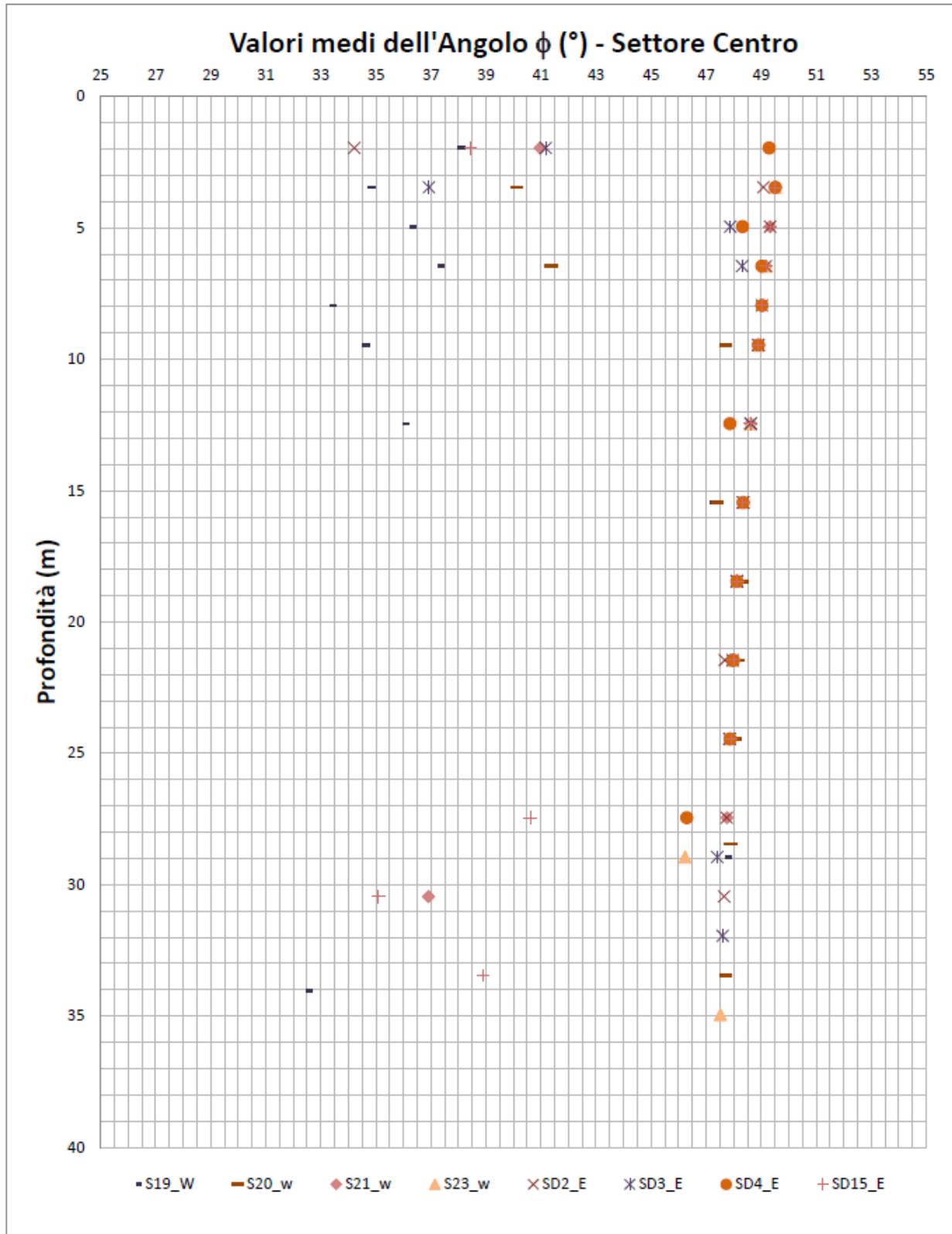
Ubicazione indagini Settore Centro

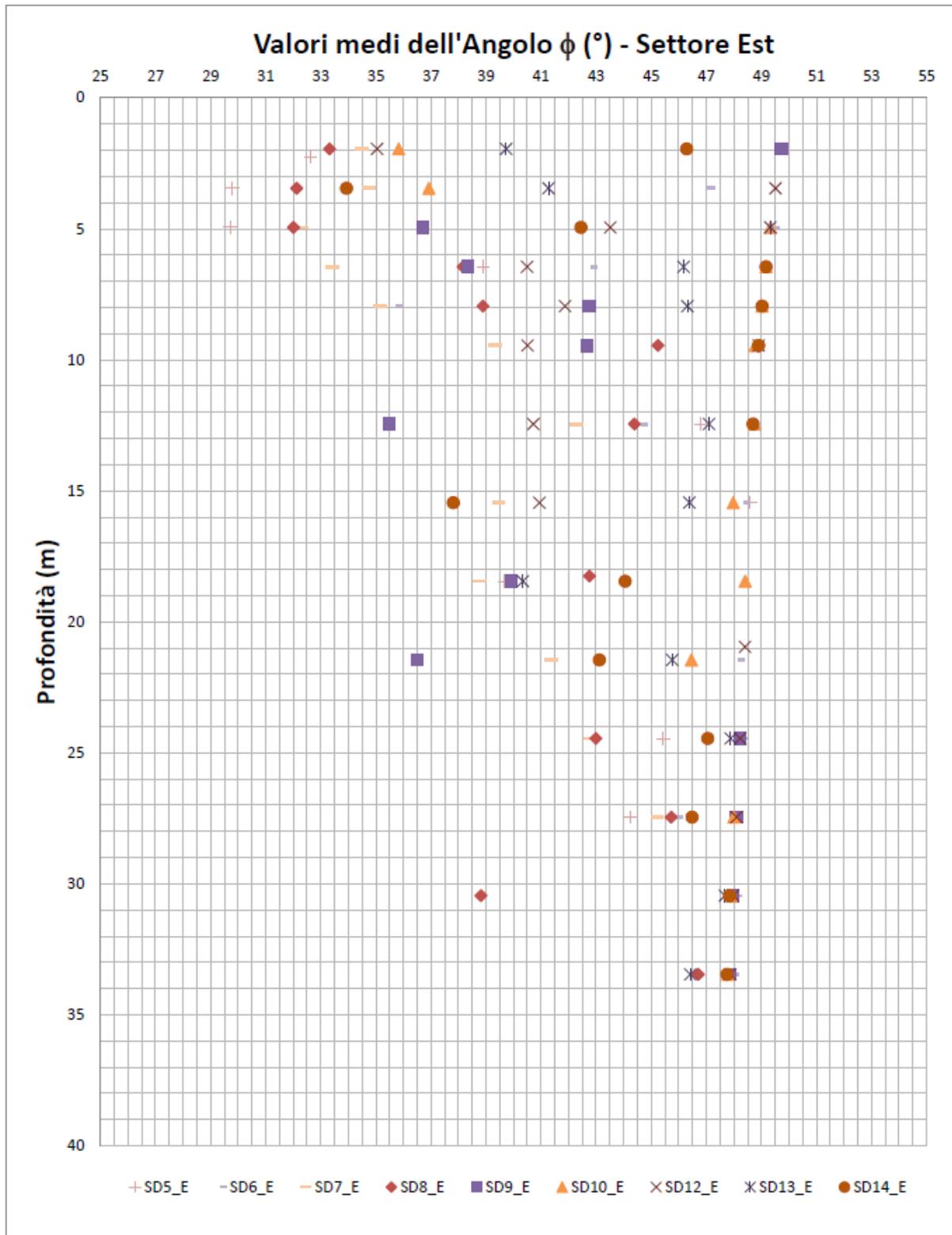


Ubicazione indagini Settore Est









Valori medi: Angolo di resistenza al taglio (ϕ°)

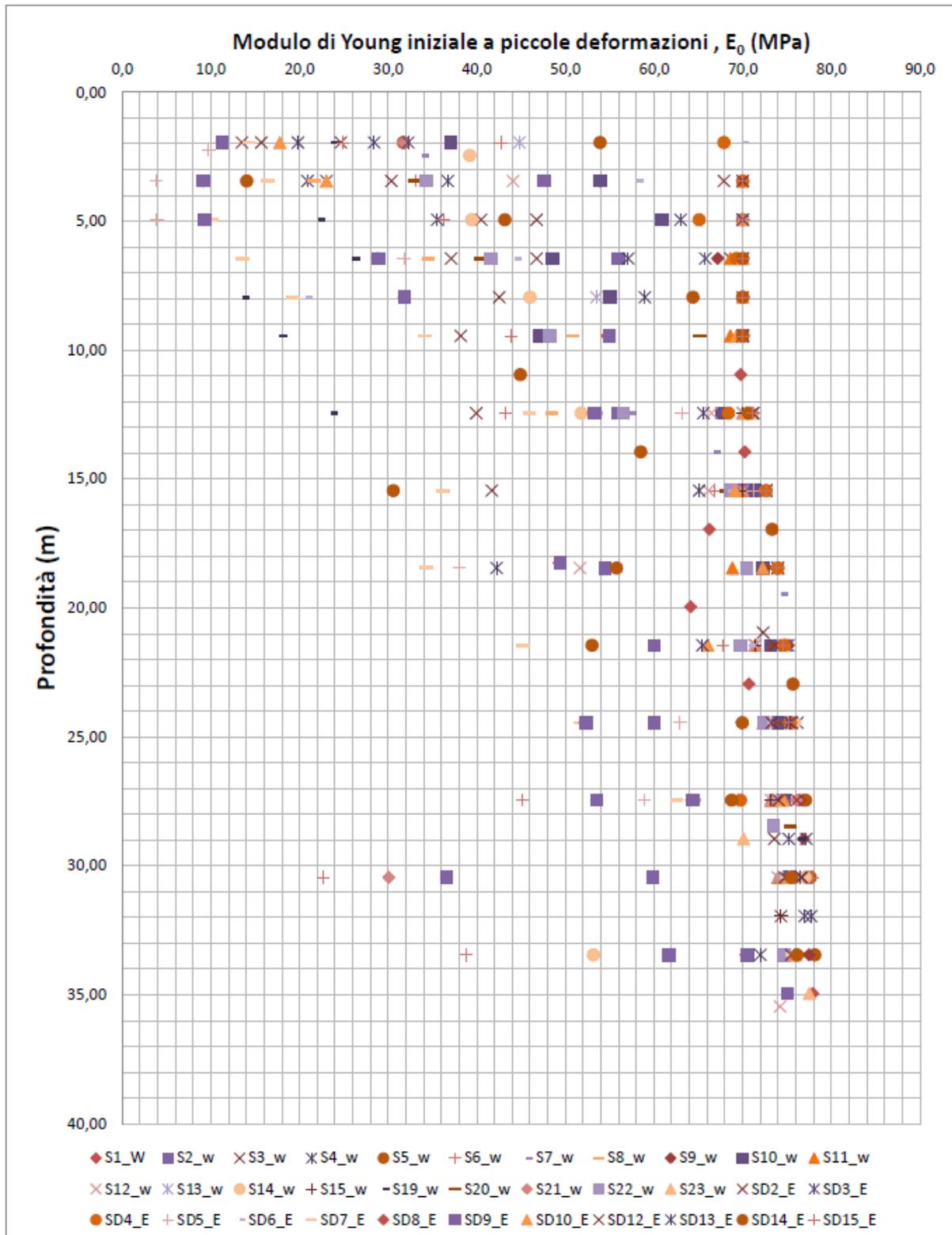
Globale			
	Media	min	max
<i>Bolton</i>	43,61	35,12	49,18
<i>Jap. Nat. Railway</i>	44,61	21,20	50,00
<i>Media (*)</i>	45,65	29,71	49,73

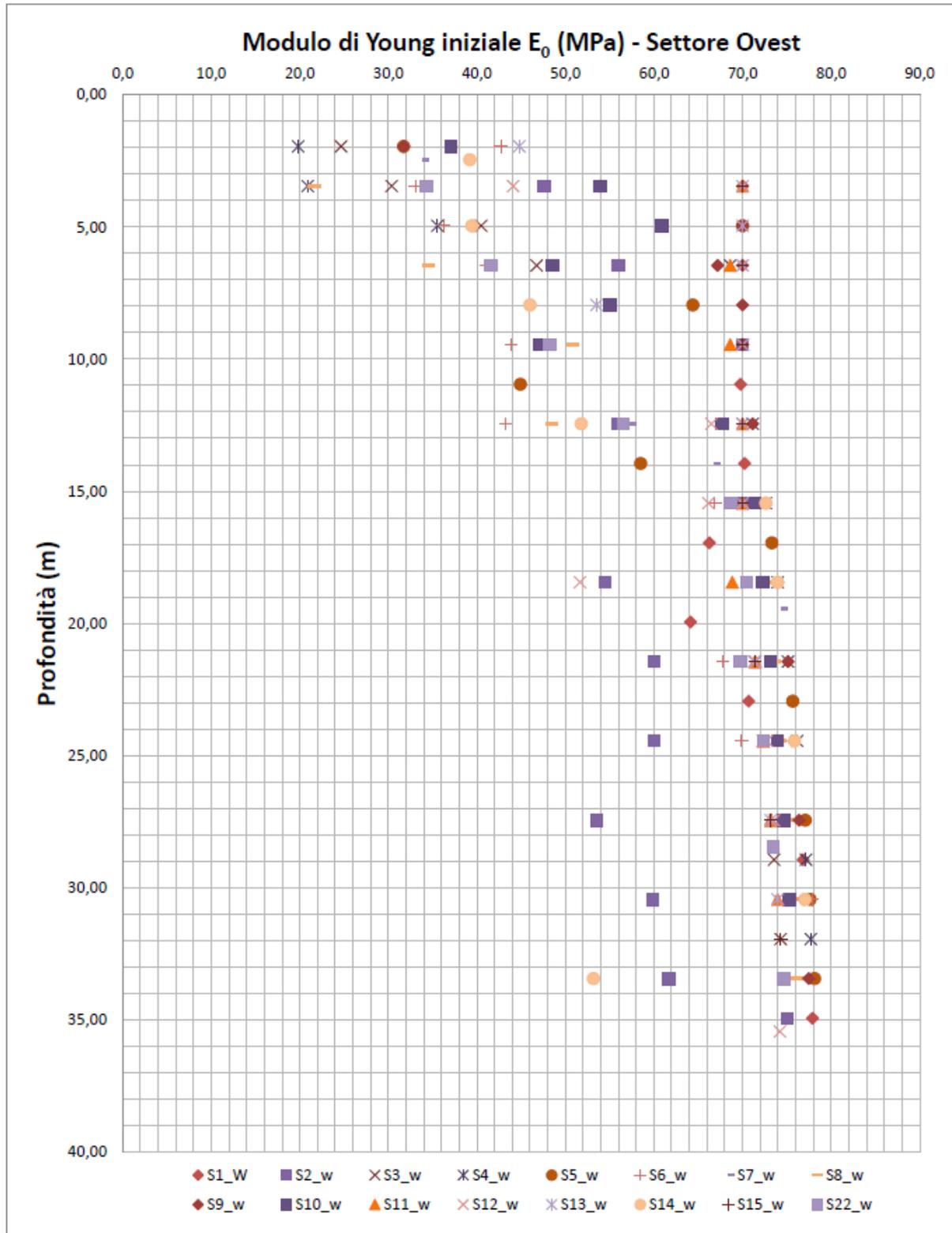
Settore Ovest			
	Media	min	max
<i>Bolton</i>	44,30	40,03	49,09
<i>Jap. Nat. Railway</i>	46,27	27,50	50,00
<i>Media (*)</i>	46,68	36,23	49,71

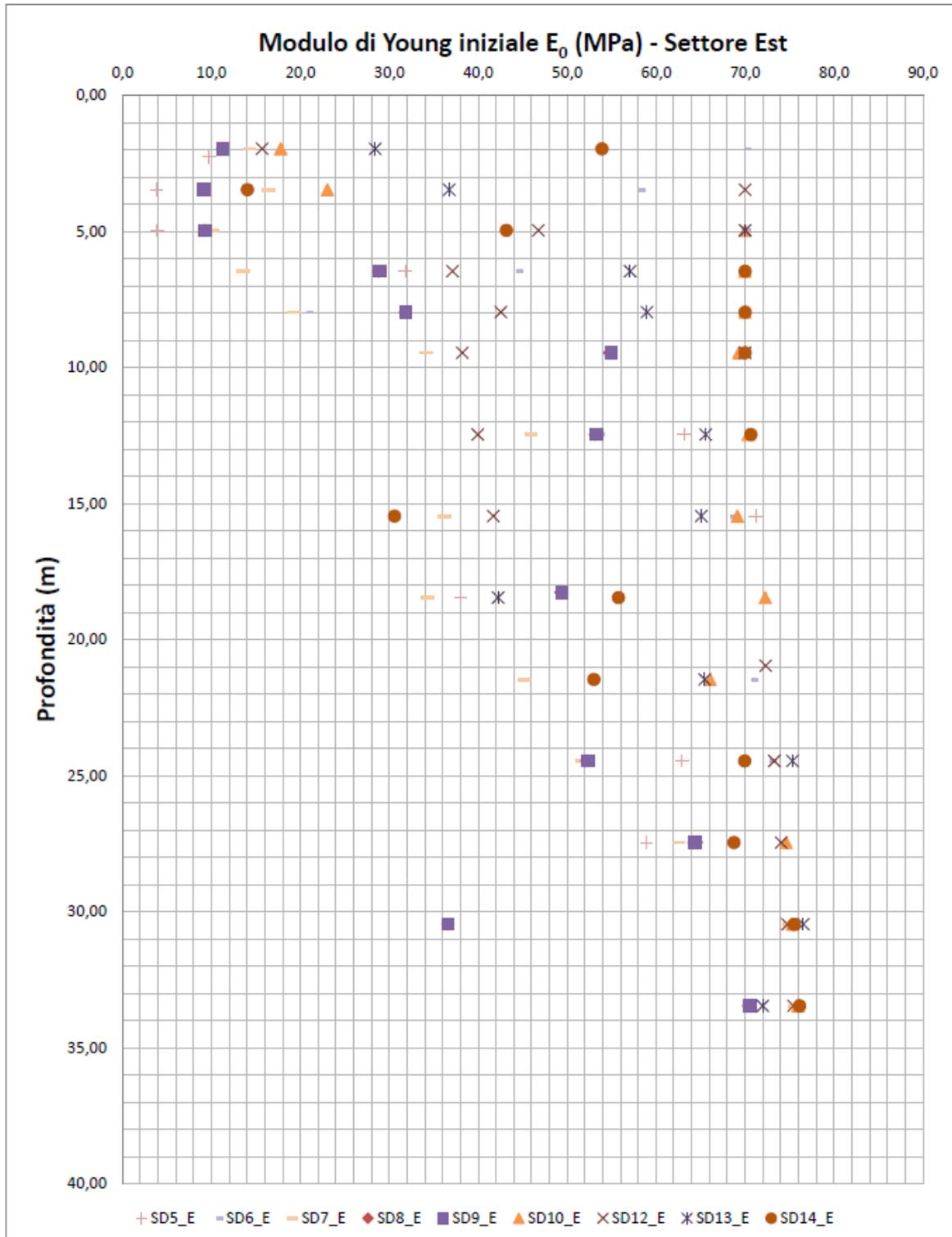
Settore Centrale			
	Media	min	max
<i>Bolton</i>	43,69	35,79	48,92
<i>Jap. Nat. Railway</i>	45,74	24,20	50,00
<i>Media (*)</i>	46,15	32,46	49,51

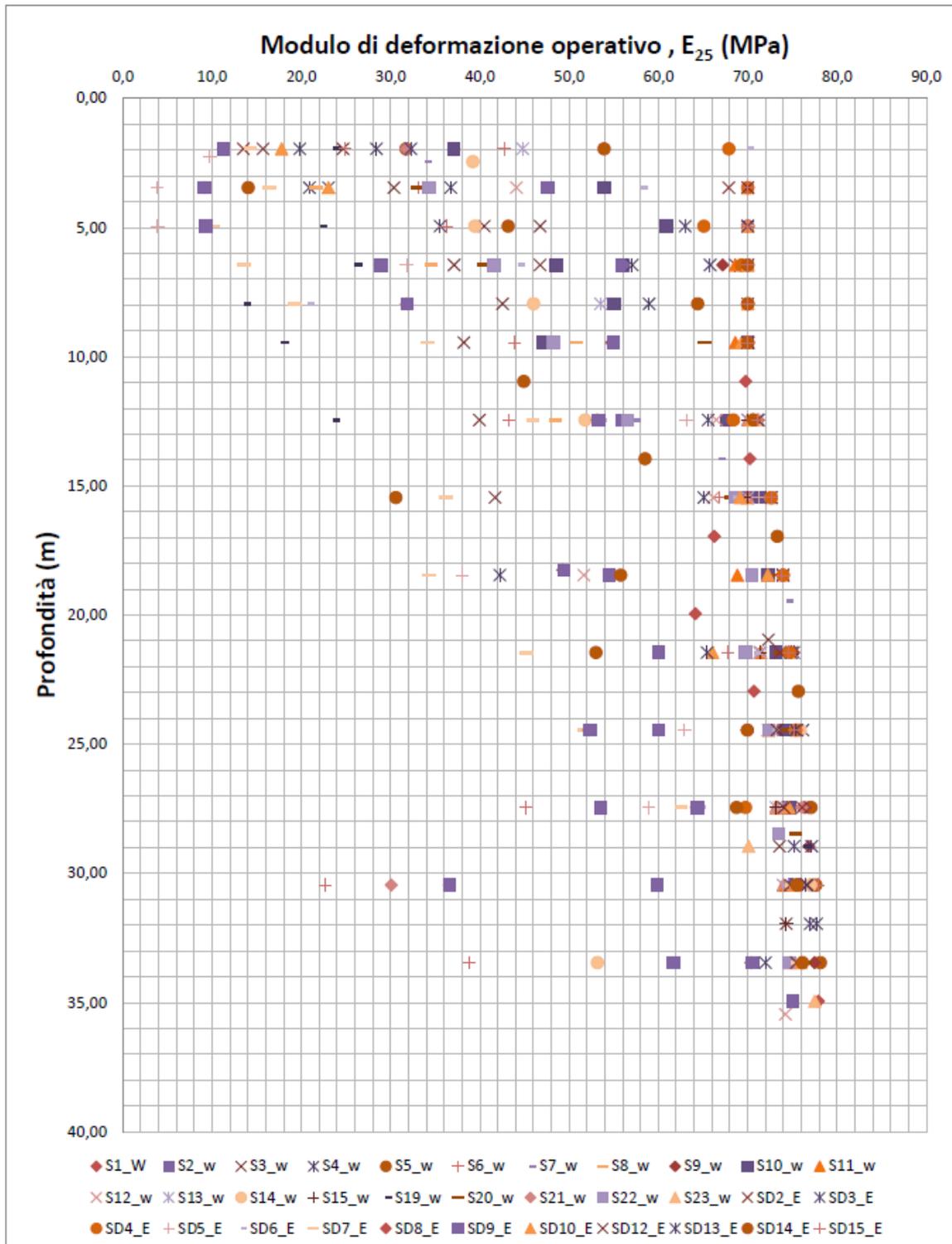
Settore Est			
	Media	min	max
<i>Bolton</i>	42,59	35,12	49,18
<i>Jap. Nat. Railway</i>	41,09	21,20	50,00
<i>Media (*)</i>	43,62	29,71	49,73

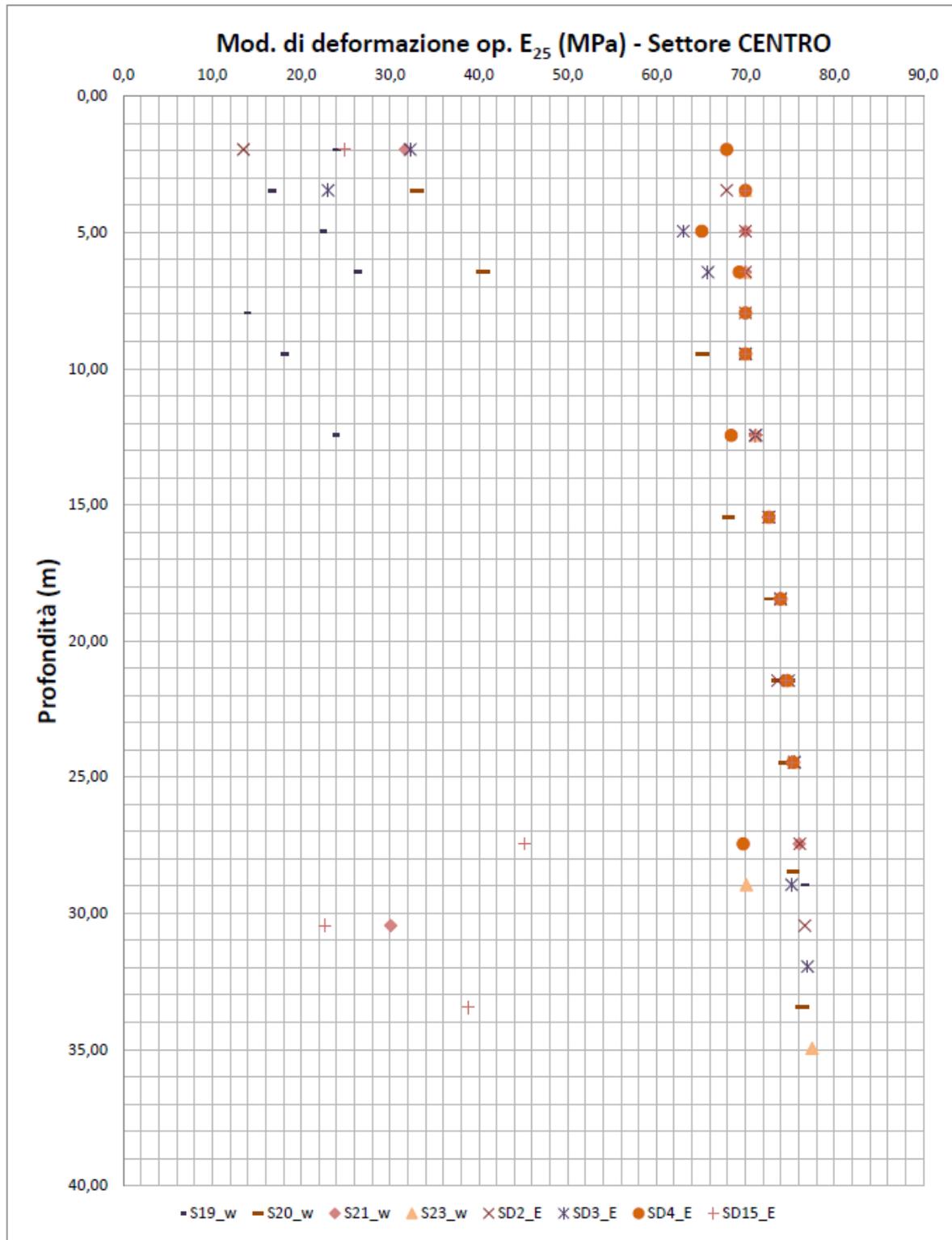
(*) *Media = Valore medio fra le 4 correlazioni considerate:
 Schmertmann (1977) - Bolton (1986) - Japanese National
 Railway - Road Bridge Specification*

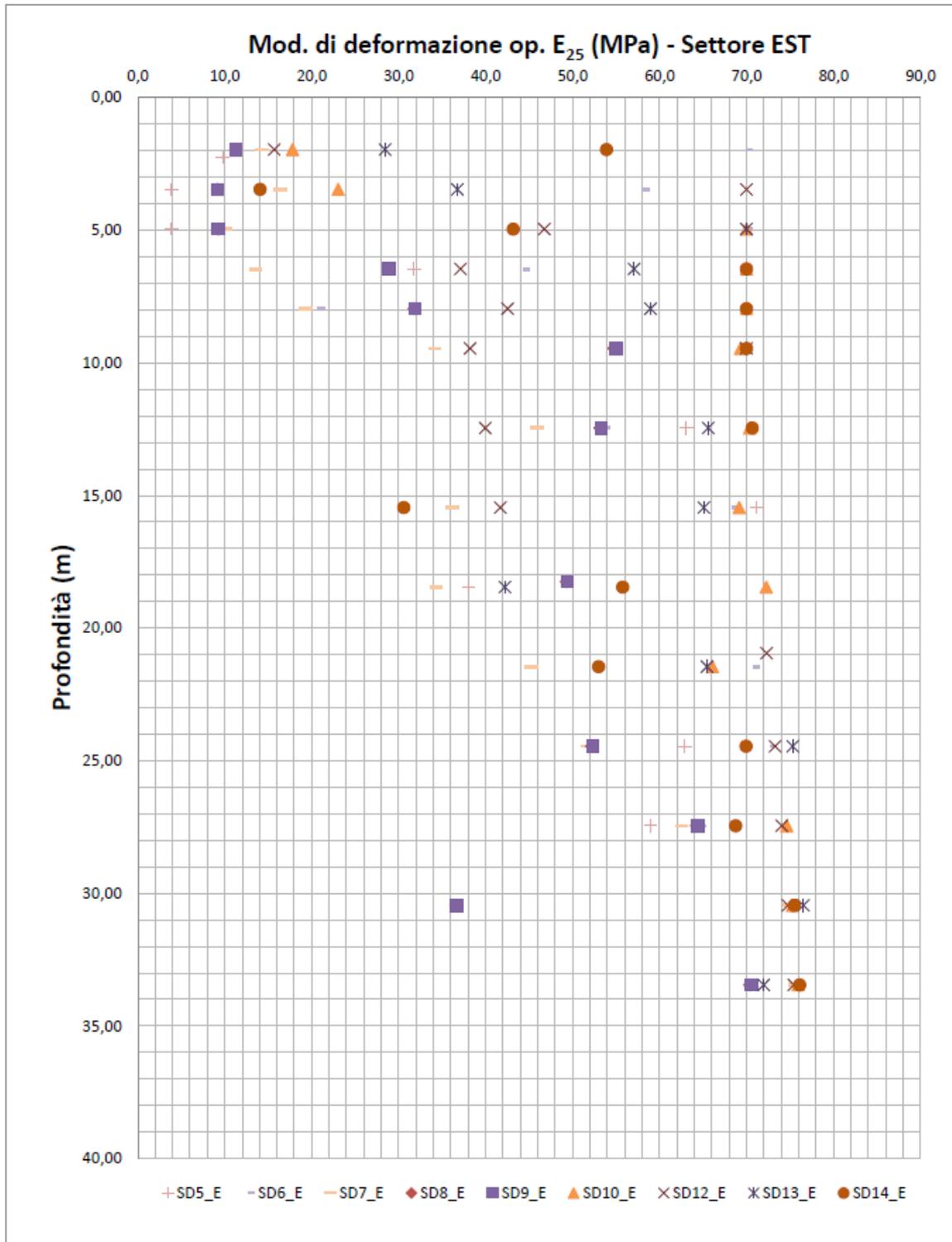












Valori medi: MODULO DI DEFORMABILITA' (MPa)

Globale

	Media	min	Max
Modulo E0:	374,89	77,08	582,49
Modulo E25:	59,95	3,86	78,13

Settore Ovest

	Media	min	Max
Modulo E0:	395,92	114,95	582,49
Modulo E25:	64,34	19,83	78,13

Settore Centrale

	Media	min	Max
Modulo E0:	369,44	98,68	582,49
Modulo E25:	63,29	13,25	77,52

Settore Est

	Media	min	Max
Modulo E0:	344,09	77,08	572,41
Modulo E25:	50,44	3,86	76,55

6 SISMICITA'

6.1 Classificazione sismica del sito

Il comune di Verona, ai sensi della carta di classificazione sismica aggiornata al 30 novembre 2020 con Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 e dell'O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519, risulta **classificato in “zona 3”**.

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'OPCM n. 3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione [a_g], con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi o pianeggianti caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s (ovvero di categoria A ai sensi del D.M. 17/01/2018 - NTC 2018), da attribuire alle 4 zone sismiche, come da tabella di seguito riportata:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, a_g/g)
1	>0.25	0.35
2	$0.15 \div 0.25$	0.25
3	$0.05 \div 0.15$	0.15
4	<0.05	0.05

Le zone 1, 2 e 3 possono essere a loro volta suddivise in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati in tabella e intervallati da valori non minori di 0,025 g.

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018) hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona, e quindi territorio comunale, veniva precedentemente fornito un valore di accelerazione di picco, e quindi di spettro di risposta elastico, da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009, con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione si deve fare riferimento ad una accelerazione di riferimento “propria”, ovvero individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. In questo modo si ottiene un valore di pericolosità di base definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

L'azione sismica, secondo la definizione di “pericolosità sismica di base” fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), deve essere valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su sito di riferimento rigido (di categoria A) avente superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1; figura 21).

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica “probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR”:

- a_g : accelerazione massima su suolo tipo A (allegato B alle NTC);
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (allegato B alle NTC);

- T_C^* : periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro (Allegato B alle NTC).

–

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del Comune) è pertanto utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regioni, Genio civile, ecc.).

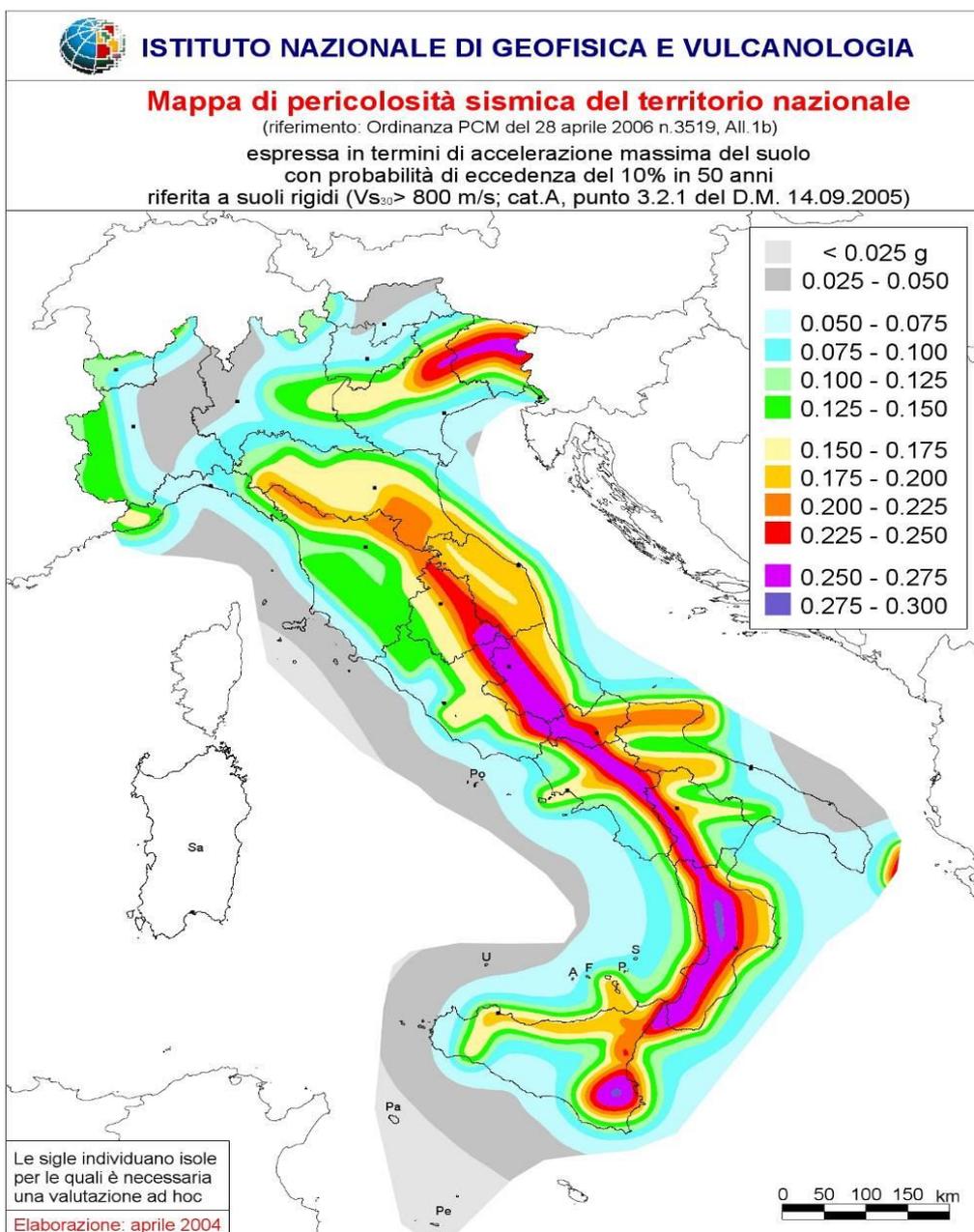


Figura 21. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

6.2 Sismicità storica

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta in figura 22 uno stralcio della cartografia del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. redatto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), con indicazione degli epicentri e delle relative magnitudo dei principali terremoti storici.

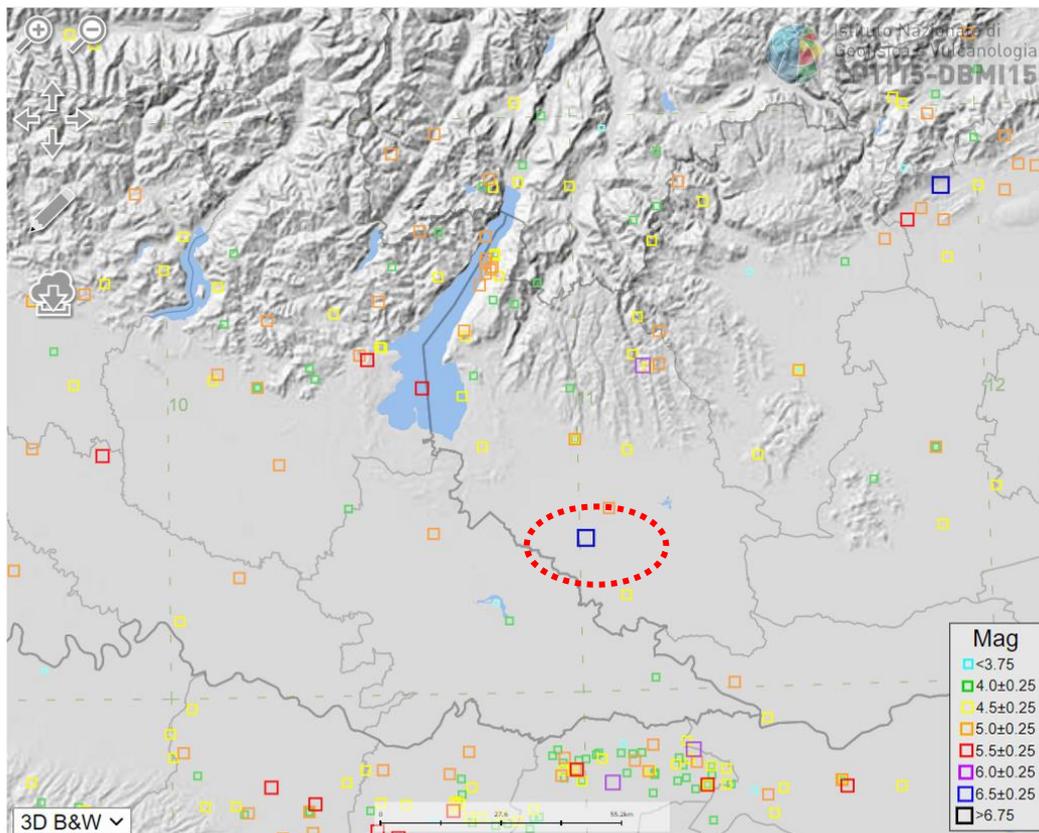


Figura 22. Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici (CPTI15) che hanno interessato la zona di Verona .
In colore rosso si riporta l'area oggetto di studio.

In tabella 6-1 si riporta un breve riepilogo delle osservazioni macrosismiche dei terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il comune di Verona.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 .

Pertanto, nella successiva tabella si intende:

Tabella 6-1 - Storia sismica di Verona [45.438, 10.994] Numero di eventi: 151

Int.: Intensità al sito (scala MCS); **Anno** Tempo origine: anno; **Me** Tempo origine: mese; **Gi** Tempo origine: giorno; **Ho** Tempo origine: ora; **Mi** Tempo origine: minuti; **Se:** Tempo origine: secondi; **NMDP** Numero di Macro seismic Data Point; **Io:** Intensità epicentrale nella scala MCS; **Mw** Magnitudo momento

9	1117 01 03 15 15	Veronese	55	9 6.52
6-7	1183 12	Verona	1	6-7 4.86
NC	1276 07 29 18 30	Monferrato	9	5 4.81
6	1295 09 03	Grigioni, Churwalden	17	8 6.20
6-7	1334 12 04	Verona	1	6-7 4.86
5	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9 6.63
5-6	1365 09 21 05 45	Verona	2	5-6 4.40
6	1402	Verona	1	6 4.63
5-6	1410 06 10 21	Verona	5	
5-6	1445 03 21 13 30	Verona	1	5-6 4.40
5-6	1465 04 07 15 30	Pianura emiliana	5	5-6 4.40
F	1487 01 11 15 40	Ferrara	2	4 3.70
NC	1501 06 05 10	Modenese	17	9 6.05
5	1504 12 31 04	Bolognese	15	6 5.02
5	1505 01 03 02	Bolognese	31	8 5.62
4	1505 01 20 23 50	Bolognese	11	5-6 4.76
6	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9 6.32
3-4	1515 10 25 12 35	Pianura Padana	5	
3-4	1516 05 20 23	Pianura Padana	4	
4	1520 02 18 04 30	Bresciano-Veronese	2	
5	1671 06 20 10	Modenese-Reggiano	8	7 5.27
F	1690 12 04 14	Carinthia, Villach	60	8-9 6.16
4	1693 07 06 09 15	Mantovano	13	7 5.23

6	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6.40
3	1719 01 07	Italia nord-orientale	11	5-6	4.94
3	1732 02 04 18 20	Parma	9	5-6	4.65
5	1738 11 05 00 30	Emilia occidentale	10	7	5.10
F	1774 03 04	Parma	2	5	4.16
4	1774 03 31 14 49	Bresciano	6	5-6	4.40
F	1780 02 06 04	Bolognese	9	6-7	5.06
F	1785 07 19 22 30	Val Lagarina	5	4	3.70
3	1789 08 04	Prealpi Friulane	5	4-5	3.93
4	1794 06 07 00 45	Prealpi Friulane	19	8-9	5.96
4	1794 06 30 04 45	Prealpi Friulane	8	7-8	5.40
5	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5.45
3	1799 05 29 19	Bresciano	12	6-7	5.04
4	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	94	8	5.60
3-4	1806 02 12	Reggiano	28	7	5.21
5	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5.06
4	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
5	1812 10 25 07	Pordenonese	34	7-8	5.62
F	1818 12 09 18 55	Parmense	26	7	5.24
4	1826 06 24 12 15	Garda occidentale	20	5	4.62
3	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8	5.72
2	1828 10 10 01 30	Oltrepò Pavese	18		
F	1830 01 26 04 30	Alto Reno	11	5	4.53
3	1831 07 14 15 30	Reggiano	8	5-6	4.60
3	1832 03 11 06 45	Carpi	14	5	4.51
3	1832 03 11 08 45	Parmense	14		

3	1832 03 12 02 30	Parmense	4	
5	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8 5.51
2	1832 03 14 04 40	Reggiano	5	
3	1832 03 14 07 41	Reggiano	7	
4	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7 5.08
4-5	1836 06 12 02 30	Asolano	26	8 5.53
2-3	1850 09 18 06 20	Modenese	7	5 4.16
3	1851 02 05 09 50	Valtellina	30	5 4.72
3	1851 08 03	Valli Giudicarie	15	6 4.92
2-3	1854 12 29 01 45	Liguria occidentale	86	7-8 5.72
F	1857 02 01	Parmense-Reggiano	22	6-7 5.11
F	1859 01 20 07 55	Prealpi Trevigiane	36	6 4.80
3	1860 07 19	Prealpi Trevigiane	10	6-7 4.92
NF	1866 08 11 23	Monte Baldo	33	7 4.96
4	1868 05 22 21 15	Garda settentrionale	11	5 4.40
3	1869 12 13 02 53	Sassuolo	13	5 4.57
3	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8 5.85
6	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10 6.29
F	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8 5.74
F	1876 04 29 10 49	Monte Baldo	25	7 5.07
5-6	1876 05 01 10 50	Verona	2	4-5 3.93
F	1876 05 29 10 45	Monte Baldo	5	6-7 4.86
3	1879 02 14	Garda occidentale	13	5 4.62
3	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7 5.22
2	1881 01 25 07 06	Bolognese	18	5 4.59
3	1881 02 14 09 00 3	Appennino bolognese	21	6 4.77

5	1882 09 18 19 25	Monte Baldo	7	7 5.08
3	1884 09 12 07 23	Pianura lombarda	34	6 4.70
5	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6 5.01
3	1885 12 29	Alpago Cansiglio	47	6 4.96
3-4	1886 10 15 02 20	Collecchio	44	6 4.70
4	1887 02 23 05 21 5	Liguria occidentale	1511	9 6.27
4	1889 03 08 02 57 0	Bolognese	38	5 4.53
3-4	1890 03 26 20 10	Bellunese	48	6 4.82
6	1891 06 07 01 06 1	Valle d'Illasi	403	8-9 5.87
F	1891 06 15	Peschiera	35	6 4.69
4-5	1892 01 05	Garda occidentale	93	6-7 4.96
3	1892 06 23 23 20	Dolomiti Friulane	71	5-6 4.58
5	1892 08 09 07 58	Valle d'Alpone	160	6-7 4.91
4-5	1893 10 27 16 31	Bellunese	54	5 4.42
5	1894 02 09 12 48 0	Valle d'Illasi	116	6 4.74
4-5	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6 4.89
F	1895 06 10 01 47	Prealpi Trevigiane	73	6 4.85
4-5	1895 10 12 02 45	Monte Baldo	3	5 4.16
4	1895 11 02 07 30	Valle de' Signori	11	5 4.33
2-3	1897 01 27 01 35	Prealpi Vicentine	16	4-5 4.11
3-4	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6 4.59
4	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8 5.37
5	1899 11 15 23 40	Pianura Veneta	25	5 4.25
4	1900 03 04 16 55	Asolano	98	6-7 5.05
5	1901 10 30 14 49 5	Garda occidentale	289	7-8 5.44
3	1902 06 19 09 23	Alpi Retiche	184	6-7 4.96

3	1904 03 10 04 23 0	Slovenia nord-occidentale	57	
6	1907 04 25 04 52	Veronese	122	6 4.79
3	1908 02 03 13 36 2	Valle d'Illasi	34	5-6 4.32
3	1908 03 15 07 38 3	Valle d'Illasi	28	5-6 4.91
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
3	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5 4.65
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7 5.63
2-3	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8 5.82
2-3	1916 08 16 07 06 1	Riminese	257	8 5.82
3-4	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10 6.53
3	1920 10 06 22 47	Mantovano	19	4-5 4.14
4-5	1928 03 27 08 32	Carnia	359	9 6.02
2-3	1928 06 13 08	Carpi	35	6 4.67
4	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6 5.05
4	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7 5.13
4	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7 5.36
3-4	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6 5.20
4	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7 5.29
2-3	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8 5.83
3	1932 02 19 12 57 1	Garda orientale	21	7-8 5.16
4	1936 06 21 19 25 2	Garda orientale	13	5 4.15
4	1936 06 22 03 44 5	Garda orientale	20	5-6 4.46
5	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9 6.06
3	1940 01 24 23 32 1	Appennino emiliano	6	
4	1948 07 19 18 11 2	Garda settentrionale	16	5 4.87
3	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7 5.17

4	1961 11 23 01 12 0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
5	1963 03 04 22 30	Veronese	6	5	4.41
F	1963 07 19 05 46 0	Mar Ligure	412		5.95
2-3	1963 11 04 15 46	Bassa modenese	5	5	4.16
4-5	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5.05
4-5	1968 06 22 12 21 3	Val Lagarina	27	6-7	4.74
3	1970 04 19 18 16 3	Garda occidentale	65	5	4.55
4	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
F	1975 03 24 02 33 3	Carnia	24	5-6	4.51
5-6	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6.45
4	1976 09 11 16 35 0	Friuli	40	7-8	5.60
3	1976 12 13 05 24	Garda settentrionale	128	7	4.90
F	1977 04 03 03 18 1	Friuli	25	5	4.51
5	1977 09 16 23 48 0	Friuli	94	6-7	5.26
3	1978 12 05 15 39 0	Romagna	34	4-5	4.61
4	1979 02 09 14 44	Bergamasco	73	6	4.78
4	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
4-5	1989 09 13 21 54 0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
NF	1995 12 31 21 29 4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
3	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
NF	2000 06 18 07 42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
5	2004 11 24 22 59 3	Garda occidentale	176	7-8	4.99
4	2008 12 23 15 24 2	Parmense	291	6-7	5.36
3	2011 07 17 18 30 2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79

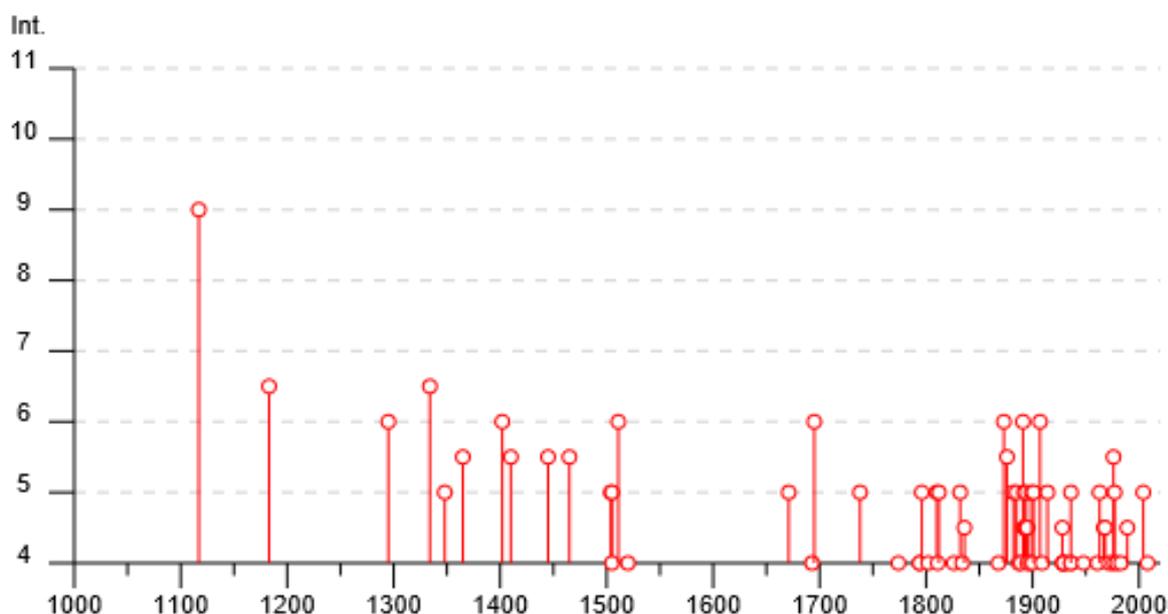


Figura 23. Storia sismica di Verona

6.3 Sorgenti sismogenetiche

Dalla consultazione del DISS (*Database of Individual Seismogenic Sources, versione 3.2.1, INGV*) (Figura 24) si nota la presenza di due sorgenti sismogenetiche composite, di una sorgente sismogenetica individuale e di due sorgenti sismogenetiche individuali incerte in prossimità dell'area di studio:

- Sorgente sismogenetica composta ITCS076 - Pianura Adige, a Sud (fig. 25);
- Sorgente sismogenetica individuale ITIS140 - Veronese, a Sud (fig. 26);
- Sorgente sismogenetica composta ITCS114 - Solferino, a NO (fig. 27);
- Sorgente sismogenetica composta ITCS073 – Monte Baldo, a Nord (fig. 28);
- Sorgente sismogenetica individuale incerta ITDS075 – Sant’Ambrogio che attraversa il territorio oggetto di studio (direzione NO- SE) (fig. 29);
- Sorgente sismogenetica individuale incerta ITDS074 – Nogara ubicata a sud ovest (direzione NO- SE) (fig. 30).

Le principali informazioni di riferimento di ciascuna sorgente sono riportate nelle seguenti figure.

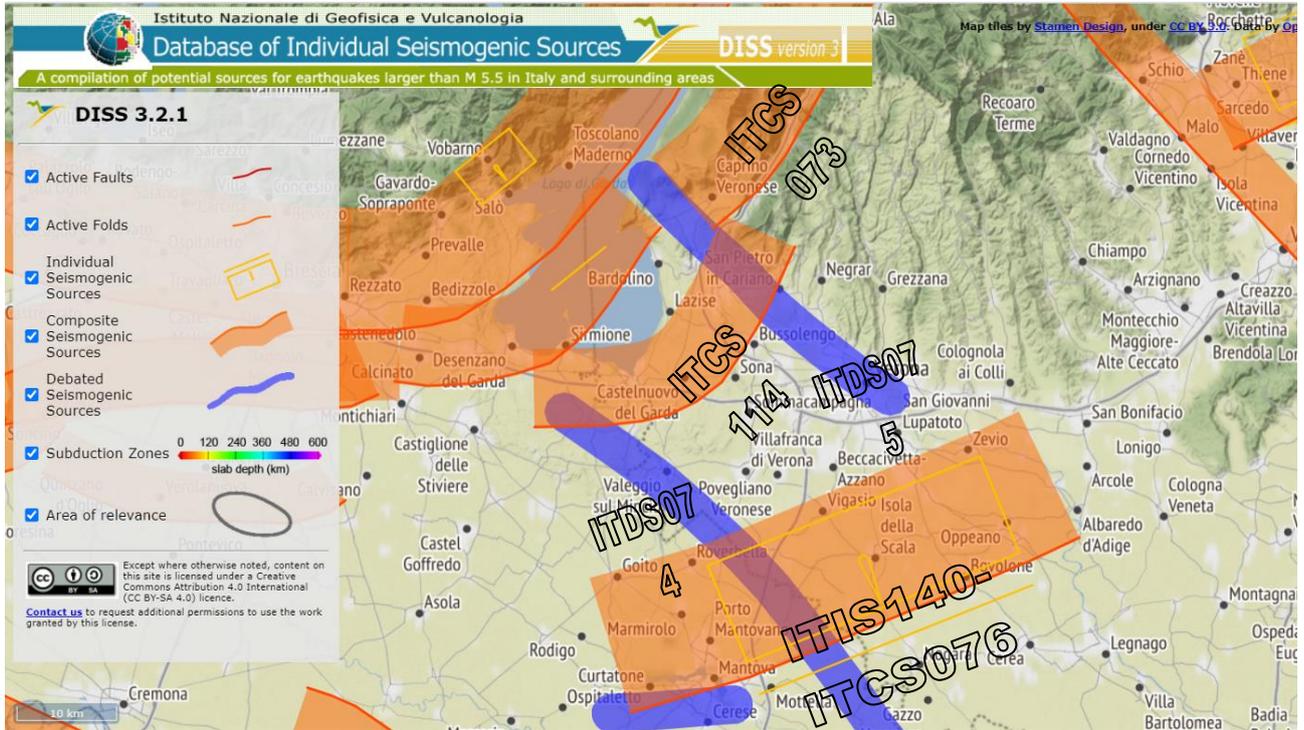


Figura 24. Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del "Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)", Version 3.2.1.

30/3/2021

DISS - Composite Seismogenic Sources [Cadmo v3.1444 page=pSASources_d]

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Database of Individual Seismogenic Sources **DISS version 3**

User: Guest | [LOGIN](#) [HOME](#) [MAP](#) [SEARCH](#) [HELP](#)

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITCS076
Name Adige Plain
Compiler(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1)
Contributor(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1)
Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created 20-Apr-2010
Updated 01-Apr-2015

Display map ... 

Related sources [ITIS140](#)

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	3.0	OD	Based on geological and geomorphological data.
Max depth [km]	14.0	OD	Based on geological and geomorphological data.
Strike [deg] min... max	240...260	OD	Based on geological and geomorphological data.
Dip [deg] min... max	30...50	OD	Based on geological and geomorphological data.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological and active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.7	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS
ACTIVE FOLDS

Figura 25. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS076

30/3/2021

DISS - Individual Seismogenic Sources [Cadmo v3.1444 page=pGGSources_dj]

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Database of Individual Seismogenic Sources DISS VERSION 3

User: Guest | LOGIN HOME MAP SEARCH HELP

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITIS140
Name Veronese
Compiler(s) Burrato P.(1)
Contributor(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1)
Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created 04-Feb-2014
Updated 04-Feb-2014

Display map ... 

Related sources [ITCS076](#)

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Location [Lat/Lon]	45.27 / 10.99	LD	Based on modeling of geological data from Vannoli et al. (2015).
Length [km]	30.0	LD	Based on modeling of drainage anomalies from Vannoli et al. (2015).
Width [km]	14.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	3.0	LD	Based on geophysical profiles from Vannoli et al. (2015).
Max depth [km]	12.0	AR	Derived from dip, width and min depth.
Strike [deg]	248	LD	Based on geophysical profiles and modeling of geological data.
Dip [deg]	40	LD	Based on modeling of geological data from Vannoli et al. (2015).
Rake [deg]	90	EJ	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Per Event [m]	1.0	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence [y] min... max	2000... 10000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	6.7	LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPTI11.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES

Latest Earthquake 03 Jan 1117 CPTI11.
Penultimate Earthquake Unknown See "Commentary" for information.

ACTIVE FAULTS

Figura 26. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITIS140

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Database of Individual Seismogenic Sources DISS version 3

User: Guest | LOGIN HOME MAP SEARCH HELP

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITCS114
Name Solferino
Compiler(s) Burrato P.(1)
Contributor(s) Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1)
Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy
Created 01-Apr-2015
Updated 01-Apr-2015
Display map ... 

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	3.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Strike [deg] min... max	215...270	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Dip [deg] min... max	25...45	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Rake [deg] min... max	70...100	EJ	Inferred from geological and active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS

ACTIVE FOLDS

Figura 27. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS114

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Database of Individual Seismogenic Sources **DISS** version 3

User: Guest | [LOGIN](#) [HOME](#) [MAP](#) [SEARCH](#) [HELP](#)

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITCS073
Name Monte Baldo
Compiler(s) Burrato P.(1)
Contributor(s) Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1)
Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy
Created 19-Apr-2010
Updated 01-Apr-2015

Display map ... 

Related sources

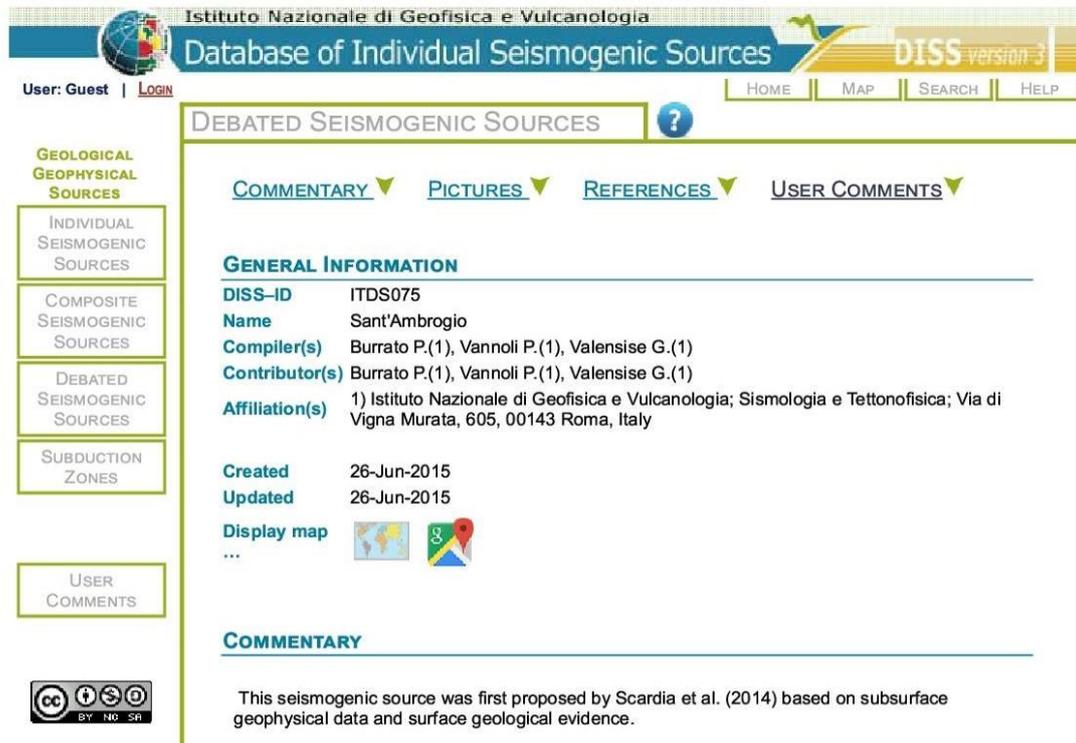
PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	3.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Max depth [km]	9.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Strike [deg] min... max	200...250	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Dip [deg] min... max	25...45	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Rake [deg] min... max	70...100	EJ	Inferred from geological and active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	5.5	OD	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS
ACTIVE FOLDS

Figura 28. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS073



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Database of Individual Seismogenic Sources
DISS version 3

User: Guest | LOGIN

HOME | MAP | SEARCH | HELP

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

COMMENTARY | PICTURES | REFERENCES | USER COMMENTS

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITDS075
Name Sant'Ambrogio
Compiler(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1)
Contributor(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1)
Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy

Created 26-Jun-2015
Updated 26-Jun-2015

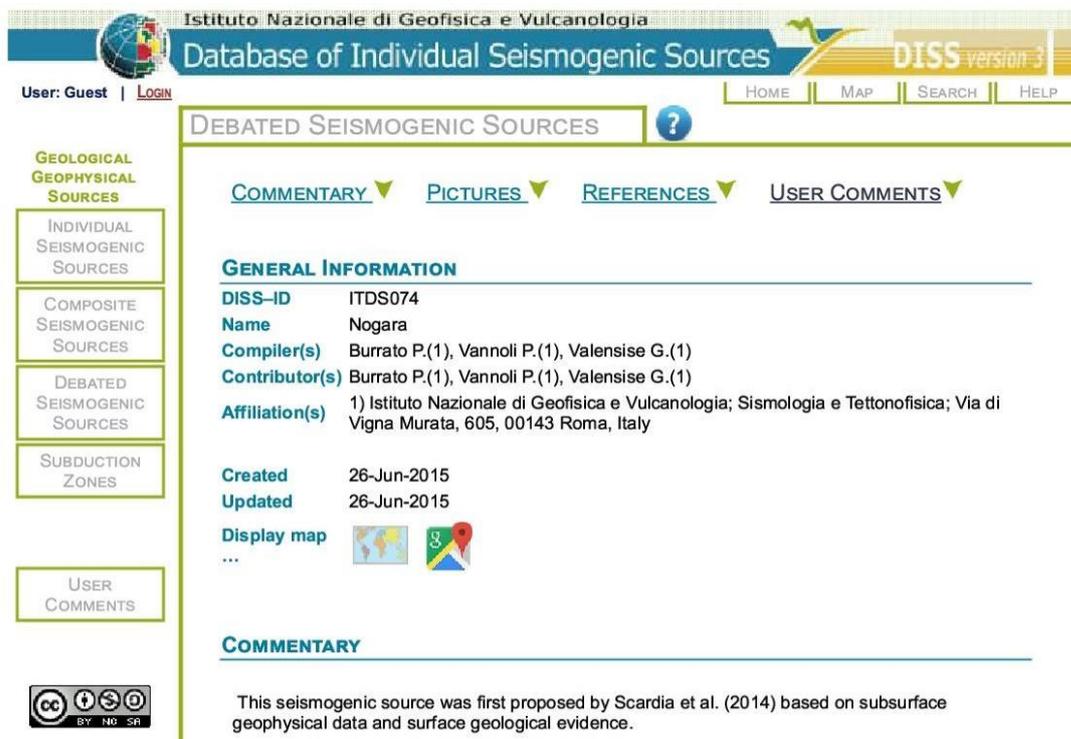
Display map 

...

COMMENTARY

This seismogenic source was first proposed by Scardia et al. (2014) based on subsurface geophysical data and surface geological evidence.

Figura 29. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica incerta ITDS075



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Database of Individual Seismogenic Sources
DISS version 3

User: Guest | LOGIN

HOME | MAP | SEARCH | HELP

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

COMMENTARY | PICTURES | REFERENCES | USER COMMENTS

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITDS074
Name Nogara
Compiler(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1)
Contributor(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1)
Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy

Created 26-Jun-2015
Updated 26-Jun-2015

Display map 

...

COMMENTARY

This seismogenic source was first proposed by Scardia et al. (2014) based on subsurface geophysical data and surface geological evidence.

Figura 30. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica incerta ITDS074

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

6.4 Faglie capaci

In riferimento a quanto contenuto nel catalogo ITHACA (*ITaly HAZard from CAPable faults*), l'area di progetto è interessata dalla presenza della faglia capace S. Ambrogio Valpolicella (figg. 31 e 32).

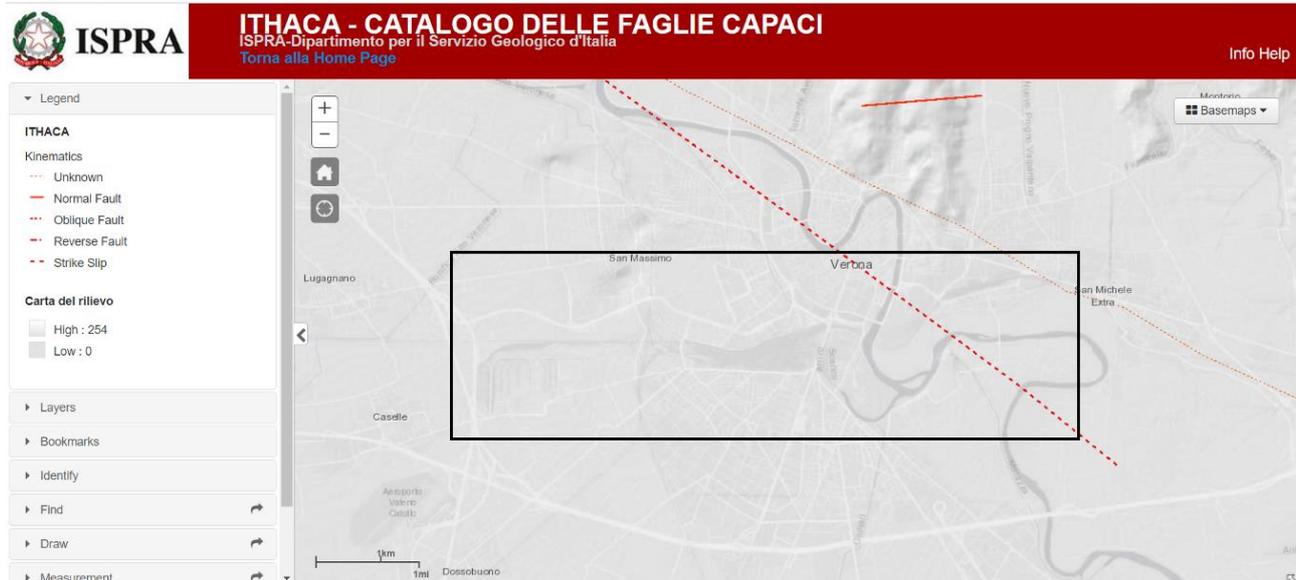


Figura 31. Catalogo ITHACA: stralcio cartografico dell'area di interesse con indicazione schematica dell'area oggetto di studio (rettangolo nero) e della faglia capace S. Ambrogio Valpolicella.

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	80201
Fault Name	S. Ambrogio Valpolicella
Region Name	Veneto
Tectonic Environment	PLATE BOUNDARY
System Name	S. Ambrogio Valpolicella
Synopsis	
Rank	Secondary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	320
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	NE
Fault Length (km)	39.4
Mapping Scale	1:50000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Strike Slip DX
ACTIVITY	
Surface Evidence	inferred
Last Activity	Pleistocene generic

Figura 32. ITHACA; Parametri descrittivi della faglia capace S. Ambrogio Valpolicella (Scardia, G., Festa, A., Monegato, G., Pini, R., Rogledi, S., Tremolada, F., & Galadini, F. Evidence for late Alpine tectonics in the Lake Garda area (northern Italy) and seismic implications. *GSA Bulletin*, 127(1-2), 113-130.2015)

La faglia in questione è stata definita da uno studio che ha portato all'osservazione di sistemi di faglie con direzione W-WNW in prossimità dell'area del Lago di Garda (Scardia et al., 2015). Questo sistema di faglie è

caratterizzato da faglie trascorrenti destre ad alto angolo con immersione principalmente verso NE. L'analisi delle strutture deformative osservate nel Conglomerato di Montecio (Pliocene), nei pressi dell'abitato di Sant'Ambrogio di Valpolicella, accompagnata da specifiche analisi micro paleontologiche, ha permesso di datare tale attività tettonica al Galesiano (Pleistocene inferiore). Sulla base dello studio è, inoltre, stata stimata una lunghezza della Faglia di S. Ambrogio di almeno 30 km.

È importante sottolineare che le evidenze dirette di deformazioni legate all'attività tettonica sono segnalate esclusivamente in prossimità dell'abitato di Sant'Ambrogio di Valpolicella, ad una distanza dall'area oggetto della progettazione variabile da 14 a 17 km, e che nella restante porzione di territorio il suo andamento è stato dedotto, soprattutto nel tratto terminale di Verona. Non vengono inoltre riportate osservazioni dirette o indicatori di attività recente legata a questo elemento tettonico.

Allo scopo di verificarne l'eventuale presenza, nell'ambito del presente progetto definitivo, sono state eseguite n. 2 tomografie elettriche e n. 2 stese di sismica tomografica a rifrazione, come da planimetria in fig. 33, localizzate in prossimità del tracciato ferroviario nei punti presunti di passaggio della faglia.

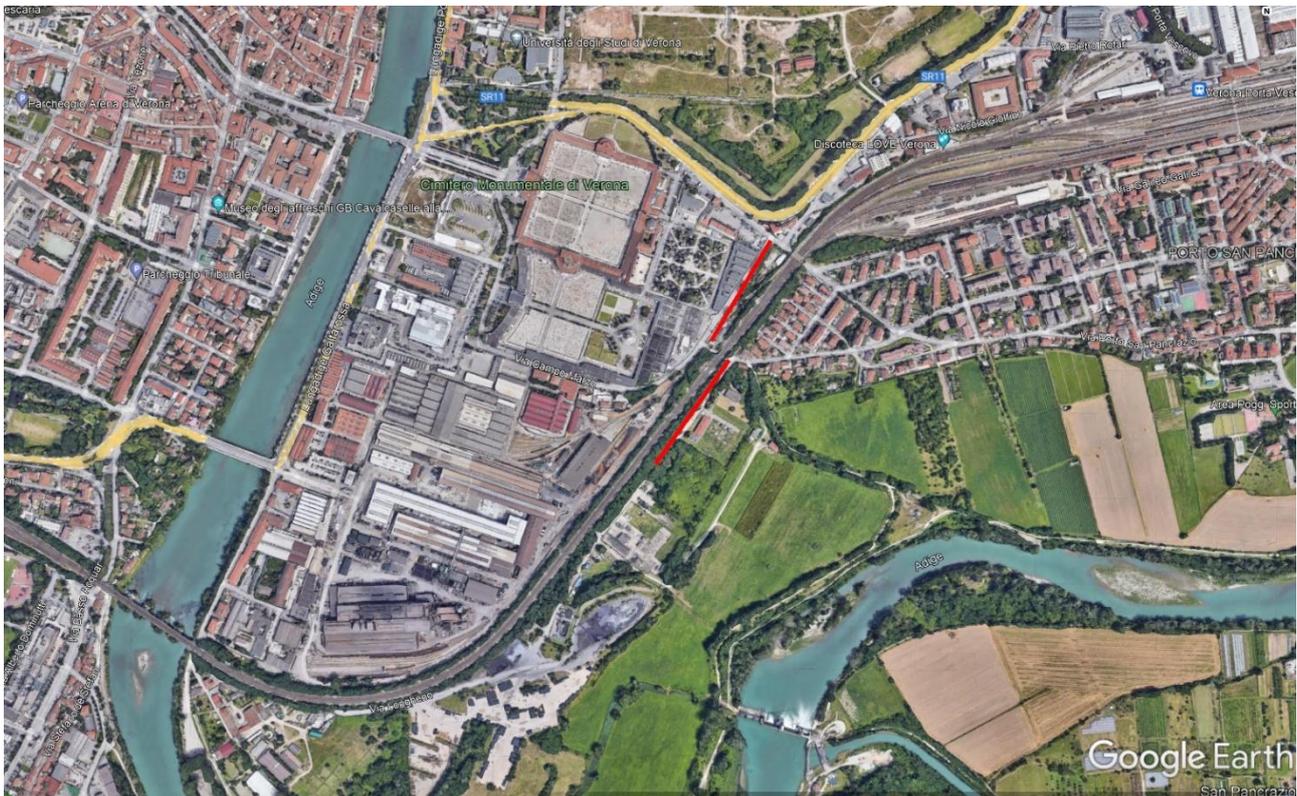


Figura 33. Localizzazione delle tomografie elettriche e delle stese di sismica tomografica a rifrazione (Campagna indagini ITAFERR 2021)

Le indagini eseguite, tuttavia, non mostrano alcuna evidenza della presenza di faglie all'interno dei depositi fluvio-glaciali e alluvionali recenti. Infatti, come da tomografie riportate in fig. 34, la successione sedimentaria risulta perfettamente orizzontale e indisturbata, con assenza di anomalie che possano suggerire la presenza di discontinuità tettoniche.

Per i risultati delle indagini citate, si veda l'elaborato IN1A20D69IGGE0005001A "Report tecnico indagini geofisiche - Prove: sismica a rifrazione, Elettrica, Down-Hole, MASW, HVSR".

Inoltre, un'ulteriore conferma è data dall'interpretazione e elaborazione del profilo geologico in cui si può notare come il livello argilloso, che si intercetta nei sondaggi, si segue per diversi chilometri alla stessa profondità dal piano campagna da Porta Nuova fino a Porta Vescovo.

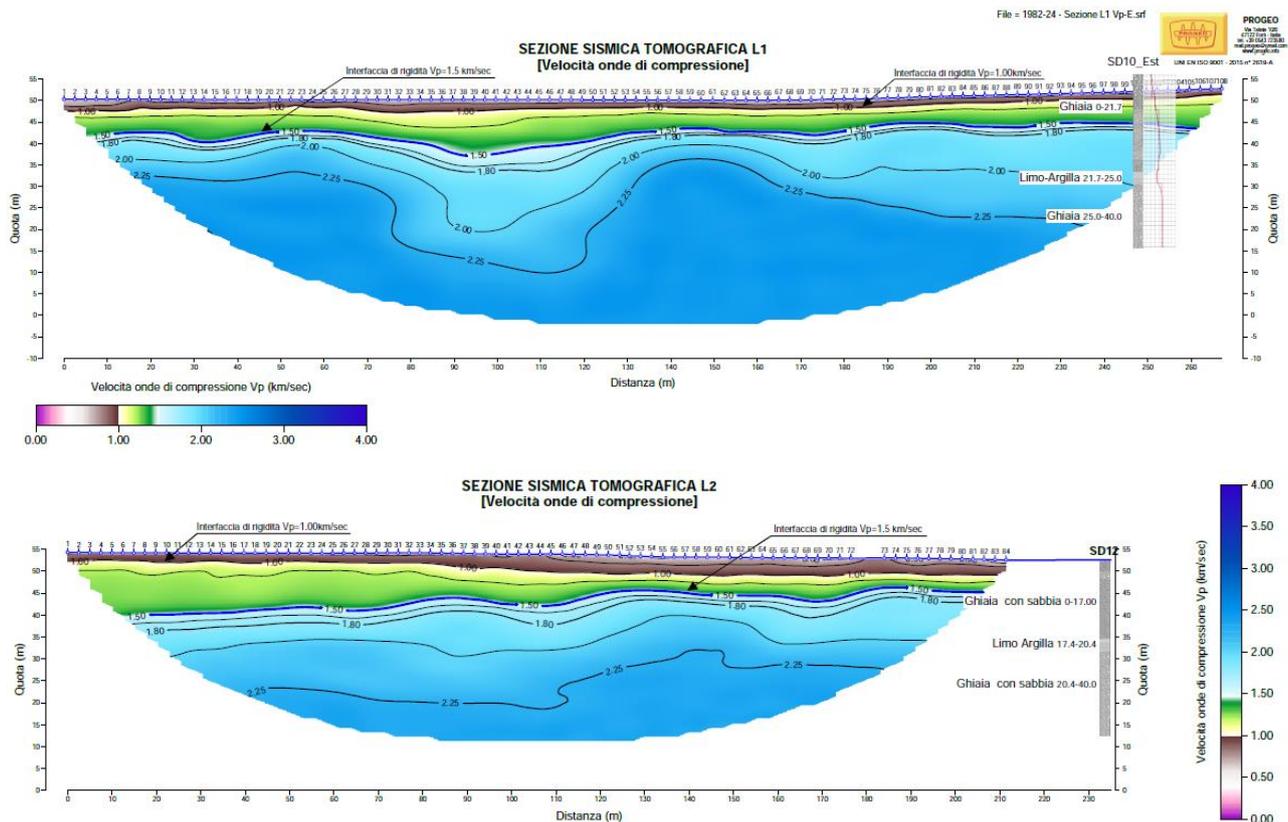


Figura 34. Sezioni sismiche tomografiche L1 e L2

Ad ogni modo, un'ulteriore conferma della ricostruzione nell'areale indicato è stato dato dalla ricostruzione litostratigrafica, in cui è stato preso in considerazione come livello guida il livello argilloso-limoso, in cui non ha evidenziato la presenza di dislocazioni e come si nota in sezione ha una certa continuità a livello di quote per diversi chilometri.

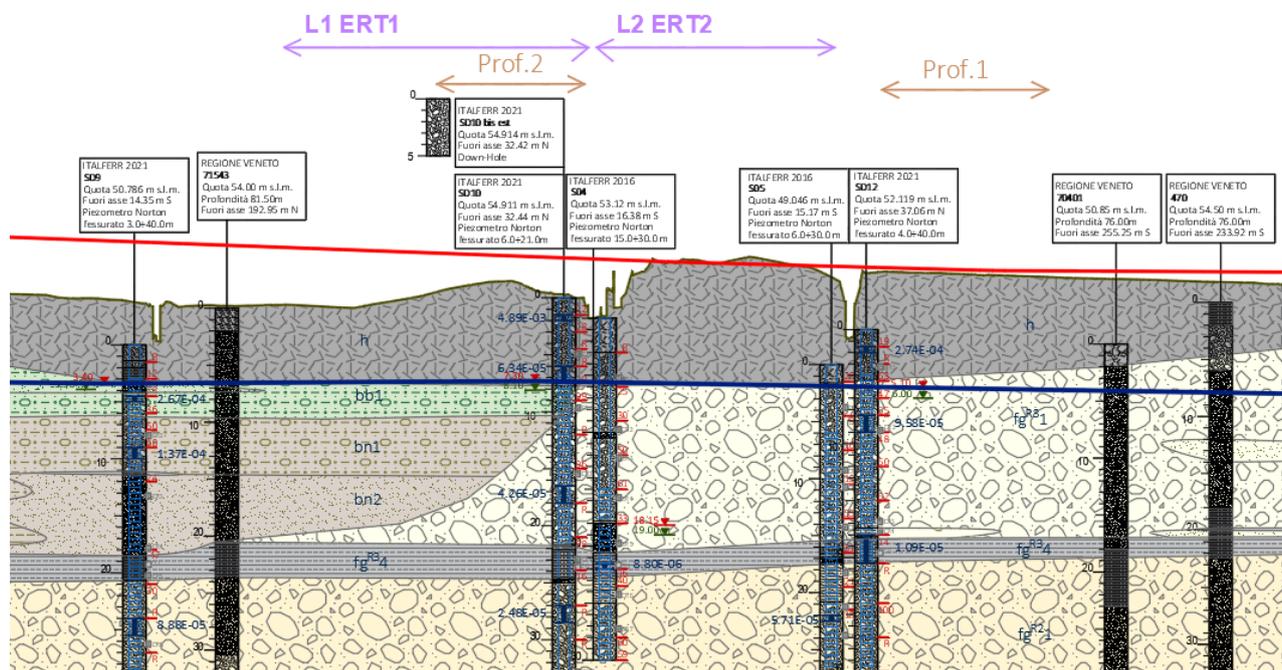


Figura 35. Stralcio sezione geologica IN1A20D69N6GE0001004A, in viola vengono riportati gli stendimenti eseguiti nel 2021

Infine, prendendo in considerazione la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.) del Comune di Verona, tale lineamento non viene riportato, si trascrive solo il lineamento “Adige Line” e un’altra faglia, definite attive e capaci, e le rispettive fasce di attenzione; soffermandosi sul primo lineamento, e la sua area di attenzione, si nota come tale elemento tettonico con la fascia di attenzione non intercetta il tracciato ferroviario di progetto.

6.5 Magnitudo di riferimento

Gli studi sulla pericolosità sismica condotti dall’INGV hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9 (Meletti e Valensise, 2004). Secondo questa zonazione il territorio nazionale è stato diviso in 36 zone-sorgente, individuate mediante l’osservazione delle caratteristiche della sismicità storica/attuale (massima magnitudo, frequenza degli eventi in catalogo, distribuzione nelle classi di magnitudo) e dallo studio delle geometrie delle sorgenti sismotettoniche. Ciascuna area sorgente è divisa dalle adiacenti da limiti di colore diverso: il nero separa aree con differenti caratteristiche tettoniche o geologico strutturali, il blu separa invece zone con stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche di sismicità (distribuzione spaziale, frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, etc.). A ciascuna delle 36 zone è associata una legge di ricorrenza della magnitudo espressa in termini di magnitudo momento M_w (figg. 36 e 37).

L’area ferroviaria in esame ricade totalmente in corrispondenza della zona sismogenetica 906 Garda-Veronese, che include terremoti di media magnitudo legati alle spinte della cintura sub-alpina dal Veneto centrale al Lago di Garda. Questa zona include terremoti originati nella Pianura Padana i cui dati sono scarsi e di affidabilità incerta, come ad esempio l’evento del Veronese del 1117 di $M_w \sim 6.5$ e del Bresciano del 1222, $M_w \sim 6.$, il quale ha interessato una porzione della provincia di Brescia in cui è presente un sistema di faglie inverse. In questa zona le zone epicentrali sono localizzate a profondità comprese tra 5 e 8 km; sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di magnitudo massima pari a $M_{w,max} = 6.60$ (fig. 37).

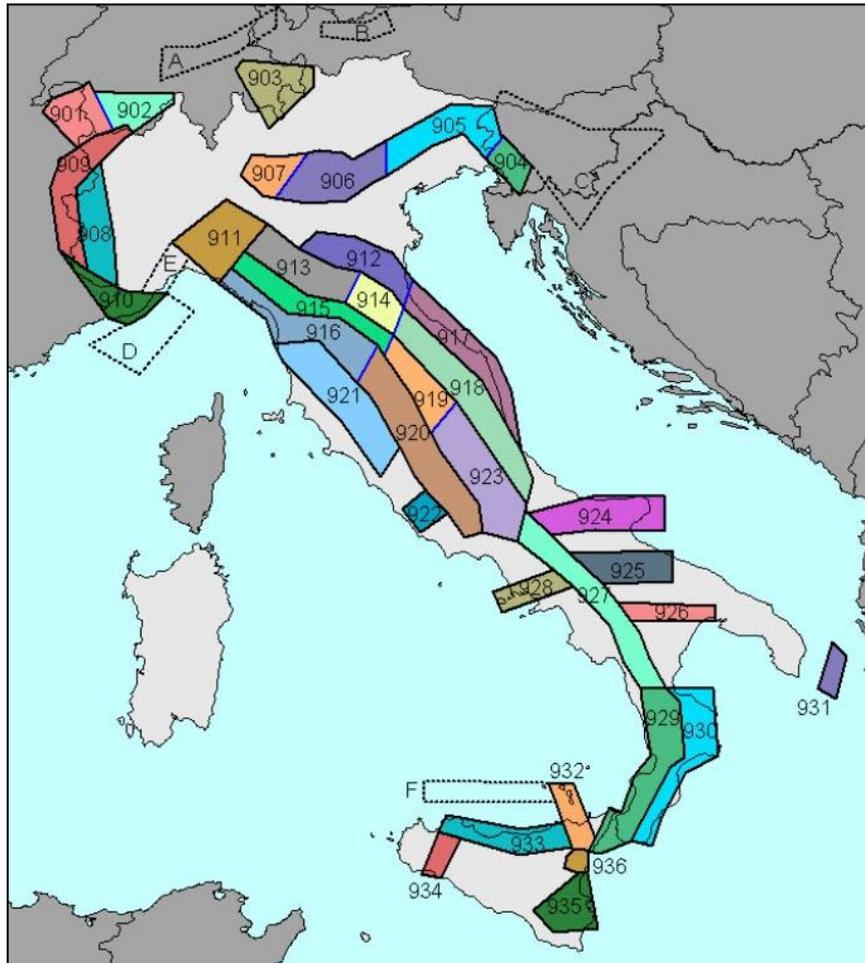


Figura 36. Zone sismogenetiche ZS9 del nord Italia (Meletti e Valensise, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M _{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio- Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 37. Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche ZS9

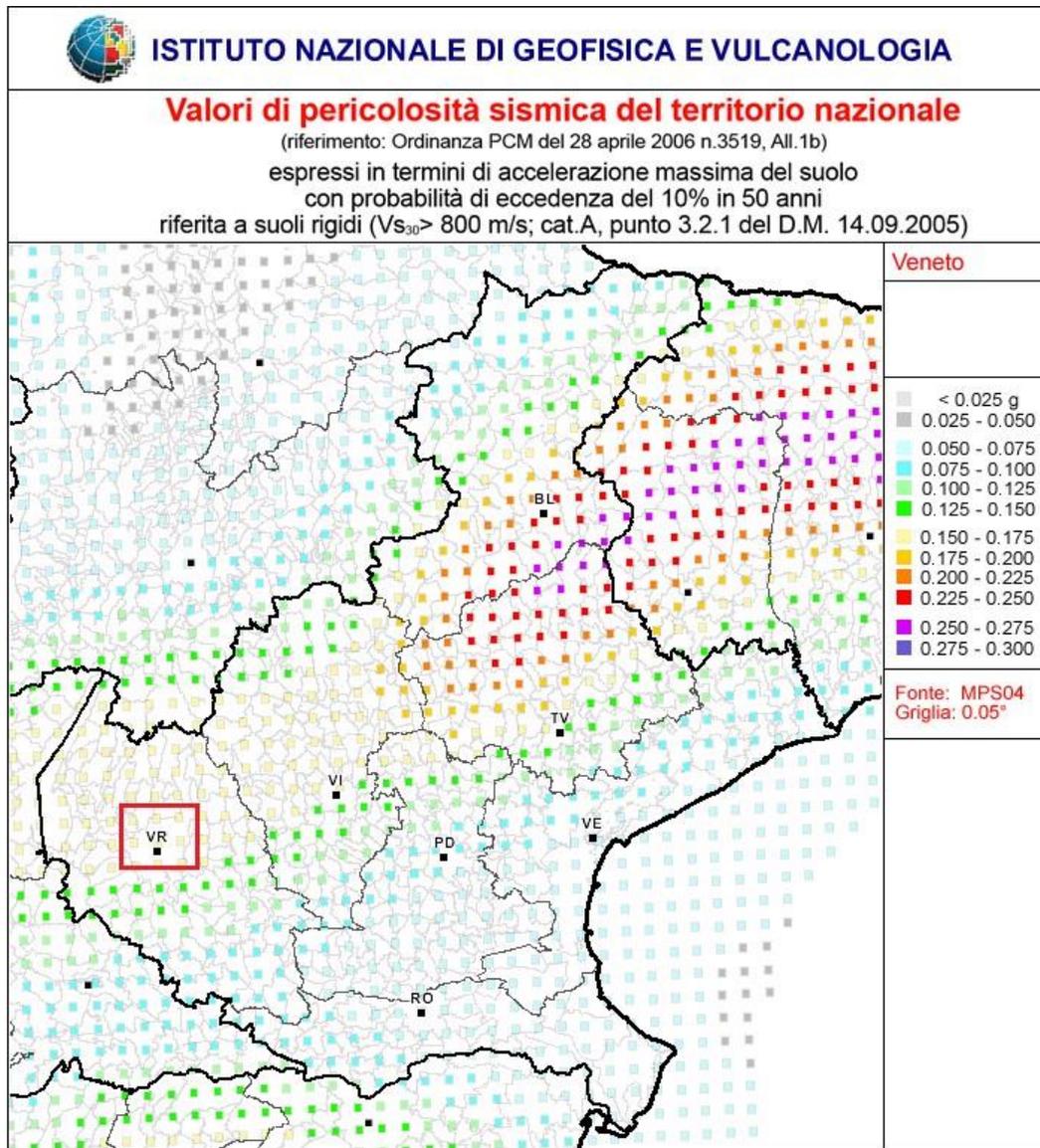


Figura 38. Valori di pericolosità sismica del territorio regionale (particolare della regione Veneto).
Nel riquadro rosso è evidenziata l'area di studio. Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

6.6 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area in un determinato intervallo di tempo. Diverso è, invece, il concetto di rischio sismico che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico. Affinché si abbia rischio è necessario, pertanto, che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento di data intensità nell'area in esame. Non potendo intervenire sulla pericolosità, che dipende esclusivamente da dinamiche naturali, si può intervenire sulla vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e, quindi, sul rischio totale.

Oltre alla conoscenza della probabilità di accadimento di un evento sismico, delle caratteristiche della sorgente sismogenetica e delle modalità di propagazione della perturbazione, è necessario analizzare le caratteristiche locali del sito di studio. Queste, infatti, condizionano la reazione del terreno all'input sismico in termini di variazione del contenuto in frequenza del segnale, amplificazione/smorzamento dell'onda e perdita o modificazione delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

All'indomani della riclassificazione sismica del territorio nazionale scaturita dal progetto S1 dell'INGV-DPC, si dispone di parametri sismici di riferimento aggiornati e di maggior dettaglio rispetto alla classificazione macrosismica nazionale cui faceva riferimento il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 (Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica" dell'Italia, che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame (fig. 39).

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

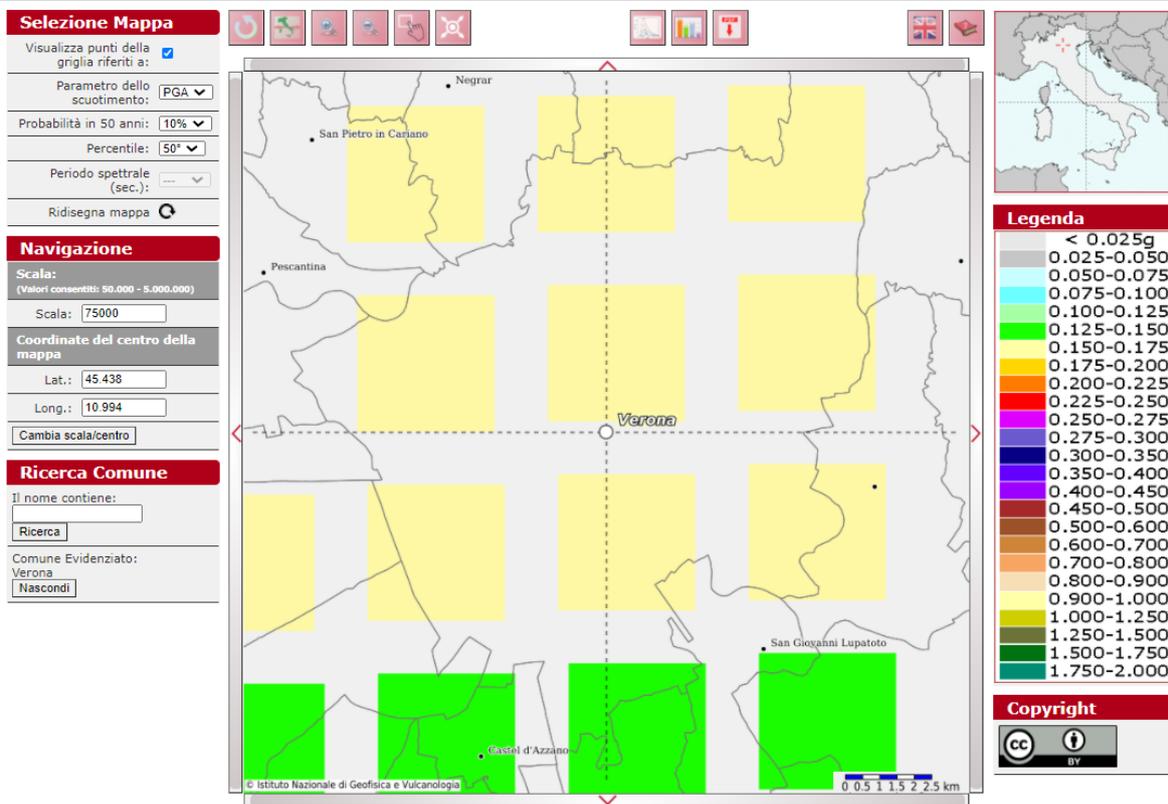


Figura 39. Valori di pericolosità sismica dell'area di Verona. Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati relativi al progetto S1 dell'INGV-DPC, sono stati determinati i valori reticolari dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno T_R pari a 475 anni. Per i valori di a_g , F_0 e T_{c^*} , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B del Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018 paragrafo 3.2).

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale, sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica “probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR”:

- a_g : accelerazione massima su suolo tipo A;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_{c^*} : periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo TC corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del Comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

I parametri forniti possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale.

In Tabella 6-2 vengono forniti, per il Comune di Verona, per periodi di ritorno T_R 475 anni i valori dei parametri a_g , F_0 e T_{c^*} da utilizzare per definire l'azione sismica.

Tabella 6-2. Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno T_r pari a 475 anni

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_{c^*} [s]
475	0.157	2.431	0.276

6.7 Azione sismica di riferimento

L'azione sismica, secondo la normativa vigente (D.M. 17/01/2018) viene valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su sito di riferimento rigido (di categoria A) avente superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1), sulla base della definizione di "pericolosità sismica di base" fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Categoria di sottosuolo

Ai sensi del D.M. 17.01.2018 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di suolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse. La determinazione della classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s).

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m dall'espressione riportata di seguito e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo sono stati utilizzati i dati derivanti dalle indagini geofisiche eseguite in foro e in superficie (prove Down-Hole e prove MASW/Re.Mi.) da ITALFERR tra il 2014 e il 2021, come riportato in Tabella 6-3.

Tabella 6-3. Sintesi dei risultati delle campagne indagini geofisiche eseguite da ITALFERR. Si riportano i valori di V_{seq} (m/s) e relativa categoria di sottosuolo con indicazioni delle pk di esecuzione delle prove

Sigla Prova	Tipologia di prova	Anno di esecuzione	V_{Seq} (m/sec)	Categoria suolo	pk
M3/R3	MASW	2021	561	B	Scalo Cason
M4/R4	MASW	2021	452	B	Scalo Cason
M5/R5	MASW	2021	476	B	Scalo Cason
DH-S16	Down-Hole	2021	498	B	Scalo Cason
M8/R8	MASW	2021	538	B	Scalo Cason
M6/R6	MASW	2021	492	B	154+150
DHL281R01	Down-Hole	2014	670	B	154+355
MASW 1 + HVSr 219	MASW	2021	454	B	154+700
DH-S21	Down-Hole	2021	520	B	154+725
SD2	Down-Hole	2021	443	B	155+250
MASW 3 + HVSr 218	MASW	2021	453	B	Fuori asse
SD15	Down-Hole	2021	427	B	155+900
M7/R7	MASW	2021	333	C	156+150

Sigla Prova	Tipologia di prova	Anno di esecuzione	V _{Seq} (m/sec)	Categoria suolo	pk
MASW 8 + HVSr 217	MASW	2021	444	B	156+950
MASW 2 + HVSr 216	MASW	2021	405	B	157+690
S3_DH	Down-Hole	2016	302	C	157+777
MASW 9S3 + HVSr 162	MASW	2021	356	C	157+790
DH VR1	Down-Hole	2020	441	B	157+990
MASW 4 + HVSr 212	MASW	2021	350	C	158+525
MASW 5	MASW	2021	335	C	158+860
L1	Tomografia sismica	2021	375*	B	159+050*
SD10	Down-Hole	2021	368	B	159+200
L2	Tomografia sismica	2021	423*	B	159+310*
MASW 6 + HVSr 213	MASW	2021	358	C	159+450
MASW 7 + HVSr 214	MASW	2021	383	B	159+920
SD13	Down-Hole	2021	366	B	160+630

*punto centrale della tomografia elettrica

L'analisi dell'assetto stratigrafico e dei valori di V_{seq} disponibili dalle prove sismiche M.A.S.W. e Down-Hole (Tabella 6-3) ha permesso di suddividere il tracciato come segue:

- Area “Quadrante Europa” e “Scalo Cason”: la categoria di sottosuolo è “**B**”, ovvero “*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 (V_{s,eq}) compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”;
- dalla pk 154+046 alla 157+750: la categoria di sottosuolo è “**B**”, ovvero “*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 (V_{s,eq}) compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”;
- dalla pk 157+750 alla 158+910: la categoria di sottosuolo è “**C**”, ovvero “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente (V_{s,eq}) compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”;
- dalla pk 158+910 alla 161+100: la categoria di sottosuolo è “**B**”, ovvero “*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 (V_{s,eq}) compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”.

Per i certificati delle indagini geofisiche ITALFERR 2021 si rimanda al report IN1A20D69IGGE0005001A “Report tecnico indagini geofisiche: prove Simica Rifrazione, Elettrica, DOWN HOLE, M.A.S.W./Re.Mi. e

	LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione Geotecnica Generale (Compresa Sismica)	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D 26 GE	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

H.V.S.R.” eseguite nell’anno 2021, per le risultanze degli anni precedenti si demanda al report IN1A20D69IGGE0005002A “Report indagini campagne geofisiche pregresse”.

Condizioni topografiche

L’area di progetto è localizzata in un settore di pianura, caratterizzato da morfologia sub-pianeggiante privo di particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale: la morfologia dell’area può pertanto essere ricondotta a una delle configurazioni superficiali semplici previste dal D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III (§ 3.2.2).

In particolare, l’area in oggetto può essere classificata in categoria T1, avente un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$ (Tabella 3.2.V).

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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 $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell’opera o dell’intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

6.8 Microzonazione sismica

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.) deriva dall'analisi degli elementi ritenuti necessari per la valutazione degli effetti locali e di sito in relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico. Tali elementi dovranno essere tenuti in considerazione nelle successive fasi di caratterizzazione sismica dei terreni e di parametrizzazione dinamica, al momento della realizzazione delle strutture. A tal fine, oltre all'acquisizione delle informazioni esistenti finalizzate alla conoscenza del territorio sotto il profilo geologico e geomorfologico, vengono valutati gli elementi utili per una ricostruzione e successiva rappresentazione, del modello geologico-tecnico di sottosuolo, sia in termini di geometrie sepolte che di spessori delle litologie presenti. Lo scopo di tale elaborato è quello di suddividere l'area investigata in aree omogenee (microzone) ove è possibile prevedere l'occorrenza di diversi effetti superficiali indotti dall'azione sismica.

Di seguito è riportata un'immagine in cui sono rappresentate le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica del Comune di Verona.

Dall'osservazione della carta delle M.O.P.S. (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) del comune di Verona (Figura 40), emerge che parte del sito in esame è inserito nelle Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale: "Zona 2005", ovvero caratterizzata da depositi fluvio-glaciali dell'antico conoide dell'Adige con spessori superiori di 100 m.

In aggiunta, come si può notare dal profilo geologico di dettaglio del tracciato i livelli sabbiosi e limosi si riscontrano a profondità maggiori di 20 m.

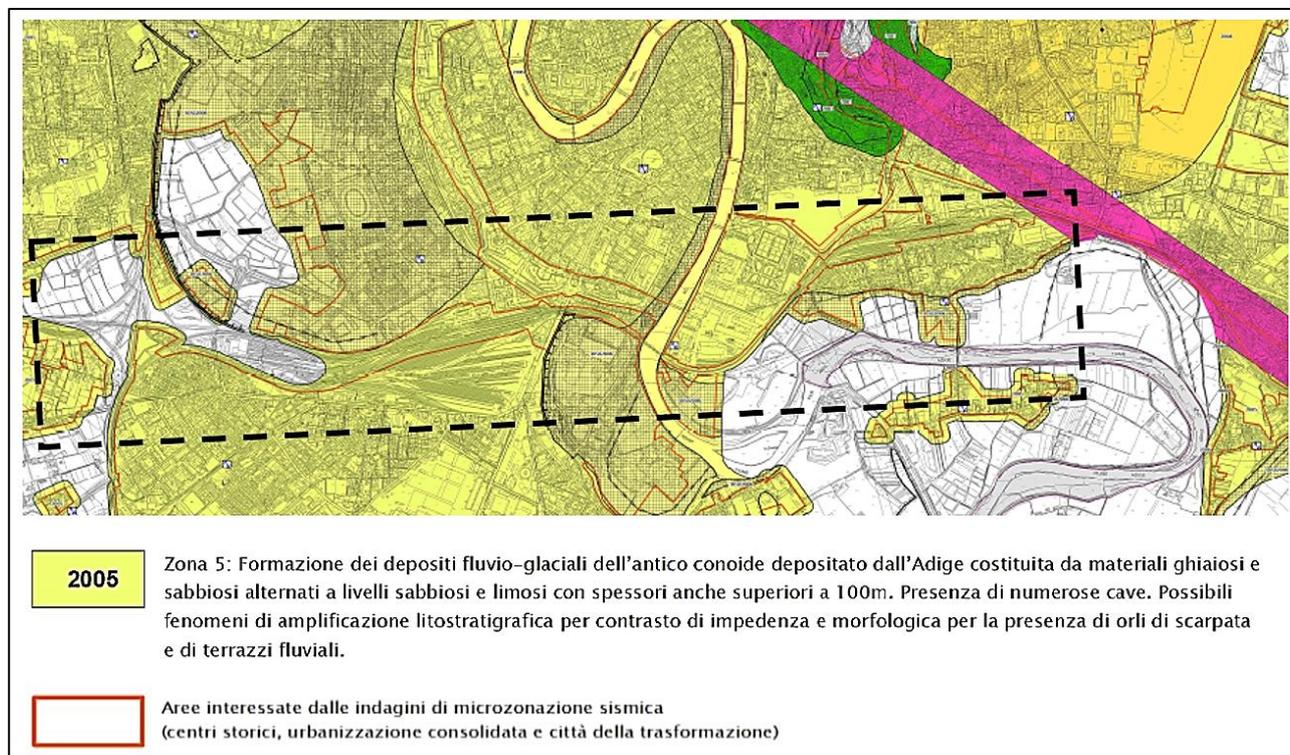


Figura 40. Carta delle M.O.P.S. del Comune di Verona e relativa legenda. In tratteggio nero l'area di progetto.

6.9 Analisi preliminare del rischio di liquefazione

Al fenomeno della liquefazione dei terreni sono associati la perdita di resistenza al taglio e l'evoluzione di deformazioni nel campo plastico, in terreni saturi prevalentemente sabbiosi. Tali fenomeni sono dovuti essenzialmente alle azioni cicliche dinamiche indotte dal sisma in condizioni non drenate. Tale eventualità va verificata poiché le condizioni di riduzione di resistenza e aumento delle deformazioni possono evolvere verso situazioni di danno permanente alle infrastrutture.

I parametri che influenzano la sensibilità di un ammasso nei confronti della liquefazione sono il numero di cicli N del sisma, l'assordimento granulometrico del terreno, ovvero la sua densità relativa caratteristica. Tanto più alto è il numero di cicli e tanto più bassa è la densità relativa, tanto maggiore è la probabilità di liquefazione del terreno.

La Normativa tecnica NTC 2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 afferma che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field 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 $(N_1)_{60} > 30$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in tabella seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$ (vedi figg. 41 e 42).

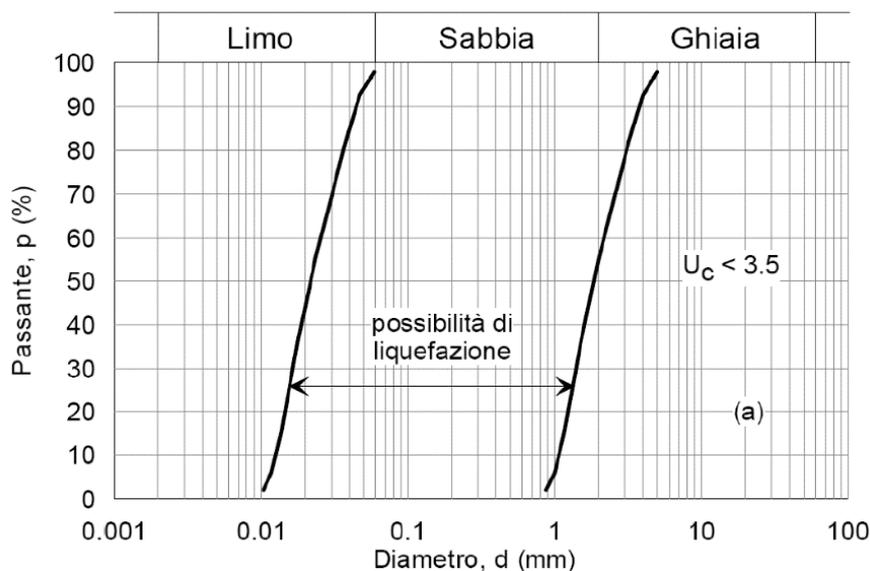


Figura 41 - fusi granulometrici per terreni suscettibili alla liquefazione – $U_c < 3,5$

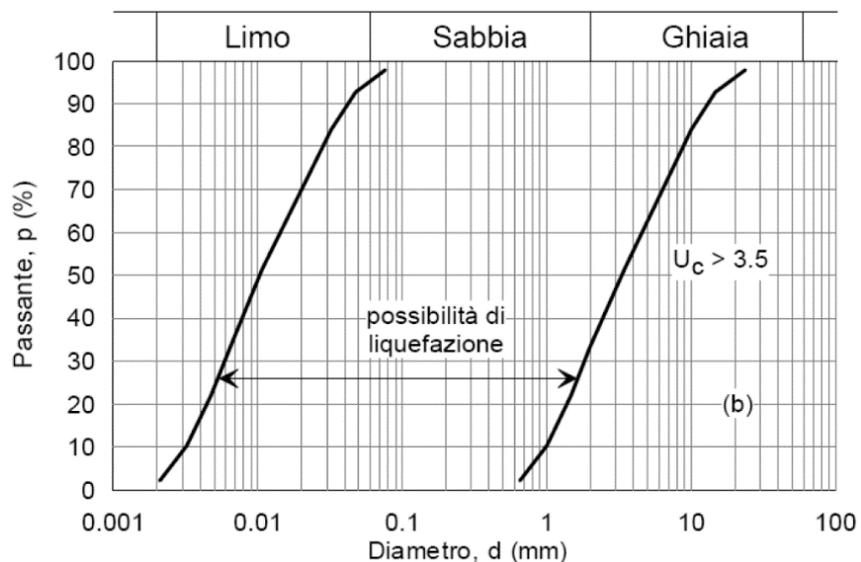


Figura 42 - fusi granulometrici per terreni suscettibili alla liquefazione – $U_c > 3,5$

Nell'area in oggetto, sulla base dei dati ad oggi disponibili e dei criteri di esclusione sopra riportati (previsti dalla normativa vigente), data una profondità della falda maggiore di 15 m da piano campagna, qualora vengano adottate fondazioni superficiali per le strutture in progetto, la verifica di liquefazione potrebbe essere omessa.

7 CARATTERIZZAZIONE PER PROGRESSIVA

Nel seguito si presentano in sintesi i valori dei principali parametri geotecnici determinati con le analisi descritte nei capitoli precedenti, distinti per progressiva chilometrica in base alle indagini ricadenti nelle varie tratte del tracciato di progetto:

- dal km 153+000 al km 156+000
- dal km 156+000 al km 157+200
- dal km 157+600 al km 158+100 (*F. Adige*)
- dal km 158+100 al km 161+000

7.1 Dal km 151+200 al km 153+100 – SCALO CASON

Unità ghiaioso-sabbiosa

SUBSTRATO [m da p.c.]	γ_n [kN/m ³]	D _R [%]	ϕ' [°]	c' [kPa]	G ₀ [Mpa]	E ₀ [Mpa]	E' _{REL} [Mpa]	E' _{OC} [Mpa]
0÷5	19	45÷76	39	0	74	171	17	34
5÷15	19	51÷66	39	0	127	292	29	58
>15	19	32÷57	38	0	180	413	41	83

Angolo di resistenza ϕ' : Valore medio e relativa variazione fra le correlazioni utilizzate

E'_{REL}: Modulo di deformazione operativo per i rilevati (E₀/10)

E'_{OC}: Modulo di deformazione operativo per le opere civili (E₀/5)

7.2 Dal km 153+100 al km 154+046 – SCALO CASON

Unità ghiaioso-sabbiosa

SUBSTRATO [m da p.c.]	γ_n [kN/m ³]	D _R [%]	ϕ' [°]	c' [kPa]	G ₀ [Mpa]	E ₀ [Mpa]	E' _{REL} [Mpa]	E' _{OC} [Mpa]
0÷5	19	71÷97	42	0	101	233	23	47
5÷15	19	50÷77	40	0	152	350	35	70
>15	19	32÷57	38	0	173	398	40	80

Angolo di resistenza ϕ' : Valore medio e relativa variazione fra le correlazioni utilizzate

E'_{REL}: Modulo di deformazione operativo per i rilevati (E₀/10)

E'_{OC}: Modulo di deformazione operativo per le opere civili (E₀/5)

7.3 Dal km 154+046 al km 156+000 – (NV01) Sottopasso Parco Urbano Verona PN

Unità ghiaioso-sabbiosa

SUBSTRATO [m da p.c.]	γ_n [kN/m ³]	D_R [%]	ϕ' [°]	c' [kPa]	G_0 [Mpa]	E_0 [Mpa]	E'_{RIL} [Mpa]	E'_{OC} [Mpa]	E'_{25} [Mpa]
0÷5	19	92.8	44.9 (32.8÷49.7)	0	83.2	199.8	20.0	40.0	50.9
5÷15	19	95.3	47.8 (40.3÷49.5)	0	145.2	348.5	34.9	69.7	66.3
>15	19	82.3	46.4 (35.1÷48.8)	0	199.6	479.1	47.9	95.8	67.6

Angolo di resistenza ϕ' : Valore medio e relativa variazione fra le correlazioni utilizzate

E'_{RIL} : Modulo di deformazione operativo per i rilevati ($E_0/10$)

E'_{OC} : Modulo di deformazione operativo per le opere civili ($E_0/5$)

E'_{25} : Modulo di deformazione operativo secondo *Jamiolkowski et al.* (1988)

7.4 Dal km 156+000 al km 157+200

Unità ghiaioso-sabbiosa

SUBSTRATO [m da p.c.]	γ_n [kN/m ³]	D_R [%]	ϕ' [°]	c' [kPa]	G_0 [Mpa]	E_0 [Mpa]	E'_{RIL} [Mpa]	E'_{OC} [Mpa]	E'_{25} [Mpa]
0÷5	19	86.5	44.0 (34.7÷49.5)	0	80.3	192.8	19.3	38.6	48.7
5÷15	19	82.7	44.6 (33.3÷49.2)	0	132.1	316.9	31.7	63.4	55.5
>15	19	75.8	44.8 (32.5÷48.3)	0	187.8	450.8	45.1	90.2	61.8

Angolo di resistenza ϕ' : Valore medio e relativa variazione fra le correlazioni utilizzate

E'_{RIL} : Modulo di deformazione operativo per i rilevati ($E_0/10$)

E'_{OC} : Modulo di deformazione operativo per le opere civili ($E_0/5$)

E'_{25} : Modulo di deformazione operativo secondo *Jamiolkowski et al.* (1988)

7.5 Dal km 157+600 al km 158+100 – Fiume Adige

Unità ghiaioso-sabbiosa

SUBSTRATO [m da p.c.]	γ_n [kN/m ³]	D _R [%]	ϕ' [°]	c' [kPa]	G ₀ [Mpa]	E ₀ [Mpa]	E' _{RIL} [Mpa]	E' _{OC} [Mpa]	E' ₂₅ [Mpa]
0÷5	19	74.8	40.2 (29.7÷49.8)	0	65.7	157.7	15.8	31.5	34.9
5÷15	19	63.1	38.8 (31.1÷49.0)	0	104.1	249.7	25.0	49.9	33.1
>15	19	66.2	41.7 (31.1÷48.4)	0	182.6	438.1	43.8	87.6	48.6

Angolo di resistenza ϕ' : Valore medio e relativa variazione fra le correlazioni utilizzate

E'_{RIL}: Modulo di deformazione operativo per i rilevati (E₀/10)

E'_{OC}: Modulo di deformazione operativo per le opere civili (E₀/5)

E'₂₅: Modulo di deformazione operativo secondo *Jamiolkowski et al.* (1988)

Unità limoso-argillosa (analisi di laboratorio)

Prof. (m)	Taglio Diretto		TRX UU cu (kPa)	TRX (cid)	
	Coesione c' (kPa)	Angolo f' (°)		TRX c' (kPa)	TRX f' (°)
22,00			97,00		
18,00				0,00	26,40
22,00				0,00	25,00
17,00	8,60	26,40	70,00		
16,50			127,00	12,00	27,40
media	8,60	26,40	98,00	4,00	26,27
min			70,00	0,00	25,00
max			127,00	12,00	27,40

7.6 Dal km 158+100 al km 161+000

Unità ghiaioso-sabbiosa

SUBSTRATO [m da p.c.]	γ_n [kN/m ³]	D _R [%]	ϕ' [°]	c' [kPa]	G ₀ [Mpa]	E ₀ [Mpa]	E' _{RIL} [Mpa]	E' _{OC} [Mpa]	E' ₂₅ [Mpa]
0÷5	19	76.4	40.4 (31.7÷49.7)	0	68.6	164.5	16.5	32.9	35.6
5÷15	19	79.9	43.2 (33.1÷49.5)	0	124.8	299.5	30.0	59.9	48.8
>15	19	75.3	44.0 (32.8÷48.8)	0	188.3	452.0	45.2	90.4	57.3

Angolo di resistenza ϕ' : Valore medio e relativa variazione fra le correlazioni utilizzate

E'_{RIL}: Modulo di deformazione operativo per i rilevati (E₀/10)

E'_{OC}: Modulo di deformazione operativo per le opere civili (E₀/5)

E'₂₅: Modulo di deformazione operativo secondo *Jamiolkowski et al.* (1988)

Unità limoso-argillosa (analisi di laboratorio)

Prof. (m)	Taglio Diretto		TRX (cid - ciu)				Edom Eed (kPa)
	Coesione c' (kPa)	Angolo f' (°)	TRX UU cu (kPa)	TRX c' (kPa)	TRX f' (°)	TRX CU c cu (kPa)	
9,60							6249,00
10,60	1,30	29,10					
16,30				34,00	30,30	54,00	25,90
19,20							8414,00
13,00	1,90	29,10					
19,00				2,00	29,50	43,00	14,80
23,40				11,00	30,10	29,00	17,10
19,35			121,00				
19,00	8,60	33,40					
28,50				23,00	25,00		
23,00							11154,00
21,50	0,00	25,00					
18,00				0,00	22,60		

media	2,95	29,15	121,00	14,00	27,50	42,00	19,27	8327,00
min	0,00	25,00	121,00	0,00	22,60	29,00	14,80	6249,00
max	8,60	33,40	121,00	34,00	30,30	54,00	25,90	11154,00

Unità sabbie medio-fini (analisi di laboratorio)

Prof. (m)	Taglio Diretto	
	Coesione c' (kPa)	Angolo f' (°)
17,60	0,90	39,30
17,60	2,20	38,30
22,00	1,10	34,10
media	1,40	37,23
min	0,90	34,10
max	2,20	39,30



**LINEA AV/AC MILANO – VENEZIA
LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA**

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST

Relazione Geotecnica Generale
(Compresa Sismica)

COMMESSA
IN1A

LOTTO
20

CODIFICA
D 26 GE

DOCUMENTO
GE0000 001

REV.
A

FOGLIO
119 di 119