

# Comune di Borgo Mantovano



Provincia di Mantova  
Regione Lombardia

## Progettazione vasca di laminazione Via Foscolo Comune di Borgomantovano - Revere

DB Cant. 21-0111

### PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTO:



**AIMAG**

Via Maestri del Lavoro n. 38 - 41037 - Mirandola (MO)  
web: [www.aimag.it](http://www.aimag.it) - e-mail: [info@aimag.it](mailto:info@aimag.it)

Il Responsabile Area  
Servizio Idrico Integrato  
**Il Dirigente**  
Servizio Idrico Integrato  
**P.L. Floriano Scacchetti**  
(P.L. Floriano Scacchetti)

Il Capo Reparto  
Fognatura e Depurazione

*Chiara Monaco*  
(Ing. Chiara Monaco)

Il Coordinatore della Progettazione  
Dott. Ing.  
**ANDREA BERTOLASI**  
(Ing. Andrea Bertolasi)

Il Progettista  
Dott. Ing.  
**ANDREA BERTOLASI**  
(Ing. Andrea Bertolasi)

Data	Ottobre 2021
Scala	
Disegnatore	
REVISIONE	DATA
00_Emissione	Febbraio 2022

Descrizione

**Relazione idrogeologica e sismica**

ELABORATO **M**

PROVINCIA DI MANTOVA  
COMUNE DI BORGO MANTOVANO – LOCALITA' REVERE

---

## **VASCA DI LAMINAZIONE**

### **MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA - CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI**

### **ANALISI SISMICA DEL SITO RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE**

---

D.P.R. 380/2001

DECRETO MINISTERIALE 22 GENNAIO 2008

CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617

DGR 2616/2011

DGR 2129/2014

LR 33/2015

D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" in vigore dal  
22 marzo 2018

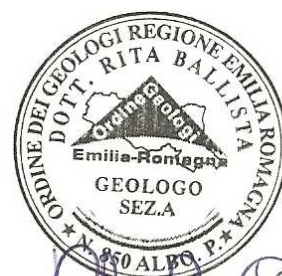
---

COMMITTENTE: AIMAG SPA

CANTIERE: BORGO MANTOVANO – LOCALITA' REVERE – MANTOVA -

UBICAZIONE CATASTALE: Foglio n. 8; Particella n.107

DATA: OTTOBRE 2021



## INDICE

INDICE .....	2
1. PREMESSA.....	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO .....	4
4. DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	9
5. MODELLO GEOLOGICO.....	14
5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	14
6. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA DI DETTAGLIO.....	15
6.1. CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT e CPTU.....	16
6.2 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA.....	19
6.3 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI .....	25
6.4 VERIFICA DI STABILITA' FRONTE DI SCAVO.....	28
7. MODELLO IDROGEOLOGICO.....	42
7.1 PIEZOMETRIA E VULNERABILITA' FALDA ACQUIFERA SOTTERRANEA.....	43
7.2 CALCOLO PERMEABILITA' IN SITO DEL PRIMO SUBSTRATO .....	46
8. FATTIBILITA' GEOLOGICA SECONDO IL PGT.....	49
8. ANALISI E VALUTAZIONI DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO.....	50
8.1. CENNI DI SISMOTETTONICA .....	50
8.2. SISMICITA' DEL TERRITORIO.....	53
8.3. PERICOLOSITA' SISMICA.....	56
8.4. ANALISI SISMICA LOCALE .....	60
8.4.1. Analisi di primo livello .....	60
8.4.2. Analisi di secondo livello .....	62
8.4.2.2 Modello sismico del sottosuolo NTC 2018.....	64
8.4.2.3 Valutazione fattore di amplificazione e parametri spettrali.....	66
8.4.3. Analisi di terzo livello .....	69
8.4.3.1 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito.....	69
9. CONCLUSIONI .....	90
ALLEGATI.....	99

## **1. PREMESSA**

In Comune di Borgo Mantovano in località Revere in Via Foscolo angolo Via Aldo Moro si è condotta un'analisi idrogeologica finalizzata alla definizione della permeabilità dei terreni presenti in sito e della valutazione del livello della frangia freatica, un'analisi geologica e tecnica per la ricostruzione litostratigrafica superficiale e profonda dei terreni e un'analisi del rischio sismico nell'area oggetto di realizzazione di una vasca di laminazione in terra per la raccolta delle acque piovane.

Scopo dello studio è stato fornire un modello idrogeologico, geomorfologico e litotecnico dell'area in epigrafe inserendola nell'ambiente dove si trova tenendo conto dei contenuti e delle disposizioni del Piano di Governo del Territorio del Comune di Borgo Mantovano, approvato con Delibera di C.C. n.17 del 25/06/2014 e ottemperante alla D.G.R. 2616/2011.

Lo studio fornisce, **sulla base di indagini geognostiche realizzate nell'area di interesse**, una caratterizzazione litostratigrafica e un'indicazione delle proprietà geomeccaniche e fisiche del suolo e sottosuolo dell'area, al fine di determinare la fattibilità dell'intervento da realizzare conformemente a quanto previsto nel DM 17/01/2018.

L'analisi idrogeologica e la verifica della profondità della frangia freatica e delle sue fluttuazioni stagionali, evidenzia eventuali criticità ambientali e vulnerabilità dei corpi acquiferi sotterranei, in relazione al progetto conformemente a quanto richiesto nel D.Lgs 16 Gennaio 2008 n. 4 e DgRegione Lombardia 2616/2011.

Infine, si produce un'analisi di pericolosità sismica locale inerente gli effetti di sito, che riporta il valore di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso, il valore di accelerazione atteso in superficie, il valore della frequenza fondamentale del sito e i parametri spettrali, viene verificata la predisposizione a fenomeni di liquefazione dei terreni sabbiosi e limo-sabbiosi saturi presenti, in ottemperanza alle DgRegione Lombardia 2129/2014 e 2616/2011.

La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del profilo stratigrafico nel sito sono ricavati dai risultati di:

n. 2 prove penetrometriche statiche, 1 CPT di tipo meccanico spinta a 20 m dal p.c. e 1 CPTU di tipo ELETTRICO con punta porosa CPTU "ENVI MEMOCONE" spinta a 10 m dal p.c.

La definizione della permeabilità del primo substrato superficiale di terreno è stata misurata in sito mediante 2 prove di dissipazione delle pressioni interstiziali eseguite in corrispondenza della prova CPTU1 all'altezza del piano di fondo della vasca di laminazione e nello strato immediatamente sottostante.

L'analisi dei livelli della frangia freatica è stata misurata in sito durante l'esecuzione delle prove penetrometriche con infissione di un piezometro fessurato spinto alla profondità di - 4.50 m dal p.c.

Le prove geognostiche sono state eseguite in data 14/10/2021 dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla. L'ubicazione delle prove eseguite è riportata nell'allegato 1.

In data 18/10/2021 sono state eseguite le seguenti prove sismiche attive e passive per l'analisi della pericolosità sismica locale.



- n.1 indagine sismica passiva di microtremori HV;
- n.2 indagini sismica passiva SPAC (nc-CCA);
- n.1 indagine sismica attiva MFA - Hs (onde Rayleigh

I rapporti delle prove penetrometriche e delle dissipazioni e la relazione di modellazione sismica sono allegati alla presente relazione. All. n. 2 e 6 e 7 .

## **2. RIFERIMENTI NORMATIVI**

D.P.R. 380/2001

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

Dgr 8/7374 DEL 2008

CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617

DGR 2616/2011 "Criteri ed indirizzi per la componente geologica dei PGT

DGR 2129/2014 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia"

LR 33/2015 "Disposizioni in materia di opere e costruzioni....in zona sismica"

NUOVE NTC 2018 pubblicata il 20/02/2018 ed entrate in vigore il 22/03/2018.

## **3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO**

La zona oggetto di studio si trova immediatamente a sud del centro cittadino di Revere ad una quota media di 14 m s.l.m. a circa 350 m a ovest in destra idraulica del fiume Po, che nella località di Revere fa un'ansa su cui sorge l'abitato e nell'estremità meridionale della provincia di Mantova, a 37 Km dal capoluogo.

Le coordinate geografiche dell'area sono 45° 03'16.37" N e 11° 07' 33.60" E .

Il sito è in un contesto residenziale in adiacenza al cimitero .

La base cartografica C.T.R. in scala 1:10.000 di cui fa parte il sito è la F8b2 Magnacavallo.

I centri abitati vicini sono:

Comune di Ostiglia a circa 1.70 Km a nord, sulla sponda sinistra del Po.

Comune di Serravalle Po a 3.0 Km a nord-ovesi

Comune di Sustinete a circa 8.30 Km a ovest

Comune di Pieve di Coriano a circa 2.20 Km a sud-ovest

Frazione di Villa Poma a circa 5.70 Km a sud

Comune di Magnacavallo a circa 6.90 Km a sud-est

Comune di Carbonare Po a 8.60 Km a est

Oltre che a varie frazioni e località.

Il comune di Borgo Mantovano e la frazione di Revere fa parte dell'area dell'Oltrepò mantovano, collocato sulla riva destra del Po in destra Secchia. La presenza del fiume Po influisce nettamente sulle caratteristiche del territorio agricolo, sia per quanto riguarda gli

aspetti ambientali, sia per quanto riguarda la rete dei corridoi ecologici di primo e secondo livello.

Secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Mantova ricade all'interno dell'unità di paesaggio indicata con il numero 5 "Piana Alluvionale".

Nell'ambito del PTCP per unità di paesaggio è stato inteso individuare un territorio che presenta elementi omogenei nel paesaggio che ha subito la stessa formazione ed evoluzione.

La perimetrazione dell'Unità di Paesaggio n. 5 fa riferimento prevalentemente al pedopaesaggio VA "Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale, costituite da sedimenti recenti od attuali (Olocene recente ed attuale). Dal punto di vista pedologico tutto il territorio è ricompreso nell'ambito di caratterizzazione della pianura alluvionale recente.

I suoli della Piana alluvionale possono essere considerati sommariamente i più giovani di tutta la pianura lombarda, discretamente sviluppati sui dossi fluviali più antichi, in cui la morfologia è generalmente pianeggiante con locali emergenze derivate da convessità (dossi) e concavità (le valli della bonifica).

Si tratta di un territorio pianeggiante, di origine alluvionale, caratterizzato da blande evidenze morfologiche; lo stretto legame con i fiumi, che ne hanno condizionato in modo incisivo l'assetto e il paesaggio, è testimoniata dalla presenza dei tipici dossi, aree blandamente rilevate, ad andamento sinuoso, corrispondenti ad antichi percorsi fluviali.

L'ambito interessa l'estremo lembo sud della Provincia di Mantova e parte dei territori a sud della confluenza dell'Oglio nel fiume Po. È delimitato dall'Unità di Paesaggio della "fascia fluviale del Po" a nord, dal confine con le province di Modena, Reggio Emilia e Ferrara a sud.

All'interno dell'ambito omogeneo della piana alluvionale si possono distinguere due aree: quella dell'Oltrepò comprendente i territori situati in destra fiume (dove si trova il sito di studio), da Suzzara a Sermide, e quella in sinistra Po, circoscritta dal punto di vista idrografico dall'Oglio a nord e dal Po che la perimetra a sud.

Quest'ultimo contesto territoriale testimonia la massima espansione verso nord del Po e delle sue divagazioni, che hanno lasciato evidenti tracce nella morfologia del terreno.

A modificare ulteriormente la morfologia della zona sono gli interventi antropici finalizzati essenzialmente alla regolazione dei corsi fluviali e all'allontanamento delle acque meteoriche.

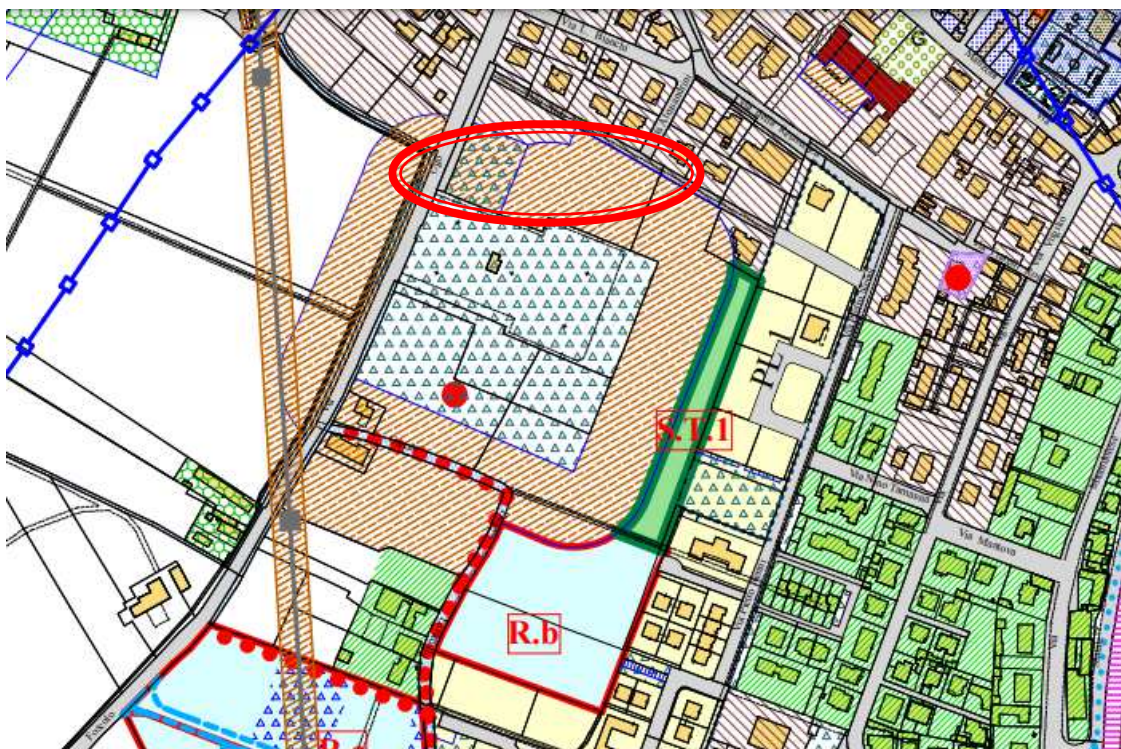
Il reticolo idrografico costituisce ancora oggi un elemento di connotazione paesaggistica e particolare rilevanza ha assunto, nella storia della Piana alluvionale, la regimazione delle acque: gran parte dell'area è stata sottoposta, fin dal periodo medievale, a ingenti opere di bonifica ad opera dei monaci benedettini, anche se le inondazioni sono state fermate definitivamente solo in seguito alla bonifica integrale operata agli inizi del Novecento, ad opera dei consorzi di bonifica dell'Agro Mantovano-Reggiano, di Revere e di Burana-Leo-Scoltenna-Panaro. Il fiume Po è l'elemento caratterizzante di tale Unità di Paesaggio, anche se non rientra fisicamente nel suo perimetro, per i suoi benefici (è la zona più fertile e ricca d'acqua) e per la conformazione morfologica del territorio.

L'idrografia superficiale attuale è costituita dal fiume Po, nonché da molti canali naturali ed artificiali che hanno funzione di drenaggio e irrigazione, quali Po Morto, Zara, Dugali di Sotto, di Mezzo e di Sopra, Trigolaro, Irriguo Principale, ecc.

Nella Tavola degli Ambiti PR1 (Piano delle Regole) del Piano di Governo del Territorio del Comune di Borgo Mantovano (Ex Revere), approvato con Delibera di C.C. n.17 del 26/06/2014, La zona viene classificato come : AREA DESTINATA A FASCE DI RISPETTO E ARRETRAMENTO EDIFICATORIO, NELLA PARTE OVEST:STANDARD DI PROGETTO INTERNO AGLI AMBITI

	CONFINE DI PROPRIETA' COMUNALE
	VIABILITA' PRIMARIA (S.S. N° 12 dell'Abetone e del Brennero)
	FABBRICATI ESISTENTI
	CORSI D'ACQUA - LAGHETTI
	LINEA ALTA TENSIONE CON TRALICCI
	ANTENNE RADIO MOBILE
	FERROVIA ESISTENTE
	FERROVIA DISMESSA
	AREE DESTINATE A FASCE DI RISPETTO E ARRETRAMENTO EDIFICATORIO
	VINCOLO LEGGE GALASSO
	RETE METANODOTTO
	RETE METANODOTTO DISMESSA DA SMANTELLARE
<b>AMBITI DI TRASFORMAZIONE URBANISTICA</b>	
	AMBITI DI PROGETTO AD USO ARTIGIANALE/INDUSTRIALE (I.A)
	AMBITI DI PROGETTO AD USO ARTIGIANALE/INDUSTRIALE (I.A) DI INTERESSE SOVRACOMUNALE
	AMBITI DI PROGETTO DI ESPANSIONE RESIDENZIALE ESTENSIVA (R)
	INDIVIDUAZIONI FASCE DI MITIGAZIONE
	STANDARD DI PROGETTO ESTERNO AGLI AMBITI
	STANDARD DI PROGETTO INTERNO AGLI AMBITI
<b>VIABILITA' DI PROGETTO</b>	
	FERROVIA DI PROGETTO
	STRADE DI PROGETTO
	PISTA CICLABILE
	BENI DI VALORE STORICO CULTURALE CORTI RURALI CASCINE



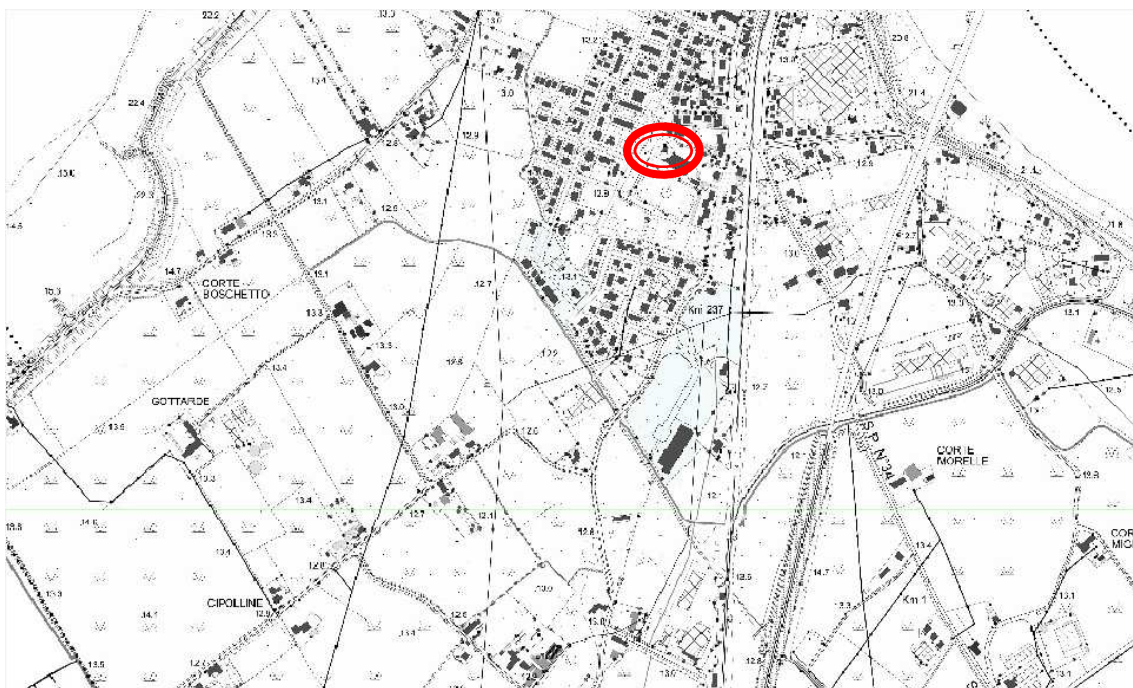


*Fig.1. Stralcio Tavola degli Ambiti PR1 PGT Comunale.*



*Fig.2. Ortofoto.*





*Fig.3. Carta Tecnica Regionale F8b2 Magnacavallo.*



*Fig.4. Ubicazione catastale Foglio n. 8; Particella n.107*

## **4. DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

Il Comune di Borgo Mantovano è inserito nel sottosistema di paesaggio del territorio provinciale di Mantova VA: "Piane alluvionali inondabili con dinamica deposizionale". Secondo quanto riportato nel "Rapporto sullo stato dell'ambiente nel territorio mantovano" redatto dalla provincia di Mantova, il sottosistema VA rappresenta le pianure alluvionali inondabili, più o meno ampie a seconda dello stadio evolutivo del corso d'acqua. Tali aree corrispondono alle vaste pianure di tracimazione delle piane a meandri ed ai fondovalle delle pianure pedemontane e intravallive, in cui il fiume scorre incassato o pensile rispetto ai territori limitrofi. È sempre presente una falda freatica e quando questa è laterale al corso d'acqua, e in contatto con la corrente fluviale, si ha la falda di subalveo.

La zona interessata dallo studio è caratterizzata dalla presenza di sedimenti recenti o attuali (Olocene recente ed attuale). La litologia dei depositi superficiali, strettamente connessa alla capacità di trasporto dei corsi d'acqua attuali, varia dalle argille più o meno pure alle sabbie fini e medie. La natura dei terreni condiziona poi le caratteristiche naturalistiche e ambientali. I fiumi che scorrono in questa porzione di bassa pianura si trovano in uno stadio di maturità evolutiva in cui la fase deposizionale prevale su quella erosiva, a causa della bassa capacità di deflusso e della esigua capacità di trasporto. Questo quadro è confermato dalla presenza di meandri e di alvei pensili che hanno reso necessaria la costruzione di argini artificiali.

In assenza di argini artificiali i fiumi tendono a divagare e quando le acque di piena traboccano si verifica un deposito differenziato con la sedimentazione di elementi fini o grossolani, in funzione della diversa energia cinetica della corrente. In prossimità dell'alveo, il fiume tende a depositare materiali più grossolani formando dossi di tracimazione (argini naturali), ventagli e canali di esondazione in corrispondenza delle rotte. Tali emergenze morfologiche si manifestano sia lungo i corsi attuali dei fiumi che in corrispondenza di alvei abbandonati (paleoalvei).

Nelle aree distali più depresse, poste tra un fiume e l'altro, l'energia cinetica della corrente diminuisce ed i depositi si fanno sempre più fini per diventare prevalentemente argillosi nelle basse, dove la prolungata permanenza delle acque favorisce la sedimentazione delle particelle in sospensione. Per la maggiore costipabilità dei materiali fini, rispetto a quelli sabbiosi, si determina poi un aumento dei dislivelli fra i dossi dei paleoalvei e le valli, oltre che fra la rete idrografica ed il livello medio del territorio.

In questa situazione, in concomitanza con gli eventi alluvionali, è possibile che un fiume cambi il suo percorso.

I paleoalvei sono aree generalmente più elevate di qualche metro rispetto al contorno con tessitura granulometrica variabile dal franco al franco - sabbioso; sono zone di infiltrazione meteorica con percentuali variabili dal 20 - 30 % del totale.

In questo meccanismo "naturale" è intervenuto l'uomo che, innalzando argini artificiali, emungendo acqua dal sottosuolo ed accelerando i processi di costipazione e di subsidenza ha modificato la dinamica deposizionale e quindi l'assetto morfologico del territorio.

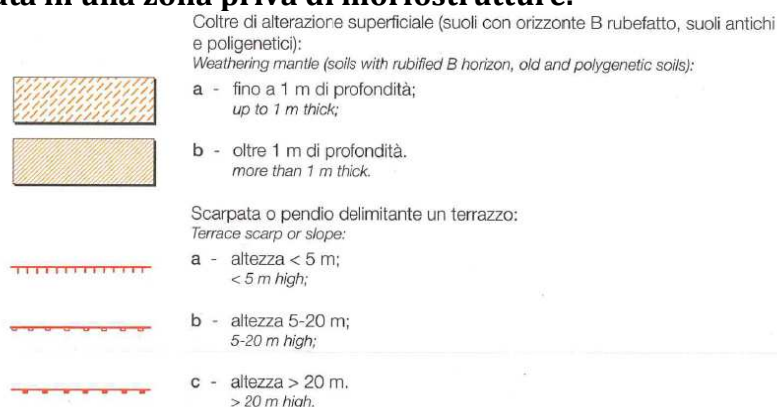
La costruzione di argini artificiali, in questa zona, si è completata nel XV secolo. A partire da questo periodo, i fiumi sono stati canalizzati entro percorsi ben definiti e non hanno più avuto

la possibilità di aprirsi, dopo un rotta, nuovi percorsi. Di conseguenza le alluvioni degli ultimi 500 anni hanno determinato un classamento ben preciso dei depositi per cui troviamo sedimenti più grossolani e sedimenti più fini, rispettivamente nelle vicinanze e nelle zone più lontane dai percorsi attuali dei fiumi. Questo spiega perchè antichi dossi corrispondenti a paleoalvei siano stati ricoperti da sedimenti più fini che hanno notevolmente uniformato la morfologia dell'area.










A sud del Po sono conservate le tracce, rappresentate da dossi, paleoalvei a livello della pianura, bacini interfluviali, ventagli di rotta, dell'evoluzione paleoidrografica, che è stata caratterizzata dalla migrazione del Po da sud verso nord. In particolare sono ancora riconoscibili sul terreno e/o sulle fotoaeree tracce del sistema fluviale del Po Vecchio (in piena funzione sino al XII secolo d.C. e di cui il Secchia a nord di Quistello rappresenta un tratto), e dell'Oglio - Scolo Zara che è stato separato dall'Oglio attuale in seguito alla suddetta migrazione del Po. La migrazione del Po da un tracciato secondo la direttrice Guastalla - Moglia al tracciato attuale si è realizzata in seguito a due importanti deviazioni fluviali avvenute nell'VIII sec. a. C., presso Guastalla, e nel XII sec. d. C. presso Luzzara. Lo spostamento verso nord è stato condizionato, oltre che da un maggior apporto terrigeno da parte degli affluenti appenninici, anche da movimenti tettonici di strutture geologiche sepolte (Pieghe ferraresi: per dettagli cfr. PANIZZA et alii, 1987). Nell'ambito dell'evoluzione dei periodi più recenti, post XVI sec. d.C., si segnala la formazione nel XVIII sec. di un grande meandro ad ovest di S.Benedetto Po che rimarrà attivo per circa un secolo e le cui tracce sono ancor oggi ben riconoscibili all'interno dell'area golendale. L'analisi della morfodinamica attuale (studiata in dettaglio da CASTALDINI e PIACENTE, 1991) evidenzia che l'evoluzione del Po è strettamente legata alle opere antropiche in alveo. I depositi alluvionali affioranti nel settore a sud del Po sono di età olocenica ed in particolare sono stati deposti a partire dagli ultimi millenni prima di Cristo.

Di seguito si riporta uno stralcio della "Carta Geomorfologica della Pianura Padana", redatta dal Comitato Consuntivo del C.U.N. n. 4 "Scienze della Terra", (prima edizione 1997) in scala 1:250.000, con indicata l'area in oggetto.

#### **L'area si trova ubicata in una zona priva di morfostrutture.**





-  Incisione di un corso d'acqua in generale.  
*Stream incision.*
-  Forra d'incisione fluviale (in roccia o in conglomerato).  
*Fluvial gorge (in bedrock or conglomerate).*
- Insieme di vallicole più o meno ramificate:  
*Small valley system:*
-  a - vallicole a V o a fondo piatto, profonde;  
*deep, V-shaped or flat-bottomed;*
-  b - larghe, svasate, poco profonde.  
*shallow, wide, round-bottomed.*
- Traccia di corso fluviale estinto, a livello della pianura o leggermente incassato:  
*Trace of abandoned river bed at plain level or slightly below:*
-  a - ben conservata;  
*well preserved;*
-  b - mal conservata.  
*poorly preserved.*
-  Dosso fluviale particolarmente pronunciato (altezza > 2 m, pendenza longitudinale < 1‰).  
*Well defined levée ridge (height > 2 m, longitudinal slope < 1‰).*
-  Altri dossi fluviali (meno pronunciati, o a forte pendenza longitudinale).  
*Other fluvial ridges (less well-defined, or with higher longitudinal slope).*
-  Canale di esondazione.  
*Crevasse channel.*

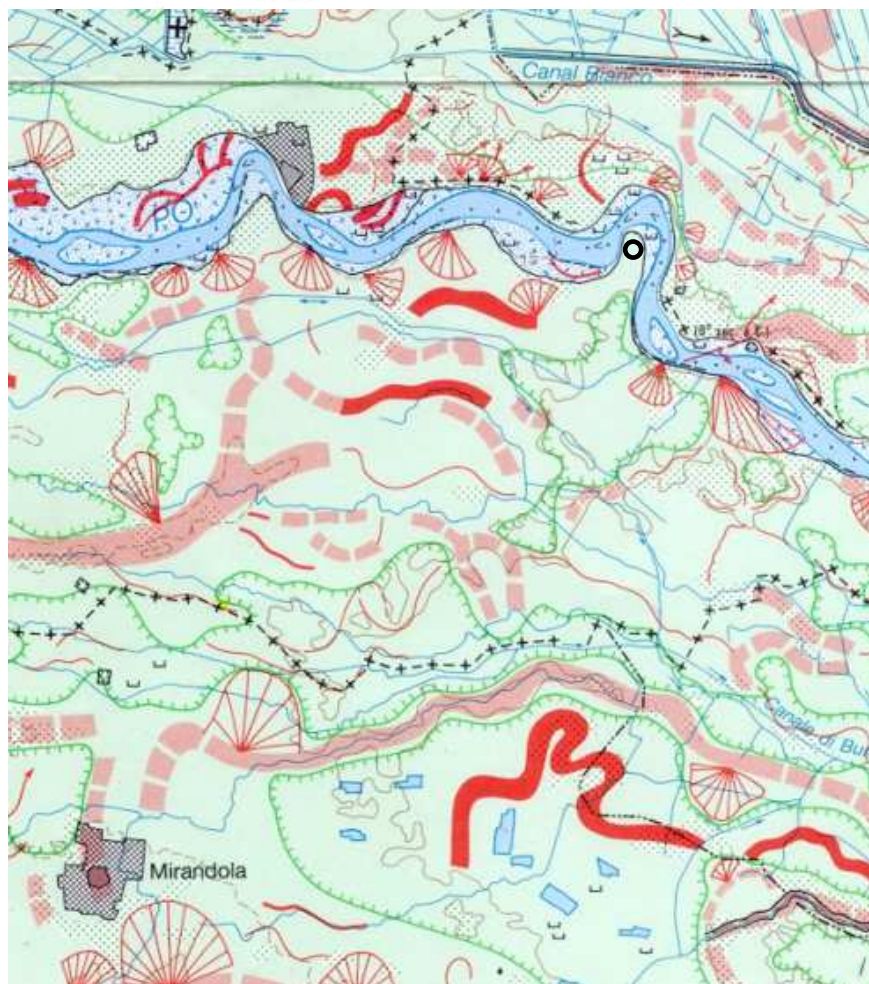


Fig.5. "Carta Geomorfologica della Pianura Padana" redatta dal Comitato Consuntivo del C.U.N. n. 4 "Scienze della Terra", (prima edizione 1997).








Per quanto attiene la Carta dei Vincoli del PGT Comunale, nel sito di studio non si evidenziano vincoli.

### **LEGENDA carta dei vincoli**


- ..... CONFINI DI PROPRIETÀ COMUNALE
- ..... VIABILITÀ PRIMARIA (S.S. N° 12 dell'Abetone e del Brennero)
- FABBRICATI ESISTENTI
- CORSI D'ACQUA - LAGHETTI
- LINEA ALTA TENSIONE CON TRALICCI
- ANTENNE RADIO MOBILE
- FERROVIA ESISTENTE
- FERROVIA DISMESSA
- AREE DESTINATE A FASCE DI RISPETTO E ARRETRAMENTO EDIFICATORIO
- VINCOLO LEGGE GALASSO
- RETE METANODOTTO
- RETE METANODOTTO DISMESSA DA SMANTELLARE
- AMBITI TESSUTO URBANO CONSOLIDATO (tc)**
- AMBITO (tc.1): CENTRO STORICO
  - Edifici storico/monumentali
  - Aree Z.R. soggette a Piano attuativo / Piano di Recupero
- AMBITO (tc.2): CENTRO DI ANTICA FORMAZIONE
- AMBITO (tc.3): ZONA DI COMPLETAMENTO RESIDENZIALE SEMIESTENSIVA
- AMBITO (tc.4): ZONA DI COMPLETAMENTO RESIDENZIALE ESTENSIVA
- AMBITO (tc.5): ZONA DI COMPLETAMENTO AD USO PRODUTTIVO - INDUSTRIALE ARTIGIANALE
- AMBITO (tc.6): ZONA OMOGENEA DI COMPLETAMENTO AD USO TERZIARIO
- AMBITO (tc.7-e1): ZONA TERRITORIALE AD USO AGRICOLA
- AMBITO (tc.7-e2): ZONA TERRITORIALE AD USO AGRICOLA DI PARTICOLARE INTERESSE PAESAGGISTICO (RETE ECOLOGICA DI PRIMO LIVELLO)
- AMBITO (tc.7-e2): ZONA TERRITORIALE AD USO AGRICOLA DI PARTICOLARE INTERESSE PAESAGGISTICO (RETE ECOLOGICA DI SECONDO LIVELLO)
- AMBITO (tc.8): ZONA DI COMPLETAMENTO AD USO PRODUTTIVO DI NATURA AGRICOLA
- AMBITO (tc.9): ZONE DI COMPLETAMENTO DI NATURA AGRICOLA PER USI NON AGRICOLI
- AMBITO (tc.10): PIANI ATTUATIVI APPROVATI
- AMBITO (tc.11.a): AREE STANDARD DI INTERESSE PUBBLICO COMUNE
- AMBITO (tc.11.b): AREE PER ATTREZZATURE RELIGIOSE DI CULTO AR
- AMBITO (tc.11.c): AREE PER IMPIANTI TECNOLOGICI: pozzi
- AMBITO (tc.11.c): AREE PER IMPIANTI TECNOLOGICI: depuratori
- AMBITO (tc.12): AREE DI INTERESSE PUBBLICO SOVRACOMUNALE
- AMBITO (tc.13): BENI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI (verde arborato, corso d'acqua, giardino)
- AMBITO (tc.14): AREE PER DISTRIBUTORI DI CARBURANTE
- AREA DISMESSA (art.7 L.R. 4/2012)
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE INTERNO AL T.U.C.
- AREA PER IMPIANTO DA FONTE RINNOVABILE in applicazione della Autorizzazione Unica n°217275 del 06/11/2012
- AMBITI DI TRASFORMAZIONE URBANISTICA**
- LA AMBITI DI PROGETTO AD USO ARTIGIANALE/INDUSTRIALE (I.A)
- LA AMBITI DI PROGETTO AD USO ARTIGIANALE/INDUSTRIALE (I.A) DI INTERESSE SOVRACOMUNALE
- R AMBITI DI PROGETTO DI ESPANSIONE RESIDENZIALE ESTENSIVA (R)
- ..... INDIVIDUAZIONI FASCE DI MITIGAZIONE
- STANDARD DI PROGETTO ESTERNO AGLI AMBITI
- STANDARD DI PROGETTO INTERNO AGLI AMBITI

**ALLEVAMENTI PRESENTI SUL TERRITORIO**

-  ALLEVAMENTI AVICOLI
-  ALLEVAMENTI OVINI
-  ALLEVAMENTI SUINICOLI
-  ALLEVAMENTI CUNICOLI
-  ALLEVAMENTI BOVINI

**AMBITI, AREE, SISTEMI ED ELEMENTI ASSOGGETTATI A SPECIFICA TUTELA DALLA RETE NATURA 2000**

SIC

-  SIC comune limitrofo Ostiglia

ZPS

-  ZPS

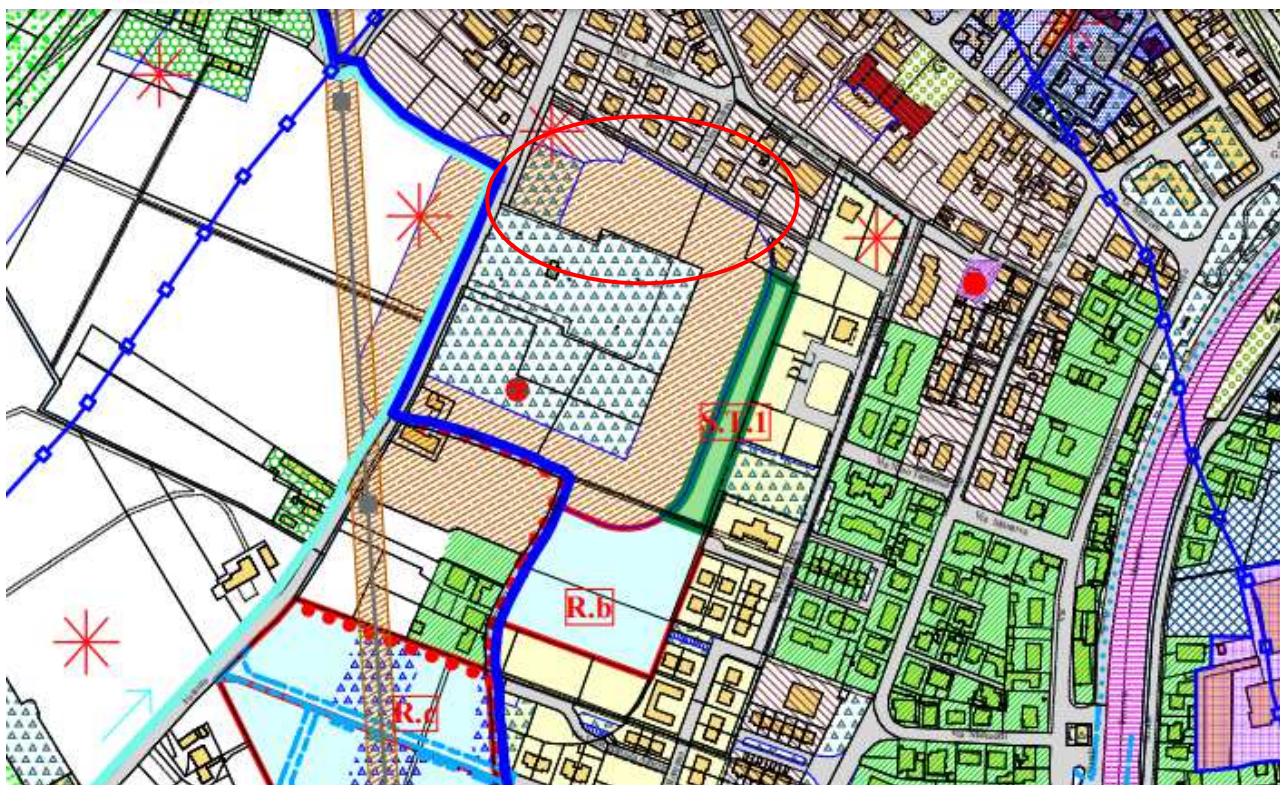


Fig.6. Stralcio della "Carta dei Vincoli" Componente Geologica del PGT Comunale



## **5. MODELLO GEOLOGICO**

### **5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

Recentemente AGIP ha realizzato in provincia di Mantova il pozzo RODIGO 1, profondo 5312 m, attualmente utilizzato per lo sfruttamento di acque a bassa entalpia. Tale pozzo, ubicato in comune di Goito presso la Corte Mussolina, ha attraversato la serie quaternaria, cenozoica e mesozoica raggiungendo i depositi triassici, con questa successione stratigrafica:

- da m 0 a m 1500 QUATERNARIO sabbie argillose e ghiaie
- da m 1500 a m 2850 PLIOCENE sabbie e sabbie argillose
- da m 2850 a m 2885 MIOCENE argille e marne
- da m 2885 a m 2918 EOCENE argille e marne
- da m 2918 a m 3015 CRETACEO calcari e marne
- da m 3015 a m 4095 GIURASSICO calcari
- da m 4095 a m 5312 TRIASSICO dolomie e rocce effusive.

Tralasciando gli avvenimenti geologici precedenti, l'esplorazione profonda ha accertato la presenza, nel Mesozoico, di un ambiente tropico-equatoriale che ha favorito la deposizione di dolomie, calcari selciferi e marnosi.

Nel Cenozoico appare evidente l'inizio di fenomeni orogenetici che si concluderanno poi con la formazione delle Alpi e degli Appennini.

A partire da circa 50 milioni di anni fa (Eocene), iniziò la collisione tra le zolle africana ed europea che portò alla definitiva formazione delle catene montuose delle Alpi e degli Appennini, delimitando tra di esse un bacino marino.

Alla fine del Cenozoico, nel Pliocene, si instaurò il bacino di subsidenza padano che perdurò per tutto il Pliocene e il Pleistocene. Infatti, salvo fenomeni di sollevamento e di compressione, il mare ricopriva l'area dell'attuale pianura mentre la sedimentazione continuava, controllata dalla subsidenza.

Nel mare padano si depositavano sedimenti detritici provenienti dallo smantellamento delle catene montuose; sabbie, limi e argille raggiunsero in certe zone spessori assai elevati, dell'ordine di alcuni chilometri, specialmente nelle strutture sinclinaliche. **La base del Pliocene, nell'area di studio, si trova a profondità di 2.500-3.000 metri, mentre la base del Quaternario si trova a circa 1.000-1.200 metri di profondità dal piano campagna attuale.**

Il passaggio dal Quaternario marino a quello continentale è annunciato da episodi salmastri e continentali che divengono sempre più frequenti verso l'alto e che sono la conseguenza della regressione marina che procedeva da Ovest verso Est.

Il carattere recessivo della successione sedimentaria presenta alla base depositi di mare profondo e poi facies sedimentarie via via più superficiali, fino a quelle definitivamente continentali, precedute da frequenti facies di transizione. Nei sondaggi dell'ENEL e della Regione Lombardia l'ultima ingressione marina si trova a profondità diverse dal piano campagna e viene fatta risalire al Pleistocene Medio, nel Milazziano: (Sondaggio ENEL SL S1 San Benedetto: - 370m circa dal p.c.; sondaggi Regione Lombardia: RL 1 Ghedi: - 94,4 m dal p.c.; RL 2 Pianengo: 143, 1 m dal p.c.)

**Nell'area mantovana i depositi olocenici e quelli della parte terminale del Pleistocene Superiore (Pleniglaciale-Tardiglaciale) sono solamente di origine continentale e sono costituiti da elementi a granulometria variabile dalle argille ai ciottoli.**

Il passaggio dall'ambiente prettamente marino a quello continentale, con l'emersione generalizzata della Pianura Padana, è evidenziato anche dall'interfaccia tra le acque salate e le acque dolci. Le acque dolci, grazie al gradiente idraulico ed alla permeabilità dei depositi grossolani, ha potuto sostituire, specialmente nell'alta pianura, le acque salate (fenomeno di flussage) anche ad elevata profondità all'interno dei depositi del Pleistocene

Con la fine del Pliocene e l'inizio del Pleistocene i depositi quaternari, pleistocenici ed olocenici, risentono dei profondi cambiamenti climatici, le glaciazioni, che interessarono l'emisfero boreale negli ultimi due milioni di anni circa della sua storia.

Nella provincia alpina, cui la zona in esame appartiene, le glaciazioni lasciarono un'impronta evidente sul territorio nelle sue varie componenti fisiche e biologiche. L'alternarsi di fasi glaciali e interglaciali con l'avanzamento e il ritiro del ghiacciaio gardesano, provocarono l'erosione, il trasporto e la deposizione di materiali litoidi sotto forma di depositi morenici, di depositi fluvioglaciali e fluviali. Con la fine dell'ultima glaciazione (Wurm), si depositarono all'esterno delle cerchie moreniche i depositi fluvioglaciali del Pleistocene Superiore che costituiscono il "livello fondamentale della pianura".

**Nell'Olocene infine i corsi d'acqua hanno eroso e terrazzato i depositi precedenti formando le valli attuali in parte alluvionate. In relazione alle mutate condizioni di alimentazione, alcuni corsi d'acqua persero la loro importanza, altri scomparvero definitivamente. Le tracce del paleoreticolo sono ancora evidenti e formano gli elementi geomorfologici caratteristici di questo territorio, su cui in tempi recenti si è sovrapposta l'azione dell'uomo.**

## **6. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA DI DETTAGLIO**

La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del profilo stratigrafico nel sito sono ricavati dai risultati di:

n. 2 prove penetrometriche statiche, una di tipo meccanico CPT spinta alla profondità di - 20 m dal p.c. e una di tipo elettrico CPTU spinta a 10 m dal p.c. eseguite in sito in data 15/10/2021 e ubicate come da figura 7.



*Fig.7. Ubicazione prove geognostiche eseguite in sito*

## **6.1. CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT e CPTU**

Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite attraverso il penetrometro statico olandese tipo Gouda montato su autocarro FIAT IVECO T80/16 4 x 4 con elica. Capacità di spinta: 300 kN (260 kN alla penetrazione, 300 kN in fase di estrazione).

La prova penetrometrica statica elettrica CPTU è stata realizzata con punta elettrica con piezocono "Envi Memocone" con inclinometro per la determinazione in continuo delle caratteristiche litologiche e idrauliche dei terreni. Infissione tramite pistone idraulico a velocità costante di 2 cm/sec, tolleranza di 3.5 .

Le caratteristiche tecniche del piezocono "Envi Memocone" utilizzato sono:

<b>PIEZOCOONO</b>	
Area di punta	: 10.0 cm <sup>2</sup>
Diametro	: 35.7 mm
Area nesta	: 6.6 cm <sup>2</sup>
Superficie manicotto	: 150.0 cm <sup>2</sup>
Lunghezza manicotto	: 133.7 mm
Area superiore manicotto	: 2.22 cm <sup>2</sup>
Area inferiore manicotto	: 3.31 cm <sup>2</sup>
Lunghezza totale punta elettrica	: 600.0 mm
Peso complessivo	: 3 kg
<b>RACCORDO PIEZOCONO -ASTE</b>	
Diametro	: 35.7 mm
Lunghezza	: 250.0 mm
<b>Caratteristiche elettriche</b>	
<b>Sensori di Resistenza alla punta (Rp)</b>	
Sensori	: 8 estensimetri da 350 ohm a ponte completo con bilanciamento di zero
Fondo Scala	: 500 Kg
Risoluzione	: 0.1 Kg/cm <sup>2</sup>
Precisione	: < ± 1% F.S.
Valore minimo misurabile	: -13 kg/cm <sup>2</sup>
Deriva termica di zero	: < 0.05% F.S./°C
<b>Sensori di Cella Resistenza laterale (Rl)</b>	
Sensori	: 8 estensimetri da 350 ohm a ponte completo con bilanciamento di zero
F.S.	: 5 Kg
Risoluzione	: 0.01 kg/cm <sup>2</sup>
Precisione	: < ± 2% F.S.
Valore minimo misurabile	: -0.55 kg/cm <sup>2</sup>
Deriva termica di zero	: < 0.05% F.S./°C
Influenza di Rp su Rl	: > 1.5% F.S. di Rl
<b>Sensori di Pressione neutrale (Pn)</b>	
Sensore	: Trasduttore di pressione piezoresistivo
F.S.	: 20 bar

$$a = A_N(6.6 \text{ cm}^2) / A_T(10 \text{ cm}^2) = 0.66$$

$$q_{ct} = q_c + u(1-a)$$

In allegato (All. n. 2) viene riportato il diagramma della prova dove sono graficati i seguenti valori:

- il primo riquadro rappresenta la resistenza alla punta  $q_c$  (tip resistance), espressa in MPa.
- il secondo diagramma rappresenta la resistenza d'attrito laterale  $f_s$ , espressa in Mpa,
- il terzo diagramma rappresenta il rapporto  $f_s/q_c$ , espresso in %.
- la quarta strisciata rappresentano l'andamento della pressione interstiziale  $u$  (pore pressure), espressa in Mpa,
- l'ultimo riquadro rappresenta l'inclinazione della prova rispetto la verticale espressa in gradi (degr).

La prova penetrometrica statica con punta meccanica consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta.

L'infissione avviene tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste su cui è montata



la punta a velocità costante di 2 cm/s con una tolleranza di  $\pm 5$  mm/s, l'avanzamento è automatico e regolato da centraline elettroniche.

Il penetrometro meccanico possiede il manicotto di attrito che si muove indipendentemente dalla punta secondo il metodo Begemann.

Lo sforzo per l'infissione della punta è misurato mediante manometri collegati al martinetto che esercita la spinta. L'acquisizione dati viene rilevata da manometri meccanici a bagno d'olio con sensibilità minima pari a 0.1 Bar.

Le caratteristiche del penetrometro statico olandese tipo Gouda sono:

- punta conica meccanica  $\phi = 35.7$  mm - angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- manicotto laterale di attrito tipo "Begemann"  $\phi = 35.7$  mm. -  $h = 133$  mm. - sup.lat.  $A_m = 150 \text{ cm}^2$
- le aste sono doppie: una cava  $\phi = 36$  mm. e una, il cui diametro è tale da essere contenuta all'interno delle aste cave.

Durante l'esecuzione della prova ogni 20 cm vengono lette nei manometri la resistenza all'avanzamento della sola punta L.punta, la resistenza dell'avanzamento della punta e del manicotto L.laterale e la resistenza totale all'avanzamento delle sole aste cave.

Nei diagrammi vengono rappresentati:

- la resistenza alla punta  $q_c$  in MPa
- la resistenza laterale locale  $f_s$  in MPa
- la linea a destra rappresenta il rapporto  $q_c/f_s$  ( numero puro ).

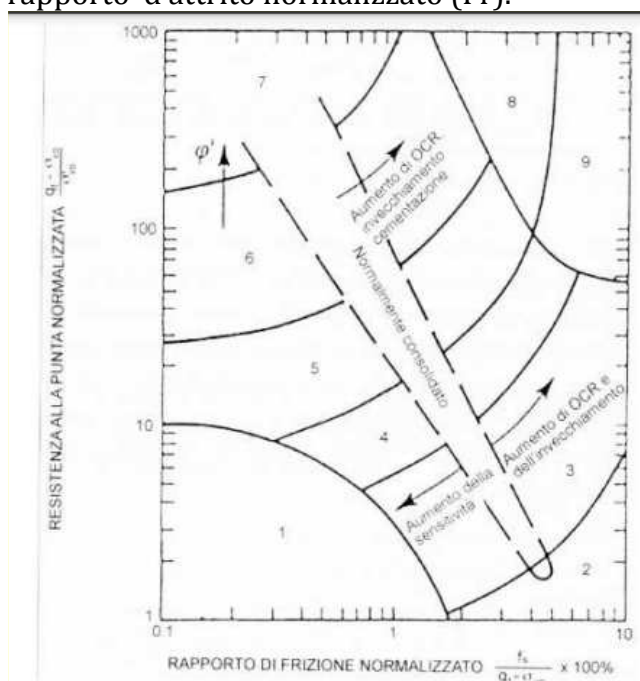




Fig.8. : Penetrometro statico sull'area d'indagine

## 6.2 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

Per l'interpretazione della prova CPTU si è considerata la carta normalizzata del comportamento dei vari tipi di terreno (SBTn - Soil Behaviour Type normalized ) di P.K. Robertson (2009), carta basata sulla resistenza alla penetrazione della punta del cono, normalizzata ( $Q_t$ ) e sul rapporto d'attrito normalizzato ( $F_r$ ).





*Fig.9. Carta SBTn di Robertson per la classificazione dei terreni con prove CPT da penetrometro elettrico : 1) terreno sensitivo a grana fine 2) terreno organico, torba 3) Argille. Da argille ad argille limose 4) Limi. Da limi argillosi ad argille limose 5) Sabbie. Da sabbie limose a limi sabbiosi 6) Sabbie. Da sabbie pulite a sabbie limose 7) Da sabbie ghiaiose a sabbie 8) Da sabbie molto dense a sabbie argillose fortemente sovraconsolidate o cementate 9) Materiali fini granulari molto duri, fortemente sovraconsolidati o cementati*

La carta SBT proposta da Robertson nel 1990, è predittiva del comportamento meccanico dei terreni e non fornisce direttamente una classificazione del terreno in base alla granulometria ed alla plasticità come per esempio la classificazione USCS (ASTM 2006).

Fortunatamente, la granulometria e la plasticità dei terreni, sono spesso correlabili ragionevolmente bene con il comportamento in situ dei terreni e, quindi, c'è spesso una buona corrispondenza tra la classificazione USCS e quella ottenuta con correlazioni basate sui dati forniti dalle prove CPT interpretati mediante la carta SBT proposta da Robertson.

Robertson (1990) propose di utilizzare i parametri normalizzati e adimensionali  $Q_{t1}$ ,  $Fr$  e  $B_q$ , le cui equazioni (1), (2) e (3) per la loro determinazione, sono di seguito riportate ed in cui  $\sigma'_{vo}$  è la tensione efficace verticale in sito,  $u_0$  è la pressione di equilibrio in sito dell'acqua e  $\Delta u$  è l'eccesso di pressione neutra durante la penetrazione.

$$Q_{t1} = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo} \quad (1)$$

$$Fr = [f_s / (q_t - \sigma_{vo})] 100\% \quad (2)$$

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{vo}) = \Delta u / (q_t - \sigma_{vo}) \quad (3)$$

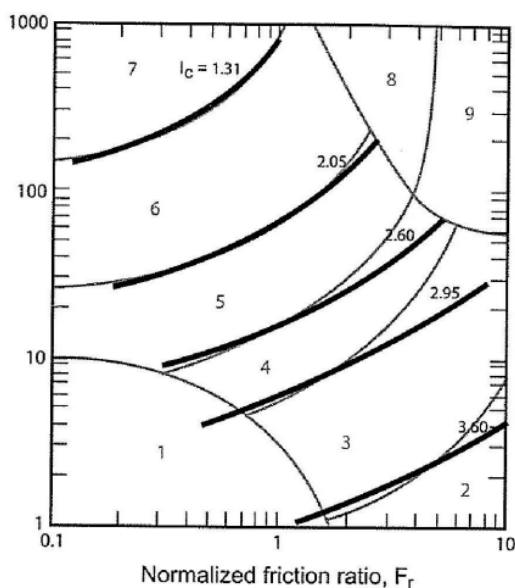
Il termine  $Q_{t1}$  (resistenza di punta normalizzata adimensionale) è usato per definire la resistenza di punta corretta,  $q_t$  è la resistenza alla punta totale;  $Fr$  rappresenta il rapporto di attrito normalizzato adimensionale, mentre  $B_q$  rappresenta il rapporto delle pressioni interstiziali. Tali parametri sono utilizzati da Robertson per la stesura di due carte, nella prima delle quali si correlano fra loro i valori di  $Q_{t1} - Fr$ , e nella seconda si mettono in relazione i valori di  $Q_{t1}$  e  $B_q$ .

Jefferies and Davies (1993) hanno rilevato che l'indice di comportamento dei terreni  $I_c$ , rappresenta, sulla carta  $Q_{t1} - Fr$  (SBTn), delle aree che sono sostanzialmente dei cerchi concentrici che definiscono i contorni di vari tipi di terreno.

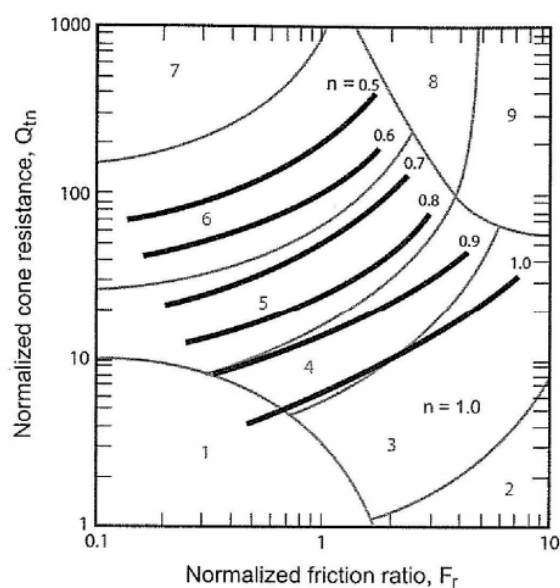
Robertson e Wride (1998) modificarono la definizione di  $I_c$  per applicarlo alla carta di Robertson (1990) tramite la relazione

$$I_c = [(3.47 - \log Q_{t1})^2 + (\log Fr + 1.22)^2]^{0.5}$$

Il grafico del parametro  $I_c$  è rappresentato in fig. 12 e 13 e il contorno di  $I_c$  può essere usato per approssimare i confini già determinati nella carta SBTn. Inoltre Jefferies e Davis (1993) suggerirono che l'indice  $I_c$  può essere usato per modificare le correlazioni empiriche che variano con il tipo di terreno.



*Contorni dell'indice di comportamento terreno  $I_c$  sulla carta  $Q_{tn} - Fr$  SBTn (Zone SBT basate su Robertson (1990)).*



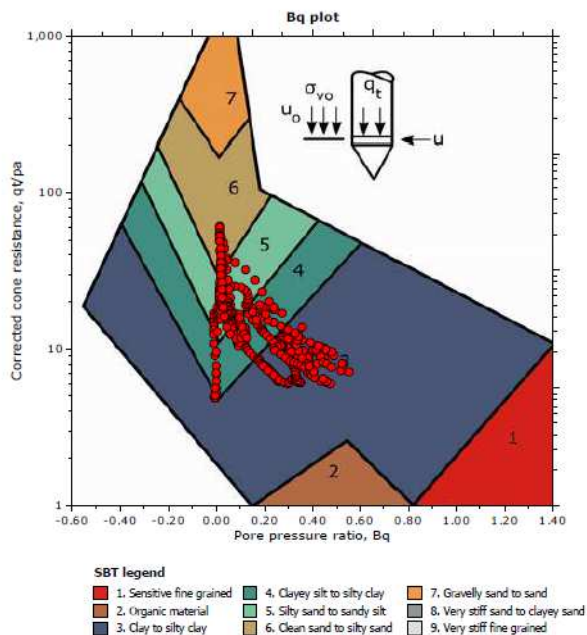
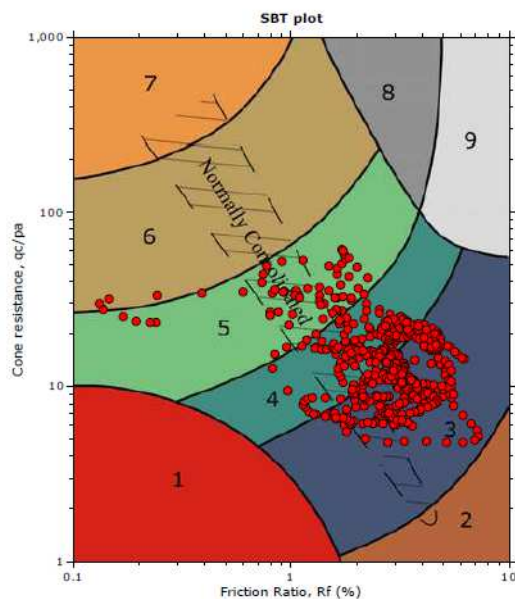
*Contorni dell'esponente di sforzo  $n$  (per  $\sigma'_{vo}/p_a = 1.0$ ) sulla carta  $Q_{tn} - Fr$  SBTn normalizzata.*

Robertson e Campanella (1983) discussero come la resistenza alla punta è influenzata dal terreno davanti e dietro la punta stessa e confermarono che il terreno che si trova compreso tra circa 15 diametri prima e circa 15 diametri dietro alla punta durante la penetrazione può influenzare la resistenza di punta.

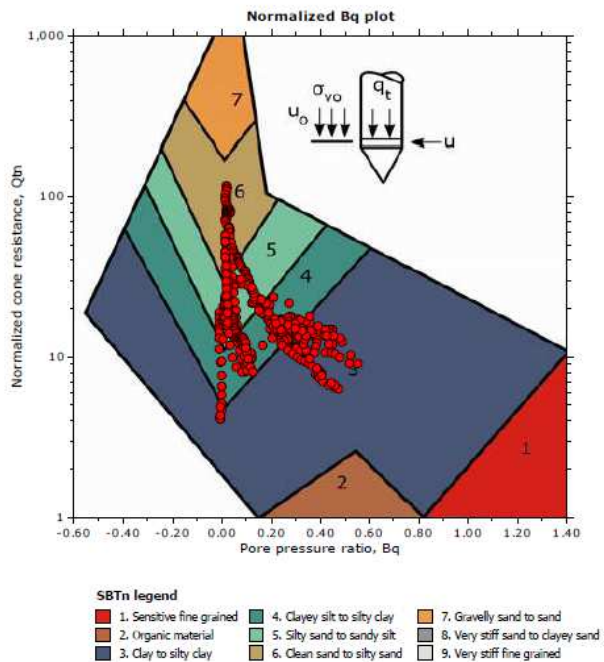
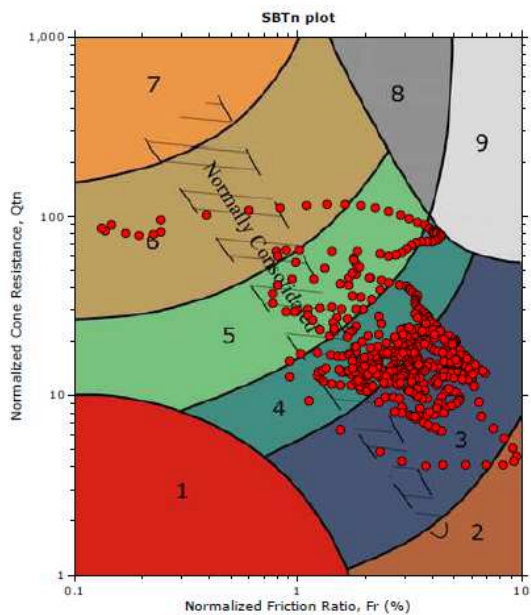
E' possibile identificare le zone di transizione utilizzando il rapporto di cambiamento  $I_c$ . Robertson e Wride (1998) il valore di questo parametro per la transizione tra sabbie ed argille è di circa  $I_c = 2,60$ . Quindi quando il valore di  $I_c$  varia rapidamente ed assume valori intorno a 2.60, siamo in presenza di una zona di transizione tra sabbia e argilla e/o viceversa. I Profili di  $I_c$  possono fornire un utile mezzo per identificare e rimuovere queste zone di transizione.

Si riporta di seguito la carta non normalizzata e normalizzata del comportamento dei vari tipi terreno (SBTn - Soil Behaviour Type normalized ) per la prova CPTU eseguita in sito.

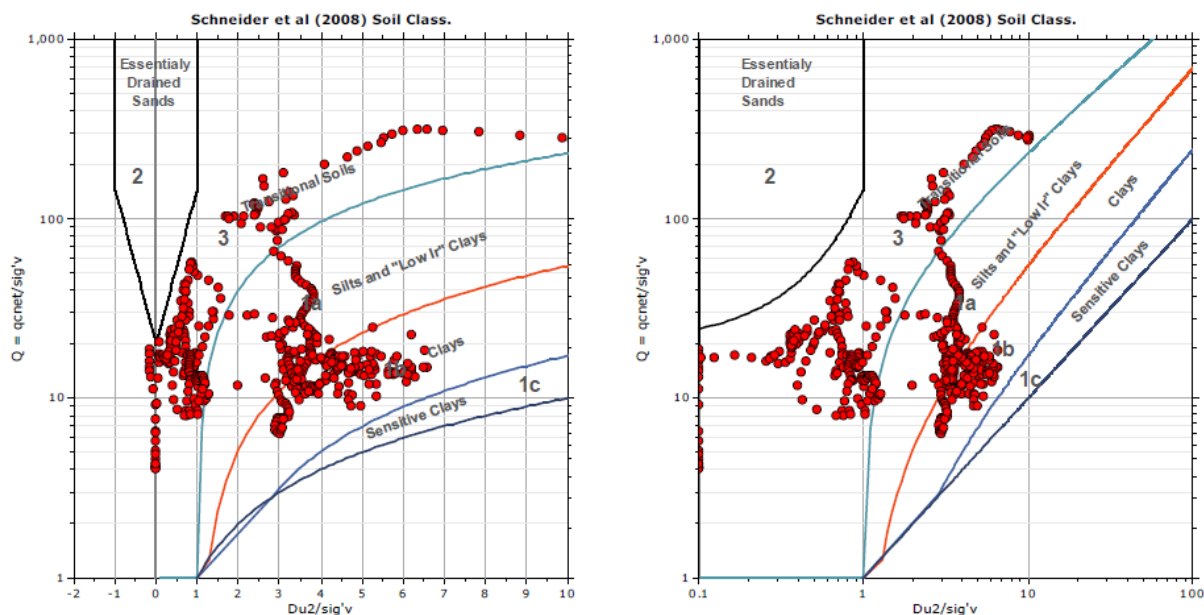
SBT - Bq plots



SBT - Bq plots (normalized)



Bq plots (Schneider)



La natura litologica dei terreni, oggetto della prova penetrometrica statica meccanica CPT eseguita in sito, è dedotta dall'analisi dei diagrammi penetrometrici mediante "Guide for estimating soil type from dutch friction-cone ratio" (after Schmertmann, 1969), Raccomandazioni A.G.I. 1977.

**La sequenza stratigrafica riscontrata si presenta omogenea nei 2 punti di indagine con livelli litologici aventi diverse proprietà stratigrafiche:**

- In superficie, immediatamente al di sotto del terreno vegetale, si trovano argille compatte sovra consolidate fino alla quota di - 1.20 metri dal p.c.;
- Seguono, argille limose poco consistenti con livelli soffici ;
- Da - 5.40 m a - 8.20 m si trovano argille molto compatte;
- Da - 8.20 a - 12.00 m si trovano alternanze di limi argillosi compatti con livelli di limi sabbiosi sciolti;
- Da - 12.00 a - 15.00 m si trovano sabbie mediamente addensate;
- Da - 15.00 a - 20.00 sabbie addensate.

Di seguito si riporta lo schema della sequenza stratigrafica dedotta dalle prove.



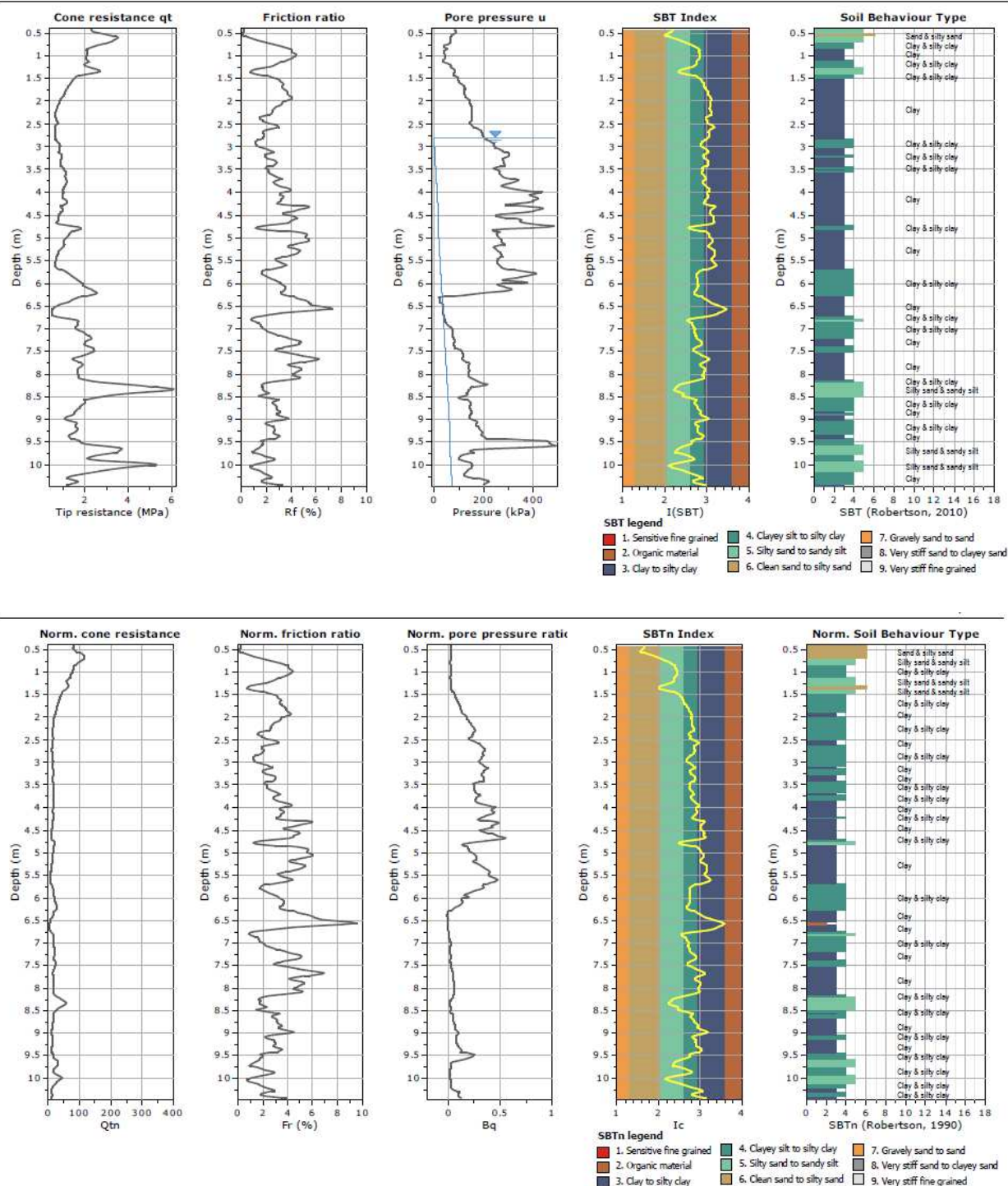


Fig.10. Schema sequenza stratigrafica CPTU n.1

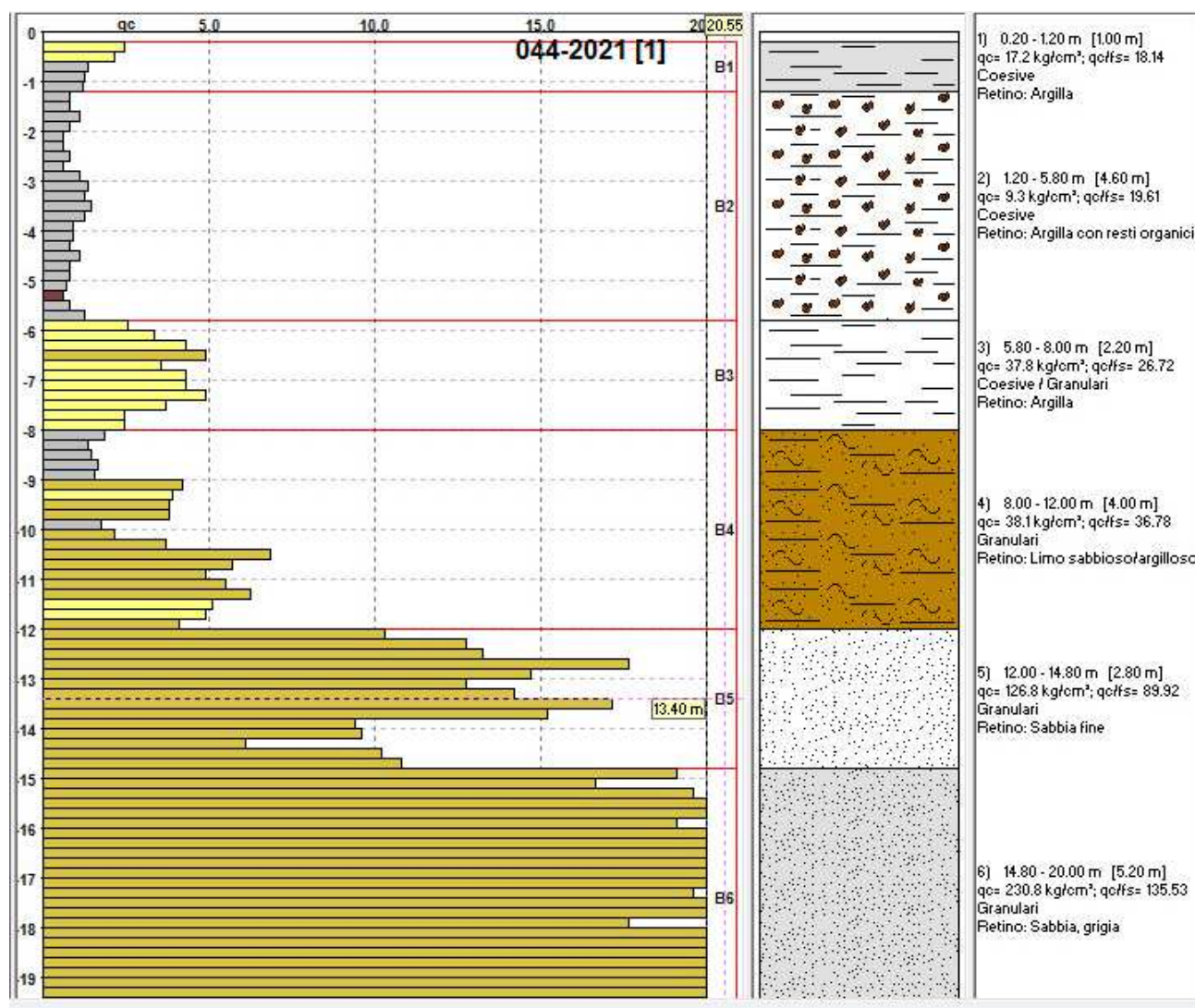


Fig.11. Schema Sequenza stratigrafica CPT N. 1

La stratigrafia di dettaglio è riportata nei diagrammi delle valutazioni litologiche, nelle tabelle dei parametri geotecnici e nei valori numerici riportati in allegato. All. n. 3, 4 e 5

### 6.3 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Il cap. 6.2.2. del DM 2018 detta: " ...per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e

*meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito"*

Per quanto attiene ai parametri geotecnici caratteristici, le resistenze dei terreni vengono scelte secondo una stima cautelativa del valore medio delle stesse.

Stima cautelativa perché la variabile può essere rappresentata da più parametri ma la trattazione deve necessariamente riguardare tutti i possibili valori della variabile, e non solo il valore atteso (media); deve cioè tener conto di tutta la distribuzione della variabile.

La variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati coesivi** studiati, per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito, è il **parametro geotecnico caratteristico cu**; la variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati sciolti** studiati, per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito, è il **parametro geotecnico caratteristico  $\phi$** .

Il valore caratteristico scelto è pari al 5° percentile della media della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) per gli strati coesivi, è pari invece al 5° percentile della media della distribuzione normale del parametro geotecnico  $\phi$  per gli strati sciolti.

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) è:

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2(1 + \frac{S^2}{2})}$$

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione normale del parametro geotecnico ( $\phi$ ) è:

$$\mu = t(n-1) \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

I dati immessi nei calcoli sono i valori di cu e di  $\phi$ , derivati dalle correlazioni dei valori di qc e fs ricavati direttamente dalla prova penetrometrica mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 – Marsal et al. 1974/1979).

COESIONE NON DRENATA Terreni COESIVI Cu = Rp/ $\beta$		
CORRELAZIONI STANDARD - Raccomandazioni A.G.I. 1977 - Ricceri et altri 1974 - Marsland et al. 1974/1979		
- Argille normalmente consolidate N.C. (qc ≤ 10 kg/cm²)	$\beta = 25$	(valore standard: 20)
- Argille intermedie (10 < qc < 30 kg/cm²)	$\beta$ = valore interpolato	
- Argille sovra consolidate S.C. (qc ≥ 30 kg/cm²)	$\beta = 40$	(valore standard: 30)

Fig.12. :Correlazioni per il calcolo di cu dai valori di qc e fs.

I valori immessi nella formula, utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione relativi ai parametri geotecnici di interesse, sono quelli significativi per i singoli strati indagati.

Lo scopo è fornire un valore di cu e  $\phi$  che caratterizzi lo strato nel suo complesso.

Nei calcoli vengono quindi eliminati, se presenti, i valori di picco di livelli centimetrici non rappresentativi delle caratteristiche litologiche dello strato.

Se si considerano tutti i valori definiti ogni 20 cm dalla prova penetrometrica, senza fare un'analisi ragionata delle proprietà litologiche dello strato, si rischia di ottenere dei parametri geotecnici che falsano le reali caratteristiche dello strato.

**I dati immessi nei calcoli sono i valori di  $c_u$  e di  $\phi$ , derivati dalle correlazioni dei valori di  $q_c$  e  $f_s$  ricavati direttamente dalla prova penetrometrica, interpretati e "ragionati" dalla scrivente.**

**Primo strato da 0.00 m a - 1.20 m circa : argille compatte sovraconsolidate:  $c_{uk} = 50$  kPa;**

**Secondo strato da - 1.20 m a - 5.40 m: argille limose poco consistenti con livelli soffici,  $c_{uk} = 35$  kPa;**

**Terzo strato da - 5.40 a - 8.20 m: argille molto compatte :  $c_{uk} = 85$  kPa;**

**Quarto strato da - 8.20 m a - 12.0 m : alternanze di limi argillosi compatti con livelli di limi sabbiosi sciolti :  $c_{uk} = 65$  kPa-  $\phi_k = 23^\circ$ ;**

**Quinto strato da 12.00 a - 15.00 m : sabbie mediamente addensate:  $\phi_k = 27^\circ$ ;**

**Sesto strato da - 15.00 m a - 20.00 m : sabbie addensate:  $\phi_k = 31^\circ$ .**

Sintetizzando, nella tabella di seguito si riportano i parametri in termini di resistenza dei terreni indagati derivati da prove penetrometriche mediante trasformazioni indirette della geotecnica classica in condizioni non drenate e drenate. Si precisa che risulta più corretto definire un intervallo di confidenza (range) dei parametri geotecnici in condizioni drenate anziché fissare un unico valore restrittivo in quanto stimati in base a correlazioni empiriche della geotecnica classica (Schmertmann, 1978; Robertson e Campanella, 1983). Si ritiene quindi più opportuno accompagnare la stima dei parametri geotecnici in condizioni drenate con un intervallo di valori anziché fissarne uno unico.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$c_{uk}$ (kPa)	Dr (%)
0.00 - 1.20	Argille compatte leggermente sovraconsolidate	17	19	7÷9	13÷15	50	/
1.20 - 5.40	Argille limose poco consistenti con livelli soffici	15	17	4÷6	10÷12	35	/
5.40 - 8.20	Argille molto compatte	17	19	9÷11	18÷20	85	/
8.20 - 12.00	Alternanze di limi argillosi compatti con livelli di limi sabbiosi sciolti	17	19	8÷10	21÷23	65	/
12.00 - 15.00	Sabbie mediamente addensate	18	20	0	26÷28	0	60
12.00 - 15.00	Sabbie addensate	18	20	0	30÷32	0	65



Si riportano, inoltre, i parametri geotecnici in termini di deformabilità dedotti da prove di laboratorio eseguite su campioni di terreno paragonabili a quelli indagati e da dati di bibliografia.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	Coeff.di Poisson ( $\nu$ )	Modulo elastico $E'$ (kPa)	Modulo Edometrico $E_d$ (kPa)
0.00 - 1.20	Argille compatte leggermente sovracconsolidate	0.45	/	6000÷8000
1.20 - 5.40	Argille limose poco consistenti con livelli soffici	0.45	/	3000÷5000
5.40 - 8.20	Argille molto compatte	0.45	/	10000÷12000
8.20 - 12.00	Alternanze di limi argillosi compatti con livelli di limi sabbiosi sciolti	0.40	/	8000÷10000
12.00 - 15.00	Sabbie mediamente addensate	0.35	20000÷25000	/
12.00 - 15.00	Sabbie addensate	0.35	30000÷35000	/

## 6.4 VERIFICA DI STABILITA' FRONTE DI SCAVO

Le verifiche di stabilità delle pareti di scavo della vasca di laminazione sono state eseguite ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 all'equilibrio limite.

Il metodo consiste nel calcolo delle forze agenti lungo una superficie di scorrimento predefinita e delle resistenze disponibili lungo la stessa superficie. La condizione di equilibrio limite è verificata quando le forze agenti uguagliano quelle resistenti: in questo caso lo stato tensionale medio lungo la superficie di scorrimento giace sull'involuppo di rottura del terreno ed il versante si trova sul punto di collasso.

Il modello di verifica qui adottato è un modello elasto-plastico mediante il criterio di rottura di Mohr-Coulomb nel quale valgono le seguenti ipotesi:

- la massa di terreno è considerata perfettamente rigida;
- la distribuzione delle tensioni normali efficaci sulla superficie di scorrimento resta costante dalla condizione di esercizio a quella di rottura;
- la resistenza del terreno viene completamente mobilizzata lungo l'intera superficie di scorrimento, rimanendo costante.

Il programma esegue un'analisi bidimensionale basata sul concetto dell'equilibrio limite, suddividendo la parete di scavo in conci. Mediante il codice di calcolo è possibile generare automaticamente e verificare una serie di potenziali superfici di scorrimento, individuando le più critiche in base al calcolo dei rispettivi fattori di sicurezza.

In particolare, tra i metodi all'equilibrio limite sotto indicati sono stati scelti per le verifiche in progetto quelli segnalati nei riquadri rossi:

Metodo	Superficie di scorrimento		Calcolo di F		Assunzioni sulle forze interconco		
	circolare	non-circolare	equilibrio dei momenti	equilibrio delle forze	E, X	f(x)	Descrizione
Cuneo di Coulomb		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	$\backslash$	$\backslash$	La risultante delle forze interconco ha un'inclinazione imposta.
Ordinario dei conchi o di Fellenius	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		$X=E \tan \alpha$	1	La risultante delle forze interconco è parallela alla base del conchio. Si dimostra che, con tale inclinazione, N non è funzione di X ed E.
Bishop semplificato	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		$X=0$	$\backslash$	La risultante delle forze interconco è orizzontale (cioè le forze interconco di taglio sono trascurate).
Janbu semplificato		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	$X=0$	$\backslash$	La risultante delle forze interconco è orizzontale. Un fattore empirico $f_0$ viene utilizzato per tenere conto delle forze di taglio interconco.
Spencer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			$X=E \tan \theta$	1	La risultante delle forze interconco ha un'inclinazione imposta.
Morgenstern & Price	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	$X=E \lambda f(x)$	arbitraria	La direzione della risultante delle forze interconco è definita dalla funzione f(x).
Janbu rigoroso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	calcolate	calcolata	Il punto di applicazione delle forze normali interconco è definito assumendo una "linea di applicazione" del carico all'interno del versante.
Lowe-Karaman	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	calcolate	calcolata	La risultante delle forze interconco ha un'inclinazione imposta, pari alla media dell'inclinazione della superficie topografica e della base del conchio.

e cioè:

- Bishop semplificato, applicabile a superfici di scorrimento di sezione circolare generate da superfici di rottura tangenti ad un segmento;
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price, applicabile a superfici di scorrimento di sezione circolare.

Le verifiche di stabilità sono state effettuate, come indicato nelle NTC08 e nelle Nuove NTC2018. Il Cap. 6.8.2 delle Nuove NTC 2018 indica per le verifiche di stabilità per opere e materiali sciolti e fronti di scavo che : *Deve risultare rispettata la condizione [6.2.1], verificando che non si raggiunga una condizione di stato limite ultimo con i valori di progetto delle azioni e dei parametri geotecnici. Le verifiche devono essere effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.*

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_f$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{ca}$

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_r$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.**

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

**Le verifiche di sicurezza sono state condotte sia per il caso statico che per quello sismico.**

Le verifiche in condizioni sismiche sono state effettuate con metodi di tipo pseudostatico. Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \times W;$$

$$F_v = k_v \times W,$$

con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità.

**Accelerazione attesa in superficie  $PGA = a_g \times S_s = 0.1335g$**

Considerando la tabella 7.11.1 NTC 2018

**Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito**

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

**$K_h = 0.0267$        $K_v = 0.0133$        $\beta = 0.20$**

**Il coefficiente di sicurezza nel caso sismico in conformità alle NTC 2018 è pari a 1.2**

**Le verifiche di sicurezza sono state condotte sia per il caso statico che per quello sismico.**

**Il livello della falda considerato è cautelativamente pari a- 2.00m**

**I parametri caratteristici utilizzati per i terreni in posto sono**

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$C_{uk}$ (kPa)	Dr (%)
0.00 - 1.20	Argille compatte leggermente sovracconsolidate	17	19	7÷9	13÷15	50	/
1.20 - 5.40	Argille limose poco consistenti con livelli soffici	15	17	4÷6	10÷12	35	/

L'approccio progettuale che è stato scelto secondo le NTC 2018 è l'Approccio 1, la combinazione è la numero 2.

I fattori parziali sono:

- per la coesione:  $\gamma_c = 1.25$
- per la coesione non drenata:  $\gamma_{cu} = 1.4$
- per l'angolo di attrito:  $\gamma_\phi = 1.25$
- per il peso:  $\gamma_\gamma = 1$
- per i carichi permanenti:  $\gamma_g = 1$
- per i carichi variabili:  $\gamma_q = 1.3$
- per la resistenza globale a taglio:  $\gamma_R = 1.1$

#### **Analisi con superfici circolari**

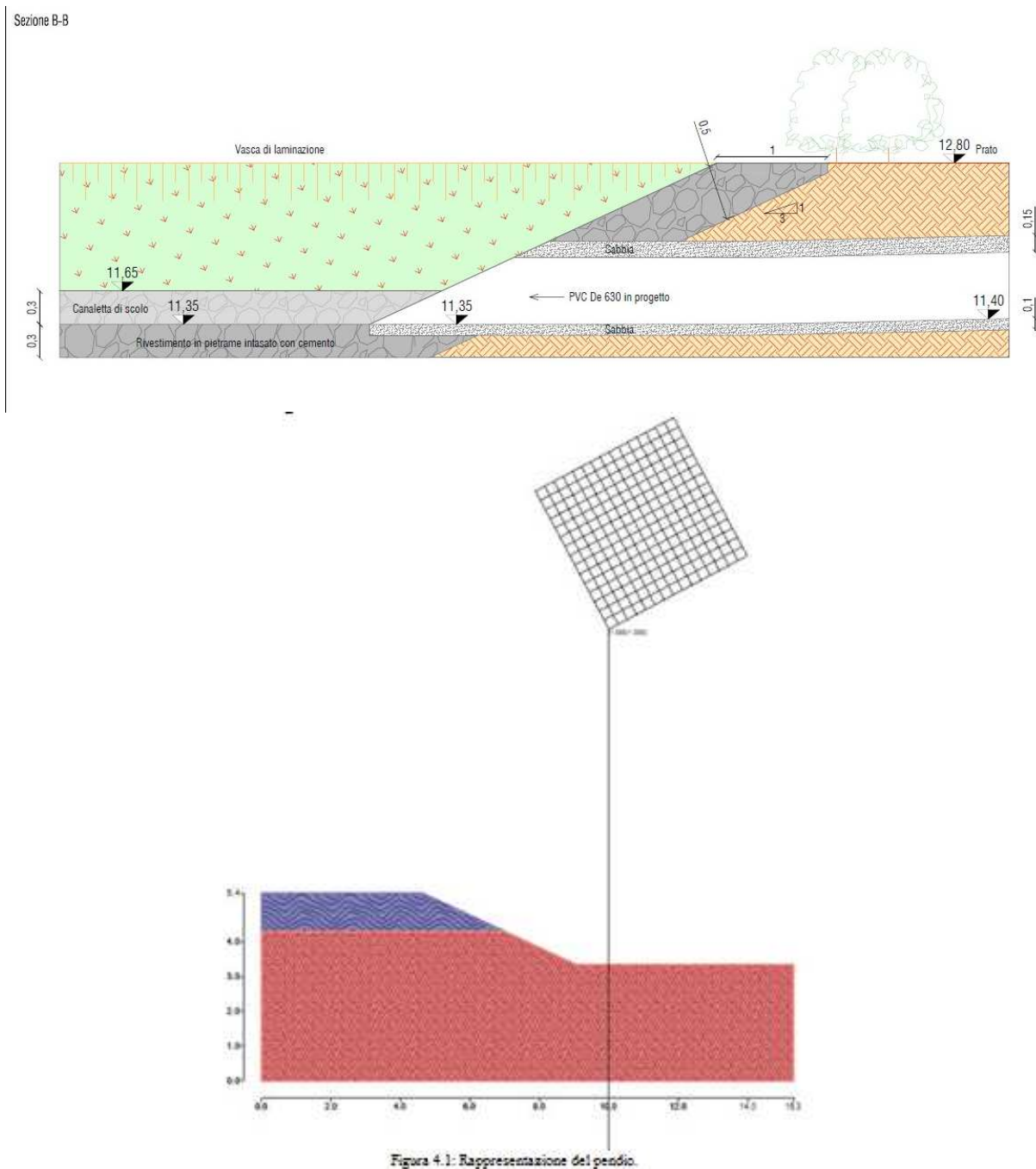
I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della

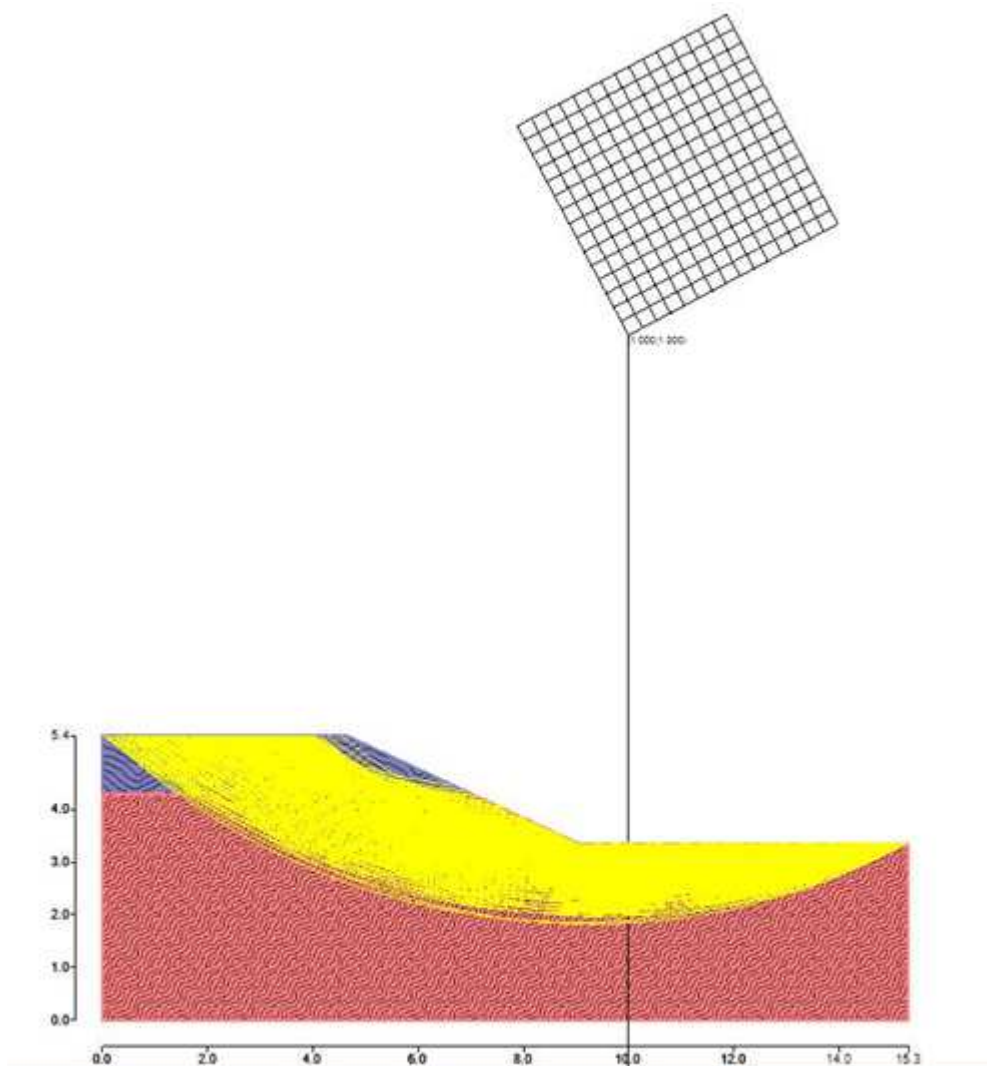
falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

La ricerca di superfici circolari avviene attraverso il metodo di ricerca definito come “*Slope search*” con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sull’intero pendio.

La tolleranza è stata fissata a 0.001.



Le superfici di rottura generate sono generiche e hanno forma circolare.

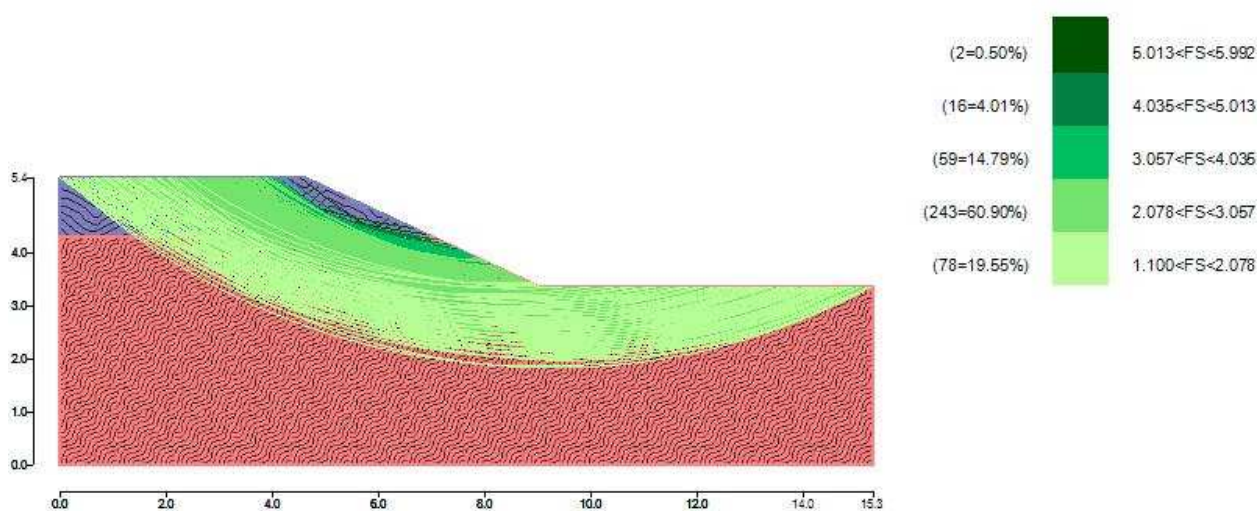
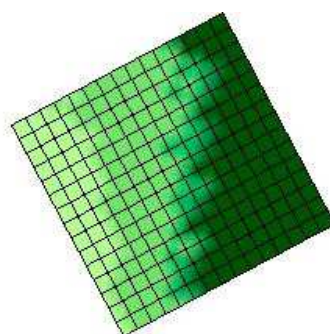


## CASO STATICO

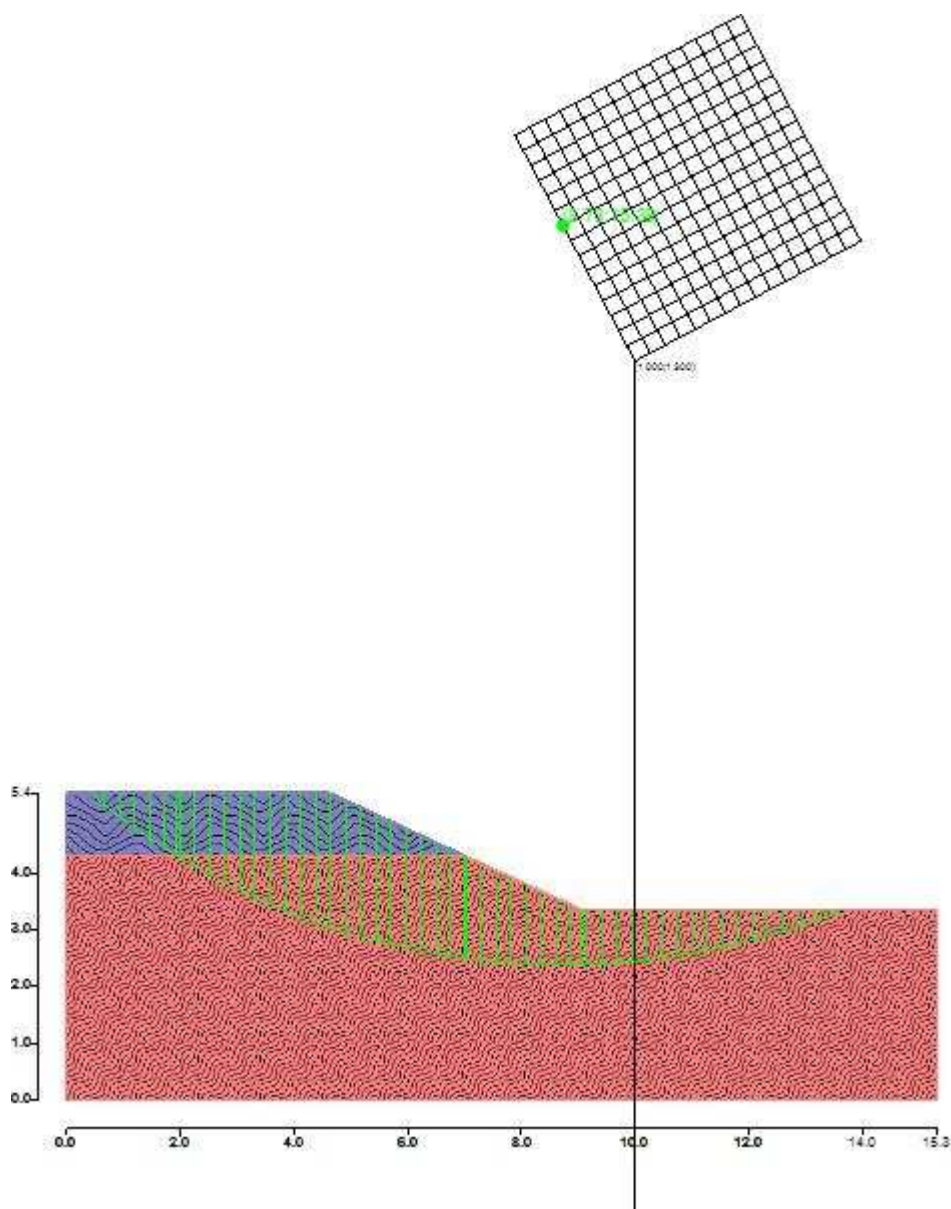
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.952 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 10 e della superficie numero 4. Le coordinate del centro sono: C (873.24 [cm] ,1538.4 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 1300 [cm].





Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

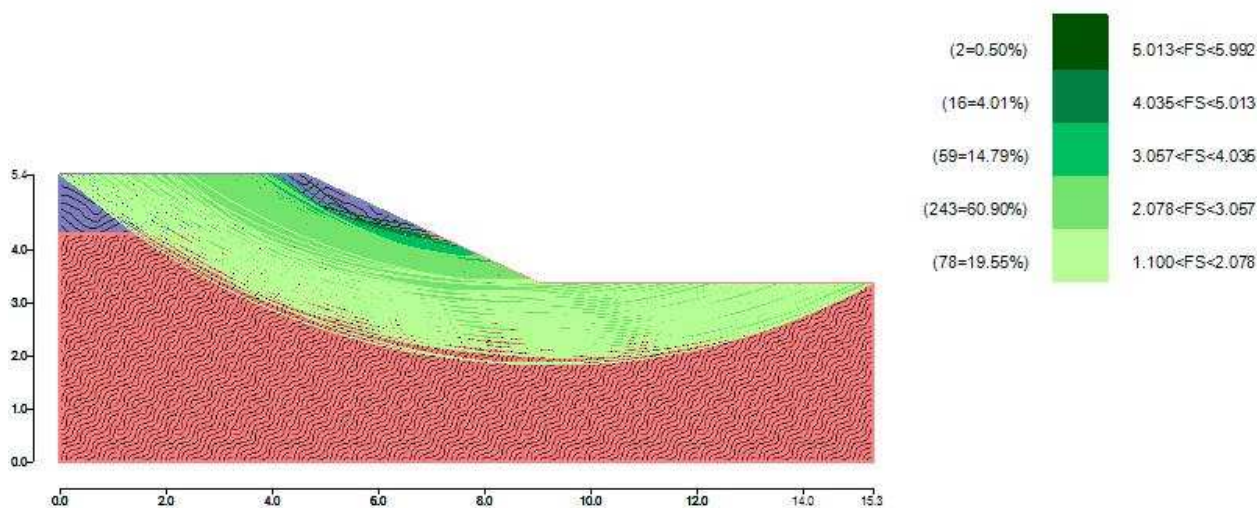
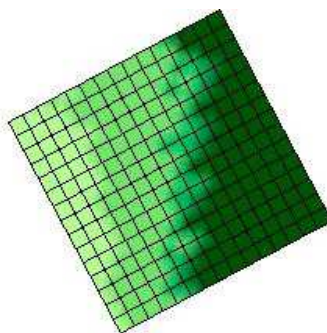


Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

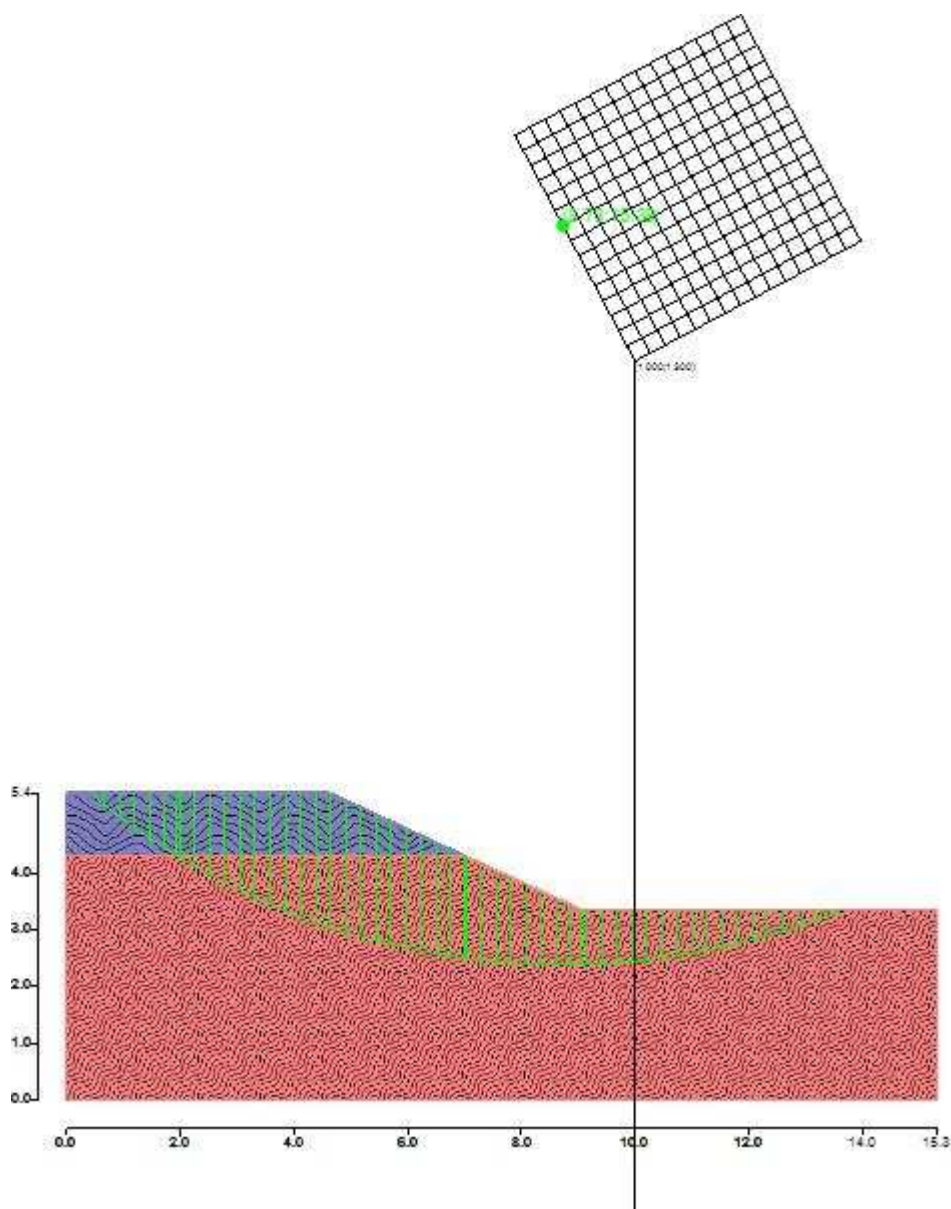
### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.951** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 10 e della superficie numero 4. Le coordinate del centro sono: C (873.24 [cm] ,1538.4 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 1300 [cm].





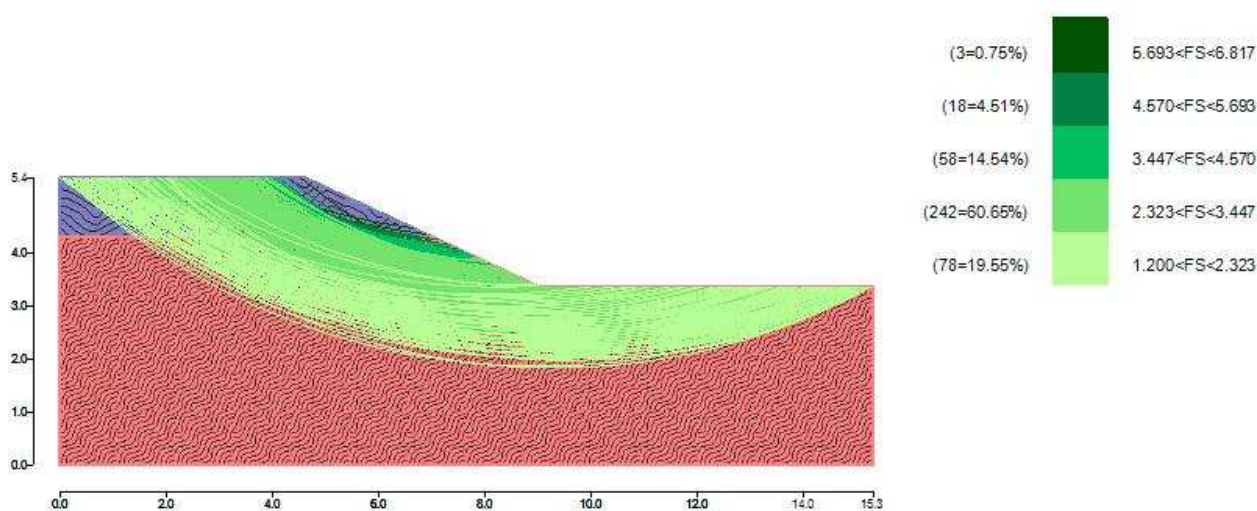
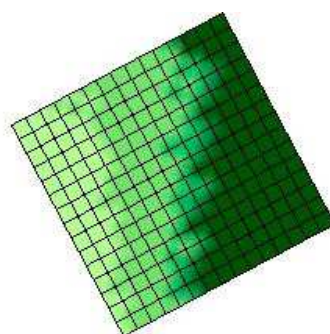
Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri



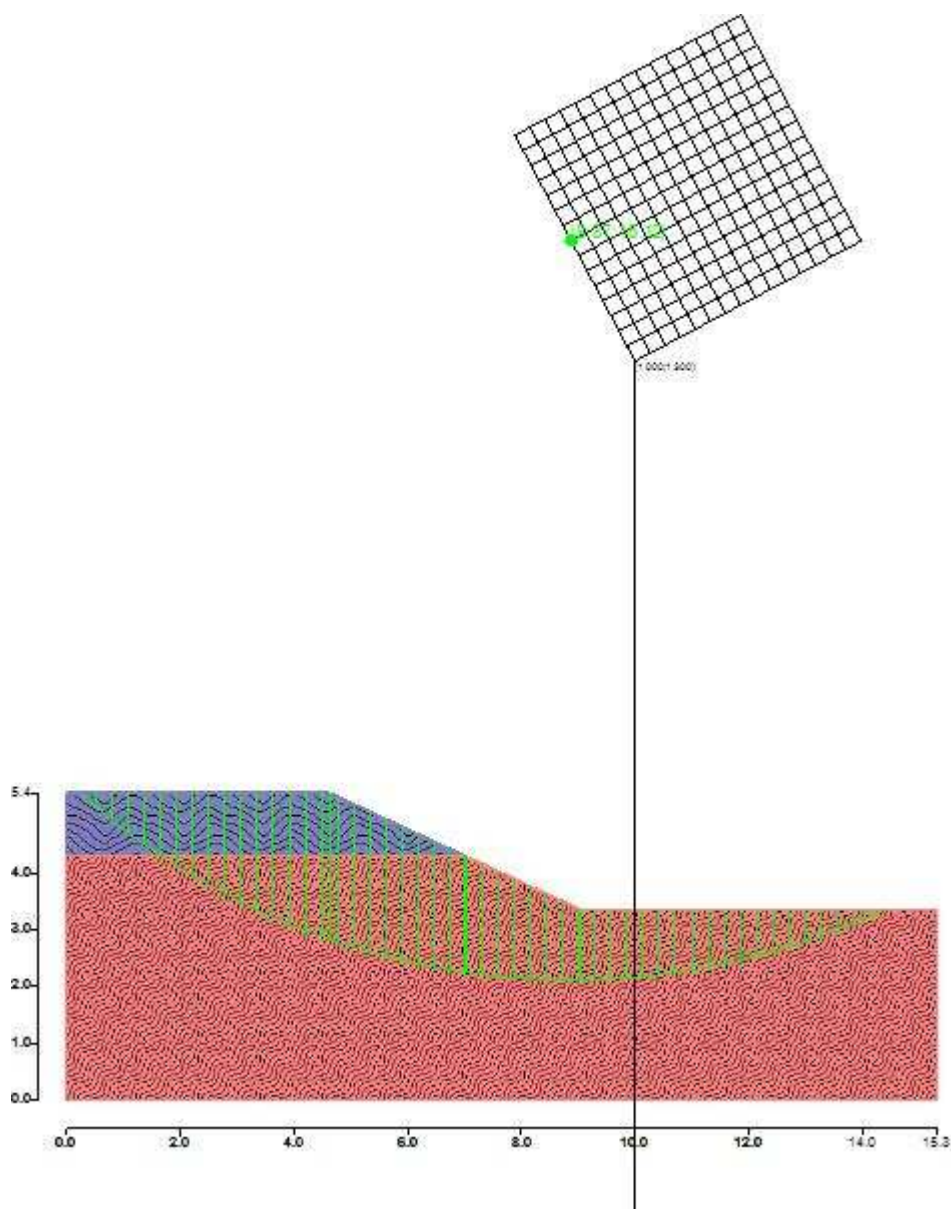
Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

### **CASO SISMICO** **Metodo di BISHOP (1955)**

Il fattore di sicurezza critico è **2.149 (>1.200)**, si ha in corrispondenza del centro numero 9 e della superficie numero 4. Le coordinate del centro sono: C (887.33 [cm] ,1511.91 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 1300 [cm].



Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

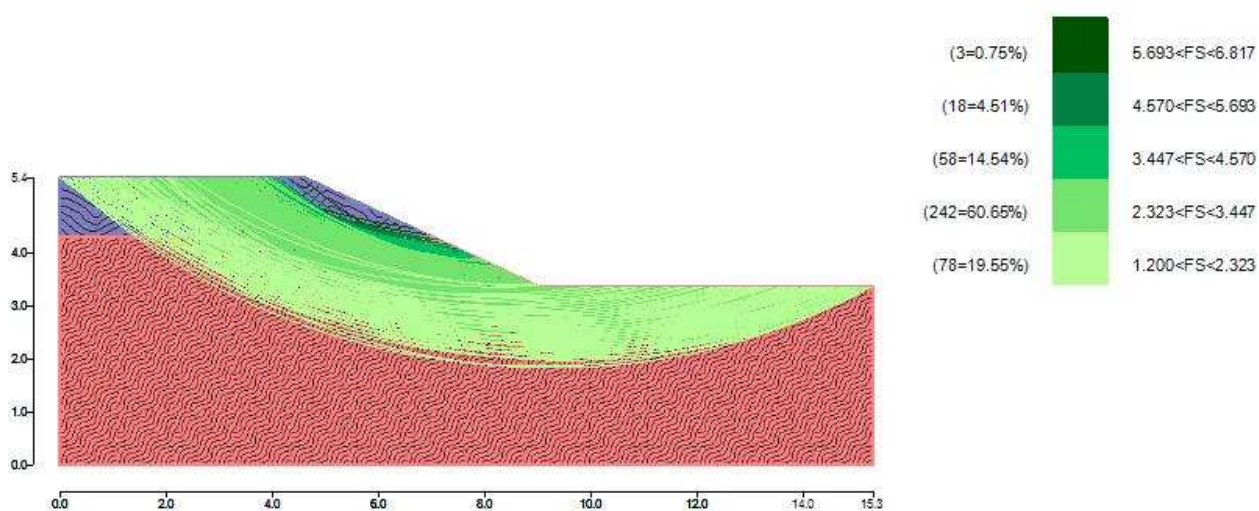
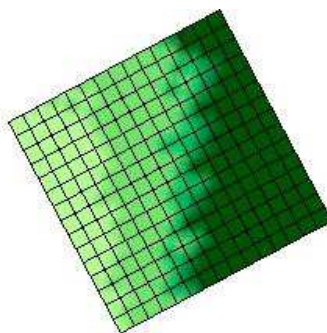


Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

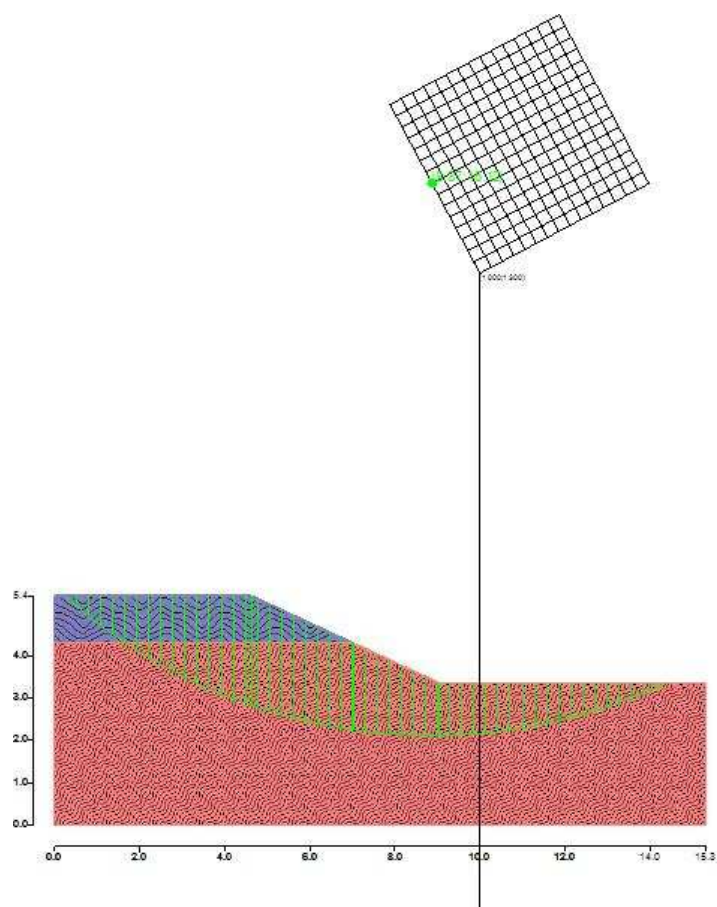
### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **2.149 (>1.200)**, si ha in corrispondenza del centro numero 9 e della superficie numero 4. Le coordinate del centro sono: C (887.33 [cm] ,1511.91 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 1300 [cm].





Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri



Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

### In sintesi

#### NTC18 - APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2)

NTC - 18	APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2) $F_S \geq 1.100$			
Metodo di Calcolo	Bishop semplificato		Equilibrio Limite Globale (GLE) Morgenstern & Price	
Tipo di superficie	Superficie circolare			
Metodo di ricerca della superficie critica	"Slope search"			
VERIFICA	CONDIZIONI STATICHE		CONDIZIONI SISMICHE	
	Bishop semplificato	Morgenstern & Price	Bishop semplificato	Morgenstern & Price
VERIFICA FRONTE SCAVO	1.952	1.951	2.149	2.149

Il profilo del fronte di scavo della vasca di laminazione di progetto è stato verificato in condizioni sia statiche che sismiche.

Le verifiche sono state eseguite ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 all'equilibrio limite e risultano verificate. Le superfici di scivolamento individuate con diversi metodi di analisi hanno fattori di sicurezza tutti  $> 1.10$  in condizioni statiche e  $> 1.2$  in condizioni sismiche. Il profilo risulta stabile.

## **7. MODELLO IDROGEOLOGICO**

Per quanto riguarda la struttura degli acquiferi si fa riferimento in particolare allo Studio della Regione Lombardia (2002), "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" oltre che ad altri studi ed indagini citati in bibliografia (AGIP, ENEL, Provincia di Mantova, ecc.).

Nel sottosuolo della Regione Lombardia sono state riconosciute quattro unità idrostratigrafiche (Gruppi Acquiferi A, B, C, D) a partire dal piano campagna.

Ciascun Gruppo Acquifero è stato descritto attraverso i parametri geometrici, stratigrafici, deposizionali e ambientali.

Nell'area in esame sono presenti i Gruppi A e B.

Il Gruppo Acquifero A, con età compresa tra 450.000 anni e il presente, ha un limite basale posto a circa 200 metri sotto il livello medio del mare. Lo spessore cumulativo dei livelli porosi permeabili passa progressivamente da 80 metri nella parte settentrionale a 120 metri nella parte meridionale.

Il Gruppo Acquifero B, con età compresa tra 450.000 e 650.000 anni dal presente, ha il livello basale considerato come interfaccia acqua dolce- salmastra posto tra 600 e 700 metri sotto il livello medio del mare, mentre le isopache della parte di gruppo acquifero saturato con acqua dolce sono dell'ordine di 350 - 400 metri; lo spessore cumulativo dei livelli porosi permeabili è di circa 120 metri.

**Attualmente sia i pozzi privati che pubblici prelevano le acque dai vari livelli produttivi del Gruppo Acquifero A.**

**Nel dettaglio, presso il sito di interesse, lo spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili è compreso tra i 20 e 40 m e la superficie basale è compresa tra i - 300 e - 350 m s.l.m.**

**Per quanto riguarda il Gruppo Acquifero B lo spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili è compreso tra i 60 e 80 m e la superficie basale è compresa tra i - 500 e - 450 m s.l.m.**

Il territorio comunale di Borgo Mantovano fa parte dell'Unità Idrogeologica del Po, che occupa una vasta porzione del territorio provinciale a sud del fiume stesso.

In questa porzione si rinvencono le alluvioni sabbiose grossolane del F. Po connesse con il suo progressivo spostamento verso il percorso attuale: sono in genere banchi allungati in direzione Est - Ovest, ed il deflusso generale delle acque sotterranee segue all'incirca questa direttrice. Queste bancate sono in genere ricoperte da alluvioni limo-argillose dello spessore variabile dai 7 ai 18 metri.

Il destra Po ha come limite settentrionale il fiume stesso, che costituisce una linea equipotenziale; a sud non è definibile un limite in territorio mantovano, per cui si può ammettere che sfumi nelle unità idrogeologiche di origine appenninica poste molto più a sud.

**Il campo di moto degli acquiferi ivi presenti è diretto da ovest verso est, secondo un andamento di tipo regionale che individua in questo fiume il fattore di alimentazione principale.** Tuttavia la presenza di paleoalvei ricollegabili al fiume Po può determinare la formazione di modesti spartiacque locali. **I gradienti idraulici sono molto bassi, dell'ordine dello 0.2-0.3 ‰.**

Nell'insieme si riconosce la seguente successione di Unità Idrogeologiche dall'alto al basso:

I° Unità, sede della falda freatica, che include i seguenti termini:

- **strato di copertura litologica:** spessore variabile da -0.40 m a -1.50 m, formato da terreni di riporto e/o vegetali;

- **livello impermeabile:** teoricamente acquiclude, che potrebbe avere localmente carattere di acquitar in funzione della percentuale di limi e sabbia, con uno spessore variabile da circa 5 m a 15 m. Esso presenta una buona continuità su tutto il territorio comunale;

- **Primo acquifero:** banco di sabbie medie e medio-fini, localmente possono essere intercalate da lenti limoso sabbioso. Il tetto è individuato a circa -5 a -15,0 dal p.c., mentre il letto si trova a circa -40,0 ÷ -45,0 m da p.c. Localmente può presentare carattere di una falda non confinata o semiconfinata;

- **substrato impermeabile:** banco di argille, argille-limose, argille torbose e limi argilloso sabbioso, il cui tetto è a ca. -45,0 ÷ -50,0 m da p.c., mentre il letto è a ca. -50,0 ÷ -55,0 m.

II° Unità, sede della seconda falda confinata, presente in tutto il territorio podiense:

- **Secondo acquifero:** intervallo di sabbie medio, medio-fini con tetto tra - 50,0 ÷ -55,0 m e letto tra -80,0 ÷ -100,0 m da p.c.

**A livello locale, dall'analisi della prova eseguita in sito, le prime sabbie si trovano, alla profondità di 12.00 metri dal p.c. L'acquifero locale inizia quindi alla profondità di 12.00 metri ed è confinato al tetto da terreni poco permeabili di natura argillo - limosa. Nei sedimenti più superficiali di natura argillosa e limo-argillosa sono presenti livelli limosi nei quali si ha una circolazione idrica lenta e poco significativa causa della bassa permeabilità dei depositi ospitanti (complesso Acquifero denominato A0) .**

**Tale orizzonte freatico assume caratteristiche di acquitardo e non di acquifero ed è prevalentemente alimentato dalle infiltrazioni meteoriche dalla superficie che risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili.**

## **7.1 PIEZOMETRIA E VULNERABILITA' FALDA ACQUIFERA SOTTERRANEA**

Lo studio sulla morfologia della prima e della seconda falda, esteso a tutta l'area lombarda, ha evidenziato per il territorio mantovano quanto segue:

a) prima falda, la pianura mantovana è caratterizzata da elevatissimi gradienti nella parte settentrionale e da un rilevante aumento della sezione di flusso nella parte meridionale; tali condizioni positive per il bilancio sono contrastate dalla forte azione drenante del fiume Mincio, che sottrae una rilevante quantità d'acqua al settore più interessato dai prelievi (città di Mantova). Tale configurazione determina qualche difficoltà per il mantenimento del bilancio positivo di questo settore;



b) seconda falda: l'andamento della piezometria della seconda falda rispecchia sostanzialmente quello della prima. A parte la sensibile depressione piezometrica in corrispondenza dell'abitato di Mantova, nella pianura mantovana non si avvertono variazioni importanti rispetto a quanto riportato a proposito della prima falda. Il drenaggio operato dal fiume Mincio finisce con il deviare verso il fiume gli afflussi provenienti da settentrione (in particolare dalla zona gardesana, con probabili contributi del lago di Garda alle falde profonde). Ciò riduce l'alimentazione delle falde nella zona di spartiacque Oglio e Mincio, dove si verificano i sintomi di un leggero deficit.

Le Caratteristiche di vulnerabilità del territorio comunale sono state studiate, nell'ambito della redazione del lavoro "Studi ed indagini finalizzati al risanamento delle falde idriche inquinate a fini potabili", parte integrante del Piano comunale.

Il territorio comunale è risultato essere per i  $\frac{3}{4}$  dell'estensione comunale con Vulnerabilità da Media a Bassa, il che corrisponde ad una potenziale alterazione qualitativa degli acquiferi molto limitata.

Nel territorio si riscontrano aree a vulnerabilità elevata che corrispondono alle aree golenali in quanto di pertinenza del fiume Po.

La valutazione sulla distribuzione areale delle rimanenti classi di Vulnerabilità Intrinseca, individua che le zone a Vulnerabilità Alta e Bassa risultano meno estese, rispetto all'area a Vulnerabilità Media che risulta a maggior incidenza sul territorio comunale.

L'area principale è classificata a vulnerabilità media è individuata nella fascia centrale comunale, si estende dal confine con Pieve di Coriano per poi arrivare in confine con l'area di Bonizzo.

L'area a Vulnerabilità Alta corrisponde al territorio situato attorno all'abitato di Revere con andamento radiale Ovest – Sud – Est ed una limitata porzione in confine con Bonizzo in località Nogarazza.

La zona a vulnerabilità Bassa è quella che caratterizza la porzione comunale individuata a Ovest con il Canale di Bonifica Reggiana Mantovana per poi svilupparsi nell'area Sud per poi esaurirsi tra C.te Modiane e C.te Brasilette. Infatti questi terreni sono caratterizzati da copertura prevalentemente limoso argillosa e falda superficiale che oscilla tra m. -1.50 e m. -2.50 dal piano campagna.

**Il sito di ubicazione della vasca di laminazione si trova in un area a vulnerabilità alta come indicato nella Carta "Vulnerabilità del Territorio" VAS 8 allegata al PGT di Borgo Mantovano.**

### LEGENDA vulnerabilità geologica

- CONFINE DI PROPRIETÀ COMUNALE
- VIABILITÀ PRIMARIA (S.S. N° 12 dell'Abetone e del Brenta)
- FERROVIA ESISTENTE
- FERROVIA DISMESSA
- EDIFICI STORICO MONUMENTALI
- VIABILITÀ DI PROGETTO**
- FERROVIA DI PROGETTO
- STRADE DI PROGETTO
- PISTA CICLABILE
- ASSETTO IDROGEOLOGICO**
- CORSI D'ACQUA - LAGHETTI
- DOSSI FLUVIALI
- PALEOALVEI
- VINCOLO LEGGE GALASSO
- ARGINI ARTIFICIALI SOPRAELEVATI VEGETATI E/O PERCORSI DA STRADE
- TERRAZZO
- EROSIONE DI SPONDA
- CLASSI DI VULNERABILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO**
- VULNERABILITÀ ELEVATA
- VULNERABILITÀ ALTA
- VULNERABILITÀ MEDIA
- VULNERABILITÀ BASSA

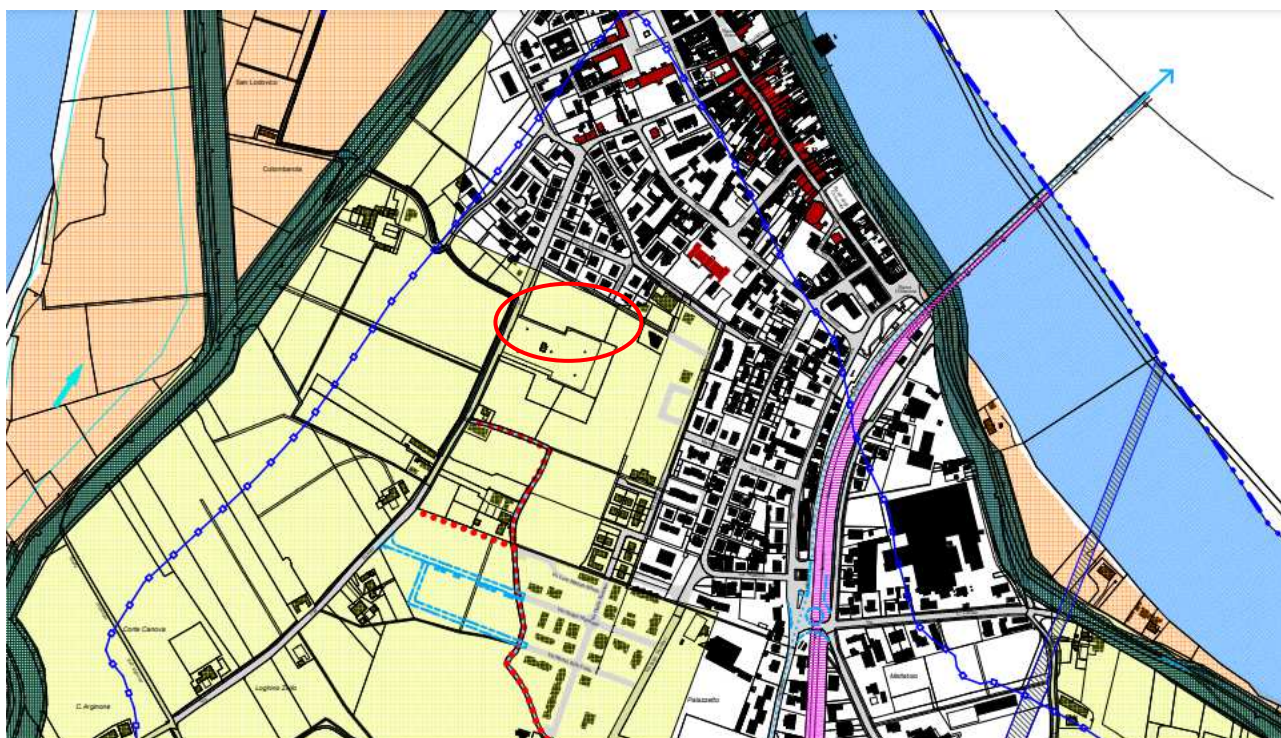


Fig.13. :Carta della Vulnerabilità VAS8 PGT

I valori di soggiacenza nell'area di studio mostrano una certa variabilità a seconda del periodo in cui sono stati rilevati: in genere risentono dell'andamento delle precipitazioni atmosferiche e, soprattutto, dei livelli idrometrici del fiume Po.

La soggiacenza della falda misurata nel sito di studio nei fori delle prove penetrometriche, nell'Ottobre 2021 si posiziona a una quota variabile da - 2.80 a - 3.60 m.

La soggiacenza della falda, considerando i dati di bibliografia pubblicati e le misurazioni eseguite in aree adiacenti al sito di interesse in diversi periodi dell'anno e in diversi anni risulta oscillare tra un massimo nelle fasi di piena di -2.0 m dal piano campagna a un minimo di - 4.00 m .

Questo livello è la falda freatica, la quale è alimentata sia artificialmente per dispersione in subalveo dal sistema di drenaggio-irrigazione sia dall'infiltrazione di acque meteoriche e risente dei livelli idrometrici del fiume Po.

In quest'ottica viene confermata la direzione di flusso degli acquiferi diretta da ovest verso est, secondo un andamento di tipo regionale che individua nel fiume Po il fattore di alimentazione principale.

In sito è stato posizionato un piezometro per controllare fino all'esecuzione dello scavo il livello del freatico.

Il piezometro è stato inserito alla profondità di - 4.50 metri, fessurato per tutta la lunghezza.

## 7.2 CALCOLO PERMEABILITA' IN SITO DEL PRIMO SUBSTRATO

Durante l'esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica piezometrica fermando l'infissione, si possono fare misure di dissipazione delle pressioni interstiziali e definire il coefficiente di permeabilità orizzontale K.

Il metodo consiste nell'infissione nel terreno di un filtro in metallo poroso che, a mezzo di trasduttori elettronici di pressioni neutrali a strain-gauge, misura nel tempo l'andamento delle sovrappressioni neutre generate dal contatto con il terreno.

La permeabilità orizzontale del terreno è valutabile con una relazione del tipo :

$$K_h = M_v \times Y_w \times C_h$$

cioè dal prodotto del coefficiente di compressibilità del volume  $M_v$ , per il peso unitario dell'acqua  $Y_w$ , per il coefficiente di consolidazione orizzontale  $C_h$ .

Secondo Mitchell (1978), il modulo di deformazione edometrica nei terreni coesivi può essere espresso con la relazione:

$$1/M_v = E = \alpha Q_c \quad \text{con } \alpha = 7$$

dove  $Q_c$  è la resistenza unitaria di punta del penetrometro statico alla quota considerata.

La determinazione di  $C_h(OC)$  costituisce la parte originale della prova di dissipazione C.P.T.U., eseguita con penetrometro dotato di piezocono, sviluppata contemporaneamente da Torstensson (1975) e da Wissa (1975).

Il coefficiente di consolidazione si ottiene con la relazione del tipo :

$$C_h = T/t \times R^2$$

dove  $T$  è un fattore di tempo corrispondente al grado di consolidazione considerato, ricavabile da diagrammi standard di riferimento,  $t$  è il tempo necessario per produrre la consolidazione considerata, che si ottiene dal grafico relativo alla prova di dissipazione ed  $R$  è il raggio del penetrometro.

I diagrammi delle prove di dissipazione delle pressioni interstiziali vengono riportati nell'allegato n.6.

Durante l'esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica piezometrica fermando l'infissione, si possono fare misure di dissipazione delle pressioni interstiziali e



definire il coefficiente di permeabilità orizzontale  $K$ .



Fig.14. :Ubicazione prove di dissipazione (Relax 1 e 2)

Considerando gli schemi grafici delle prove di dissipazione eseguite nei terreni:

- una alla quota di  $-1.20$  m dal p.c. nello strato argilloso, alla quota del fondo della vasca di laminazione
- una alla quota di  $-3.00$  m dal p.c. nello strato argillo-limoso sottostante il fondo della vasca

si calcolano i seguenti coefficienti di permeabilità :

RELAX TEST alla quota di  $-1.20$  m dal p.c.

$$K_h = 4.16 \times 10^{-8} \text{ cm/s.}$$

RELAX TEST alla quota di  $-3.00$  m dal p.c.

$$K_h = 3.77 \times 10^{-7} \text{ cm/s.}$$

**Si tratta di terreni classificati da impermeabili a permeabilità molto bassa se si fa riferimento alla classificazione definita da Civita (2005).**



Tabella 1. Permeabilità dei terreni.

k (cm/s)	10 <sup>2</sup>	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
k (m/s)	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile				
Tipi di terreno	Ghiaie pulite	Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie	Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi	Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi	Argille omogenee compatte					

Si riporta inoltre l'andamento dei valori di permeabilità K con la profondità definiti fino alla quota di - 10.00 metri dall'analisi della prova penetrometrica CPTU con punta porosa.

I valori che risultano sono mediamenti intorno a  $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s} = 1 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ , si tratta quindi di uno spessore di terreno di minimo 9 metri di terreno argilloso e limo argilloso a bassissima permeabilità sottostante il fondo della vasca di laminazione, che garantisce la protezione da eventuali infiltrazioni inquinanti dell'acquifero profondo che si trova a - 12.00 metri dal p.c. quando iniziano le sabbie permeabili.

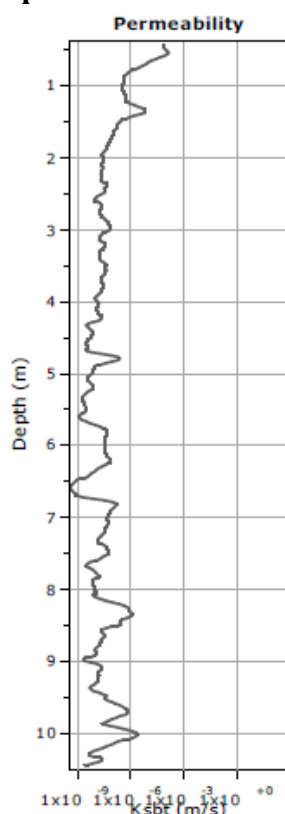


Fig.15. : Andamento della permeabilità K con la profondità

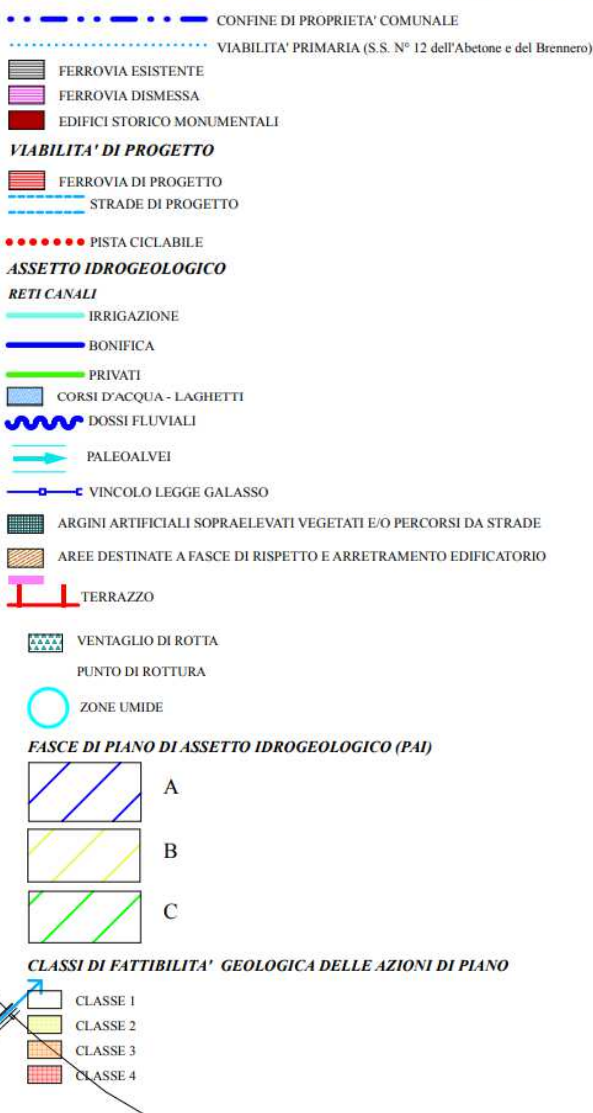
## 8. FATTIBILITA' GEOLOGICA SECONDO IL PGT

Secondo quanto indicato nel PGT Comunale il territorio è stato suddiviso in quattro classi di fattibilità in relazione a condizioni di rischio idrogeologico e idraulico via via maggiori.

Il sito di studio è in classe di fattibilità 2: il territorio ricadente in questa classe presenta delle ridotte condizioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni.

Il sito di studio rientra in fascia C per il PAI e per la classe di fattibilità 2 non vi sono limitazioni né per elevata vulnerabilità idrogeologica né per elevato rischio idraulico.

### LEGENDA assetto idrogeologico e relative classi di rischio



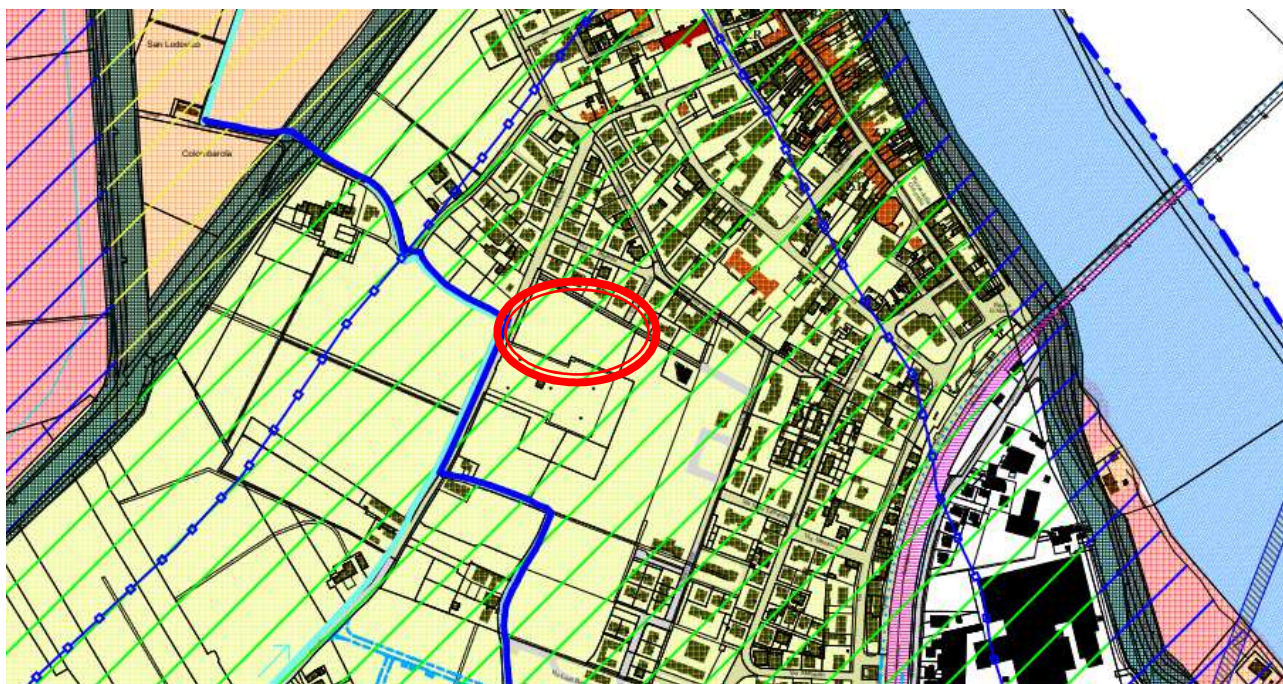


Fig.16. :Carta Assetto Idrogeologico VAS6 PGT Comunale

**Sulla base dell'analisi litostratigrafica e geotecnica che in sintesi evidenzia**

- **terreni superficiali argillosi compatti nel primo metro e 20 cm,**
- **terreni argillo-limosi poco consistenti sottostanti il fondo della vasca di laminazione**
- **analisi della verifica di stabilità dello scavo verificata sia in condizioni statiche che sismiche**

**Sulla base delle valutazioni idrogeologiche che hanno permesso di definire:**

- **il livello massimo di soggiacenza della falda freatica a – 2.00 m dal p.c.**
- **i primi 12 metri di terreno costituiti da argille e limi argillosi a bassissima permeabilità;**
- **la profondità del primo acquifero utile per lo sfruttamento a 12 m dal p.c. in sabbie permeabili;**

**Si conferma la classe di fattibilità 2 definita dal PGT Comunale per il sito oggetto di realizzazione della vasca di laminazione.**

## **8. ANALISI E VALUTAZIONI DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO**

### **8.1. CENNI DI SISMOTETTONICA**

Nonostante l'apparente monotonia della pianura emiliana e lombarda, la geometria del sottosuolo risulta molto "complessa" (senso Ricci Lucchi, 1986) ed interessata da sovrascorrimenti, duplicazioni, ondulazioni e pieghe, generate dalle stesse spinte orogenetiche che hanno determinato la formazione delle Alpi e degli Appennini.

In profondità sono, infatti, presenti 3 serie di thrusts sepolti, dei quali due a sviluppo sequenziale frontale e uno a sviluppo sequenziale a ritroso (v. Fig. 17), costituenti sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico. Essi si sono formati attraverso faglie inverse e sovrascorrimenti immergenti verso sud - ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e

i 30°.

In letteratura geologica queste zone di scollamento tettonico sono note “External Thrust Front”, sull’allineamento Parma – Reggio Emilia – Ferrara, “Pedeapenninic Thrust Front”, lungo il margine morfologico dell’Appennino Settentrionale, e Pedeaipine Thrust Front sull’allineamento Lodi - Peschiera del Garda – Val d’Adige.

Tali zone di scollamento tettonico si estendono su scala regionale in tutto il bacino padano da ovest ad est per convergere verso sud, all’altezza di Ravenna, seguendo l’allineamento Appennini – Mare Adriatico.

Nel complesso le strutture note come Pieghe emiliane e Pieghe Ferraresi costituiscono delle dorsali sepolte (o alti strutturali) che separano o inglobano bacini satelliti subsidenti, nei quali si assiste ad un notevole ispessimento dei sedimenti marini e continentali.

Si tratta di strutture depresse profonde con andamento tipicamente sinclinalico. In questi settori la subsidenza è instaurata da vari milioni di anni ed in maniera più accentuata dall’inizio del Pliocene con tasso di abbassamento di 1 o più mm all’anno.

Il tracciato del Fiume Po nell’area in esame è quindi impostato in corrispondenza della struttura sinclinalica della Monoclinale Pedeaipina, compresa tra l’External Thrust Front e il Pedeaipine Thrust Front.

Particolare attenzione merita la disposizione delle pieghe emiliane e delle pieghe ferraresi che, presentando delle strutture ad arco, convergono nella zona d’incrocio di Reggio Emilia.

**L’anticlinale più interna, quella di Mirandola, è più pronunciata nel settore occidentale (Novi di Modena, Mirandola sud, Medolla Nord), dove il tetto del substrato geologico è < 100 m.**

**L’anticlinale più esterna, quella di Ferrara, è più pronunciata nel settore orientale dove ha il suo culmine tra Bondeno e Occhiobello dove la base del SERS è a una profondità inferiore a - 100 m s.l.m.**

**Queste zone di alto permettono di ipotizzare un’attività tardo – pleistocenica della struttura.**

**Il Fiume Po sembra seguire fino a Pomponesco la zona assiale della Monoclinale Pedeaipina, dove peraltro si registra il massimo ispessimento dei depositi quaternari, per poi dirigersi verso nord adattandosi alla presenza dell’alto strutturale relativo alle pieghe ferraresi sismicamente attive.**

**Essendo infatti tali strutture in relativo sollevamento e spostamento verso nord è plausibile ritenere che siano responsabili dell’attuale posizione del corso d’acqua.**

Il territorio comunale, sulla base della configurazione sismotettonica ricade nel settore compreso tra la “Monoclinale Pedeaipina” ed il fronte esterno dell’Appennino settentrionale. La Monoclinale Pedeaipina è un’area a carattere prevalentemente omoclinalico, con basamento cristallino immergente verso Sud e sepolto da imponenti coperture neogeniche e quaternarie, le quali aumentano gradualmente di potenza da Nord verso Sud, fino a mostrare forti incrementi nelle porzioni più meridionali.

La quasi assenza di strutture deformative dimostrano chiaramente la stabilità tettonica e sismica della Monoclinale Pedeaipina.

A sud risulta essere delimitata dai fronti sepolti delle pieghe emiliane (zona sismogenetica 913) e ferraresi (zona sismogenetica 912) e a nord dal margine pedeaipino bresciano-



veronese (zona sismogenetica 906), deformazioni tettonicamente e sismicamente attive, è interessata da un blando regime di compressione e sprofondamento, esercitato essenzialmente da Sud.

Le componenti deformazionali, indotte dalle strutture sismogeniche poste al contorno, comportano modesti accumuli di energia, i quali si liberano saltuariamente nelle aree di minore resistenza rappresentate dalla struttura di Piadena, Mantova e Sanguinetto (v. Fig. 17). Queste ultime sono deformazioni secondarie che, seppur debolmente, risultano tettonicamente e sismicamente attive.

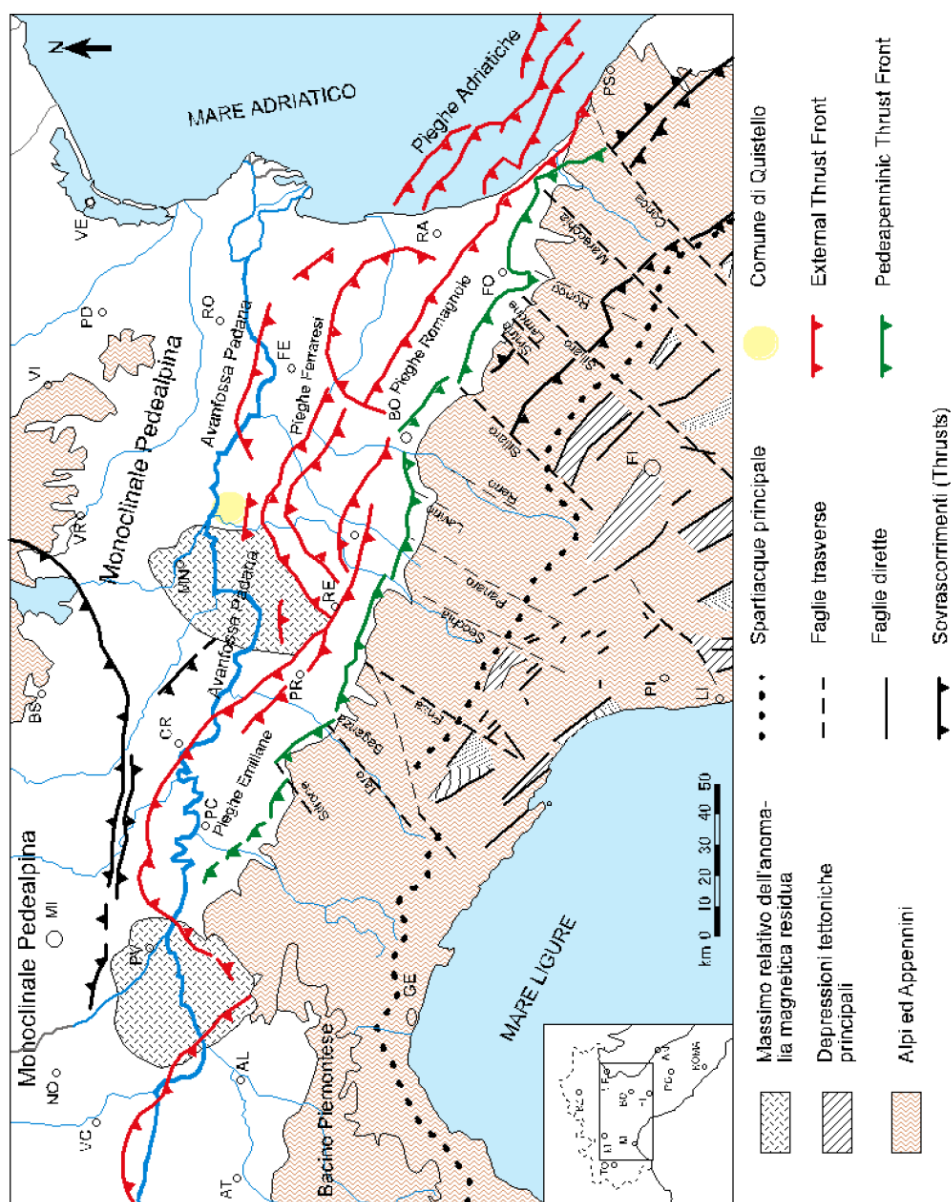


Fig.17. :Struttura tettonica semplificata dell'Appennino settentrionale e dell'avanfossa padano - adriatica (AGIP 1983; modificato).

## 8.2. SISMICITA' DEL TERRITORIO

La sismicità storica è rappresentata dal DataBase Macrosismico Italiano (DBMI11). Il DBMI11 è stato realizzato nell'ambito delle attività del Tema Trasversale Coordinato dall' INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici".

La prima versione disponibile al pubblico del DataBase Macrosismico Italiano risale al maggio 2007 (DBMI04; Stucchi et al., 2007). Esso conteneva i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del catalogo parametrico rilasciato nel maggio 2004 (CPTI04; Gruppo di Lavoro Catalogo Parametrico Italiano CPTI, 2004), a sua volta utilizzato per la compilazione della Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale (MPS04, Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Il DBMI04 con il passare degli anni ha subito svariati aggiornamenti dei contenuti relativi alle finestre temporali, arrivando dunque alla pubblicazione del DBMI11 del 2011. Il Database contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti che fanno parte di CPTI11 (Rovida et al., 2011).

Nella tabella sottostante sono riportati i dati storici aggiornati a dicembre 2014 del comune di Borgo Manovano reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

PlaceID IT\_19921  
Coordinates (lat, lon) 45.052, 11.131  
Municipality (ISTAT 2015) Revere  
Province Mantova  
Region Lombardia  
No. of reported earthquakes 16

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
F	1693	07	06	09	15		Mantovano	13	7	5.23
NF	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
NF	1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
4	1907	04	25	04	52		Veronese	122	6	4.79
NF	1908	06	28	03	19		Finale Emilia	11	4-5	3.93
NF	1908	07	10	02	13	3	Carnia	119	7-8	5.31
NF	1910	01	23	01	50		Piacentino	118	5	4.39
NF	1910	03	22	23	29		Bassa modenese	15	5	4.16
5-6	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1983	11	09	16	29	5	Farmense	850	6-7	5.04
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
4	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79



La crisi sismica del 2012 ha messo di nuovo in evidenza le potenzialità sismogenetiche delle strutture della zona delle Pieghe Ferraresi attraverso 7 scosse di magnitudo maggiore di 5.0 Mw, con notevoli effetti di sito che in molti casi hanno causato ingenti danni.

La sequenza sismica è rappresentata da due principali *mainshock* (Lavecchia et al. 2012):

- Terremoto del 20 Maggio 2012, caratterizzato da una magnitudo di 5.9 Ml e 6.1 Mw, l'epicentro è localizzato nel comune di Finale Emilia ad una profondità di circa 6 km;
- Terremoto del 29 Maggio 2012, caratterizzato da una magnitudo di 5.8 Ml e 6.0 Mw, l'epicentro è localizzato nel comune di Medolla ad una profondità di circa 10 km.

L'evidente attività sismica italiana mette in mostra l'importanza di conoscere le caratteristiche sismogenetiche delle strutture.

Il gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003 n.3274) dell' INGV, ha proposto la zonazione sismogenetica.

Per ogni zona sismogenetica è possibile definire un "terremoto Caratteristico", in quanto, tramite metodi deterministici, è più appropriato definire le regioni dove ogni faglia attiva dà luogo a terremoti di intensità sempre simile.

L'attuale database utilizzato per le sorgenti è il DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) 3.2.0.

Questa versione del database contiene 126 sorgenti sismogenetiche individuali, 167 sorgenti sismogenetiche composite, 35 sorgenti sismogenetiche dibattute e tre subduzioni.

Tutte le fonti si basano su dati geologico/geofisici e coprono l'intero territorio italiano e porzioni di tutti i paesi e mari adiacenti.

Questa versione incorpora diverse fonti aggiornate e alcune nuove fonti basate sui risultati di progetti nazionali ed internazionali.

Il Comune di Borgo Virgilio ricade fuori da una zona sismo genetica, la più vicina è la ITCS050 Poggio Rusco - Migliarina

Rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

Strutture compressive (prevalentemente *thrust*), allineate lungo la costa o a breve distanza da essa, sono responsabili della sismicità.

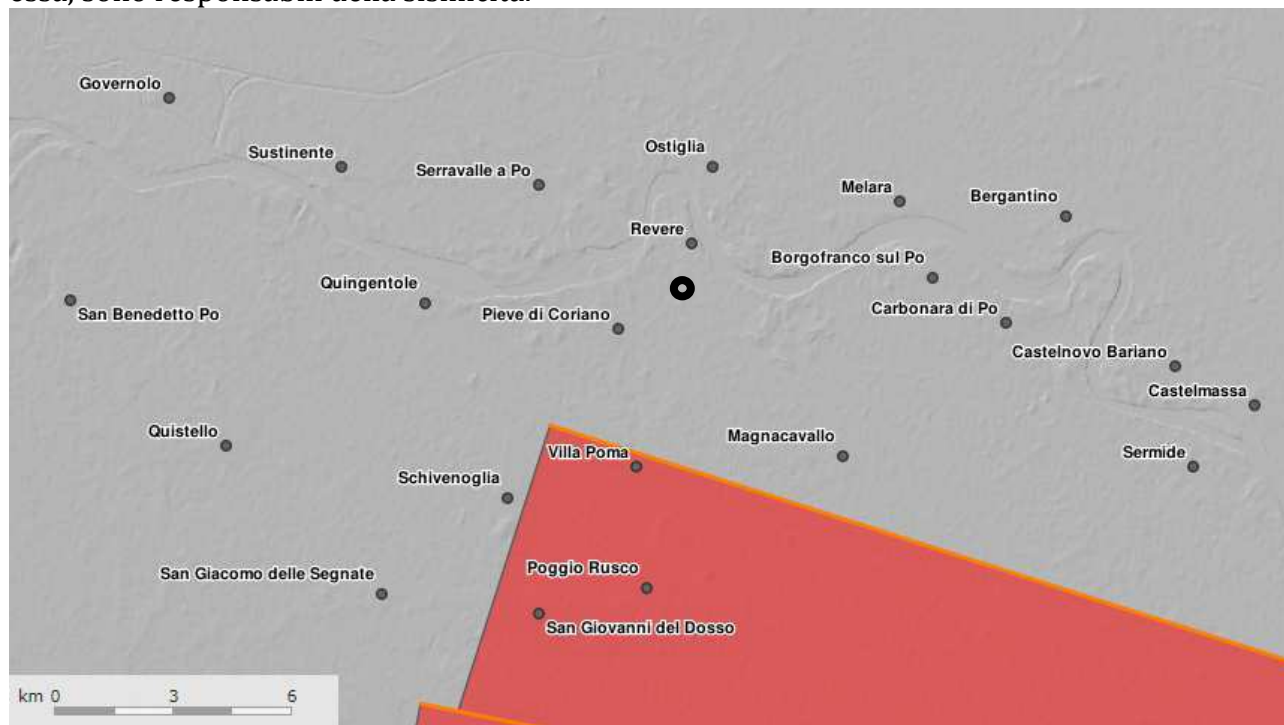


Fig.18. : Stralcio cartografica DISS da <http://diss.rm.ingv.it/dissmap>.

#### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	85... 115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	25... 55	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80... 100	OD	Based on geological data from various authors.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.39... 0.45	OD	Calculated using geologic subsurface data.
Max Magnitude [Mw]	5.5	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.

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

#### ACTIVE FAULTS

#### ACTIVE FOLDS



### 8.3. PERICOLOSITA' SISMICA

Il 20 Marzo 2003 è stata promulgata l'ordinanza n. 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" che fissa le regole per l'identificazione dei comuni sismici e definisce le norme tecniche costruttive per la progettazione di edifici e per le opere di fondazione.

In ottemperanza all'art. 2 della OPCM 3274 e s.m.i. e secondo quanto disposto dal D.Lgs n. 112/1988 che attribuiva alle Regioni la competenza di classificare il territorio secondo criteri generali, la Regione Lombardia, con D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha provveduto ad aggiornare i propri elenchi delle zone sismiche.

L'O.P.C.M. 3274 e s.m.i. è entrata in vigore il 23 ottobre 2005 in concomitanza con le nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 settembre 2005)

A ciascuna zona viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima ag su suolo rigido.

**In tempi recenti il 10 aprile 2016 è entrata in vigore la nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n.2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art.3, c.108, lett. d)".**

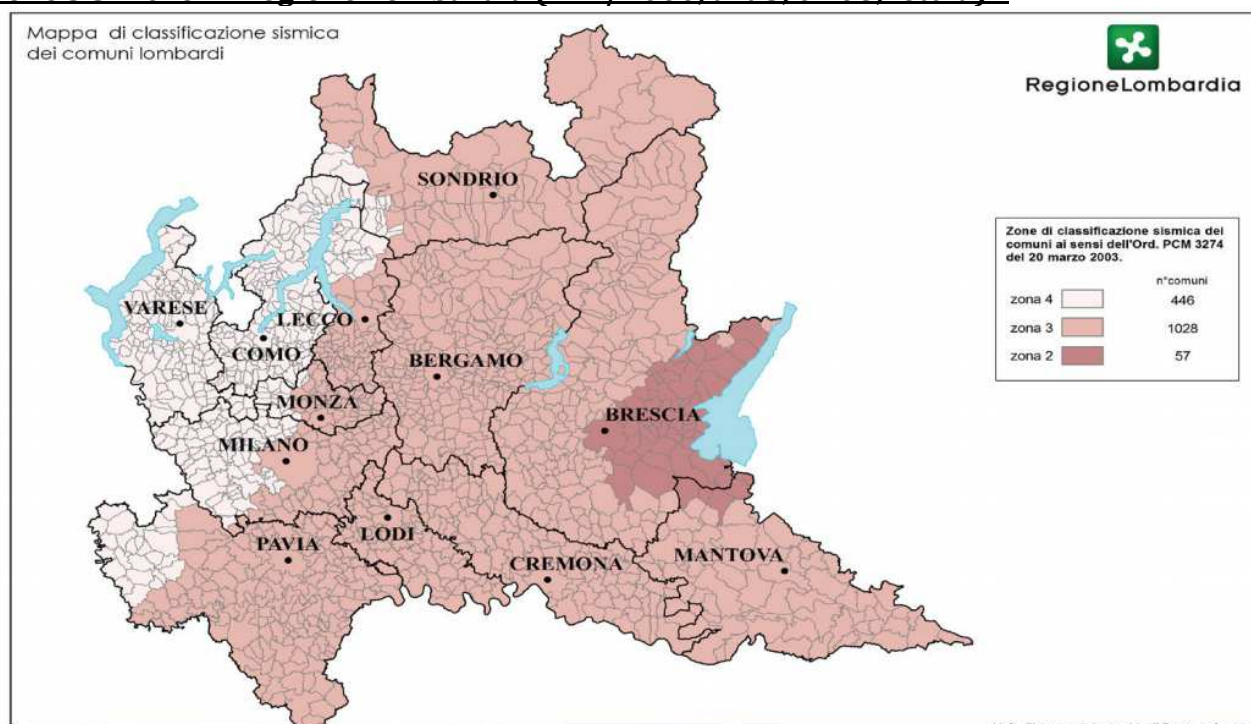


Fig.19. :Mappa di classificazione sismica dei Comuni Lombardi D.g.r. 2129/2014 entrata in vigore il 10/04/2016.

In base a tale classificazione, il territorio comunale di Borgo Mantovano appartiene alla zona sismica 3 e in pratica risulta identificato da un valore di accelerazione massima orizzontale, su suolo di riferimento con la probabilità del 10% di essere superato nei prossimi 50 anni (periodo di ritorno uguale a 475 anni), compreso fra 0.05g e 0.15g.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di Superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ )
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

La classificazione sismica del territorio nazionale deriva da una semplificazione nella valutazione dei livelli di pericolosità sismica che, seppur necessaria per l'applicazione di una normativa di primo riferimento, deve essere considerata come punto di partenza per la realizzazione di studi sismici a maggior dettaglio e a minor scala (microzonazione sismica).

In questo modo si può indirizzare lo sviluppo edificatorio e, in determinate situazioni, aumentare i livelli di protezione sismica previsti dalla normativa (livello minimo).

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni ((Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 e le recenti Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni) hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali.

Per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera; un valore di pericolosità di base, dunque, viene definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Tuttavia, i soli valori di  $a_g$  non sono sufficienti a descrivere le caratteristiche del moto atteso in un sito: esso viene identificato dallo spettro a probabilità uniforme (UHRS), che risulta costituito, per un intervallo di periodi, dai valori di accelerazione che hanno la stessa probabilità del 10% di essere superati nei prossimi 50 anni. Lo spettro UHRS deriva dagli studi di pericolosità sismica condotti a livello nazionale dall'Istituto di geofisica e vulcanologia secondo una metodologia di tipo probabilistico (approccio Cornell).

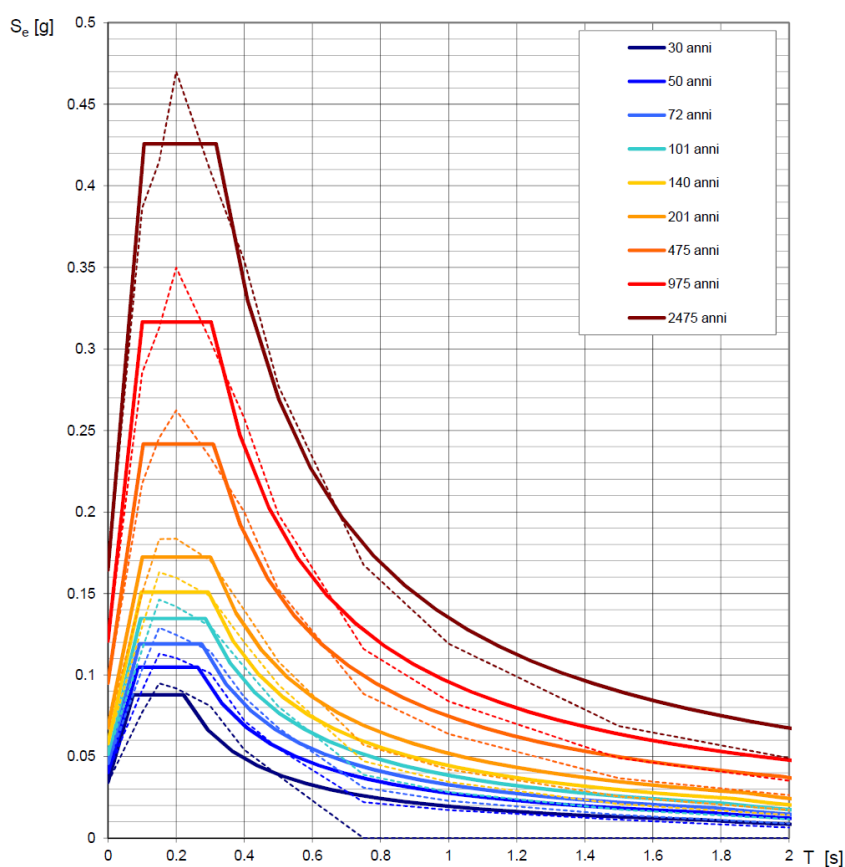
In figura 22 si riportano gli spettri UHRS (calcolati dalla media pesata dei valori relativi ai 4 vertici della griglia di accelerazioni - reticolo di riferimento per il calcolo degli studi di PS - INGV, 2006-2008 - che comprendono il sito in esame così come definito nell'Allegato A e B del D.M. 14.01.2008) e i relativi Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.

Si rileva come i valori ricavati dal criterio "sito dipendente" (**0.096 g**) (D.M. 14.01.2008) sia più allineato a quanto indicato nella nuova classificazione sismica della Lombardia che classifica il sito in classe sismica 3.

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.034	2.570	0.221
50	0.040	2.602	0.263
72	0.046	2.590	0.275
101	0.051	2.619	0.286
140	0.058	2.597	0.294
201	0.068	2.546	0.301
475	0.095	2.541	0.309
975	0.121	2.618	0.302
2475	0.164	2.588	0.317

### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:  
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig.20. : Spettri di risposta UHRS (calcolati dalla media pesata dei valori relativi ai 4 vertici della griglia di accelerazioni che comprendono il Comune di Borgo Mantovano) e i relativi Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.

Lo spettro UHRS individua la pericolosità sismica di base dell'area, ovvero identifica su base probabilistica le caratteristiche dello scuotimento del suolo (macrozonazione sismica) senza considerare alcuna modificazione che può subire il moto del suolo causata dal contesto geologico e geomorfologico dell'area, cioè senza modificazioni dovute a effetti locali.

Va tuttavia ribadito come le locali condizioni geologiche e geomorfologiche possano influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei terreni e dei materiali coinvolti; pertanto, gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito e quelli dovuti ad instabilità (o effetti cosismici).

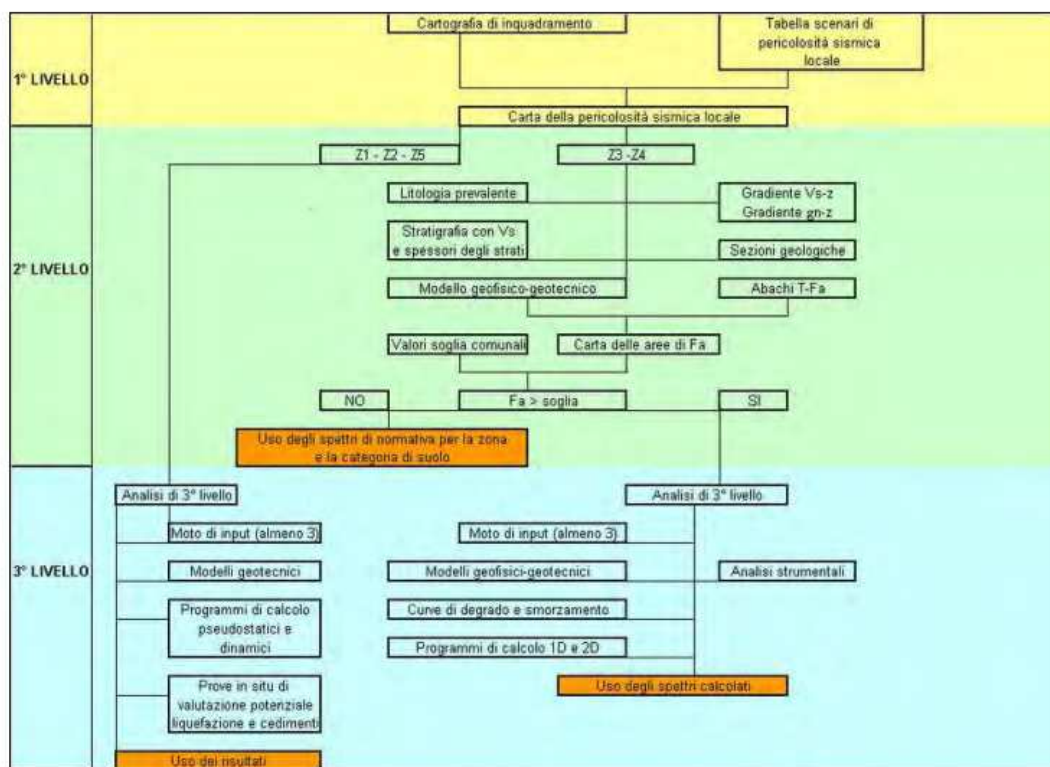
Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, ecc.), gli effetti di sito interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese.

Quest'ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali.

**Al fine di individuare gli effetti di sito locali, la D.G.R. 8/7374/2008 e la D.g.r. 2616 del novembre 2011 prevedono che, in fase di pianificazione urbanistica, venga affrontata una analisi della pericolosità sismica del territorio secondo livelli di approfondimento successivi.**

**Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente secondo lo schema seguente:**





## 8.4. ANALISI SISMICA LOCALE

### 8.4.1. Analisi di primo livello

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare la suscettibilità del sito di studio a effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

L'analisi di 1° livello consiste nel stabilire, in base alle caratteristiche litostratigrafiche, geomorfologiche e idrogeologiche definite da dati di bibliografia e dalle indagini geognostiche eseguite in sito e sulla base degli effetti indotti da terremoti nel passato, gli effetti sismici locali per l'area oggetto di intervento.

Considerando che:

- i terreni presenti nel sito di studio sono argille e argille limose da mediamente a poco consistenti, passanti, alla profondità media di - 8.00 metri a limi argillosi e limi sabbiosi e a 12 metri a sabbie;
- il livello della falda è stato misurato nei fori di prova in data 14/10/2021, alla quota variabile da -2.80 a - 3.60 metri;
- il sito è completamente pianeggiante;
- La Magnitudo momento definita sulla base della zona Sismogenetica di appartenenza  $M_w = 5.5$  (ITCS050 Poggio Rusco - Migliarina ).

Risulta che gli elementi geologici e geomorfologici e litostratigrafici che possono generare effetti locali nel sito in questione sulla base dell'intensità e degli effetti dei sismi nel passato sono:

- litotipi del substrato con Vs intorno a 800 m/sec;
- depositi granulari fini con livello superiore della falda acquifera a profondità minore di 15 m dal piano che possono generare fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici.

Quindi secondo la tabella di seguito esposta il sito oggetto di intervento si trova in zona Z2 "Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti" (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)

**Gli effetti attesi sono: Cedimenti e/o liquefazione.**

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Fig.21. :Scenari di pericolosità sismica locale

La classificazione come zona Z2 conferma quanto indicato nella Carta di Pericolosità Sismica Locale redatta per il PGT Comunale.



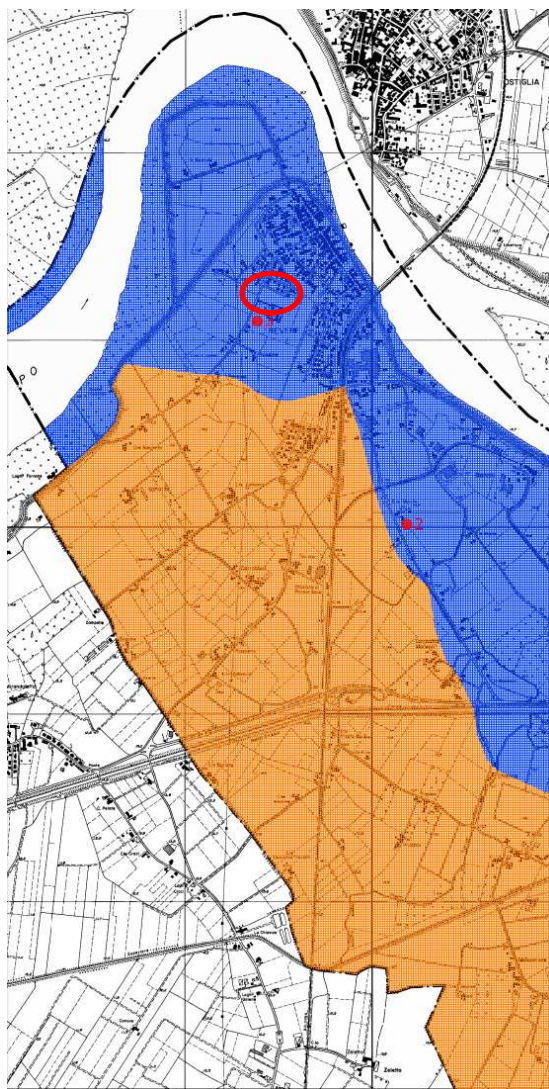


Fig.22. :Carta della pericolosità sismica locale Componente Geologica PGT Comunale

#### 8.4.2. Analisi di secondo livello

La procedura di 2° livello consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni essendo il sito ubicato in zona Z2 (effetti attesi: Cedimenti attesi e liquefazione ma anche amplificazione litologica).



#### 8.4.2.1 Modello geofisico del sottosuolo mediante analisi in sismica passiva HVSr e SPAC attiva MASW

L'indagine sismica ha consistito nelle acquisizioni di microtrempi a stazione singola di tipo HVSr e nella definizione del profilo di Vs mediante analisi di tipo SPAC e MFA - HoliSurface. I dati ottenuti dalla curva HVSr forniscono utili indicazioni soprattutto per quanto riguarda le frequenze di risonanza e sui fattori di amplificazione sismica dei suoli durante un terremoto mentre attraverso la tecnica SPAC e MFA - HoliSurface è stato possibile definire l'andamento delle Vs con la profondità e quindi la definizione delle  $V_{Seq}$  ai fini della classificazione sismica dei suoli di fondazione come previsto dal D.M. 17 gennaio 2018.

La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo e la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato sono ricavati dall'analisi di :

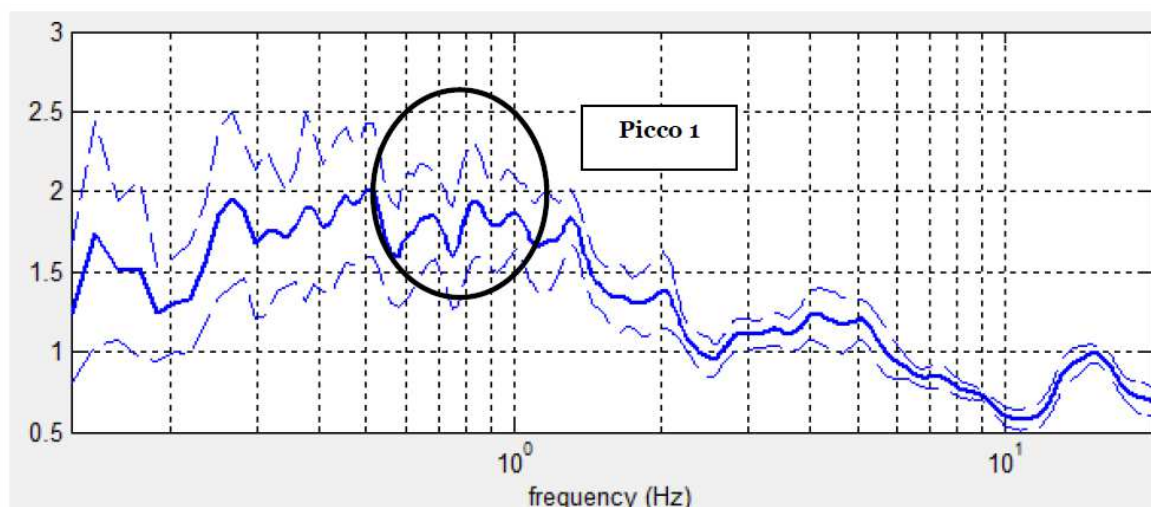
- n.1 indagine sismica passiva di microtrempi HV;
- n.2 indagini sismica passiva SPAC (nc-CCA);
- n.1 indagine sismica attiva MFA - Hs (onde Rayleigh



Fig.23. :Ubicazione prove sismiche eseguite in sito

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, si segnala 1 **picco stratigrafico** caratteristici **alla frequenza caratteristica di 0.7 Hz e periodo caratteristico pari a 1.43 s.** Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza non significativi ( $H/V < 2$ ) in caso di **moto sismico.**





Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)
1	~ 1.7	~ 0.7

#### 8.4.2.2 Modello sismico del sottosuolo NTC 2018

Secondo quanto indicato nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (22 Marzo 2018) § 3.2.2.:

*“I valori di  $V_{S,eq}$  sono ottenuti mediante specifiche prove..... La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$ ”*

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

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

$N$  numero di strati;

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

*Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità”.*

Il profilo di  $V_S$  con la profondità e il valore di  $V_{S,eq}$  è stato ricavato dalle analisi sismiche vincolando le curve spettrali alle prove CPT .

**$V_{S,eq} = V_{S(30)}$ : 200-205 m/s**

Secondo quanto indicato nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (22 Marzo 2018) § 3.2.2.:

*“Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.*

*In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2..... Le categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.*

**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.

Sulla base delle seguenti considerazioni:

- **interpretazione litostratigrafica del sito caratterizzata da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.**
- **profondità del substrato oltre i 30 metri,**
- **valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s definiti da prove sismiche in sito.**

**Conformemente a quanto indicato Normativa NTC 2018, si ritiene corretto fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sull’individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento .**

### 8.4.2.3 Valutazione fattore di amplificazione e parametri spettrali

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 Gennaio 2008 e aggiornamento D.M. 17 Gennaio 2018, viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Gli spettri di Norma sono quindi stati ottenuti per il sito di interesse a partire dalle coordinate geografiche del sito secondo la tecnica indicata dalle NTC08 della media pesata dei parametri sismici relativi ai quattro vertici più vicini del reticolo in cui è stato suddiviso il territorio italiano tramite il foglio di calcolo Spettri – NTC ver. 1.0.03 (fonte ministero Infrastrutture e Trasporti) .

Le coordinate in forma decimale ED50 del sito sono:

45.05555° N – 11.126891° E

Di seguito vengono indicati per il sito in oggetto i diversi spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite per un suolo di tipo A.

Per spettro di risposta si intende la massima accelerazione di un oscillatore (edificio di progetto) a un particolare input (terremoto) in funzione del periodo proprio e dello smorzamento.

Gli spettri di risposta su suolo rigido di seguito riportati vengono dati per gli stati limite di esercizio: lo stato limite di Operatività (SLO) e lo stato limite di Danno (SLD) e per gli stati limite ultimi: lo stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e lo stato limite di prevenzione del Collasso (SLC).

Le forme spettrali sono definite in base a dei parametri il cui valore dipende dai periodi di ritorno associato a ciascun stato limite.

Nella tabella di seguito riportata vengono definiti i parametri base degli spettri per i vari periodi di ritorno.

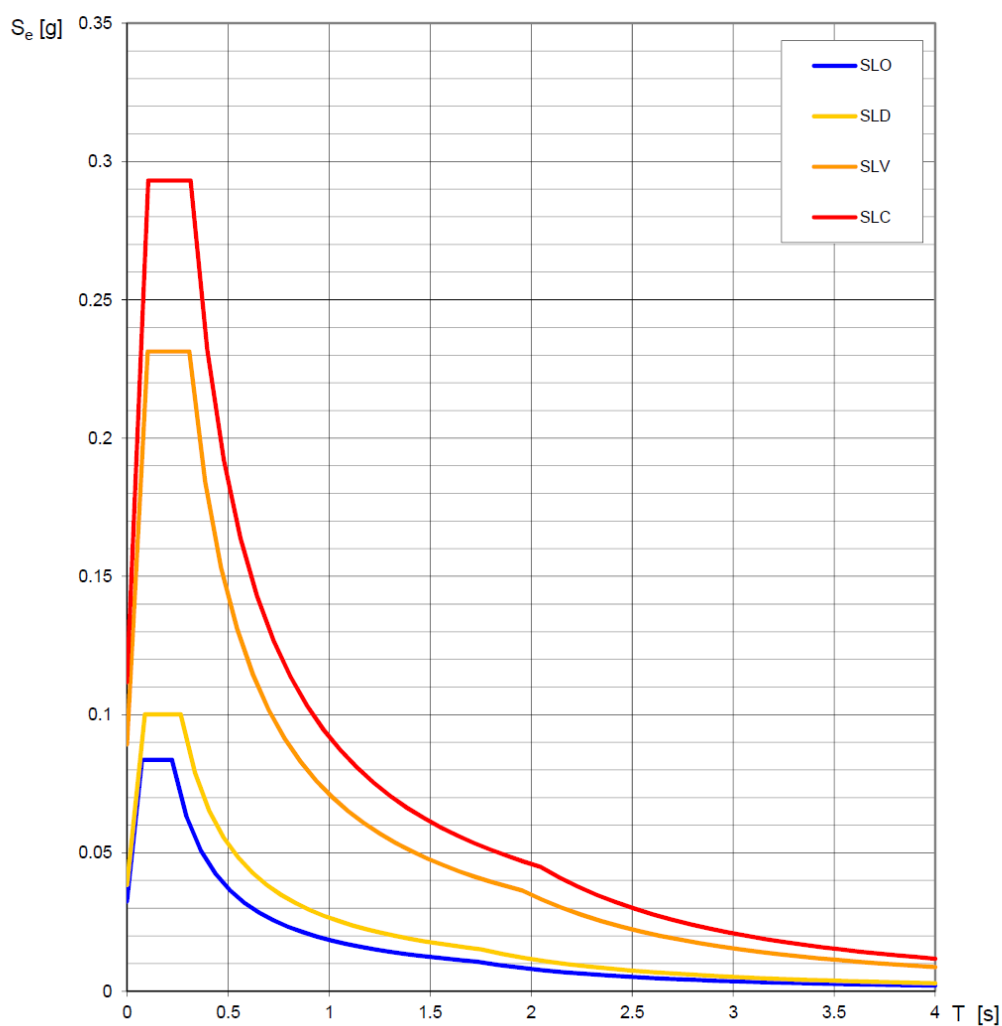
I parametri definiti sono

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

$T^*_c$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.033	2.573	0.222
SLD	50	0.038	2.605	0.266
SLV	475	0.089	2.588	0.308
SLC	975	0.112	2.622	0.314

Fig.24. : Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite su suolo di tipo A e tabella dei parametri relativa



Viene inoltre riportato lo spettro di risposta della componente orizzontale e verticale per lo spettro allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita con tempo di ritorno di 475 anni e smorzamento  $\xi = 5\%$  ipotizzando una costruzione caratterizzata da vita nominale di 50 anni di classe d'uso II (costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente) e quindi coefficiente  $C_u = 1$ .

**Per quanto attiene allo spettro di progetto allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita su suolo di tipo C:**

**Il valore di  $a_g(g)$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido = 0.089**

**Il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$  è stato calcolato pari a 2.588.**

**Il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T^*_c$  è uguale a 0.308 s**

**Il fattore di amplificazione stratigrafica  $S_s$  (poiché la categoria del suolo indagato è la C) risulta pari a 1.5.**

**Il fattore di amplificazione topografica  $S_T$  è pari a 1 poiché il sito è pianeggiante.**

**Accelerazione attesa in superficie  $PGA = a_g \times S_s = 0.1335g$**

Considerando la tabella 7.11.1 NTC 2018

**Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito**

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

**$K_h = 0.0267$        $K_v = 0.0133$        $\beta = 0.20$**

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

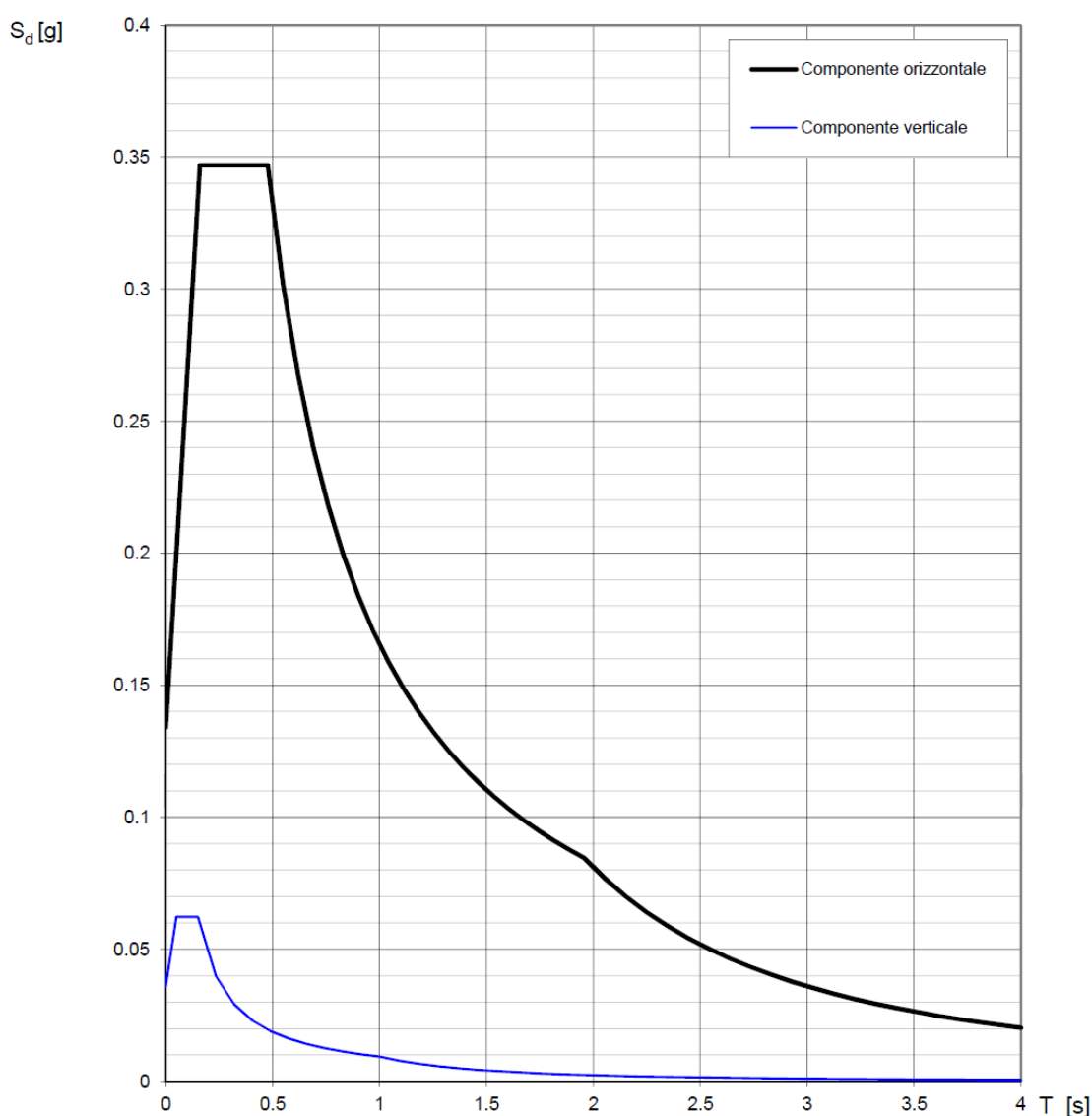


Fig.25. : Spettro di risposta elastico per lo stato limite di salvaguardia della vita su suolo di studio di tipo C.

### 8.4.3. Analisi di terzo livello

#### 8.4.3.1 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito

In conformità a quanto indicato nell'analisi di primo livello, considerando che per il sito oggetto di studio, nessuna delle circostanze dettate nel capitolo 7.11.3.4.2 (NTC 2018) è soddisfatta, considerando che dalla valutazione delle caratteristiche litologiche del sito in

esame, si riscontrano terreni di natura sabbiosa e limo-sabbiosa a partire dalla profondità di – 8.00 m dal piano campagna, occorre fare una valutazione preventiva del potenziale rischio liquefazione dei terreni riscontrati in sito.

Intendendo con liquefazione, quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Al fine di verificare la stabilità o criticità del sito nei confronti dei processi di liquefazione, l'analisi **rischio liquefazione è stata realizzata sulle verticali della prova CPT e CPTU eseguite in sito mediante metodi semplificati, che in condizioni di free field permettono un'analisi puntuale e significativa della zona di indagine, considerando gli input di seguito descritti.**

Dall'analisi dei livelli di falda di bibliografia e delle misure del livello di soggiacenza della falda, eseguiti in più punti di prove penetrometriche realizzate in adiacenza al sito, in diversi periodi di ricarica della falda, sia considerando il livello del freatico misurato in sito in data 14.10.2021 che si posiziona alla quota variabile da – 2.80 m a – 3.60 m dal p.c., **la massima soggiacenza della falda freatica nel sito di studio può essere considerata pari a – 2.00 m dal p.c.**

**La Magnetudo Mw pari a 5.50** considerata è quella della zona sismogenetica ITCS050 Poggio Rusco – Migliarina di appartenenza del sito come da indicazioni dell'INGV.

La FAPGA del sito risulta 1.5 e quindi  $a_{gmax} = 0.133$  definita dall'azione sismica secondo le NTC 2018 per la categoria di suolo C

Per la verticale di prova, è stato riportato l'andamento del fattore di sicurezza nei confronti **della liquefazione FL(Z) fino alla profondità critica di 10 e 20 metri (Z crit) da piano campagna.**

La stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL che viene calcolato secondo la formula del DM 2018.

$$\text{Indice del Potenziale di liquefazione IL} = \sum_{i=1}^n FW(z)\Delta z$$

con :

n = numero intervalli di calcolo di Fs lungo la verticale;

F = (funzione del fattore di sicurezza)  $1 - F_s$  per  $F_s \leq 1$  ed  $F = 0$  per  $F_s > 1$  ( $F_s$  = fattore di sicurezza)

$\Delta z$  = spessore intervallo di calcolo;

$W(z) = 10 - 0,5z$ , con  $z$  = profondità di calcolo (max 20 m);

Tra i vari metodi semplificati da prove CPT che permettono un'analisi puntuale del rischio liquefazione riconosciuti dalla Comunità Scientifica Internazionale, si è scelto, di utilizzare come metodo semplificato di analisi, **Idriss e Boulanger 2008 che è indicato al punto 3.3 della determinazione regionale n. 1105 del 03/02/2014** redatta ai fini degli interventi esecutivi per mitigare il rischio liquefazione, come *“quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito dal confronto fra i vari metodi utilizzati dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012”*. Si ritiene, inoltre, sulla base di risultati di diverse analisi eseguite in sito dalla scrivente nel territorio interessato dagli eventi sismici del 2012 che, come da quanto indicato nella Dgr 1105 /2014,

in fase di progetti esecutivi, il metodo semplificato di Idriss e Boulanger (2008) sia quello che meglio analizza e definisce il valore dell'indice IPL e del rischio liquefazione.

Il calcolo dell'indice IPL è stato definito, per la prova CPT, anche considerando le seguenti equazioni di regressione CPT funzione di CPT meccanica in considerazione del fatto che tutti i metodi semplificati di calcolo dell'indice di liquefazione sono stati pensati e basati su prove CPT e non su prove CPT meccaniche.

Quindi tramite le seguenti equazioni di regressione vengono ricalcolate le resistenze corrette per punta elettrica per due modelli di calcolo (Juang et al. 2006, Boulanger e Idriss 2014), quindi ricalcolate tutte le grandezze funzione di  $qc1Ncs$  ( $CRR_{7.5-\sigma}$ ,  $MSF$ ,  $K\sigma$ , ecc.):

$$qc1Ncs,e = 0.8714 \cdot qc1Ncs,m + 4.3138 \quad (Juang \text{ et al. } 2006)$$

$$qc1Ncs,e = 0.0260 \cdot qc1Ncs,m^{1.5611} + 49.6590 \quad (Boulanger \text{ e } Idriss \text{ } 2014)$$

**Si ritiene che gli input scelti per le verifiche ( $ag_{max}$ , livello di falda,  $Mw$  e metodi di analisi) sono tutti stati definiti a favore di cautela e per quanto motivato sopra, si ritiene che l'analisi rischio liquefazione eseguita sulle verticali delle prove CPT eseguite in sito, sia adeguata ai terreni presenti nel suolo e sottosuolo del sito di ubicazione dell'edificio oggetto di intervento.**

## VERIFICA CPTU N.1

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: VASCA DI LAMINAZIONE

Codice identificativo 44.21

Cliente: AIMAG SPA

Indirizzo, Coordinate: VIA FOSCOLO - REVERE

Data 14/10/2021

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 2 m

#### DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.089

Fattore amplificazione 2.588

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza  $V_{s30}=180-360$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico ( $Mw$ ) 6

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.1335



## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizio ne	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenz a qc (KPa)	Resistenz a attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1.4	17	19	0	0	2480	51.58	150
2	Argilla	1.4	2	15	17	0	0	1210	39.68	150
3	Argilla	2	3.4	15	17	0	0	720	16.73	150
4	Argilla	3.4	4.7	15	17	0	0	930	33	150
5	Limo argilloso	4.7	5.7	16	18	0	0	950	36.75	150
6	Limo argilloso	5.7	7	17	19	0	0	1400	43.2	180
7	Limo argilloso	7	8.15	17	19	0	0	1920	76.51	180
8	Limo sabbioso	8.15	8.7	17	19.5	0	0	3420	70.24	180
9	Limo argilloso	8.7	9.6	17	19	0	0	1490	40.23	180
10	Limo sabbioso	9.6	10.2	17	19.5	0	0	3340	47.1	180
11	Limo argilloso	10.2	10.5	17	19	0	0	1350	30.58	180
12	Sabbia	10.5	19.2	18	20	0	0	14670	33.52	250
13	Sabbia	19.2	20	18	20	0	0	15970	44.48	250

### Idriss & Boulanger, 2008

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.48

Nr.	Profon dità dal p.c. (m)	Pressio ne litostati ca totale (KPa)	Pression e verticale effettiva (KPa)	Resisten za alla punta normali zzata Q	Attrito lateral e norma lizzato F(%)	Indice di compo rtame nto Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resisten za alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi ciente ridotti vo (rd)	Resist enza alla liquef azione (CRR)	Sforzo di taglio norma lizzato (CSR)	Coeffi ciente di sicure zza Fs	Rischio
1	2.20	36.200	34.239	7.106	2.447	2.773	2.410773	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
2	2.40	39.600	35.677	7.106	2.459	2.787	2.339369	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
3	2.60	43.000	37.116	7.106	2.471	2.799	2.275446	0.000	1.004	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
4	2.80	46.400	38.555	7.106	2.484	2.813	2.211975	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
5	3.00	49.800	39.993	7.106	2.496	2.825	2.15464	0.000	0.995	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
6	3.20	53.200	41.432	7.106	2.509	2.837	2.10008	0.000	0.991	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
7	3.40	56.600	42.871	7.106	2.522	2.850	2.04608	0.000	0.986	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
8	3.60	60.000	44.309	9.178	3.793	2.879	1.94523	0.000	0.982	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES
9	3.80	63.400	45.748	9.178	3.808	2.889	1.901352	0.000	0.977	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_ RES

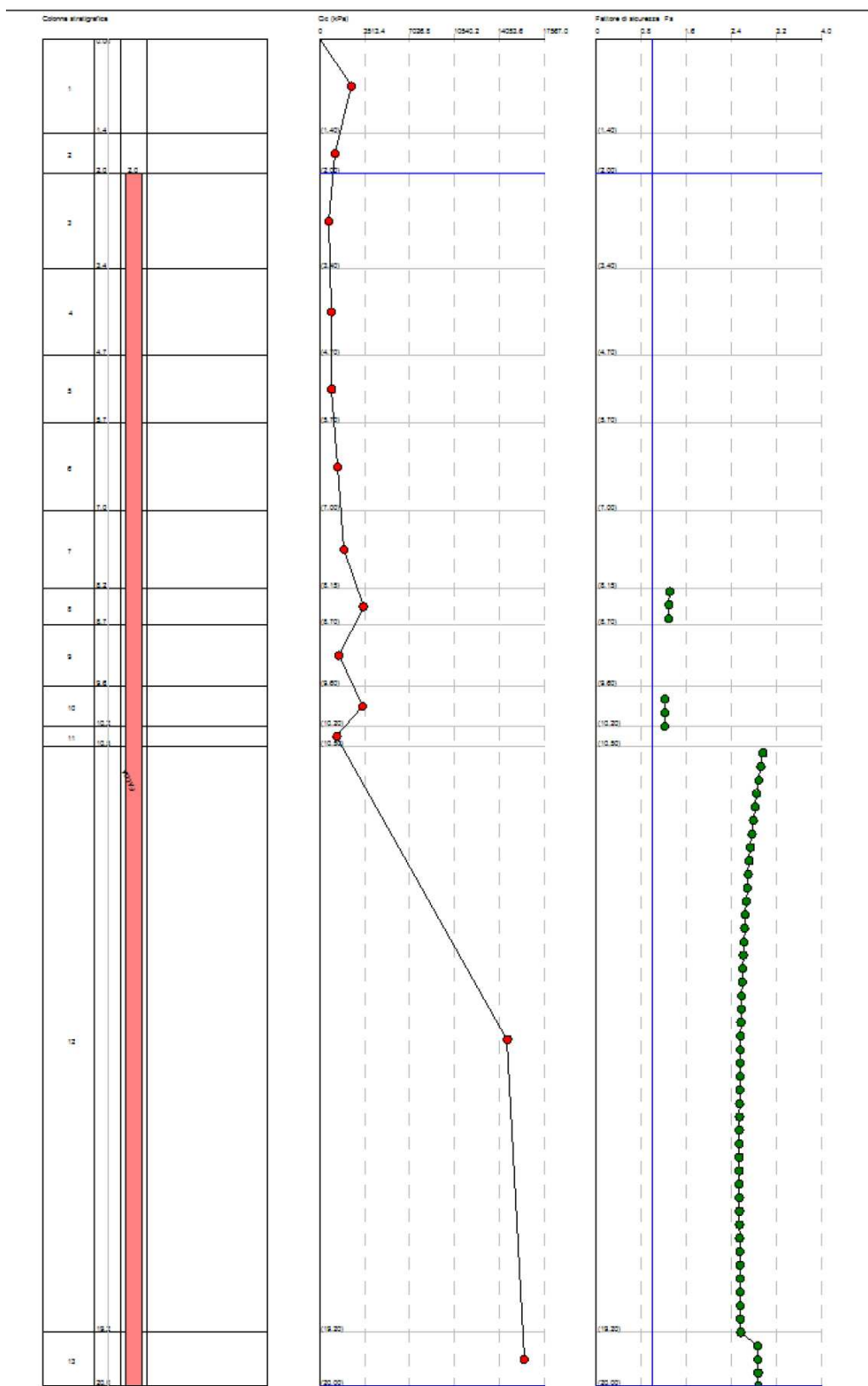
10	4.00	66.800	47.187	9.178	3.823	2.899	1.857822	0.000	0.972	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
11	4.20	70.200	48.625	9.178	3.838	2.909	1.817701	0.000	0.967	0.000	0.000	0.000	RES
12	4.40	73.600	50.064	9.178	3.853	2.919	1.779202	0.000	0.962	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
13	4.60	77.000	51.503	9.178	3.869	2.928	1.742232	0.000	0.957	0.000	0.000	0.000	RES
14	4.80	80.500	53.041	9.376	4.227	2.954	1.70109	0.000	0.952	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
15	5.00	84.100	54.680	9.376	4.244	2.964	1.661753	0.000	0.947	0.000	0.000	0.000	RES
16	5.20	87.700	56.319	9.376	4.262	2.974	1.625004	0.000	0.942	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
17	5.40	91.300	57.957	9.376	4.280	2.984	1.589771	0.000	0.937	0.000	0.000	0.000	RES
18	5.60	94.900	59.596	9.376	4.298	2.994	1.555378	0.000	0.931	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
19	5.80	98.600	61.335	13.817	3.320	2.798	1.482979	0.000	0.926	0.000	0.000	0.000	RES
20	6.00	102.400	63.173	13.817	3.329	2.807	1.451316	0.000	0.921	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
21	6.20	106.200	65.012	13.817	3.339	2.816	1.420521	0.000	0.915	0.000	0.000	0.000	RES
22	6.40	110.000	66.851	13.817	3.349	2.825	1.391383	0.000	0.910	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
23	6.60	113.800	68.689	13.817	3.359	2.834	1.363366	0.000	0.905	0.000	0.000	0.000	RES
24	6.80	117.600	70.528	13.817	3.369	2.842	1.336406	0.000	0.899	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
25	7.00	121.400	72.367	13.817	3.379	2.851	1.310236	0.000	0.894	0.000	0.000	0.000	RES
26	7.20	125.200	74.205	18.949	4.263	2.813	1.267604	0.000	0.888	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
27	7.40	129.000	76.044	18.949	4.272	2.820	1.245227	0.000	0.883	0.000	0.000	0.000	RES
28	7.60	132.800	77.883	18.949	4.281	2.827	1.223595	0.000	0.877	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
29	7.80	136.600	79.721	18.949	4.290	2.834	1.202673	0.000	0.871	0.000	0.000	0.000	RES
30	8.00	140.400	81.560	18.949	4.299	2.841	1.182344	0.000	0.866	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
31	8.20	144.225	83.424	33.753	2.144	2.455	1.142391	80.079	0.860	0.113	0.129	1.302	RES
32	8.40	148.125	85.362	33.753	2.147	2.461	1.125086	79.366	0.854	0.112	0.129	1.293	MOLTOBASSO_
33	8.60	152.025	87.301	33.753	2.149	2.467	1.108287	78.672	0.849	0.111	0.128	1.286	RES
34	8.80	155.875	89.190	14.705	3.015	2.864	1.10992	78.672	0.843	0.111	0.128	0.000	MOLTOBASSO_
35	9.00	159.675	91.028	14.705	3.024	2.871	1.091827	78.672	0.837	0.111	0.128	0.000	RES
36	9.20	163.475	92.867	14.705	3.033	2.879	1.074271	78.672	0.832	0.111	0.128	0.000	MOLTOBASSO_
37	9.40	167.275	94.706	14.705	3.041	2.886	1.057257	78.672	0.826	0.111	0.128	0.000	RES

38	9.60	171.075	96.544	14.705	3.050	2.893	1.040743	78.672	0.820	0.111	0.128	0.000	RES
39	9.80	174.975	98.483	32.963	1.488	2.410	1.020348	72.994	0.815	0.103	0.126	1.220	MOLTOBASSO_
40	10.00	178.875	100.422	32.963	1.490	2.415	1.006381	72.452	0.809	0.103	0.125	1.217	RES
41	10.20	182.775	102.361	32.963	1.492	2.421	0.9927803	71.924	0.803	0.102	0.124	1.214	MOLTOBASSO_
42	10.40	186.575	104.199	13.323	2.628	2.923	0.9765654	71.924	0.798	0.102	0.124	0.000	RES
43	10.60	190.475	106.138	144.782	0.231	1.448	0.9770645	144.282	0.792	0.248	0.123	2.966	MOLTOBASSO_
44	10.80	194.475	108.177	144.782	0.232	1.452	0.967814	143.083	0.786	0.243	0.123	2.925	RES
45	11.00	198.475	110.215	144.782	0.232	1.456	0.9588213	141.924	0.781	0.239	0.122	2.887	MOLTOBASSO_
46	11.20	202.475	112.254	144.782	0.232	1.460	0.9500747	140.802	0.775	0.235	0.121	2.853	RES
47	11.40	206.475	114.293	144.782	0.232	1.464	0.9415632	139.715	0.769	0.231	0.121	2.822	MOLTOBASSO_
48	11.60	210.475	116.331	144.782	0.232	1.467	0.9332764	138.662	0.764	0.228	0.120	2.793	RES
49	11.80	214.475	118.370	144.782	0.232	1.471	0.9252046	137.641	0.758	0.225	0.119	2.767	MOLTOBASSO_
50	12.00	218.475	120.409	144.782	0.232	1.474	0.9173388	136.650	0.753	0.222	0.118	2.743	RES
51	12.20	222.475	122.447	144.782	0.232	1.478	0.9096701	135.690	0.747	0.219	0.118	2.721	MOLTOBASSO_
52	12.40	226.475	124.486	144.782	0.232	1.481	0.9021907	134.757	0.742	0.216	0.117	2.701	RES
53	12.60	230.475	126.525	144.782	0.232	1.485	0.8948927	133.851	0.736	0.213	0.116	2.683	MOLTOBASSO_
54	12.80	234.475	128.563	144.782	0.232	1.488	0.8877691	132.971	0.731	0.211	0.116	2.666	RES
55	13.00	238.475	130.602	144.782	0.232	1.491	0.8808129	132.115	0.725	0.209	0.115	2.651	MOLTOBASSO_
56	13.20	242.475	132.641	144.782	0.232	1.495	0.8740177	131.284	0.720	0.206	0.114	2.637	RES
57	13.40	246.475	134.679	144.782	0.232	1.498	0.8673774	130.475	0.714	0.204	0.113	2.625	MOLTOBASSO_
58	13.60	250.475	136.718	144.782	0.232	1.501	0.860886	129.688	0.709	0.202	0.113	2.613	RES
59	13.80	254.475	138.757	144.782	0.233	1.504	0.8545384	128.921	0.704	0.200	0.112	2.603	MOLTOBASSO_
60	14.00	258.475	140.795	144.782	0.233	1.507	0.8483292	128.175	0.698	0.198	0.111	2.594	RES
61	14.20	262.475	142.834	144.782	0.233	1.510	0.8422533	127.449	0.693	0.197	0.111	2.585	MOLTOBASSO_
62	14.40	266.475	144.873	144.782	0.233	1.513	0.8363062	126.740	0.688	0.195	0.110	2.578	RES
63	14.60	270.475	146.911	144.782	0.233	1.516	0.8304832	126.050	0.683	0.193	0.109	2.571	MOLTOBASSO_
64	14.80	274.475	148.950	144.782	0.233	1.519	0.8247802	125.377	0.678	0.192	0.108	2.565	RES

65	15.00	278.475	150.989	144.782	0.233	1.522	0.8191932	124.721	0.673	0.190	0.108	2.560	MOLTOBASSO_
66	15.20	282.475	153.027	144.782	0.233	1.525	0.8137181	124.080	0.668	0.189	0.107	2.556	RES
67	15.40	286.475	155.066	144.782	0.233	1.528	0.8083514	123.455	0.663	0.187	0.106	2.552	MOLTOBASSO_
68	15.60	290.475	157.105	144.782	0.233	1.530	0.8030894	122.845	0.658	0.186	0.105	2.549	RES
69	15.80	294.475	159.143	144.782	0.233	1.533	0.7979289	122.249	0.653	0.184	0.105	2.547	MOLTOBASSO_
70	16.00	298.475	161.182	144.782	0.233	1.536	0.7928668	121.667	0.648	0.183	0.104	2.545	RES
71	16.20	302.475	163.221	144.782	0.233	1.539	0.7878996	121.099	0.643	0.182	0.103	2.543	MOLTOBASSO_
72	16.40	306.475	165.259	144.782	0.233	1.541	0.7830247	120.543	0.638	0.181	0.103	2.542	RES
73	16.60	310.475	167.298	144.782	0.233	1.544	0.7782391	120.000	0.633	0.180	0.102	2.542	MOLTOBASSO_
74	16.80	314.475	169.337	144.782	0.233	1.546	0.7735403	119.468	0.629	0.178	0.101	2.542	RES
75	17.00	318.475	171.375	144.782	0.234	1.549	0.7689255	118.949	0.624	0.177	0.101	2.542	MOLTOBASSO_
76	17.20	322.475	173.414	144.782	0.234	1.552	0.7643923	118.440	0.619	0.176	0.100	2.543	RES
77	17.40	326.475	175.453	144.782	0.234	1.554	0.7599385	117.943	0.615	0.175	0.099	2.544	MOLTOBASSO_
78	17.60	330.475	177.491	144.782	0.234	1.557	0.7555615	117.455	0.610	0.174	0.099	2.545	RES
79	17.80	334.475	179.530	144.782	0.234	1.559	0.7512594	116.979	0.606	0.173	0.098	2.547	MOLTOBASSO_
80	18.00	338.475	181.569	144.782	0.234	1.561	0.7470298	116.512	0.601	0.172	0.097	2.549	RES
81	18.20	342.475	183.607	144.782	0.234	1.564	0.7428709	116.054	0.597	0.171	0.097	2.552	MOLTOBASSO_
82	18.40	346.475	185.646	144.782	0.234	1.566	0.7387808	115.606	0.593	0.171	0.096	2.554	RES
83	18.60	350.475	187.685	144.782	0.234	1.569	0.7347574	115.167	0.589	0.170	0.095	2.557	MOLTOBASSO_
84	18.80	354.475	189.723	144.782	0.234	1.571	0.7307991	114.736	0.584	0.169	0.095	2.560	RES
85	19.00	358.475	191.762	144.782	0.234	1.573	0.7269041	114.314	0.580	0.168	0.094	2.563	MOLTOBASSO_
86	19.20	362.475	193.801	144.782	0.234	1.576	0.7230706	113.901	0.576	0.167	0.094	2.567	RES
87	19.40	366.475	195.839	157.612	0.285	1.577	0.7192973	123.139	0.572	0.186	0.093	2.873	MOLTOBASSO_
88	19.60	370.475	197.878	157.612	0.285	1.579	0.7155823	122.693	0.568	0.185	0.092	2.875	RES
89	19.80	374.475	199.917	157.612	0.285	1.582	0.7119244	122.256	0.564	0.184	0.092	2.878	MOLTOBASSO_
													RES

IPL (Sonmez)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso





## VERIFICA CPT1

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: VASCA DI LAMINAZIONE

Codice identificativo 44.21

Cliente: AIMAG S.P.A.

Indirizzo, Coordinate: VIA FOSCOLO - REVERE -

Data 14/10/2021

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1

#### FALDA

Profondità falda idrica 2 m

#### DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.089

Fattore amplificazione 2.588

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.1335

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenz a qc (KPa)	Resistenz a attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla limosa	0.2	0.4	15	17	0	0	980	98	150
2	Argilla limosa	0.4	0.6	15	17	0	0	2450	117.6	150
3	Argilla limosa	0.6	0.8	15	17	0	0	1370	84.9	150
4	Argilla limosa	0.8	1	15	17	0	0	1270	91.5	150
5	Argilla limosa	1	1.2	15	17	0	0	1180	104.5	150
6	Argilla limosa	1.2	1.4	15	17	0	0	780	65.3	150
7	Argilla limosa	1.4	1.6	15	17	0	0	780	58.8	150
8	Argilla limosa	1.6	1.8	15	17	0	0	1080	39.2	150
9	Argilla limosa	1.8	2	15	17	0	0	780	45.7	150
10	Argilla limosa	2	2.2	15	17	0	0	590	32.7	150
11	Argilla	2.2	2.4	15	17	0	0	590	32.7	150

12	limosa Argilla	2.4	2.6	15	17	0	0	780	32.7	150
13	limosa Argilla	2.6	2.8	15	17	0	0	590	26.1	150
14	limosa Argilla	2.8	3	15	17	0	0	1080	32.7	150
15	limosa Argilla	3	3.2	15	17	0	0	1370	39.2	150
16	limosa Argilla	3.2	3.4	15	17	0	0	1270	52.3	150
17	limosa Argilla	3.4	3.6	15	17	0	0	1470	71.9	150
18	limosa Argilla	3.6	3.8	15	17	0	0	1270	52.3	150
19	limosa Argilla	3.8	4	15	17	0	0	880	58.8	150
20	limosa Argilla	4	4.2	15	17	0	0	880	58.8	150
21	limosa Argilla	4.2	4.4	15	17	0	0	780	45.7	150
22	limosa Argilla	4.4	4.6	15	17	0	0	1080	39.2	150
23	limosa Argilla	4.6	4.8	15	17	0	0	780	52.3	150
24	limosa Argilla	4.8	5	15	17	0	0	780	45.7	150
25	limosa Argilla	5	5.2	15	17	0	0	690	39.2	150
26	limosa Argilla	5.2	5.4	15	17	0	0	590	32.7	150
27	limosa Argilla	5.4	5.6	15	17	0	0	780	39.2	150
28	limosa Argilla	5.6	5.8	15	17	0	0	1270	71.9	150
29	limosa Argilla	5.8	6	15	17	0	0	2550	71.9	150
30	Argilla	6	6.2	17	19	0	0	3330	104.5	150
31	Argilla	6.2	6.4	17	19	0	0	4310	124.1	180
32	Argilla	6.4	6.6	17	19	0	0	4900	163.3	180
33	Argilla	6.6	6.8	17	19	0	0	3530	143.7	180
34	Argilla	6.8	7	17	19	0	0	4310	124.1	180
35	Argilla	7	7.2	17	19	0	0	4310	182.9	180
36	Argilla	7.2	7.4	17	19	0	0	4900	163.3	180
37	Argilla	7.4	7.6	17	19	0	0	3720	163.3	180
38	Argilla	7.6	7.8	17	19	0	0	2450	143.7	180
39	Limo	7.8	8	17	19	0	0	2450	124.1	180
40	argilloso e sabbioso Limo	8	8.2	17	19	0	0	1860	84.9	180
41	argilloso e sabbioso Limo	8.2	8.4	17	19	0	0	1370	71.9	180

42	Limo argilloso e sabbioso	8.4	8.6	17	19	0	0	1470	52.3	180
43	Limo argilloso e sabbioso	8.6	8.8	17	19	0	0	1670	71.9	180
44	Limo argilloso e sabbioso	8.8	9	17	19	0	0	1570	65.3	180
45	Limo argilloso e sabbioso	9	9.2	17	19	0	0	4210	78.4	180
46	Limo argilloso e sabbioso	9.2	9.4	17	19	0	0	3920	65.3	180
47	Limo argilloso e sabbioso	9.4	9.6	17	19	0	0	3820	156.8	180
48	Limo argilloso e sabbioso	9.6	9.8	17	19	0	0	3820	91.5	180
49	Limo argilloso e sabbioso	9.8	10	17	19	0	0	1760	124.1	180
50	Limo argilloso e sabbioso	10	10.2	17	19	0	0	2160	130.7	180
51	Limo argilloso e sabbioso	10.2	10.4	17	19	0	0	3720	39.2	180
52	Limo argilloso e sabbioso	10.4	10.6	17	19	0	0	6860	78.4	180
53	Limo argilloso e sabbioso	10.6	10.8	17	19	0	0	5680	111.1	180
54	Limo argilloso e sabbioso	10.8	11	17	19	0	0	4900	78.4	180
55	Limo argilloso e sabbioso	11	11.2	17	19	0	0	5490	130.7	180
56	Limo argilloso e sabbioso	11.2	11.4	17	19	0	0	6270	91.5	180
57	Limo argilloso e sabbioso	11.4	11.6	17	19	0	0	5100	117.6	180
58	Limo argilloso e sabbioso	11.6	11.8	17	19	0	0	4900	196	180
59	Limo argilloso e sabbioso	11.8	12	17	19	0	0	4120	182.9	250
60	Sabbia	12	12.2	18	20	0	0	10290	98	250



61	Sabbia	12.2	12.4	18	20	0	0	12740	130.7	250
62	Sabbia	12.4	12.6	18	20	0	0	13230	150.3	250
63	Sabbia	12.6	12.8	18	20	0	0	17640	130.7	250
64	Sabbia	12.8	13	18	20	0	0	14700	130.7	250
65	Sabbia	13	13.2	18	20	0	0	12740	163.3	250
66	Sabbia	13.2	13.4	18	20	0	0	14210	163.3	250
67	Sabbia	13.4	13.6	18	20	0	0	17150	163.3	250
68	Sabbia	13.6	13.8	18	20	0	0	15190	111.1	250
69	Sabbia	13.8	14	18	20	0	0	9410	124.1	250
70	Sabbia	14	14.2	18	20	0	0	9600	143.7	250
71	Sabbia	14.2	14.4	18	20	0	0	6080	182.9	250
72	Sabbia	14.4	14.6	18	20	0	0	10190	71.9	250
73	Sabbia	14.6	14.8	18	20	0	0	10780	104.5	250
74	Sabbia	14.8	15	18	20	0	0	19110	163.3	250
75	Sabbia	15	15.2	18	20	0	0	16660	130.7	250
76	Sabbia	15.2	15.4	18	20	0	0	19600	196	250
77	Sabbia	15.4	15.6	18	20	0	0	20580	163.3	250
78	Sabbia	15.6	15.8	18	20	0	0	23520	196	250
79	Sabbia	15.8	16	18	20	0	0	19110	163.3	250
80	Sabbia	16	16.2	18	20	0	0	24990	196	250
81	Sabbia	16.2	16.4	18	20	0	0	25480	196	250
82	Sabbia	16.4	16.6	18	20	0	0	26460	196	250
83	Sabbia	16.6	16.8	18	20	0	0	23520	130.7	250
84	Sabbia	16.8	17	18	20	0	0	26460	196	250
85	Sabbia	17	17.2	18	20	0	0	24010	150.3	250
86	Sabbia	17.2	17.4	18	20	0	0	19600	130.7	250
87	Sabbia	17.4	17.6	18	20	0	0	25480	163.3	250
88	Sabbia	17.6	17.8	18	20	0	0	24500	169.9	250
89	Sabbia	17.8	18	18	20	0	0	17640	130.7	250
90	Sabbia	18	18.2	18	20	0	0	22540	163.3	250
91	Sabbia	18.2	18.4	18	20	0	0	21560	196	250
92	Sabbia	18.4	18.6	18	20	0	0	26460	196	250
93	Sabbia	18.6	18.8	18	20	0	0	27440	196	250
94	Sabbia	18.8	19	18	20	0	0	23520	163.3	250
95	Sabbia	19	19.2	18	20	0	0	21560	130.7	250
96	Sabbia	19.2	19.4	18	20	0	0	22540	163.3	250
97	Sabbia	19.4	19.6	18	20	0	0	17640	130.7	250
98	Sabbia	19.6	19.8	18	20	0	0	22540	163.3	250
99	Sabbia	19.8	20	17	19	0	0	4310	117.6	250

### Idriss & Boulanger, 2008

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.69

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza a alla punta normalizzata Q	Attrito laterale e normalizzato F(%)	Indice di compattamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza a alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridotti vo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza zza Fs	Rischio
1	2.20	33.400	31.439	5.823	5.875	3.049	2.628093	0.000	1.004	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
2	2.40	36.800	32.877	5.823	5.911	3.063	2.547063	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
3	2.60	40.200	34.316	7.698	4.420	2.908	2.37789	0.000	0.995	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES

80

4	2.80	43.600	35.755	5.823	4.777	3.028	2.395157	0.000	0.990	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
5	3.00	47.000	37.193	10.659	3.166	2.736	2.158769	0.000	0.985	0.000	0.000	0.000	RES
6	3.20	50.400	38.632	13.521	2.971	2.655	2.041505	0.000	0.980	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
7	3.40	53.800	40.071	12.534	4.300	2.791	2.0114	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	RES
8	3.60	57.200	41.509	14.508	5.089	2.806	1.931073	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
9	3.80	60.600	42.948	12.534	4.324	2.810	1.920152	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	RES
10	4.00	64.000	44.387	8.685	7.206	3.080	1.953399	0.000	0.958	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
11	4.20	67.400	45.825	8.685	7.236	3.090	1.908984	0.000	0.953	0.000	0.000	0.000	RES
12	4.40	70.800	47.264	7.698	6.444	3.104	1.886865	0.000	0.947	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
13	4.60	74.200	48.703	10.659	3.897	2.865	1.790506	0.000	0.942	0.000	0.000	0.000	RES
14	4.80	77.600	50.141	7.698	7.446	3.163	1.804607	0.000	0.936	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
15	5.00	81.000	51.580	7.698	6.538	3.135	1.764934	0.000	0.931	0.000	0.000	0.000	RES
16	5.20	84.400	53.019	6.810	6.473	3.184	1.744725	0.000	0.925	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
17	5.40	87.800	54.457	5.823	6.511	3.252	1.727059	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	RES
18	5.60	91.200	55.896	7.698	5.691	3.122	1.658275	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_
19	5.80	94.600	57.335	12.534	6.117	2.985	1.568587	0.000	0.907	0.000	0.000	0.000	RES
20	6.00	98.400	59.173	25.167	2.933	2.559	1.452139	78.344	0.901	0.110	0.130	1.453	MOLTOBASSO_
21	6.20	102.200	61.012	32.865	3.237	2.513	1.393465	90.339	0.895	0.127	0.130	1.676	RES
22	6.40	106.000	62.851	42.536	2.952	2.415	1.34032	104.114	0.889	0.149	0.130	1.967	MOLTOBASSO_
23	6.60	109.800	64.689	48.359	3.409	2.428	1.305253	112.420	0.883	0.164	0.130	2.164	RES
24	6.80	113.600	66.528	34.838	4.206	2.593	1.316648	91.087	0.877	0.129	0.130	1.689	MOLTOBASSO_
25	7.00	117.400	68.367	42.536	2.960	2.431	1.277518	100.799	0.871	0.144	0.130	1.893	RES
26	7.20	121.200	70.205	42.536	4.366	2.557	1.258041	101.058	0.865	0.144	0.130	1.900	MOLTOBASSO_
27	7.40	125.000	72.044	48.359	3.420	2.448	1.229416	107.821	0.859	0.156	0.129	2.057	RES
28	7.60	128.800	73.883	36.714	4.547	2.622	1.230576	107.821	0.853	0.156	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
29	7.80	132.600	75.721	24.180	6.201	2.850	1.235963	107.821	0.846	0.156	0.129	0.000	RES
30	8.00	136.400	77.560	24.180	5.364	2.812	1.215497	107.821	0.840	0.156	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
31	8.20	140.200	79.399	18.357	4.937	2.884	1.207585	107.821	0.834	0.156	0.129	0.000	RES

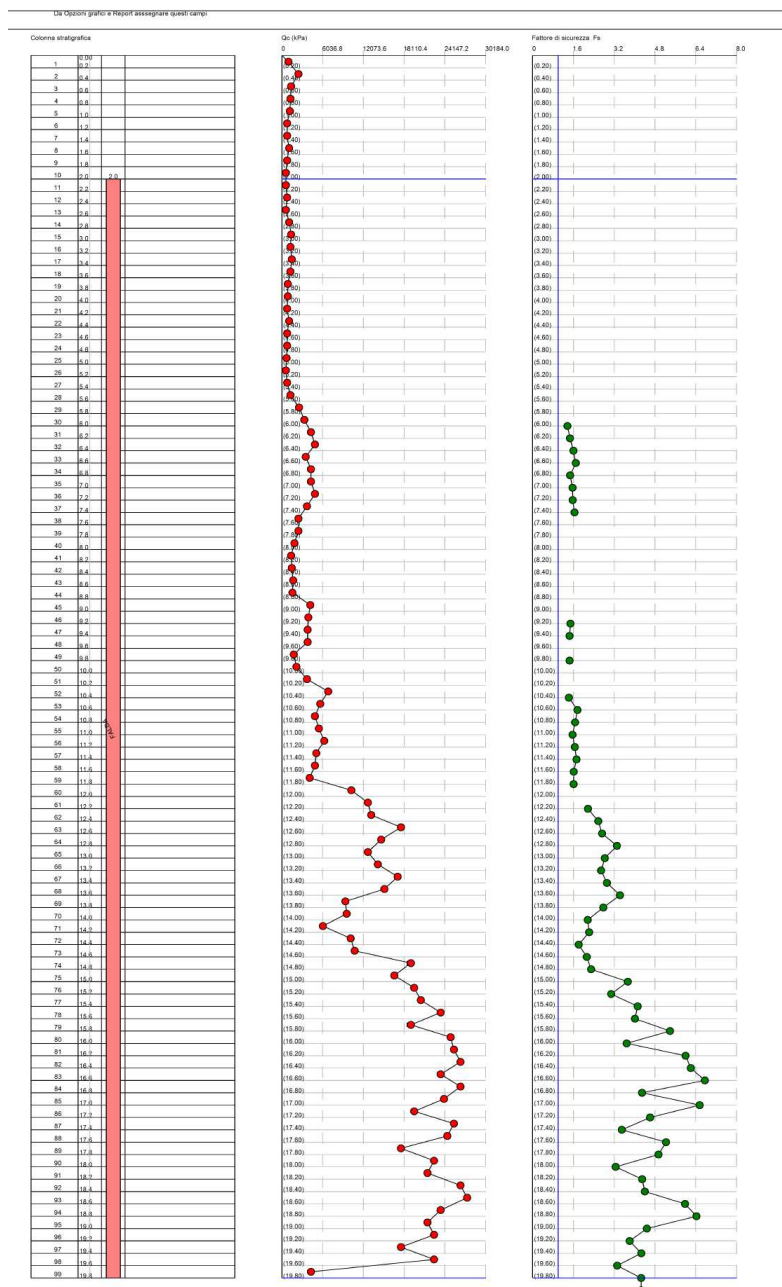
32	8.40	144.000	81.237	13.521	5.865	3.047	1.198248	107.821	0.828	0.156	0.129	0.000	RES
33	8.60	147.800	83.076	14.508	3.956	2.919	1.174817	107.821	0.821	0.156	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
34	8.80	151.600	84.915	16.482	4.735	2.929	1.151089	107.821	0.815	0.156	0.129	0.000	RES
35	9.00	155.400	86.753	15.495	4.616	2.951	1.133543	107.821	0.809	0.156	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
36	9.20	159.200	88.592	41.549	1.935	2.370	1.092119	88.004	0.803	0.124	0.125	1.677	RES
37	9.40	163.000	90.431	38.687	1.738	2.371	1.079302	83.215	0.797	0.117	0.125	1.590	MOLTOBASSO_
38	9.60	166.800	92.270	37.700	4.292	2.643	1.065515	83.215	0.790	0.117	0.125	0.000	RES
39	9.80	170.600	94.108	37.700	2.507	2.490	1.051531	81.895	0.784	0.115	0.123	1.579	MOLTOBASSO_
40	10.00	174.400	95.947	17.370	7.827	3.092	1.044752	81.895	0.778	0.115	0.123	0.000	RES
41	10.20	178.200	97.786	21.318	6.595	2.975	1.027956	81.895	0.772	0.115	0.123	0.000	MOLTOBASSO_
42	10.40	182.000	99.624	36.714	1.108	2.301	1.011772	75.939	0.766	0.107	0.121	1.490	RES
43	10.60	185.800	101.463	67.703	1.175	2.096	0.9992109	109.343	0.759	0.159	0.121	2.217	MOLTOBASSO_
44	10.80	189.600	103.302	56.057	2.024	2.315	0.9881042	100.225	0.753	0.143	0.120	2.008	RES
45	11.00	193.400	105.140	48.359	1.666	2.317	0.9762931	89.485	0.747	0.126	0.119	1.782	MOLTOBASSO_
46	11.20	197.200	106.979	54.182	2.469	2.392	0.9663635	97.595	0.741	0.139	0.119	1.969	RES
47	11.40	201.000	108.818	61.880	1.508	2.210	0.9576511	102.674	0.735	0.147	0.118	2.099	MOLTOBASSO_
48	11.60	204.800	110.656	50.333	2.402	2.417	0.9445227	91.558	0.729	0.129	0.117	1.857	RES
49	11.80	208.600	112.495	48.359	4.178	2.599	0.933577	90.158	0.723	0.127	0.116	1.838	MOLTOBASSO_
50	12.00	212.600	114.534	40.661	4.681	2.695	0.9188615	90.158	0.717	0.127	0.116	0.000	RES
51	12.20	216.600	116.572	101.554	0.973	1.929	0.9309002	133.075	0.711	0.211	0.115	3.090	MOLTOBASSO_
52	12.40	220.600	118.611	125.734	1.044	1.879	0.9242637	154.984	0.705	0.296	0.114	4.354	RES
53	12.60	224.600	120.650	130.570	1.156	1.898	0.9164216	160.901	0.699	0.332	0.113	4.914	MOLTOBASSO_
54	12.80	228.600	122.688	174.093	0.751	1.682	0.9087757	181.594	0.693	0.563	0.112	8.347	RES
55	13.00	232.600	124.727	145.078	0.903	1.798	0.9013181	164.081	0.687	0.355	0.111	5.320	MOLTOBASSO_
56	13.20	236.600	126.766	125.734	1.306	1.955	0.8940412	156.848	0.682	0.307	0.110	4.631	RES
57	13.40	240.600	128.804	140.242	1.169	1.889	0.8869376	165.745	0.676	0.369	0.110	5.599	MOLTOBASSO_
58	13.60	244.600	130.843	169.257	0.966	1.775	0.8800008	182.342	0.670	0.576	0.109	8.782	RES

59	13.80	248.600	132.882	149.914	0.744	1.744	0.8732242	158.369	0.664	0.316	0.108	4.858	MOLTOBASSO_
60	14.00	252.600	134.920	92.869	1.355	2.081	0.8547869	123.562	0.659	0.187	0.107	2.920	RES
61	14.20	256.600	136.959	94.745	1.538	2.113	0.8484182	126.318	0.653	0.194	0.106	3.042	MOLTOBASSO_
62	14.40	260.600	138.998	60.005	3.143	2.487	0.8160995	94.318	0.648	0.133	0.105	2.116	RES
63	14.60	264.600	141.036	100.568	0.724	1.894	0.8376752	118.063	0.642	0.176	0.105	2.793	MOLTOBASSO_
64	14.80	268.600	143.075	106.390	0.994	1.957	0.8344468	128.092	0.637	0.198	0.104	3.175	RES
65	15.00	272.600	145.114	188.601	0.867	1.725	0.8356108	186.129	0.631	0.653	0.103	10.420	MOLTOBASSO_
66	15.20	276.600	147.152	164.421	0.798	1.749	0.8298023	165.216	0.626	0.364	0.102	5.878	RES
67	15.40	280.600	149.191	193.437	1.015	1.768	0.8241133	193.458	0.621	0.859	0.101	13.877	MOLTOBASSO_
68	15.60	284.600	151.230	203.109	0.805	1.686	0.8185396	190.896	0.615	0.777	0.101	12.613	RES
69	15.80	288.600	153.268	232.124	0.844	1.659	0.8130776	211.993	0.610	2.126	0.100	34.469	MOLTOBASSO_
70	16.00	292.600	155.307	188.601	0.868	1.737	0.8077235	181.644	0.605	0.564	0.099	9.317	RES
71	16.20	296.600	157.346	246.632	0.794	1.626	0.8024738	217.580	0.600	3.005	0.098	49.111	MOLTOBASSO_
72	16.40	300.600	159.384	251.468	0.778	1.616	0.797325	219.088	0.595	3.321	0.097	54.535	RES
73	16.60	304.600	161.423	261.140	0.749	1.594	0.7922742	223.245	0.590	4.443	0.097	73.094	MOLTOBASSO_
74	16.80	308.600	163.462	232.124	0.563	1.554	0.7873181	193.614	0.585	0.864	0.096	14.515	RES
75	17.00	312.600	165.500	261.140	0.750	1.599	0.7824539	221.034	0.580	3.795	0.095	63.338	MOLTOBASSO_
76	17.20	316.600	167.539	236.960	0.634	1.584	0.7776788	198.258	0.575	1.052	0.094	17.892	RES
77	17.40	320.600	169.578	193.437	0.678	1.674	0.77299	171.124	0.571	0.419	0.094	7.280	MOLTOBASSO_
78	17.60	324.600	171.616	251.468	0.649	1.575	0.7683851	206.653	0.566	1.580	0.093	27.088	RES
79	17.80	328.600	173.655	241.796	0.703	1.613	0.7638614	201.900	0.561	1.244	0.092	21.584	MOLTOBASSO_
80	18.00	332.600	175.694	174.093	0.755	1.746	0.7594167	160.024	0.557	0.326	0.091	5.818	RES
81	18.20	336.600	177.732	222.453	0.735	1.657	0.7550487	189.242	0.552	0.730	0.091	12.941	MOLTOBASSO_
82	18.40	340.600	179.771	212.781	0.924	1.740	0.7507553	190.358	0.548	0.761	0.090	13.630	RES
83	18.60	344.600	181.810	261.140	0.751	1.614	0.7465342	212.989	0.543	2.255	0.089	39.879	MOLTOBASSO_
84	18.80	348.600	183.848	270.812	0.723	1.594	0.7423835	216.962	0.539	2.887	0.089	51.119	RES
85	19.00	352.600	185.887	232.124	0.705	1.639	0.7383013	190.702	0.535	0.771	0.088	14.013	MOLTOBASSO_
86	19.20	356.600	187.926	212.781	0.616	1.633	0.7342858	173.829	0.531	0.449	0.087	8.283	RES



87	19.40	360.600	189.964	222.453	0.736	1.669	0.7303351	184.662	0.526	0.621	0.087	11.497	RES
88	19.60	364.600	192.003	174.093	0.757	1.762	0.7264474	155.279	0.522	0.298	0.086	5.621	MOLTOBASSO_
89	19.80	368.400	193.842	222.453	0.737	1.672	0.7229939	183.306	0.518	0.594	0.085	11.144	MOLTOBASSO_
													RES

IPL (Sonmez)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



## Metodo di Idriss & Boulanger (2008) con applicata l'equazione di regressione tra punta elettrica e meccanica

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.69

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale e normalizzato F(%)	Indice di compressione I <sub>c</sub>	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta q <sub>c1</sub> (KPa)	Coefficiente ridotti (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza F <sub>s</sub>	Rischio
1	2.20	33.400	31.439	5.823	5.875	3.049	2.628093	0.000	1.004	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
2	2.40	36.800	32.877	5.823	5.911	3.063	2.547063	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
3	2.60	40.200	34.316	7.698	4.420	2.908	2.37789	0.000	0.995	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
4	2.80	43.600	35.755	5.823	4.777	3.028	2.395157	0.000	0.990	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
5	3.00	47.000	37.193	10.659	3.166	2.736	2.158769	0.000	0.985	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
6	3.20	50.400	38.632	13.521	2.971	2.655	2.041505	0.000	0.980	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
7	3.40	53.800	40.071	12.534	4.300	2.791	2.0114	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
8	3.60	57.200	41.509	14.508	5.089	2.806	1.931073	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
9	3.80	60.600	42.948	12.534	4.324	2.810	1.920152	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
10	4.00	64.000	44.387	8.685	7.206	3.080	1.953399	0.000	0.958	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
11	4.20	67.400	45.825	8.685	7.236	3.090	1.908984	0.000	0.953	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
12	4.40	70.800	47.264	7.698	6.444	3.104	1.886865	0.000	0.947	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
13	4.60	74.200	48.703	10.659	3.897	2.865	1.790506	0.000	0.942	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
14	4.80	77.600	50.141	7.698	7.446	3.163	1.804607	0.000	0.936	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
15	5.00	81.000	51.580	7.698	6.538	3.135	1.764934	0.000	0.931	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
16	5.20	84.400	53.019	6.810	6.473	3.184	1.744725	0.000	0.925	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
17	5.40	87.800	54.457	5.823	6.511	3.252	1.727059	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
18	5.60	91.200	55.896	7.698	5.691	3.122	1.658275	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
19	5.80	94.600	57.335	12.534	6.117	2.985	1.568587	0.000	0.907	0.000	0.000	0.000	MOLTOBASSO_RES
20	6.00	98.400	59.173	25.167	2.933	2.559	1.452139	73.194	0.901	0.104	0.130	1.364	MOLTOBASSO_RES
21	6.20	102.200	61.012	32.865	3.237	2.513	1.393465	79.055	0.895	0.111	0.130	1.465	MOLTOBASSO_RES
22	6.40	106.000	62.851	42.536	2.952	2.415	1.34032	86.346	0.889	0.122	0.130	1.600	MOLTOBASSO_RES

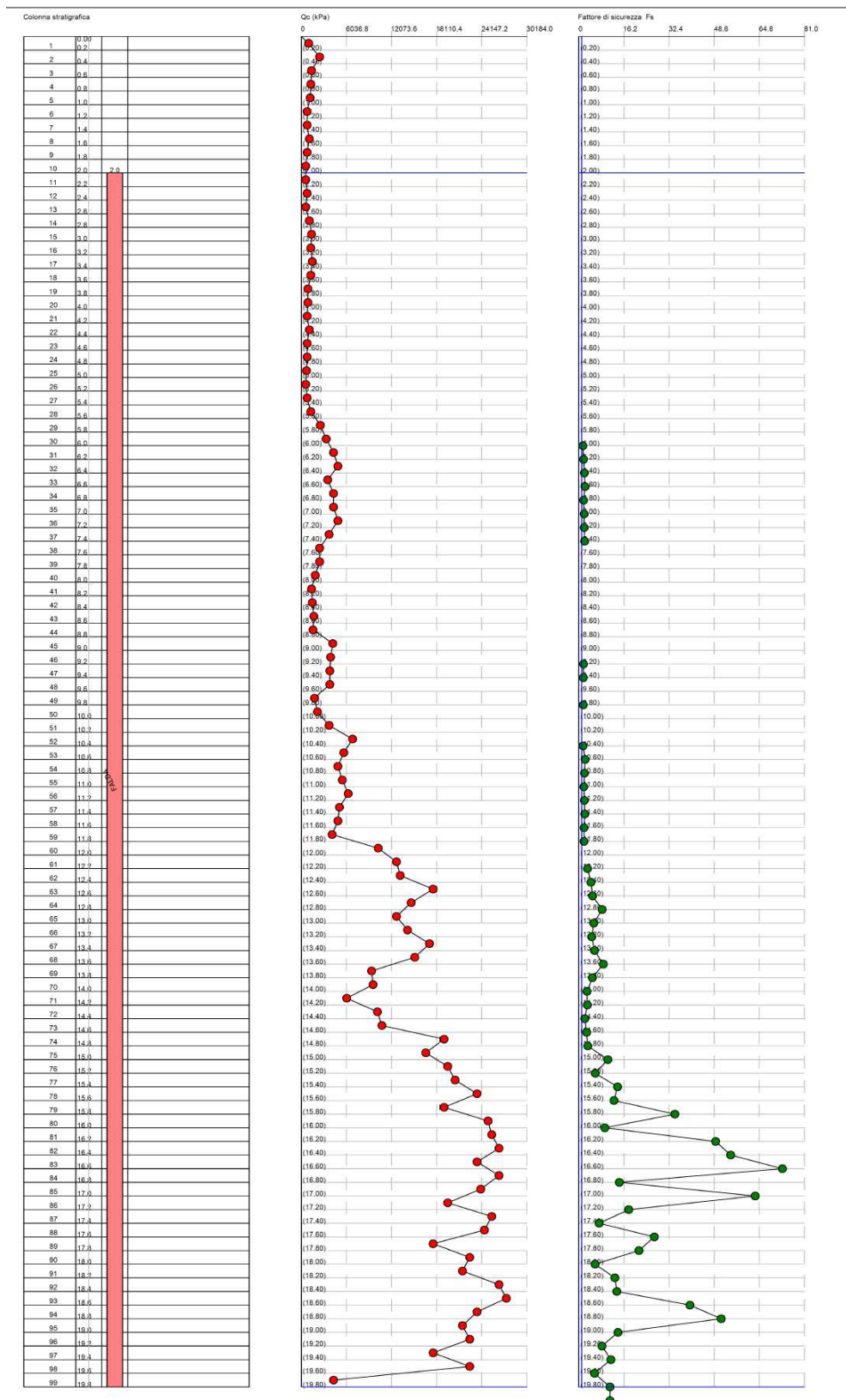
23	6.60	109.800	64.689	48.359	3.409	2.428	1.305253	91.016	0.883	0.128	0.130	1.691	RES
24	6.80	113.600	66.528	34.838	4.206	2.593	1.316648	79.436	0.877	0.112	0.130	1.470	MOLTOBASSO_
25	7.00	117.400	68.367	42.536	2.960	2.431	1.277518	84.538	0.871	0.119	0.130	1.565	RES
26	7.20	121.200	70.205	42.536	4.366	2.557	1.258041	84.678	0.865	0.119	0.130	1.569	MOLTOBASSO_
27	7.40	125.000	72.044	48.359	3.420	2.448	1.229416	88.405	0.859	0.125	0.129	1.643	RES
28	7.60	128.800	73.883	36.714	4.547	2.622	1.230576	88.405	0.853	0.125	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
29	7.80	132.600	75.721	24.180	6.201	2.850	1.235963	88.405	0.846	0.125	0.129	0.000	RES
30	8.00	136.400	77.560	24.180	5.364	2.812	1.215497	88.405	0.840	0.125	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
31	8.20	140.200	79.399	18.357	4.937	2.884	1.207585	88.405	0.834	0.125	0.129	0.000	RES
32	8.40	144.000	81.237	13.521	5.865	3.047	1.198248	88.405	0.828	0.125	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
33	8.60	147.800	83.076	14.508	3.956	2.919	1.174817	88.405	0.821	0.125	0.129	0.000	RES
34	8.80	151.600	84.915	16.482	4.735	2.929	1.151089	88.405	0.815	0.125	0.129	0.000	MOLTOBASSO_
35	9.00	155.400	86.753	15.495	4.616	2.951	1.133543	88.405	0.809	0.125	0.129	0.000	RES
36	9.20	159.200	88.592	41.549	1.935	2.370	1.092119	77.878	0.803	0.110	0.125	1.485	MOLTOBASSO_
37	9.40	163.000	90.431	38.687	1.738	2.371	1.079302	75.517	0.797	0.107	0.125	1.448	RES
38	9.60	166.800	92.270	37.700	4.292	2.643	1.065515	75.517	0.790	0.107	0.125	0.000	MOLTOBASSO_
39	9.80	170.600	94.108	37.700	2.507	2.490	1.051531	74.880	0.784	0.106	0.123	1.450	RES
40	10.00	174.400	95.947	17.370	7.827	3.092	1.044752	74.880	0.778	0.106	0.123	0.000	MOLTOBASSO_
41	10.20	178.200	97.786	21.318	6.595	2.975	1.027956	74.880	0.772	0.106	0.123	0.000	RES
42	10.40	182.000	99.624	36.714	1.108	2.301	1.011772	72.076	0.766	0.102	0.121	1.421	MOLTOBASSO_
43	10.60	185.800	101.463	67.703	1.175	2.096	0.9992109	89.262	0.759	0.126	0.121	1.758	RES
44	10.80	189.600	103.302	56.057	2.024	2.315	0.9881042	84.229	0.753	0.119	0.120	1.665	MOLTOBASSO_
45	11.00	193.400	105.140	48.359	1.666	2.317	0.9762931	78.623	0.747	0.111	0.119	1.565	RES
46	11.20	197.200	106.979	54.182	2.469	2.392	0.9663635	82.823	0.741	0.117	0.119	1.655	MOLTOBASSO_
47	11.40	201.000	108.818	61.880	1.508	2.210	0.9576511	85.556	0.735	0.120	0.118	1.720	RES
48	11.60	204.800	110.656	50.333	2.402	2.417	0.9445227	79.677	0.729	0.112	0.117	1.612	MOLTOBASSO_
49	11.80	208.600	112.495	48.359	4.178	2.599	0.933577	78.963	0.723	0.111	0.116	1.608	RES

50	12.00	212.600	114.534	40.661	4.681	2.695	0.9188615	78.963	0.717	0.111	0.116	0.000	MOLTOBASSO_
51	12.20	216.600	116.572	101.554	0.973	1.929	0.9309002	103.474	0.711	0.148	0.115	2.169	RES
52	12.40	220.600	118.611	125.734	1.044	1.879	0.9242637	117.929	0.705	0.175	0.114	2.576	MOLTOBASSO_
53	12.60	224.600	120.650	130.570	1.156	1.898	0.9164216	122.041	0.699	0.184	0.113	2.722	RES
54	12.80	228.600	122.688	174.093	0.751	1.682	0.9087757	137.088	0.693	0.223	0.112	3.309	MOLTOBASSO_
55	13.00	232.600	124.727	145.078	0.903	1.798	0.9013181	124.287	0.687	0.189	0.111	2.832	RES
56	13.20	236.600	126.766	125.734	1.306	1.955	0.8940412	119.215	0.682	0.178	0.110	2.687	MOLTOBASSO_
57	13.40	240.600	128.804	140.242	1.169	1.889	0.8869376	125.472	0.676	0.192	0.110	2.914	RES
58	13.60	244.600	130.843	169.257	0.966	1.775	0.8800008	137.651	0.670	0.225	0.109	3.427	MOLTOBASSO_
59	13.80	248.600	132.882	149.914	0.744	1.744	0.8732242	120.271	0.664	0.180	0.108	2.772	RES
60	14.00	252.600	134.920	92.869	1.355	2.081	0.8547869	97.590	0.659	0.139	0.107	2.160	MOLTOBASSO_
61	14.20	256.600	136.959	94.745	1.538	2.113	0.8484182	99.269	0.653	0.141	0.106	2.218	RES
62	14.40	260.600	138.998	60.005	3.143	2.487	0.8160995	81.101	0.648	0.114	0.105	1.809	MOLTOBASSO_
63	14.60	264.600	141.036	100.568	0.724	1.894	0.8376752	94.301	0.642	0.133	0.105	2.124	RES
64	14.80	268.600	143.075	106.390	0.994	1.957	0.8344468	100.361	0.637	0.143	0.104	2.293	MOLTOBASSO_
65	15.00	272.600	145.114	188.601	0.867	1.725	0.8356108	140.521	0.631	0.234	0.103	3.735	RES
66	15.20	276.600	147.152	164.421	0.798	1.749	0.8298023	125.094	0.626	0.191	0.102	3.081	MOLTOBASSO_
67	15.40	280.600	149.191	193.437	1.015	1.768	0.8241133	146.167	0.621	0.255	0.101	4.121	RES
68	15.60	284.600	151.230	203.109	0.805	1.686	0.8185396	144.179	0.615	0.247	0.101	4.015	MOLTOBASSO_
69	15.80	288.600	153.268	232.124	0.844	1.659	0.8130776	160.985	0.610	0.333	0.100	5.393	RES
70	16.00	292.600	155.307	188.601	0.868	1.737	0.8077235	137.126	0.605	0.223	0.099	3.690	MOLTOBASSO_
71	16.20	296.600	157.346	246.632	0.794	1.626	0.8024738	165.598	0.600	0.367	0.098	6.003	RES
72	16.40	300.600	159.384	251.468	0.778	1.616	0.797325	166.855	0.595	0.378	0.097	6.207	MOLTOBASSO_
73	16.60	304.600	161.423	261.140	0.749	1.594	0.7922742	170.345	0.590	0.411	0.097	6.760	RES
74	16.80	308.600	163.462	232.124	0.563	1.554	0.7873181	146.289	0.585	0.255	0.096	4.292	MOLTOBASSO_
75	17.00	312.600	165.500	261.140	0.750	1.599	0.7824539	168.484	0.580	0.393	0.095	6.555	RES
76	17.20	316.600	167.539	236.960	0.634	1.584	0.7776788	149.931	0.575	0.271	0.094	4.610	MOLTOBASSO_
77	17.40	320.600	169.578	193.437	0.678	1.674	0.77299	129.347	0.571	0.201	0.094	3.498	RES

78	17.60	324.600	171.616	251.468	0.649	1.575	0.7683851	156.638	0.566	0.305	0.093	5.235	RES
79	17.80	328.600	173.655	241.796	0.703	1.613	0.7638614	152.822	0.561	0.285	0.092	4.941	MOLTOBASSO_
80	18.00	332.600	175.694	174.093	0.755	1.746	0.7594167	121.426	0.557	0.183	0.091	3.257	RES
81	18.20	336.600	177.732	222.453	0.735	1.657	0.7550487	142.904	0.552	0.243	0.091	4.299	MOLTOBASSO_
82	18.40	340.600	179.771	212.781	0.924	1.740	0.7507553	143.764	0.548	0.246	0.090	4.401	RES
83	18.60	344.600	181.810	261.140	0.751	1.614	0.7465342	161.802	0.543	0.338	0.089	5.982	MOLTOBASSO_
84	18.80	348.600	183.848	270.812	0.723	1.594	0.7423835	165.085	0.539	0.363	0.089	6.430	RES
85	19.00	352.600	185.887	232.124	0.705	1.639	0.7383013	144.030	0.535	0.247	0.088	4.484	MOLTOBASSO_
86	19.20	356.600	187.926	212.781	0.616	1.633	0.7342858	131.322	0.531	0.206	0.087	3.806	RES
87	19.40	360.600	189.964	222.453	0.736	1.669	0.7303351	139.405	0.526	0.230	0.087	4.263	MOLTOBASSO_
88	19.60	364.600	192.003	174.093	0.757	1.762	0.7264474	118.132	0.522	0.176	0.086	3.316	RES
89	19.80	368.400	193.842	222.453	0.737	1.672	0.7229939	138.378	0.518	0.227	0.085	4.258	MOLTOBASSO_
													RES

IPL (Sonmez)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso





Sulla base dei risultati ottenuti si riporta una tabella riassuntiva.

PROVA	INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE $I_L$ (IDRISS & BOULANGER 2008)	LPI Idriss & Boulanger 2008 con applicata l'equazione di regressione tra CPTE e CPTM	RISCHIO (Sonmez 2003)
CPTU1	0.0	/	MOLTO BASSO
CPT1	0.0	0.0	MOLTO BASSO

**Sulla base delle verifiche eseguite sulle verticali di prova CPT e CPTU, il valore dell'Indice del potenziale di liquefazione IPL risulta = 0, rischio molto basso secondo la classificazione di Sonmez (2003).**

- $IL = 0$  il rischio di liquefazione è molto basso;
- $0 < IL < 2$  il rischio di liquefazione è basso;
- $2 \leq IL < 5$  il rischio di liquefazione è moderato;
- $5 \leq IL < 15$  il rischio di liquefazione è elevato;
- $IL \geq 15$  il rischio di liquefazione è estremamente elevato.

**Considerati i valori calcolati dell'indice IPL, si ritiene che i terreni presenti nel sito di indagine risultano stabili nei confronti di processi di liquefazione.**

## **9. CONCLUSIONI**

In Comune di Borgo Mantovano in località Revere in Via Foscolo angolo Via Aldo Moro si è condotta un'analisi idrogeologica finalizzata alla definizione della permeabilità dei terreni presenti in sito e della valutazione del livello della frangia freatica, un'analisi geologica e tecnica per la ricostruzione litostratigrafica superficiale e profonda dei terreni e un'analisi del rischio sismico nell'area oggetto di realizzazione di una vasca di laminazione in terra per la raccolta delle acque piovane.

Scopo dello studio è stato fornire un modello idrogeologico, geomorfologico e litotecnico dell'area in epigrafe inserendola nell'ambiente dove si trova tenendo conto dei contenuti e delle disposizioni del Piano di Governo del Territorio del Comune di Borgo Mantovano, approvato con Delibera di C.C. n.17 del 25/06/2014 e ottemperante alla D.G.R. 2616/2011.

Lo studio fornisce, **sulla base di indagini geognostiche realizzate nell'area di interesse**, una caratterizzazione litostratigrafica e un'indicazione delle proprietà geomeccaniche e fisiche del suolo e sottosuolo dell'area, al fine di determinare la fattibilità dell'intervento da realizzare conformemente a quanto previsto nel DM 17/01/2018.

L'analisi idrogeologica e la verifica della profondità della frangia freatica e delle sue fluttuazioni stagionali, evidenzia eventuali criticità ambientali e vulnerabilità dei corpi acquiferi sotterranei, in relazione al progetto conformemente a quanto richiesto nel D.Lgs 16 Gennaio 2008 n. 4 e DgRegione Lombardia 2616/2011.

Infine, si è prodotta un'analisi di pericolosità sismica locale inerente gli effetti di sito, che riporta il valore di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso, il valore di accelerazione atteso in superficie, il valore della frequenza fondamentale del sito e i parametri spettrali, viene verificata la predisposizione a fenomeni di liquefazione dei terreni sabbiosi e limo-sabbiosi saturi presenti, in ottemperanza alle DgRegione Lombardia 2129/2014 e 2616/2011.

La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del profilo stratigrafico nel sito sono ricavati dai risultati di:

1 CPT di tipo meccanico spinta a 20 m dal p.c. e 1 CPTU di tipo ELETTRICO con punta porosa CPTU "ENVI MEMOCONE" spinta a 10 m dal pc.

La definizione della permeabilità del primo substrato superficiale di terreno è stata misurata in sito mediante 2 prove di dissipazione delle pressioni interstiziali eseguite in corrispondenza della prova CPTU1 all'altezza del piano di fondo della vasca di laminazione e nello strato immediatamente sottostante.

L'analisi dei livelli della frangia freatica è stata misurata in sito durante l'esecuzione delle prove penetrometriche con infissione di un piezometro fessurato spinto alla profondità di - 4.50 m dal p.c.

In data 18/10/2021 sono state eseguite le seguenti prove sismiche attive e passive per l'analisi della pericolosità sismica locale.

- n.1 indagine sismica passiva di microtremori HV;
- n.2 indagini sismica passiva SPAC (nc-CCA);
- n.1 indagine sismica attiva MFA - Hs (onde Rayleigh)

**La zona oggetto di studio si trova a sud del centro cittadino di Revere ad una quota media di 11 m s.l.m. a circa 1.30 Km a sud-sud-ovest del fiume Po, nell'estremità meridionale della provincia di Mantova, a 37 Km dal capoluogo.**

Le coordinate geografiche dell'area sono 45° 02'48.37" N e 11° 07' 25.83" E .

Il sito è in un contesto prettamente agricolo .

La base cartografica C.T.R. in scala 1:10.000 di cui fa parte il sito è la F8b2 Magnacavallo.

I centri abitati vicini sono:

Comune di Ostiglia a circa 2.70 Km a nord, sulla sponda sinistra del Po.

Comune di Quingentole a circa 6.40 Km a ovest

Frazione di Villa Poma a circa 5.20 Km a sud

Comune di Magnacavallo a circa 6.30 Km a sud-est

Comune di Carbonare Po a 8.10 Km a est

Oltre che a varie frazioni e località.

Il comune di Borgo Mantovano e la frazione di Revere fa parte dell'area dell'Oltrepò mantovano, collocato sulla riva destra del Po in destra Secchia. La presenza del fiume Po influisce nettamente sulle caratteristiche del territorio agricolo, sia per quanto riguarda gli

aspetti ambientali, sia per quanto riguarda la rete dei corridoi ecologici di primo e secondo livello.

Secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Mantova ricade all'interno dell'unità di paesaggio indicata con il numero 5 "Piana Alluvionale".

La perimetrazione dell'Unità di Paesaggio n. 5 fa riferimento prevalentemente al pedopaesaggio VA "Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale, costituite da sedimenti recenti od attuali (Olocene recente ed attuale). Dal punto di vista pedologico tutto il territorio è ricompreso nell'ambito di caratterizzazione della pianura alluvionale recente.

L'idrografia superficiale attuale è costituita dal fiume Po, nonché da molti canali naturali ed artificiali che hanno funzione di drenaggio e irrigazione, quali Po Morto, Zara, Dugali di Sotto, di Mezzo e di Sopra, Trigolaro, Irriguo Principale, ecc.

Nella Tavola degli Ambiti PR1 (Piano delle Regole) del Piano di Governo del Territorio del Comune di Borgo Mantovano (Ex Revere), approvato con Delibera di C.C. n.17 del 26/06/2014, La zona viene classificata come : AREA DESTINATA A FASCE DI RISPETTO E ARRETRAMENTO EDIFICATORIO, NELLA PARTE OVEST: STANDARD DI PROGETTO INTERNO AGLI AMBITI

Per quanto attiene la Carta dei Vincoli del PGT Comunale, **nel sito di studio non si evidenziano vincoli.**

**La sequenza stratigrafica del sito si presenta sostanzialmente omogenea con livelli litologici aventi diverse proprietà litostratigrafiche:**

- **In superficie, immediatamente al di sotto del terreno vegetale, si trovano argille compatte sovra consolidate fino alla quota di - 1.20 metri dal p.c.;**
- **Seguono, argille limose poco consistenti con livelli soffici ;**
- **Da - 5.40 m a - 8.20 m si trovano argille molto compatte;**
- **Da - 8.20 a - 12.00 m si trovano alternanze di limi argillosi compatti con livelli di limi sabbiosi sciolti;**
- **Da - 12.00 a - 15.00 m si trovano sabbie mediamente addensate;**
- **Da - 15.00 a - 20.00 sabbie addensate.**

Il cap. 6.2.2. del DM 2018 detta: " ... Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito".

Come da quanto indicato in norma di seguito si riportano i parametri caratteristici in termini di resistenza dei terreni indagati derivati da prove penetrometriche mediante trasformazioni indirette della geotecnica classica in condizioni non drenate e drenate secondo una stima ragionata e cautelativa.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$C_{uk}$ (kPa)	Dr (%)
0.00 - 1.20	Argille compatte leggermente sovracconsolidate	17	19	7÷9	13÷15	50	/
1.20 - 5.40	Argille limose poco consistenti con livelli soffici	15	17	4÷6	10÷12	35	/
5.40 - 8.20	Argille molto compatte	17	19	9÷11	18÷20	85	/
8.20 - 12.00	Alternanze di limi argillosi compatti con livelli di limi sabbiosi sciolti	17	19	8÷10	21÷23	65	/
12.00 - 15.00	Sabbie mediamente addensate	18	20	0	26÷28	0	60
12.00 - 15.00	Sabbie addensate	18	20	0	30÷32	0	65

Si riportano, inoltre, i parametri geotecnici in termini di deformabilità dedotti da prove di laboratorio eseguite su campioni di terreno paragonabili a quelli indagati e da dati di bibliografia.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	Coeff.di Poisson ( $\nu$ )	Modulo elastico E' (kPa)	Modulo Edometrico Ed (kPa)
0.00 - 1.20	Argille compatte leggermente sovracconsolidate	0.45	/	6000÷8000
1.20 - 5.40	Argille limose poco consistenti con livelli soffici	0.45	/	3000÷5000
5.40 - 8.20	Argille molto compatte	0.45	/	10000÷12000
8.20 - 12.00	Alternanze di limi argillosi compatti con livelli di limi sabbiosi sciolti	0.40	/	8000÷10000
12.00 - 15.00	Sabbie mediamente addensate	0.35	20000÷25000	/
12.00 - 15.00	Sabbie addensate	0.35	30000÷35000	/

Sulla base della caratterizzazione geotecnica e litostratigrafica sono state eseguite verifiche di stabilità del fronte scavo.

Il profilo del fronte di scavo della vasca di laminazione di progetto è stato verificato in condizioni sia statiche che sismiche.

Le verifiche sono state eseguite ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 all'equilibrio limite e risultano verificate. Le superfici di scivolamento individuate con diversi metodi di analisi hanno fattori di sicurezza tutti > 1.10 in condizioni statiche e > 1.2 in condizioni sismiche. Il profilo risulta stabile.



Per quanto attiene l'analisi idrogeologica, a scala locale, le falde possono essere considerate sostanzialmente confinate.

A livello locale, dall'analisi della prova eseguita in sito, le prime sabbie si trovano, alla profondità di 12.00 metri dal p.c. L'acquifero locale inizia quindi alla profondità di 12.00 metri ed è confinato al tetto da terreni poco permeabili di natura argillo - limosa. Nei sedimenti più superficiali di natura argillosa e limo-argillosa sono presenti livelli limosi nei quali si ha una circolazione idrica lenta e poco significativa causa della bassa permeabilità dei depositi ospitanti (complesso Acquifero denominato A0) .

Tale orizzonte freatico assume caratteristiche di acquitardo e non di acquifero ed è prevalentemente alimentato dalle infiltrazioni meteoriche dalla superficie che risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili.

Il sito di ubicazione della vasca di laminazione si trova in un area a vulnerabilità alta come indicato nella Carta "Vulnerabilità del Territorio" VAS 8 allegata al PGT di Borgo Mantovano.

I valori di soggiacenza nell'area di studio mostrano una certa variabilità a seconda del periodo in cui sono stati rilevati: in genere risentono dell'andamento delle precipitazioni atmosferiche e, soprattutto, dei livelli idrometrici del fiume Po.

La soggiacenza della falda misurata nel sito di studio nei fori delle prove penetrometriche, nell'Ottobre 2021 si posiziona a una quota variabile da - 2.80 a - 3.60 m.

La soggiacenza della falda, considerando i dati di bibliografia pubblicati e le misurazioni eseguite in aree adiacenti al sito di interesse in diversi periodi dell'anno e in diversi anni risulta oscillare tra un massimo nelle fasi di piena di -2.0 m dal piano campagna a un minimo di - 4.00 m .

Questo livello è la falda freatica, la quale è alimentata sia artificialmente per dispersione in subalveo dal sistema di drenaggio-irrigazione sia dall'infiltrazione di acque meteoriche e risente dei livelli idrometrici del fiume Po.

In quest'ottica viene confermata la direzione di flusso degli acquiferi diretta da ovest verso est, secondo un andamento di tipo regionale che individua nel fiume Po il fattore di alimentazione principale.

In sito è stato posizionato un piezometro per controllare fino all'esecuzione dello scavo il livello del freatico.

Il piezometro è stato inserito alla profondità di - 4.50 metri, fessurato per tutta la lunghezza.

Durante l'esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica piezometrica fermando l'infissione, si possono fare misure di dissipazione delle pressioni interstiziali e definire il coefficiente di permeabilità orizzontale K.

Considerando gli schemi grafici delle prove di dissipazione eseguite nei terreni:

- una alla quota di - 1.20 m dal p.c. nello strato argilloso, alla quota del fondo della vasca di laminazione
- una alla quota di - 3.00 m dal p.c. nello strato argillo-limoso sottostante il fondo della vasca

si calcolano i seguenti coefficienti di permeabilità :

RELAX TEST alla quota di - 1.20 m dal p.c.

$K_h = 4.16 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ .

RELAX TEST alla quota di - 3.00 m dal p.c.

$K_h = 3.77 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ .

**Si tratta di terreni classificati da impermeabili a permeabilità molto bassa se si fa riferimento alla classificazione definita da Civita (2005).**

**Dall'analisi dell'andamento dei valori di permeabilità K con la profondità definiti fino alla quota di - 10.00 metri dall'analisi della prova penetrometrica CPTU con punta porosa di fig.15 , risultano valori mediamenti intorno a  $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s} = 1 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ .**

**Nel sito quindi si trova uno spessore di terreno di minimo 9 metri di terreno argilloso e limo argilloso a bassissima permeabilità sottostante il fondo della vasca di laminazione, che garantisce la protezione da eventuali infiltrazioni inquinanti dell'acquifero profondo, che si trova a - 12.00 metri dal p.c. quando iniziano le sabbie permeabili.**

Secondo quanto indicato nel PGT Comunale il territorio è stato suddiviso in quattro classi di fattibilità in relazione a condizioni di rischio idrogeologico e idraulico via via maggiori.

**Il sito di studio è in classe di fattibilità 2: il territorio ricadente in questa classe presenta delle ridotte condizioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni.**

**Il sito di studio rientra in fascia C per il PAI e per la classe di fattibilità 2 non vi sono limitazioni né per elevata vulnerabilità idrogeologica né per elevato rischio idraulico.**

**Sulla base dell'analisi litostratigrafica e geotecnica che in sintesi evidenzia**

**- terreni superficiali argillosi compatti nel primo metro e 20 cm,**

**- terreni argillo-limosi poco consistenti sottostanti il fondo della vasca di laminazione**

**- analisi della verifica di stabilità dello scavo verificata sia in condizioni statiche che sismiche**

**Sulla base delle valutazioni idrogeologiche che hanno permesso di definire:**

**- il livello massimo di soggiacenza della falda freatica a - 2.00 m dal p.c.**

**- i primi 12 metri di terreno costituiti da argille e limi argillosi a bassissima permeabilità;**

**- la profondità del primo acquifero utile per lo sfruttamento a 12 m dal p.c. in sabbie permeabili;**

**Si conferma la classe di fattibilità 2 definita dal PGT Comunale per il sito oggetto di realizzazione della vasca di laminazione.**

Dall'analisi sismica di I° livello, risulta che gli elementi geologici e geomorfologici e litostratigrafici che possono generare effetti locali nel sito in questione sulla base dell'intensità e degli effetti dei sismi nel passato sono:

litotipi del substrato con  $V_s$  intorno a 800 m/sec;

depositi granulari fini con livello superiore della falda acquifera a profondità minore di 15 m dal piano che possono generare fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici.

Quindi secondo la tabella di seguito esposta il sito oggetto di intervento si trova in zona Z2 "Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti" (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)

### **Gli effetti attesi sono: Cedimenti e/o liquefazione.**

La classificazione come zona Z2 conferma quanto indicato nella Carta di Pericolosità Sismica Locale redatta per il PGT Comunale.

La procedura di 2° livello consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione ( $F_a$ ).

La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo e la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato sono ricavati dall'analisi di 2 acquisizioni in sismica passiva SPAC, 1 acquisizione HVSR e 1 acquisizione in sismica attiva MASW in onde Rayleigh.

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, abbiamo un **picco stratigrafico** caratteristico **alla frequenza caratteristica di 0.7 Hz e periodo caratteristico pari 1.43 s**. **Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli ( $H/V < 2$ ) in caso di moto sismico.**

Secondo quanto indicato nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (22 Marzo 2018) § 3.2.2.:

*"I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove..... La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$ :"*

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

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

$N$  numero di strati;

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

*Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità".*

Il profilo di  $V_s$  con la profondità e il valore di  $V_{s,eq}$  è stato ricavato dalle analisi sismiche, vincolando le curve spettrali alle prove CPT.

**$V_{s,eq} = V_{s(30)}$ : 200-205 m/s**

Secondo quanto indicato nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (22 Marzo 2018) § 3.2.2.:

*"Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.*

*In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato ....*

Sulla base delle seguenti considerazioni:

Sulla base delle seguenti considerazioni:

- interpretazione litostratigrafica del sito caratterizzata da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.
- profondità del substrato oltre i 30 metri,
- valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s definiti da prove sismiche in sito.

**Conformemente a quanto indicato Normativa NTC 2018, si ritiene corretto fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento .**

Viene quindi riportato in figura 25, lo spettro di risposta della componente orizzontale e verticale per lo spettro allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita con smorzamento  $\xi = 5\%$  in superficie su suolo di tipo C:

**Per quanto attiene allo spettro di progetto allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita su suolo di tipo C:**

**Il valore di  $a_g(g)$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido = 0.089**

**Il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$  è stato calcolato pari a 2.588.**

**Il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T^*_c$  è uguale a 0.308 s**

**Il fattore di amplificazione stratigrafica  $S_s$  (poiché la categoria del suolo indagato è la C) risulta pari a 1.5.**

**Il fattore di amplificazione topografica  $S_T$  è pari a 1 poiché il sito è pianeggiante.**

**Accelerazione attesa in superficie  $PGA = a_g \times S_s = 0.1335g$**

Considerando la tabella 7.11.1 NTC 2018

**$K_h = 0.0267$        $K_v = 0.0133$        $\beta = 0.20$**

In conformità a quanto indicato nell'analisi di primo livello, considerando che per il sito oggetto di studio, nessuna delle circostanze dettate nel capitolo 7.11.3.4.2 (NTC 2018) è soddisfatta, considerando che dalla valutazione delle caratteristiche litologiche del sito in esame, si riscontrano terreni di natura sabbiosa e limo-sabbiosa a partire dalla profondità di - 8.00 m dal piano campagna, occorre fare una valutazione preventiva del potenziale rischio liquefazione dei terreni riscontrati in sito.

Al fine di verificare la stabilità o criticità del sito nei confronti dei processi di liquefazione, l'analisi rischio liquefazione è stata realizzata sulla verticale della prova CPT e CPTU eseguite in sito mediante metodi semplificati, che in condizioni di free field permettono un'analisi puntuale e significativa della zona di indagine, considerando gli input di seguito descritti.

**La massima soggiacenza della falda freatica nel sito di studio che può essere considerata pari a - 2.00 m dal p.c.**

**La Magnetudo  $M_w$  pari a 5.50** considerata è quella della zona sismogenetica ITCS050 Poggio Rusco - Migliarina di appartenenza del sito come da indicazioni dell'INGV.

La FAPGA del sito risulta 1.5 e quindi  $a_{gmax} = 0.133$  definita dall'azione sismica secondo le NTC 2018 per la categoria di suolo C

Per la verticale di prova, è stato riportato l'andamento del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione  $FL(Z)$  fino alla profondità critica di 10 e 20 metri ( $Z_{crit}$ ) da piano campagna.

La stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL che viene calcolato secondo la formula del DM 2018.

$$\text{Indice del Potenziale di liquefazione IL} = \sum_{i=1}^n FW(z)\Delta z$$

con :

$n$  = numero intervalli di calcolo di  $F_s$  lungo la verticale;

$F$  = (funzione del fattore di sicurezza)  $1 - F_s$  per  $F_s \leq 1$  ed  $F = 0$  per  $F_s > 1$  ( $F_s$  = fattore di sicurezza)

$\Delta z$  = spessore intervallo di calcolo;

$W(z) = 10 - 0,5z$ , con  $z$  = profondità di calcolo (max 20 m);

Tra i vari metodi semplificati da prove CPT che permettono un'analisi puntuale del rischio liquefazione riconosciuti dalla Comunità Scientifica Internazionale, si è scelto, di utilizzare come metodo semplificato di analisi, **Idriss e Boulanger 2008 che è indicato al punto 3.3 della determinazione regionale n. 1105 del 03/02/2014** redatta ai fini degli interventi esecutivi per mitigare il rischio liquefazione, come *"quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito dal confronto fra i vari metodi utilizzati dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012"*. Si ritiene, inoltre, sulla base di risultati di diverse analisi eseguite in sito dalla scrivente nel territorio interessato dagli eventi sismici del 2012 che, come da quanto indicato nella Dgr 1105 /2014, in fase di progetti esecutivi, il metodo semplificato di Idriss e Boulanger (2008) sia quello che meglio analizza e definisce il valore dell'indice IPL e del rischio liquefazione.

Il calcolo dell'indice IPL è stato definito, per la prova CPT, anche considerando le equazioni di regressione CPTE funzione di CPT meccanica in considerazione del fatto che tutti i metodi semplificati di calcolo dell'indice di liquefazione sono stati pensati e basati su prove CPTE e non su prove CPT meccaniche.

**Si ritiene che gli input scelti per le verifiche ( $a_{g,max}$ , livello di falda,  $M_w$  e metodi di analisi) sono tutti stati definiti a favore di cautela e per quanto motivato sopra, si ritiene che l'analisi rischio liquefazione eseguita sulle verticali delle prove CPT eseguite in sito, sia adeguata ai terreni presenti nel suolo e sottosuolo del sito di ubicazione dell'edificio oggetto di intervento.**

Sulla base dei risultati ottenuti si riporta una tabella riassuntiva.

PROVA	INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE $I_L$ (IDRISS & BOULANGER 2008)	LPI Idriss & Boulanger 2008 con applicata l'equazione di regressione tra CPTE e CPTM	RISCHIO (Sonmez 2003)
CPTU1	0.0	/	MOLTO BASSO
CPT1	0.0	0.0	MOLTO BASSO



Sulla base delle verifiche eseguite sulle verticali di prova CPT e CPTU, il valore dell'Indice del potenziale di liquefazione IPL risulta = 0, rischio molto basso secondo la classificazione di Sonmez (2003).

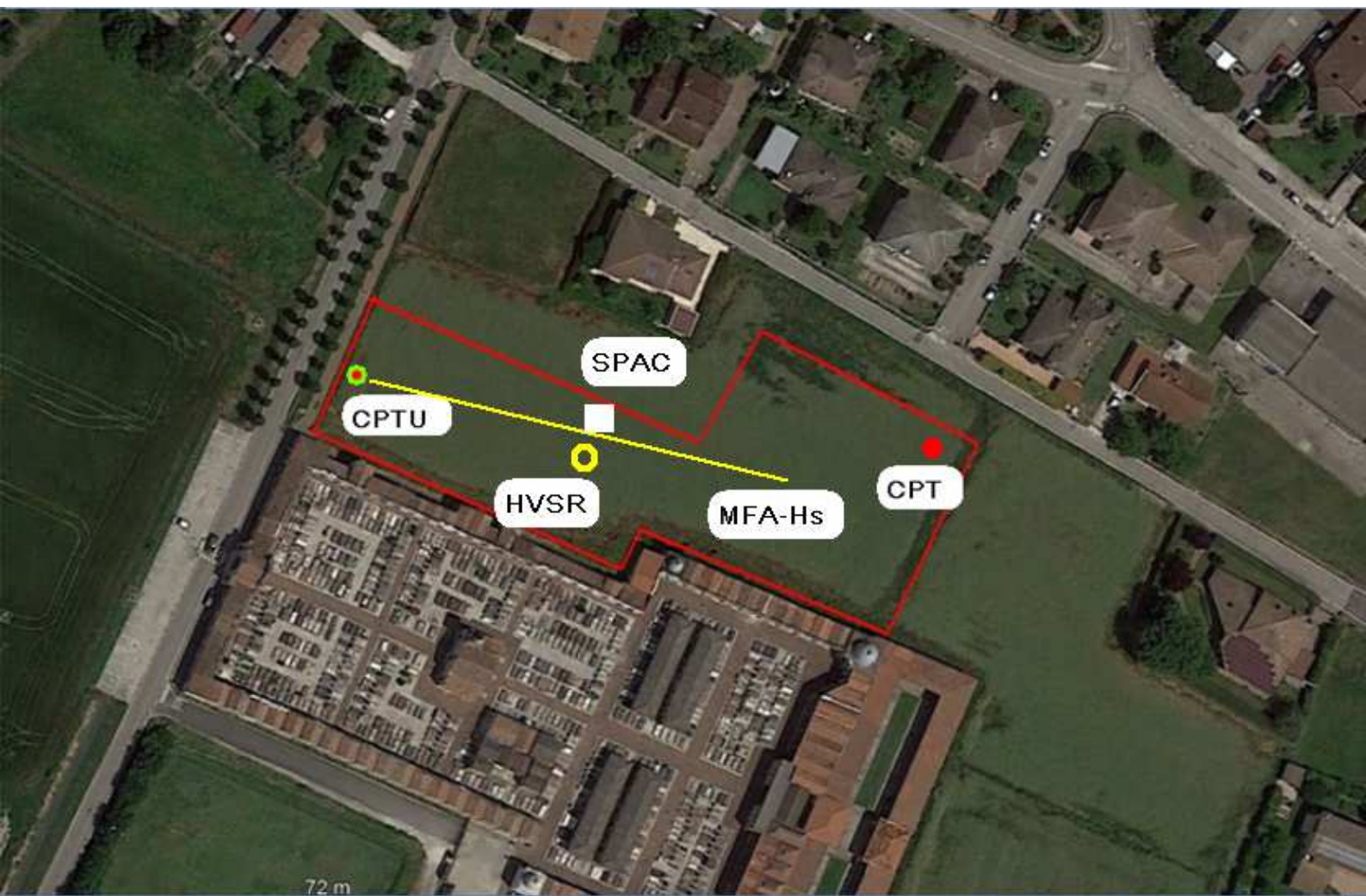
Considerati i valori calcolati dell'indice IPL, si ritiene che i terreni presenti nel sito di indagine risultano stabili nei confronti di processi di liquefazione.

Dott. Geol. RITA BALLISTA



## **ALLEGATI**

1. UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE ESEGUITE
2. DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT E CPTU
3. LITOLOGIE DI DETTAGLIO PROVE
4. PARAMETRI GEOTECNICI
5. VALORI NUMERICI PROVE CPT E CPTU
6. DIAGRAMMI PROVE DI DISSIPAZIONE DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI
7. RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA





# LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**TG63-200 - Pagani - Piacenza**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm/sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione  $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$   
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta  $S \text{ (Kg)}$ , corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $CT$ .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta.

## CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN



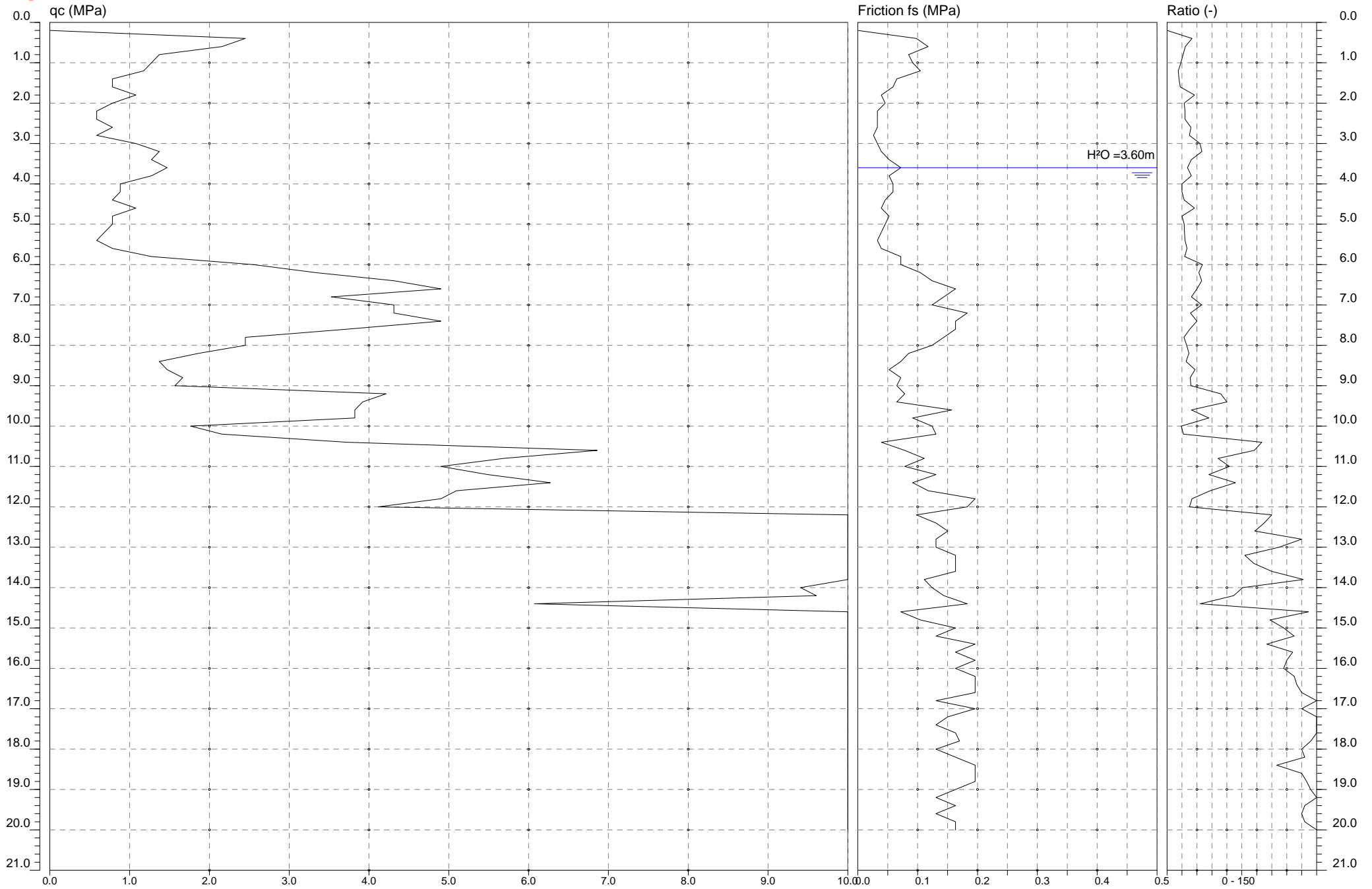


GEOPROGETTI SRL  
Laboratorio di prove geotecniche in sito  
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006  
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: AIMAG S.P.A.  
Cantiere: REVERE Via Foscolo  
Data: 14/10/2021

Quota:  
Preforo:  
Falda: -3.60

Prova n° 1



20.000 m

Sperimentatore: Dott. Geol. PAOLO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA



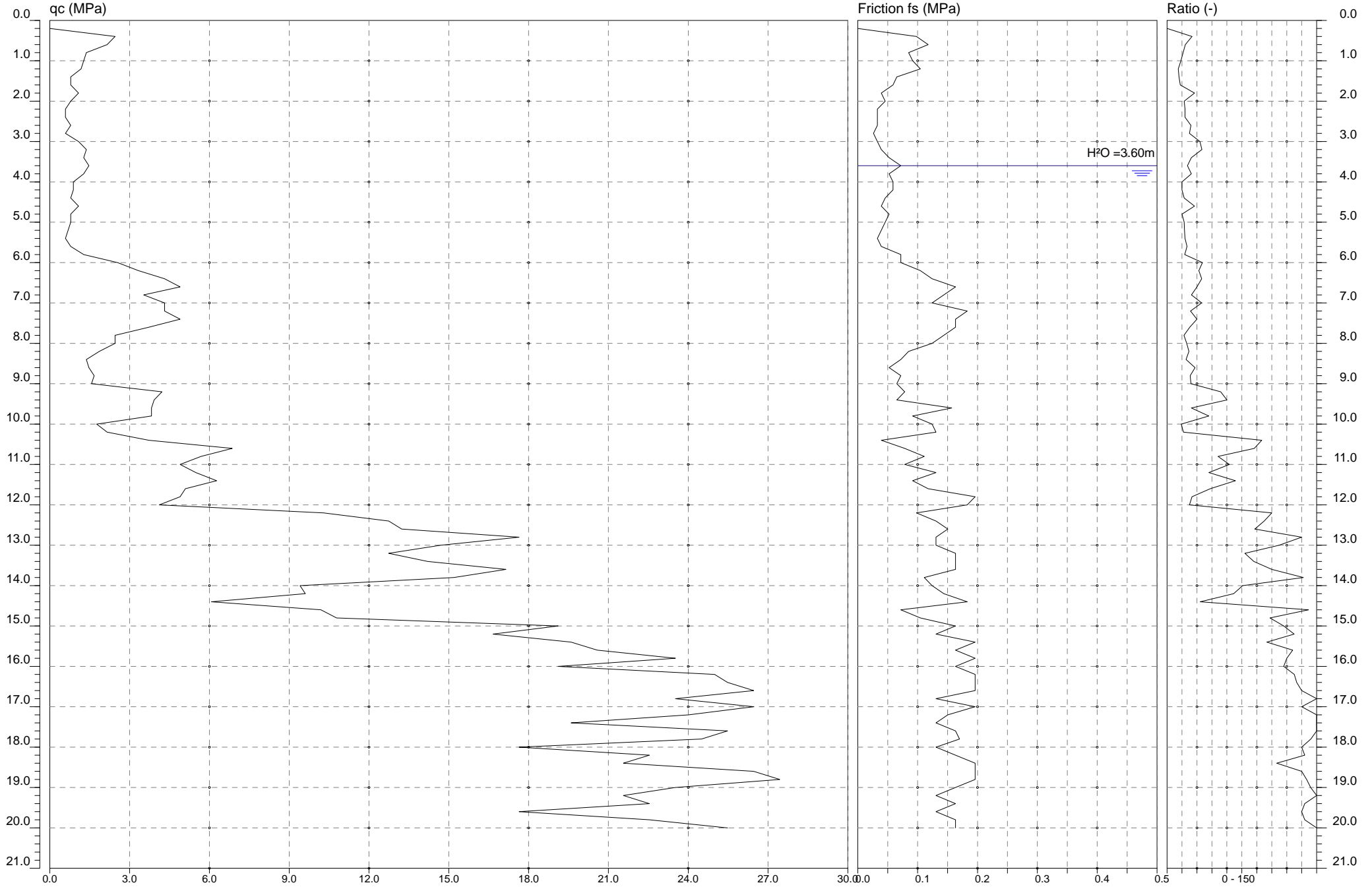


GEOPROGETTI SRL  
Laboratorio di prove geotecniche in sito  
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006  
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: AIMAG S.P.A.  
Cantiere: REVERE Via Foscolo  
Data: 14/10/2021

Quota:  
Preforo:  
Falda: -3.60

Prova n° 1



20.000 m

Sperimentatore: Dott. Geol. PAOLO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA

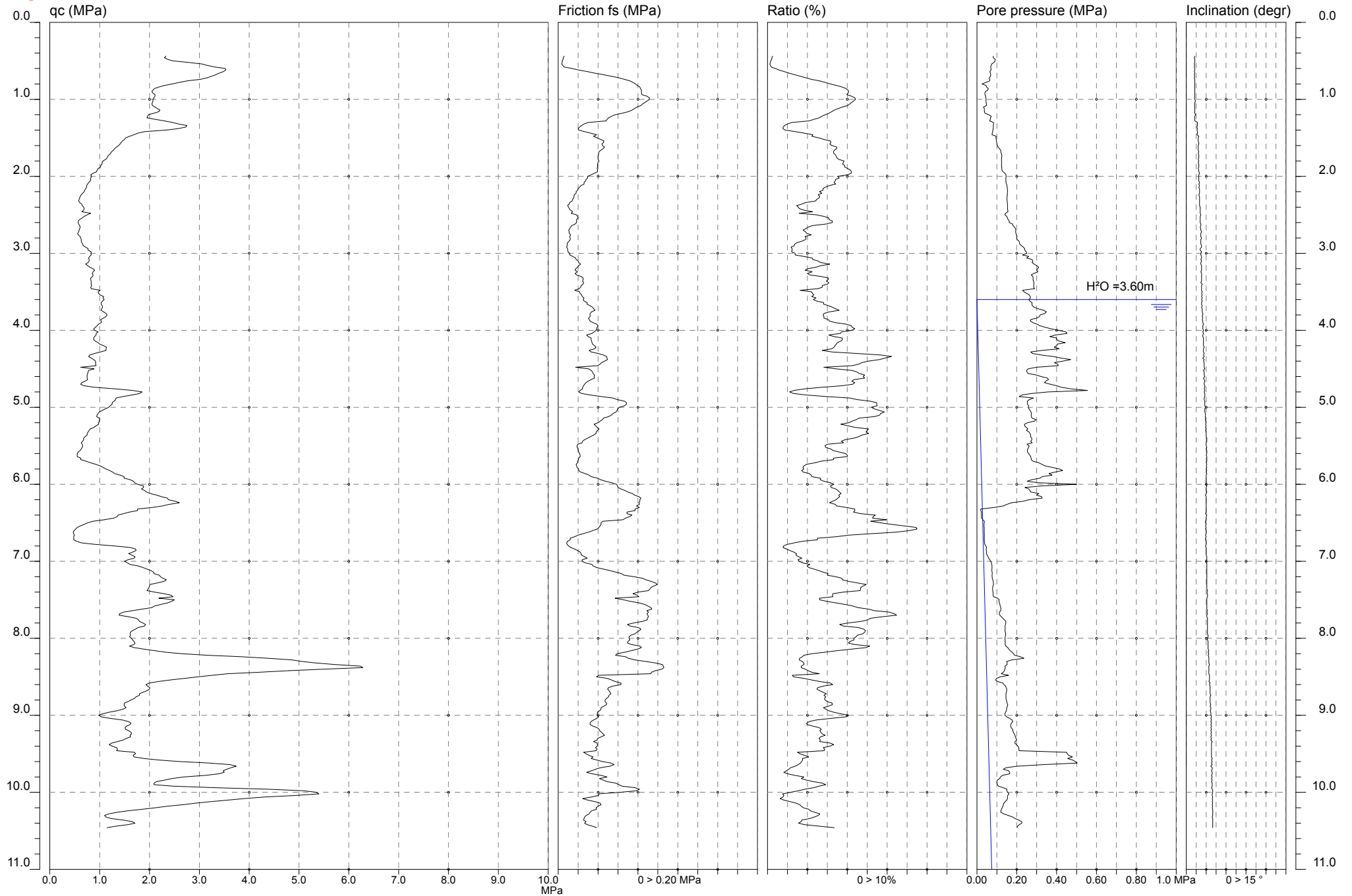


GEOPROGETTI SRL  
Laboratorio di prove geotecniche in sito  
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006  
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: AIMAG SPA  
Cantiere: V.Foscolo - REVERE -  
Data: 14/10/2021 10:15:09

Quota: 0.40  
Metodo: CPT  
Preforo:  
Falda: -2.80

Prova n° 1  
Pagina: 1 di 1



# **LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE** **CORRELAZIONI GENERALI**

**Valutazioni in base al rapporto:  $F = (q_c / f_s)$**

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \%$  :**

- AO	=	argilla organica e terreni misti
- Att	=	argilla (inorganica) molto tenera
- At	=	argilla (inorganica) tenera
- Am	=	argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	=	argilla (inorganica) consistente
- Acc	=	argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	=	argilla sabbiosa e limosa
- SAL	=	sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss	=	sabbia sciolta
- Sm	=	sabbia mediamente addensata
- Sd	=	sabbia densa o cementata
- SC	=	sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**
**1**

riferimento

**044-2021**

 Committente: **AIMAG S.P.A.**

 Cantiere: **REVERE Via Foscolo**

 Località: **REVERE - VIA FOSCOLO -**

U.M.:

**MPa**

Data exec.:

14/10/2021

Scala:

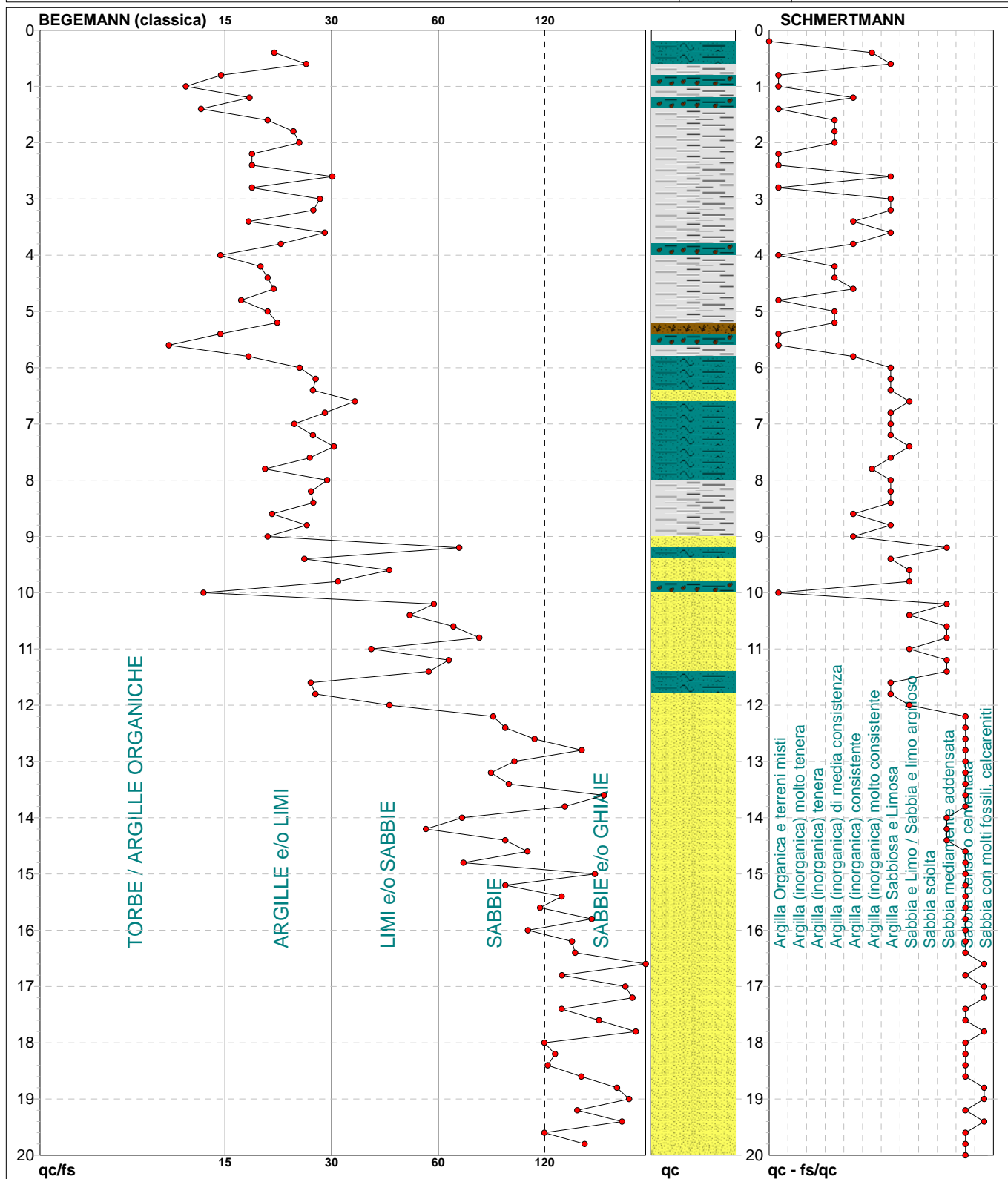
1:100

Pagina:

1

Elaborato:

Falda: -3.60 m



Torbe / Argille org. :	7 punti, 7.07%	Argilla Organica e terreni misti:	11 punti, 11.11%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	19 punti, 19.19%
Argille e/o Limi :	41 punti, 41.41%	Argilla (inorganica) media consist.:	7 punti, 7.07%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	7 punti, 7.07%
Limi e/o Sabbie :	9 punti, 9.09%	Argilla (inorganica) consistente:	7 punti, 7.07%	Sabbia mediamente addensata:	9 punti, 9.09%
Sabbie:	24 punti, 24.24%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 2.02%	Sabbia densa o cementata:	29 punti, 29.29%
Sabbie e/o Ghiaie :	18 punti, 18.18%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	7 punti, 7.07%

nota:

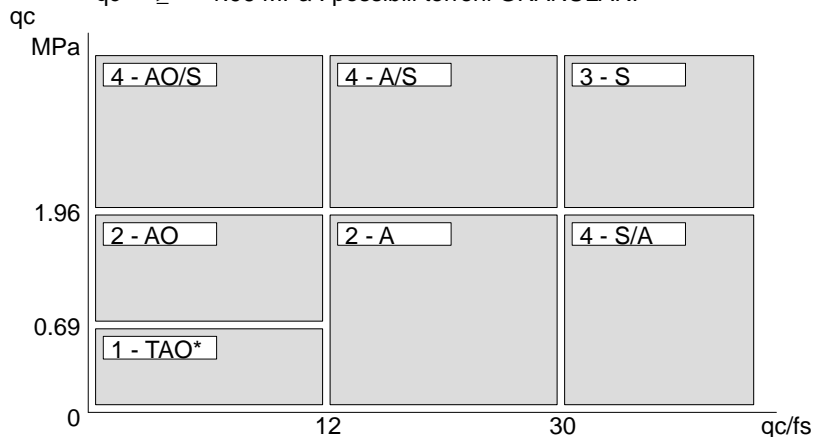
FON025

# LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $q_c / f_s$  (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$q_c \leq 1.96 \text{ MPa}$  : possibili terreni COESIVI  
 $q_c \geq 1.96 \text{ MPa}$  : possibili terreni GRANULARI

anche se  $(q_c / f_s) > 30$   
 anche se  $(q_c / f_s) < 30$



## NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

## PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  -  $q_c$  - natura ]  
 ( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  -  $q_c$  ]
- $OCR$  = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $OCR$  -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
 ( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  -  $OCR$  -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  -  $q_c$  ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
 Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  -  $q_c$  - natura ]  
 Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
 [ correlazioni :  $D_r$  -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 ) ]
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  -  $q_c$  -  $\sigma'_{vo}$  )  
 $\emptyset_{Ca}$  - Caquot (1948)  $\emptyset_{Ko}$  - Koppejan (1948)  
 $\emptyset_{DB}$  - De Beer (1965)  $\emptyset_{Sc}$  - Schmertmann (1978)  
 $\emptyset_{DM}$  - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)  $\emptyset_{Me}$  - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- $F.L.$  = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
 (  $g$  = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni :  $(A_{max}/g)$  -  $D_r$  ]
- $V_s$  = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Burrow e Stokoe 1983 )



<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>PARAMETRI GEOTECNICI</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>044-2021</b>

Committente: <b>AIMAG S.P.A.</b>	U.M.: <b>MPa</b>	Data eseg.: 14/10/2021
Cantiere: <b>REVERE Via Foscolo</b>	Pagina: 1	
Località: <b>REVERE - VIA FOSCOLO -</b>	Elaborato:	Falda: -3.60 m

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	$\gamma'$ t/m³	$\sigma'_{vo}$ kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	$\phi$ Sc (°)	$\phi$ Ca (°)	$\phi$ Ko (°)	$\phi$ DB (°)	$\phi$ DM (°)	$\phi$ Me (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
0.20	--	--		1.85	3.6	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	2.5	20.8		1.85	7.3	170	89.1	99.9	15.1	22.7	7.4	88	42	39	36	34	42	28	--	4.1	6.1	7.4
0.60	2.2	25.3		1.85	10.9	168	82.9	79.5	14.1	21.1	6.5	74	40	36	33	31	40	28	--	3.6	5.4	6.5
0.80	1.4	15.1		1.85	14.5	163	62.4	38.9	10.6	15.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.3	12.1		1.85	18.1	162	59.3	27.6	10.1	15.1	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	1.2	17.9		1.85	21.8	162	56.0	20.5	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.8	13.3		1.85	25.4	159	39.2	10.8	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	0.8	20.0		1.85	29.0	159	39.2	9.1	6.9	10.3	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	1.1	23.4		1.85	32.6	161	52.6	11.4	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.8	24.2		1.85	36.3	159	39.2	6.9	9.1	13.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.6	18.2		1.85	39.9	158	29.4	4.3	11.1	16.7	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.6	18.2		1.85	43.5	158	29.4	3.8	12.2	18.4	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.8	29.6		1.85	47.1	159	39.2	5.0	13.0	19.5	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.6	18.2		1.85	50.8	158	29.4	3.2	14.1	21.1	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	1.1	27.5		1.85	54.4	161	52.6	6.0	14.4	21.6	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1.4	26.4		1.85	58.0	163	62.4	6.9	14.7	22.0	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1.3	17.8		1.85	61.6	162	59.3	6.0	16.3	24.5	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	1.5	28.3		0.95	63.5	164	65.3	6.5	16.4	24.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1.3	21.7		0.93	65.3	162	59.3	5.6	17.7	26.5	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.9	15.0		0.88	67.1	160	44.1	3.7	18.9	28.4	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.9	19.1		0.88	68.8	160	44.1	3.6	19.4	29.1	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.8	20.0		0.86	70.5	159	39.2	3.0	19.3	28.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1.1	20.8		0.91	72.2	161	52.6	4.2	20.2	30.3	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.8	17.0		0.86	73.9	159	39.2	2.8	19.8	29.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.8	20.0		0.86	75.6	159	39.2	2.8	20.1	30.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.7	21.2		0.84	77.3	158	34.3	2.3	18.7	28.0	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.6	15.0		0.46	78.2	158	29.4	1.8	3.6	5.4	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.8	11.0		0.86	79.9	159	39.2	2.6	20.6	30.8	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	1.3	17.8		0.93	81.7	162	59.3	4.2	22.8	34.2	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	2.5	24.3		0.95	83.5	171	91.0	7.0	21.0	31.5	7.6	30	35	27	24	22	30	28	--	4.2	6.4	7.6
6.20	3.3	26.8		0.98	85.5	176	111.1	8.7	20.2	30.4	10.0	38	36	28	25	23	32	29	--	5.6	8.3	10.0
6.40	4.3	26.3		1.00	87.4	182	143.7	11.7	24.4	36.7	12.9	47	37	29	26	24	33	31	--	7.2	10.8	12.9
6.60	4.9	34.0		0.92	89.2	186	--	--	--	--	--	50	37	30	27	25	34	31	--	8.2	12.3	14.7
6.80	3.5	28.3		0.99	91.1	177	117.6	8.6	21.6	32.4	10.6	39	36	28	25	23	32	30	--	5.9	8.8	10.6
7.00	4.3	23.5		1.00	93.1	182	143.7	10.8	24.4	36.7	12.9	45	37	29	26	24	33	31	--	7.2	10.8	12.9
7.20	4.3	26.3		1.00	95.1	182	143.7	10.5	24.4	36.7	12.9	45	37	29	26	24	33	31	--	7.2	10.8	12.9
7.40	4.9	29.9		1.01	97.1	186	163.3	12.0	27.8	41.7	14.7	48	37	29	26	25	33	31	--	8.2	12.3	14.7
7.60	3.7	25.9		0.99	99.0	178	124.1	8.3	23.6	35.3	11.2	38	36	28	25	23	32	30	--	6.2	9.3	11.2
7.80	2.5	19.7		0.94	100.9	170	89.1	5.4	27.5	41.2	7.4	24	34	26	22	21	29	28	--	4.1	6.1	7.4
8.00	2.5	28.7		0.94	102.7	170	89.1	5.3	28.1	42.2	7.4	23	34	26	22	21	29	28	--	4.1	6.1	7.4
8.20	1.9	26.0		0.99	104.7	166	76.0	4.2	29.2	43.8	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	1.4	26.4		0.94	106.5	163	62.4	3.2	29.6	44.5	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	1.5	20.5		0.95	108.4	164	65.3	3.3	30.4	45.6	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	1.7	25.4		0.97	110.3	165	70.9	3.6	31.1	46.7	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	1.6	20.0		0.96	112.1	164	68.2	3.4	31.5	47.2	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	4.2	64.2		0.91	113.9	182	--	--	--	--	--	39	36	28	25	23	31	30	--	7.0	10.5	12.6
9.40	3.9	25.0		1.00	115.9	180	130.7	7.3	28.6	43.0	11.8	36	36	27	24	23	31	30	--	6.5	9.8	11.8
9.60	3.8	41.9		0.90	117.6	179	--	--	--	--	--	35	35	27	24	22	31	30	--	6.4	9.6	11.5
9.80	3.8	30.7		0.90	119.4	179	--	--	--	--	--	35	35	27	24	22	31	30	--	6.4	9.6	11.5
10.00	1.8	13.5		0.98	121.3	166	73.5	3.4	34.0	51.1	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	2.2	55.0		0.86	123.0	168	--	--	--	--	--	14	33	24	21	20	27	28	--	3.6	5.4	6.5
10.40	3.7	47.5		0.90	124.8	178	--	--	--	--	--	33	35	27	23	22	30	30	--	6.2	9.3	11.2
10.60	6.9	61.9		0.95	126.6	199	--	--	--	--	--	53	38	30	27	25	34	32	--	11.4	17.2	20.6
10.80	5.7	72.5		0.93	128.4	191	--	--	--	--	--	47	37	29	26	24	32	31	--	9.5	14.2	17.1
11.00	4.9	37.6		0.92	130.2	186	--	--	--	--	--	41	36	28	25	23	32	31	--	8.2	12.3	14.7
11.20	5.5	60.2		0.93	132.0	190	--	--	--	--	--	45	37	28	25	24	32	31	--	9.1	13.7	16.5
11.40	6.3	53.3		0.94	133.9	195	--	--	--	--	--	49	37	29	26	24	33	32	--	10.5	15.7	18.8
11.60	5.1	26.0		1.01	135.9	187	169.9	8.3	32.4	48.5	15.3	42	36	28	25	23	32	31	--	8.5	12.7	15.3
11.80	4.9	26.7		1.01	137.8	186	163.3	7.8	33.4	50.1	14.7	40	36	28	24	23	31	31	--	8.2	12.3	14.7
12.00	4.1	42.0		0.90	139.6	181	--	--	--	--	--	34	35	27	23	22	30	30	--	6.9	10.3	12.3
12.20	10.3	78.9																				

## CPTU1.txt

%  
 Sounding No 1749  
 Printer No 139  
 Start level 0.40  
 Date 14-Oct-2021  
 Time 14:41  
 Method CPT  
 Project reveve  
 Cone no 40107  
 Zb1=2217 Zb2=5233 Zb3=1796 Za1=2188 Za2=5297 Za3=1728 Memocone MKII class1 +  
 inclination

#	DEPTH	QC(MPa)	PP(KPa)	FS(KPa)	IN(°)
	0.42	2.33	82	6	1.3
	0.44	2.3	81.5	5	1.2
	0.46	2.36	92.5	5	1.3
	0.48	2.47	91	4	1.3
	0.5	2.77	86.5	4	1.3
	0.52	3.05	74.5	3.5	1.2
	0.54	3.16	71.5	4.5	1.3
	0.56	3.31	69	6	1.2
	0.58	3.52	70.5	14	1.3
	0.6	3.53	70.5	20.5	1.3
	0.62	3.48	65	29.5	1.2
	0.64	3.4	68	36.5	1.3
	0.66	3.33	69.5	45.5	1.2
	0.68	3.25	68.5	53	1.3
	0.7	3.16	62.5	60.5	1.2
	0.72	3.02	64.5	66.5	1.3
	0.74	2.75	64	72	1.3
	0.76	2.6	45	75	1.3
	0.78	2.45	25.5	77.5	1.3
	0.8	2.3	46	79.5	1.3
	0.82	2.19	48.5	82	1.3
	0.84	2.1	57.5	82.5	1.3
	0.86	2.07	54.5	83.5	1.3
	0.88	2.05	43	83.5	1.3
	0.9	2.07	40	83.5	1.3
	0.92	2.11	40.5	84	1.3
	0.94	2.11	44	89	1.3
	0.96	2.09	45.5	91.5	1.3
	0.98	2.07	46	91.5	1.3
	1	2.07	46	89.5	1.4
	1.02	2.06	46.5	87	1.3
	1.04	2.05	48	84.5	1.3
	1.06	2.06	48	83	1.3
	1.08	2.11	33	79	1.3
	1.1	2.16	37	76.5	1.3
	1.12	2.21	37	74	1.3
	1.14	2.19	38	70.5	1.3
	1.16	2.09	40.5	64.5	1.3
	1.18	1.98	59	57.5	1.4
	1.2	1.96	72.5	53.5	1.3
	1.22	1.95	68	50.5	1.3
	1.24	2.12	67.5	49	1.3
	1.26	2.3	64	48	1.3
	1.28	2.46	83	30	1.7
	1.3	2.58	83.5	26	1.7
	1.32	2.75	82.5	23.5	1.7
	1.34	2.73	82	21.5	1.6
	1.36	2.58	81.5	20	1.7
	1.38	2.34	80.5	20.5	1.6
	1.4	1.9	79	26.5	1.7
	1.42	1.77	77.5	32.5	1.7
	1.44	1.69	76	38.5	1.6
	1.46	1.6	97	35.5	1.9
	1.48	1.52	95.5	39	1.8
	1.5	1.5	97	42.5	1.8

CPTU1.txt

1.52	1.46	98	46	1.8
1.54	1.43	99.5	45.5	1.9
1.56	1.41	101	44	1.9
1.58	1.38	102.5	44.5	1.8
1.6	1.34	107	46.5	1.8
1.62	1.3	112.5	45	1.8
1.64	1.28	119.5	43	1.8
1.66	1.24	120	41	1.9
1.68	1.22	122	40.5	1.8
1.7	1.19	124.5	40.5	1.9
1.72	1.16	125.5	40	1.9
1.74	1.15	124	40	1.9
1.76	1.12	123.5	40	1.8
1.78	1.07	123.5	41	1.9
1.8	1.05	124	40	1.8
1.82	1.05	123.5	39.5	1.9
1.84	1.02	124	39.5	1.9
1.86	1.02	124.5	39.5	1.9
1.88	0.97	125.5	39	1.8
1.9	0.95	126	39.5	1.9
1.92	0.94	131	39.5	1.9
1.94	0.87	140	36.5	2
1.96	0.82	146	33	1.9
1.98	0.84	146.5	29.5	1.9
2	0.82	146	29.5	1.9
2.02	0.82	145	28	1.9
2.04	0.81	145.5	27.5	1.9
2.06	0.78	146	26	2
2.08	0.76	148.5	26	1.9
2.1	0.74	151	23	2
2.12	0.74	152	21.5	1.9
2.14	0.72	152.5	20	2
2.16	0.7	153.5	19.5	2
2.18	0.69	154	18	2
2.2	0.66	153	18	2
2.22	0.63	152.5	16	1.9
2.24	0.61	152	16	2
2.26	0.6	151.5	15.5	2
2.28	0.59	151.5	14.5	2
2.3	0.58	152	14	2
2.32	0.6	152.5	11.5	2
2.34	0.64	153	11	2
2.36	0.65	154	9.5	2
2.38	0.68	154	10.5	2.1
2.4	0.69	154	11	2.1
2.42	0.68	155	12.5	2.1
2.44	0.64	156	14.5	2.1
2.46	0.82	143	13	2.1
2.48	0.75	140.5	18.5	2.2
2.5	0.69	150	19.5	2.1
2.52	0.65	153	20	2.1
2.54	0.6	156.5	18.5	2.1
2.56	0.57	162.5	18.5	2.1
2.58	0.57	162.5	18.5	2.1
2.6	0.58	178.5	17	2.2
2.62	0.6	181.5	13.5	2.2
2.64	0.61	188.5	12.5	2.1
2.66	0.6	193.5	11.5	2.2
2.68	0.59	195	10.5	2.2
2.7	0.58	194.5	11	2.3
2.72	0.56	195.5	11	2.2
2.74	0.57	198.5	12.5	2.2
2.76	0.61	201	11.5	2.2
2.78	0.62	200	12	2.3
2.8	0.63	202	12	2.2
2.82	0.63	211	11	2.2
2.84	0.64	213.5	9.5	2.2
2.86	0.66	214.5	9	2.2

2agina p

CPTU1.txt

2.88	0.67	223.5	9	2.3
2.9	0.72	232.5	8.5	2.3
2.92	0.77	240	9.5	2.1
2.94	0.77	240	9.5	2.1
2.96	0.83	247.5	10	2.3
2.98	0.83	249.5	11.5	2.2
3	0.83	229	11.5	2.2
3.02	0.8	260	14.5	2.3
3.04	0.78	250	17.5	2.3
3.06	0.79	276	18	2.2
3.08	0.79	280.5	20	2.3
3.1	0.77	276.5	20.5	2.2
3.12	0.72	287	22.5	2.2
3.14	0.76	300	20.5	2.3
3.16	0.8	310	19.5	2.3
3.18	0.87	305	17.5	2.3
3.2	0.9	299.5	17	2.3
3.22	0.87	306.5	19.5	2.2
3.24	0.85	286	17	2.3
3.26	0.87	273	18.5	2.3
3.28	0.86	280.5	23	2.3
3.3	0.82	282	25	2.3
3.32	0.82	282	25	2.3
3.34	0.83	283.5	24.5	2.3
3.36	0.83	286	25.5	2.2
3.38	0.83	286.5	25	2.4
3.4	0.84	284.5	23	2.3
3.42	0.82	285	22.5	2.3
3.44	0.83	289.5	21	2.3
3.46	1.01	229.5	16.5	2.3
3.48	0.97	237	21.5	2.4
3.5	0.98	250.5	22	2.3
3.52	1.01	262	23.5	2.4
3.54	1.08	267.5	24	2.3
3.56	1.07	269	26	2.4
3.58	1.09	260.5	25	2.3
3.6	1.06	265	26	2.4
3.62	1.03	276.5	29	2.3
3.64	1.03	276.5	29	2.3
3.66	1.05	277.5	32	2.4
3.68	1.06	287	34.5	2.3
3.7	1.04	305.5	35.5	2.4
3.72	1.03	335.5	37	2.4
3.74	1.08	348.5	33.5	2.4
3.76	1.13	340	32	2.5
3.78	1.15	318	32	2.5
3.8	1.13	313.5	32	2.4
3.82	1.08	302	30.5	2.5
3.84	1.02	269.5	31	2.4
3.86	1.03	268.5	32	2.5
3.88	1.03	281	35	2.5
3.9	0.98	301	38.5	2.6
3.92	0.95	315	40	2.5
3.94	0.92	340.5	39	2.5
3.96	0.88	371	38.5	2.5
3.98	0.9	409	38	2.6
4	0.97	446	36	2.5
4.02	0.93	453	34	2.6
4.04	0.93	396	28.5	2.5
4.06	0.9	366	30	2.5
4.08	0.88	400	33	2.6
4.1	0.88	400	33	2.6
4.12	0.91	413.5	33.5	2.6
4.14	0.97	443.5	34	2.6
4.16	1	403	34.5	2.6
4.18	1.08	399.5	36.5	2.6
4.2	1.14	388	38	2.7
4.22	1.13	413	36.5	2.6

3agina p

CPTU1.txt

4.24	1.13	328	31	2.6
4.26	1.02	270	33	2.6
4.28	0.9	279	40	2.7
4.3	0.8	323.5	45.5	2.6
4.32	0.78	383	48.5	2.7
4.34	0.83	422	49	2.5
4.36	0.88	470.5	49.5	2.7
4.38	0.92	431	46.5	2.6
4.4	0.92	388.5	43.5	2.7
4.42	0.92	405	42	2.7
4.44	0.93	408.5	39.5	2.7
4.46	0.62	298.5	17.5	2.7
4.48	0.89	258	30.5	2.8
4.5	0.78	249.5	33	2.6
4.52	0.77	251	34.5	2.7
4.54	0.76	256.5	35	2.7
4.56	0.75	299.5	36.5	2.7
4.58	0.75	321.5	36	2.8
4.6	0.75	354	36.5	2.6
4.62	0.76	359	33	2.7
4.64	0.71	345	30	2.8
4.66	0.64	339.5	28	2.7
4.68	0.62	368.5	26.5	2.7
4.7	0.68	399.5	25.5	2.8
4.72	0.9	423	24.5	2.8
4.74	1.32	473.5	24.5	2.7
4.76	1.66	555	22	2.8
4.78	1.85	357	20.5	2.7
4.8	1.8	274.5	23.5	2.8
4.82	1.65	226	32	2.8
4.84	1.47	212.5	43.5	2.8
4.86	1.33	284	55	2.7
4.88	1.32	262	59.5	2.7
4.9	1.29	253	66.5	2.8
4.92	1.25	253.5	68.5	2.8
4.94	1.25	253.5	68.5	2.8
4.96	1.21	260	66.5	2.8
4.98	1.18	258.5	61.5	2.9
5	1.11	261	59.5	2.8
5.02	1.05	267	59	2.8
5.04	0.99	271.5	58	2.8
5.06	0.97	274	55	2.9
5.08	0.95	272	53.5	2.9
5.1	0.94	272.5	50.5	2.9
5.12	0.99	276.5	45.5	2.9
5.14	1	296	44.5	2.9
5.16	0.99	289	42	2.9
5.18	0.98	254.5	40	3
5.2	0.98	239	36	2.9
5.22	0.93	239	37.5	3
5.24	0.89	247.5	39	2.9
5.26	0.81	256	41	3
5.28	0.79	248.5	39.5	2.9
5.3	0.77	261.5	38	3
5.32	0.75	266	38	3
5.34	0.75	270	35.5	3
5.36	0.71	269	32.5	3
5.38	0.68	275	29.5	3.1
5.4	0.68	276	26.5	3.1
5.42	0.66	270	24.5	3.1
5.44	0.63	277	24	3
5.46	0.65	251	19.5	3
5.48	0.66	261.5	19	3
5.5	0.65	260.5	19	3.1
5.52	0.63	255	20	3
5.54	0.61	253	20	3.1
5.56	0.57	254.5	20.5	3.1
5.58	0.55	259.5	21.5	3.1

4agina p



## CPTU1.txt

5.6	0.55	264.5	22	3
5.62	0.55	269.5	22	3.1
5.64	0.62	272	20.5	3.1
5.66	0.62	272	20.5	3.1
5.68	0.73	282	19.5	3.1
5.7	0.81	310	19.5	3
5.72	0.92	326	18	3.1
5.74	1.01	342	18.5	3
5.76	1.07	379	19	3.1
5.78	1.13	414.5	20.5	3
5.8	1.2	430	20.5	3.1
5.82	1.26	391.5	22.5	3
5.84	1.3	361.5	27	3.1
5.86	1.41	377	31	3
5.88	1.49	327.5	33	3
5.9	1.49	316.5	39.5	3
5.92	1.61	275.5	42.5	3
5.94	1.68	251.5	47.5	3
5.96	1.7	307	53.5	3
5.98	1.76	501	58.5	3
6	1.88	326.5	59.5	3.1
6.02	1.88	241	60	3
6.04	1.84	260.5	63	3
6.06	1.9	266	67	3
6.08	1.94	270.5	70	3.1
6.1	2.02	311	74.5	3
6.12	2.14	298	76.5	2.9
6.14	2.24	324.5	81	3
6.16	2.36	327.5	83	3
6.18	2.38	261.5	82	3
6.2	2.52	230	82	3
6.22	2.6	174	81	3
6.24	2.4	151.5	81.5	3
6.26	2.26	132.5	78.5	3
6.28	2.05	85.5	81.5	3
6.3	1.76	19.5	77	3
6.32	1.76	19.5	77	3
6.34	1.6	23	69	3
6.36	1.48	22.5	69	2.9
6.38	1.37	23	74	3.1
6.4	1.35	22.5	71.5	3
6.42	1.28	23.5	67.5	3
6.44	1.09	29.5	65	3
6.46	0.87	37	45	2.9
6.48	0.76	36.5	43	2.9
6.5	0.69	36	43	3
6.52	0.61	36	42	2.9
6.54	0.55	36.5	41	3
6.56	0.52	36.5	39	2.9
6.58	0.49	36.5	35	3
6.6	0.47	36.5	30.5	3
6.62	0.48	37	25	3
6.64	0.49	37	20	2.9
6.66	0.48	37	16.5	3
6.68	0.48	37.5	12	2.9
6.7	0.48	37.5	12	2.9
6.72	0.54	38	9.5	3
6.74	0.63	38.5	8.5	3
6.76	0.92	40	9	3
6.78	1.31	45.5	10.5	2.9
6.8	1.61	48.5	12.5	3
6.82	1.72	47	16.5	3
6.84	1.73	47.5	19.5	3
6.86	1.66	49	22	3
6.88	1.58	47.5	23	3
6.9	1.65	51.5	23.5	3
6.92	1.71	55.5	26.5	3.1
6.94	1.69	59.5	29	3.1

5agina p

6.96	1.57	64.5	24	3.1
6.98	1.5	69.5	24	3
7	1.56	73.5	27.5	3.1
7.02	1.61	74	34	3.1
7.04	1.77	76	35	3.1
7.06	1.87	76	38.5	3.1
7.08	1.95	75.5	45.5	3.1
7.1	2.03	75	52	3.1
7.12	2.08	76.5	58	3.1
7.14	2.09	77.5	63.5	3.1
7.16	2.2	76	66	3.1
7.18	2.22	76.5	76	3.1
7.2	2.27	77.5	84.5	3.1
7.22	2.34	80.5	88	3.1
7.24	2.29	81.5	93	3.1
7.26	2.16	83	97.5	3.1
7.28	2.01	83.5	99.5	3.1
7.3	2	81	96	3.1
7.32	1.99	79	93	3.1
7.34	1.97	78.5	92	3.1
7.36	1.95	80	90.5	3.2
7.38	2.1	81	80	3.1
7.4	2.29	81.5	75	3.2
7.42	2.43	81	79	3.2
7.44	2.47	84	81	3.2
7.46	2.19	104	57	3.1
7.48	2.5	112	65.5	3.1
7.5	2.44	110.5	72.5	3.1
7.52	2.36	113.5	81.5	3.1
7.54	2.22	115.5	87	3.1
7.56	2.1	116.5	90	3.1
7.58	2.05	120	93	3.1
7.6	1.86	120.5	94	3.1
7.62	1.66	119.5	89	3.2
7.64	1.48	113	90.5	3.1
7.66	1.4	112	89	3.2
7.68	1.39	115	90	3.1
7.7	1.58	123	90.5	3.1
7.72	1.73	130	89.5	3.2
7.74	1.78	137.5	89.5	3.2
7.76	1.8	145	84.5	3.2
7.78	1.87	145	75.5	3.2
7.8	1.92	143	69.5	3.2
7.82	1.9	141.5	72	3.2
7.84	1.77	141.5	80.5	3.2
7.86	1.72	142	83	3.2
7.88	1.66	141	81.5	3.2
7.9	1.62	143.5	79	3.2
7.92	1.61	144.5	77	3.2
7.94	1.62	144	73	3.3
7.96	1.6	142.5	71	3.3
7.98	1.64	140.5	71	3.2
8	1.66	142	72	3.2
8.02	1.69	141.5	70	3.3
8.04	1.71	142	69.5	3.3
8.06	1.69	141.5	73.5	3.3
8.08	1.6	145	82	3.3
8.1	1.69	155	83.5	3.3
8.12	1.89	160	79.5	3.3
8.14	2.1	167.5	73.5	3.4
8.16	2.32	176.5	67	3.3
8.18	2.64	184	59	3.4
8.2	3.16	189.5	57.5	3.3
8.22	3.85	218.5	67.5	3.4
8.24	4.39	236	70.5	3.4
8.26	4.86	174.5	77	3.4
8.28	5.06	149.5	88	3.4
8.3	5.34	152	97.5	3.4

## CPTU1.txt

8.32	5.72	152	104.5	3.5
8.34	6.23	141	105.5	3.4
8.36	6.28	142.5	106	3.4
8.38	5.49	140.5	104	3.4
8.4	4.8	137.5	97.5	3.4
8.42	4.2	132.5	93.5	3.4
8.44	3.57	122	93	3.4
8.46	3.26	158.5	40.5	3.5
8.48	2.98	118.5	38.5	3.5
8.5	2.71	99	49	3.5
8.52	2.42	94	53.5	3.5
8.54	2.18	103	57	3.4
8.56	2	130.5	63	3.6
8.58	1.93	135.5	63	3.5
8.6	1.96	144	55	3.6
8.62	2.01	147	50.5	3.6
8.64	2	150	49.5	3.6
8.66	1.95	149.5	51	3.6
8.68	1.87	148	52	3.6
8.7	1.8	145.5	53	3.6
8.72	1.8	145.5	51	3.7
8.74	1.73	146	50.5	3.6
8.76	1.7	146	48.5	3.6
8.78	1.63	148	47	3.6
8.8	1.57	150	47	3.6
8.82	1.5	151.5	48.5	3.6
8.84	1.49	155	48.5	3.7
8.86	1.5	152.5	46	3.6
8.88	1.53	150.5	43	3.7
8.9	1.47	148.5	43	3.7
8.92	1.35	148.5	41.5	3.6
8.94	1.19	144	39.5	3.7
8.96	1.06	141	39	3.7
8.98	0.98	141	39.5	3.7
9	1.03	150	40.5	3.8
9.02	1.22	165	38.5	3.7
9.04	1.46	176.5	35.5	3.8
9.06	1.57	180	33	3.7
9.08	1.63	174	32	3.8
9.1	1.61	169.5	32	3.7
9.12	1.54	169.5	35	3.8
9.14	1.51	171.5	39	3.7
9.16	1.52	179	41	3.8
9.18	1.58	180	41.5	3.7
9.2	1.63	183	43.5	3.8
9.22	1.64	187.5	45	3.7
9.24	1.61	190	46.5	3.8
9.26	1.62	194.5	43	3.7
9.28	1.53	196	39.5	3.8
9.3	1.47	200	39	3.7
9.32	1.36	192	35.5	3.9
9.34	1.24	190	39	3.8
9.36	1.19	198.5	39.5	3.8
9.38	1.25	205.5	39	3.8
9.4	1.34	210.5	37.5	3.8
9.42	1.36	211	39	3.8
9.44	1.34	211.5	38	3.8
9.46	1.7	450.5	25.5	3.8
9.48	1.72	453.5	28	3.8
9.5	1.67	461	31	3.8
9.52	1.69	478.5	35	3.8
9.54	1.89	455	33	3.9
9.56	2.18	480	38.5	3.8
9.58	2.61	493.5	44.5	3.9
9.6	3.2	503	53	3.8
9.62	3.62	332.5	56	3.9
9.64	3.74	202	52	3.7
9.66	3.64	147	42.5	3.9

CPTU1.txt

9.68	3.55	133	37.5	3.9
9.7	3.48	159.5	33.5	3.8
9.72	3.5	165	28.5	3.9
9.74	3.39	164.5	34	3.9
9.76	3.12	128	43	3.8
9.78	2.68	118.5	49	3.9
9.8	2.45	114	41.5	3.8
9.82	2.31	103	45	3.9
9.84	2.14	100	49	3.8
9.86	2.09	101	57.5	3.9
9.88	2.09	103	61	3.9
9.9	2.47	108	64	3.9
9.92	3.33	132	77	3.8
9.94	4.37	151	81.5	3.9
9.96	5.1	150	78.5	4
9.98	5.34	154	62.5	4
10	5.4	161	41	3.9
10.02	4.95	155	40.5	3.9
10.04	4.31	153	33.5	4
10.06	3.9	154	24.5	3.9
10.08	3.58	150	29.5	4
10.1	3.23	142	37	3.9
10.12	2.93	135.5	42	4
10.14	2.67	132.5	43	3.9
10.16	2.36	131	40	4
10.18	2.12	127.5	38	3.9
10.2	1.86	123	38.5	4
10.22	1.56	120.5	33.5	4
10.24	1.35	120	32	4
10.26	1.18	134.5	31	4
10.28	1.1	157.5	28	4
10.3	1.13	179.5	26.5	3.9
10.32	1.23	191.5	26	4
10.34	1.48	209	25.5	4
10.36	1.65	225	28	4
10.38	1.71	226	26.5	4
10.4	1.57	213	29	4
10.42	1.32	204	34.5	4
10.44	1.15	201	38.5	4
10.44	1.15	201	38.5	4

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>044-2021</b>

Committente: <b>AIMAG S.P.A.</b>	U.M.: <b>MPa</b>	Data esec.: 14/10/2021
Cantiere: <b>REVERE Via Foscolo</b>	Pagina: 1	
Località: <b>REVERE - VIA FOSCOLO -</b>	Elaborato:	Falda: -3.60 m

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.0	100.00	0		15.20	170.0	190.0		16.7	200.00	85	1.2
0.40	25.0	40.0		2.5	120.00	21	4.8	15.40	200.0	230.0		19.6	167.00	120	0.8
0.60	22.0	40.0		2.2	87.00	25	4.0	15.60	210.0	235.0		20.6	200.00	105	1.0
0.80	14.0	27.0		1.4	93.00	15	6.6	15.80	240.0	270.0		23.5	167.00	144	0.7
<b>1.00</b>	13.0	27.0		1.3	107.00	12	8.2	<b>16.00</b>	195.0	220.0		19.1	200.00	98	1.0
1.20	12.0	28.0		1.2	67.00	18	5.6	16.20	255.0	285.0		25.0	200.00	128	0.8
1.40	8.0	18.0		0.8	60.00	13	7.5	16.40	260.0	290.0		25.5	200.00	130	0.8
1.60	8.0	17.0		0.8	40.00	20	5.0	16.60	270.0	300.0		26.5	133.00	203	0.5
1.80	11.0	17.0		1.1	47.00	23	4.3	16.80	240.0	260.0		23.5	200.00	120	0.8
<b>2.00</b>	8.0	15.0		0.8	33.00	24	4.1	<b>17.00</b>	270.0	300.0		26.5	153.00	176	0.6
2.20	6.0	11.0		0.6	33.00	18	5.5	17.20	245.0	268.0		24.0	133.00	184	0.5
2.40	6.0	11.0		0.6	33.00	18	5.5	17.40	200.0	220.0		19.6	167.00	120	0.8
2.60	8.0	13.0		0.8	27.00	30	3.4	17.60	260.0	285.0		25.5	173.00	150	0.7
2.80	6.0	10.0		0.6	33.00	18	5.5	17.80	250.0	276.0		24.5	133.00	188	0.5
<b>3.00</b>	11.0	16.0		1.1	40.00	28	3.6	<b>18.00</b>	180.0	200.0		17.6	167.00	108	0.9
3.20	14.0	20.0		1.4	53.00	26	3.8	18.20	230.0	255.0		22.5	200.00	115	0.9
3.40	13.0	21.0		1.3	73.00	18	5.6	18.40	220.0	250.0		21.6	200.00	110	0.9
3.60	15.0	26.0		1.5	53.00	28	3.5	18.60	270.0	300.0		26.5	200.00	135	0.7
3.80	13.0	21.0		1.3	60.00	22	4.6	18.80	280.0	310.0		27.4	167.00	168	0.6
<b>4.00</b>	9.0	18.0		0.9	60.00	15	6.7	<b>19.00</b>	240.0	265.0		23.5	133.00	180	0.6
4.20	9.0	18.0		0.9	47.00	19	5.2	19.20	220.0	240.0		21.6	167.00	132	0.8
4.40	8.0	15.0		0.8	40.00	20	5.0	19.40	230.0	255.0		22.5	133.00	173	0.6
4.60	11.0	17.0		1.1	53.00	21	4.8	19.60	180.0	200.0		17.6	167.00	108	0.9
4.80	8.0	16.0		0.8	47.00	17	5.9	19.80	230.0	255.0		22.5	167.00	138	0.7
<b>5.00</b>	8.0	15.0		0.8	40.00	20	5.0	<b>20.00</b>	260.0	285.0		25.5			
5.20	7.0	13.0		0.7	33.00	21	4.7								
5.40	6.0	11.0		0.6	40.00	15	6.7								
5.60	8.0	14.0		0.8	73.00	11	9.1								
5.80	13.0	24.0		1.3	73.00	18	5.6								
<b>6.00</b>	26.0	37.0		2.5	107.00	24	4.1								
6.20	34.0	50.0		3.3	127.00	27	3.7								
6.40	44.0	63.0		4.3	167.00	26	3.8								
6.60	50.0	75.0		4.9	147.00	34	2.9								
6.80	36.0	58.0		3.5	127.00	28	3.5								
<b>7.00</b>	44.0	63.0		4.3	187.00	24	4.3								
7.20	44.0	72.0		4.3	167.00	26	3.8								
7.40	50.0	75.0		4.9	167.00	30	3.3								
7.60	38.0	63.0		3.7	147.00	26	3.9								
7.80	25.0	47.0		2.5	127.00	20	5.1								
<b>8.00</b>	25.0	44.0		2.5	87.00	29	3.5								
8.20	19.0	32.0		1.9	73.00	26	3.8								
8.40	14.0	25.0		1.4	53.00	26	3.8								
8.60	15.0	23.0		1.5	73.00	21	4.9								
8.80	17.0	28.0		1.7	67.00	25	3.9								
<b>9.00</b>	16.0	26.0		1.6	80.00	20	5.0								
9.20	43.0	55.0		4.2	67.00	64	1.6								
9.40	40.0	50.0		3.9	160.00	25	4.0								
9.60	39.0	63.0		3.8	93.00	42	2.4								
9.80	39.0	53.0		3.8	127.00	31	3.3								
<b>10.00</b>	18.0	37.0		1.8	133.00	14	7.4								
10.20	22.0	42.0		2.2	40.00	55	1.8								
10.40	38.0	44.0		3.7	80.00	48	2.1								
10.60	70.0	82.0		6.9	113.00	62	1.6								
10.80	58.0	75.0		5.7	80.00	73	1.4								
<b>11.00</b>	50.0	62.0		4.9	133.00	38	2.7								
11.20	56.0	76.0		5.5	93.00	60	1.7								
11.40	64.0	78.0		6.3	120.00	53	1.9								
11.60	52.0	70.0		5.1	200.00	26	3.8								
11.80	50.0	80.0		4.9	187.00	27	3.7								
<b>12.00</b>	42.0	70.0		4.1	100.00	42	2.4								
12.20	105.0	120.0		10.3	133.00	79	1.3								
12.40	130.0	150.0		12.7	153.00	85	1.2								
12.60	135.0	158.0		13.2	133.00	102	1.0								
12.80	180.0	200.0		17.6	133.00	135	0.7								
<b>13.00</b>	150.0	170.0		14.7	167.00	90	1.1								
13.20	130.0	155.0		12.7	167.00	78	1.3								
13.40	145.0	170.0		14.2	167.00	87	1.2								
13.60	175.0	200.0		17.2	113.00	155	0.6								
13.80	155.0	172.0		15.2	127.00	122	0.8								
<b>14.00</b>	96.0	115.0		9.4	147.00	65	1.5								
14.20	98.0	120.0		9.6	187.00	52	1.9								
14.40	62.0	90.0		6.1	73.00	85	1.2								
14.60	104.0	115.0		10.2	107.00	97	1.0								
14.80	110.0	126.0		10.8	167.00	66	1.5								
<b>15.00</b>	195.0	220.0		19.1	133.00	147	0.7								

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata  
 0.20 m sopra quota qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

nota:

FON025





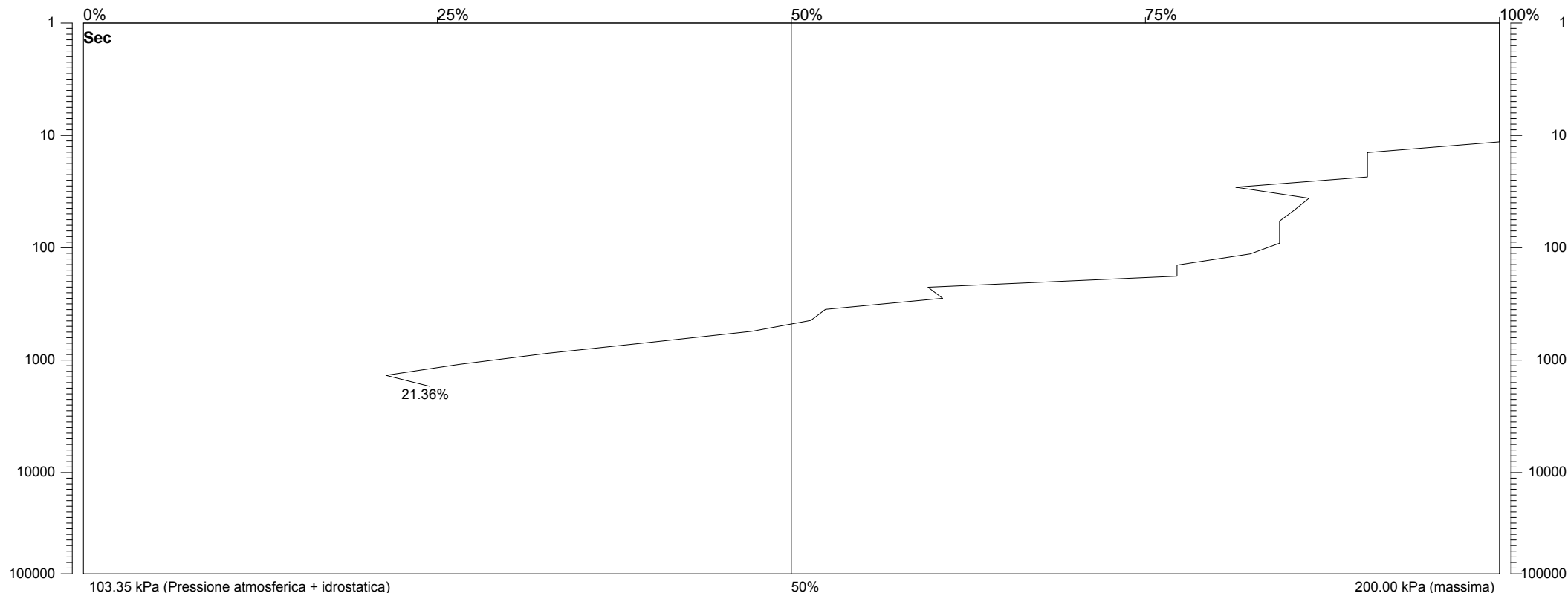
ROGETTI

GEOPROGETTI SRL  
Laboratorio di prove geotecniche in sito  
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006  
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: AIMAG SPA  
Cantiere: REVERE - MANTOVA - VIA FOSCOLO  
Data: 14/10/2021  
C.P.T.U. n°: 2  
Quota: 3.00  
Metodo:

Falda: -2.80

Dissipazione n° 2



Time/p.p	Time/p.p	Time/p.p	Time/p.p	Time/p.p
00:00:01 200.00	00:01:19 185.00			
00:00:02 200.00	00:01:40 185.00			
00:00:03 200.00	00:02:05 183.00			
00:00:03 200.00	00:02:38 178.00			
00:00:05 200.00	00:03:19 178.00			
00:00:06 200.00	00:04:11 161.00			
00:00:07 200.00	00:05:16 162.00			
00:00:10 200.00	00:06:38 154.00			
00:00:12 200.00	00:08:21 153.00			
00:00:15 191.00	00:10:30 149.00			
00:00:19 191.00	00:13:14 142.00			
00:00:25 191.00	00:16:39 135.00			
00:00:31 182.00	00:20:58 129.00			
00:00:39 187.00	00:26:24 124.00			
00:00:50 186.00	00:33:15 127.00			
00:01:03 185.00				

## DATI SULLA DISSIPAZIONE

Quota dissipazione: -3.00 m  
Quota falda: -2.80 m  
Colonna d'acqua: 0.20 m  
Pressione atmosferica: 101.33 kPa  
Pressione colonna acqua: 2.03 kPa (10.13 kPa x 1.00m)  
Pressione massima dissipazione: 200.00 kPa  
Pressione finale dissipazione: 124.00 kPa  
Residuo sovrappressione: 21.36 %

## CALCOLI PERMEABILITA'

Resistenza di punta alla quota: 0.70 MPa  
Permeabilità orizzontale:  $k_w = mv \cdot yw \cdot ch = 3.77E-07$  [cm/sec]  
 $mv$  = Coefficiente compressibilità volume [kg/cm<sup>2</sup>]  
 $yw$  = Peso specifico acqua 0,001 [kg/cm<sup>3</sup>]  
 $ch$  = Coefficiente consolidazione orizzontale volume: [cm<sup>2</sup>/sec]



ROGETTI

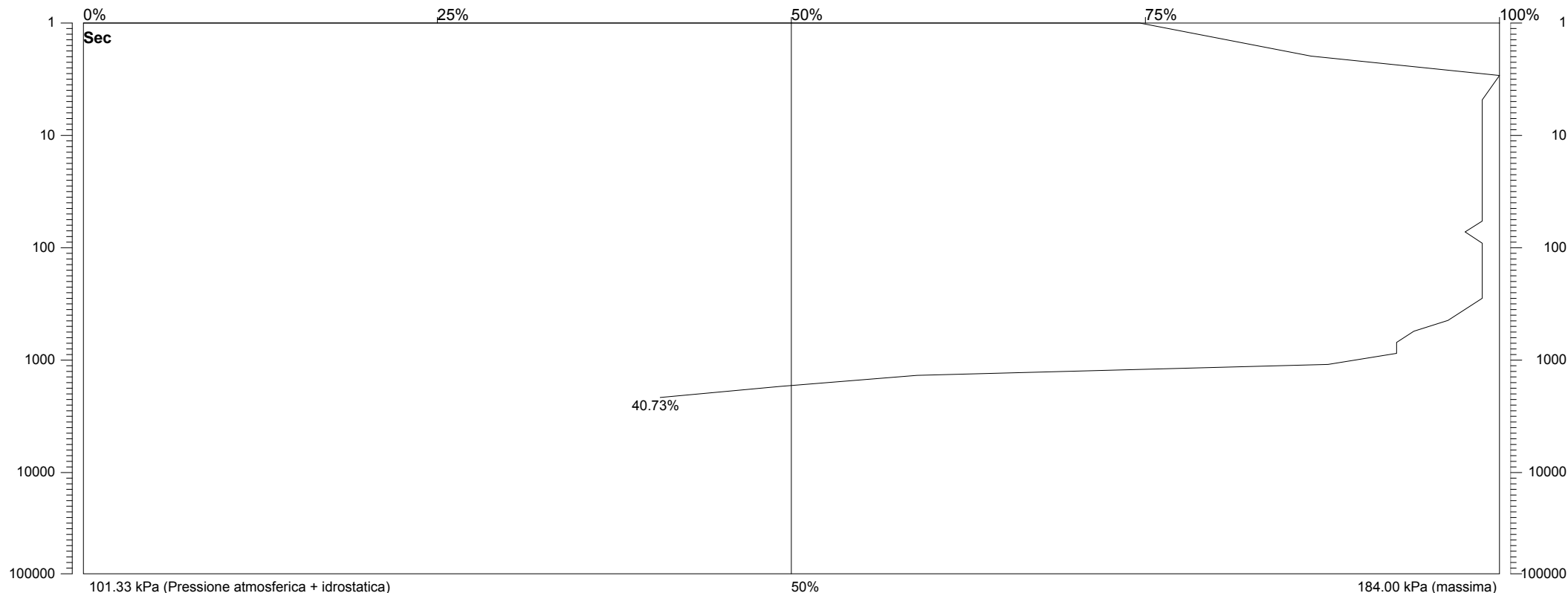
GEOPROGETTI SRL  
Laboratorio di prove geotecniche in sito  
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006  
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: AIMAG SPA  
Cantiere: V. FOSCOLO - REVERE  
Data: 15/10/2021

C.P.T.U. n°: 1  
Quota: 1.20  
Metodo:

Falda: -2.80

Dissipazione n° 1



Time/p.p	Time/p.p	Time/p.p	Time/p.p	Time/p.p
00:00:01 163.00	00:01:03 183.00	00:41:52 135.00		
00:00:01 163.00	00:01:19 182.00			
00:00:02 173.00	00:01:40 183.00			
00:00:03 184.00	00:02:05 183.00			
00:00:03 184.00	00:02:38 183.00			
00:00:05 183.00	00:03:19 183.00			
00:00:06 183.00	00:04:11 183.00			
00:00:07 183.00	00:05:16 183.00			
00:00:10 183.00	00:06:38 182.00			
00:00:12 183.00	00:08:21 181.00			
00:00:15 183.00	00:10:30 179.00			
00:00:19 183.00	00:13:14 178.00			
00:00:25 183.00	00:16:39 178.00			
00:00:31 183.00	00:20:58 174.00			
00:00:39 183.00	00:26:24 150.00			
00:00:50 183.00	00:33:15 142.00			

## DATI SULLA DISSIPAZIONE

Quota dissipazione: -1.20 m  
Quota falda: -2.80 m  
Colonna d'acqua: -1.60 m  
Pressione atmosferica: 101.33 kPa  
Pressione colonna acqua: 0.00 kPa (10.13 kPa x 1.00m)  
Pressione massima dissipazione: 184.00 kPa  
Pressione finale dissipazione: 135.00 kPa  
Residuo sovrappressione: 40.73 %

## CALCOLI PERMEABILITA'

Resistenza di punta alla quota: 2.00 MPa  
Permeabilità orizzontale:  $k_w = mv \cdot yw \cdot ch = 4.16E-08$  [cm/sec]  
 $mv$  = Coefficiente compressibilità volume [kg/cm<sup>2</sup>]  
 $yw$  = Peso specifico acqua 0,001 [kg/cm<sup>3</sup>]  
 $ch$  = Coefficiente consolidazione orizzontale volume: [cm<sup>2</sup>/sec]

**STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA**  
**Dott. Geol. LORENZO DEL MASCHIO**

Via Camogli 59 - 41125 Modena  
Tel 347/4128277 - Fax 059/394816  
e-mail [delmaschio.l@alice.it](mailto:delmaschio.l@alice.it)  
PEC [delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it](mailto:delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it)

**COMUNE DI REVERE**  
**PROVINCIA DI MANTOVA**

**OGGETTO:**

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA  
PER LA REALIZZAZIONE DI UNA VASCA DI LAMINAZIONE  
IN COMUNE DI REVERE**

**LOCALITÀ:**

Revere - via Foscolo

**COMMITTENTE**

AIMAG Spa

OTTOBRE 2021



## **INDICE GENERALE**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA</b>	<b>1</b>
a. Riferimenti cartografici	1
b. Copertura aerofotogrammetrica	1
c. Riferimenti catastali	1
<b>3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO</b>	<b>2</b>
a. Sismicità delle aree di interesse	2
b. Sismicità storica delle aree di intervento	3
c. Individuazione della pericolosità sismica del sito	4
<b>4. INDAGINI REALIZZATE</b>	<b>9</b>
<b>5. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>10</b>
a. Indagini geofisiche	10
a1. I dati ottenuti	10
a2. Interpretazione delle indagini	10

## 1. PREMESSA

Su incarico della Geoprogetti. Srl, con sede in Via Genova 1/8 - 41036 Medolla (MO), è stato redatto lo studio di modellazione sismica per la realizzazione di una vasca di laminazione attraverso indagini sismiche.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVO

L'area di intervento è ubicata in Revere - via Foscolo

I principali riferimenti sono:

### ***a. Riferimenti cartografici (fig. 2.1 - 2.2)***

C.T.R.: F8A1 (1:10.000);



### 3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

Allo stato attuale la normativa di riferimento in materia sismica risulta essere il D.M. 17 gennaio 2018 recante “norme tecniche per le costruzioni”, entrata in vigore a partire dal 22 marzo 2018.

La classificazione sismica dei comuni della regione Lombardia introdotta ai sensi del punto 3 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 maggio 2003, prevede che il territorio nazionale sia suddiviso in quattro zone sismiche, caratterizzate da quattro diversi valori di accelerazione ( $a_g$ ).

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formulazione degli elenchi delle medesime zone” all'allegato 1.A” sono individuate quattro zone sismiche orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, ai quali ancorare lo spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima al suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s secondo lo schema seguente. I valori di accelerazione delle quattro zone sismiche sono maggiormente specificati rispetto all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 secondo la schema di seguito proposto (tabella 3.1):

Tabella 3.1: Valori di accelerazione al suolo  $a_g$

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ ) – OPCM 3519	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g$ ) – OPCM 3472
1	$0.25 < a_g \leq 0.35 g$	$0.35 g$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25 g$	$0.25 g$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15 g$	$0.15 g$
4	$\leq 0.05 g$	$0.05 g$

Di seguito si riportano le classificazioni della sismicità dei comuni interessati dagli interventi in base alle vecchie normative e ovviamente anche in base alla nuova e vigente classificazione proposta dall'OPCM 3274/2003 e s.m.i (tabella 3.2).

Tabella 3.2: Classificazione della sismicità del comune e valore dell'accelerazione al suolo  $a_g$

Comune	Classificazione sismica (Decreti fino al 1984)	Classificazione sismica OPCM 3274/2003	$a_g$
Revere	n.c.	4	$0.05 g$

Il 10 aprile 2016 è entrata in vigore la **nuova classificazione sismica** dei comuni lombardi approvata con D.G.R. 11 luglio 2014 n.2129. Con la nuova classificazione il comune di Revere è passato dalla zona 4 alla zona 3.

## b. Sismicità storica delle aree di intervento

Nella tabella 3.3 sono riportati i dati storici del comune di Revere, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
F	1693	07	06	09	15		Mantovano	13	7	5.23
NF	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
NF	1904	02	25	18	47	50	Reggiano	62	6	4.81
4	1907	04	25	04	52		Veronese	122	6	4.79
NF	1908	06	28	03	19		Finale Emilia	11	4-5	3.93
NF	1908	07	10	02	13	35	Carnia	119	7-8	5.31
NF	1910	01	23	01	50		Piacentino	118	5	4.39
NF	1910	03	22	23	29		Bassa modenese	15	5	4.16
5-6	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	850	6-7	5.04
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
4	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79

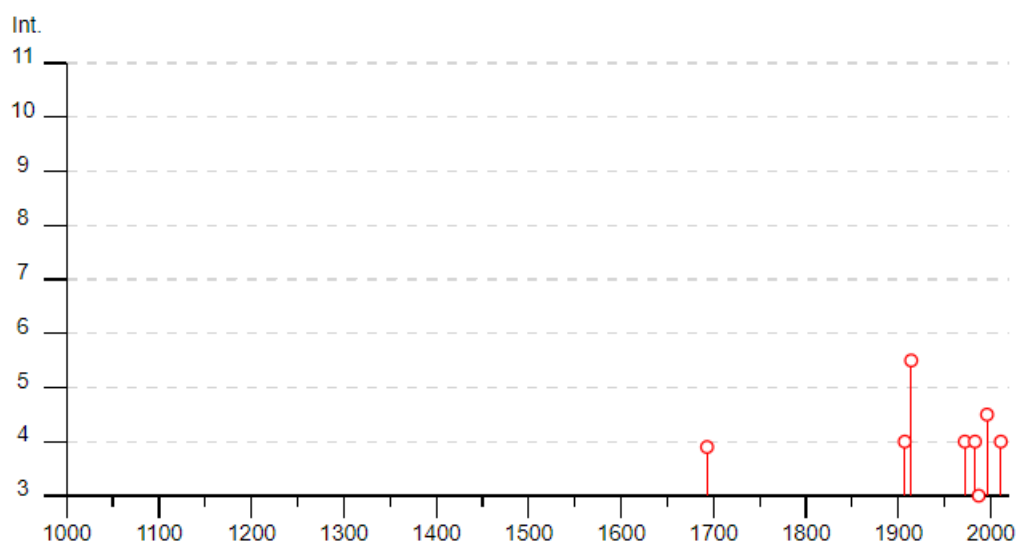


Tabella 3.3: Storia sismica del comune di Revere (Mn).

### c. Individuazione della pericolosità sismica del sito

Di seguito si riportano i dati salienti per la definizione della pericolosità sismica del sito che sono stati inseriti nel foglio di calcolo "Spetti NTC v. 1.03" scaricabile dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (<http://www.infrastrutture.gov.it/consuplp/>).

#### ***FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito***

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE  
11.127375

LATITUDINE  
45.055525

☐ Ricerca per comune

REGIONE  
Emilia-Romagna

PROVINCIA  
Rimini

COMUNE  
Rimini

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

☐ Sito esterno al reticolo

☐ Interpolazione su 3 nodi

☒ Interpolazione corretta

Interpolazione

media ponderata

## **FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione**

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE

Stati limite ultimi - SLU

SLO -  $P_{VR} = 81\%$

SLD -  $P_{VR} = 63\%$

SLV -  $P_{VR} = 10\%$

SLC -  $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

-----o----- Strategia per costruzioni ordinarie    -.-.-.-■-.-.-.- Strategia scelta

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.033	2.573	0.222
SLD	50	0.038	2.605	0.266
SLV	475	0.089	2.588	0.308
SLC	975	0.112	2.622	0.314

Tabella 3.4: Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno Stato Limite.

### **FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto**

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO			
<b>Stato Limite</b> Stato Limite considerato: <span>SLV</span> <span>▼</span> <span>info</span>			
<b>Risposta sismica locale</b> Categoria di sottosuolo: <span>C</span> <span>▼</span> <span>info</span> $S_s = 1.500$ $C_c = 1.548$ <span>info</span> Categoria topografica: <span>T1</span> <span>▼</span> <span>info</span> $h/H = 1.000$ $S_T = 1.000$ <span>info</span> <small>(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)</small>			
<b>Compon. orizzontale</b> <input checked="" type="radio"/> Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento $\xi$ (%): <span>5</span> $\eta = 1.000$ <span>info</span> <input type="radio"/> Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore $q_0$ : <span>2</span> Regol. in altezza: <span>no</span> <span>▼</span> <span>info</span>			
<b>Compon. verticale</b> Spettro di progetto      Fattore $q$ : <span>1.5</span> $\eta = 0.667$ <span>info</span>			
<b>Elaborazioni</b> Grafici spettri di risposta <span>▶▶</span> Parametri e punti spettri di risposta <span>▶▶</span>		<b>Spettri di risposta</b> <p> <math>S_{d,h}</math> [g]  <math>S_{d,v}</math> [g]  <math>S_e</math> [g]         </p> <p>           — Spettro di progetto - componente orizzontale            — Spettro di progetto - componente verticale            — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, <math>\xi = 5\%</math>)         </p>	



## Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

### Sito in esame.

latitudine: 45,055525  
longitudine: 11,127375  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14285	Lat: 45,0607	Lon: 11,0855	Distanza: 3342,197
Sito 2	ID: 14286	Lat: 45,0621	Lon: 11,1561	Distanza: 2376,091
Sito 3	ID: 14508	Lat: 45,0122	Lon: 11,1581	Distanza: 5390,885
Sito 4	ID: 14507	Lat: 45,0108	Lon: 11,0875	Distanza: 5883,868

## Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 50anni  
Coefficiente cu: 1

### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,032	g
Fo:	2,573	
Tc*:	0,222	[s]

### Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,038	g
Fo:	2,605	
Tc*:	0,265	[s]

### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,089	g
Fo:	2,588	
Tc*:	0,308	[s]

### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
-----------------------------	---	---

Tr:	975	[anni]
ag:	0,112	g
Fo:	2,622	
Tc*:	0,314	[s]

**Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii**

**SLO:**

Ss:	1,500
Cc:	1,730
St:	1,000
Kh:	0,010
Kv:	0,005
Amax:	0,478
Beta:	0,200

**SLD:**

Ss:	1,500
Cc:	1,630
St:	1,000
Kh:	0,011
Kv:	0,006
Amax:	0,564
Beta:	0,200

**SLV:**

Ss:	1,500
Cc:	1,550
St:	1,000
Kh:	0,027
Kv:	0,013
Amax:	1,315
Beta:	0,200

**SLC:**

Ss:	1,500
Cc:	1,540
St:	1,000
Kh:	0,040
Kv:	0,020
Amax:	1,644
Beta:	0,240

## 4. INDAGINI REALIZZATE

Al fine di determinare le caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione si è provveduto a reperire tutte le informazioni provenienti da indagini sismiche (MFA, SPAC e HV) eseguite nell'area di intervento (figura 4.1):

- n.1 indagine sismica passiva di microtremori HV;
- n.2 indagini sismica passiva SPAC (nc-CCA);
- n.1 indagine sismica attiva MFA - Hs (onde Rayleigh).

Le indagini sismiche sono state eseguite dal Dott. Geol. Lorenzo Del Maschio.



Figura 4.1: Ubicazione delle indagini sismiche.

## 5. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

### a. Indagini geofisiche

#### a1. I dati ottenuti

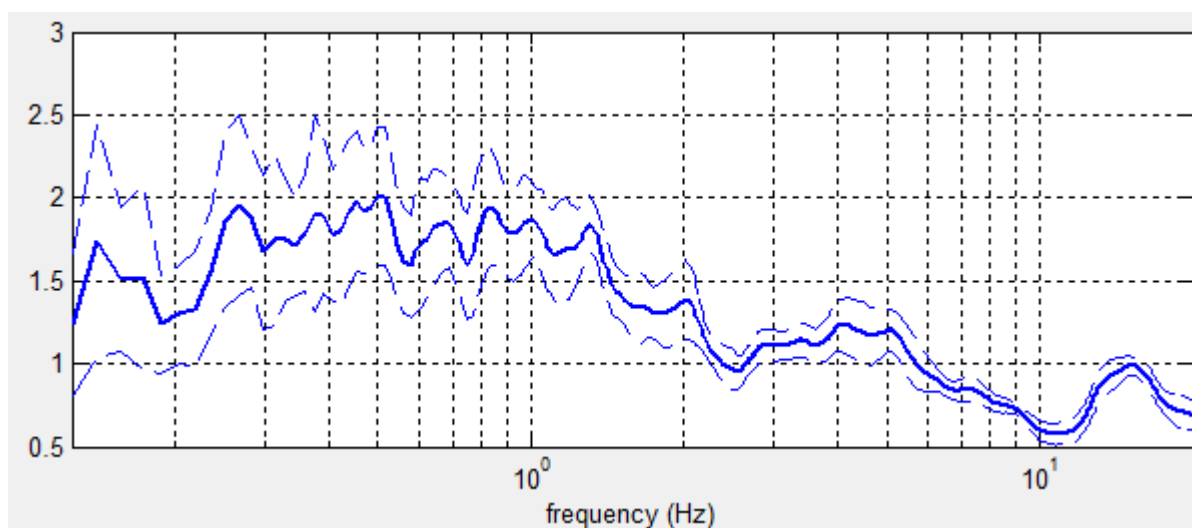
L'indagine geofisica è stata eseguita mediante sismica attiva MFA - HoliSurface e passiva multicanale (SPAC) e a stazione singola (HVSr) sia per la definizione del picco di risonanza dei terreni di fondazione ( $f_0$ ) sia per la determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, mediante la ricostruzione delle  $V_{SEq}$ .

#### a2. Interpretazione delle indagini geofisiche

La campagna di prospezione geofisica è stata eseguita nell'ottobre 2021. Tale indagine ha consistito nelle acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSr e nella definizione del profilo di Vs mediante analisi di tipo SPAC e MFA - HoliSurface. I dati ottenuti dalla curva HVSr forniscono utili indicazioni soprattutto per quanto riguarda le frequenze di risonanza e sui fattori di amplificazione sismica dei suoli durante un terremoto mentre attraverso la tecnica SPAC e MFA - HoliSurface è stato possibile definire l'andamento delle Vs con la profondità e quindi la definizione delle  $V_{SEq}$  ai fini della classificazione sismica dei suoli di fondazione come previsto dal D.M. 17 gennaio 2018.

Dall'analisi dei risultati delle indagini geofisiche specifiche si è riscontrato che il terreno di fondazione su cui andrà realizzato l'intervento in esame, appartiene alla categoria di sottosuolo "C", ai sensi del D.M. 17/01/18.

Relativamente alle frequenze caratteristiche di sito, dal diagramma delle curve H/V, abbiamo un picco stratigrafico con le seguenti caratteristiche:



Le acquisizioni HVSr, risultano in parte convalidate dalle linee guida SESAME 2005.

Si riportano di seguito i report delle indagini sismiche a stazione singola (HVSr), multicanale (SPAC) e dell'indagine sismica attiva MFA - HoliSurface:

## REVERE (MN) - via Foscolo - HVSr

Strumento: Terna 2Hz

Inizio registrazione: 18/10/21 Fine registrazione: 18/10/21

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 0h10'1" tracciato (selezione manuale)

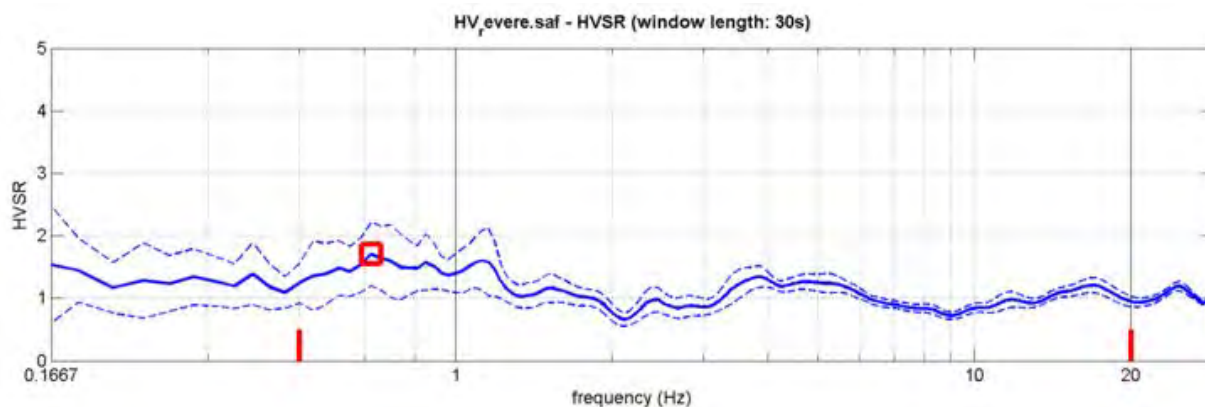
Freq. campionamento: 200 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

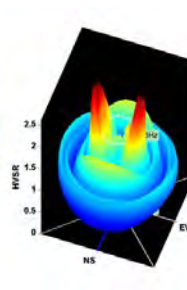
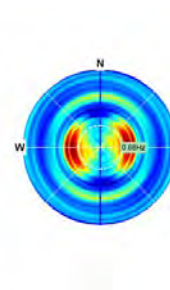
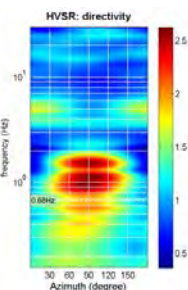
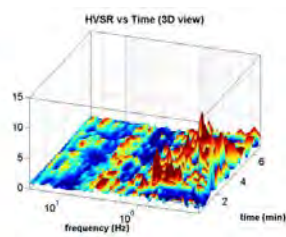
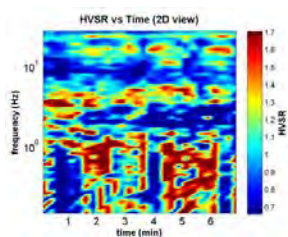
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

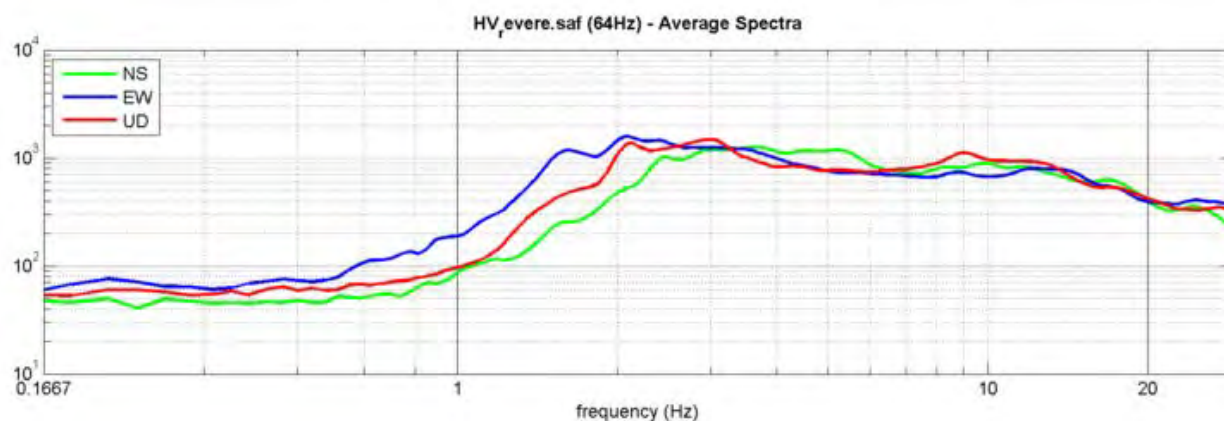


### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





Secondo le linee guida SESAME, 2005.

<p><i>0.5-20.0Hz frequency range</i>  <b>Peak frequency (Hz): 0.7 (<math>\pm 0.5</math>)</b>  <b>Peak HVSR value: 1.7 (<math>\pm 0.4</math>)</b></p>
--

<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.7 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$578 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.6 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.7 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.540 < 0.103$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.511 < 2$	OK	

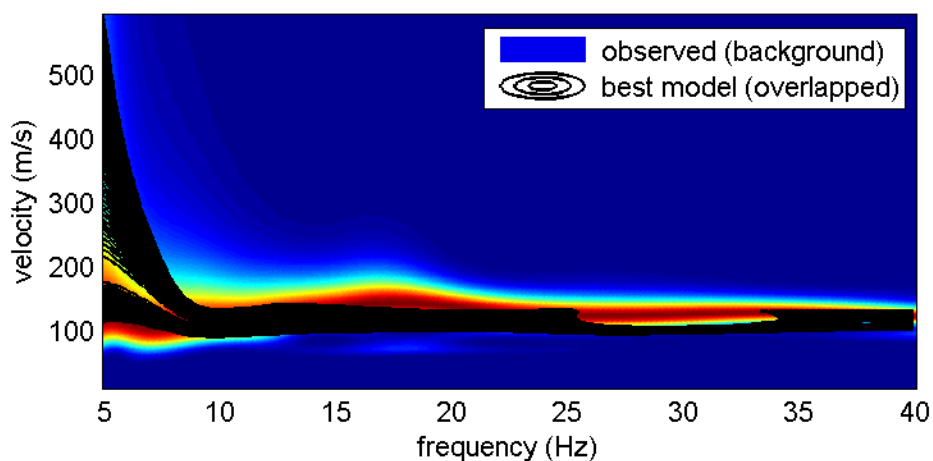
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

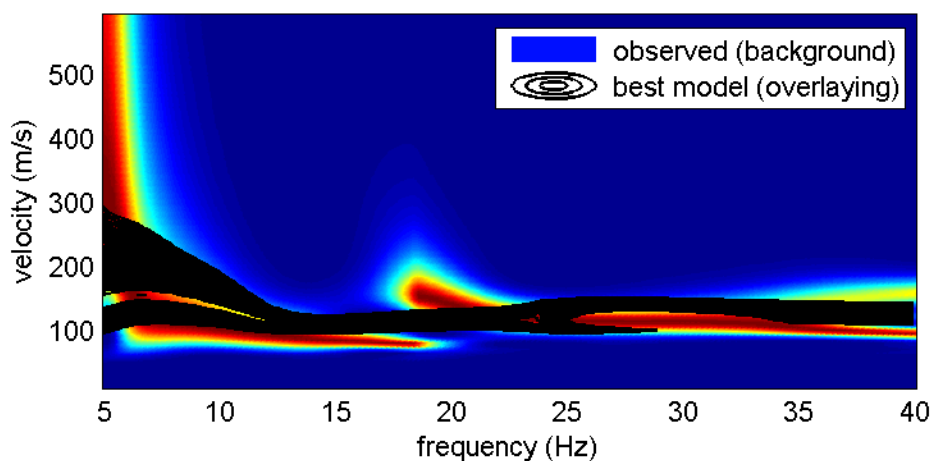
**REVERE (MN) - via Foscolo - MFA - Hs**  
**(Analisi Rayleigh + SPAC + HVSR)**

Analisi onde Rayleigh (offset 30 m e frequenza di campionamento a 1 KHz)

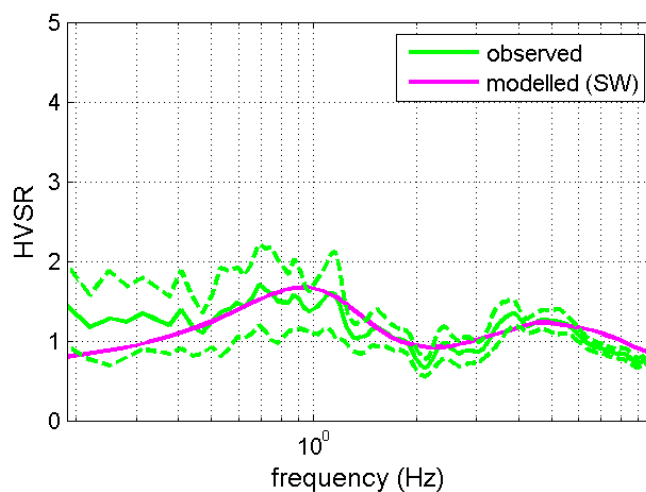
**vertical component**

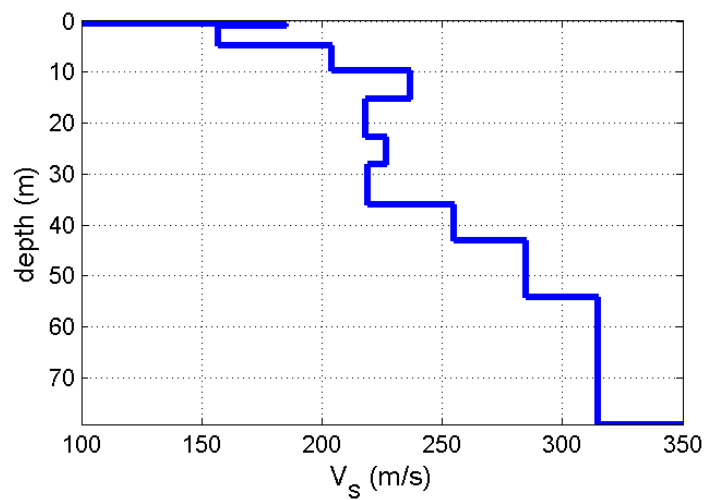


**radial component**



**Analisi HVSR - Tr01**





### Subsurface model

Shear-wave velocities (m/s): 100 185 157 204 237 218 227 219 255 285 315 350

Thicknesses (m): 0.6 0.4 3.9 4.9 5.4 7.6 5.3 8.0 7.0 11.0 25.0

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 19 70 47 82 109 91 100 92 128 160 198 247

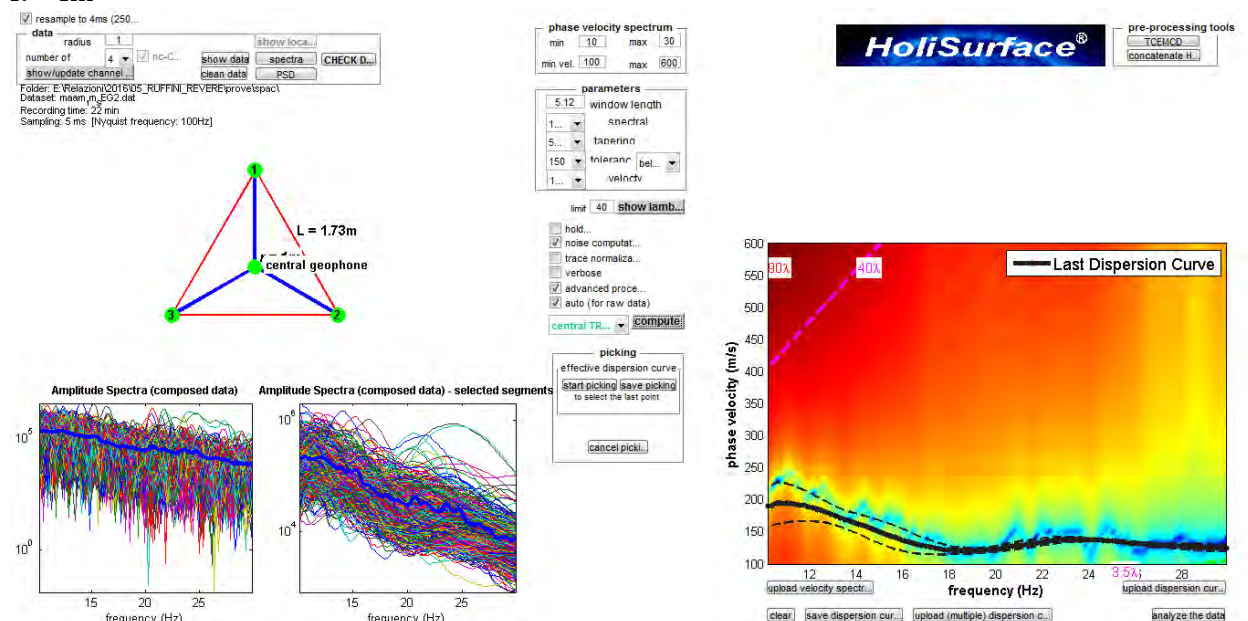
Vs30 (m/s): 205

## REVERE (MN) - via Foscolo - SPAC (Analisi Rayleigh + SPAC + HVSR)

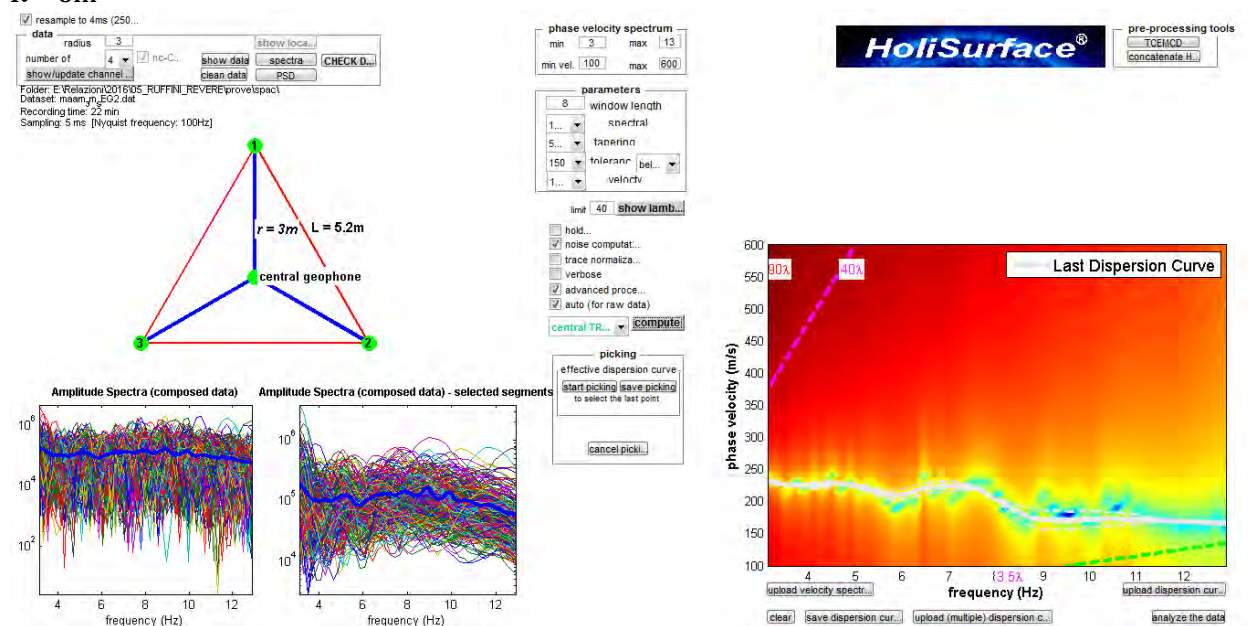
Analisi onde Rayleigh (Config. spaziale circolare con raggio 1 m, raggio 3m e frequenza di campionamento a 200 Hz)

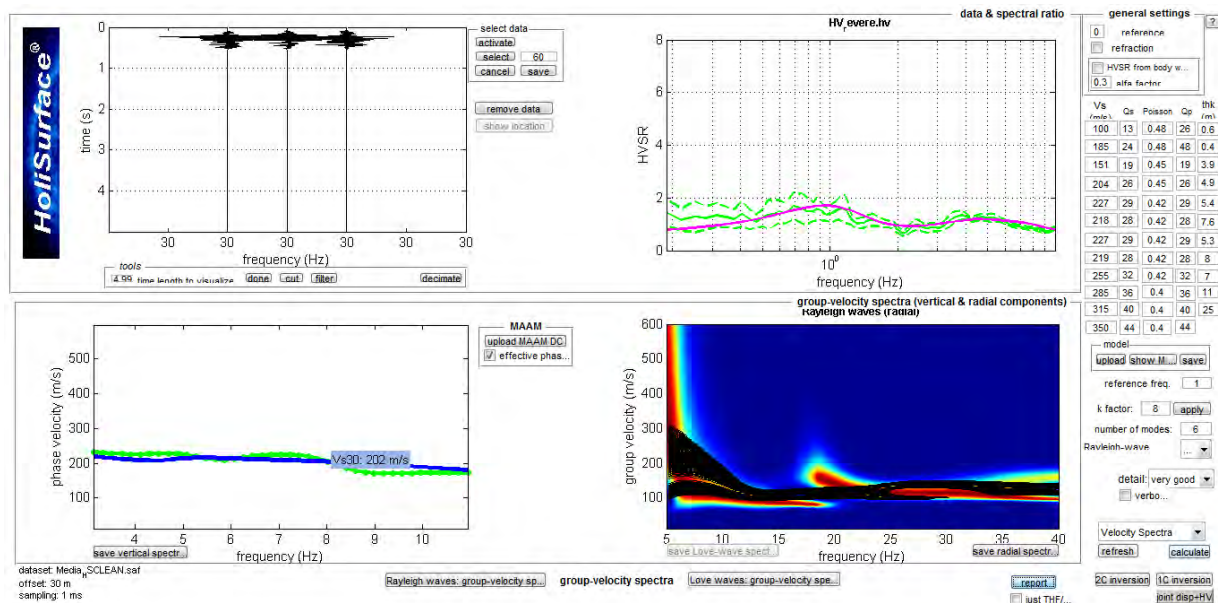
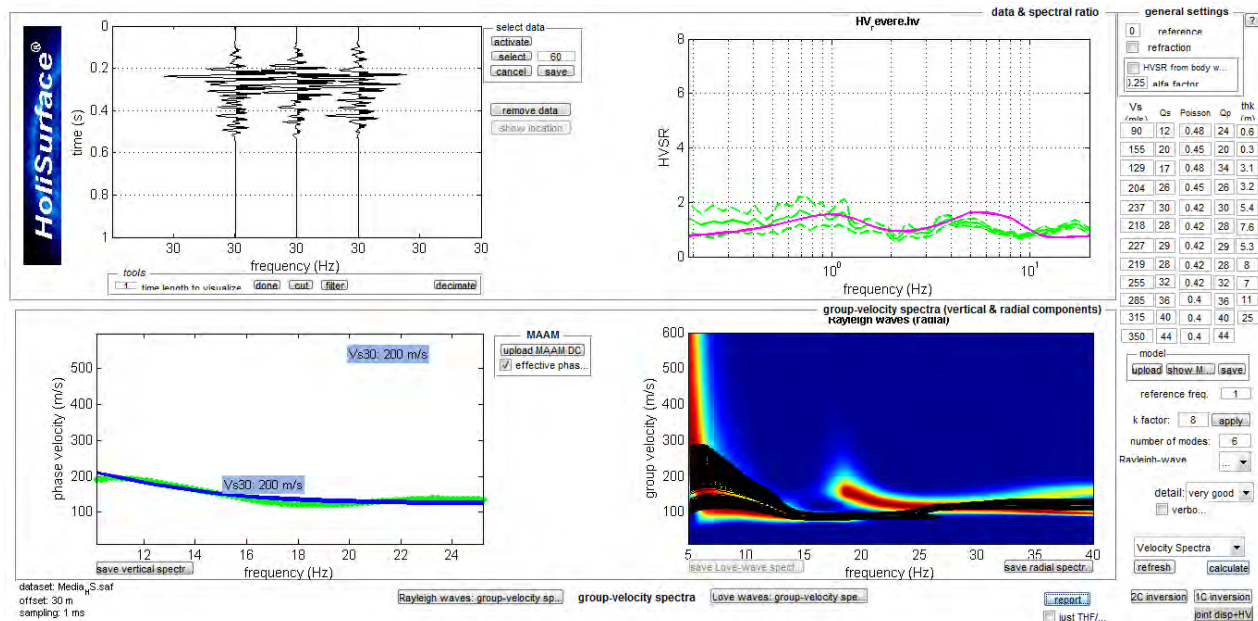
Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh (velocità di fase) secondo la tecnica passiva *Miniature Array Analysis of Microtremors* (nc-CCA), evoluzione della metodologia SPAC, grazie alla quale è possibile delineare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

### R = 1m



### R = 3m



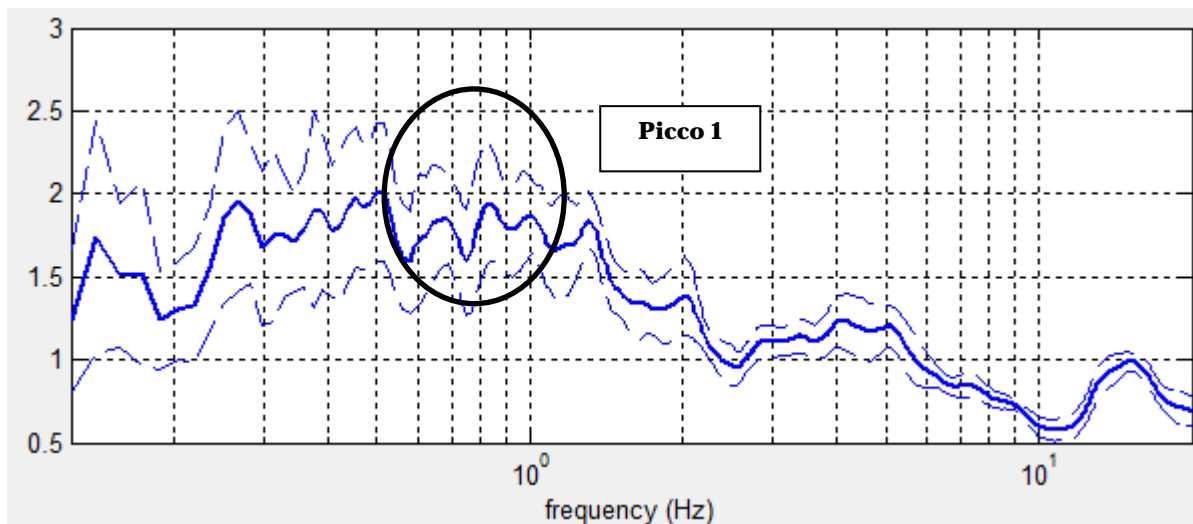


Vs30 (m/s): 200-202



Sul sito di studio, sono state eseguite 1 acquisizione HVSR, 2 acquisizioni SPAC collegato con 4 geofoni verticali e 1 acquisizione MFA - Hs.

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, dal diagramma del confronto delle curve H/V, di seguito riportato, abbiamo:

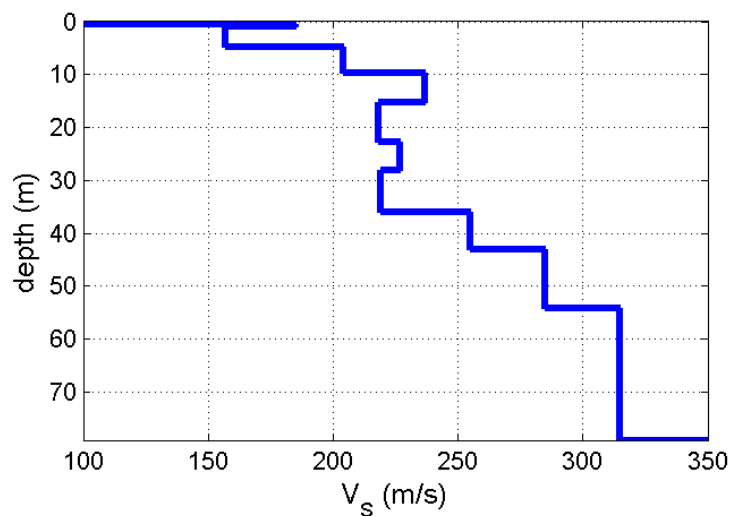


Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)
1	~ 1.7	~ 0.7

Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli ( $H/V < 2$ ) in caso di moto sismico.

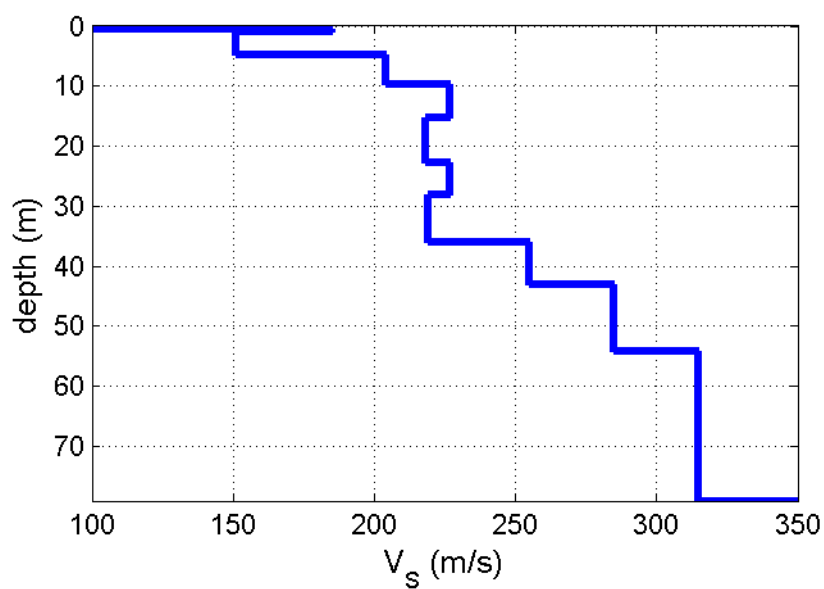
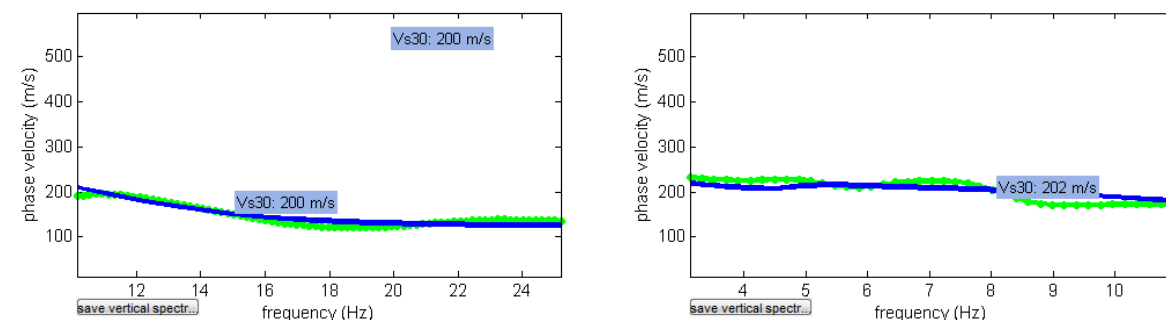
Relativamente al profilo di Vs con la profondità e alla determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, **mediante la ricostruzione delle Vs<sub>30</sub>**, abbiamo che:

- MFA - Hs





- SPAC



**$V_s$  (30): 200-205** (categoria di sottosuolo "C")



**Regione  
Lombardia**

versione dicembre 2018

## MODULO 9

### DICHIARAZIONE / ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il sottoscritto

GEOL. RITA BALLISTA

iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione

EMILIA ROMAGNA

incaricato in data 15/10/2021

da

Ing. Daniele Circelli

per conto di

AIMAG SpA

di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento

REALIZZAZIONE DI UNA VASCA DI LAMINAZIONE

da eseguire in Comune di

REVERE

Località

indirizzo

Via Foscolo angolo Via Aldo Moro

n°

cap

46036

Comune Catastale

H248

Foglio n.

8

Mappale o Particella

107

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

### DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- ☐ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- ☒ D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- ☐ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.1

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> Z1 Instabilità dei versanti    | <input type="checkbox"/> Z2a Cedimenti                   | <input checked="" type="checkbox"/> Z2b Liquefazione |
| <input type="checkbox"/> Z3 Amplificazione topografica  | <input type="checkbox"/> Z4 Amplificazione Stratigrafica |  |
| <input type="checkbox"/> Z5 Comportamenti differenziali | <input type="checkbox"/> Nessuno scenario                |  |

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- ☐ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale
- ☒ (FAS)\* Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)\* Analisi di secondo livello non effettuata
- \* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.1

- ☐ 1 senza particolari limitazioni
- ☒ 2 con modeste limitazioni
- ☐ 3 con consistenti limitazioni
- ☐ 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.2

- ☐ a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico
- ☐ b) Vulnerabilità idrogeologica
- ☐ c) Vulnerabilità idraulica
- ☒ d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- ☐ nessuna particolare limitazione

**DICHIARA INOLTRE**

**in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione**

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previsti dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole

del PGT del Comune di

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR 2616/2011, conformemente alle linee guida disponibili:

- ☐ Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
- ☒ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
- ☐ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
- ☐ Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
- ☒ Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
- ☐ Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

- ☒ indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo

1 PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT SPINTA A 20 M DAL P.C.  
1 PROVA PENETROETRICA STATICA CPTU SPINTA A 10 M DAL P.C.  
2 PROVE DI DISSIPAZIONE DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI E CALCOLO DELLA PERMEABILITA' DEI TERRENI  
POSIZIONAMENTO DI N.1 PIEZOMETRO SUPERFICIALE

- ☐ indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

- ☐ analisi di risposta sismica locale
- ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:

☐ A

☐ B

☒ C

☐ D

☐ E

mediante la seguente tipologia d'indagine

1P. SIS.ATTIVA MASW -1 P. IN SIS. PASSIVA HV 2 PROVE SPAC

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

- ☐ analisi di risposta sismica locale
- ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:

☒ T1

☐ T2

☐ T3

☐ T4

mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

- ☐ esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione;
- ☒ verifica di stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia:

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- ☒ senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
- ☐ previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
- ☐ previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
  - ☐ non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
  - ☐ sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

### ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 e del Dlgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Data

IL GEOLOGO

\_\_\_\_\_  
(timbro e firma)



### MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - LIQUEFAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z2b (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011) soggetti a fenomeni di liquefazione

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Valore di Magnitudo massima attesa <input checked="" type="checkbox"/> Valore di $a_{max}$ in superficie <input checked="" type="checkbox"/> Soggiacenza della falda <input checked="" type="checkbox"/> Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti <b>Fine approfondimento</b> <b>SITO STABILE</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti Obbligo del 2° grado di approfondimento	
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> Prove in sito per determinazione indiretta dei parametri di resistenza ciclica CRR <input checked="" type="checkbox"/> Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> $FL \geq 1.0$ (per tutti i punti d'analisi) <b>Fine approfondimento</b> <b>SITO STABILE</b>	<input type="checkbox"/> $FL < 1.0$ (per almeno un punto d'analisi) Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe) o piezocono (CPTu)
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Stima dell'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità tramite applicazione di metodi storico-empirici e calcolo del potenziale di liquefazione $I_L$ valido per una profondità critica almeno pari al volume significativo di sottosuolo
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> $I_L \leq 2.0$ <b>Fine approfondimento</b> <b>SITO STABILE</b> <input type="checkbox"/> $2.0 < I_L \leq 5.0$ <b>Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO</b> <input type="checkbox"/> $I_L > 5.0$ <b>OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO</b>
<input type="checkbox"/> Eventuali verifiche di sicurezza con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			



Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione  <b>Fine approfondimento</b>