

*Regione Veneto
Provincia di Rovigo*

Comune di Rovigo



DENOMINAZIONE INTERVENTO

INSEDIAMENTO COMMERCIALE VIA PORTA PO

ELABORATO

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
GEOMORFOLOGICA AI SENSI DEL DM 17/01/2018

**STUDIO
ELLEBI**

Via Corrubio, 24
37020 Sant'Anna d'Alfaedo (VR)

Cell.: 3665675480
E-mail: studioellebi@tiscali.it

Dott. Geol. Lorena Benedetti



LA COMMITTENZA

Spesa Intelligente Spa – via Campalto 3 /d, San Martino Buonalbergo (VR)

Cod. rif.: LB2407

Data Febbraio 2024

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	UBICAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO	5
4	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE	7
5	RELAZIONE GEOLOGICA.....	8
	5.1 <i>Inquadramento geologico e geomorfologico</i>	8
	5.2 <i>Inquadramento idrografico ed idrogeologico</i>	11
	5.3 <i>Descrizione delle indagini e Modello geologico</i>	15
	5.4 <i>Interpretazione delle prove penetrometriche e Modello geotecnico preliminare</i>	18
	5.5 <i>Pericolosità geologica ed analisi del PAT comunale</i>	22
6	RELAZIONE SISMICA	25
	6.1 <i>Classificazione sismica dell'area</i>	27
	6.2 <i>Analisi sismica locale</i>	27
	6.3 <i>Suscettibilità alla liquefazione</i>	28
7	VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA; GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	34

ALLEGATI AL TESTO

ALLEGATO 1:	COROGRAFIA SU CTR
ALLEGATO 2:	PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI
ALLEGATO 3:	PROVE PENETROMETRICHE
ALLEGATO 4:	INDAGINE SISMICA

Sant'Anna d'Alfaedo Febbraio 2024

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto del PUA per la realizzazione di un nuovo insediamento commerciale in via Porta Po, a Rovigo, è stato condotto il presente studio finalizzato alla valutazione della compatibilità geologica geomorfologica ed idrogeologica dell'area. Con tali finalità si è proceduto ad effettuare:

- la ricostruzione dell'inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area;
- la ricostruzione dell'assetto stratigrafico e la caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni costituenti il primo sottosuolo mediante una specifica campagna indagini;
- l'individuazione delle possibili problematiche di carattere geologico e geotecnico e sismico connesse con l'esecuzione delle opere in progetto.

Con tali finalità è stata analizzata la documentazione bibliografica ed alcune indagini di repertorio, procedendo poi all'esecuzione di una verifica delle condizioni locali tramite l'esecuzione di quattro prove penetrometriche statiche (CPT) e di un'indagine sismica composta da uno stendimento ReMi / MASW e da un test HVSR.

L'elaborato è stato svolto in ottemperanza al **D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni"**, facendo riferimento alla **Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 21 gennaio 2019, n. 7**, contenente le istruzioni per l'applicazione delle NTC.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla seguente normativa di riferimento ed alle seguenti raccomandazioni:

D.M. 11.03.1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

CIRC. MIN. LL.PP. 24.09.1988 N. 30483

Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

CIRC. REGIONE VENETO 30.01.1990 N. 2

Osservanza della normativa vigente sull'uso del sottosuolo ai fini edificatori e, in particolare, dell'obbligo, nei casi previsti, della Relazione geologica e della Relazione geotecnica.

CIRC. DEL MIN. LL.PP. 09.01.1996 N. 218/24/3

Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica.

CIRC. REGIONE VENETO 05.04.2000 N. 9

Indirizzi in materia di prescrizioni tecniche da osservare per la realizzazione di opere pubbliche e private. Obblighi derivanti dalla Legge 2 Febbraio 1974, n. 64 e dal D.M. 11 Marzo 1988.

ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 20.03.2003 N. 3274 (G.U. 08.05.2003 N. 105)

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.

DELIBERA DEL CONSIGLIO REGIONALE DEL VENETO 03.12.2003 N. 67

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003 n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" – Approvazione della classificazione sismica e direttive per l'applicazione.

ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 28.04.2006 N. 3519

Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.

D.M. 14.01.2008 (NTC-2008)

Nuove norme tecniche per le costruzioni.

DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE DEL VENETO 22.01.2008 N. 71

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" – Direttive per l'applicazione. Adozione del provvedimento n. 96/CR del 7 agosto 2006.

CIRC. 02.02.2009 N. 617/C.S.LL.PP.

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

D.M. 17.01.2018 (NTC-2018)

Norme tecniche per le costruzioni.

CIRC. 21.01.2019 N. 7/C.S.LL.PP.

Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17.01.18.

DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE DEL VENETO N. 244 DEL 9 MARZO 2021

Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D. Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021

3 UBICAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO

L'area oggetto della presente indagine si trova nella parte meridionale e periferica della città e del Comune di Rovigo. Il lotto di interesse, attualmente è occupato da due fabbricati residenziali e da un fabbricato artigianale/produttivo dismesso e dalle rispettive aree di pertinenza attualmente tenute a verde. Le immagini sottostanti evidenziano l'ubicazione dell'area di interesse.



Fig. 1_ Ubicazione del sito di interesse progettuale su immagini dal Geoportale della Regione Veneto (in alto) e Google Earth (in basso) con evidenziata (in rosso) l'area oggetto di interesse progettuale

Infine, per un inquadramento di dettaglio dell'area di interesse progettuale si fa riferimento alla Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 di cui si riporta un estratto alla figura seguente. In particolare, il sito ricade all'interno dell'Elemento n. 168102 "Rovigo Sud-Est".

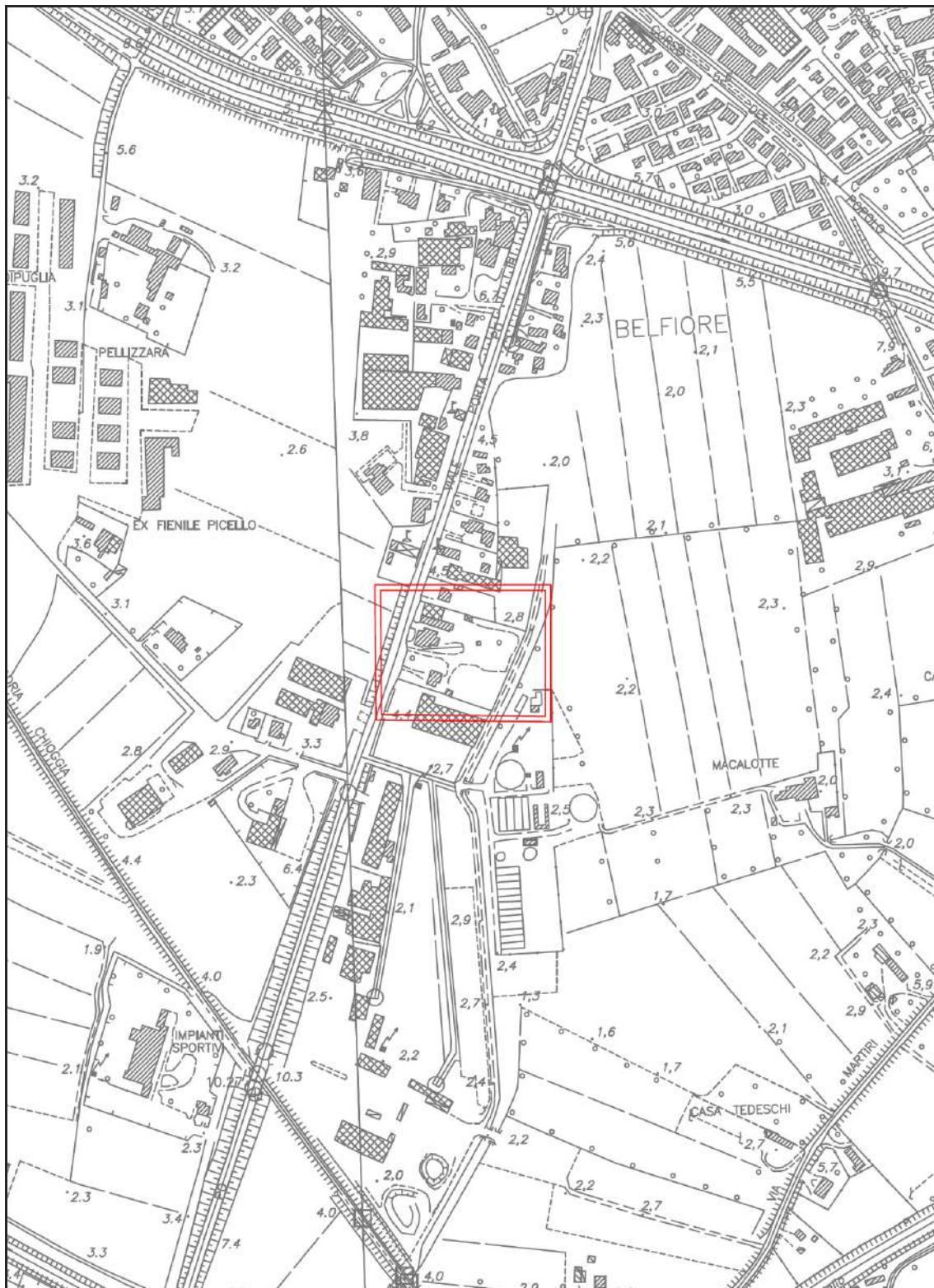


Fig. 2_ Ubicazione del sito di interesse progettuale su carta tecnica regionale- estratto fuori scala.
Il sito ricade principalmente all'interno dell'elemento 168102 "Rovigo Sud-Est"

4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

Con specifico riferimento agli elaborati progettuali forniti (di cui si riportano di seguito alcuni estratti) si prevede la realizzazione di un nuovo edificio a struttura prefabbricata di superficie pari a 1.893 mq circa che insisterà su un lotto di circa 7.000 mq. Il fabbricato sarà adibito a punto vendita a marchio "Eurospin" e si svilupperà su un unico piano fuori terra. Non sono previsti piani interrati e completa l'intervento la sistemazione delle aree esterne con la realizzazione della viabilità, della zona a parcheggi e della parte a verde. Attualmente l'area risulta in parte occupata da due edifici residenziale e da un fabbricato produttivo dismesso che saranno oggetto di demolizione.

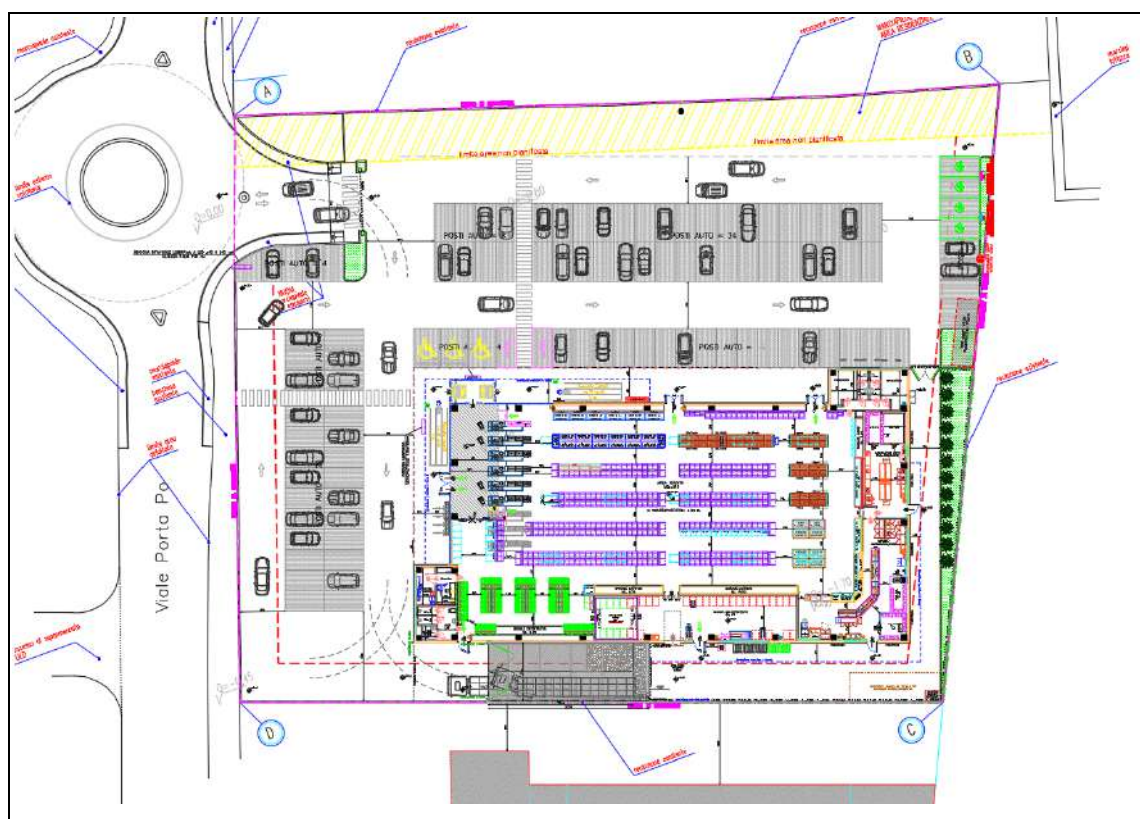


Fig. 3_ Planimetria stato di progetto

5 RELAZIONE GEOLOGICA

5.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

Il sito di interesse progettuale si colloca nella porzione più sud orientale del territorio della Regione Veneto. In prima istanza, per l'analisi geologico - geomorfologica generale dell'area si fa riferimento alla "Carta Geologica del Veneto", in scala 1:250.000, di cui si riporta un estratto nella figura seguente e dalla quale, si evince che l'area di progetto si colloca al di sotto della linea delle risorgive, nella bassa pianura compresa fra il Fiume Adige ed il Fiume Po dove il sottosuolo è caratterizzato da materiali alluvionali a granulometria prevalentemente fine ed in particolare da "limi e argille prevalenti".

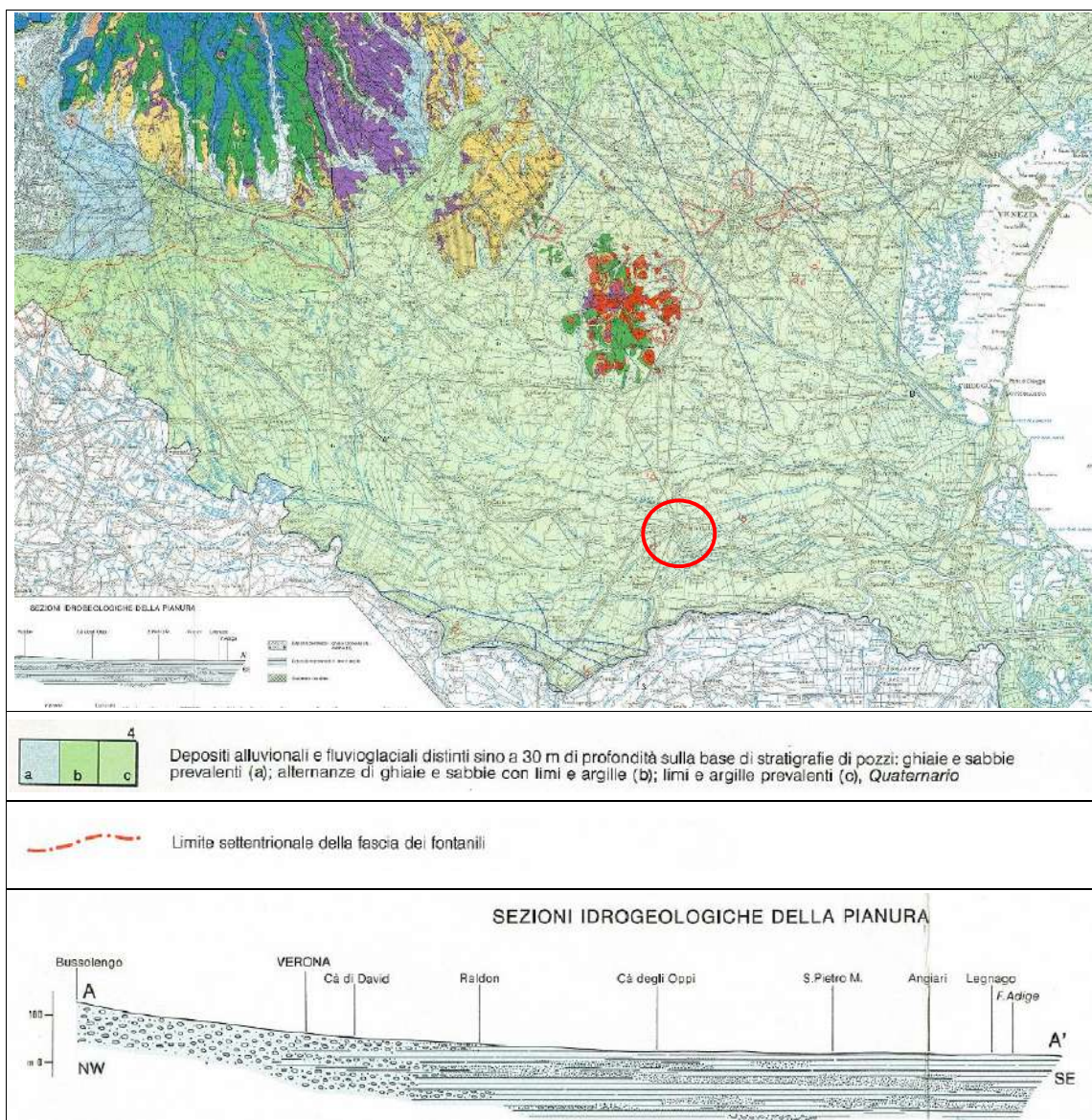


Fig. 4_ Estratto della "Carta Geologica del Veneto", in scala 1:250.000. In rosso indica l'area di progetto.

Dall'analisi della "Carta Litologica" del PAT del Comune di Rovigo, di cui si riporta un estratto alla figura seguente, l'area di interesse ricade in un contesto litologico caratterizzato da **"Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa, mediamente permeabili"**.

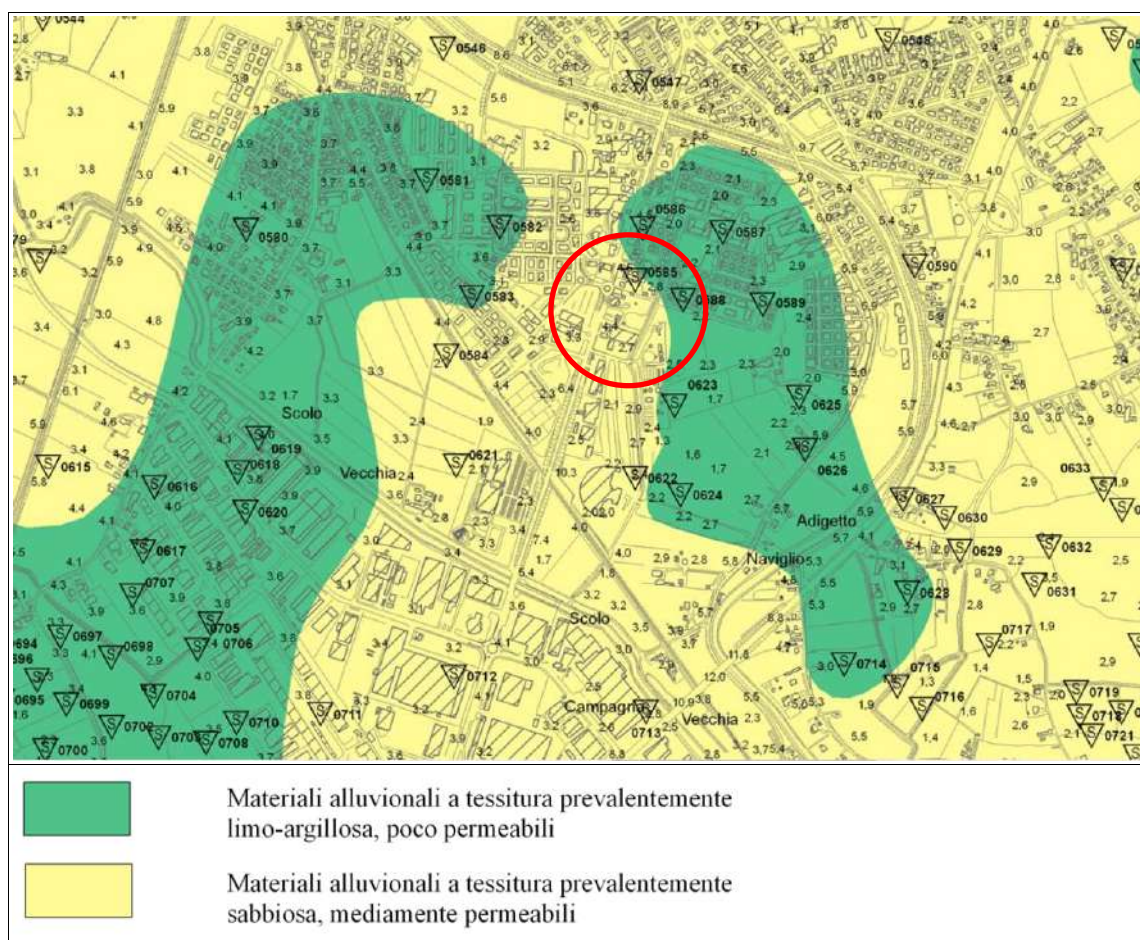


Fig. 5_ Estratto della "Carta Litologica" del PAT del Comune di Rovigo.
In rosso il sito di interesse progettuale.

Come si vedrà meglio nelle pagine seguenti, le indagini in situ condotte hanno evidenziato la presenza di un sottosuolo stratificato e caratterizzato da **un'alternanza di depositi con granulometria variabile (limi e argille, limi argillosi / limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie)**.

Dal punto di vista geomorfologico il territorio comunale si presenta pressoché pianeggiante con un andamento altimetrico generale degradante verso il sistema delle lagune veneziane ed è segnato da dossi fluviali a modesta elevazione e paleoalvei leggermente incassati nella pianura dove scorrevano gli antichi corsi d'acqua. Le forme tipiche sono quelle di un ambiente di pianura e sono quindi legate all'evoluzione dell'idrografia attuale e pregressa. Le antiche forme del territorio, tuttavia, sono solo parzialmente riconoscibili, mascherate dagli interventi di urbanizzazione, dall'attività agricola o modificate dagli interventi sulla rete fluviale e di bonifica. Attualmente gli elementi morfologici principali sono riconducibili a forme artificiali (argini, rilevati infrastrutturali, ecc.).

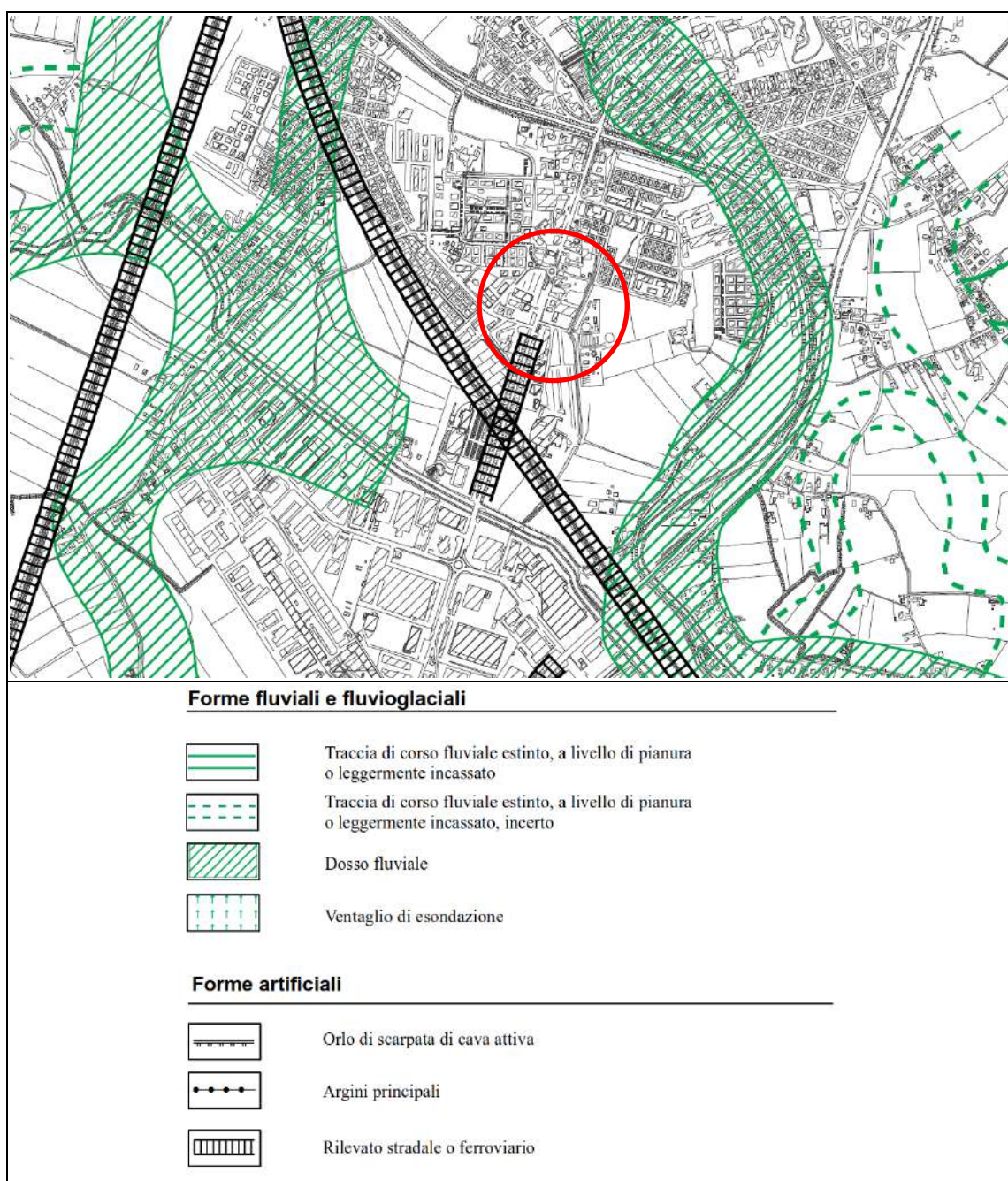


Fig. 6_ Estratto della "Carta Geomorfologica" del PAT del Comune di Rovigo (in rosso l'area di progetto)

Nello specifico, l'area di intervento si colloca ad una quota di circa 3,0 m s.l.m. in un territorio pianeggiante e caratterizzato da dislivelli minimi.

5.2 Inquadramento idrografico ed idrogeologico

Dal punto di vista **idrografico**, gli elementi idrografici principali sono costituiti dal Fiume Adige che passa circa 4.500 m a Nord ed il Canalbianco che passa circa 3.000 m a Sud del sito di progetto. Ciò premesso, in questa porzione di territorio può essere suddivisa in bacini scolanti ben delimitati, serviti da una fitta rete scoli di bonifica ben precisi, consolidatisi nel tempo e che a volte hanno interrotto il naturale deflusso di reti scolanti consortili e consorziali.

Nello specifico, con riferimento alla Carta del reticolo idrografico del Comune di Rovigo di cui si riporta uno stralcio di seguito, si evidenzia che i corsi d'acqua più vicini all'area di progetto sono rappresentati dal canale Adigetto, che passa circa 500 m dall'area di progetto, e dallo scolo Pelizzara che passa lungo via Porta Po per poi immettersi a Sud nel Collettore principale.

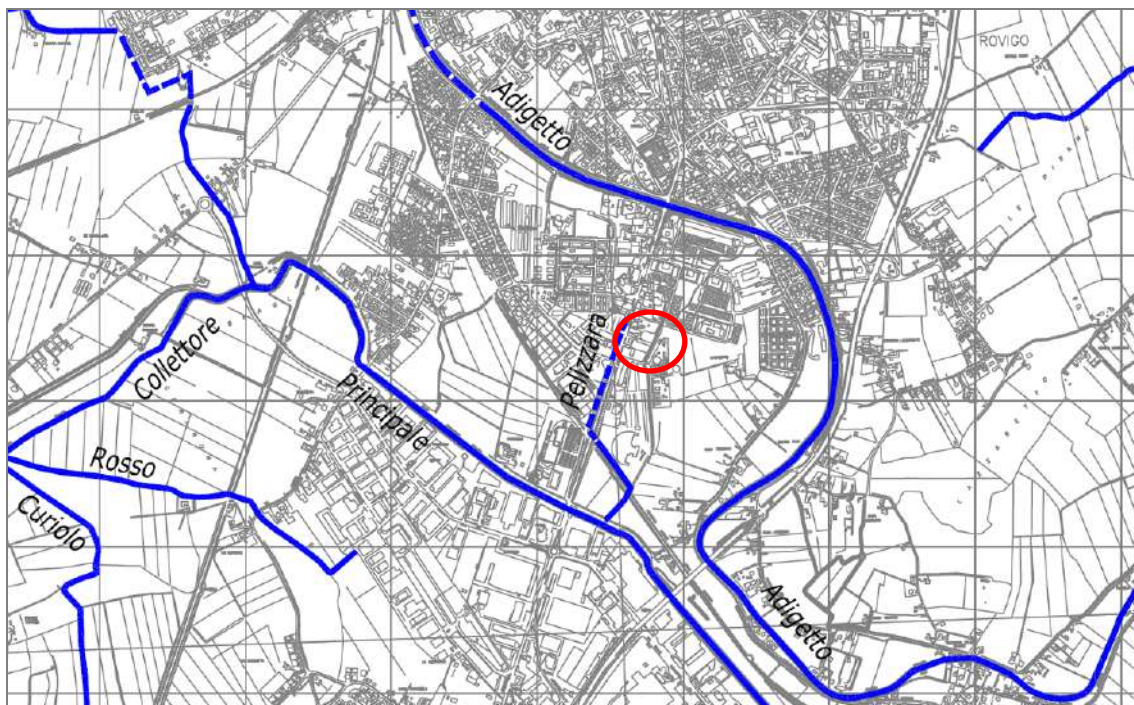


Fig. 7_ Estratto della "Carta della rete idrografica" allegata allo Studio di Compatibilità Idraulica del PAT del Comune di Rovigo (in rosso l'area di progetto)

Dall'analisi della "Carta delle Criticità idrauliche" allegata al PAT del Comune di Rovigo di cui si riporta un estratto di seguito, si rileva che l'area di progetto ricade entro un'area a pericolosità idraulica segnalata dal Consorzio di Bonifica Polesine Adige Canalbianco.

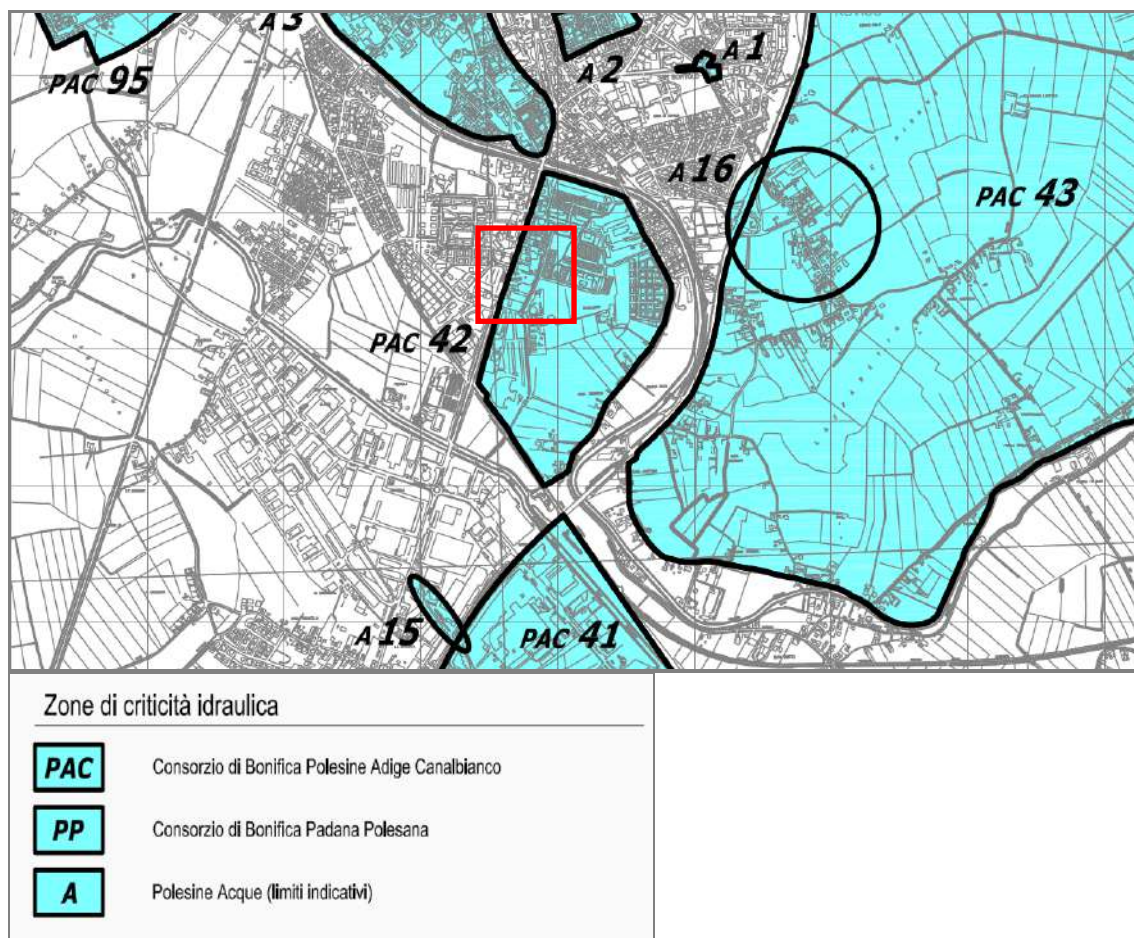


Fig. 8_ Estratto della "Carta delle Criticità idrauliche" allegata allo Studio di Compatibilità Idraulica del PAT del Comune di Rovigo (in rosso l'area di progetto)

Area PAC-42

L'area denominata "Città Giardino", interessata da vecchi maceri e individuata a Est di viale Porta Po fra Adigetto e linea ferroviaria, ha registrato particolari criticità. Secondo informazioni assunte presso il Consorzio di Bonifica, trattasi di un'area fortemente depressa, servita da un unico canale di scolo (Pelizzara) sottodimensionato rispetto alle attuali e future urbanizzazioni. Nell'area insiste altresì il vecchio impianto di depurazione tutt'ora in funzione.

L'insediamento ha un unico canale privato che scarica in Pelizzara, non adeguatamente mantenuto e di sezione inadeguata.

Al momento attuale è in corso di realizzazione un bacino di laminazione (con recapito in Adigetto), interessante una superficie di 4568 m² (corrispondente a un volume di invaso di entità pari a 4568 m³), a servizio delle recenti urbanizzazioni dislocate nella parte più settentrionale dell'area.

Per il futuro il Consorzio di Bonifica ravvisa la necessità di realizzare un nuovo bacino di laminazione (di volume adeguato), oltre al risezionamento del fosso privato di collegamento allo scolo Pelizzara e all'allargamento del manufatto sottopassante la ferrovia.

Le criticità idrauliche sopra riportate sono riprese anche nella "Carta Idrogeologica" del PAT, di cui si riporta un estratto alle pagine seguenti, in base alla quale l'area di intervento ricade in "Area a deflusso difficoltoso".

Dall'analisi della cartografia del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) dell'autorità di bacino distrettuale del Fiume Po di cui si riporta nella figura seguente un estratto dal sito del Portale Cartografico Nazionale si evidenzia per l'area di progetto una **pericolosità da alluvione bassa - P1 per il reticolo primario di pianura**. L'area ricade inoltre in area a pericolosità P1 anche per il reticolo secondario di pianura.



Fig. 9_ Estratto delle aree Allagabili del PGRA del Bacino del PO del Reticolo primario di pianura.
Dal Portale Cartografico nazionale (in rosso l'area di progetto)

Sotto il profilo **idrogeologico**, La struttura idrogeologica tipica della pianura veneta è rappresentata da un acquifero freatico indifferenziato dell'Alta pianura caratterizzato da direzione di deflusso approssimativamente Nord – Ovest / Sud – Est e depositi con valori di permeabilità piuttosto elevati, che permettono un'agevole infiltrazione nel sottosuolo da parte delle acque superficiali, favorendo la ricarica degli acquiferi. L'alta pianura fa transizione verso il sistema della bassa pianura caratterizzata da una struttura stratificata con alternanze di depositi permeabili ed impermeabili che costituiscono un sistema ad acquiferi sovrapposti. Il passaggio fra l'alta e la bassa pianura è segnato dalla venuta a giorno della falda freatica in corrispondenza della così detta linea delle risorgive.

Nello specifico, l'area di progetto si colloca a valle del limite superiore delle risorgive, nella bassa pianura, in un'area quindi caratterizzata da una bassa soggiacenza della falda.

In fatti, in riferimento alla "Carta Idrogeologica" del P.A.T. del Comune di Rovigo, di cui si riporta un estratto alla pagina seguente, l'area di progetto è caratterizzata da una soggiacenza della falda compresa fra 0 e 2 m da piano campagna.

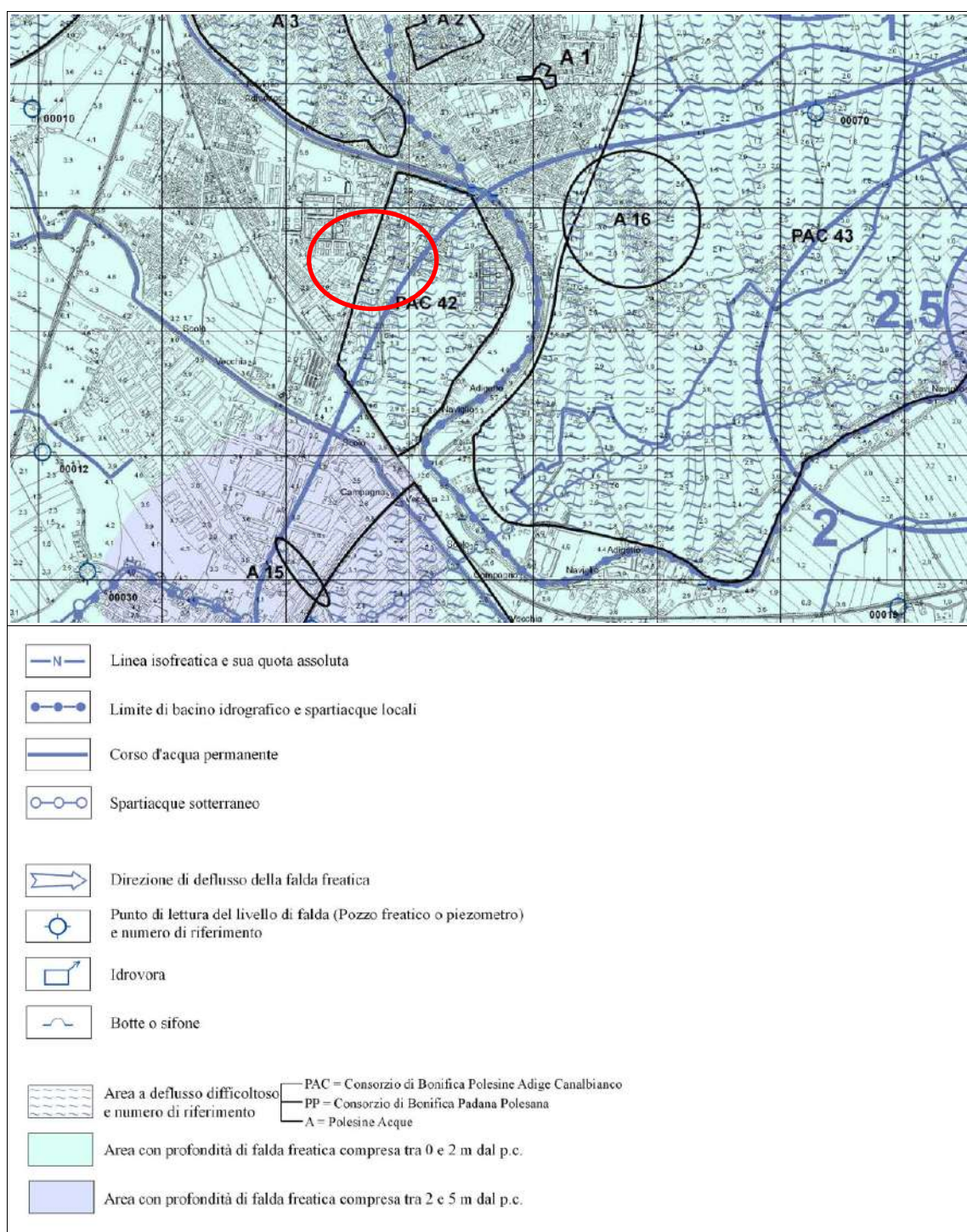


Fig. 10_ Estratto della "Carta Idrogeologica" allegata alla Relazione Geologica del P.A.T. di Rovigo.
In rosso l'area di interesse.

In tal senso, le indagini in situ condotte hanno intercettato la prima falda ad una profondità compresa fra 1,6 a 2,6 m da p.c..

5.3 Descrizione delle indagini e Modello geologico

Il sito di progetto, posto ad una quota altimetrica pari a circa 3,0 m s.l.m., si trova su un'area attualmente occupata da due edifici residenziali, da un edificio produttivo dismesso e dalle rispettive pertinenze costituite dalla viabilità di accesso ai fabbricati e da aree a verde per una superficie totale di circa 7.000 mq.. Dal punto di vista geomorfologico, il Comune di Rovigo è localizzato nella Bassa Pianura dell'Adige, dove la modellazione del suolo è legata all'azione erosiva e di trasporto dei corsi d'acqua. Dal punto di vista litologico, il sottosuolo è formato da depositi alluvionali recenti (depositi limoso argillosi, sabbiosi e limoso sabbiosi), rimaneggiati dai corsi d'acqua locali e, quindi, distribuiti in modo disomogeneo; tale distribuzione non permette sempre di suddividere il sottosuolo per strati omogenei. La Carta Litologica del P.A.T. comprende l'area in esame tra quelle costituite da materiali a tessitura prevalentemente sabbiosa.

Per la definizione della stratigrafia locale e per la ricostruzione delle qualità geotecniche dei terreni, sono state realizzate n. 4 prove penetrometriche statiche denominate **CPT 1 ÷ CPT 4** ed approfondite fino alla profondità massima di 20 m dal piano campagna (cfr. ALLEGATO n. 3).

Invece, per la caratterizzazione sismica sono stati eseguiti n. 1 stendimento geofisico di sismica con metodologia **MASW** e n. 1 registrazione di rumore sismico ambientale **H.V.S.R** (cfr. ALLEGATO 4).

Le indagini eseguite sono ubicabili come indicato in figura e nella planimetria riportata in ALLEGATO 2 a fine testo.

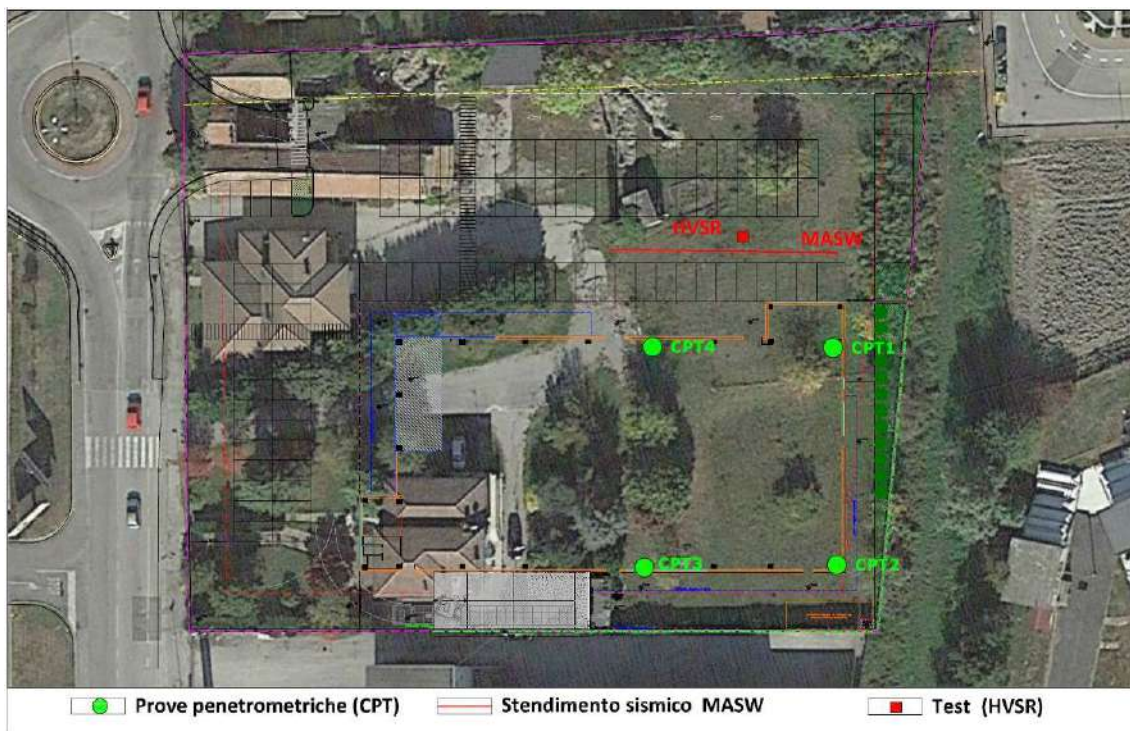


Fig. 11_ Ubicazione delle prove penetrometriche statiche CPT 1÷CPT 4 e delle indagini sismiche.

Nello specifico, le 4 prove CPT eseguite hanno identificato la presenza di un'alternanza di depositi con granulometria variabile (limi e argille, limi argillosi / limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie), che complessivamente presentano una discreta omogeneità. In particolare le verticali indagate, hanno individuato tre macrostrati principali:

- da piano campagna fino a 1,4 / 2,00 m di profondità è presente uno strato superficiale di Riporto e di limi/argille sovra consolidate,
- fino a 10,00 / 11,00 m circa di profondità sono presenti argille limose/argille a comportamento meccanico prevalentemente coesivo;
- al di sotto dei 10,00 / 11,00 m sono presenti alternanze di sabbie limose e limi argillosi a comportamento da incoerente a coesivo;

La figure seguenti raffigurano la struttura stratigrafica del sottosuolo lungo le 4 verticali di indagine così come risulta dall'interpretazione delle prove secondo la classificazione SBT.

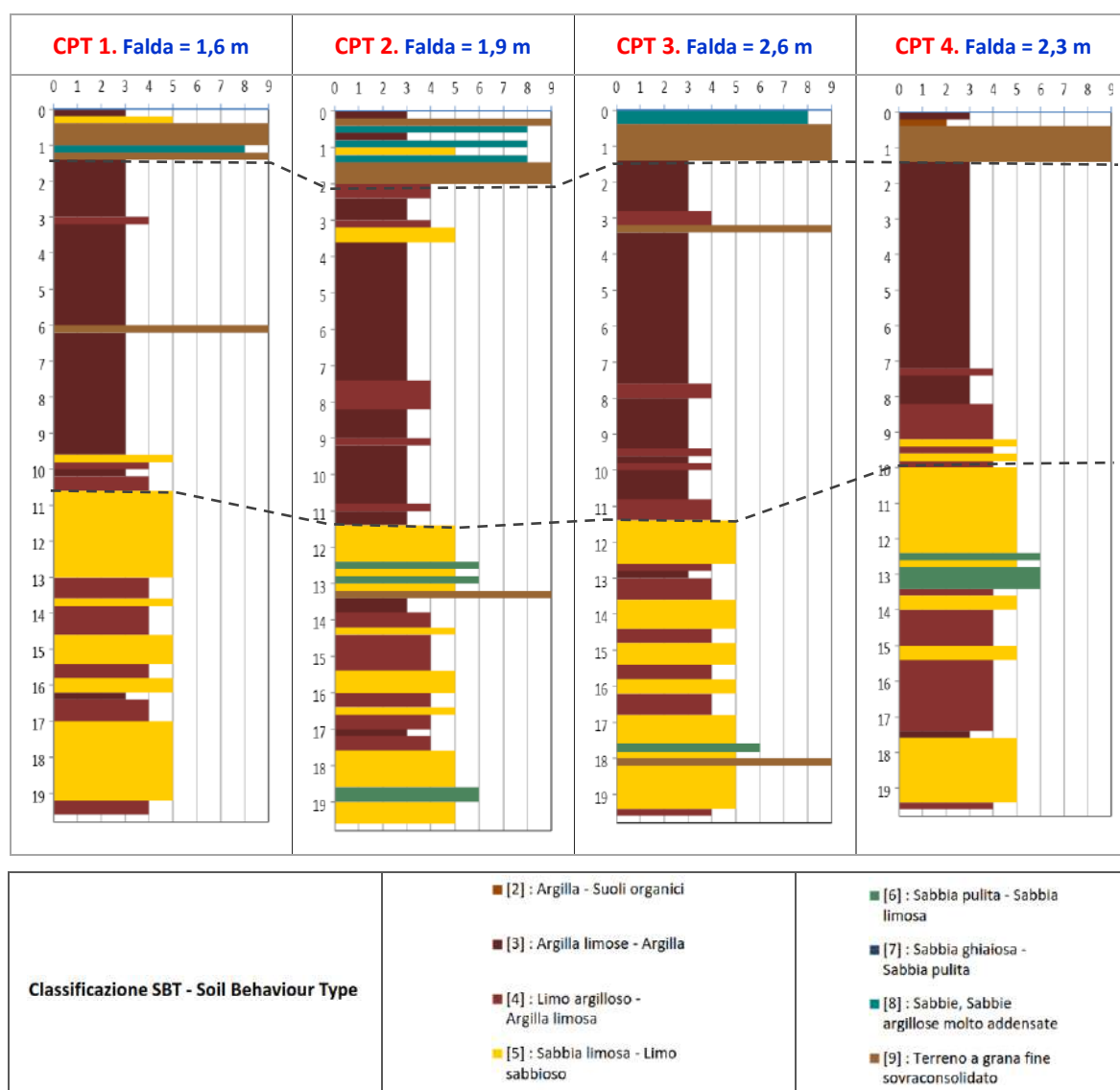


Fig. 12_ Raffronto stratigrafico delle prove penetrometriche statiche (CPT)

Dal punto di vista idrogeologico, l'area si colloca nella bassa pianura dove, al di sotto di una prima falda superficiale, più o meno libera e non riconducibile ad un unico orizzonte permeabile ma ad una serie di corpi lentiformi, l'acquifero si presenta suddiviso in più falde sovrapposte. Pur non propriamente legato ad una falda freatica pienamente identificata, il livello saturo dei terreni è compreso tra le profondità di 0 m e 2 m dal piano campagna, come riporta la carta idrogeologica del P.A.T.. In particolare, nel corso delle prove, **la falda è stata misurata ad una profondità compresa fra 1,6 e 2,6 m** dal piano campagna attuale.

Le indagini condotte permettono, quindi, di schematizzare la stratigrafia e l'idrogeologia locale come indicato nella seguente Tab. 1.

MODELLO GEOLOGICO

Profondità dal p.c. attuale (m)	Litologie prevalenti	Profondità falda. attuale (m dal p.c)
0,0 ÷ (0,0 / 1,20)	Materiale superficiale prevalentemente limo argilloso, rimaneggiato / riportato	1,6 ÷ 2.60 m (misure del 05.02.24)
(0,0 / 1,20) ÷ (1,4 / 2,0)	Limo / Argilla sovraconsolidata	
(1,4 / 2,0) ÷ (9,60 / 11,60)	Argilla limosa / Argilla	
(9,60 / 11,60) ÷ (19,00)	Sabbia e sabbia limosa prevalenti in alternanza con strati limo argillosi.	

Tab. 1. Stratigrafia indicativa del lotto

All'apertura degli scavi dovrà essere confermata la corrispondenza tra le effettive condizioni locali e quanto finora ricostruito.

5.4 Interpretazione delle prove penetrometriche e Modello geotecnico preliminare

Come detto, sono state realizzate n. 4 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte fino alla profondità massima di 20 m dal p.c.- Le CPT, eseguite con un penetrometro PAGANI da 200 kN, sono prove che forniscono informazioni continue lungo un profilo verticale, attraverso misure fisiche dirette correlabili empiricamente con numerosi parametri geotecnici.

Tali prove consistono nell'infiggere a velocità costante nel terreno una punta conica, misurando separatamente lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno - acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta stessa.

In particolare, le prove penetrometriche eseguite hanno permesso di effettuare, mediante l'uso della punta Begemann, la misura (ogni 20 cm) dei valori della resistenza alla punta e dell'attrito laterale locale, successivamente correlati alle caratteristiche geotecniche del terreno.

La figura sotto sintetizza l'andamento verticale della resistenza all'avanzamento della punta del penetrometro (R_p) da cui si evince, complessivamente, una discreta corrispondenza fra le quattro prove.

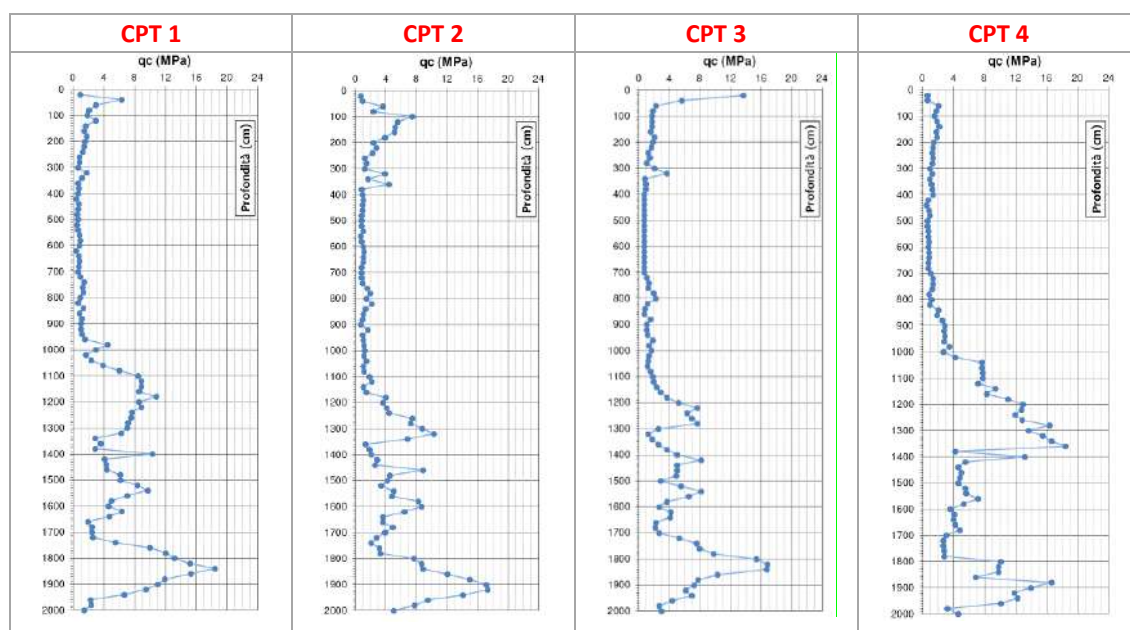


Fig. 13_ Raffronto dei grafici di resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche eseguite

I dati riepilogati nelle Tab. 2 rappresentano il valore **medio** dei parametri di ciascuno degli strati individuati.

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio è stata usata la formula di Khulawy & Mayne (1990), mentre la coesione non drenata è stata calcolata con il metodo di Robertson (2010).

Si rimanda, invece, all'ALLEGATO n. 3 per prendere visione dei grafici e dei risultati completi.

	Profondità dal p.c. attuale (m)	Comportamento prevalente	R_{pm} (kg/cm ²)	γ_{nat} (kN/m ³)	c_u (kPa)	ϕ (°)
CPT 1 Prof. falda = 1,6 m dal p.c.	0,00 – 0,40	Riporto	9	18,5	-	-
	0,40 – 1,40	Incoerente	22	19,0	-	34
	1,40 – 2,40	Coesivo	14	18,5	63	-
	2,40 – 8,20	Coesivo	8	17,5	31	-
	8,20 – 9,60	Coesivo	11	18,0	45	-
	9,60 – 10,60	Coesivo	30	19,0	102	-
	10,90 – 13,20	Incoerente	79	20,0	-	35
	13,20 – 14,80	Coesivo	47	20,0	144	-
	14,80 – 16,40	Incoerente	64	20,0	-	32
	16,40 – 17,20	Coesivo	23	19,0	170	-
	17,20 – 19,40	Incoerente	115	20,5	-	35
	19,40 – 19,80	Coesivo	23	19,0	71	-
CPT 2 Prof. falda = 1,9 m dal p.c.	0,00 – 1,20	Riporto	34	19,0	-	-
	1,20 – 2,00	Incoerente	41	19,5	-	34
	2,00 – 3,60	Coesivo	23	18,0	92	-
	3,60 – 9,00	Coesivo	10	17,5	43	-
	9,00 – 11,60	Coesivo	13	18,0	52	-
	11,6 – 13,40	Incoerente	62	19,0	-	34
	13,40 – 15,60	Coesivo	37	19,5	117	-
	15,60 – 16,20	Incoerente	76	20,5	-	34
	16,20 – 17,80	Coesivo	33	19,5	110	-
	17,80 – 19,80	Incoerente	116	20,5	-	35
CPT 3 Prof. falda = 2,6 m dal p.c.	0,00 – 0,40	Riporto	95	19,5	-	-
	0,40 – 1,40	Incoerente	18	19,0	-	33
	1,40 – 3,20	Coesivo	18	18,5	79	-
	3,20 – 7,00	Coesivo	7	17,0	30	-
	7,00 – 11,60	Coesivo	15	18,0	59	-
	11,60 – 12,80	Incoerente	61	19,0	-	34
	12,80 – 13,80	Coesivo	23	19,0	85	-
	12,80 – 17,00	Incoerente	45	19,0	-	30
	17,00 – 19,80	Incoerente	83	20,0	-	33
CPT 4 Prof. falda = 2,3 m dal p.c.	0,00 – 0,40	Riporto	6	17,5	-	-
	0,40 – 1,40	Incoerente	18	19,0	-	33
	1,40 – 4,00	Coesivo	13	18,0	58	-
	4,00 – 8,20	Coesivo	8	17,0	36	-
	8,20 – 10,0	Coesivo	26	18,5	96	-
	10,00-13,60	Incoerente	110	20,5	-	35
	13,60 – 17,80	Coesivo	47	20,0	144	-
	17,80 – 19,00	Incoerente	102	20,5	-	34

Tab. 2. Parametri geotecnici dalle prove CPT

R_{pm} = Resistenza media alla punta, γ_{nat} = Peso di volume naturale del terreno,
 c_u = Coesione non drenata, ϕ = Angolo di resistenza al taglio

MODELLO GEOTECNICO PRELIMINARE

Nella seguente tabella sono state schematizzate le caratteristiche meccaniche del sottosuolo, e sono stati riportati i parametri geotecnici γ_d di progetto, ottenuti accorpare strati aventi caratteristiche all'incirca omogenee, secondo le modellazioni M1 ed M2 previste dalle NTC.

	Strato	Profondità (m dal p.c. attuale)	Comportamento prevalente	γ_{nat} (kN/m ³)	c_{ud} (kPa)	ϕ_d (°)
M1	R	0,0 ÷ (0,4 / 1,20)	Riporto	18,0	-	-
	A	(0,4 / 1,20) ÷ (1,4 / 2,0)	Incoerente	19,0	-	33
	B	(1,4 / 2,0) ÷ (10,0/11,6)	Coesivo	18,0	50	-
	C	(10,0/11,6) ÷ (12,8 / 13,6)	Incoerente	19,5	-	34
	D	(12,8 / 13,6) ÷ (17,00 / 17,8)7	Coesivo	19,5	120	-
	E	(17,0 / 17,8) ÷ 19,80	Incoerente	20,0	-	33
M2	R	0,0 ÷ (0,4 / 1,20)	Coesivo	18,0	-	-
	A	(0,4 / 1,20) ÷ (1,4 / 2,0)	Coesivo	19,0	-	27,45
	B	(1,4 / 2,0) ÷ (10,0/11,6)	Coesivo	18,0	36	-
	C	(10,0/11,6) ÷ (12,8 / 13,6)	Coesivo	19,5	-	28,35
	D	(12,8 / 13,6) ÷ (17,00 / 17,8)	Incoerente	19,5	86	-
	E	(17,0 / 17,8) ÷ 19,80	Incoerente	20,0	-	27,45

Tab. 3. Parametri geotecnici di progetto – Modellazione M1 ed M2 delle NTC
 γ_{nat} = Peso di volume naturale del terreno, c_{ud} = Coesione non drenata di progetto,
 ϕ_d = Angolo di resistenza al taglio di progetto.

All'interno dei tre macro strati principali costituiti da un primo strato di riporto e di limi, da argille sovra consolidate, fino a 10,00/11,00 m di profondità a cui fanno seguito alternanze di sabbie limose e limi argillosi si segnala:

- uno strato argilloso compreso fra 2,4/4,0 e 7,0/9,0 m di profondità che caratteristiche geotecniche scadenti;
- un netto miglioramento delle caratteristiche geotecniche a partire da partire da 10,0 / 11,0 m di profondità ;
- in prima analisi, nel caso di fondazioni superficiali, i terreni potranno garantire valori di portanza dell'ordine di 100-120 KPa. Tuttavia prima della progettazione strutturale, dovranno essere calcolati i cedimenti indotti dagli incrementi di pressione indotti dal carico del fabbricato in modo da valutare la possibilità di un sistema a fondazioni superficiali o la necessità di ricorrere a fondazioni profonde.

5.5 Pericolosità geologica ed analisi del PAT comunale

Con specifico riferimento alle problematiche di carattere geologico connesse con la realizzazione dell'intervento in esame, è stato analizzato nel dettaglio il P.A.T. del Comune di Rovigo. Dalla Carta dei Vincoli e delle Invarianti, di cui si riportano gli estratto di seguito, l'area di progetto non risulta interessata da vincoli e invarianti di alcun genere.

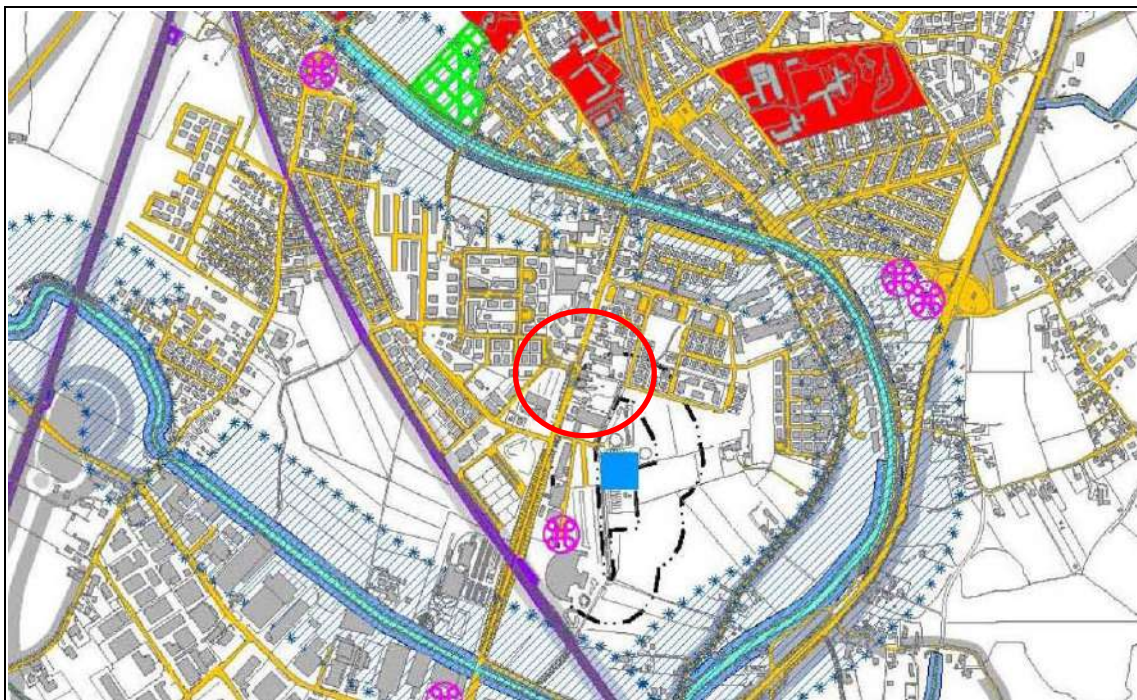


Fig. 14_ Estratto dalla "Carta dei Vincoli" del P.A.T. del Comune di Rovigo. In rosso il sito di interesse.

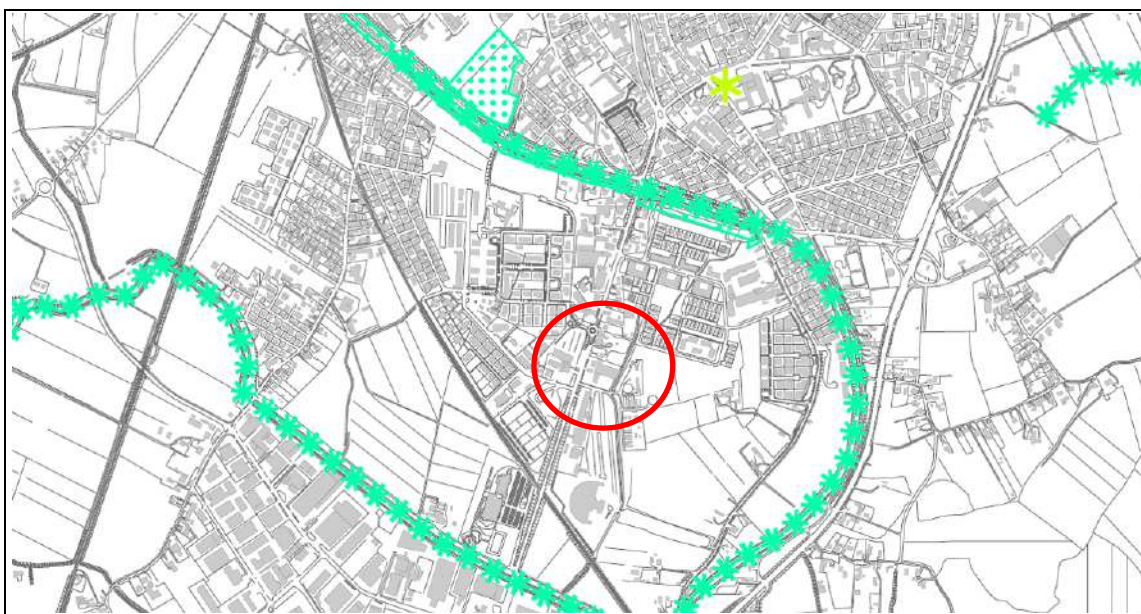


Fig. 15_ Estratto dalla "Carta delle Invarianti" del P.A.T. del Comune di Rovigo. In rosso il sito di interesse.

Come riporta la “Carta delle fragilità” del P.A.T. in riferimento alla Compatibilità geologica, è possibile evidenziare come il sito ricada in “Aree idonee a condizione” mentre in riferimento al Dissesto idrogeologico il sito ricade in corrispondenza di “Area a ristagno idrico”.

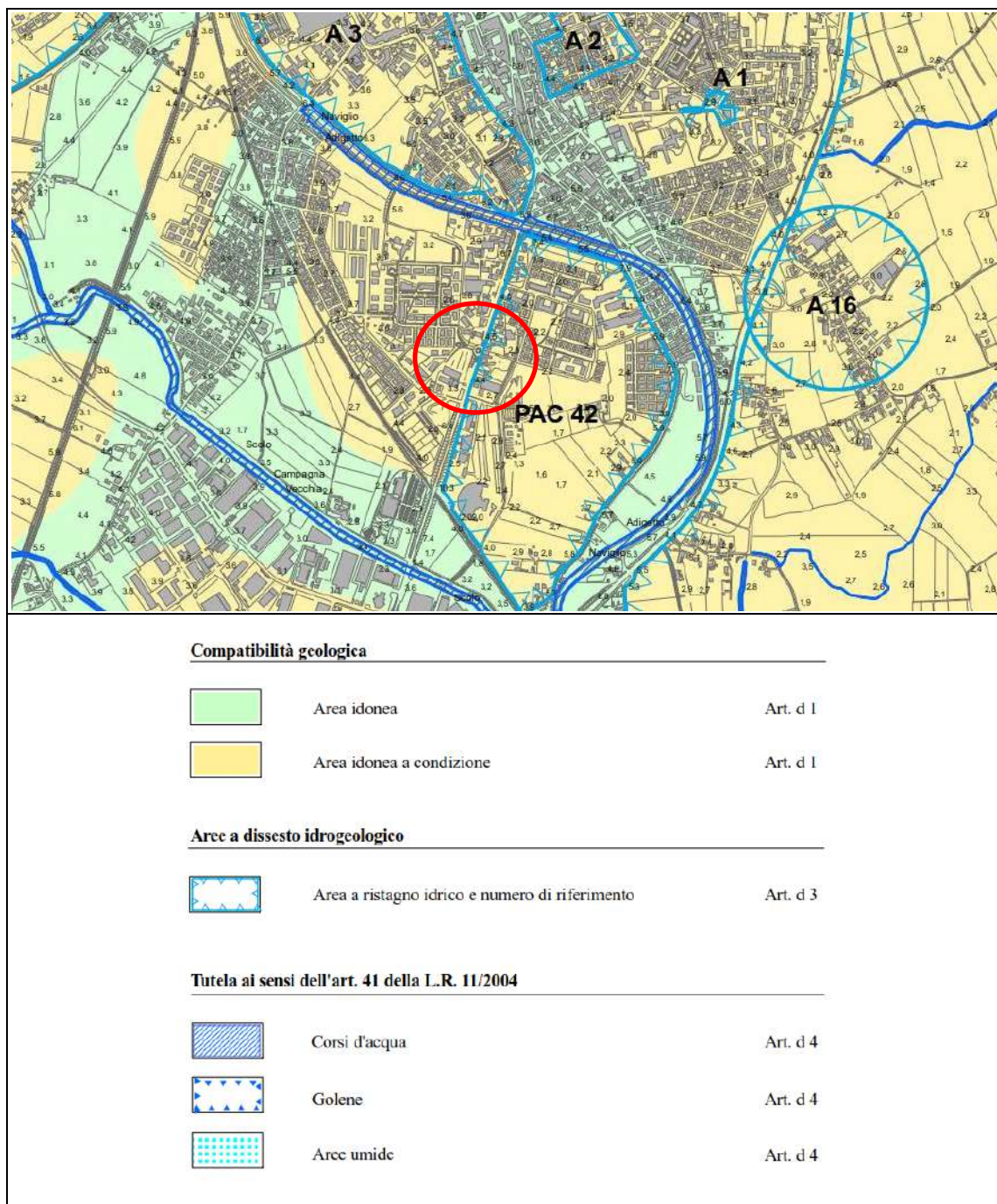


Fig. 16_ Estratto della “Carta delle Fragilità” del P.A.T. del Comune di Rovigo
(in rosso il lotto di intervento).

L'articolo d1 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.T. per le aree IDONEE A CONDIZIONE riportano quanto segue:

1.5 Terreno idoneo a condizione (fondo giallo):

Le aree idonee a condizione comprendono principalmente:

- terreni posti a quote medie e basse (normalmente da +2 a 0 metri s.l.m.);
- terreni spesso rappresentati dai bacini più depressi colleganti i rilevati dei paleovalvei;
- terreni normalmente drenati che frequentemente evidenziano aree interessate da ristagni idrici;
- falda freatica compresa normalmente tra 1 e 2 metri dal piano campagna.

1.6 Le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche di queste aree sono spesso penalizzanti ai fini urbanistici e richiedono l'esecuzione di indagini geologiche, idrogeologiche e geotecniche approfondite oltre alla stesura della relativa relazione geologico tecnica, per gli interventi che necessitino di P.C. e/o D.I.A. L'edificabilità in tali aree è possibile solo previo controllo specifico, finalizzato al tipo d'intervento da eseguire, come prescritto al paragrafo H3 del D.M. 11 marzo 1988. L'edificazione è soggetta alla normativa di cui al D.M. 14/1/2008.

PRESCRIZIONI E VINCOLI

1.7 Le istanze per l'approvazione di P.U.A. dei P.C. e delle D.I.A. dovranno contenere una adeguata relazione geologica e geologico tecnica che, in relazione alla classificazione dei terreni ai fini della compatibilità geologica, dimostri la compatibilità degli interventi con le norme di tutela e sicurezza. Lo sviluppo delle analisi deve essere conforme a quanto previsto dalla norme tecniche emanate con il D.M. 11.03.1988 e D.M. 14.01.2008 e proporzionato al grado di compatibilità attribuito al terreno ed alle caratteristiche dell'opera in progetto.

L'articolo d4 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.T. per le aree soggetto a DISSESTO IDROGEOLOGICO riportano quanto segue:

Art. D3. Aree a dissesto idrogeologico e assetto idrografico

Rif. Legislativo: L.R. 11/2004

Rif.: Tav. 3 – Carta della fragilità

DIRETTIVE

3.1 All'interno dei "terreni idonei a condizione" sono state evidenziate numerose aree caratterizzate da dissesto idrogeologico per ristagno idrico (IDR.) e come tali cartografate e catalogate da numerazione di riferimento secondo le indicazioni contenute nella relazione geologica e nello studio di compatibilità idraulica; tale condizione determina ovviamente una normativa tecnica differente sia negli studi geologici, idrogeologici e geotecnici preliminari, che nelle caratteristiche intrinseche del progetto dell'opera.

PRESCRIZIONI E VINCOLI

3.2 Fatto salvo quanto previsto dal D.M. 11/03/1988, in aggiunta si prevede l'applicazione delle prescrizioni previste dal P.A.I. Fissero Tartaro-Canalbianco (2001) in relazione alle aree di possibile trasformazione quando interferiscano con le zone a rischio idraulico. Il Piano di Intervento (P.I.) considererà tali prescrizioni alla stregua di linee guida per le successive fasi di programmazione.

In tal senso, per il presente intervento è stata condotta una specifica campagna indagini volta espressamente alla ricostruzione del quadro geologico, idrogeologico, geotecnico e sismico di dettaglio al fine di valutare la compatibilità dell'intervento col contesto locale.

6 RELAZIONE SISMICA

Secondo il modello di zonazione sismotettonica del C.N.R. del 1987, il settore Italiano nordorientale è suddivisibile in 10 zone con significato geologico e sismologico diversificato. Il sito in esame si colloca nella "Pianura mantovano - veronese" (Zona 4 in figura) in direzione con la "Zona di svincolo scledense" (Zona 5 in figura).

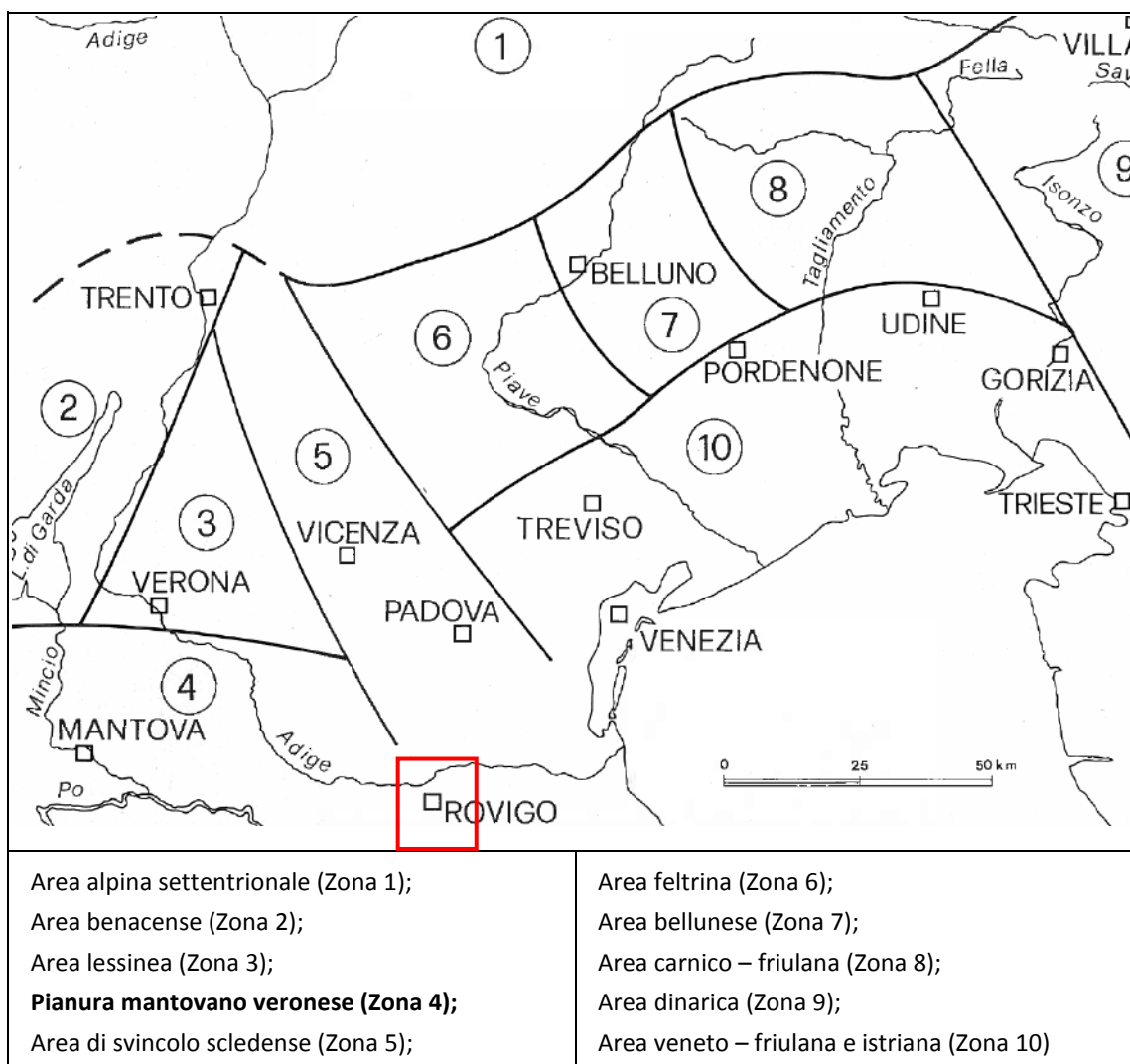


Fig. 17_ Modello sismotettonico dell'Italia Nord Orientale (Slejko et. al. 1987)

Il sistema di faglie di Schio-Vicenza, un insieme di faglie ad andamento NW-SE, NE-dipping, ad alto angolo che abbassano ad Est la successione sedimentaria della pianura veneta inoltre è una struttura trasversale rispetto all'andamento generale del fronte di spinta delle Alpi Meridionali Orientali. Di fatto il sistema interrompe la continuità del fronte di spinta delle Alpi Meridionali nel settore veneto. Nonostante i Cataloghi storici e strumentali mostrino solo una distribuzione sparsa di sismicità moderata lungo questa strutturale (non sembra infatti che abbia generato terremoti di magnitudo pari o superiore a 5) è probabile che la Linea Schio-Vicenza possa ospitare anche terremoti significativi.

In merito alle **faglie capaci**, (faglie che, in caso di sisma, possono raggiungere la superficie e produrre una rottura del terreno), si è fatto riferimento alle ricostruzioni del catalogo **ITHACA**, che riporta i lineamenti “Schio Vicenza” (codice 72002) e “Ferrara Ridge” (codice 90808). Tali strutture non intersecano il sito, come riporta la figura seguente non intercettano direttamente l’area di progetto.



Fig. 18_ *Faglie capaci secondo l’archivio Ithaca (Fonte Portale SGI). In blu l’area di progetto.*

Inoltre, il sito si trova all’esterno delle zone sismogeniche individuate dal **DISS 3.2.1** (Database of Individual Seismogenic Sources), considerato che le sorgenti più vicine si trovano ad una distanza minima di circa 20 km (in arancio, nella figura sottostante).

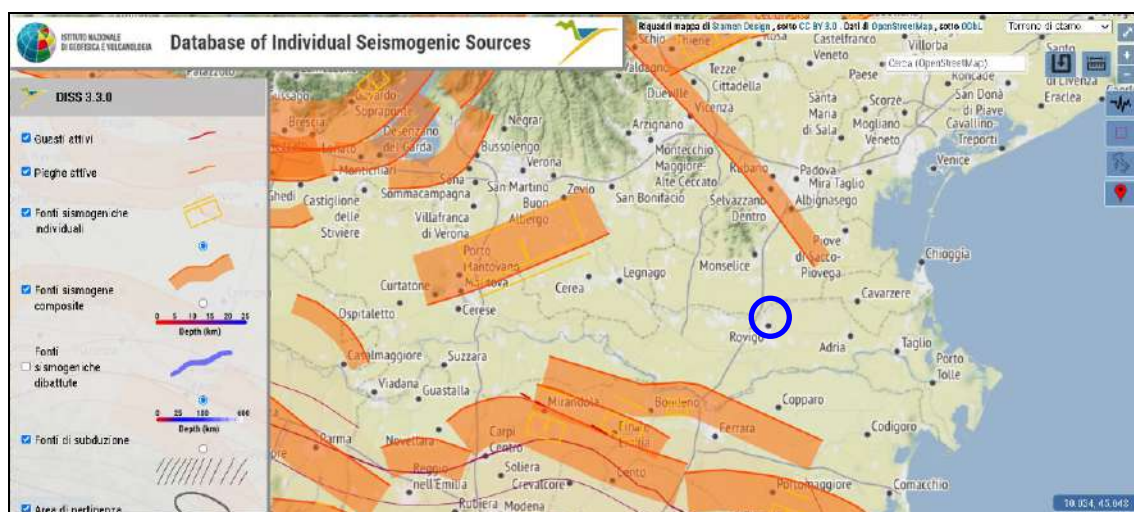


Fig. 19_ *Estratto dal “DISS – Database of Individual Seismogenic Sources” (IGNV). In blu l’area di progetto.*

6.1 Classificazione sismica dell'area

Secondo l'O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006, considerata nell'emanazione del D.M. 14 gennaio 2008 e confermata dal D.M. 17 gennaio 2018, l'area è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra **0,050g** e **0,075g** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile).

Infatti, per quanto riguarda la **pericolosità di base**, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_r = 475$ anni), il calcolo eseguito con il programma “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata, individua la pericolosità sismica del sito con un valore di a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,064g** (cfr. figura seguente).

Le coordinate dell'area sono state acquisite da Google Earth (Datum WGS 84) e successivamente corrette e convertite nel Datum ED 50, come riporta la figura sotto, per essere inserite nel programma “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” per l'individuazione della pericolosità del sito.

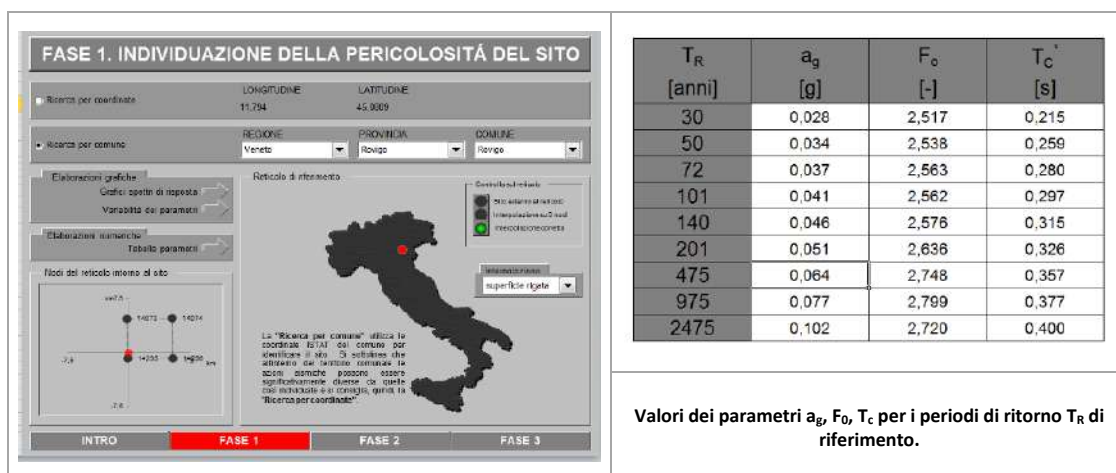


Fig. 20_ Estratti da “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei LL. PP

I valori base di accelerazione a_g ed i parametri sismici da utilizzare nei calcoli dovranno essere successivamente stabiliti sulla base della “Strategia di Progettazione” che sarà adottata dal Progettista, una volta assegnate all'opera la Vita nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di riferimento (cfr. NTC).

6.2 Analisi sismica locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Viste le condizioni stratigrafiche locali, è stato utilizzato l'approccio semplificato ed il ricorso alle Categorie di Sottosuolo ed alla categoria topografica.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per definire tali Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro $V_{s,eq}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento caratterizzato da $V_s > 800$ m/s (per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m, si calcola il valore di $V_{s,30}$).

La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

In questo caso, per la caratterizzazione sismica ci si è avvalsi delle prove MASW ed H.V.S.R. eseguite nel sito, che hanno evidenziato la presenza nei primi 8 m di sedimenti lenti con V_s che oscillano intorno ai 140 m/s mentre tra 9 e 30 m le velocità aumentano e variano da 211 a 336 m/s. (cfr. ALLEGATO n. 4).

I risultati di tale indagine evidenziano che il substrato di riferimento non è stato individuato e si è quindi calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano piano campagna.

Pertanto, dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata D, così definita:

Categoria C – “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s*” – cfr. Tabella 3.2.II al paragrafo 3.2.2 delle NTC.

La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 – 20,0 Hz) è stata individuata a 0,85 Hz +/- 0,14 Hz.

6.3 Suscettibilità alla liquefazione

Il fenomeno della “liquefazione” dei terreni durante i terremoti interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti sotto falda, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Durante lo scuotimento sismico, le sollecitazioni indotte nel terreno possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

La liquefazione deve essere verificata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso argillosa.

In particolare, secondo le NTC, la verifica può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1n} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove S.P.T. normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1n} è il valore della resistenza determinata in prove CPT e normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Fig. 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Per quanto riguarda la **circostanza 1**, la pericolosità sismica del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_r = 475$ anni - Tipo di costruzione 2 – Vita nominale = 50 anni, Classe d'uso II – Coefficiente $C_u = 1$, Vita di riferimento = 50 anni), prevede un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,064g**.

Considerando la Categoria di Sottosuolo di tipo C e la Categoria Topografica T1, per questo tempo di ritorno T_r si ottiene un coefficiente stratigrafico $S_s = 1,5$, un coefficiente topografico $S_T = 1,0$ e, quindi, un'accelerazione massima attesa:

$$a_{\max} = S_s \times S_T \times a_g = 1,5 \times 1,0 \times 0,064g = 0,096g < 0,100g$$

Quindi, la **circostanza 1 RISULTA soddisfatta, mentre NON risulta soddisfatta la circostanza 2** (profondità falda 1,6 / 2,60 m da p.c.) e anche **la circostanza 3 NON risulta sempre soddisfatta e si assume, in assenza di analisi granulometriche, che NON sia sempre soddisfatta nemmeno la circostanza 4.**

Pertanto, la verifica alla liquefazione potrebbe essere omessa, tuttavia verrà comunque effettuata una verifica preliminare. Tale stima dovrà considerare una magnitudo pari al valore di $M_{w\max1}$ della zona sismogenetica in cui si trova il sito, come indicato negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica - 2008" e nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)" della Protezione Civile.

Nel dettaglio, facendo riferimento alle zone sismogenetiche definite dalla classificazione ZS 9 (Meletti e Valensise, 2004) e riportate nella figura seguente, il sito dista circa **49 km** dalla Zona 906 (posta a Nord) e circa **25 km** dalla Zona sismogenetica 912 (ubicata ad Sud). Ad esse è associata rispettivamente una magnitudo massima (M_{wmax1}) di 6,14 e 6,60.

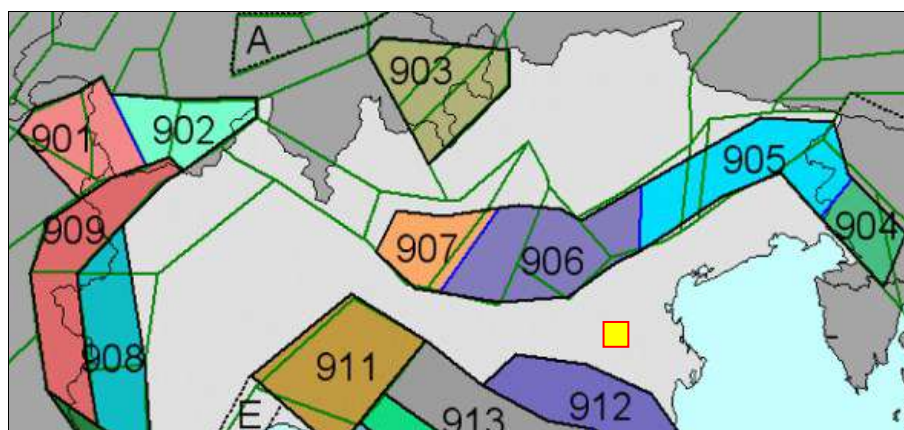


Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)		
Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
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

Fig. 21_ Carta delle zone sismogenetiche ZS 9 (Meletti e Valensise, marzo 2004)
con indicata in giallo la posizione dell'area In giallo l'area di progetto.

La stima della magnitudo attesa per il sito in oggetto può essere eseguita ricorrendo alla metodologia proposta dagli *Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica* elaborata dalla *Protezione Civile Nazionale (2008)*.

In tal caso, essendo il sito in oggetto esterno alle zone sismogenetiche di cui sopra, si determinano le minime distanze (R) dalle zone sismogenetiche circostanti, valutando se la magnitudo M_i della zona sismogenetica considerata risulta inferiore a quella fornita dalla relazione $M_s = 1 + 3 \log(R)$.

Se: $M_i < M_s = 1 + 3 \log(R)$ → non è necessaria la verifica alla liquefazione
Se: $M_i \geq M_s = 1 + 3 \log(R)$ → è necessaria la verifica alla liquefazione

In quest'ultimo caso si assumerà il valore di magnitudo più alto fra quelli per i quali la verifica è necessaria.

Nel nostro caso si avrà:

$M_i = 6,60$ ed $R = 49$ km per la distanza dalla Zona 906

$M_i = 6,14$ ed $R = 25$ km per la distanza dalla Zona 912

Quindi, applicando la suddetta formula:

Zona 906 – $M_i = 6,60 \geq M_s = 1 + 3\log(49) = 6,071$

Zona 912 – $M_i = 6,14 \geq M_s = 1 + 3\log(25) = 5,194$

La verifica alla liquefazione deve quindi essere fatta e si dovrà considerare una magnitudo pari al valore di M_{wmax1} di $M_{wmax1} = 6,60$.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La verifica alla liquefazione è stata condotta ricorrendo alla procedura proposta per le prove CPT da Robertson & Wride (1998), approvata durante il congresso del NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) tenutosi nel 1998 (in Journal of Geotechnical and geoenvironmental engineering – april 2001).

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è individuato come il rapporto tra lo sforzo ciclico di taglio ($CSR = \text{Cyclic Stress Ratio}$), indotto dal sisma alla profondità considerata, e la resistenza che il terreno oppone alla deformazione ciclica sismica ($CRR = \text{Cyclic Resistance Ratio}$).

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \quad \text{dove:} \quad \begin{cases} CRR = \text{Cyclic Resistance Ratio (Rapporto di resistenza ciclica);} \\ CSR = \text{Cyclic Stress Ratio (Rapporto di tensione ciclica).} \end{cases}$$

Per la valutazione dei valori di CSR e CRR è stata condotta utilizzando uno specifico foglio di calcolo.

Le immagini seguenti riportano i risultati ottenuti considerando un fattore di sicurezza **F_s pari ad 1,00** nell'ipotesi di un terremoto con magnitudo **$M = 6,60$** , un'accelerazione massima di **$0,096g$** ed una profondità della falda assunta alla quota misurata nelle prove ($1,6 \div 2,6$ m).

Come si può notare dalle immagini alle pagine successive il rapporto tra forze resistenti e forze agenti (CRR / CSR) assumendo un fattore **F_s pari ad 1,00**, come indicato in alcune raccomandazioni (ad es. "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica - 2008" della Protezione Civile ed Eurocodice 8), **NON risultano livelli liquefacibili.**

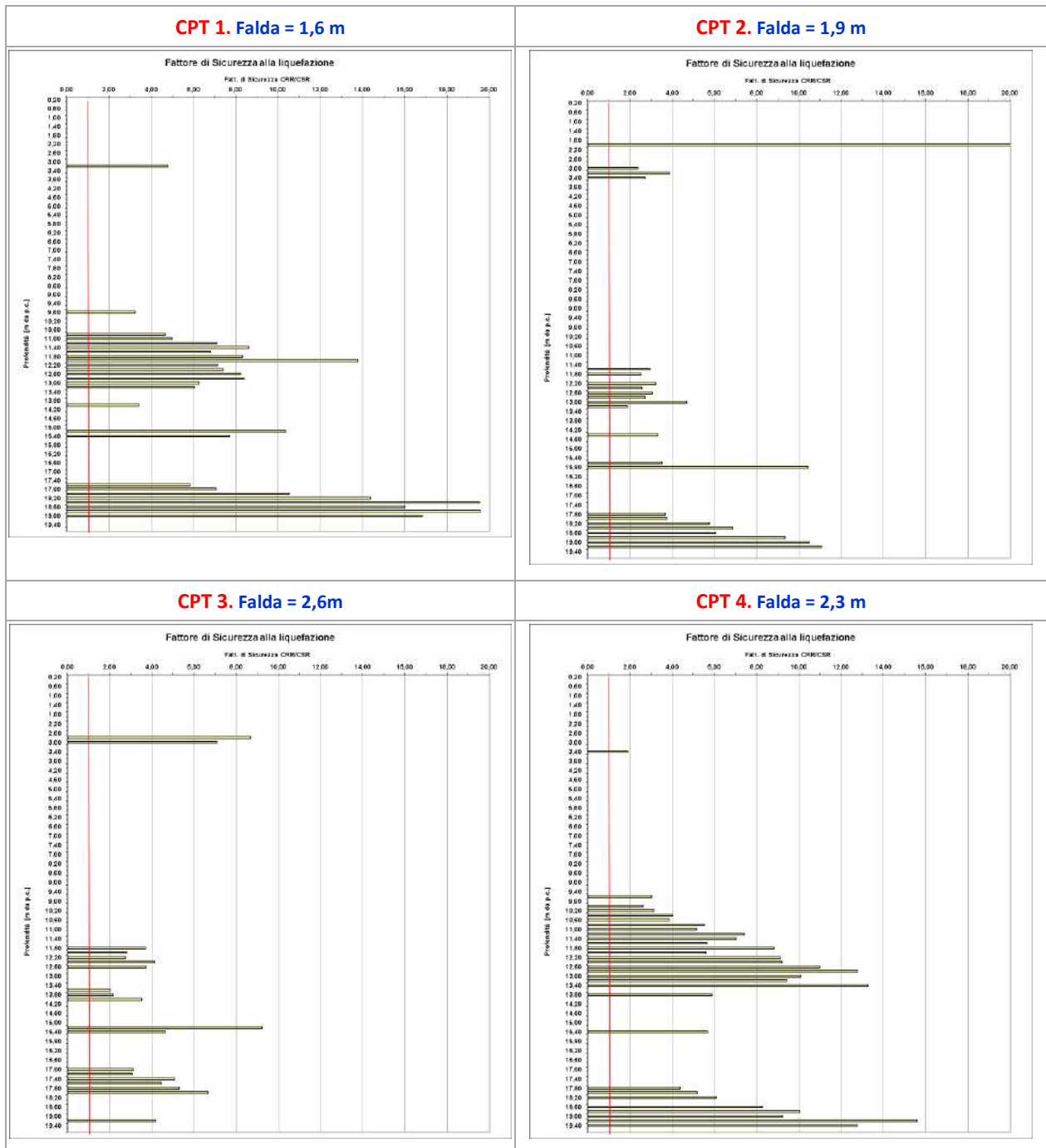


Fig. 22_Profilo verticale del Fattore di Sicurezza ricostruito secondo il metodo di Robertson & Wride (1998)

Per le CPT 1, CPT 2, CPT 3 e CPT4 il fattore di sicurezza alla liquefazione F_s è risultato > 1.25 per tutti gli orizzonti incoerenti.

Il **Potenziale di liquefazione** è risultato pari a zero in tutte le prove e quindi “Molto Basso/Nulla”.

La seguente tabella riporta le “Classi di pericolosità” secondo la valutazione di Iwasaky et al. (1978), messa a confronto con il più recente metodo di Sonmez (2003).

Valore IP_L (Iwasaki et al., 1978)	Potenziale di Liquefazione		Valore IPL (Sonmez H., 2003)
$IP_L = 0$	Molto Basso/Nulla		$IP_L = 0.0$
$0 < IP_L \leq 5$	Basso	Basso	$0.0 \leq IPL < 2$
		Moderato	$2 \leq IPL < 5$
$5 < IP_L \leq 15$	Alto		$5 \leq IPL < 15$
$IP_L > 15$	Molto Alto		$IPL \geq 15$

Si ricorda che, l'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione dovrà essere rifatta nel caso in cui la “Strategia di Progettazione” adottata fosse differente rispetto a quella prospettata in questa fase.

7 VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA; GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Sulla base delle informazioni acquisite ed esposte nelle pagine precedenti, si possono riassumere le seguenti considerazioni:

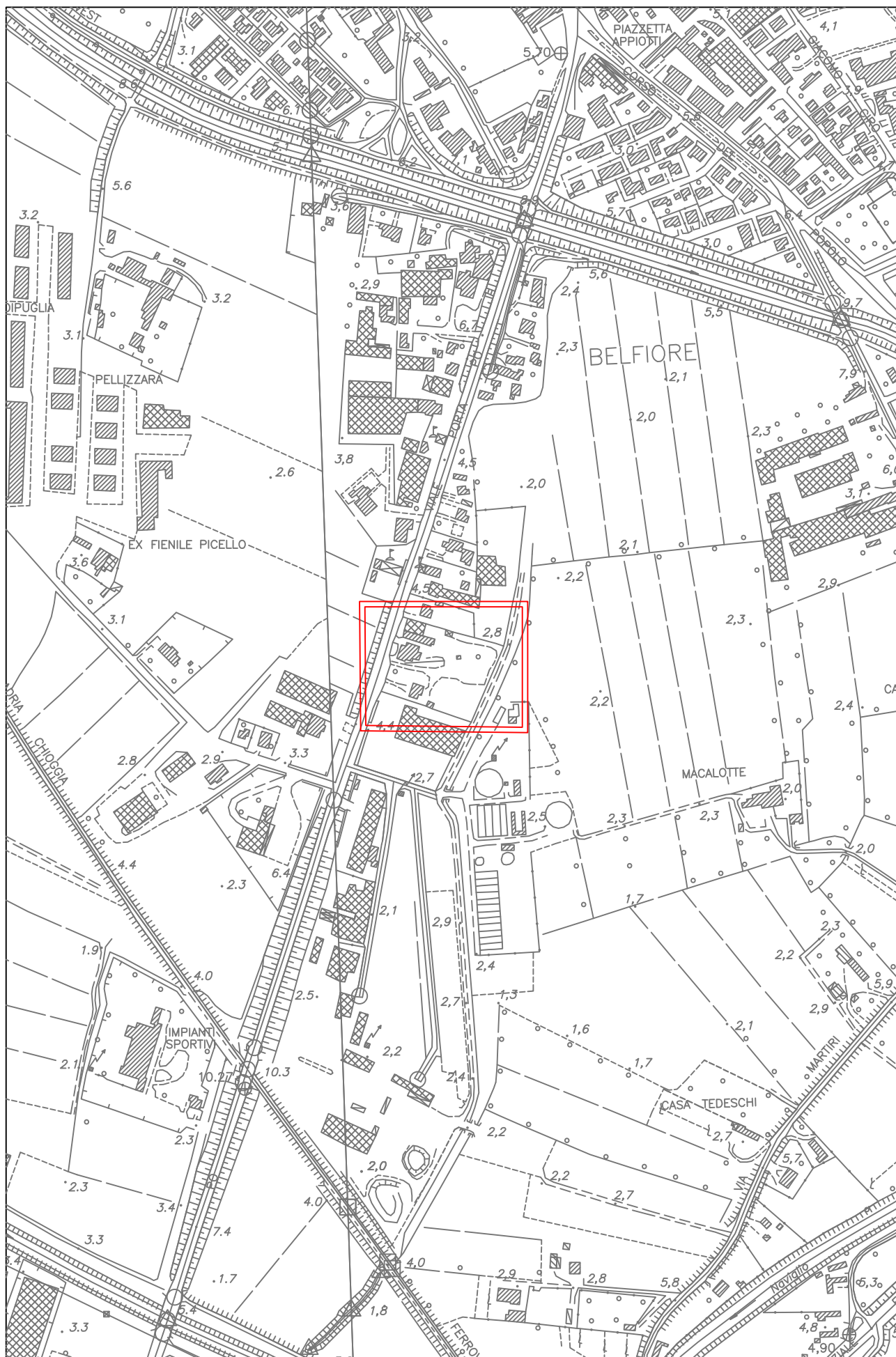
- La presente relazione è stata redatta sulla base dei dati bibliografici e sulla base di una campagna indagini costituita da n. 4 prove penetrometriche che hanno raggiunto la profondità massima di 20 m e da indagini sismiche (di tipo MASW e HVSR).
- Dal punto di vista litologico/stratigrafico, le 4 prove CPT eseguite hanno identificato la presenza di un sottosuolo stratificato ed in particolare da una successione di tre macrostrati principali:
 - *da piano campagna fino a 1,4 /2,00 m di profondità è presente uno strato superficiale di Riporto e di limi/argille sovra consolidate,*
 - *fino a 10,00 / 11,00 m circa di profondità sono presenti argille limose/argille a comportamento meccanico prevalentemente coesivo;*
 - *al di sotto dei 10,00 /11,00 m sono presenti alternanze di sabbie limose e limi argillosi a comportamento da incoerente a coesivo;*
- Dal punto di vista geotecnico si evidenzia in particolare:
 - *uno strato argilloso compreso fra 2,4/4,0 e 7,0/9,0 m di profondità che caratteristiche geotecniche scadenti;*
 - *un netto miglioramento delle caratteristiche geotecniche a partire da partire da 10,0 / 11,0 m di profondità ;*
 - *in prima analisi, nel caso di fondazioni superficiali, i terreni potranno garantire valori di portanza dell'ordine di 100-120 KPa. Tuttavia prima della progettazione strutturale, dovranno essere calcolati i cedimenti indotti dagli incrementi di pressione indotti dal carico del fabbricato in modo da valutare la possibilità di un sistema a fondazioni superficiali o la necessità di ricorrere a fondazioni profonde.*
- Dal punto di vista idrogeologico, l'area si colloca nella pianura scolante, dove, la falda è segnalata dalle carte del PAT comunale *entro i 2 m di profondità dal piano campagna. Infatti, nel corso delle prove, la prima falda è stata misurata ad una profondità compresa fra 1,60 e 2,40 m dal piano campagna attuale.*
- Dal punto di vista geomorfologico, *posta in corrispondenza della bassa pianura veneta l'area risulta pressoché pianeggiante, ad una quota altimetrica pari a circa 3,0 m s.l.m. leggermente ribassata rispetto alle aree circostanti.*

- Dal punto di vista idrografico ed idraulico il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) dell'autorità di bacino distrettuale del Fiume Po individua per l'area di progetto una bassa pericolosità di allagamento "P1" per il reticolo primario di pianura ed una pericolosità "P1" anche per il reticolo secondario di pianura. In base al P.A.T. comunale, il lotto di progetto ricade, inoltre, entro un'area a pericolosità idraulica segnalata dal Consorzio di Bonifica Polesine Adige Canalbianco e descritta come "un'area fortemente depressa, servita da un unico canale di scolo (Pelizzara) sottodimensionato rispetto alle attuali e future urbanizzazioni".
- In conclusione, in riferimento alla "Carta delle Fragilità" del P.A.T. il sito ricade in "Aree idonee a condizione" relativamente al tema della Compatibilità geologica, mentre in riferimento al tema del Dissesto idrogeologico il sito ricade in corrispondenza di "Area a ristagno idrico".
- Per quanto riguarda la sismicità è stata effettuata un'indagine che ha permesso di individuare la Categoria di Sottosuolo che è risultata del tipo C. È stata quindi effettuata una stima della suscettibilità a liquefazione dei terreni locali nell'ipotesi di un terremoto con magnitudo $M = 6,60$, un'accelerazione massima di $0,096g$ ed una profondità della falda assunta alla quota misurata nelle prove. Il potenziale di liquefazione è risultato da "Molto Basso" a "Nullo" per tutte le prove.

Premesso quanto sopra, con riferimento a quanto riportato nelle pagine precedenti, si ritiene che non sussistano impedimenti tecnici di ordine geologico, geomorfologico, idrogeologico preclusivi della fattibilità dell'intervento in esame. Ciò premesso, si dovrà tenere in conto di quanto emerso dalle indagini in merito agli aspetti geotecnici ed agli aspetti idrogeologici ed in particolare della bassa soggiacenza della falda e delle criticità idrauliche riportate dagli strumenti di pianificazione. In tal senso, il progetto dovrà attenersi a quanto previsto dal P.A.T. e dal P.G.R.A.. Inoltre, nelle successive fasi progettuali gli aspetti geotecnici e sismici andranno approfonditi come previsto dalle NTC 2018 anche attraverso specifiche campagne di indagine che permettano di definire nel dettaglio le corrette soluzioni progettuali da adottare.

ALLEGATO 1

COROGRAFIA SU CTR



ALLEGATO 2

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI

Planimetria indagine



● Prove penetrometriche (CPT)

— Stendimento sismico MASW

■ Test (HVSR)

ALLEGATO 3

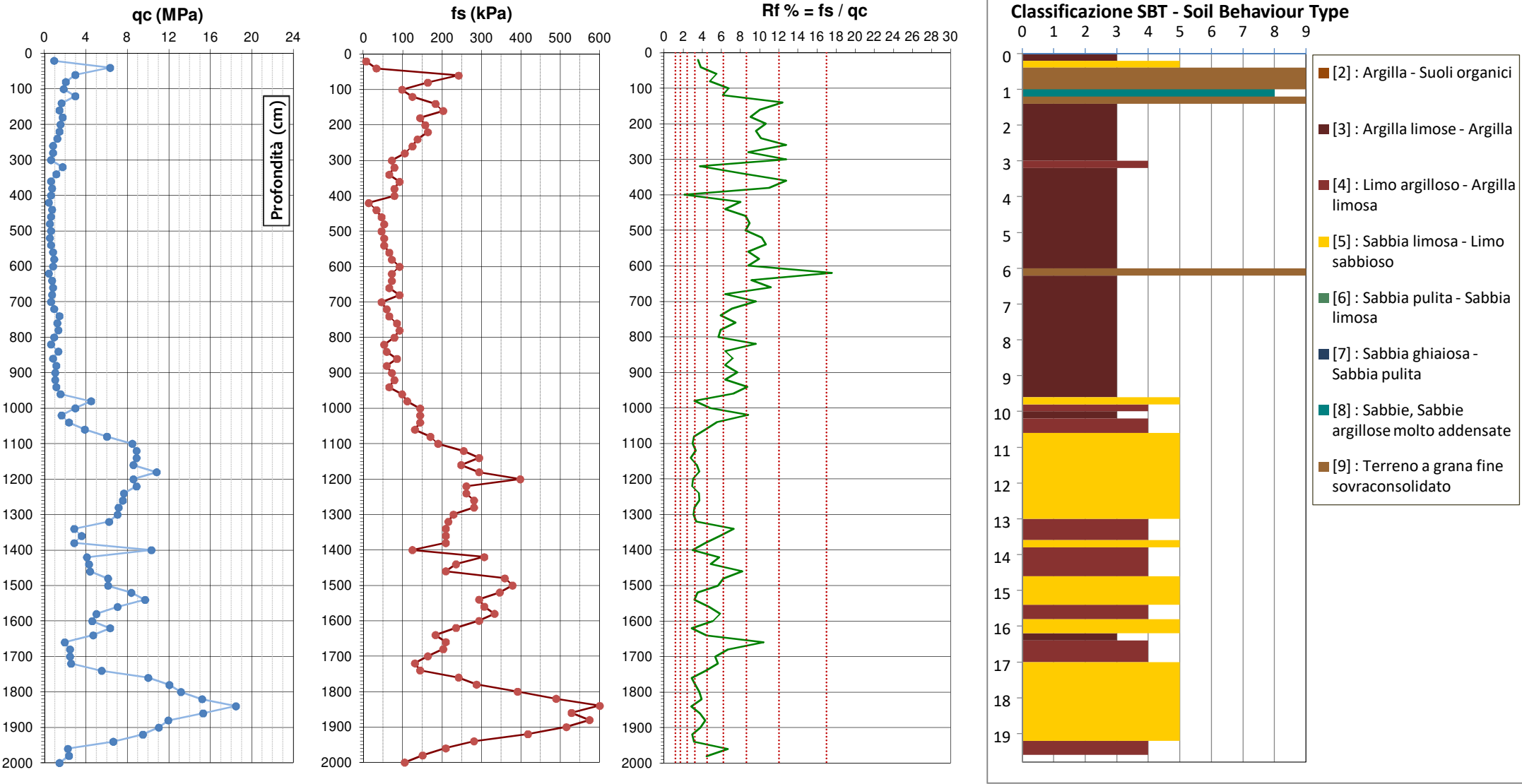
PROVE PENETROMETRICHE

DIAGRAMMI DI RESISTENZA e LITOLOGIA

Comm.: EUROSPIN
Sito: Rovigo (RO)
Indirizzo: Viale Porta Po

Prova: CPTM 1
Data di indagine : 5 febbraio 2024
Livello piezometrico: 1.60 metri da p.c.

Latitudine: 0
Longitudine: 0

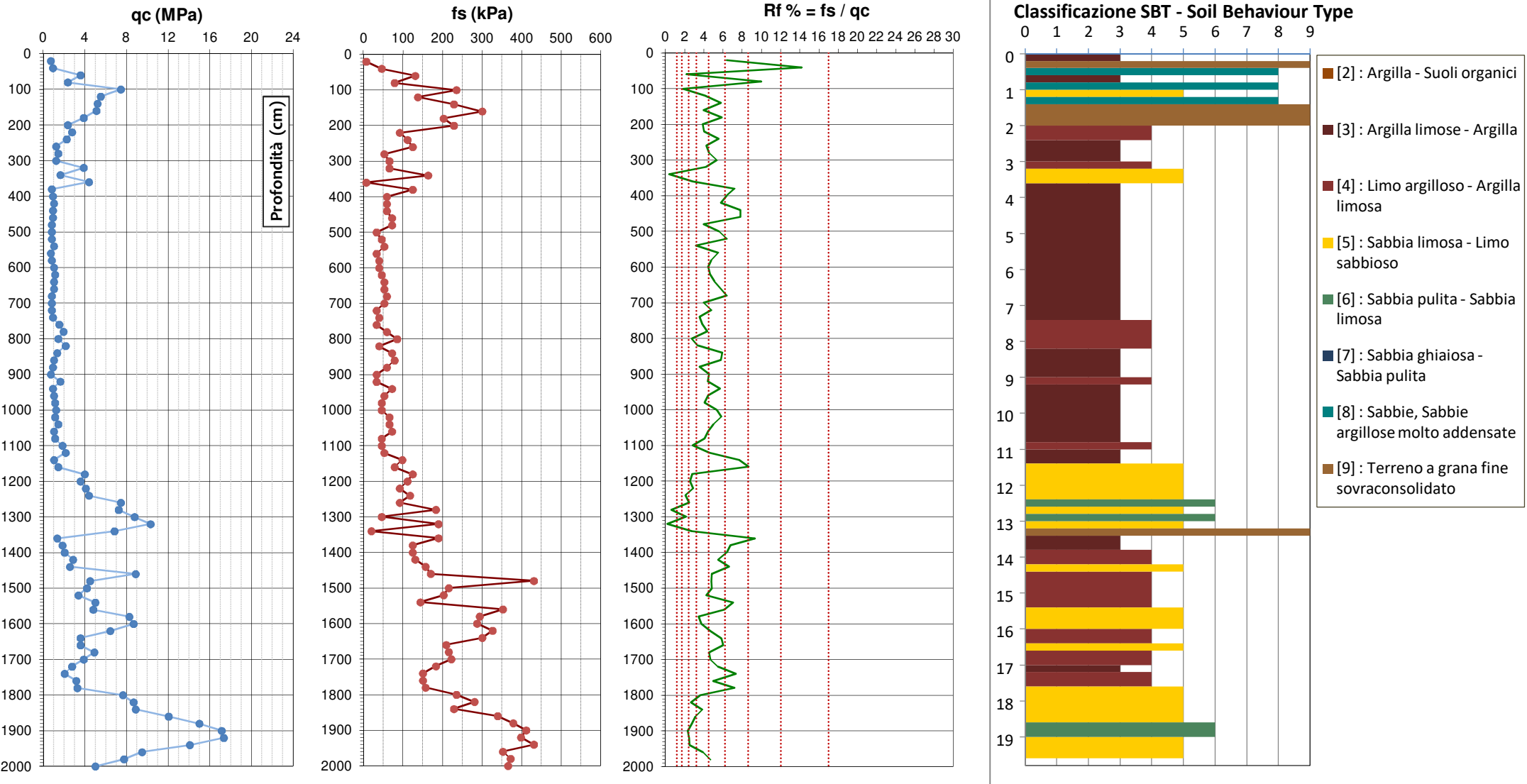


DIAGRAMMI DI RESISTENZA e LITOLOGIA

Comm.: EUROSPIN
Sito: Rovigo (RO)
Indirizzo: Viale Porta Po

Prova: CPTM 2
Data di indagine : 5 febbraio 2024
Livello piezometrico: 1.90 metri da p.c.

Latitudine: 0
Longitudine: 0

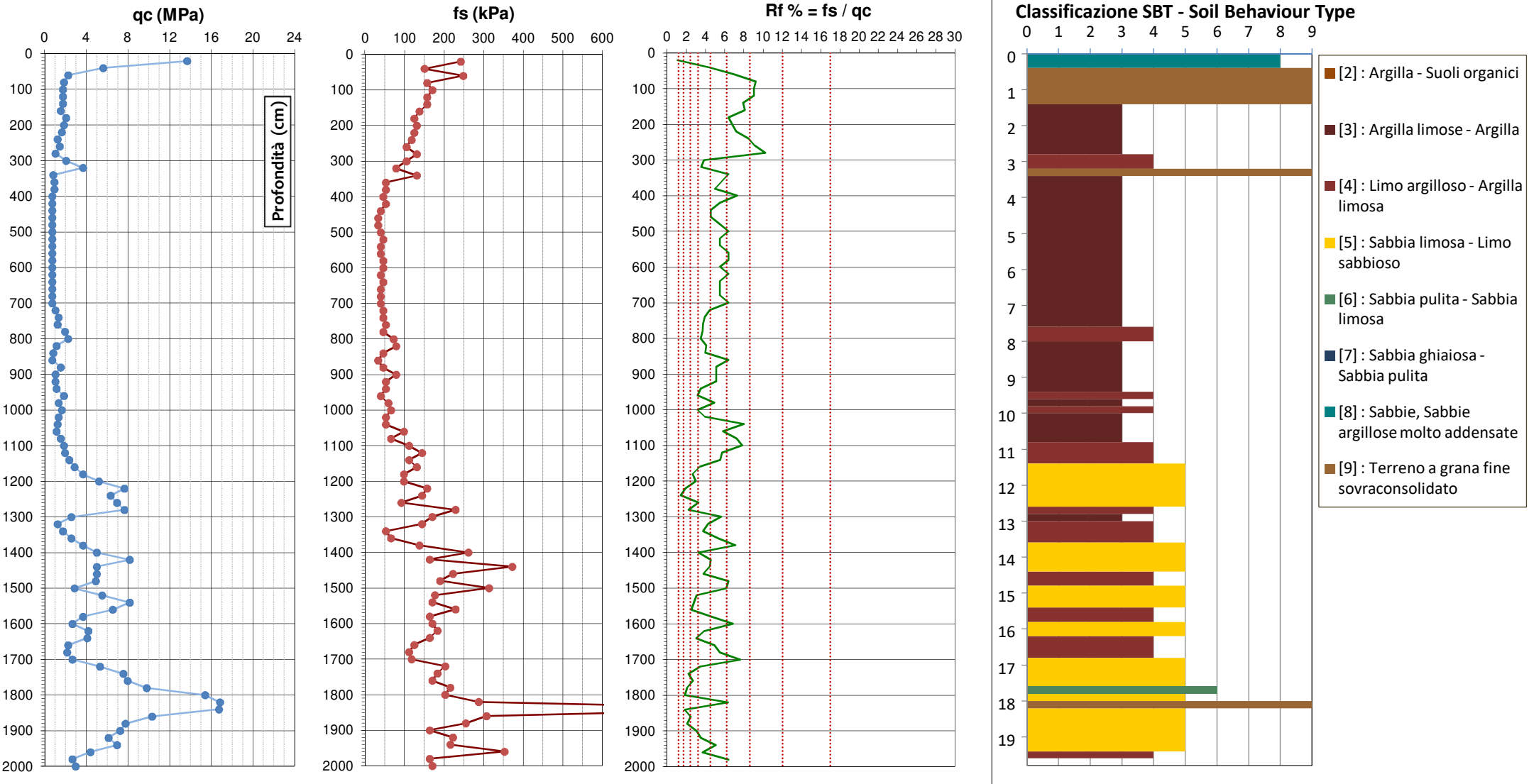


DIAGRAMMI DI RESISTENZA e LITOLOGIA

Comm.: EUROSPIN
Sito: Rovigo (RO)
Indirizzo: Viale Porta Po

Prova: CPTM 3
Data di indagine : 5 febbraio 2024
Livello piezometrico: 2.60 metri da p.c.

Latitudine: 0
Longitudine: 0

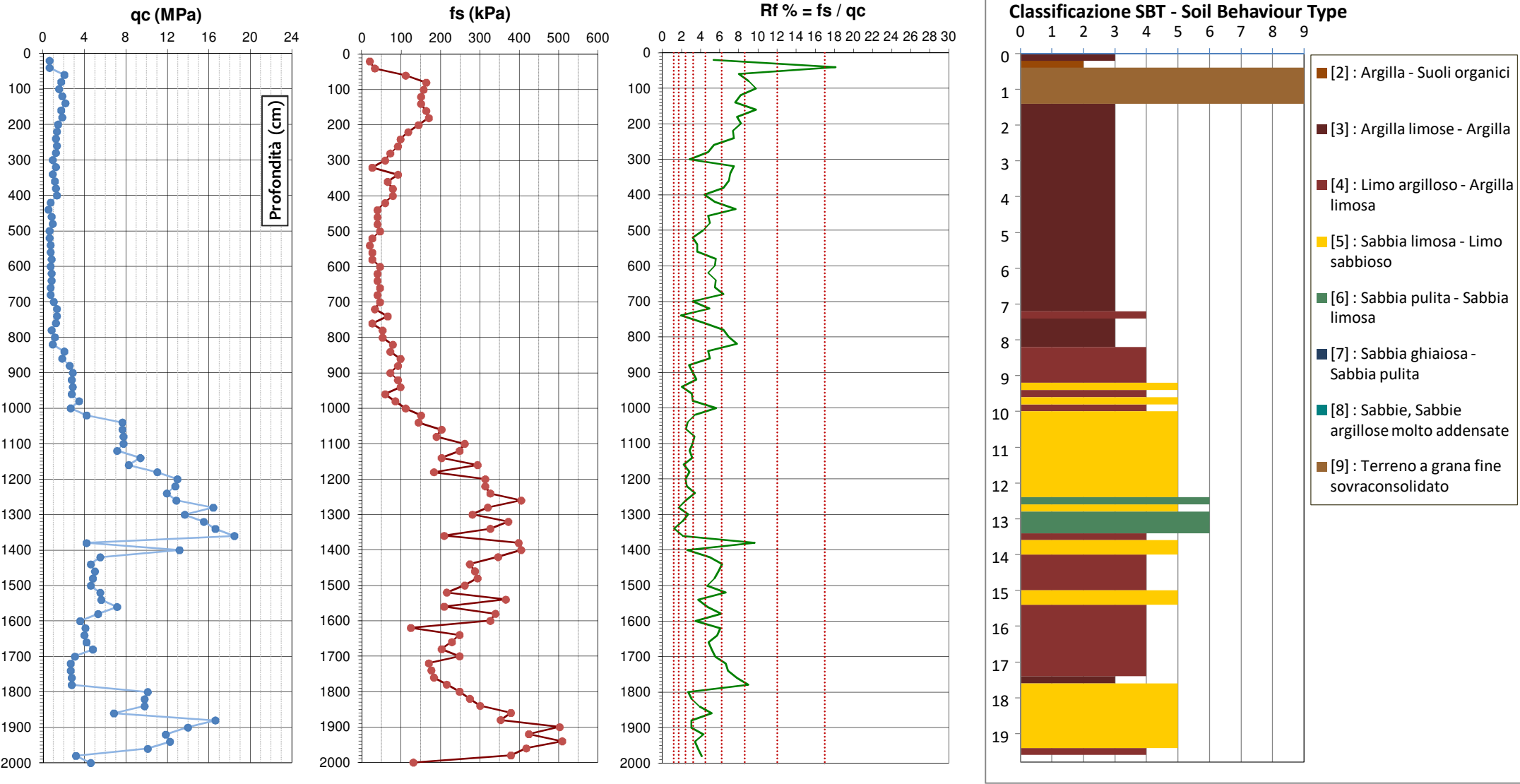


DIAGRAMMI DI RESISTENZA e LITOLOGIA

Comm.: EUROSPIN
Sito: Rovigo (RO)
Indirizzo: Viale Porta Po

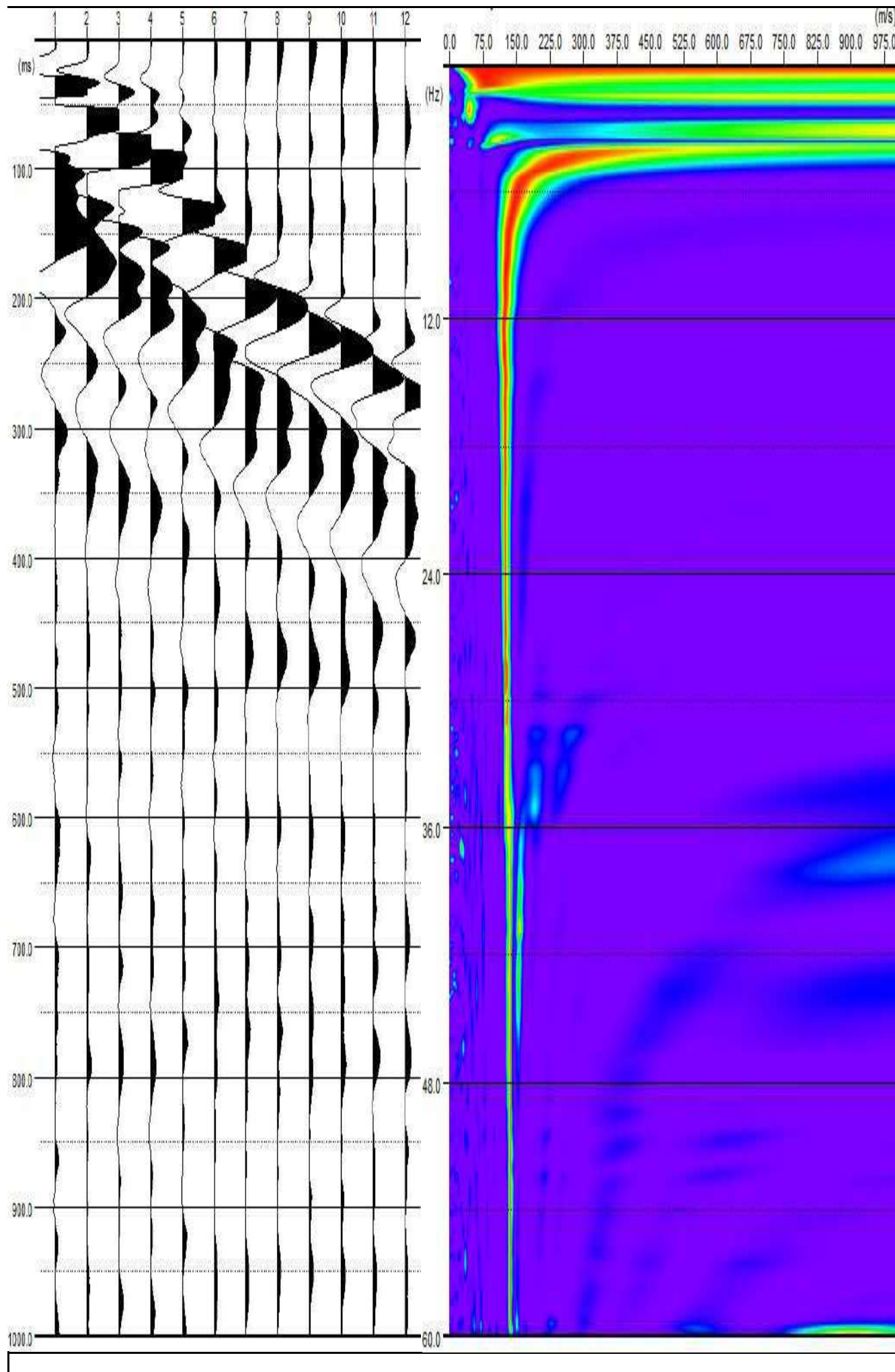
Prova: CPTM 4
Data di indagine : 5 febbraio 2024
Livello piezometrico: 2.30 metri da p.c.

Latitudine: 0
Longitudine: 0



ALLEGATO 4

INDAGINE SISMICA



**V_{Seq} calcolata in base
al art. 3.2.2. del NTC-18**

V_S 0 / 30.0 = 226 m/sec

**Prof. posa fondazione
in m da pc= 0.0**

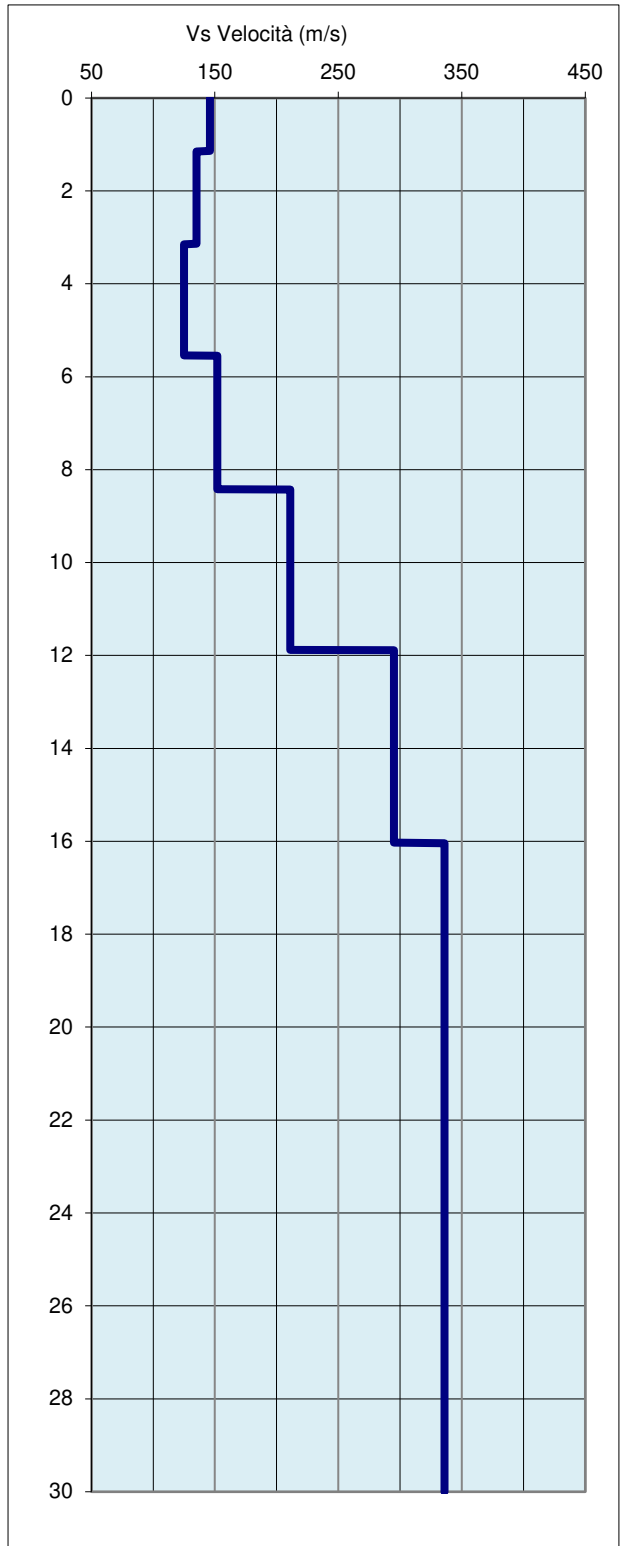


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione

Strato	Profondità da	a	Spessore m	Vel m/sec
1	0.00	1.14	1.14	146
2	1.14	3.14	2.00	135
3	3.14	5.54	2.40	125
4	5.54	8.42	2.88	152
5	8.42	11.88	3.46	211
6	11.88	16.03	4.15	295
7	16.03	30.00	13.97	336

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

velocità calcolata tra p.c. e H = m 30

*Si ricorda che in base all' art 3.2.2 del DM 17 gennaio 2018
la Vseq di progetto è riferita al piano di imposta delle
fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di
fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.*

Geometria indagine

Sismografo	PASI GEA24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	12
Spaziatura geofoni	da 1,0 a 5,0 m
Lunghezza stendimento geofonico	30.0 m
Energizzazione	4.0 m
Lunghezza totale stendimento	34.0 m

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
METODOLOGIA MASW**

COMMITTENTE:
EUROSPIN

LOCALITÀ:
Viale Porto Po
Rovigo (RO)

CANTIERE:
Realizzazione nuovo fabbricato

DATA: 05.02.24	
FILE: masw_PORTO PO	
Dir. Lavori: Dr. Benedetti Lorena	
Rif. 10_24	

ROVIGO (RO), VIALE PORTO PO

Instrument: TRZ-0171/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 05/02/24 14:19:32 End recording: 05/02/24 14:39:41

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

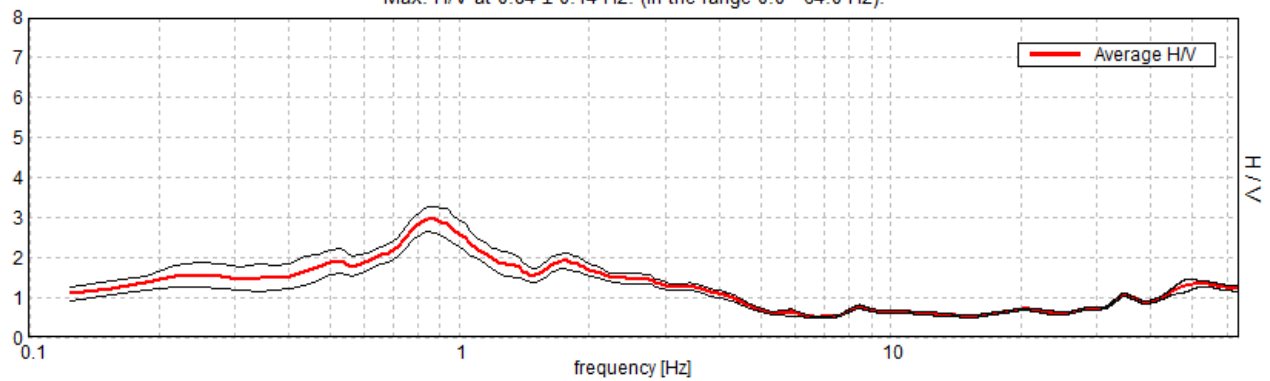
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

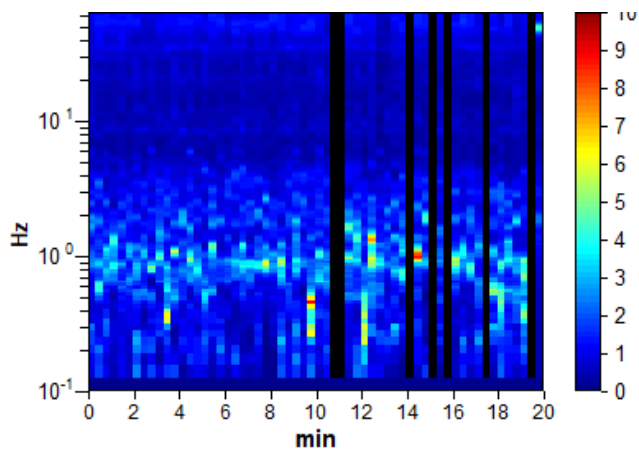
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

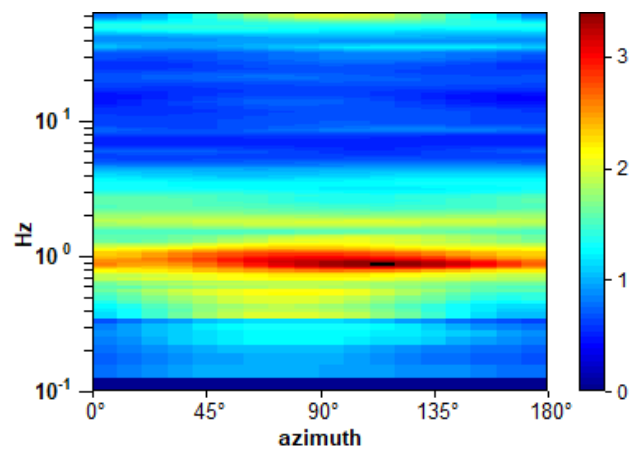
Max. H/V at 0.84 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



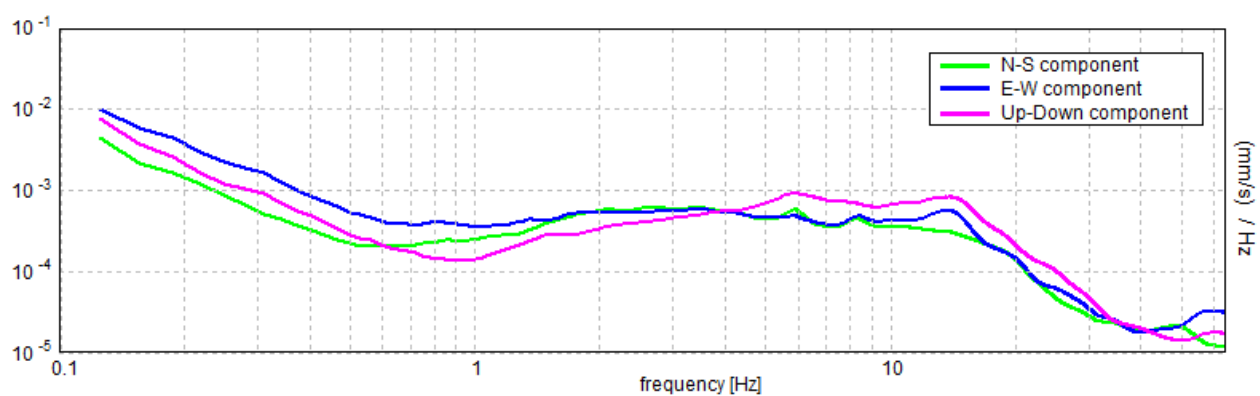
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.84 ± 0.14 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$894.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 42 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.313 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.95 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16927 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.14282 < 0.12656$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2997 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20