

Comune di Mantova
Provincia di Mantova

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI COMPRESSIONE E DISTRIBUZIONE
DEL GAS METANO PRESSO IL DEPOSITO APAM DI MANTOVA**


Professionista specializzato
Dott. geologo Pier Silvio Compri
Ordine Geologi Regione Veneto n° 344



Progettista

Ing. Matteo Cazzador
Ordine Ingegneri Verona n° A4337



Sinteco S.r.l. - P.IVA 03195540236
Via Verona n. 80 - 37066 Caselle di Sommacampagna (VR)
posta@studiosinteco.com - www.studiosinteco.com
tel. 045 8581434

Lavoro:

Ver:

Data:

A

Maggio 2018

Committente:

APAM ESERCIZIO Spa

Lavoro:

57-2017

Titolo:

RELAZIONE GEOLOGICA

Tav:

RG.1

E' vietata la riproduzione non autorizzata di questo documento o di sue parti

INDICE

1.0 – PREMESSA	1
2.0 – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO	2
3.0 – CARATTERIZZAZIONE GEOGRAFICA, GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA DEL SITO	3
3.1 – LE ORIGINI	3
3.2 – GEOMORFOLOGIA	4
3.3 – GEOLOGIA	6
3.4 – IDROGEOLOGIA	9
3.5 – VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA	11
3.6 – IDROGRAFIA SUPERFICIALE	12
3.7 – FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO	13
3.8 – INQUADRAMENTO SISMICO	14
4.0 – TIPOLOGIA COSTRUTTIVA E CAMPAGNA GEOGNOSTICA	17
5.0 – RISULTANZE DELL’ANALISI GEOGNOSTICA	23
5.1 – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	23
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA – PPD.1	24
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA – PPD.2	24
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA – PPD.3	25
5.2 – PROVA PENETROMETRICA STATICA	26
5.3 – CONSIDERAZIONI LITOLOGICHE	27
5.4 – MISURA DEL LIVELLO DELLA FALDA FREATICA	27
5.5 – PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA	27
5.6 – PARAMETRIZZAZIONE SISMICA	28
5.7 – CATEGORIA TOPOGRAFICA	31
5.8 – VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA	31
6.0 – GESTIONE DI TERRA E ROCCE DA SCAVO	34
7.0 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	38

ALLEGATI AL TESTO

- ALLEGATO 1: Schede delle risultanze della prova penetrometrica statica
- ALLEGATO 2: Schede delle elaborazioni delle 3 prove penetrometriche dinamiche
- ALLEGATO 3: Tabella riassuntiva delle risultanze delle prove penetrometriche realizzate
- ALLEGATO 4: Caratterizzazione sismostratigrafica mediante l’analisi congiunta di indagini di geofisica attiva MASW e passiva HVSR
- ALLEGATO 5: Rapporti di prova delle analisi sui terreni

1.0 – PREMESSA

La presente relazione descrive le prove geognostiche e le risultanze delle indagini svolte al fine di analizzare la situazione geologica, idrogeologica, geotecnica e geochemica di alcune aree poste all'interno del deposito dei mezzi di APAM di Mantova, sito ubicato nella immediata periferie meridionale della città, in fregio a Via dei Toscani al civico n. 3/c.

Nei paragrafi successivi si descriveranno le condizioni generali dell'intorno geologico, geomorfologico, idrogeologico.

Si andrà a caratterizzare da un punto di vista geotecnico il sottosuolo, stimando i principali parametri dei diversi litotipi individuati.

In particolare la presente indagine è stata finalizzata:

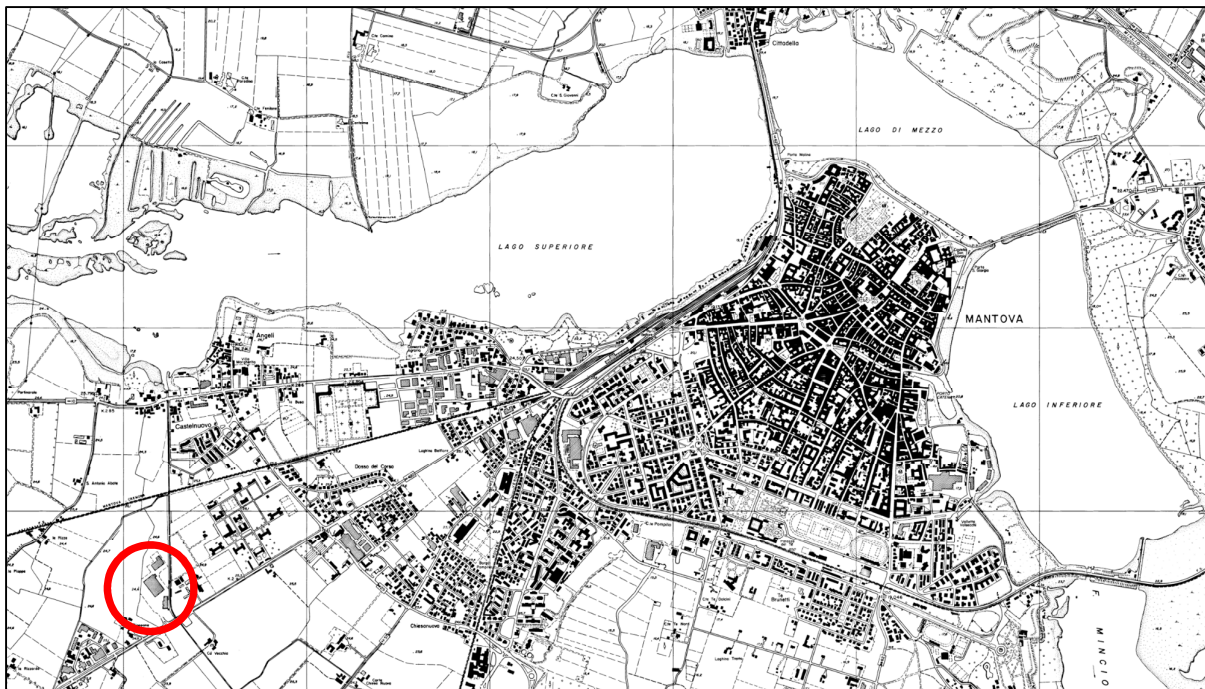
- alla definizione della stratigrafia del sottosuolo attraverso una campagna geognostica consistita nella realizzazione di 3 prove penetrometriche dinamiche ed 1 prova penetrometrica statica;
- alla parametrizzazione dei litotipi individuati;
- alla misurazione della profondità delle acque di falda presenti nel sottosuolo;
- alla classificazione sismica dell'area mediante la realizzazione di indagini in sito;
- alla caratterizzare da un punto di vista chimico dei terreni del primo sottosuolo in alcune delle aree in esame ai fini della loro gestione come Terre e Rocce da Scavo.

2.0 – LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO

L'area in esame si colloca nella zona artigianale del comune di Mantova, nella porzione sud occidentale del territorio comunale.

Corografia con ubicazione area in esame

(Base cartografica: C.T.R. alla scala 1:10.000)



3.0 – CARATTERIZZAZIONE GEOGRAFICA, GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA DEL SITO

Geograficamente, la zona in esame si colloca nella Media Pianura mantovana, complesso di terreni medio-fini che raccorda l'Alta Pianura alla riva sinistra del Po.

Questo territorio è caratterizzato da terreni a debole pendenza, dell'ordine dell'1 ÷ 3‰, generalmente orientati da Nord - Nord - Ovest verso Sud - Sud - Est.

Il sito in esame si posiziona ad una quota di circa 24,6 metri sul livello del mare (riferimento Carta Tecnica Regionale).

I dati bibliografici esposti in questo capitolo sono tratti dallo Studio Geologico-tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova redatto a cura di *Atlantide Studio di Dott. Giorgio La Marca*.

3.1 – Le origini

Le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio sono strettamente legate alla natura dei sedimenti continentali che si sono depositati nel corso dell'ultima era geologica, creando e modellando ripetutamente il paesaggio sino all'attuale morfologia.

La Pianura Padana corrisponde ad una zona sicuramente interessata fin dall'Oligocene da subsidenza, collegata al sollevamento delle catene montuose circostanti.

Nel Pliocene e nel Pleistocene Inferiore doveva avere l'aspetto di un ampio golfo, le cui dimensioni e profondità erano regolate da imponenti fasi ingressive e regressive del mare.

Il passaggio dall'ambiente marino a quello continentale si verificò verosimilmente al termine del Pleistocene Inferiore; movimenti di sollevamento continuarono durante il resto del Pleistocene (probabilmente sono tuttora attivi), influenzando sia sull'erosione dei rilievi che sull'accumulo in zone subsidenti quali l'asse padano.

Nel corso del Pleistocene le variazioni climatiche, direttamente legate al susseguirsi di fasi glaciali ed interglaciali, assunsero primaria importanza nei riguardi della distribuzione e delle caratteristiche dei terreni della pianura.

Nel settore settentrionale della Provincia di Mantova è individuata, immediatamente a valle dell'Unità delle Colline Moreniche, l'Unità geologica dell'Alta Pianura: questa è contraddistinta da terreni prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, depositati dagli scaricatori fluvio-glaciali un tempo alimentati dal fronte morenico gardesano.

Più a Sud a tali depositi succedono materiali più fini (sabbie, limi ed argille), accumulati dai corsi d'acqua della Media Pianura.

La generalizzata diminuzione della granulometria (e quindi della permeabilità) dei terreni cui si assiste procedendo da monte verso valle, è la diretta conseguenza della progressiva riduzione

della capacità di trasporto alla quale erano soggetti i suddetti scaricatori mano a mano che si allontanavano dal ghiacciaio sorgente.

In questo ambito si ebbero fasi di impaludamento, particolarmente estese nei periodi interglaciali, e la formazione di un reticolo idrografico articolato e complesso che si è evoluto sino a costituire l'attuale sistema Fiume Mincio - Laghi di Mantova.

La transizione dall'Alta alla Media Pianura è evidenziata da una caratteristica successione di fontanili naturali o antropici comunemente denominata linea delle risorgive.

Alcuni chilometri a Sud del capoluogo provinciale si entra altresì nell'area di influenza del Fiume Po, contraddistinta da sedimenti prevalentemente argilloso-limosi ed identificata come Bassa Pianura.

3.2 – Geomorfologia

All'interno del territorio comunale di Mantova, l'elemento morfologicamente più rilevante è costituito dalla valle del Mincio e dal sistema di terrazzi fluviali che la delimitano.

Una scarpata alta 6÷7 metri individua il terrazzo principale, la cui genesi è da mettere in relazione con l'attività erosiva svolta dal Mincio all'interno della pianura fluvioglaciale, conseguentemente alla deviazione del suo corso in direzione Ovest-Est avvenuta verso l'VIII secolo a.C. presso Grazie di Curtatone.

Tale deviazione provocò l'abbandono dell'originario percorso del fiume che, ormai interessato da modeste portate, si impaludò sino a ridursi all'odierna Fossa Viva.

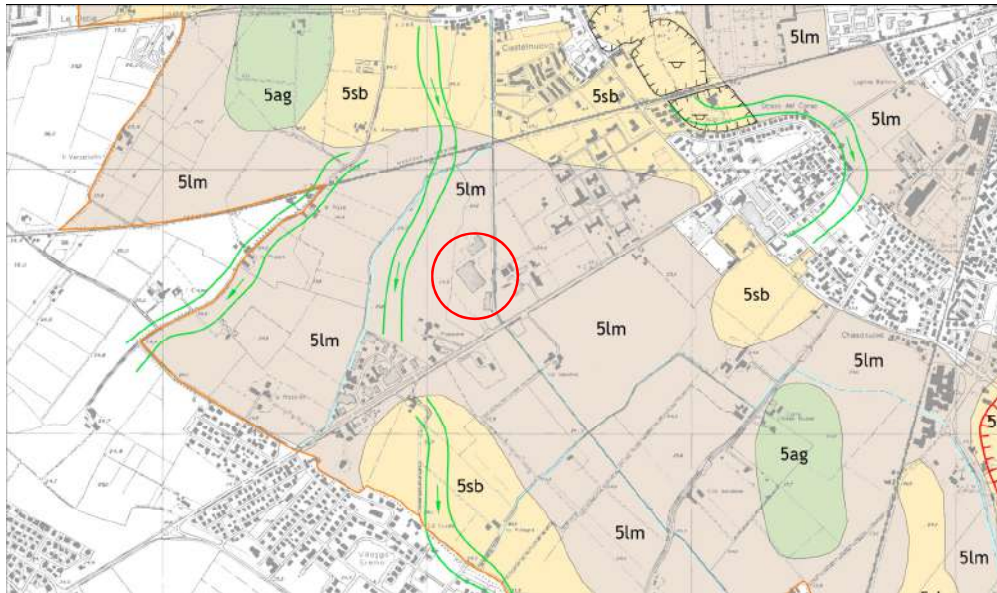
Il Po durante le sue piene ostacolava però il deflusso delle acque del Mincio, che ampliò così il suo letto nei pressi di Mantova creando aree paludose.











Per rendere permanente la presenza delle acque intorno alla città, l'ingegnere idraulico A. Pitentino progettò nel 1190 la formazione di laghi tali da isolarla completamente in caso di assedio. Questi laghi furono realizzati in diverse fasi nel corso del XIII secolo attraverso la costruzione di dighe, argini e chiuse.

Esternamente alla città si contano numerosi altri corsi idrici con funzione irrigua e di scolo. In particolare, in sinistra Mincio, si distinguono due importanti canali artificiali: il Diversivo Mincio e il Canal Bianco. Il primo scorre in direzione Nord – Ovest Sud – Est e, partendo poco a valle dell'abitato di Goito, devia parte delle acque del fiume Mincio per poi restituirle allo stesso, a Sud della Città, presso la località Formigosa. Sempre in località Formigosa, il Canal Bianco, costruito al fine di creare uno sbocco navigabile verso il Mar Adriatico, si separa dal Mincio, seguendone subparallelamente il corso.

Tra le peculiarità geomorfologiche di natura antropica, si segnala poi la presenza di alcune vecchie cave, sia a fondo asciutto che in falda.

Estratto della Carta litologica e geomorfologica con elementi geopedologici
(fonte: Studio Geologico-tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova)



LITOLOGIA DI SUPERFICIE		ELEMENTI GEOPEDOLOGICI
	Depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi	<p>Suoli moderatamente profondi, limitati dal substrato ghiaioso e sabbioso incoerente e molto calcareo, a tessitura moderatamente grossolana, da subalcalini ad alcalini, calcarei e a drenaggio rapido. La falda è presente intorno al metro di profondità.</p> <p>Suoli da molto sottili a profondi, limitati dal substrato sabbioso incoerente, a tessitura media o moderatamente fine, da subalcalini ad alcalini, calcarei e a drenaggio buono o moderatamente rapido. La falda è periodicamente presente all'interno del profilo.</p> <p>Suoli moderatamente profondi, limitati dal substrato limoso molto calcareo, a tessitura moderatamente fine e moderatamente calcarei in superficie, da moderatamente grossolani a medi e calcarei a media profondità, alcalini e a drenaggio da mediocre a buono.</p> <p>Suoli da moderatamente profondi a profondi, a substrato limoso-argilloso molto compatto e calcareo, a tessitura fine, subalcalini o alcalini, calcarei e a drenaggio molto lento. La falda è presente intorno al metro di profondità e oscilla all'interno del profilo.</p>
	Depositi prevalentemente sabbiosi	
	Depositi prevalentemente limosi	
	Depositi prevalentemente argillosi	
	Aree urbanizzate	
ELEMENTI GEOMORFOLOGICI		
FORME NATURALI		
	Orlo di scarpata di erosione fluvio-glaciale	
	Traccia di corso fluviale estinto	
FORME ANTROPICHE		
	Aree palustri bonificate	
	Area interessata da attività estrattiva cessata	
	Area interessata da attività estrattiva in essere	

3.3 – Geologia

Il territorio del Comune di Mantova è caratterizzato dalla presenza di alluvioni pleistoceniche ed oloceniche, la cui genesi è in prevalenza riconducibile all'attività degli scaricatori fluvioglaciali alimentati dal ghiacciaio gardesano.

In particolare si riconoscono i seguenti litotipi:

Depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi:

Si tratta del cosiddetto "Terrazzo di Marmirolo" che si spinge, nella sua parte più meridionale, fino alle aree urbanizzate di Gambarara, Cittadella e Ponte Rosso.

Tali depositi sono caratterizzati da ghiaie medio-fini in percentuale variabile dal 55 al 71%, accompagnate da sabbie medie e grossolane con una presenza del 28÷38%.

Depositi prevalentemente sabbiosi:

Costituiscono la maggior parte dei depositi rinvenibili nelle aree più prossime alla città e ai Laghi di Mantova.

Questi terreni sono costituiti da sabbie medio-fini siliceo-calcaree, spesso ferrettizzate, presenti in percentuale variabile dal 46 all'89%, accompagnate da una frazione limosa (10÷39%) e in misura minore anche da una frazione argillosa (1÷18%).

Tra le diverse zone si possono notare alcune differenze: i depositi presenti fra Porto Mantovano e San Giorgio presentano le maggiori percentuali di sabbie, quelli posti a Sud della città di Mantova sono costituiti da sabbie granulometricamente più fini, mentre i terreni sabbiosi situati all'interno dell'area valliva lungo le sponde dei laghi sono accompagnati anche da argille organiche.

Depositi prevalentemente limosi:

Questi litotipi, unitamente ai depositi prevalentemente sabbiosi, contraddistinguono il livello fondamentale della pianura.

Variamente distribuiti nei dintorni di Mantova, essi caratterizzano prevalentemente le zone poste a lato dei corsi d'acqua attuali ed estinti ove, in relazione alle ridotte capacità di trasporto, venivano depositati solo gli elementi più fini.

Si ritrovano per lo più a Sud-Ovest della città e verso Sud all'esterno dell'area valliva; altri affioramenti più limitati sono ubicati a Nord-Est del Diversivo Mincio.

Si tratta di limi argilloso-sabbiosi, tenaci, con frequenti concrezioni calcaree (*bambole*) che, laddove più numerose, si agglomerano dando luogo ad un vero e proprio orizzonte molto compatto comunemente denominato *castracan*; la frazione limosa varia dal 41 al 60%, mentre le argille e le sabbie sono mediamente comprese tra l'8 e il 45%.

Depositi prevalentemente argillosi:

Caratterizzano abitualmente quei settori ove, in conseguenza del ridotto gradiente morfologico e della maggiore distanza dai corsi d'acqua superficiali, si sono avuti eventi deposizionali lenti.

In ambito comunale affiorano poco a Sud di Borgo Chiesanuova e, più estesamente, nella piana compresa fra Mincio e Canal Bianco a Sud-Est di Formigosa.

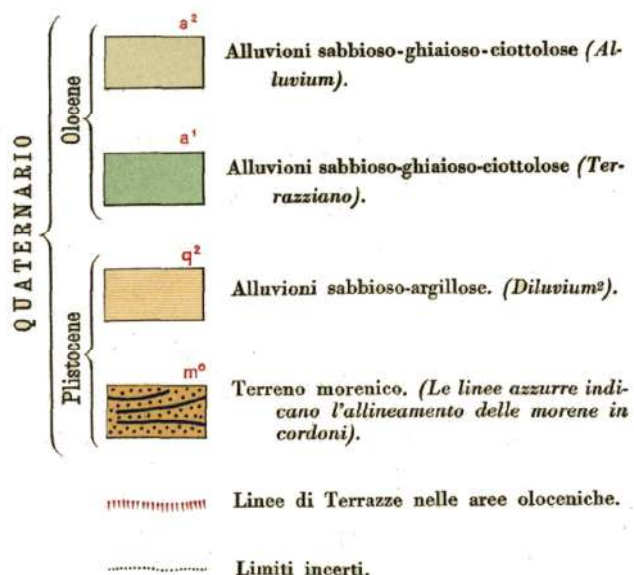
La frazione argillosa varia dal 44 al 70%, accompagnata da limi (dal 27 al 46%) e da percentuali più modeste di sabbia fine (dal 3 al 16%).

Carta Geologica

Estratto dalla Carta Geologica d'Italia - Foglio n. 62 "Mantova"

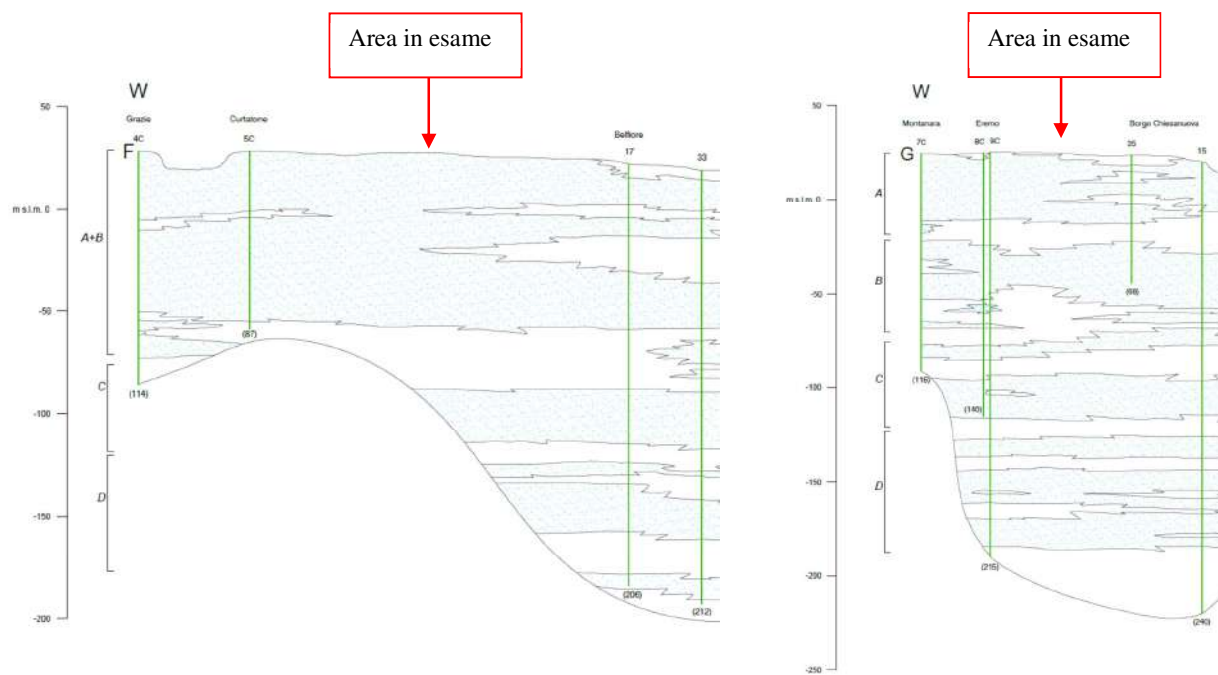
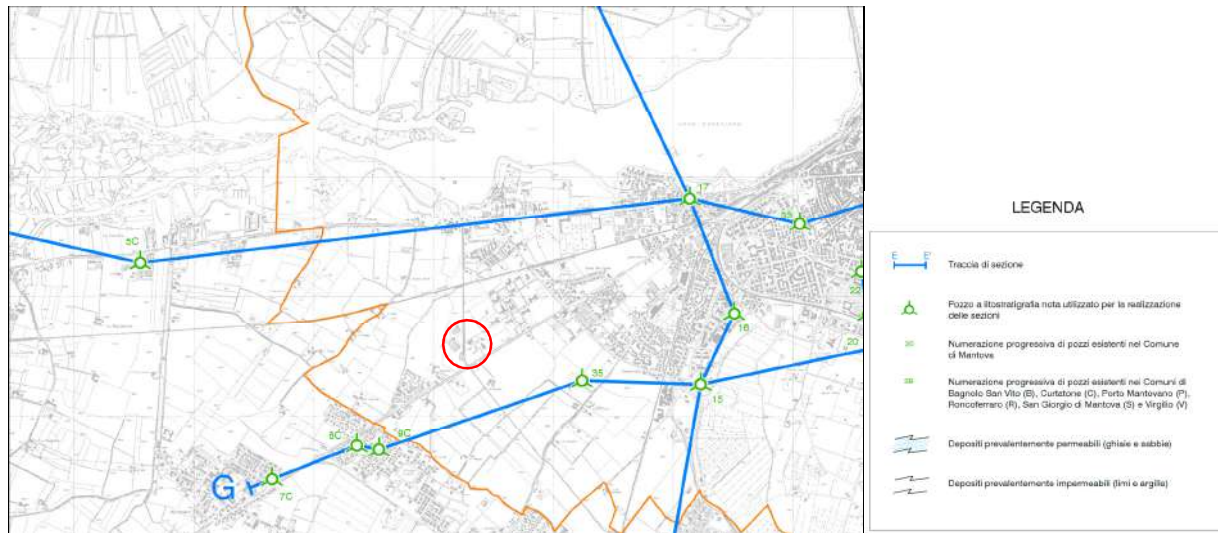


LEGENDA



Tracce delle sezioni litologiche

(fonte: Studio Geologico-tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova)



3.4 – Idrogeologia

L'assetto idrogeologico del territorio studiato è stato ricostruito mediante l'analisi bibliografica di diverse stratigrafie di pozzi realizzati nell'intorno dell'area in esame.

È riconoscibile una sistema a più falde, presenti all'interno di livelli sabbiosi eterometrici a permeabilità variabile localmente interconnessi tra loro.

La **prima falda**, il cui tetto si trova a qualche metro sotto il piano campagna, occupa un livello di sabbie medio-fini grigie o giallastre, a volte contenenti ghiaie, potente 20÷35 metri. Si tratta di una falda per lo più povera d'acqua con alto contenuto in sali di ferro.

Segue un banco argilloso, compreso tra i 40 e i 60 metri talora con livelletti marnoso-sabbiosi poveri di acqua o completamente asciutti. Frequenti sono i livelli torbosi, non continui e poco potenti (1÷3 metri).

La **seconda falda** si trova tra i 60 e gli 86 metri in sabbie medie chiare ed è inferiormente delimitata da un livello di argille color cenere potente 15÷20 metri presente tra i 90 e i 110 metri dal piano campagna.

La **terza falda**, presente tra i 110 e i 140 metri, ha sede in sabbie medio-grosse rossastre con intercalazioni ghiaiose.

La **quarta falda**, separata dalla precedente da uno strato di argille blu o nere molto compatte, è localizzata a partire dai 160 metri dal piano campagna.

È verosimile che l'alimentazione (ed il regime) della prima falda, e soprattutto di quelle più profonde dell'intera unità idrogeologica di Media Pianura, siano principalmente da ricondurre agli apporti idrici (ed al transfer di energia) forniti dai corpi acquiferi sotterranei dell'Alta Pianura, a loro volta caratterizzati da piene tardo-estive amplificate dalle irrigazioni che coinvolgono terreni ad elevata permeabilità.

Contemporaneamente l'azione drenante del Fiume Mincio, almeno nel tratto a monte della città di Mantova, sembra influenzare in modo decisivo le oscillazioni freatiche sovrapponendosi alla piena della falda ed attenuandone gli effetti nei mesi di agosto e settembre.

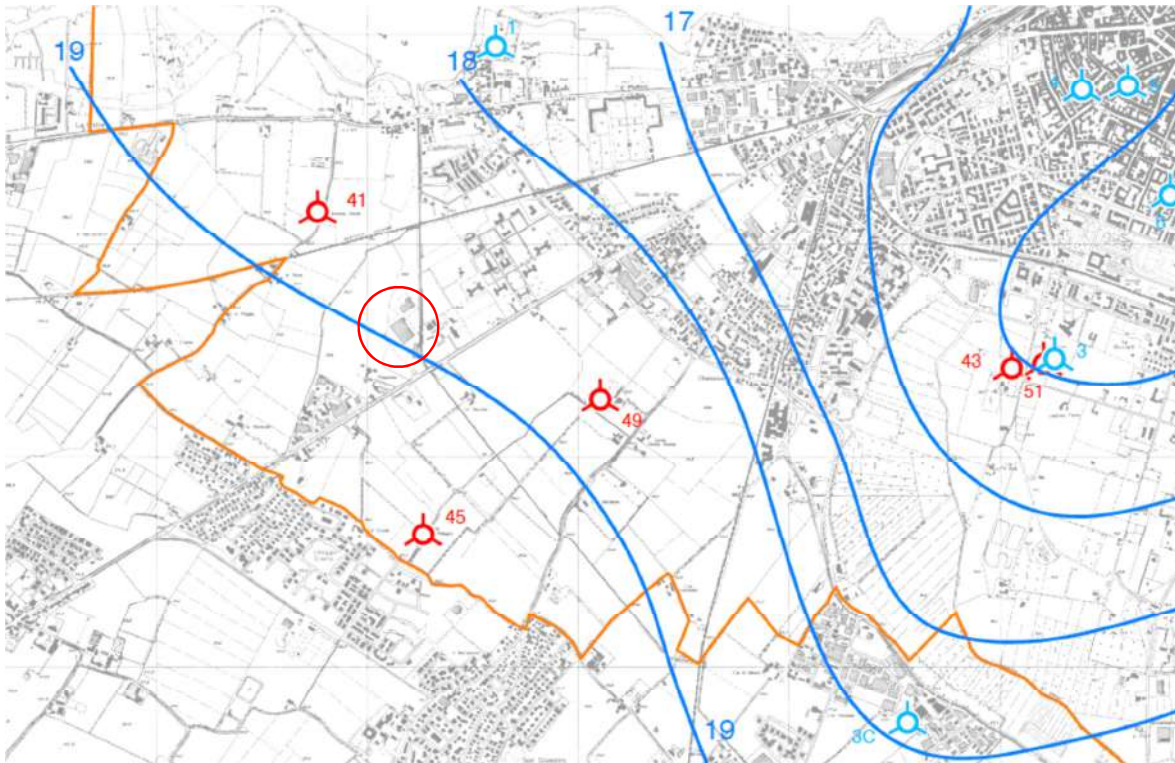
Le misurazioni freatiche riportate nella Carta Idrogeologica allegata allo *Studio Geologico – Tecnico* si riferiscono ad una campagna di misurazione realizzata nel luglio 2003, momento in cui la falda si è innalzata sino alla quota di circa 19 m s.l.m. in corrispondenza dell'area in esame.

Considerando che il piano campagna, in corrispondenza della zona oggetto di studio, è posto alla quota di circa 24,6 metri s.l.m. (rif. C.T.R.), la superficie freatica è stata stimata alla profondità di circa 5 ÷ 6 metri.




Tale dato non risulta confermato dalle misurazioni effettuate in campo, il livello freatico si è riscontrato ad una profondità nettamente inferiore.

Carta idrogeologica

(fonte: Studio Geologico-tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova)



LEGENDA IDROGEOLOGICA

- | | |
|---|---|
|  | Pozzo della rete di controllo del chimismo delle acque sotterranee con numero d'ordine |
|  | Pozzo della rete di controllo della piezometria con numero d'ordine
(il simbolo * indica che il pozzo è utilizzato anche per il controllo del chimismo) |
| 10 | Numerazione progressiva di pozzi esistenti nel Comune di Mantova |
| 2B | Numerazione progressiva di pozzi esistenti nei Comuni di Bagnolo San Vito (B),
Borgoforte (Bo), Curtatone (C), Marmirolo (M), Porto Mantovano (P) e Viriglio (V) |
|  | Isopieze riferite al l.m. con equidistanza di 1 m; rilievo luglio 2003 |

3.5 – Vulnerabilità idrogeologia

La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi nei confronti di potenziali agenti inquinanti liquidi o idroveicolati è stata effettuata tenendo conto di vari fattori geologici ed idrogeologici quali:

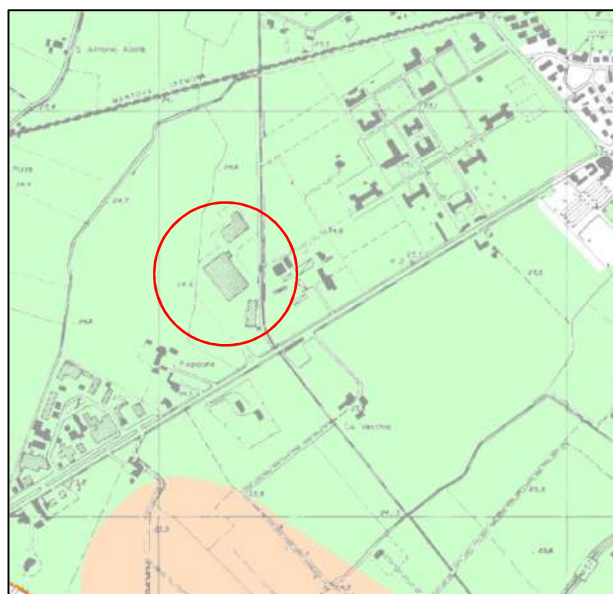
- tipo e grado di permeabilità dei depositi: ad essi va ricondotta la velocità di percolazione degli inquinanti e l'azione eventuale di attenuazione dei loro effetti;
- tipo e spessore di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità, che costituiscono elementi di protezione degli acquiferi sottiacenti;
- presenza di livelli ghiaioso-sabbiosi sotterranei, elementi che favoriscono la diffusione di sostanze inquinanti;
- la soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero ovvero lo spessore della zona insatura, cui corrisponde l'azione depurante ad opera dei depositi litoidi;
- le condizioni di alimentazione degli acquiferi ed il regime di scambio con i corsi d'acqua superficiali;
- le condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleoalvei di terrazzi fluviali.

Il seguente estratto cartografico mostra come l'area in esame sia caratterizzata da un grado di vulnerabilità medio in virtù della presenza di terreni superficiali limosi sabbiosi a permeabilità medio-bassa e di una soggiacenza della falda superiore ai 5 m.

Come si vedrà nel seguito, in occasione delle indagini puntuali svolte all'interno dell'area in esame in data 20/02/2018, è stata riscontrata la presenza di una falda che si collocava alla profondità di circa 3 m dal piano campagna.

Carta della vulnerabilità

(fonte: Studio Geologico-tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova)



GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
Er	E	A	M	B	Be			
						Argilla	< 10 m	Falda a pelo libero o in pressione
						Limo-argilla	> 10 m	Falda in pressione
						Sabbia	> 10 m	Falda in pressione con soggiacenza > 5 m
						Limo	< 10 m	Falda a pelo libero o in pressione
						Sabbia	> 10 m	Falda a pelo libero o in pressione con soggiacenza > 5 m
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda in pressione
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda a pelo libero
						Ghiaia	0 m	Alvei fluviali e bacini lacustri dipendenti

Er= Estremamente elevato E= Elevato A= Alto M= Medio B= Basso Be= Bassissimo

3.6 – Idrografia superficiale

Nell'ambito del territorio mantovano si distinguono due bacini idrografici: quello costituito dal sistema Fiume Mincio - Laghi di Mantova ed il bacino del Fiume Fissero – Tartaro – Canal Bianco, che coinvolge il settore orientale del territorio comunale.

Il sistema Fiume Mincio - Laghi di Mantova ed il territorio ad esso circostante rientrano inoltre nella perimetrazione delle fasce A, B e C, definite dall'Autorità di Bacino nel contesto del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (PAI, 2001), che indicano rispettivamente:

Fascia A – Fascia di deflusso della piena, costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;

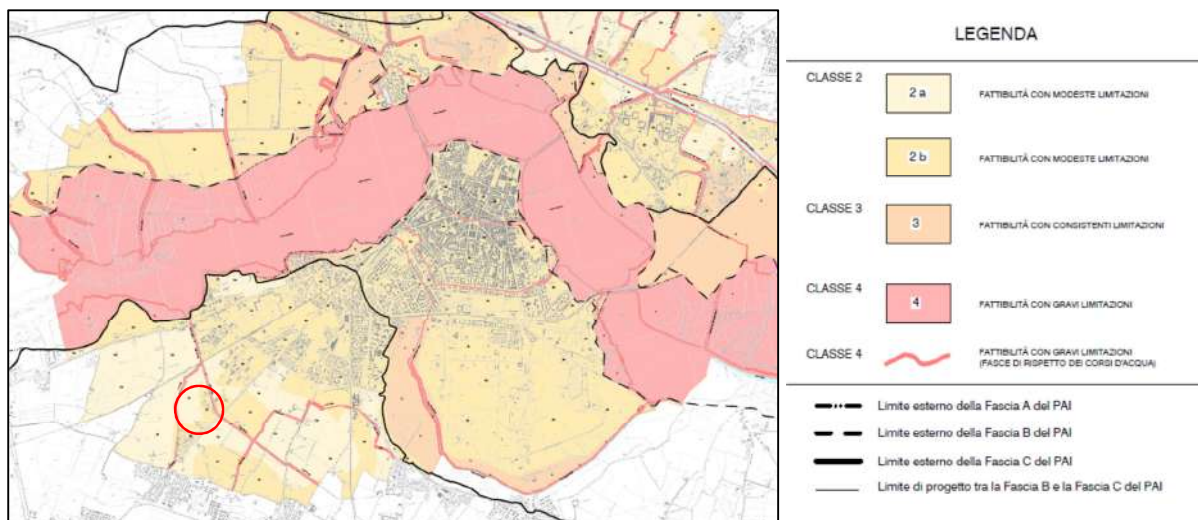
Fascia B – Fascia di esondazione, esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento. Il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento);

Fascia C – Area di inondazione per piena catastrofica, costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento.

L'area in esame si colloca esternamente alla Fascia C, come si può notare dal seguente estratto della Carta della Fattibilità allegata al PGT del Comune di Mantova.

Carta delle fattibilità per le azioni di piano

(fonte: Studio Geologico-tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova)



3.7 – Fattibilità geologica per le azioni di piano

Lo Studio Geologico-tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova, conformemente alle disposizioni della D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008, suddivide il territorio comunale in aree omogenee in ordine alle cautele da adottare in sede di pianificazione:

Classe 1 - Fattibilità senza particolari limitazioni;

Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni(a sua volta distinta nelle sottoclassi a e b);

Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni;

Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni.

L'attribuzione alla classe di fattibilità di ciascun areale è dipesa dalle locali condizioni geologico-naturali (es. individuazione o meno di depositi geotecnicamente scadenti ovvero di acquiferi ad elevato rischio di inquinamento) e dall'interazione fra queste e le situazioni di maggiore pressione antropica.

L'area in esame è stata inserita nella Classe 2b (si veda l'estratto della carta della fattibilità riportato nella pagina precedente). Si riporta di seguito la scheda relativa alle prescrizioni previste per l'area in esame estratta dalle Norme Geologiche di Piano allegate allo Studio geologico tecnico.

Scheda n. 3

AMBITO	CLASSE	CARATTERISTICHE
Area urbana, maggiori frazioni periferiche e Porto di Valdaro	2b	Soggiacenza > 2,00 m dal piano campagna; terreni sovente non accessibili all'osservazione diretta; vulnerabilità idrogeologica di grado non definibile.
		PRESCRIZIONI
		<p>Si raccomanda di verificare con cura le modalità di realizzazione di strutture che prevedano lo stoccaggio o la circolazione di fluidi pericolosi (cfr. anche Regolamento Locale di Igiene) nonché di valutare le possibili interferenze con le acque superficiali e sotterranee.</p> <p>Si richiede la realizzazione di uno specifico studio idrogeologico preventivo per gli interventi di maggiore rilievo.</p> <p>Si rende necessaria l'esecuzione di specifiche indagini geognostiche di dettaglio quali prove penetrometriche o sondaggi per strutture non assimilabili alle "costruzioni o interventi di modesta rilevanza" di cui al D.M. 14 gennaio 2008, Punto 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica" (cfr. Allegato 1 alle presenti "Norme Geologiche di Piano").</p>

3.8 – Inquadramento sismico

Dalla bibliografia disponibile risulta che il territorio del Comune di Mantova è caratterizzato da un rischio sismico relativamente basso sia per la frequenza dei fenomeni sia per la quantità di energia liberata.

La zona in esame ricade nel settore di raccordo tra il bordo Nord-occidentale delle Pieghe Ferraresi, prolungamento delle strutture appenniniche nell'antistante area di pianura, e la Omoclinale Pedevalpina, la quale costituisce la continuazione sepolta del margine alpino. In particolare è stata ipotizzata la presenza di un elemento tettonico, la "Faglia dei Laghi di Mantova", che viene ritenuto attivo nell'Olocene. Secondo un rapporto dell'Enel del 1984, date le dimensioni e le ridotte deformazioni plastiche che vi si accompagnano, non sembrano tuttavia ipotizzabili riprese dell'attività cui corrispondano fenomeni sismici di elevata intensità.

In anni più vicini a noi si ricordano gli eventi del maggio 2012, connessi all'attività tettonica delle Pieghe Ferraresi.

La scossa del 20 maggio ha avuto magnitudo 5,9 gradi della scala Richter ed ipocentro alla profondità di 6,3 Km, con Finale Emilia (Provincia di Modena) e S. Agostino (Provincia di Ferrara) come centri abitati più colpiti. In Provincia di Mantova si sono contati danni specialmente a edifici monumentali e chiese.

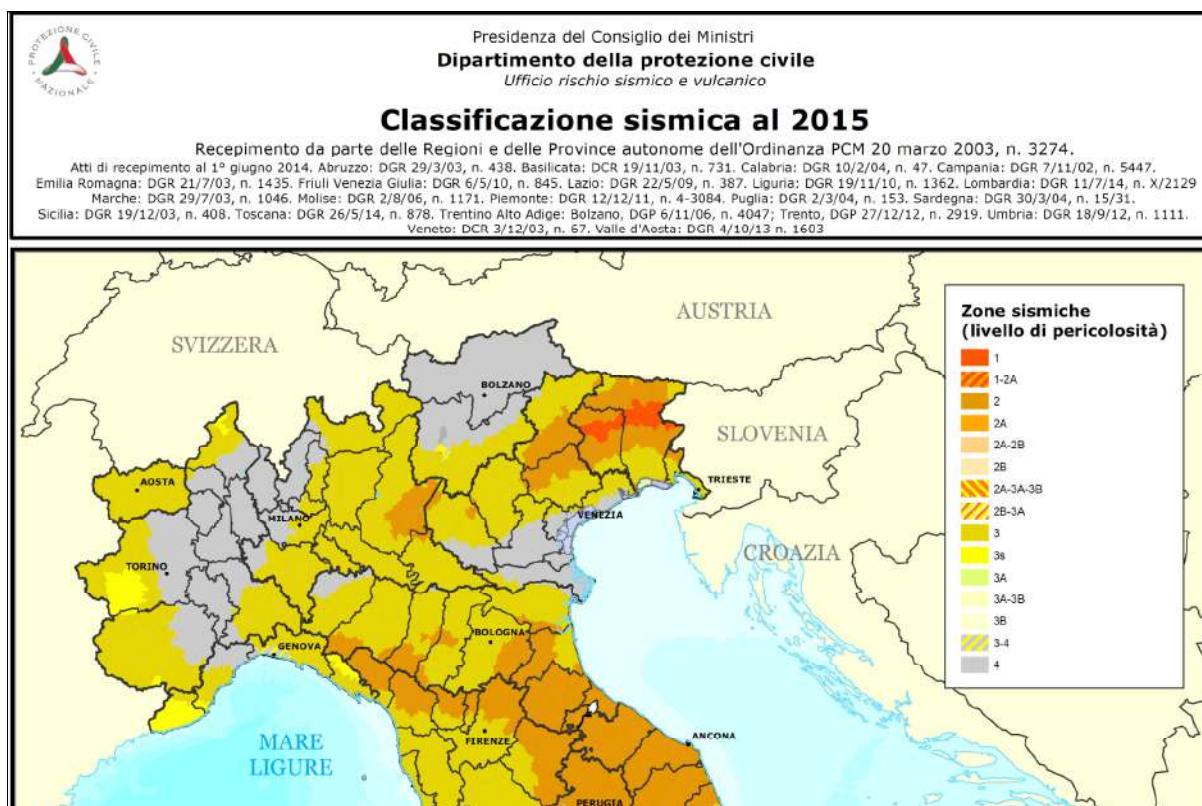
Gli effetti più disastrosi per il Basso Mantovano si sono avuti il successivo 29 maggio, quando un'onda sismica di magnitudo 5,8 gradi della scala Richter ed ipocentro alla profondità di 10,2 Km ha coinvolto il distretto di Mirandola (Provincia di Modena). Nel territorio della Provincia di Mantova si sono verificati esclusivamente danni di tipo materiale. Questi ultimi hanno riguardato soprattutto l'edilizia monumentale, fra le altre le chiese di Moglia, Quistello, Schivenoglia e Quingentole, ma anche parte dei moderni fabbricati ad uso produttivo e residenziale, con conseguente evacuazione degli abitanti che si è poi protratta per alcuni mesi. In città a Mantova le scosse hanno causato danni quasi esclusivamente al patrimonio artistico e monumentale.

Da un punto di vista sismico, l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha classificato il Comune di Mantova come zona di tipo 4, evidenziando pertanto condizioni di pericolosità sismica minime.

Nel 2006 è stata redatta una nuova Mappa di Pericolosità Sismica, approvata con Ordinanza P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519, basata su una nuova zonazione sismogenetica alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni acquisite negli ultimi anni.

Per l'area in esame, che risente in particolare della sismicità della zona sismogenetica ZS906 "Garda-Veronese", la nuova mappa di pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s), prevede valori di a_g compresi nell'intervallo $0,075 \div 0,100$ g.

Alla luce dei recenti eventi sismici e della classificazione proposta nel 2006, con DGR 11/07/2014 n. X/2129 è stata recepita dalla Regione Lombardia la nuova classificazione sismica secondo la quale il territorio comunale di Mantova è stato inserito tra le zone di **tipo 3**.



La pericolosità sismica di base, ovvero la previsione che si possa verificare un evento sismico in una certa area ed in un certo intervallo di tempo, è influenzata dalle condizioni geologiche e geomorfologiche locali, che possono produrre effetti di amplificazione del fenomeno. Tali effetti vengono distinti in funzione della reazione dinamica dei materiali coinvolti, dividendosi in due grandi gruppi:

- di sito o amplificazione sismica locale;
- di instabilità.

Il Comune di Mantova è in gran parte interessato dalla prima tipologia di effetti, caratteristici di terreni che evidenziano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese.

Essi si concretizzano nell'insieme di modifiche in ampiezza, durata e frequenza che un terremoto di riferimento, relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire interagendo con le particolari condizioni locali.

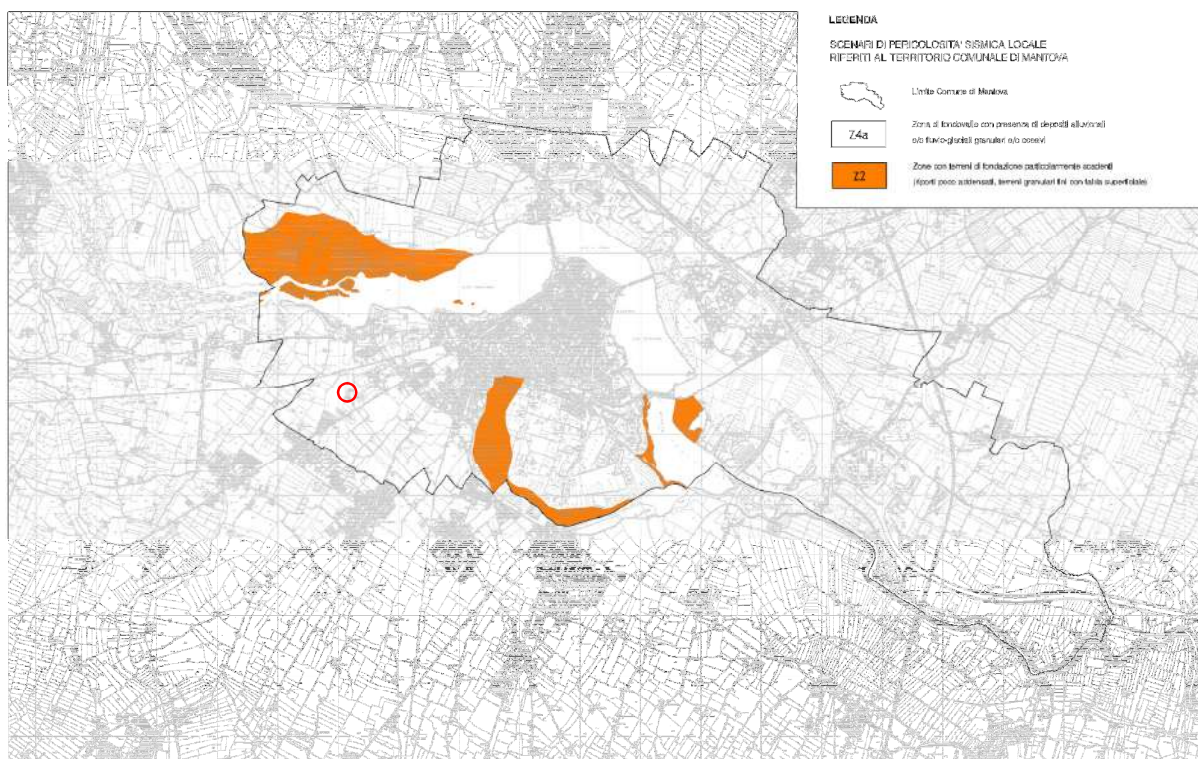
Nell'area in esame e nel suo immediato intorno non si rilevano significativi elementi di amplificazione topografica, quali rilievi morfologici, creste e scarpate con altezza superiore ai 10 m. Gli "effetti di sito" vanno pertanto ascritti alla composizione litologica dei terreni.

Con riferimento alla Tabella 1 dell'Allegato 5 alla D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008, ilPGT del comune di Mantova, redatto nel 2012 (antecedentemente alla riclassificazione sismica recepita con DGR 11/07/2014 n. X/2129), all'interno del territorio comunale sono stati individuati due possibili scenari di pericolosità sismica locale:

- **Z2** – *Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.);*
- **Z4a** – *Zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.*

L'area in esame rientra nelle zone classificate con scenario Z4a.

Carta della Pericolosità sismica locale
Estratto dallo Studio geologico tecnico allegato al PGT del Comune di Mantova



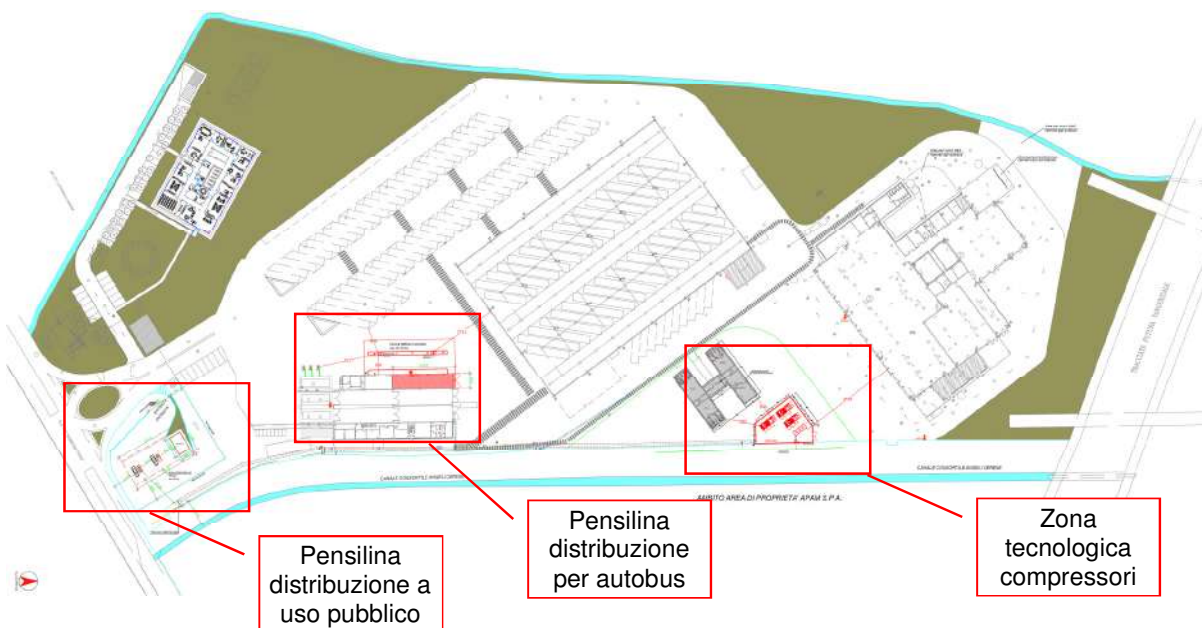
Si rimanda al capitolo dedicato alle indagini realizzate per una trattazione di dettaglio in merito al comportamento sismico dell'area in esame.

4.0 – TIPOLOGIA COSTRUTTIVA E CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Il progetto in esame prevede la realizzazione di 3 diversi interventi presso l'area del deposito dell'azienda tramviaria APAM ubicato nella porzione sud-occidentale del comune di Mantova:

- edificazione di una nuova pensilina di distribuzione del metano per gli autobus;
- realizzazione di una nuova zona tecnologica per i compressori del metano;
- realizzazione di una nuova pensilina di distribuzione del metano ad uso pubblico (questo intervento allo stato attuale è oggetto di verifica di fattibilità).

Planimetria dell'area in esame con ubicazione delle zone di intervento



Per quanto riguarda il primo intervento in elenco , si prevede la **realizzazione di una nuova tettoia** a copertura della nuova zona di distribuzione del metano per gli autobus.

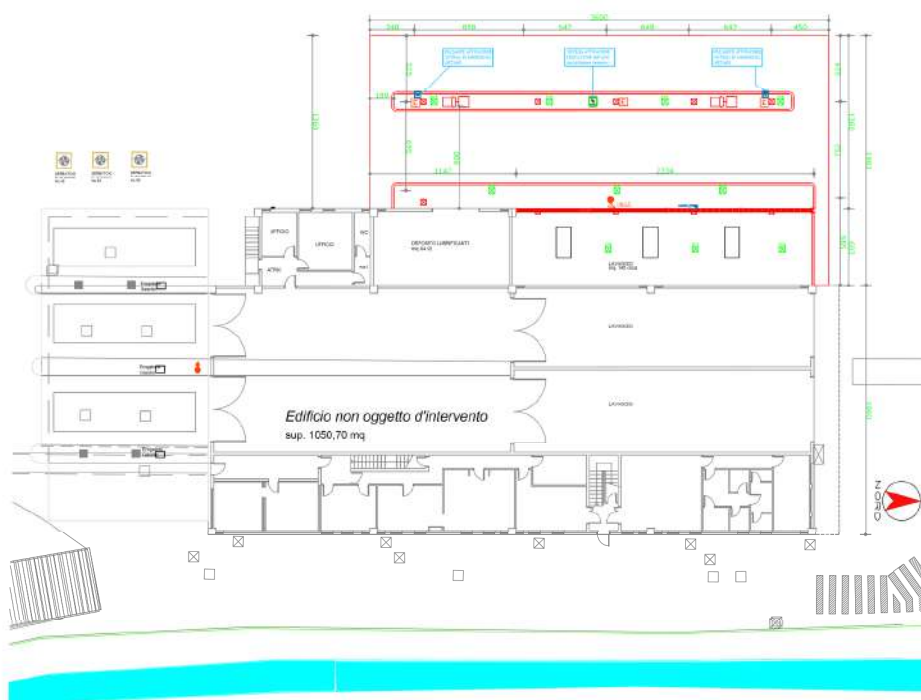
La tettoia sarà edificata in corrispondenza dell'area in cui è presente il vecchio deposito carburante, deposito costituito da cinque cisterne interrate adibite un tempo a stoccaggio di gasolio per autotrazione .

Le cinque cisterne sono state dismesse da tempo, ma non rimosse.

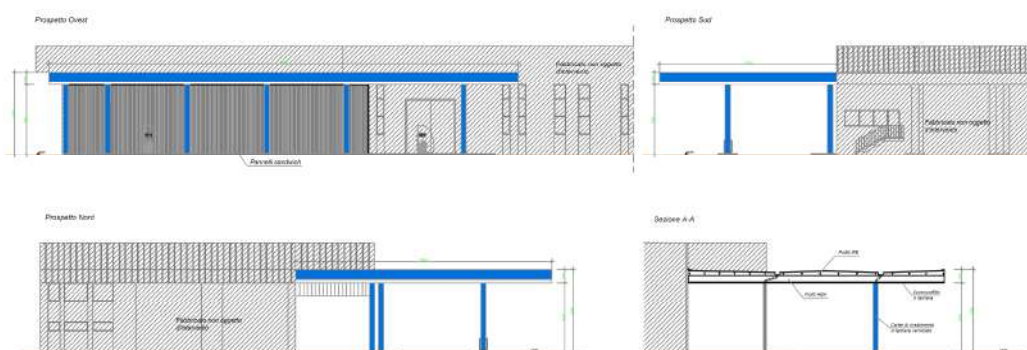
Nel caso si proceda con la rimozione delle cisterne , si dovrà valutare la tipologia delle fondazioni della tettoia in quanto la sagoma della tettoia in progetto insiste quasi per intero sulla zona dei serbatoi da rimuovere.

L'eventuale rimozione delle cisterne interrate comporterà la movimentazione dei terreni e il successivo rinterro adeguando necessariamente la tipologia delle fondazioni a questa nuova situazione.

Estratto di progetto della pensilina per la zona distribuzione metano per autobus
 Planimetria



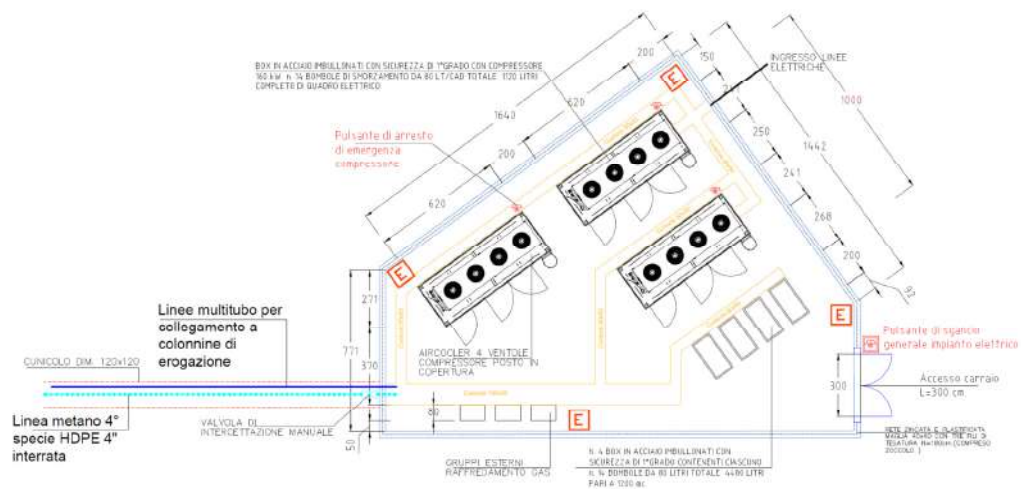
Estratto di progetto della pensilina per la zona distribuzione metano per autobus
 Prospetti



La tettoia sarà realizzata in acciaio e presenterà dimensioni massime pari a 36,00 x 19,63 metri.

Estratto di progetto della zona tecnologica per compressori metano

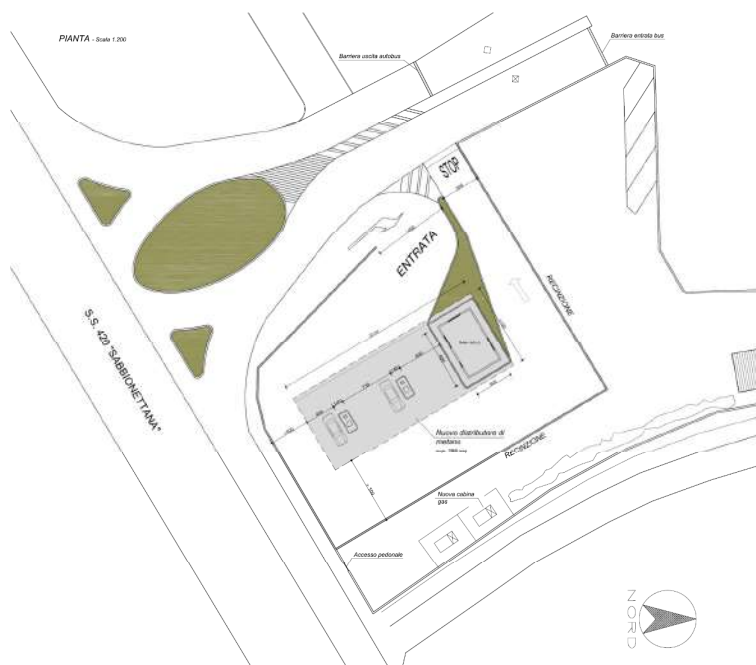
Planimetria



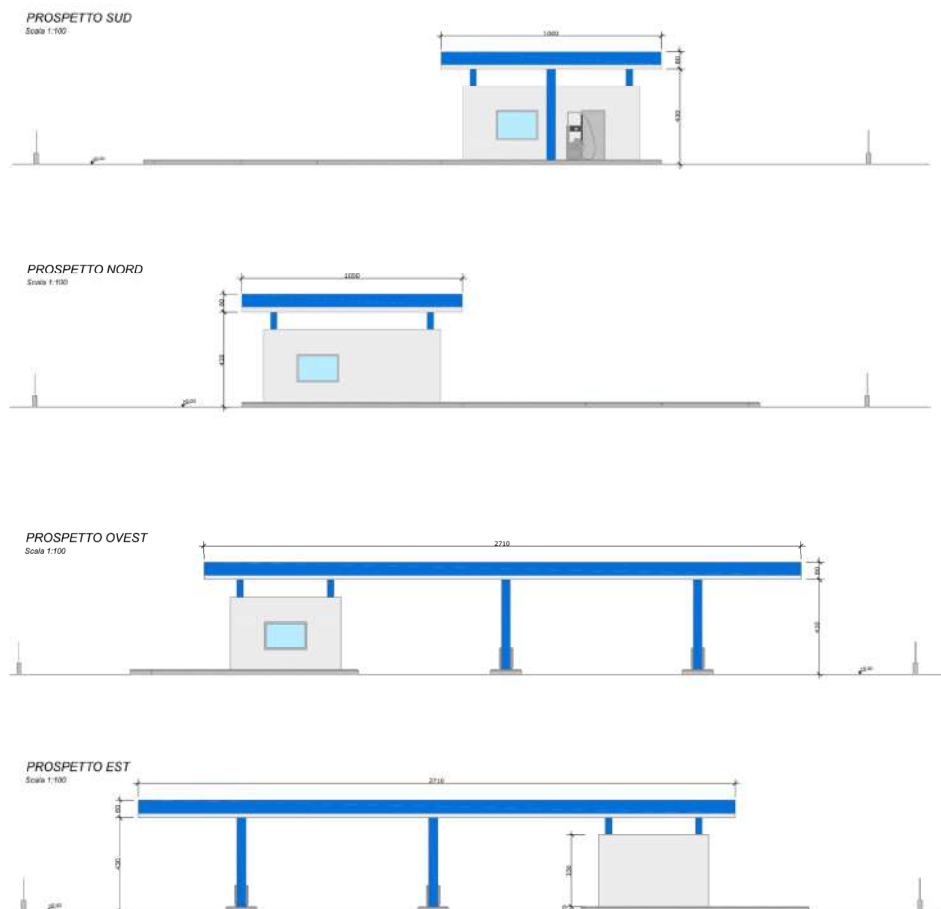
La nuova zona tecnologica per i compressori del metano sarà realizzata in corrispondenza della zona a verde presente lungo il lato est dell'area in esame.

Estratto di progetto pensilina di distribuzione metano ad uso pubblico

Planimetria



Estratto di progetto pensilina di distribuzione metano ad uso pubblico Prospetti



La nuova pensilina di distribuzione di metano ad uso pubblico, previa verifica di fattibilità della stessa, sarà realizzata sul fronte strada di via dei Toscani. Essa avrà dimensioni pari a 27,1 metri x 11,0 metri.

Al fine di ricostruire l'esatta natura litologica dell'area in cui sarà realizzato l'intervento in progetto, è stata condotta una campagna geognostica volta alla definizione della situazione litostratigrafica del sottosuolo, alla parametrizzazione geotecnica dei terreni, ed a verificare l'eventuale interferenza con il regime idrogeologico.

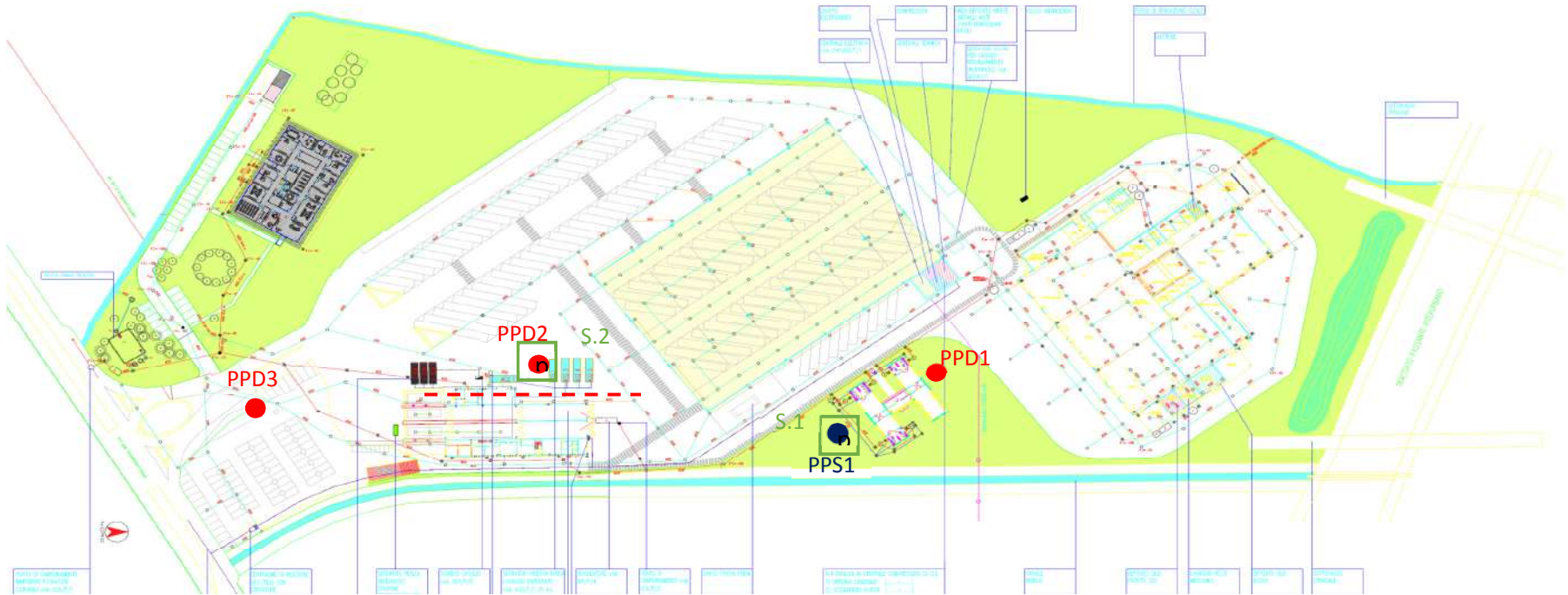
La campagna geognostica è consistita dapprima nell'analisi di dati bibliografici e di dati desunti da lavori svolti dallo scrivente nella medesima zona.

Sono stati realizzati scavi geognostici, 3 prove penetrometriche dinamiche ed una prova penetrometrica statica al fine di stimare il valore dei principali parametri geotecnici. Le prove sono state ubicate in maniera tale da indagare le tre zone di intervento.

Infine, allo scopo di valutare con esattezza i parametri sismici dell'area in esame, è stata eseguita un'indagine geofisica con metodologie MASW e HVSR.

Si riporta di seguito una planimetria con l'ubicazione delle indagini eseguite.

Planimetria con l'ubicazione delle indagini eseguite



Legenda:

- PPD1 Prove Penetrometriche Dinamiche
- PPS1 Prove Penetrometriche Statiche
- - - Traccia dello stendimento sismico)
- S.1 Scavo geognostico con pala meccanica

5.0 – RISULTANZE DELL'ANALISI GEOGNOSTICA

Prima di iniziare la descrizione dei diversi terreni è opportuno illustrare la terminologia che si andrà ad utilizzare per i diversi depositi.

Nomi, suffissi ed aggettivi individuano precise percentuali granulometriche, pertanto, seguendo le indicazioni riportate nella pubblicazione "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" a cura dell' A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana , 1977) , la frazione granulometricamente predominante viene indicata con il proprio nome (es. ghiaie), seguito dalla congiunzione "con" per frazioni comprese tra 50% e 25% (es. ghiaie con sabbie), dal suffisso "oso" per percentuali tra 25% e 10% (es. ghiaie sabbiose); per frazioni con percentuali da 10% al 5% si utilizza la dizione "debolmenteoso" (es. ghiaie debolmente sabbiose).

Espletata questa necessaria premessa, riprendiamo la descrizione delle risultanze.

CLASSI GRANULOMETRICHE								
Argilla	0,002	Limo	0,06	Sabbia	2,0	Ghiaia	60	Ciottoli e blocchi
Diametro in mm dei granuli (Da A.G.I. , 1977)								

In allegato si riportano i tabulati e le elaborazioni delle prove penetrometriche realizzate e la relazione di caratterizzazione sismostratigrafica.

5.1 – Prove Penetrometriche Dinamiche

Nell'ambito dell'indagine geognostica, eseguita il giorno 20/02/2018, sono state realizzate tre prove penetrometriche dinamiche (denominate PPD.1, PPD.2 e PPD.3).

Nelle prove penetrometriche dinamiche eseguite si sono registrati i colpi necessari per infiggere in continuo una punta conica in acciaio (diametro di 50,8 mm) per 30 centimetri nel terreno. I colpi sono dati lasciando cadere, ad intervalli regolari, un maglio del peso di 73 kg da un'altezza di 0,75 metri.

L'analisi ed il raffronto delle risultanze consentono una correlazione con la natura granulometrica e la consistenza del terreno.

Le prove penetrometriche dinamiche hanno evidenziato la presenza di distinti livelli di terreni a diversa consistenza.

Una prima classificazione è stata fatta in funzione del valore del numero di colpi N_p riscontrati per l'infissione verticale di 30 cm.

Prova Penetrometrica Dinamica – PPD.1

La prova penetrometrica dinamica PPD.1 è stata realizzata in corrispondenza dell'area verde presente in fregio al lato est del sito ed è stata spinta fino alla profondità di -5,10 metri da p.c. attuale.

La prova ha individuato la presenza di un primo strato di terreni sabbiosi limosi (**Litotipo A**) fino alla profondità di circa -1,80 metri da p.c., seguiti inferiormente da terreni sabbiosi compatti (**Litotipo B**) fino alla profondità di 3,30 metri da p.c..

Sono poi stati rilevati nuovamente terreni sabbiosi limosi (**Litotipo A**) fino alla profondità di fondo scavo (-5,10 metri da p.c.).

Nella successiva tabella si riporta le successione stratigrafica desunta dalla prova penetrometrica eseguita.

	Litotipo	Tetto da metri	Letto a metri	Spessore metri	Litologia presunta
Litotipo	A	-0,00	÷ -1,80	1,80	Sabbia limosa mediamente compatta
Litotipo	B	-1,80	÷ -3,30	1,50	Sabbia compatta
Litotipo	A	-3,30	÷ -5,10	1,80	Sabbia limosa limitatamente compatta

Prova Penetrometrica Dinamica – PPD.2

La prova penetrometrica dinamica PPD.2 è stata realizzata in prossimità della zona dei vecchi serbatoi dismessi ed è stata spinta fino alla profondità di -5,10 metri da p.c. attuale.

La prova è iniziata dalla profondità di 0,9 metri da piano campagna, dopo aver eseguito un pre-scavo che ha attraversato lo spessore dei terreni ghiaiosi sabbiosi ciottolosi che costituiscono il sottofondo della pavimentazione del piazzale.

La prova ha rilevato la medesima successione stratigrafica della PPD.1:

- terreni sabbiosi limosi (**Litotipo A**) fino alla profondità di circa -1,80 metri da p.c.;
- terreni sabbiosi compatti (**Litotipo B**) fino alla profondità di 3,90 metri da p.c.;
- terreni sabbiosi limosi (**Litotipo A**) fino alla profondità di -4,90 metri da p.c.;
- terreni sabbiosi compatti (**Litotipo B**) fino alla profondità di fondo foro (5,10 metri da p.c.).

Nella successiva tabella si riporta le successione stratigrafica desunta dalla prova penetrometrica eseguita.

	Litotipo	Tetto da metri		Letto a metri	Spessore metri	Litologia presunta
	Preforo	0,00	÷	-0,60	0,60	Ghiaia sabbiosa ciottolosa di riporto
	Litotipo A	-0,60	÷	-1,80	1,20	Sabbia limosa mediamente compatta
	Litotipo B	-1,80	÷	-3,90	2,10	Sabbia compatta
	Litotipo A	-3,90	÷	-4,90	1,00	Sabbia limosa mediamente compatta
	Litotipo B	-4,90	÷	-5,10	0,20	Sabbia compatta

Prova Penetrometrica Dinamica – PPD.3

La prova penetrometrica dinamica PPD.3 è stata realizzata in corrispondenza dell'area di parcheggio presente nella porzione meridionale dell'area in prossimità dell'ingresso.

Essa è stata spinta fino alla profondità di -5,10 metri da p.c. attuale.

La prova ha individuato la presenza di un primo strato di terreno vegetale dello spessore di 60 cm. Inferiormente si riscontra la medesima successione evidenziata dalle altre prove:

- terreni sabbiosi limosi (**Litotipo A**) fino alla profondità di circa -1,80 metri da p.c.;
- terreni sabbiosi compatti (**Litotipo B**) fino alla profondità di 3,00 metri da p.c.;
- terreni sabbiosi limosi (**Litotipo A**) fino alla profondità di -5,10 metri da p.c..

Nella successiva tabella si riporta le successione stratigrafica desunta dalla prova penetrometrica eseguita.

	Litotipo	Tetto da metri		Letto a metri	Spessore metri	Litologia presunta
	Litotipo A	-0,00	÷	-1,80	1,80	Sabbia limosa mediamente compatta
	Litotipo B	-1,80	÷	-3,00	1,20	Sabbia compatta
	Litotipo A	-3,00	÷	-5,10	2,10	Sabbia limosa mediamente compatta

5.2 – Prova penetrometrica statica

Nell'ambito dell'indagine geognostica eseguita in data 20/02/2018, è stata realizzata anche una prova penetrometrica statica in corrispondenza della zona verde presente sul lato est dell'area.

Una prima analisi di tipo statistico è stata eseguita sui valori di resistenza alla punta (R_p) e resistenza laterale (R_l) registrati ogni 20 centimetri di infissione durante l'esecuzione della prova penetrometrica statica.

Dalla prova sono stati individuati, prendendo come discriminante il valore della resistenza di punta, degli intervalli in cui il valore presenta un valore medio significativo, con deviazione standard molto limitata. Per ogni intervallo viene calcolato il valore di resistenza laterale medio e, come passo successivo, il valore del coefficiente d'attrito.

Questo ultimo parametro viene ricavato come rapporto percentuale tra la resistenza laterale e la resistenza di punta:

$$F_r = \frac{R_L}{R_p} \times 100 \quad (\%)$$

Per le sabbie tale coefficiente è in genere $< 1 \%$; ed aumenta al diminuire della granulometria sino a valori di $F_r > 5-6$ per le torbe.

La prova ha individuato la presenza di un primo strato di terreni limosi sabbiosi (**Litotipo C**) fino alla profondità di -1,40 metri da p.c. seguiti da terreni sabbiosi limosi (**Litotipo A**) fino alla profondità di circa -2,60 metri da p.c., e poi da terreni sabbiosi compatti (**Litotipo B**) fino alla profondità di 4,60 metri da p.c.. Sono poi stati rilevati nuovamente terreni limosi sabbiosi (**Litotipo C**) fino alla profondità di fondo scavo.

Nella successiva tabella si riporta la successione stratigrafica desunta dalla prova penetrometrica eseguita.

Litotipo		Tetto da metri		Letto a metri	Spessore metri	Litologia presunta
Preforo		0,00	÷	-0,40	0,40	-
Litotipo	C	-0,40	÷	-1,40	0,40	Limo sabbioso mediamente compatto
Litotipo	A	-1,40	÷	-2,60	1,20	Sabbia limosa compatta
Litotipo	B	-2,60	÷	-4,60	2,00	Sabbia compatta
Litotipo	C	-4,60	÷	-4,80	0,20	Limo sabbioso limitatamente compatto

5.3 – Considerazioni litologiche

Dall'analisi delle risultanze dell'indagine geognostica effettuata è possibile individuare la presenza dei seguenti litotipi:

Litotipo A: sabbia limosa

Deposito costituito da terreni a matrice sabbiosa limosa con consistenza media.

Litotipo B: sabbia compatta

Deposito costituito da un terreno a matrice sabbiosa a consistenza elevata.

Litotipo C: limo sabbioso

Deposito costituito da terreni limosi sabbiosi mediamente consistenti.

5.4 – Misura del livello della falda freatica

Nel corso delle indagini geognostiche realizzate in data 20/02/2018 nell'area in esame la quota di falda si posizionava ad una profondità di circa -3,00 metri dal p.c..

5.5 – Parametrizzazione geotecnica

Si riportano di seguito i principali parametri geotecnici desunti dall'elaborazione delle prove penetrometriche realizzate:

Litotipo	φ [°]	Coesione non drenata [kg/cm ^q]	γ [t/mc]
A	26° ÷ 32°	0	1,9 ÷ 2,1
B	28° ÷ 34°	0	2,0 ÷ 2,1
C	0°	1,3 ÷ 1,5	2,0 ÷ 2,1

In allegato si riportano i tabulati e le tabelle con le risultanze per esteso delle elaborazioni delle prove penetrometriche.

5.6 – Parametrizzazione sismica

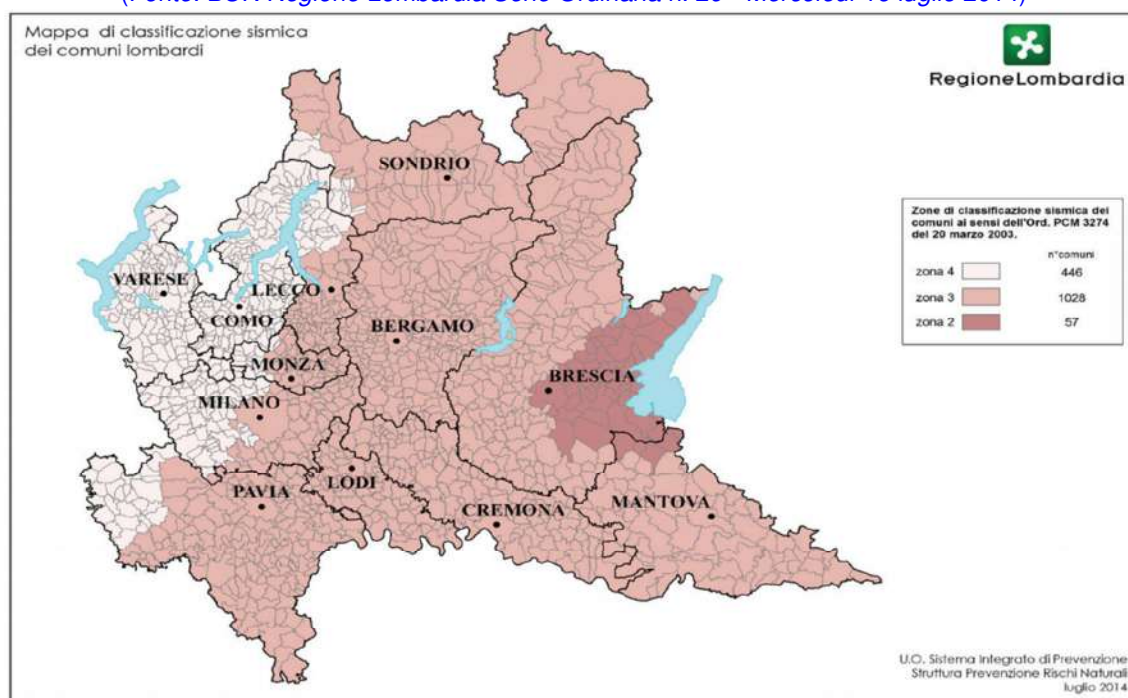
La risposta sismica locale dipende dalle caratteristiche geologiche del territorio, nonché da fattori legati all'evento sismico (magnitudo, accelerazione, durata).

A seguito dell'entrata in vigore dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (poi modificata con O.P.C.M. 3431 del 03/05/05) l'intero territorio nazionale è stato classificato a rischio sismico e suddiviso in quattro zone (classi) a diversa pericolosità, eliminando di fatto le zone fino a quel momento non classificate.

Le singole regioni hanno poi emanato provvedimenti di recepimento della sopracitata Ordinanza. Come detto in precedenza, con DGR 11/07/2014 n. X/2129 è stata recepita dalla Regione Lombardia la nuova classificazione sismica secondo la quale il territorio comunale di Mantova è stato inserito tra le zone di **tipo 3**.

Classificazione sismica dei comuni lombardi ai sensi della D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129

(Fonte: BUR Regione Lombardia Serie Ordinaria n. 29 - Mercoledì 16 luglio 2014)

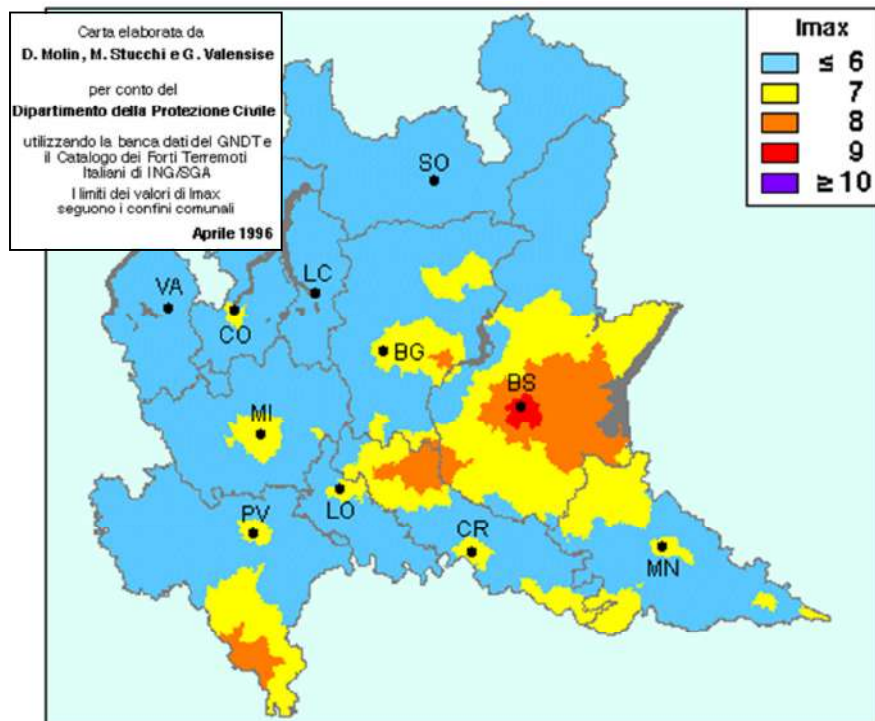


Per quanto riguarda la massima intensità macrosismica I_{max} (che rappresenta una misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sull'uomo, sugli edifici e sull'ambiente) si fa riferimento alla classificazione del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (GNDT).

Per la Lombardia i valori dell'intensità macrosismica sono indicati nella successiva figura tratta dal database del GNDT.

Come si può notare, il comune di Mantova è inserito all'interno delle zone con $I_{max} = 7$.

Carta dell'intensità macrosismica I_{max} (Fonte: GNDT)



Riassumendo, la pericolosità e la classificazione sismica di riferimento per il comune di Mantova è la seguente:

Zona sismica	3
Intensità macrosismica	$I_{max} = 7$

Dal 22 marzo 2018 sono entrate in vigore le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) che hanno aggiornato le vecchie NTC del 2008.

Il testo delle NTC verrà sviluppato, per gli aspetti operativi, nella circolare esplicativa, attualmente ancora in fase di approvazione.

Come accadeva per le NTC 2008, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza (P_{VR}), nel periodo di riferimento (V_R).

I parametri necessari per definire lo spettro di risposta elastico, sempre riferiti ad un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, sono i seguenti:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

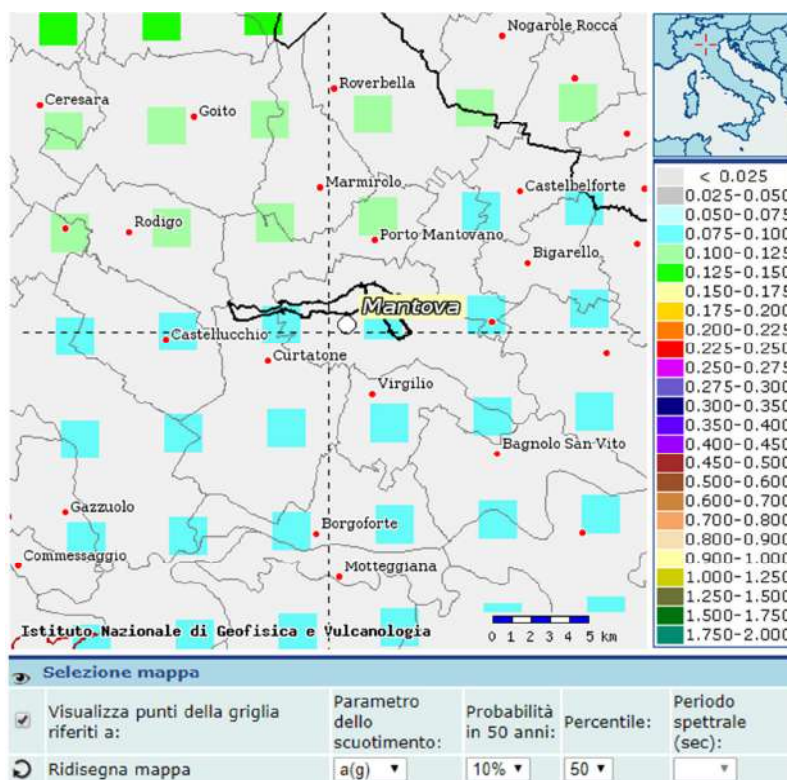
Secondo quanto previsto dalla nuova normativa, per i valori di a_g , F_o e T_c , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa ancora riferimento agli Allegati A e B del Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (NTC 2008).

Si riporta di seguito uno stralcio della mappa di zonizzazione sismica dell'area di interesse estratto dal sito web dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – INGV.

In cartografia viene rappresentata l'accelerazione massima attesa per il sito in esame, espressa come rapporto rispetto alla accelerazione di gravità.

In particolare l'estratto di seguito riportato si riferisce ad una probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni del valore di a_g riportato in legenda.

Zonizzazione sismica con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Fonte: INGV)



Al fine di poter determinare un'opportuna azione sismica di progetto si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s (Tab. 3.2.II da NTC2018).

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico il sottosuolo dell'area in esame è stata eseguita un'indagine geofisica con metodologie MASW e HVSR. L'indagine geofisica sopracitata viene

riportata in allegato alla presente relazione. Le risultanze dell'indagine geofisica eseguita inseriscono il sito d'indagine nella CATEGORIA C.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

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

Tabella 3.2.II delle NTC 2018 (D.M. 17 gennaio 2018)

Con V_{S30} viene indicata la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

5.7 – Categoria Topografica

Data la configurazione morfologica della porzione di pianura su cui insite il progetto, è possibile inserire l'area in esame nella categoria topografica T1 (Tab. 3.2.III NTC2018):

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 $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.III delle NTC 2018 (D.M. 17 gennaio 2018)

5.8 – Valutazione dei fattori di amplificazione litologica

Come evidenziato precedentemente l'area in esame rientra nella zona Z4a "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi".

Lo scenario di pericolosità sismica locale (Z4a) prevede possibili effetti di amplificazione sismica di tipo litologico.

Nella relazione “*Studio Geologico-Tecnico, Parte Prima: Relazione geologica generale*” del P.G.T. del comune di Mantova vengono espone le risultanze dell’analisi di secondo livello, consistente nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella Carta della Pericolosità Sismica Locale. L’analisi ha consentito la determinazione del parametro Fattore di Amplificazione F_a .

Si riporta di seguito un estratto della relazione sopracitata con le risultanze delle analisi realizzate:

“Di seguito (Tab. 4) viene offerto un quadro sinottico con la comparazione fra i valori del Fattore di Amplificazione F_a calcolati per le verticali più significative di ciascuna base sismica e quelli di soglia comunale.

BASE SISMICA	SUOLO TIPO	PROGRESSIVA	F_a 0,1-0,5 s	F_a SOGLIA	F_a 0,5-1,5 s	F_a SOGLIA
B1 - PORTO DI VALDARO	C	42	2,1	1,8	1,5	2,3
B1 - PORTO DI VALDARO	C	83	2,1	1,8	1,5	2,3
B2 - TE BRUNETTI	C	28	2,0	1,8	1,1	2,3
B2 - TE BRUNETTI	C	46	2,3	1,8	1,2	2,3
B2 - TE BRUNETTI	B	82	1,8	1,4	1,2	1,7
B3 - CASTELLO DI S. GIORGIO	C	42	2,2	1,8	1,6	2,3
B3 - CASTELLO DI S. GIORGIO	C	88	2,2	1,8	1,6	2,3
B4 - ZONA INDUSTRIALE	B	47	1,8	1,4	1,2	1,7
B4 - ZONA INDUSTRIALE	B	88	2,1	1,4	1,1	1,7

Tab. 4: Confronto tra i valori di F_a calcolati e quelli di soglia comunale

I campi evidenziati in giallo corrispondono alle situazioni nelle quali F_a calcolato > F_a soglia e lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito; nella definizione dello scarto tra i valori di soglia e quelli ottenuti con il secondo livello di approfondimento è ammessa una tolleranza di $\pm 0,1$, che tiene conto delle approssimazioni compiute in sede di calcolo.

*I risultati conseguiti portano a concludere che, in tutti i casi esaminati a proposito dell'intervallo di periodo $0,1 \div 0,5$ s (strutture relativamente basse), **la progettazione di eventuali costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi del D.D.U.O. n.19904 del 21 novembre 2003** dovrà essere supportata da un'analisi sismica di terzo livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore secondo la classificazione stabilità dal D.M. 14 gennaio 2008”.*

In corrispondenza dei medesimi areali, esente dalla descritta condizione è risultato viceversa l'intervallo $0,5 \div 1,5$ s (strutture più alte): in questo caso, infatti, i valori di F_a calcolati sono costantemente inferiori a quelli definiti dalla normativa, il cui spettro appare quindi tale da rispecchiare l'effettiva amplificazione del sito senza richiedere approfondimenti di terzo livello ovvero modifiche dello spettro di norma per una data categoria di suolo, fermi restando gli obblighi fissati dal D.M. 14 gennaio 2008.

Di seguito si riportano le risultanze di una analisi di 2° livello eseguita nel sito in esame, tale indagine puntuale porta alla definizione di una diversa condizione.

La valutazione di 2° livello è stata sviluppata con prove in sito (prove penetrometriche e stendimento sismico) pertanto aumentando il grado di attendibilità a “medio” per i dati stratigrafici ed “alto” per dati geofisici.

Sulla base delle risultanze risulta:

- categoria di sottosuolo C con velocità V_{s30} pari a 316 m/s ;
- modello sismo-stratigrafico: 0-6m (270m/s); 6-26m (325m/s); 20-79m (400m/s); >79m (600m/s);
- $T=0,85$ (calcolato come previsto al paragrafo 2.2.2 dell' Allegato 5 della DGR IX/2616 del 2011)
- considerando per il comune di Mantova per la Categoria C :

$$FAS = 1,8 \pm 0,1 (0,1-0,5s) ; 2,3 \pm 0,1 (0,5-1,5s)$$

- scheda litologica limoso-sabbiosa tipo 2;
- curva caratteristica per intervallo 0.1-0.5 sec : CURVA 2 (verde)

risulta $FAC \leq FAS$ per curva 2 (vedasi tavola di correlazione tra T e $Fa(0,1-0,5s)$)

6.0 – GESTIONE DI TERRA E ROCCE DA SCAVO


La presente indagine ambientale è stata svolta al fine di rappresentare in maniera adeguata le caratteristiche del terreno da scavare.

Dall'analisi della Tav PR1 del PGT del Comune di Mantova è emerso che l'area oggetto di intervento si trova in una zona classificata come "Aree per attrezzature pubbliche e di interesse pubblico o generale".

Estratto della tav. PR1 del PGT del Comune di Mantova



SISTEMA DEI SERVIZI E DEL VERDE DIFFUSO

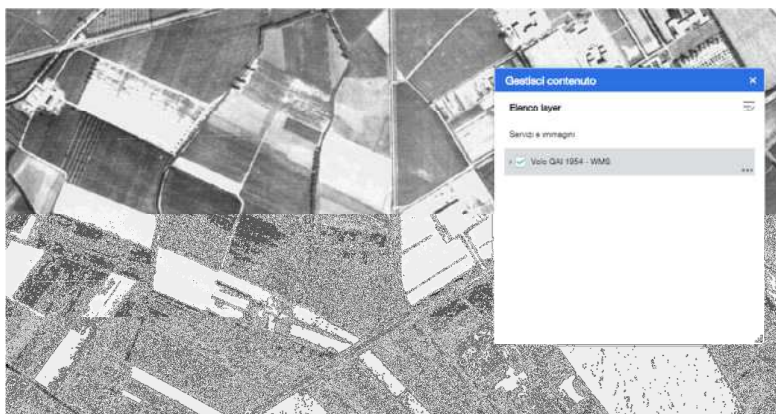
 Aree per attrezzature pubbliche e di interesse pubblico o generale (Art. C8)

Come detto in precedenza, in corrispondenza dell'area in esame sono presenti serbatoi interrati che hanno contenuto gasolio per autotrazione. Tali serbatoi saranno oggetto di dismissione e a tal fine sarà pertanto sviluppata una specifica indagine ambientale rispondente ai requisiti previsti dalle "Linee guida sui serbatoi interrati" redatte da ARPA Lombardia nel 2013.

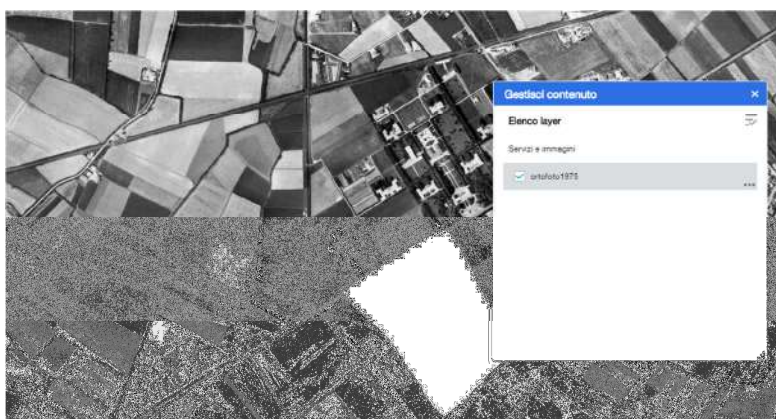
In questa fase di progettazione si è provveduto a campionare ed analizzare chimicamente i terreni naturali presenti nella zona a verde interessata dalla collocazione degli impianti tecnologici e dell'area compressori.

Si riportano di seguito alcune foto aeree, tratte dal geoportale della Regione Lombardia (<http://www.geoportale.regione.lombardia.it>), che mostrano l'evoluzione dell'area in esame dal 1954 ad oggi.

Le foto aeree dell'area mostrano come l'area circostante risulta inserita in un contesto prevalentemente residenziale e agricolo.



Ortofoto Volo GAI 1954



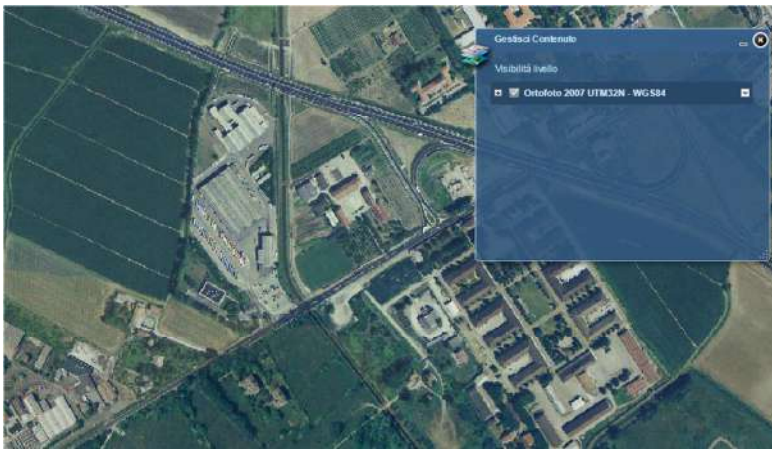
Ortofoto volo 1975



Ortofoto volo 1998



Ortofoto volo 2003



Ortofoto volo 2007



Stato attuale (fonte BING maps)

In merito alla gestione delle terre e rocce di scavo si segnala che con l'entrata in vigore in data 22/08/2017 del D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 sono state introdotte importanti modifiche in relazione alla gestione delle terre e rocce da scavo.

Il DPR, entrato in vigore il 22 agosto 2017, abroga la precedente normativa sulle terre e rocce da scavo (D.M. n. 161/2012, art. 184-bis, comma 2-bis, del D.Lgs. n. 152/2006 e artt. 41, comma 2, e 41-bis del D.L. n. 69/2013).

A decorrere da tale data è obbligatorio trasmettere all'Autorità Competente (da intendersi come l'Autorità che approva il progetto di realizzazione dell'opera oggetto nell'ambito del quale le terre e rocce da scavo sono prodotte) e all'ARPA la documentazione di cui ai seguenti allegati al DPR:

- Allegato 6 (dichiarazione di utilizzo),
- Allegato 7 (documento di trasporto)
- Allegato 8 (dichiarazione di avvenuto utilizzo).

Quindici giorni prima dell'inizio dell'attività di scavo è obbligatorio trasmettere agli enti competenti la modulistica di cui all'Allegato 6 (dichiarazione di utilizzo).

Una volta avvenuto il completo utilizzo dei materiali da scavo secondo le previsioni comunicate, il produttore dovrà compilare e inviare a ARPA e ai Comuni di produzione e utilizzo dei materiali da scavo l'Allegato 8 (dichiarazione di avvenuto utilizzo).

La nuova normativa ha introdotto inoltre una nuova modulistica definita Documento di trasporto (Allegato 7) che deve accompagnare ogni viaggio dal sito di produzione al sito di destinazione o di deposito intermedio.

L'indagine ambientale è consistita nel prelievo ed analisi chimica di n. 1 campione medio rappresentativo del sottosuolo della sola area a verde interessata dalla collocazione degli impianti tecnologici e compressori.

Sul campione di terreno è stato verificato un set di parametri individuato con le modalità degli indirizzi operativi per la gestione delle terre e rocce da scavo (D.P.R. 120/2017, artt. 20-22), costituito da:

- Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame e Zinco
- Idrocarburi pesanti (C>12)
- IPA
- PCB
- BTEX

I risultati delle analisi chimiche realizzate sono stati confrontati con i limiti imposti sia dalla Colonna B che dalla Colonna A della Tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del D. Lgs. 152/2006.

Per tutti i parametri analizzati è stato verificato il rispetto dei limiti di legge per entrambe le colonne.

7.0 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti, la realizzazione dell'intervento in progetto comporta una serie di considerazioni:

- Il progetto in esame prevede la realizzazione di 3 diversi interventi:
 - edificazione di una nuova pensilina di distribuzione del metano per gli autobus;
 - realizzazione di una nuova zona tecnologica per i compressori del metano;
 - realizzazione di una nuova pensilina di distribuzione del metano ad uso pubblico (questo intervento allo stato attuale è oggetto di verifica di fattibilità).
- Il presente studio geologico si è basato sulla raccolta di dati bibliografici desunti dalla consultazione della relazione geologica allegata al PGT del comune di Mantova e dall'analisi di dati desunti da lavori svolti dallo scrivente nelle vicinanze dell'area in esame. Lo studio geologico ha comportato inoltre la realizzazione di una campagna geognostica puntuale realizzata il giorno 20/02/2018 nell'area interessata dall'intervento in progetto. L'indagine è consistita nella realizzazione di:
 - n.3 Prove penetrometriche dinamiche (denominate PPD.1, PPD.2 e PPD.3);
 - n.1 Prova penetrometrica statica (denominata PPS.1);
 - n.1 indagine geofisica realizzata mediante la realizzazione di uno stendimento sismico utilizzando la metodologia MASW e HVSr.
- Dall'analisi delle risultanze dell'indagine geognostica effettuata è possibile individuare la presenza dei seguenti litotipi:

Litotipo A: sabbia limosa

Deposito costituito da terreni a matrice sabbiosa limosa con consistenza media.

Litotipo B: sabbia compatta

Deposito costituito da un terreno a matrice sabbiosa a consistenza elevata.

Litotipo C: limo sabbioso

Deposito costituito da terreni limosi sabbiosi mediamente consistenti.

- Dati bibliografici desunti dalla consultazione dello Studio Geologico – Tecnico del PGT del Comune di Mantova indicano la presenza di una falda freatica posta alla profondità di circa 5 ÷ 6 metri dal piano campagna. In occasione della campagna di indagine eseguita (20/02/2018) la falda si posizionava invece ad una profondità di circa **3 metri dal piano campagna**.

- In data 20/02/2018 è stata eseguita un'indagine geofisica con metodologie MASW e HVSR per la caratterizzazione sismica dei terreni. Le risultanze dell'indagine geofisica eseguita inseriscono il sito d'indagine nella Categoria C.
- L'indagine ambientale è consistita nel prelievo ed analisi chimica di n.1 campione medio di terreno rappresentativo del sottosuolo dell'area verde interessata dalla realizzazione dell'area tecnologica.
Le analisi effettuate non hanno evidenziato superamenti dei limiti imposti sia dalla Colonna B che dalla Colonna A della Tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del D. Lgs. 152/2006.
- I vecchi serbatoi interrati presenti in corrispondenza della futura pensilina di distribuzione del metano per gli autobus, serbatoi attualmente dismessi, saranno oggetto ad una procedura per la loro rimozione.
Si sottolinea pertanto la necessità di eseguire indagini ambientali in corrispondenza di tale area, volte alla verifica delle caratteristiche chimiche dei terreni e delle acque di falda al fine di accertare l'assenza di contaminazioni delle matrici ambientali.

Dott. geologo Pier Silvio Compri

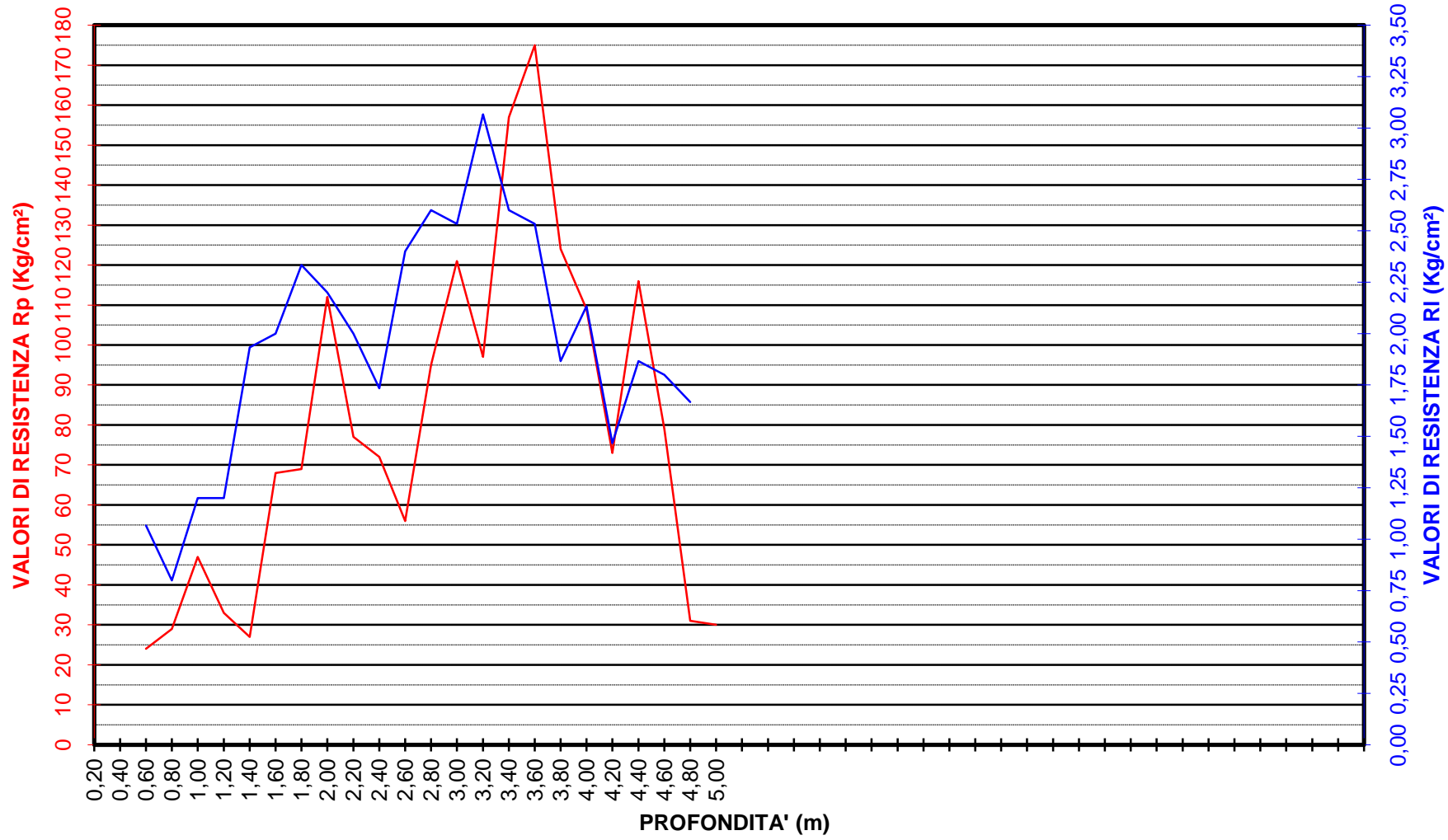


ALLEGATO N. 1

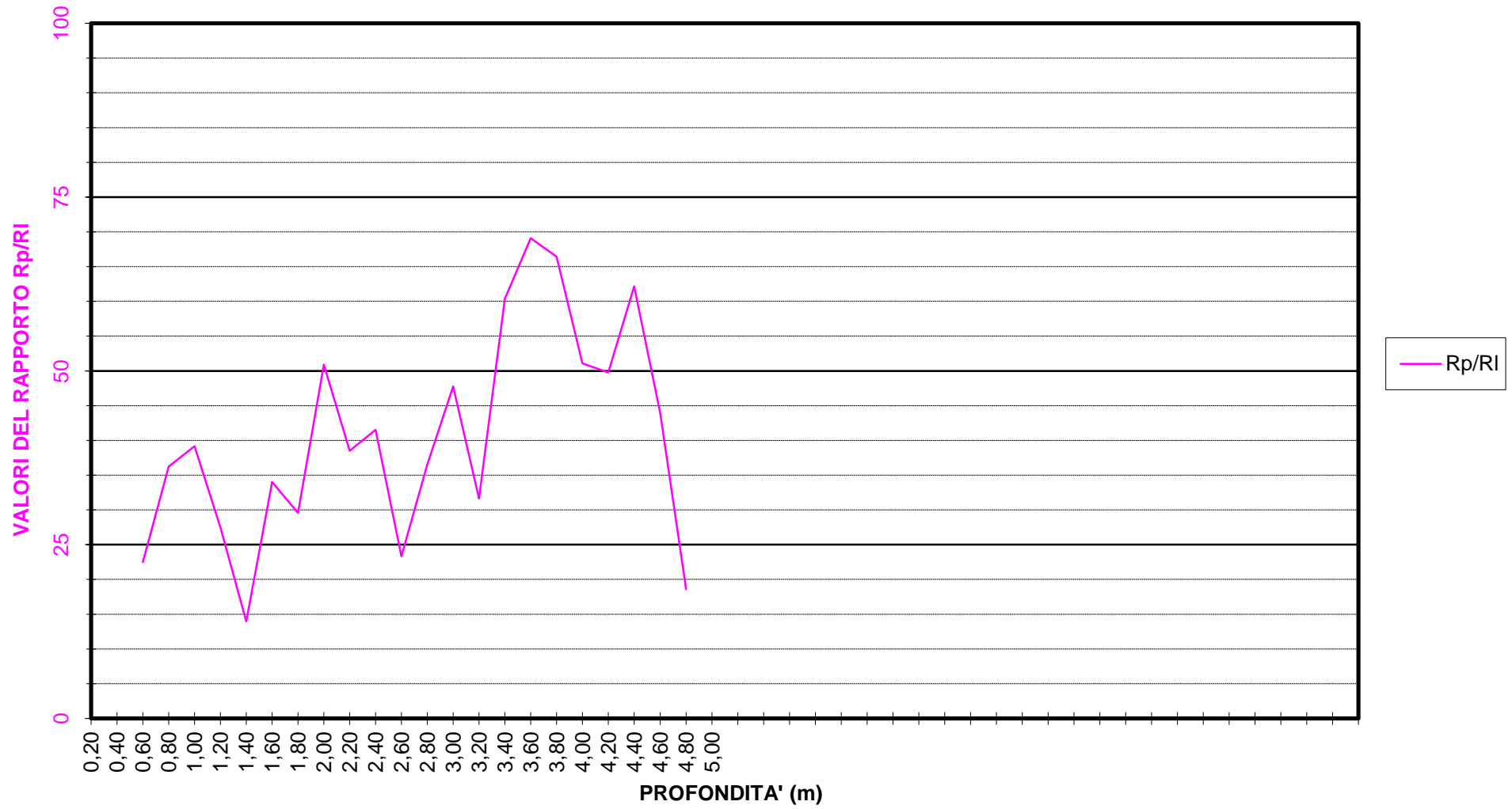
Schede delle risultanze della prova penetrometrica statica

Penetrometro statico da:		20 tonnellate				
COMMITTENTE:		APAM Mantova				
Località:		Via dei Toscani				
Comune:		Mantova (MN)				
Quota inizio:		Piano campagna attuale				
		Falda -3,00 m da p.c.				
Data:		20/02/2018				
PROVA PENETROMETRICA STATICA N° 1 - PPS N° 1						
Prof.	Ip	Ir	Rp	RI	Rp/RI	STRATIGRAFIA
metri			kg/cm²	kg/cm²		Racc. A.G.I.
0,20	8	n.r.				
0,40	10	n.r.				
0,60	24	35	24	1,07	22,5	limi ed argille
0,80	29	45	29	0,80	36,3	limi sabb. e sabbie limose
1,00	47	59	47	1,20	39,2	limi sabb. e sabbie limose
1,20	33	51	33	1,20	27,5	limi ed argille
1,40	27	45	27	1,93	14,0	torbe
1,60	68	97	68	2,00	34,0	limi sabb. e sabbie limose
1,80	69	99	69	2,33	29,6	limi ed argille
2,00	112	147	112	2,20	50,9	limi sabb. e sabbie limose
2,20	77	110	77	2,00	38,5	limi sabb. e sabbie limose
2,40	72	102	72	1,73	41,5	limi sabb. e sabbie limose
2,60	56	82	56	2,40	23,3	limi ed argille
2,80	95	131	95	2,60	36,5	limi sabb. e sabbie limose
3,00	121	160	121	2,53	47,8	limi sabb. e sabbie limose
3,20	97	135	97	3,07	31,6	limi sabb. e sabbie limose
3,40	157	203	157	2,60	60,4	sabbie con ghiaia
3,60	175	214	175	2,53	69,1	sabbie con ghiaia
3,80	124	162	124	1,87	66,4	sabbie con ghiaia
4,00	109	137	109	2,13	51,1	limi sabb. e sabbie limose
4,20	73	105	73	1,47	49,8	limi sabb. e sabbie limose
4,40	116	138	116	1,87	62,1	sabbie con ghiaia
4,60	79	107	79	1,80	43,9	limi sabb. e sabbie limose
4,80	31	58	31	1,67	18,6	limi ed argille
5,00	30	55	30			

PROVA PENETROMETRICA STATICA N.1 - PPS N.1



PROVA PENETROMETRICA STATICA N.1 - PPS N.1



Dott. Geol. Pier Silvio Compri
Via Provinciale Est 1/a
37060 Buttapietra (VR)

Committente: APAM Mantova

Località: via dei Toscani

Note:

Attrezzatura:

Data: 20/02/2018

Quota(m): p.c.

Sigla: \PPS1

Parametri geotecnici

Prof. base (m)	k (m/s)	Cc	Phi (°)	gamma (t/mc)	Dr %	Ey (kg/cmq)	Cu (kg/cmq)	Ed co. (kg/cmq)	O. C. R.	G0 (kg/cmq)	Ed in. (kg/cmq)	s' (kg/cmq)
0,4	3,7E-10		26	1,82	61	18				92	49	0,04
1,4	1,1E-8	0,03		2,06			1,314	43	1,29	200		0,18
2,6	6,5E-8		36	2,1	78	155				349	69	0,4
4,6	4,1E-6		38	2,15	81	243				458	76	0,69
5	1,9E-12	0,06		2,09			1,49	49	11,6	219		0,84

Profondità della falda (m): 3,0

LEGENDA: k=pemeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

ALLEGATO N. 2

Schede delle elaborazioni delle 3 prove penetrometriche dinamiche

COMMITTENTE:	APAM Mantova
Località:	Via dei Toscani, Mantova (MN)
Quota inizio:	piano campagna attuale circa 24,60 m s.l.m.
Data:	20-feb-18

PENETROMETRO DINAMICO tipo SUPERPESANTE (DPSH)

classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici			UNITA' DI MISURA (conversioni)
tipo	sigla di riferimento	peso della massa battente M (kg)	
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	1 kg/cm ² = 0,098067 MPa
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	1 MPa = 1 MN/m ² = 10,197 kg/cm ²
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	1 bar = 1,0197 kg/cm ² = 0,1 MPa
Superpesante	DPSH (Super H.)	$M \geq 60$	1 kN = 0,001 MN = 101,97 kg

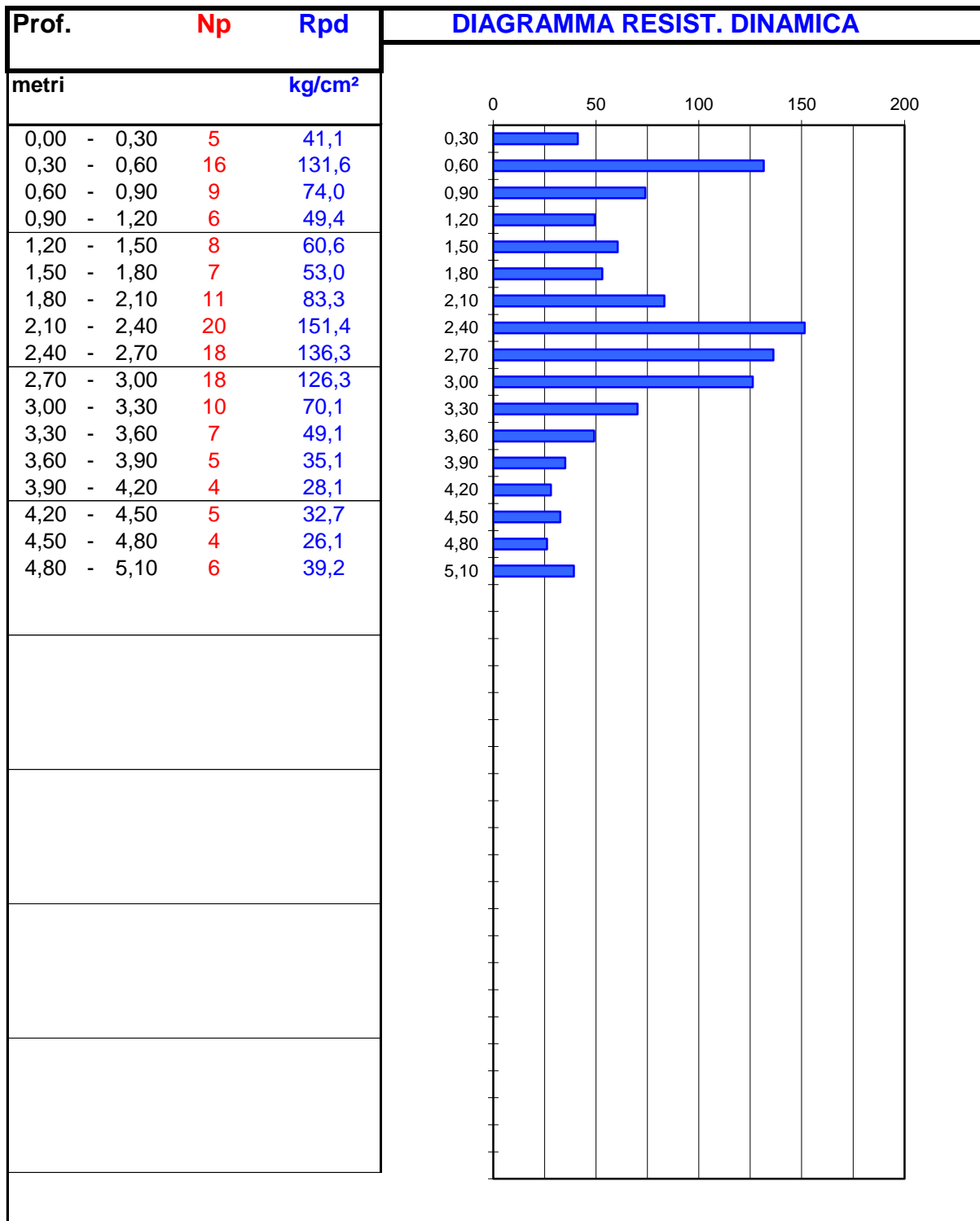
CARATTERISTICHE TECNICHE

Peso massa battente	M = 73	kg	
Altezza caduta libera	H = 0,75	m	
Peso sistema battuta	Ms = 0,00	kg	(esclusa massa battente)
Diametro punta conica	D = 50,8	mm	
Area base punta conica	A = 20,27	cm²	
Angolo apertura punta	$\alpha = 60^\circ$		
Lunghezza aste	La = 1,5	m	
Peso aste	Ma = 6,9	kg/cad.	
Profondità giunzione 1° asta	P1 = 1,20	m	
Avanzamento punta	$\delta = 0,30$	m	

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA - PPD 1

Quota p.c. : 24,60

Quota falda : - 3,00 m da p.c.



Dott. Geol. Pier Silvio Compri
Via Provinciale Est 1/a
37060 Buttapietra (VR)

Committente: APAM Mantova
Località: Via dei Toscani - Mantova
Data: 20/02/2018 Attrezzatura:
Note:
Quota(m): p.c. Sigla: \PPD1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Mod.edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Mod. dinamico di taglio (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1,8	7	Sabbia sciolta	100	0,23	28	1,93	53	290	75				334	0,17
3,3	13	Sabbia compatta	137	0,2	29	2,08	55	394	92				381	0,5
5,1	5	Sabbia sciolta	128	0,1	26	2	31	181	53				272	0,73

Profondità della falda (m): 3,0

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA - PPD 2

Quota p.c. : 24,60

Quota falda : - 3,00 m da p.c.

[illegible]

Dott. Geol. Pier Silvio Compri
Via Provinciale Est 1/a
37060 Buttapietra (VR)

Committente: APAM Mantova
Località: Via dei Toscani - Mantova
Data: 20/02/2018
Note: Attrezzatura:
Quota(m): p.c. Sigla: \PPD2

Parametri geotecnici

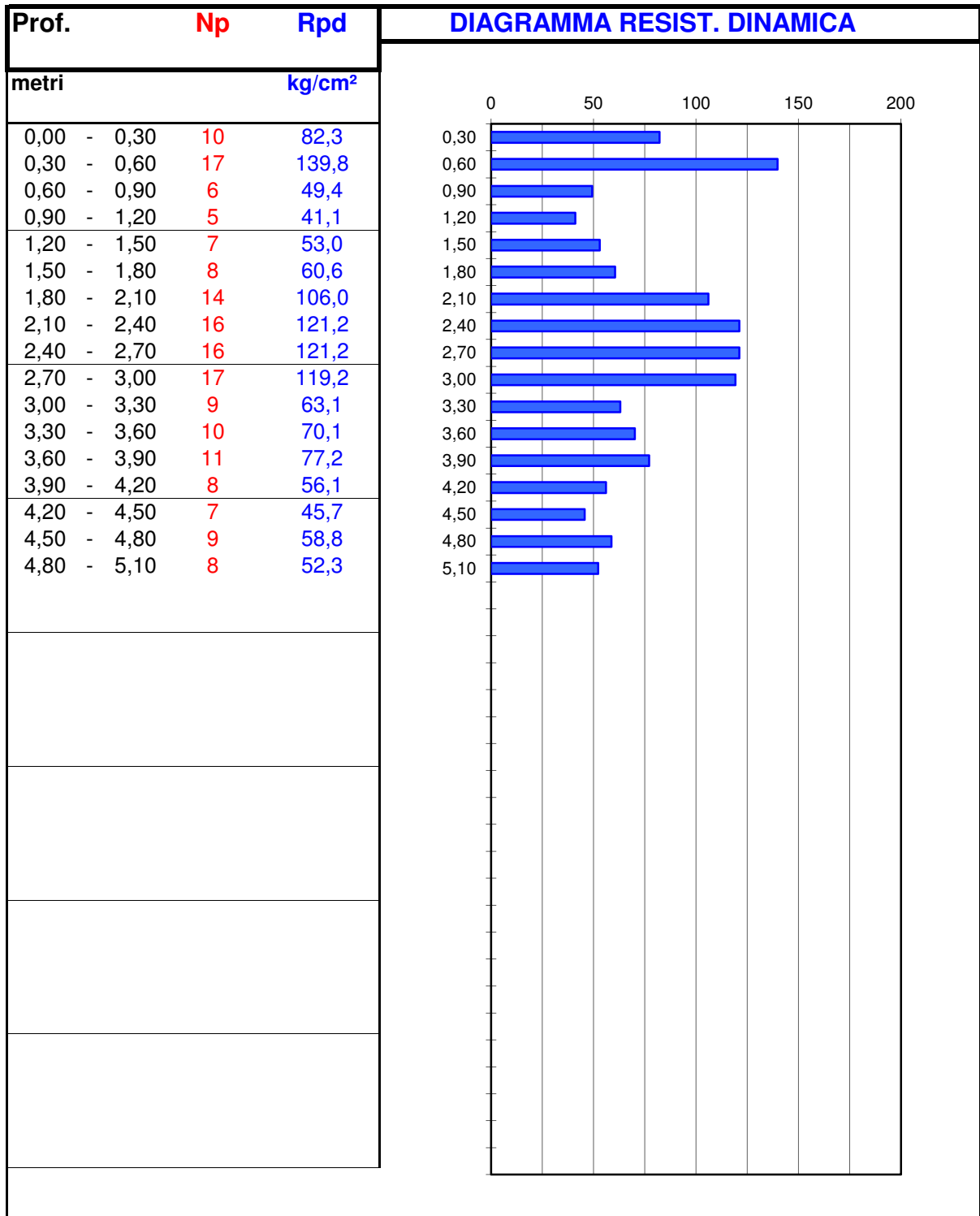
Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Mod.edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Mod. dinamico di taglio (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
0,9	0	Pre-foro	42	0	15	1,77	8	0	0				0	0,08
1,8	7	Sabbia sciolta	108	0,21	28	1,9	49	290	75				334	0,24
3,9	11	Sabbia compatta	136	0,16	28	2,01	50	310	78				344	0,54
4,8	8	Sabbia sciolta	140	0,16	28	2,04	39	351	85				363	0,74
5,1	17	Sabbia compatta	163	0,21	31	2,12	56	584	121				449	0,8

Profondità della falda (m): 3,0

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA - PPD 3

Quota p.c. : 24,60

Quota falda : - 3,00 m da p.c.



Dott. Geol. Pier Silvio Compri
Via Provinciale Est 1/a
37060 Buttapietra (VR)

Committente: APAM Mantova
Località: Via dei Toscani - Mantova
Data: 20/02/2018 Attrezzatura:
Note:
Quota(m): p.c. Sigla: \PPD3

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspof medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Mod.edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Mod. dinamico di taglio (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
0,6	6	Sabbia compatta	78	0,17	24	2,01	66	134	43				237	0,06
1,8	6	Sabbia sciolta	103	0,18	27	1,89	46	233	64				304	0,23
3	16	Sabbia compatta	140	0,25	30	1,99	63	534	114				432	0,47
5,1	9	Sabbia compatta	141	0,18	29	2,05	42	416	96				390	0,7

Profondità della falda (m): 3,0

ALLEGATO N. 3

Tabella riassuntiva delle risultanze delle prove penetrometriche realizzate

Committente : APAM Mantona
Località: via dei Toscani, Mantova
Data: 20/02/2018

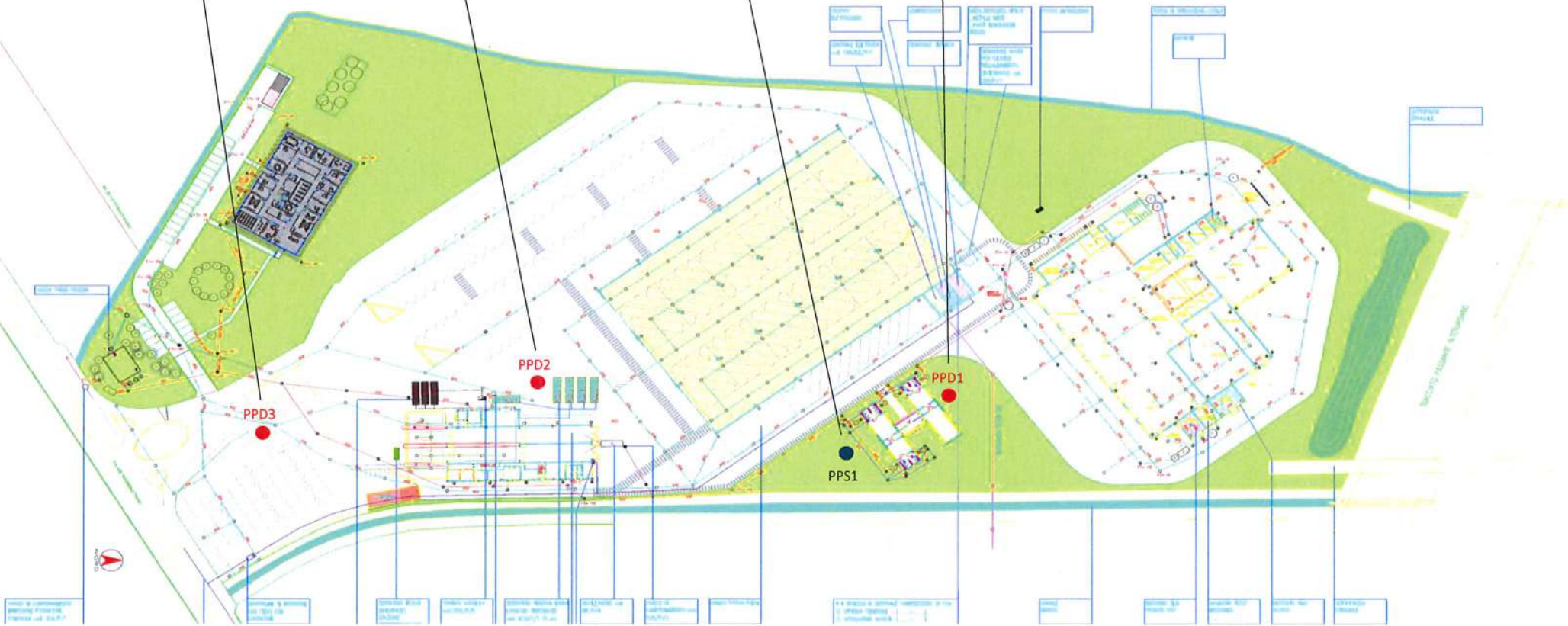
Indagine geognostica:
n. 3 Prove penetrometriche dinamiche (PPD1, PPD2, PPD3)
n. 1 Prova penetrometrica statica (PPS1)

Tabella riassuntiva delle risultanze delle prove penetrometriche realizzate

Profondità metri da p.c.	Area parcheggio	Area cisterne	Area verde	Area verde
	PPD3	PPD2	PPS1	PPD1
0,25	$\phi = /$	Sottofondo pavimentazione	Suolo sabbioso limoso	$\phi = 28^\circ$
0,50	$c = / \quad \gamma = /$	Ghiaia ciottoli e sabbia	$\phi = 0$	$c = 0 \text{ kg/cmq}$
0,75	$\phi = 27^\circ$		$c = 1,3 \text{ kg/cmq}$	$\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$
1,00	$c = 0 \text{ kg/cmq}$		$\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$	
1,25	$\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 32^\circ \div 34^\circ$	
1,50		$c = 0 \text{ kg/cmq}$	$c = 0 \text{ kg/cmq}$	
1,75		$\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$	$\gamma = 2,1 \text{ t/mc}$	
2,00	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$		$\phi = 29^\circ$
2,25	$c = 0 \text{ kg/cmq}$	$c = 0 \text{ kg/cmq}$		$c = 0 \text{ kg/cmq}$
2,50	$\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$	$\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$		$\gamma = 2,1 \text{ t/mc}$
2,75			$\phi = 34^\circ \div 36^\circ$	
3,00		$\gamma' = 1,0 \text{ t/mc}$	$c = 0 \text{ kg/cmq} \quad \gamma = 2,15 \text{ t/mc}$	$\gamma' = 1,1 \text{ t/mc}$
3,25	$\phi = 29^\circ$		$\gamma' = 1,15 \text{ t/mc}$	
3,50	$c = 0 \text{ kg/cmq}$	$\phi = 28^\circ$		$\phi = 26^\circ$
3,75	$\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$	$c = 0 \text{ kg/cmq}$		$c = 0 \text{ kg/cmq}$
4,00	$\gamma' = 1,0 \text{ t/mc}$	$\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$		$\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$
4,25		$\gamma' = 1,0 \text{ t/mc}$		$\gamma' = 1,0 \text{ t/mc}$
4,50		$\phi = 31^\circ \quad c = 0 \text{ kg/cmq}$	$\phi = 0 \quad c = 1,5 \text{ kg/cmq}$	
4,75		$\gamma = 2,1 \text{ t/mc} \quad \gamma' = 1,1 \text{ t/mc}$	$\gamma = 2,1 \text{ t/mc} \quad \gamma' = 1,1 \text{ t/mc}$	
5,00				

- Legenda
- Preforo
 - Terreno vegetale
 - Litotipo A : sabbia limosa
 - Litotipo B : sabbia compatta
 - Litotipo C : limo sabbioso
 - Profondità di falda (circa -3,00 metri da p.c.)

Planimetria con ubicazione prove penetrometriche



ALLEGATO N. 4

Caratterizzazione sismostratigrafica mediante l'analisi
congiunta di indagini di geofisica attiva MASW e passiva HVSR

STUDIO DI
GEOLOGIA
TECNICA ED
AMBIENTALE

ROSANNA
LENTINI

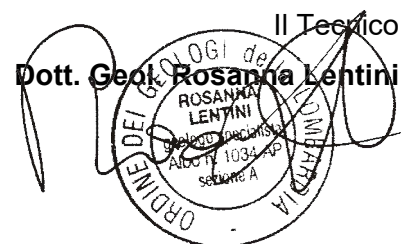
Comune di **MANTOVA**

Provincia di **MANTOVA**

**CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA MEDIANTE L'ANALISI
CONGIUNTA DI INDAGINI DI GEOFISICA ATTIVA MASW E PASSIVA HVSR
ESEGUITE PRESSO LO STABILIMENTO APAM DI MANTOVA
IN VIA DEI TOSCANI – MANTOVA (MN)**

Committente: *Sinteco S.r.l. - Engineering Consulting*

Padenghe sul Garda, Marzo 2018



Sede operativa: Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS)
Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

E-mail: info@lentinirosannageologia.it
Sito Web: www.lentinirosannageologia.it



1 INDAGINI SISMICHE

Per la valutazione delle **velocità V_{s30} di sito** e del **periodo/frequenza del sito T** sono stati acquisiti nuovi **dati geofisici mediante sismica attiva e passiva**, presso il sito di progetto, su incarico di *Sinteco S.r.l. - Engineering Consulting* e come da indicazioni di campo fornite dal *Dott. Geol. PierSilvio Compri*.

In particolare sono stati eseguiti:

- n° 1 **stendimento di sismica attiva multicanale (MASW 1)** con acquisizione delle onde superficiale, anche a bassa frequenza, ed analisi dei dati mediante metodologia MASW;



Stendimento “MASW 1”

- n°1 indagine sismica passiva mediante geofono tridimensionale (HVSr 1) ed analisi dei dati mediante metodologia HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura).



Acquisizione “HVSr 1”

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente.

La HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una metodologia di indagine geofisica che consente in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito e di conseguenza il suo periodo di sito (T). I dati acquisiti in campo libero potranno essere eventualmente confrontati con i valori stimati per l'edificio e le strutture di progetto.

Mediante l'analisi congiunta MASW-HVSr verrà eseguita la stima dei sismostrati e del parametro normativo Vs30 attraverso metodi di modellazione diretta.

L'analisi congiunta permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (Vs) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico con maggiori punti di vincolo interpretativo e fino a profondità maggiori di quelle di norma raggiungibili con la sola metodologia MASW.

L'elaborazione dei dati è stata quindi eseguita mediante il software winMASW 3C- 7.2 (creato dalla *Eliosoft*).

Il risultato finale è la determinazione, in corrispondenza dello stendimento sismico, del **profilo verticale medio della Vs** (velocità delle onde di taglio), necessario per l'applicazione delle procedure previste dalle normative regionali (All. 5 alla D.G.R. 9/2616/2011) e per la classificazione nelle categorie di suolo previste dalle normative (D.M. 14/01/08 e D.g.R.9/2616/2011).

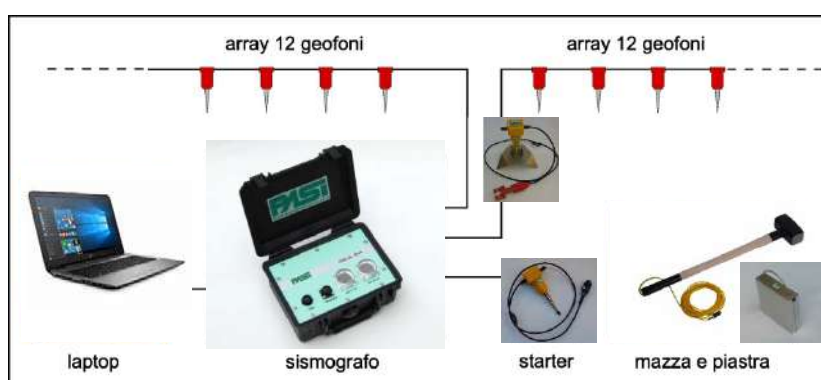
Vengono qui di seguito riportati i dati, le procedure ed i risultati relativi alle indagini sismiche predisposte entro l'area d'interesse.



1.1 STENDIMENTO DI SISMICA ATTIVA CON ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI ED ELABORAZIONE DATI DI TIPO MASW

1.1.1 Acquisizione dati - Strumentazione

L'acquisizione dei dati è avvenuta secondo le modalità “*common-shot gathers*”, utilizzando strumentazione “*Pasi Gea 24*” costituita da una centralina di acquisizione multicanale GEA 24 a 12+12 canali con scheda di acquisizione a 24 bit e interfaccia USB per PC esterno, con collegati 12 o 24 geofoni verticali (PASI – SIS – 911 – 050) con clip singola, puntale da 3” e frequenza di 4,5 Hz e.



L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili.

L'energizzazione è stata ottenuta mediante massa battente manovrata a mano (mazza da 8 kg mod. SIS-020-000) agente a percussione su un piattello di battuta in alluminio (SIS-021-000), collocato all'esterno dello stendimento dei geofoni.

La **linea sismica MASW 1** ha previsto un allineamento con **n°24 geofoni posti a distanza pari a 2,00 m**; lo **shot 1** utilizzato per l'analisi sismostratigrafica (vedi ¶ 1.1.3), è stato ubicato **10 m all'esterno rispetto all'ultimo geofono**.

Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

Per ciascun punto di energizzazione viene applicato in fase di acquisizione dei dati lo *stacking* di 2 *shot* successivi.

Per l'elaborazione dati è stato utilizzato il software winMASW 3C 7.2 (Eliosoft) nella sezione “*single-component analysis (Rayleigh/Love + HV)*”.



1.1.2 Cenni sulla metodologia MASW

La procedura di analisi MASW utilizza la propagazione nel sottosuolo delle onde di superficie. Infatti le onde di Rayleigh (o di superficie) in un mezzo non stratificato si propagano in maniera lineare in funzione della distanza del geofono, al contrario in un mezzo stratificato subiscono il fenomeno della dispersione.

La curva di dispersione permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza, è infatti influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda-\lambda/2$.

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Particolare attenzione nell'interpretazione dei dati deriva dalla considerazione che gli spostamenti indotti dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi* (frequenze diverse), che possono sovrapporsi, soprattutto nel dominio f-k, in funzione dei seguenti fattori:

- distribuzione dell'energia tra i vari modi
- particolari conformazioni geologiche
- *array* utilizzato in fase di acquisizione.

Se avviene tale sovrapposizione, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i *modi* non correlabili alla successione stratigrafica si eseguono numerosi scoppi a distanze variabili rispetto allo stendimento. Tutte le curve di dispersione vengono quindi visionate prima di procedere al processing del *dataset* prescelto. I modi superiori, se correttamente riconosciuti, concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e non costituiscono un "disturbo".

Anche l'utilizzo associato di altre metodologie di analisi sismica (quali ad esempio la sismica passiva con analisi HVSR) e delle indagini geognostiche (prove penetrometriche, ecc.) permette di vincolare maggiormente il modello interpretativo e di riconoscere in maniera corretta il "modo fondamentale" ed i "modi superiori".

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, la cui validità tecnica e scientifica risulta oramai consolidata, risulti pienamente idonea alla definizione dei dati richiesti soprattutto se associata ad indagini di sismica passiva ed indagini geognostiche.

Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. L'ampiezza delle *Surface Waves* dipende da \sqrt{r} e non da r come per le *Body Waves*.
3. Il metodo MASW non è limitato, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.
4. Il metodo MASW è contraddistinto da una buona risoluzione, a differenza del metodo a riflessione.
5. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).



1.1.3 Metodi di analisi dei dati con procedura MASW

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale, viene ottenuta a partire dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura prevede la possibilità di considerare tanto il “modo fondamentale” che quelli “superiori” e consta di due fasi operative principali:

- Determinazione dello spettro di velocità - Individuazione delle curve di dispersione
- Determinazione dell'andamento della velocità delle onde di taglio (V_s) sulla verticale - Inversione e/o *modelling* diretto della curva di dispersione

La **determinazione delle curve di dispersione e quindi dello spettro di velocità** può essere eseguita mediante tre metodi:

- f-k
- τ -p
- *Phase Shift*

Il metodo *Phase Shift* non è influenzato dal *processing* dei dati, mantiene ottime *performance*, in termini di chiarezza del segnale, anche con un numero di tracce estremamente ridotto e ha tempi di calcolo minori rispetto al metodo τ -p. La riduzione del numero di tracce provoca invece un sensibile scadimento della qualità dello spettro calcolato tramite trasformata τ -p e forte *aliasing* nello spettro f-k. E' spesso utile determinare le curve di dispersione attraverso più metodi, al fine di enfatizzare porzioni di segnale più facilmente poste in evidenza da un metodo piuttosto che da un altro.

La **ricostruzione della distribuzione verticale delle V_s** rappresenta quindi il passo successivo, cruciale, e comporta alcuni passaggi piuttosto articolati.

La curva di dispersione dipende infatti, oltre che dalla velocità delle onde di taglio (V_s), anche dallo spessore degli strati, dalla velocità delle onde di compressione (V_p) e dalla densità del terreno.

$$V(f) = F(V_s, \text{spessore}, V_p, \text{densità})$$

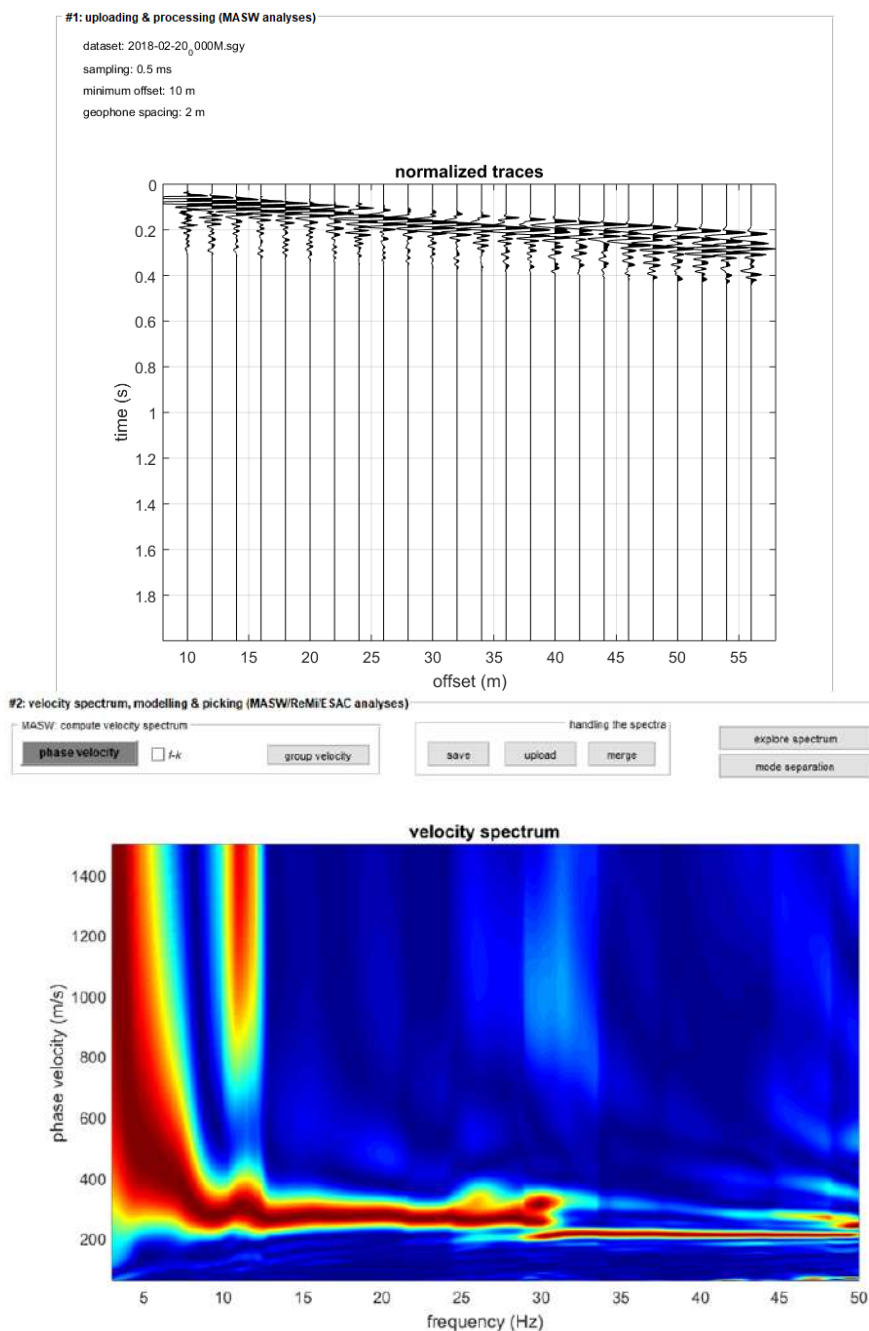
Ciò implica che la determinazione delle V_s a partire dalla curva di dispersione e quindi dalla Velocità di fase $V(f)$, costituisce un problema spiccatamente non lineare. Per la sua risoluzione bisogna quindi procedere ad una linearizzazione del problema (che comporta un certo grado di approssimazione) o all'utilizzo di algoritmi basati su un approccio non lineare (e.g. Algoritmi Genetici).



1.1.4 Determinazione spettro di velocità e curva di dispersione

La prima operazione eseguita in fase di analisi dei dati è la lettura del file acquisito in campagna (*common-shot gather APAMCompri_2018-02-20_0000*).

Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Per l'elaborazione del modello sismostratigrafico, verrà utilizzato il *modelling* diretto mediante l'analisi congiunta di dati MASW e HVSR (vedi ¶ 1.3).



1.2 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA (HSVR) IN CAMPO LIBERO

La HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una metodologia di indagine geofisica che consente in primo luogo di valutare la **frequenza di vibrazione naturale di un sito** e di conseguenza il **periodo di sito (T)**.

Successivamente, come ulteriore sviluppo ed in caso di segnale con specifiche caratteristiche o di analisi congiunta con altre metodologie di analisi sismica e/o indagini geognostiche, essa può permettere la stima dei sismostrati e del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale.

I dati acquisiti in campo libero potranno essere eventualmente confrontati con i valori stimati per l'edificio e le strutture di progetto.

Per l'elaborazione dati è stato utilizzato il software winMASW 3C 7.2 (Eliosoft) nelle sezioni “*passive seismics (ReMi, ESAC & HVSr)*” e successivamente “*single-component analysis (Rayleigh/Love + HV)*”.

1.2.1 Acquisizione dati - Strumentazione

L'indagine viene realizzata disponendo in posizione orizzontale un geofono tridirezionale, infiggendolo nel terreno con appositi puntali regolabili.

Il geofono viene orientato con l'asse Y rivolto a Nord per poter valutare la direzionalità di eventuali sorgenti di rumore dominanti.

Nella campagna di indagine in oggetto sono state predisposte **n° 1 registrazioni (HVSr 1)** della lunghezza di 1200 secondi (20 min), l'ubicazione è stata prevista a circa metà dello stendimento di sismica attiva.

Il geofono 3D è stato posizionato a quota del piano campagna su piazzale sterrato. Nel sito di indagine non sono state rilevate fonti di rumore antropico o naturale in grado di interferire significativamente con il segnale sismico acquisito.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un Geofono 3D di superficie – Modello 3DLG-2, dotato di un geofono tridirezionale frequenza propria di risonanza pari a 2 Hz, collegato allo strumento tramite cavo elettrico schermato.

Geofono 3D- Modello 3DLG- 2 collegato alla centralina di acquisizione multicanale GEA 24



Lo strumento è in grado di acquisire simultaneamente sui 3 canali. La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.
-

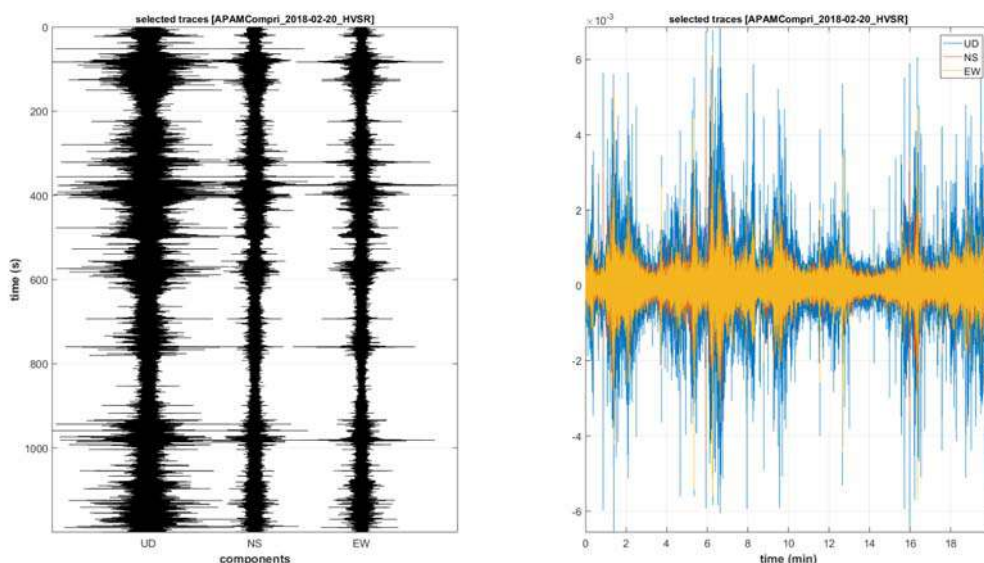
1.2.2 Cenni sulla metodologia HVSR – Dati acquisiti (HVSR 1)

La **HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** è una metodologia di indagine geofisica che consente di valutare la **frequenza di vibrazione naturale di un sito**.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Lo strumento acquisisce in continuo per almeno 20 minuti i segnali sismici in tre direzioni ortogonali tra loro provenienti dalle vibrazioni indotte nel terreno da fonti naturali o artificiali. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo.

Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali i tempi di arrivo al geofono tridirezionale, le frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

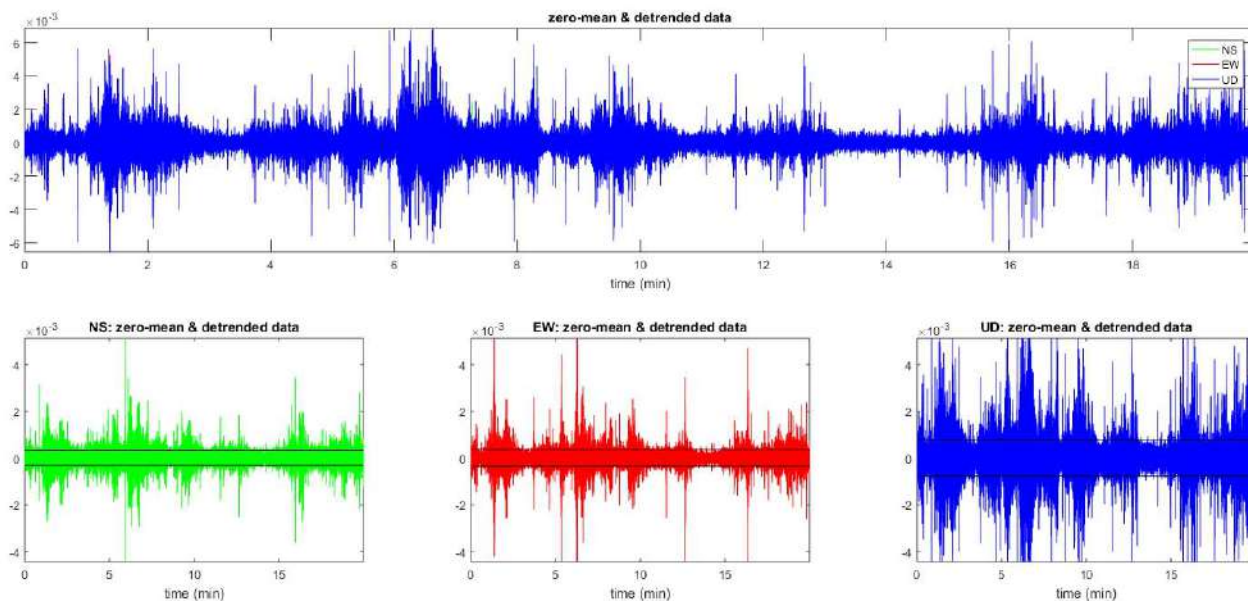


Dati acquisiti presso il sito di progetto (HVSR 1)



La successiva elaborazione dei dati acquisiti è stata effettuata con un *software* dedicato (*Winmasw 3C/7.2*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi e restituzione finale.

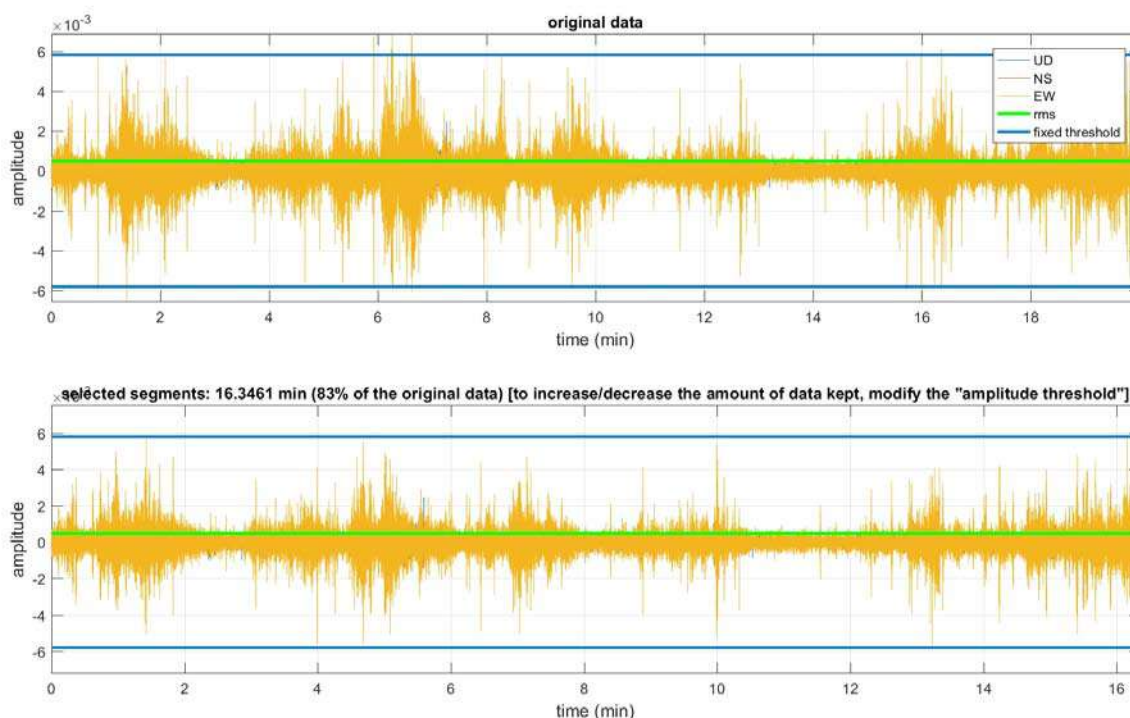
La fase iniziale consiste in un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre “*long*”, che sono sincronizzate fra le tracce.



Dati acquisiti presso il sito di progetto: RegISTRAZIONI delle tracce nelle tre direzioni spaziali



Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.



Dati acquisiti presso il sito di progetto ed elaborazione

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

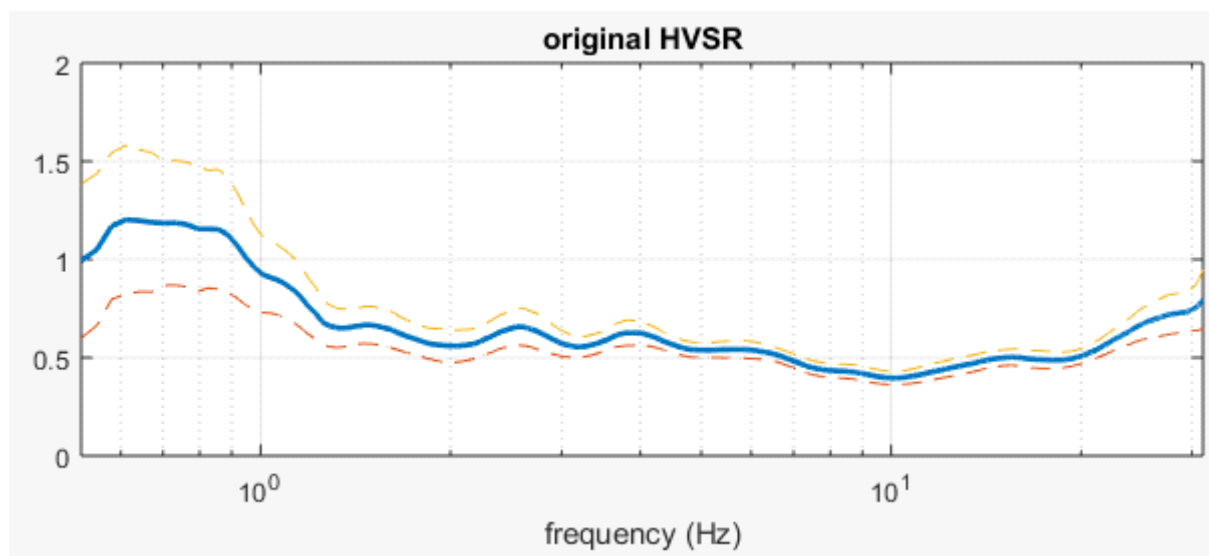
Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia.

Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.





Rapporto H/V – Frequenza con intervallo di fiducia

1.2.3 Risultati – Periodi e Frequenze del sito

L'analisi dei rapporti spettrali ha consentito di stimare l'amplificazione naturale di sito individuando due frequenze significative:

Periodo principale (sec)	frequenza picco principale (Hz)	rapporto spettrale H/V picco principale
5-1,25	0,2/0,8	1,2

L'acquisizione è caratterizzata da un andamento con picchi di ridotta ampiezza e intensità, tali per cui risulta poco agevole determinare la frequenza di risonanza; in tabella è stato riportato il picco maggiormente significativo ai fini della successiva elaborazione dei dati e corrispondente a quello con il più alto rapporto H/V. Le analisi HVSR indicano pertanto che per il picco principale prescelto, posto a circa tra 0,2 e 0,8 Hz, siano soddisfatti solo parzialmente i criteri SESAME.

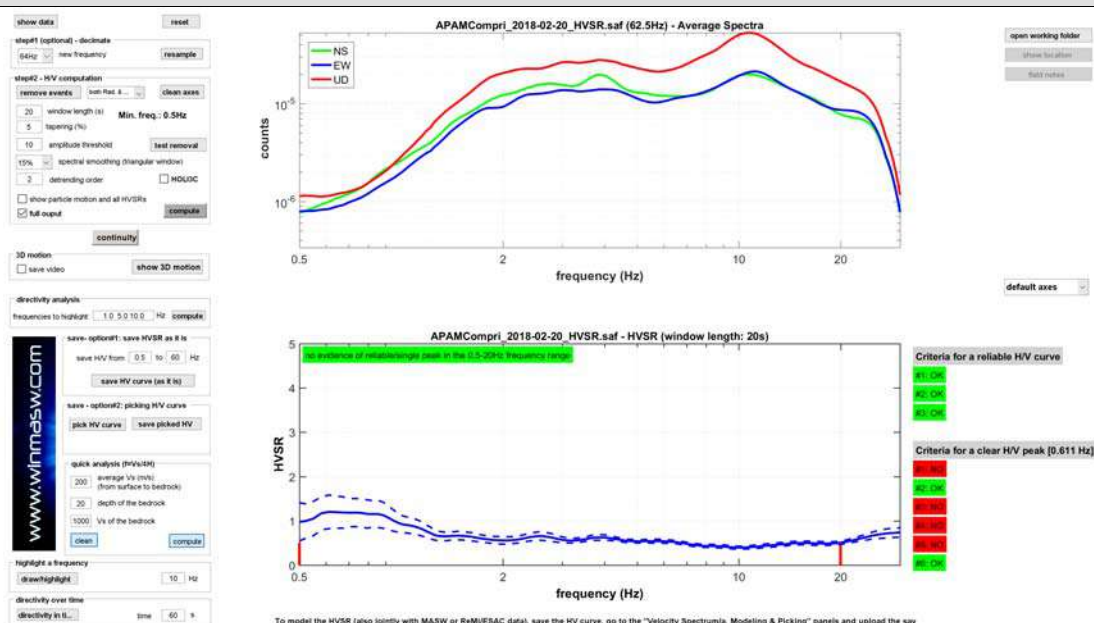


Si elencano a seguire i dati relativi alle elaborazione riferite al punto indagato.

Dataset: APAMCompri_2018-02-20_HVSR.saf

DATA ACQUISITION
 Date and time: 08-Nov-2017

DATA PROCESSING
 Date: 7 3 2018
 Time: 12 12
 Sampling frequency (Hz): 62.5
 Window length (sec): 20
 Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.25Hz
 Length of analysed dataset (min): 20.0
 Tapering (%): 5
 Smoothing (%): 15



Spettri medi nelle tre direzioni spaziali e curva HVSR con applicazione dei criteri sesame

```
##### SESAME criteria #####
In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range
Peak frequency (Hz): 0.6 (±0.9)
Peak HVSR value: 1.2 (±0.4)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====
#1. [f0 > 10/Lw]: 0.611 > 0.5 (OK)
#2. [nc > 200]: 916 > 200 (OK)
#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====
#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: (NO)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 1.8Hz (OK)
#3. [A0 > 2]: 1.2 < 2 (NO)
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 0.851 > 0.092 (NO)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 1.203 < 2 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.
```



1.3 ANALISI CONGIUNTA INDAGINI SIMICHE MASW E HSRV – MODELLO GEOFISICO PROPOSTO

In relazione all'acquisizione di misure H/V finalizzate a definire empiricamente la frequenza di sito (vedi ¶1.2.3) ed all'elaborazione delle curve di dispersione date da misure MASW (vedi ¶1.1.4) si è proceduto ad una loro analisi congiunta al fine di determinare un profilo VS vincolato e spinto almeno fino a 30 m e, laddove possibile, fino al raggiungimento del *bedrock sismico*.

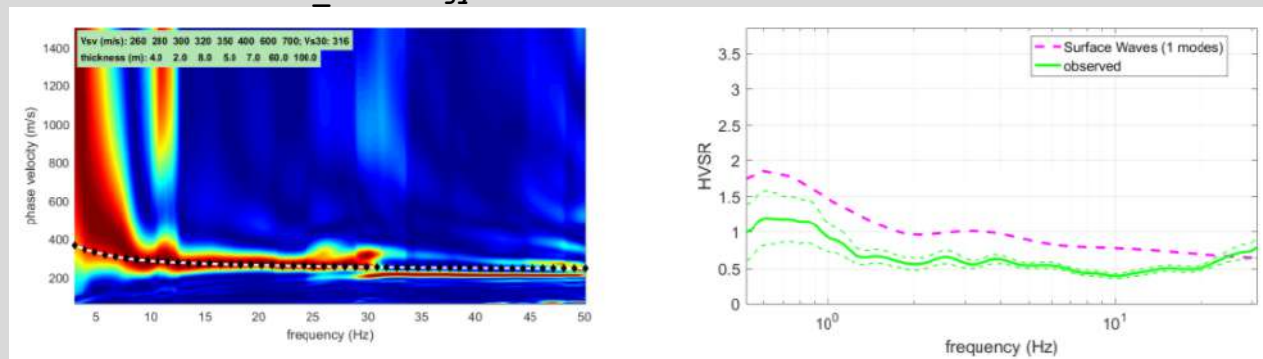
Si è pertanto proceduto avendo cura di far coincidere il più fedelmente possibile le curve di dispersione del modello con i segnali dello spettro di velocità e fare contestualmente coincidere la frequenza (trattando con non troppa testardaggine e rigore l'ampiezza) del principale picco della curva H/V (quello che tipicamente è legato al più profondo contatto litologico "significativo").

Il risultato ottenuto risulta soddisfacente avendo ottenuto una discreta sovrapposizione tra le curve osservate e quelle derivanti dalla modellazione proposta.

Date: 7 3 2018

Time: 16 4

Dataset: 2018-02-20_0000M.sgy



Subsurface Model

Vs (m/s):	260	280	300	320	350	400	600	700
Thickness (m):	4.0	2.0	8.0	5.0	7.0	60.0	100.0	

Density (gr/cm³)

(approximate values):	1.94	1.96	1.94	1.96	1.98	2.01	2.08	2.12
------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Shear modulus (MPa)

(approximate values):	131	154	175	200	242	322	750	1039
------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s):	637	686	624	666	729	833	1122	1310
Poisson:	0.40	0.40	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30

Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a moduli dinamici e quindi a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante.

Vs30 (m/s): 316 - Possibile Tipo di Suolo: C

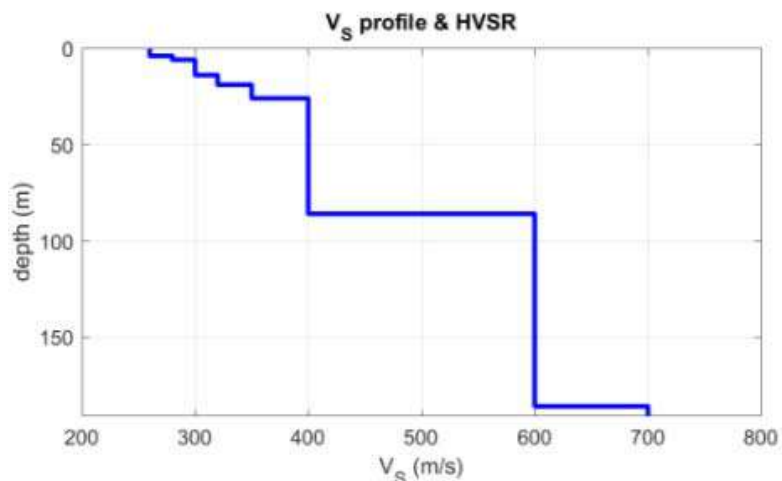
(stimato sulla base del valore numerico di Vs30 calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008)

ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale VS.

winMASW 3C - 7.2 Software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves www.eliosoft.it



Si riassume qui di seguito la sezione sismostratigrafica schematica estesa fino al substrato rigido:




MASW/HVSR 1

Si ritiene che dal punto di vista sismico possano essere definite le seguenti unità:

Unità Sismostratigrafica	Spessore	V _s
Unità 1	~6 m	260-280 m/sec
Unità 2	~13 m	300-320 m/sec
Unità 3	~7 m ~60 m	350 m/sec 400 m/sec
Unità 4	~100 m	600 m/sec
Bedrock sismico	Oltre -186 m dal p.c.	> 700 m/sec

La sismostratigrafia definita risulta coerente con quanto riscontrato, per la porzione più superficiale, in corrispondenza delle indagini geotecniche prese in esame e, per la porzione profonda andrebbe verificata con le stratigrafie dei pozzi e con l'assetto geologico dei luoghi.

Padenghe sul Garda, 08 Marzo 2018

Dott. Geol. Rosanna Lentini


ALLEGATO N. 5

Rapporti di prova delle analisi sui terreni

Rapporto di prova n°:

21802064-001

Spettabile:

SINTECO srl

VIA VERONA, 80

37066 CASELLE DI SOMMACAMPAGNA (VR)



Descrizione: **TERRA DA SCAVO C1 - Cantiere APAM Mantova - via dei Toscani - Profondità da 0 a 1 m**

Accettazione: **21802064**

Data Prelievo: **05/03/2018**

Data Arrivo Camp.: **05/03/2018** Data Inizio Prova: **05/03/2018**

Data Rapp. Prova: **21/03/2018** Data Fine Prova: **21/03/2018**

Rif. Legge/Autoriz.: **D.Lgs. n. 152 del 03/04/2006 (e s.m.i.) - parte IV - all. 5, tab. 1 col. B**

Prelevatore: **committente**

Prova	U.M.	Risultato	Incertezza ¹	L.Min.	L.Max.	Metodo
Aspetto:	--	terreno gran.fine				-
Arsenico	mg/kg ss	< 0,5		50		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Cadmio	mg/kg ss	< 0,5		15		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Cobalto	mg/kg ss	6	± 1	250		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Cromo totale	mg/kg ss	28	± 6	800		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
(*) Cromo VI	mg/kg ss	< 0,5		15		CNR IRSA 16 Q64 vol. 3 1986
(*) Mercurio	mg/kg ss	< 0,1		5		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Nichel	mg/kg ss	17	± 3	500		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Piombo	mg/kg ss	13	± 3	1000		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Rame	mg/kg ss	32	± 4	600		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Zinco	mg/kg ss	37	± 7	1500		EPA 3051 A 2007 + EPA 6010 D 2014
Idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg ss	10	± 5	750		UNI EN ISO 16703:2011
IPA:	--	-				-
(*) Benzo(a)antracene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Benzo(a)pirene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Benzo(b)fluorantene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Crisene	mg/kg ss	< 0,01		50		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014

(*) = Le prove così contrassegnate, non sono Accreditate da Accredia.

Il presente rapporto si riferisce esclusivamente al campione sottoposto alla prova.

Il presente rapporto non può essere riprodotto parzialmente, salvo autorizzazione scritta del ns. Laboratorio.

Il campione viene conservato presso il laboratorio per 4 settimane, salvo diverse indicazioni.

RISULTATO DELLE ANALISI valido a tutti gli effetti come da D.L. 842 del 01/03/28 e Legge n. 679 del 19/09/57 e s.m.i.

MR 12.00.08/lc - Rev. 0

Segue Rapporto di prova n°:

21802064-001

Prova	U.M.	Risultato	Incertezza ¹	L.Min.	L.Max.	Metodo
(*) Benzo(k)fluorantene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Dibenzo(a,e)pirene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Dibenzo(a,l)pirene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Benzo(g,h,i)perilene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Indeno(1,2,3-c,d)pirene	mg/kg ss	< 0,01		5		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Dibenzo(a,i)pirene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Dibenzo(a,h)pirene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Dibenzo(a,h)antracene	mg/kg ss	< 0,01		10		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Pirene	mg/kg ss	< 0,01		50		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
(*) Policlorobifenili (PCB)	mg/kg ss	< 0,001		5		EPA 3550 C 2007 + EPA 8270 D 2014
Solventi organici aromatici:	--	-				-
(*) Benzene	mg/kg ss	< 0,1		2		EPA 5021 A 2014 + EPA 8015 C 2007
(*) Toluene	mg/kg ss	< 0,1		50		EPA 5021 A 2014 + EPA 8015 C 2007
(*) Etilbenzene	mg/kg ss	< 0,1		50		EPA 5021 A 2014 + EPA 8015 C 2007
(*) Xilene	mg/kg ss	< 0,1		50		EPA 5021 A 2014 + EPA 8015 C 2007
(*) Stirene	mg/kg ss	< 0,1		50		EPA 5021 A 2014 + EPA 8015 C 2007
SCELETRO:	--	-				-
(*) Materiale <2 mm	% ss	98,3				GRAVIMETRIA

1 = L'incertezza estesa è calcolata con un fattore di copertura (K) uguale a 2, per un livello di probabilità del 95% ed un numero di gradi di libertà maggiore di 10.

I valori ottenuti sono riferiti al totale della Frazione < 2 cm.

PARERI E INTERPRETAZIONI - non oggetto dell'accreditamento Accredia:

I parametri analizzati rientrano nei limiti previsti dal D.Lgs. n.152 del 03/04/06 (e s.m.i.) - parte IV - all.5, tab.1 col.B - terreni destinati a siti industriali

Il Direttore di laboratorio

Dott. Giampaolo Zanetti



(*) = Le prove così contrassegnate, non sono Accreditate da Accredia.

Il presente rapporto si riferisce esclusivamente al campione sottoposto alla prova.

Il presente rapporto non può essere riprodotto parzialmente, salvo autorizzazione scritta del ns. Laboratorio.

Il campione viene conservato presso il laboratorio per 4 settimane, salvo diverse indicazioni.

RISULTATO DELLE ANALISI valido a tutti gli effetti come da D.L. 842 del 01/03/28 e Legge n. 679 del 19/09/57 e s.m.i.

MR 12.00.08/lc - Rev. 0