
RELAZIONE GEOGNOSTICA SULLE INDAGINI ESEGUITE IN SITO

MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO E CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI INTERESSATI DALLA DELOCALIZZAZIONE E RICOSTRUZIONE DI EDIFICIO RESIDENZIALE

ANALISI SISMICA DEL SITO RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

D.P.R. 380/2001

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

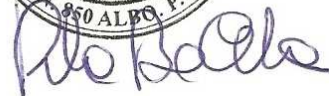
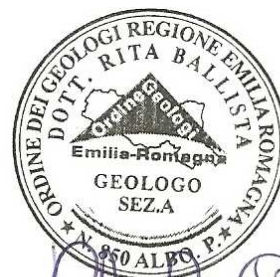
Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617

COMMITTENTE: BOTTI MATTEO

CANTIERE: MEDOLLA - VIA SANDRO PERTINI

DATA: APRILE 2016



INDICE

INDICE	2
1.PREMESSA.....	3
2.RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
3.MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO	4
3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	7
3.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE.....	11
3.4 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA.....	12
3.5 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI	16
4. ANALISI RESISTENZE DI PROGETTO	18
5. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO.....	27
5.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO	27
5.1.1 Cenni sulla sismotettonica della pianura padana	28
5.1.2 Sismicità storica ed attuale.....	30
5.2 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO.....	33
5.2.1. Definizione categoria sismica mediante analisi del sottosuolo in sismica passiva e attiva in onde Rayleigh.....	33
5.2.3 Modello sismico del sottosuolo.....	34
5.3 ANALISI PERICOLOSITA SISMICA LOCALE.....	37
5.3.1 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito.....	38
5.3.2 Valutazione fattore di amplificazione e parametri spettrali.....	62
6. CONCLUSIONI	66
ALLEGATI.....	71

1.PREMESSA

Su incarico e per conto del Committente si produce una modellazione geologica del sito, un'analisi di pericolosità sismica locale, riportando gli effetti attesi, e una caratterizzazione geotecnica della litologia superficiale e profonda dei terreni interessati dalla delocalizzazione e ricostruzione di un edificio residenziale sito in Via Sandro Pertini, nel Comune di Medolla.

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 di tipo meccanico, eseguite in sito in data 14/03/2016, spinte alla profondità di - 32.00 e - 20.00 metri dal piano campagna;

Tutte le prove sono state effettuate dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla.

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, per determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono eseguite una prova di sismica passiva di microtremitori HV, una prova di sismica passiva SPAC e una prova di sismica attiva MFA-Hs in onde Rayleigh, realizzate in data 12/02/2016.

Si allega in epigrafe la relazione di modellazione sismica redatta dal Dott. Geol. Lorenzo Del Maschio (All. n.5).

Scopo dell'indagine è stato fornire un modello geologico dell'area in epigrafe e una caratterizzazione geotecnica della litologia superficiale e profonda del sito. Viene prodotta un'analisi di pericolosità sismica locale 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.

I rapporti delle prove penetrometriche statiche eseguite in sito e l'ubicazione delle indagini sono allegati alla presente relazione. All. n. 1 e 2 .

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

Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617

3. MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO

La zona oggetto di studio si trova a nord-nord-est rispetto il centro cittadino di Medolla, rappresentato dalla sede comunale, in zona residenziale ad una quota media di 19 m s.l.m.

Le coordinate geografiche dell'area sono 44°51' 20.65"N e 11°04' 23.39"E.

Il sito ha accesso da Via Sandro Pertini, in collegamento con Via Bruino, Via Matteotti e Via Caduti.

I centri abitati vicini sono:

Medolla a circa 0.90 Km a sud-sud-ovest

Mirandola a circa 3.40 Km a nord

Frazione di Mortizzuolo a circa 5.30 Km a nord-est

San Felice sul Panaro a circa 5.80 Km a est-sud-est

Oltre che a varie frazioni e località.

Il territorio del Comune di Medolla è situato a Nord della provincia di Modena e ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".

L'area, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena redatto nel Marzo 2000, ricade nell'Unità di Paesaggio indicata con il numero 2 "Dossi e zone più rilevate nella Bassa e Media Pianura".

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.

I caratteri ambientali dell'Unità di Paesaggio n. 2 sono rappresentati dalla trama degli antichi paleoalvei fluviali, morfologicamente emergenti sull'intorno delle aree vallive riscattate dalla bonifica. Sono presenti vari dossi con disegno complesso e con digitazioni dall'andamento vario. Le caratteristiche morfologiche dei dossi hanno determinato storicamente la disposizione delle infrastrutture e degli insediamenti per evidenti ragioni di sicurezza nei confronti della divagazione delle acque, prima e durante le grandi opere di bonifica.



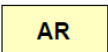
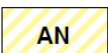
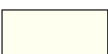
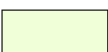
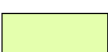
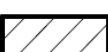

I principali caratteri ambientali sono una limitata vegetazione spontanea, a seguito dell'estensione delle coltivazioni agrarie su tutto il territorio, a quella erbacea tipica degli ambienti umidi e dei canali. E' quasi assente la vegetazione arborea, che attualmente ha un carattere marginale ed è costituita da alberi isolati peraltro molto radi. La fauna è quella tipica delle campagne coltivate con una concentrazione di fauna ornitica di passo e stanziale, in corrispondenza delle zone umide.

L'orientamento produttivo prevalente è il seminativo estensivo con pressochè totale assenza della zootecnia e rarefazione delle produzioni frutticole, mentre sui dossi le caratteristiche pedologiche, generalmente buone, favoriscono lo sviluppo di colture orticole e frutticole di maggior pregio e coltivazioni di tipo intensivo rispetto alle adiacenti zone vallive.

L'orientamento agronomico prevalente delle aziende è a carattere viticolo e zootecnico. Sono presenti anche aziende di grandi dimensioni a carattere misto, in cui permane anche la produzione frutticola, ed aziende di tipo estensivo a seminativi.

Nella carta d'individuazione degli ambiti del PSC del comune di Medolla, approvato con delibera del C.C. n.30 del 31/08/2011, la zona di ubicazione della struttura è classificata in zona AAP "Ambiti agricoli periurbani" (Artt. 56/60) e AC "Ambito della città consolidata" (artt. 36/37/41/42) soggetto a piano particolareggiato.

Ambiti PSC

-  AC Ambito della città consolidata (Artt. 36/37/41/42)
-  ARX Sub-ambito di riqualificazione di Via Roma (Art. 43)
-  AR Ambiti residenziali da riqualificare (Artt. 45/46/47/48)
-  AN Ambiti residenziali di nuovo insediamento (Artt. 49/50)
-  AVP Ambiti agricoli di alto valore produttivo (Artt. 56/59)
-  ARP Ambiti agricoli di rilievo paesistico (Artt. 56/58)
-  AAP Ambiti agricoli periurbani (Artt. 56/60)
-  Piani particolareggiati vigenti (Artt. 38/44/53)
-  TU Territorio urbanizzato

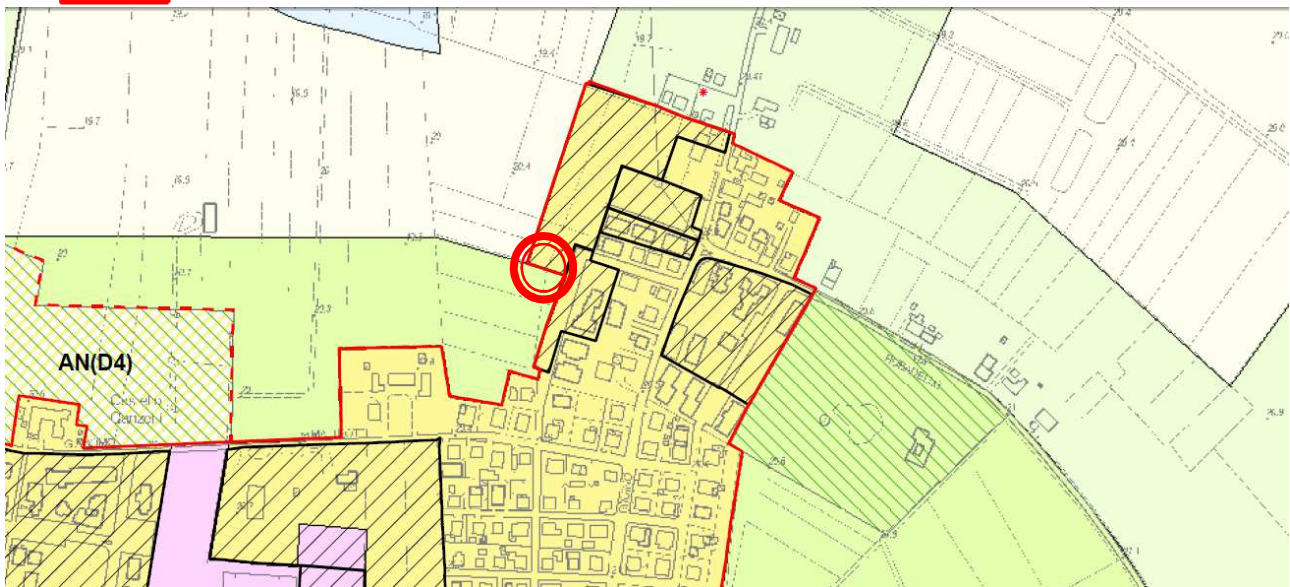


Fig.1. Stralcio Carta di individuazione degli Ambiti (PSC 2011) con indicata la zona di intervento.



Fig.2. Ortofoto.



Fig.3. Carta Tecnica Regionale.

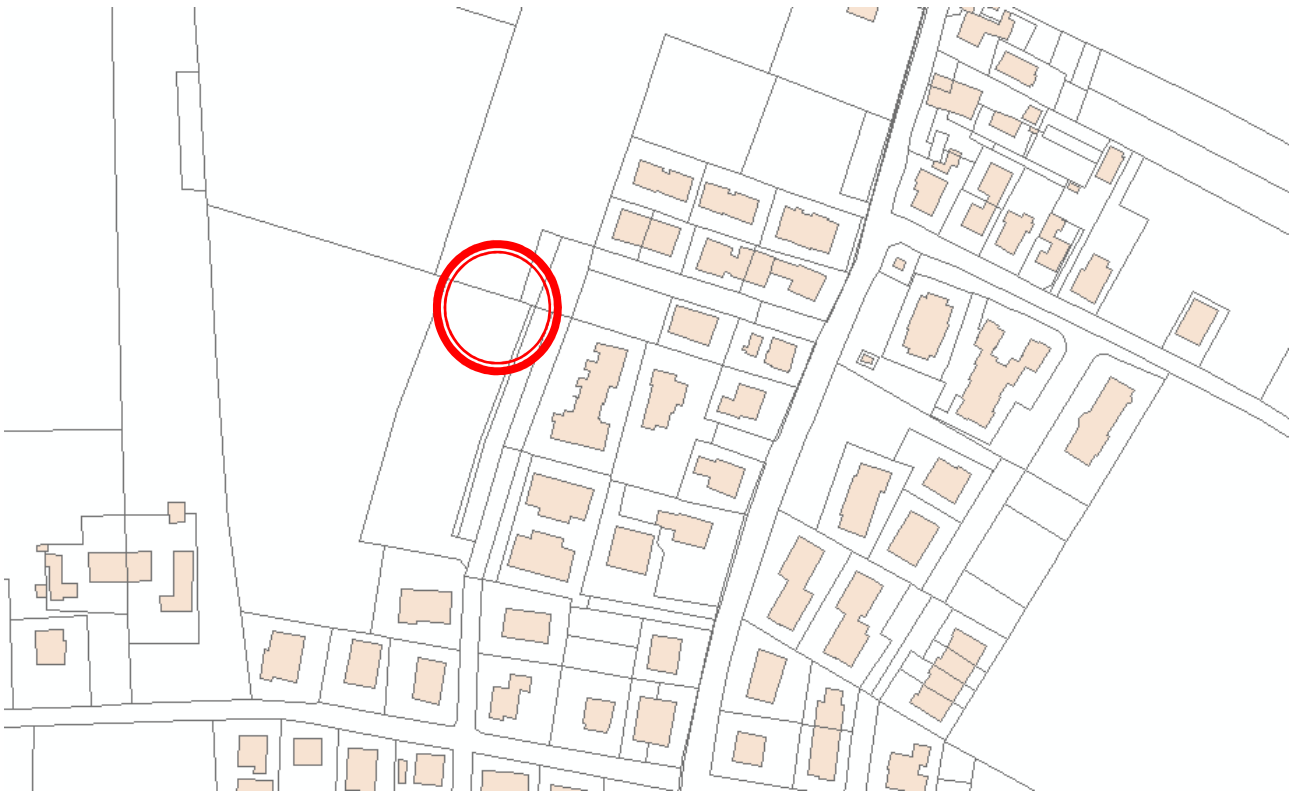


Fig.4. Ubicazione catastale Foglio: 4;

3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il Comune di Medolla è situato nella parte Nord della provincia di Modena e si estende su un'area di 2.681 ettari. In un'ottica più ampia esso ricade nel settore assiale della Pianura Padana e confina con i Comuni di Mirandola, San Felice sul Panaro, Camposanto, San Prospero e Cavezzo.

L'area comunale è inserita nella pianura alluvionale entro la quale, negli ultimi 4.000-5.000 anni dell'Olocene, gli affluenti appenninici del fiume Po (Secchia e Panaro) ed il fiume Po stesso hanno determinato l'attuale assetto morfologico ed altimetrico del territorio che, a sua volta, dipende dai movimenti tettonici, dalla subsidenza naturale e dall'intervento antropico.

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, grazie alla maggiore energia cinetica, formando dossi di trascinamento (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.

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

La distribuzione dei paleoalvei e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l'assetto idraulico di superficie che la distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (paleoalvei), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni.

Al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica. Le conche morfologiche rappresentano ancora le aree di maggior rischio idraulico, non solo in caso di esondazione ma anche nel caso di eventi pluviometrici di eccezionale durata e/o intensità, che possono mettere in crisi la rete scolante o produrre ristagni di acqua, favoriti anche dalla scarsa permeabilità della litologia di superficie.

In questo meccanismo "naturale" è intervenuto l'uomo che, innalzando argini artificiali ed emungendo acqua dal sottosuolo, 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.

Altre forme di notevole interesse sono i numerosi ventagli d'esondazione che indicano che in quel punto del fiume si è verificata una rotta non contrastata da interventi di riparazione degli argini.

Nell'area comunale, l'andamento delle curve di livello mette in evidenza che la morfologia del territorio è stata condizionata dal succedersi di eventi alluvionali generati dalle migrazioni fluviali. Si denotano forme convesse, allungate ed altimetricamente più rilevate, sede di antichi paleoalvei ascrivibili al fiume appenninico Secchia.

Per la loro datazione ed attribuzione idrografica occorre fare riferimento agli autori più recenti che si sono occupati della ricostruzione paleoidrografica della zona: Pellegrini (1969), Veggiani (1947), Castaldini et al. (1979), Cremaschi et al. (1980), Gasperi e Pellegrini (1981, 1984).

Dall'esame di questi autori risulta che prima dell'VIII sec. a.C. il Fiume Secchia (detto in antico Gabello, ma anche Sesula, Situla, Seda, Secla) aveva un tracciato spostato a ovest e, sub-parallelo a quello attuale nella parte più a monte fin verso San Prospero, e che deviava verso oriente ad iniziare da Cavezzo, e attraversando gli attuali territori di Medolla, San Felice sul Panaro, Rivara, Canalazzo e Finale Emilia, confluendo nel Po nei pressi di Bondeno.

Dopo l'VIII secolo a.C., il Secchia si spostò verso est nel tratto ad andamento meridiano, e verso nord in quello ad andamento parallelo.

Si può ritenere che solo verso il XV secolo d.C. il Secchia e il Panaro abbiano assunto definitivamente il percorso attuale. Infatti, in questo periodo il Secchia deviò bruscamente verso nord all'altezza di Concordia, per confluire nel Po a nord di Quistello e a monte di Motta di Cavezzo verso nord-ovest.




Dall'esame della cartografia risulta evidente che il settore centrale, altimetricamente più rilevato, è caratterizzato da paleoalvei attribuibili al Fiume Secchia, che, con andamento sinuoso, iniziano da Cavezzo e si allungano con andamento sud-ovest/nord-est.

I paleodrenaggi che interessano il territorio comunale sono datati tra l'VIII secolo a. C. ed il XII secolo d. C., periodo in cui il Secchia, a partire da Cavezzo, deviava verso oriente per immettersi nel Fiume Po presso Bondeno. Questo percorso, comunque, secondo Veggiani (1974) era certamente abbandonato nel I secolo d. C.

L'elemento morfologico caratteristico, è costituito da un dosso nella parte centrale che divide l'area comunale in due parti inclinate in senso opposto; la superficie territoriale degrada verso nord all'isoipsa 19.00 m e verso sud alla quota di 15.50 m s.l.m. Conche chiuse o catini sono rilevabili a sud del capoluogo e presso il limite Sud-Est del confine comunale.

La zona si trova ubicata su un paleodosso di accertato interesse, come indicato nell'estratto della carta "Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali" del PTCP della Provincia di Modena, approvato il 18 Marzo 2009, e nella "Carta dei vincoli e tutele", del PSC del Comune di Medolla adottato con C.C n.30 del 31/08/2011, di cui si riportano uno stralcio.

Rete idrografica e risorse idriche superficiali e sotterranee	
	Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (Art. 10)
Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi bacini e corsi d'acqua (Art. 9)	
	Fasce di espansione inondabili (Art. 9, comma 2, lettera a)
	Zone di tutela ordinaria (Art. 9, comma 2, lettera b)
	Compresenza di fasce di espansione inondabili e zone di tutela naturalistica
	Zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei (Art. 12)

Dossi di pianura (Art. 23A)	
	Paleodossi di accertato interesse (Art. 23A, comma 2, lettera a)
	Dossi di ambito fluviale recente (Art. 23A, comma 2, lettera b)
	Paleodossi di modesta rilevanza (Art. 23A, comma 2, lettera c)

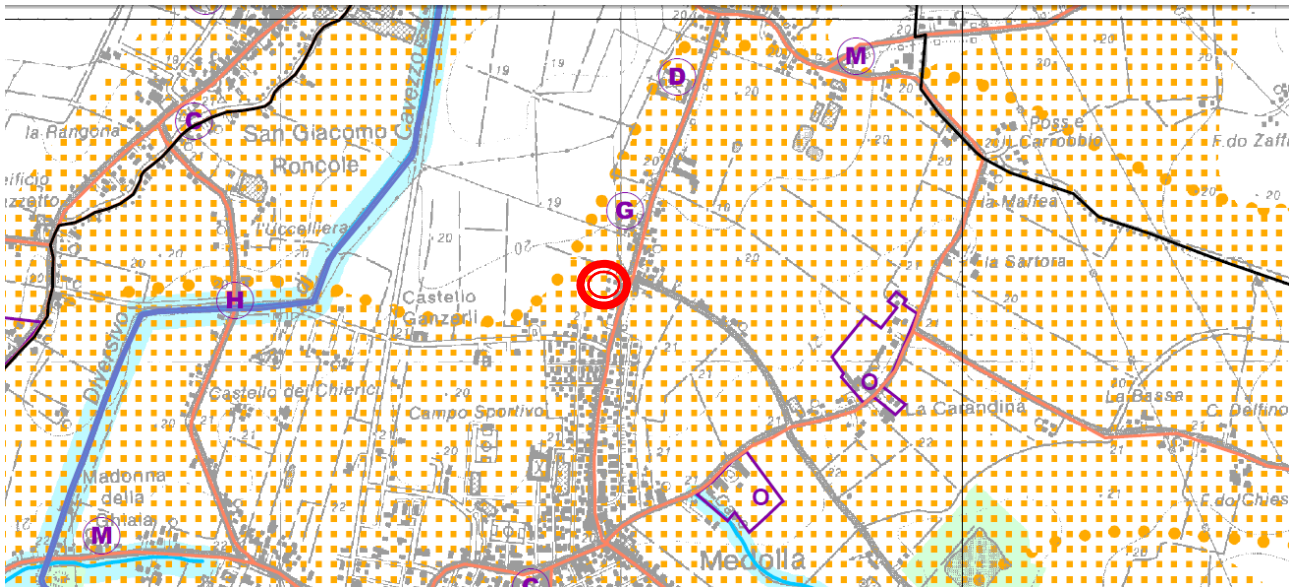









Fig.5. Tav. 1.1.2 "Carta della Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali del Nuovo PTCP".

-  Paleodossi
-  Perimetro ambiti territoriali ex DLGS 42/2004
-  Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale (Art. 39 PTCP2009)
-  Zone di tutela dei caratteri ambientali di canali, cavi e fossette
-  Aree forestali (Art. 21 del PTCP 2009 - modificate in recepimento dell'Intesa con la Provincia di Modena)
-  Zone umide
-  Confini comunali

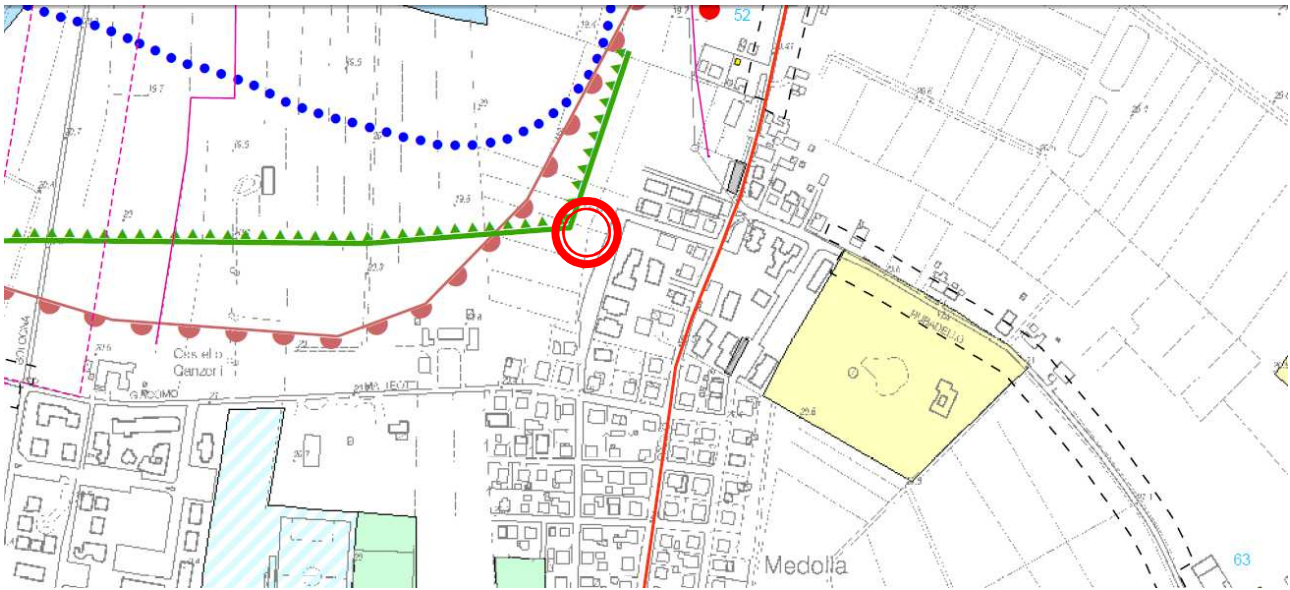


Fig.6. "Carta dei Vincoli e Tutele" del PSC del Comune di Medolla.

3.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE

Sulla base del contesto geologico dell'area e del tipo di caratterizzazione geotecnica richiesta, l'indagine in sito è stata condotta mediante esecuzione di numero una prova penetrometrica statica meccanica.

Le prove sono state realizzate con un penetrometro statico da 300 KN dotato di punta meccanica "jacket friction cone" in cui l'avanzamento automatico è regolato da centraline elettroniche.

La prova penetrometrica statica 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 ± 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 $A_p = 10$ cm²
- manicotto laterale di attrito tipo "Begemann" $\phi = 35.7$ mm. - h = 133 mm. - sup.lat. $A_m = 150$ cm²

- 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.7. Penetrometro statico da 300 KN, montato su camion IVECO, utilizzato.

3.4 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

La natura litologica dei terreni, oggetto delle prove penetrometriche, 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 si presenta con livelli litologici aventi diverse proprietà litostratigrafiche.

- Da 0.00 m a - 8.80 m sono presenti argille debolmente limose mediamente consistenti;
- Da - 8.80 m a - 11.60 m si evidenziano limi argillosi compatti;
- Da - 11.60 m a - 15.00 m si trovano limi e limi sabbiosi sciolti;
- Da - 15.00 m a - 24.20 m si riscontrano argille limose molto compatte;
- Da - 24.20 m a - 32.00 m sono presenti sabbie addensate.

Di seguito si riporta lo schema della sequenza stratigrafica dedotta dalla prova.

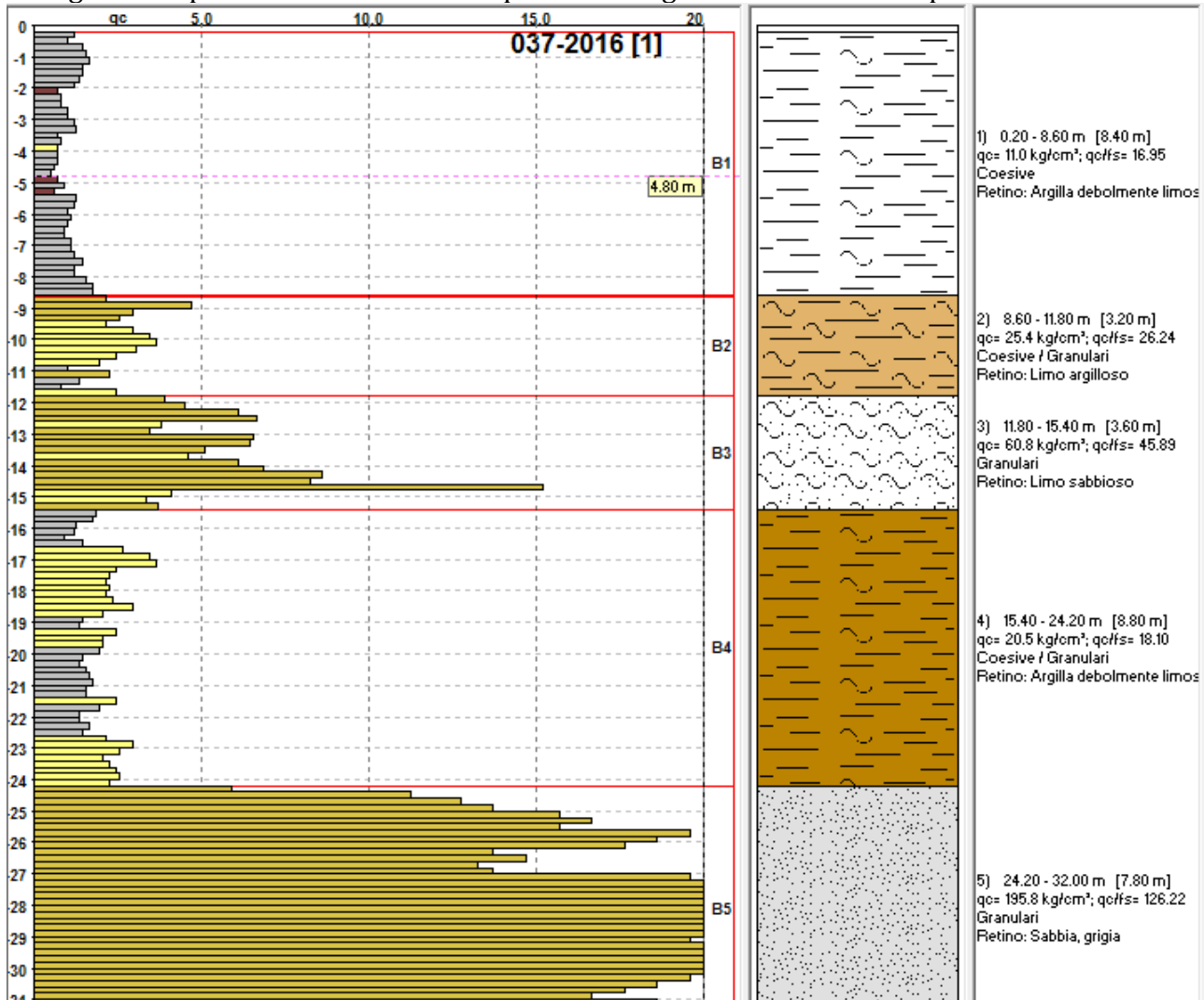


Fig.8. Schema sequenza stratigrafica CPT n.1

Si riportano di seguito tutti i valori della lettura di campagna delle prove. Ogni 20 cm si osservano i relativi valori della qc (in MPa) e fs (in KPa).

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA										CPT		2			
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI										riferimento		037-2016			
Committente: BOTTI MATTEO						U.M.: MPa		Data exec.: 21/03/2016							
Cantiere: MEDOLLA Via Sandro Pertini						Pagina: 1									
Località: MEDOLLA Via Sandro Pertini						Elaborato:		Falda: -2.40 m 2.40							
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	67.00	0		15.20	9.0	20.0	-	0.9	47.00	19	5.2
0.40	12.0	22.0	-	1.2	67.00	18	5.6	15.40	9.0	16.0	-	0.9	60.00	15	6.7
0.60	9.0	19.0	-	0.9	93.00	10	10.3	15.60	10.0	19.0	-	1.0	53.00	19	5.3
0.80	10.0	24.0	-	1.0	93.00	11	9.3	15.80	37.0	45.0	-	3.6	93.00	40	2.5
1.00	15.0	29.0	-	1.5	107.00	14	7.1	16.00	32.0	46.0	-	3.1	107.00	30	3.3
1.20	15.0	31.0	-	1.5	120.00	13	8.0	16.20	36.0	52.0	-	3.5	120.00	30	3.3
1.40	16.0	34.0	-	1.6	120.00	13	7.5	16.40	33.0	51.0	-	3.2	87.00	38	2.6
1.60	15.0	33.0	-	1.5	127.00	12	8.5	16.60	37.0	50.0	-	3.6	93.00	40	2.5
1.80	17.0	36.0	-	1.7	133.00	13	7.8	16.80	25.0	39.0	-	2.5	107.00	23	4.3
2.00	14.0	34.0	-	1.4	100.00	14	7.1	17.00	27.0	43.0	-	2.6	147.00	18	5.4
2.20	12.0	27.0	-	1.2	87.00	14	7.3	17.20	34.0	56.0	-	3.3	127.00	27	3.7
2.40	12.0	25.0	-	1.2	80.00	15	6.7	17.40	33.0	52.0	-	3.2	173.00	19	5.2
2.60	11.0	23.0	-	1.1	67.00	16	6.1	17.60	34.0	60.0	-	3.3	160.00	21	4.7
2.80	9.0	19.0	-	0.9	53.00	17	5.9	17.80	37.0	61.0	-	3.6	120.00	31	3.2
3.00	12.0	20.0	-	1.2	67.00	18	5.6	18.00	25.0	43.0	-	2.5	127.00	20	5.1
3.20	14.0	24.0	-	1.4	40.00	35	2.9	18.20	22.0	41.0	-	2.2	140.00	16	6.4
3.40	12.0	18.0	-	1.2	53.00	23	4.4	18.40	23.0	44.0	-	2.3	140.00	16	6.1
3.60	7.0	15.0	-	0.7	40.00	18	5.7	18.60	22.0	43.0	-	2.2	140.00	16	6.4
3.80	7.0	13.0	-	0.7	27.00	26	3.9	18.80	23.0	44.0	-	2.3	127.00	18	5.5
4.00	15.0	19.0	-	1.5	47.00	32	3.1	19.00	21.0	40.0	-	2.1	160.00	13	7.6
4.20	9.0	16.0	-	0.9	27.00	33	3.0	19.20	27.0	51.0	-	2.6	147.00	18	5.4
4.40	12.0	16.0	-	1.2	53.00	23	4.4	19.40	26.0	48.0	-	2.5	120.00	22	4.6
4.60	9.0	17.0	-	0.9	33.00	27	3.7	19.60	23.0	41.0	-	2.3	107.00	21	4.7
4.80	25.0	30.0	-	2.5	47.00	53	1.9	19.80	24.0	40.0	-	2.4	127.00	19	5.3
5.00	7.0	14.0	-	0.7	20.00	35	2.9	20.00	22.0	41.0	-	2.2			
5.20	4.0	7.0	-	0.4	20.00	20	5.0								
5.40	6.0	9.0	-	0.6	33.00	18	5.5								
5.60	11.0	16.0	-	1.1	73.00	15	6.6								
5.80	9.0	20.0	-	0.9	60.00	15	6.7								
6.00	8.0	17.0	-	0.8	53.00	15	6.6								
6.20	9.0	17.0	-	0.9	60.00	15	6.7								
6.40	7.0	16.0	-	0.7	53.00	13	7.6								
6.60	7.0	15.0	-	0.7	53.00	13	7.6								
6.80	8.0	16.0	-	0.8	47.00	17	5.9								
7.00	9.0	16.0	-	0.9	53.00	17	5.9								
7.20	9.0	17.0	-	0.9	47.00	19	5.2								
7.40	10.0	17.0	-	1.0	87.00	11	8.7								
7.60	10.0	23.0	-	1.0	80.00	13	8.0								
7.80	13.0	25.0	-	1.3	80.00	16	6.2								
8.00	11.0	23.0	-	1.1	73.00	15	6.6								
8.20	10.0	21.0	-	1.0	53.00	19	5.3								
8.40	11.0	19.0	-	1.1	53.00	21	4.8								
8.60	10.0	18.0	-	1.0	53.00	19	5.3								
8.80	10.0	18.0	-	1.0	40.00	25	4.0								
9.00	12.0	18.0	-	1.2	53.00	23	4.4								
9.20	13.0	21.0	-	1.3	60.00	22	4.6								
9.40	26.0	35.0	-	2.5	73.00	36	2.8								
9.60	29.0	40.0	-	2.8	93.00	31	3.2								
9.80	30.0	44.0	-	2.9	107.00	28	3.6								
10.00	24.0	40.0	-	2.4	100.00	24	4.2								
10.20	21.0	36.0	-	2.1	120.00	18	5.7								
10.40	22.0	40.0	-	2.2	93.00	24	4.2								
10.60	24.0	38.0	-	2.4	113.00	21	4.7								
10.80	26.0	43.0	-	2.5	93.00	28	3.6								
11.00	20.0	34.0	-	2.0	113.00	18	5.7								
11.20	13.0	30.0	-	1.3	107.00	12	8.2								
11.40	17.0	33.0	-	1.7	107.00	16	6.3								
11.60	18.0	34.0	-	1.8	60.00	30	3.3								
11.80	55.0	64.0	-	5.4	60.00	92	1.1								
12.00	54.0	63.0	-	5.3	47.00	115	0.9								
12.20	80.0	87.0	-	7.8	40.00	200	0.5								
12.40	49.0	55.0	-	4.8	127.00	39	2.6								
12.60	70.0	89.0	-	6.9	227.00	31	3.2								
12.80	50.0	84.0	-	4.9	187.00	27	3.7								
13.00	56.0	84.0	-	5.5	173.00	32	3.1								
13.20	64.0	90.0	-	6.3	147.00	44	2.3								
13.40	72.0	94.0	-	7.1	160.00	45	2.2								
13.60	38.0	62.0	-	3.7	193.00	20	5.1								
13.80	35.0	64.0	-	3.4	87.00	40	2.5								
14.00	47.0	60.0	-	4.6	153.00	31	3.3								
14.20	64.0	87.0	-	6.3	140.00	46	2.2								
14.40	33.0	54.0	-	3.2	187.00	18	5.7								
14.60	42.0	70.0	-	4.1	187.00	22	4.5								
14.80	52.0	80.0	-	5.1	100.00	52	1.9								
15.00	37.0	52.0	-	3.6	73.00	51	2.0								

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

Fig.9. Dati di campagna e valori trasformati ricavati dalle prove penetrometriche.

La stratigrafia di dettaglio è riportata nei diagrammi delle valutazioni litologiche e nelle tabelle dei parametri geotecnici (All. n. 3 e 4).

3.5 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI

Al fine di caratterizzare i singoli strati della sequenza litologica, riscontrata dalle indagini, si riportano nella tabella di seguito, i parametri geotecnici (valori meccanici del terreno) **medi** per ogni singolo strato individuato.

n'	m1	m2	qc	fs	qc/fs'	Y'	d'vo	Vs	Cu	DCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc2	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
	m	m	kg/cm²	kg/cm²	-	t/m³	kg/cm³	m/sec	kg/cm²	-	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	-	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
1	0.20	8.60	11.00	0.65	16.95	1.10	0.58	161	0.52	10.20	160.1	240.2	40.0	0.0	31.3	21.7	18.3	17.3	25.2	25.6	--	10.8	16.3	19.50
2	8.60	11.80	25.38	0.97	26.24	0.92	1.12	170	0.86	4.49	296.9	445.3	72.6	26.0	34.4	25.9	22.7	21.3	29.4	28.5	--	47.9	71.9	86.31
3	11.80	15.40	60.83	1.33	45.89	0.95	1.44	193	1.35	5.64	396.7	595.1	121.5	43.4	36.5	28.0	24.9	23.4	31.8	31.4	--	101.4	152.1	182.50
4	15.40	24.20	20.55	1.14	18.10	0.95	2.03	167	0.80	2.02	439.8	659.8	63.7	6.3	32.0	22.1	18.7	17.7	25.5	27.9	--	41.1	61.7	74.04
5	24.20	32.00	195.77	1.51	129.65	1.12	2.87	279	--	--	--	--	--	68.2	39.4	30.6	27.6	25.8	34.7	37.5	--	326.3	489.4	587.31

Fig.10: Valori GEOTECNICI MEDI per ogni strato della sequenza litologica.

Per quanto attiene ai parametri geotecnici caratteristici, con il DM 2008, si ragiona in termini non più di valori deterministici, ma in termini di variabili aleatorie, cioè 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 φ**.

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 φ per gli strati sciolti.

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

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

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione normale del parametro geotecnico (φ) 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 φ, derivati dalle correlazioni dei valori di qc e fs ricavati direttamente dalle prove penetrometriche mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 - Marsal et al. 1974/1979).

COESIONE NON DRENATA Terreni COESIVI $C_u = R_p/\beta$		
CORRELAZIONI STANDARD - Raccomandazioni A.G.I. 1977 - Ricceri et alri 1974 - Marsland et al. 1974/1979		
- Argille normalmente consolidate N.C. ($q_c \leq 10 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = 25$	(valore standard: 20)
- Argille intermedie ($10 < q_c < 30 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta =$ valore interpolato	
- Argille sovra consolidate S.C. ($q_c \geq 30 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = 40$	(valore standard: 30)

Fig.11: Correlazioni per il calcolo di c_u dai valori di q_c e f_s .

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 c_u e ϕ 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 ϕ , derivati dalle correlazioni dei valori di q_c e f_s ricavati direttamente dalle prove penetrometriche, interpretati e "ragionati" dalla scrivente.

Primo strato da 0.00 a - 8.80 m: argille debolmente limose mediamente consistenti: $c_{uk} = 45 \text{ kPa}$;

Secondo strato da - 8.80 m a - 11.60 m: limi argillosi compatti: $c_{uk} = 65 \text{ kPa}$;

Terzo strato da - 11.60 m a - 15.00 m: limi e limi sabbiosi sciolti: $\phi_k = 24^\circ$;

Quarto strato da - 15.00 m a - 24.20 m: argille limose molto compatte: $c_{uk} = 75 \text{ kPa}$;

Quinto strato da - 24.20 m a - 32.00 m: sabbie addensate: $\phi_k = 32^\circ$.

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	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (kN/m ³)	c' _k (kPa)	ϕ'_k (°)	C _{uk} (kPa)
0.00 - 8.80	Argille debolmente limose mediamente consistenti	16	18.50	5÷7	14÷16	45
8.80 - 11.60	Limi argillosi compatti	17	19	8÷10	17÷19	65
11.60 - 15.00	Limi e Limi sabbiosi sciolti	17	19.50	0	23÷25	0
15.00 - 24.20	Argille limose molto compatte	17	19	10÷12	18÷20	75
24.20 - 32.00	Sabbie addensate	18	20	0	31÷33	0

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	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (kN/m ³)	Coeff.di Poisson (ν)	Modulo elastico E' (kPa)	Modulo Edometrico Ed (kPa)
0.00 - 8.80	Argille debolmente limose mediamente consistenti	16	18.50	0.45	/	3000÷5000
8.80 - 11.60	Limi argillosi compatti	17	19	0.45	/	6000÷8000
11.60 - 15.00	Limi e Limi sabbiosi sciolti	17	19.50	0.38	10000÷15000	/
15.00 - 24.20	Argille limose molto compatte	17	19	0.45	/	7000÷9000
24.20 - 32.00	Sabbie addensate	18	20	0.35	30000÷35000	/

4. ANALISI RESISTENZE DI PROGETTO

La verifica allo stato limite ultimo viene eseguita secondo un'analisi semiprobabilistica includendo per le azioni e le resistenze, fattori di sicurezza parziali FS applicati a valori medi dei parametri di interesse. Tale metodo è detto di primo livello.

Il fattore di sicurezza globale viene quindi diviso in fattori di sicurezza parziali applicati ai singoli valori caratteristici dei carichi o dei parametri geotecnici in modo che la disequazione finale $E_a \leq R_a$ venga sempre verificata.

Cioè l'effetto delle azioni di progetto (E_a) deve essere sempre non superiore alle Resistenze di progetto (R_a) in condizioni di stabilità della struttura.

Gli approcci progettuali da seguire sono i seguenti:

- Approccio 1:

Combinazione 1 - (A1+M1+R1) - STR

Combinazione 2 - (A2+M2+R2) - GEO

- Approccio 2:

Combinazione - (A1+M1+R3) - STR+GEO

I valori di A1, A2, M1, M2, R1, R2 ed R3 si determinano in base alle seguenti tabelle:

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Si è proceduto alla determinazione dei valori teorici del carico limite ultimo Qult (SLU) con l'ausilio del programma di calcolo "Loadcap 2012 - rel. 611" della ditta GEOSTRU sas. Per la determinazione dei valori teorici del carico limite ultimo (Qult) e delle resistenze di progetto (Rd) sono stati considerati entrambi gli approcci **in condizioni drenate e statiche, alla profondità di - 1.00 m dal p.c. considerando una fondazione superficiale a trave di larghezza B = 1.20 m.**

DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	1.2 m
Lunghezza fondazione	20.0 m
Profondità piano di posa	1.0 m
Altezza di incastro	1.0 m
Profondità falda	2.4

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo Elastico [kN/m²]	Modulo Edometrico [kN/m²]	Poisson	Descrizione
8.8	16.0	18.5	16.0	6.0	45.0	0.0	4000.0	0.45	Argilla debolmente limosa
2.8	17.0	19.0	18.0	9.0	65.0	0.0	7000.0	0.45	Argilla con limo
3.4	17.0	19.5	24.0	0.0	0.0	12000.0	0.0	0.38	Sabbia limosa
9.2	17.0	19.0	19.0	11.0	75.0	0.0	8000.0	0.45	Argilla
7.8	18.0	20.0	32.0	0.0	0.0	32000.0	0.0	0.35	Sabbia

- Approccio 1:

Combinazione 2 – (A2+M2+R2) - GEO

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazioni	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	A2+M2+R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	Sisma	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
4	S.L.E.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
5	S.L.D.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	1	1
2	No	1.25	1.25	1.4	1	1	1.8	1.1
3	Si	1.25	1.25	1.4	1	1	1.8	1.1
4	No	1	1	1	1	1	1	1
5	No	1	1	1	1	1	1	1

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 138.03 kN/m²

Resistenza di progetto [Rd] 76.69 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 5521.33 kN/m³
A2+M2+R2

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	3.24
Fattore [Nc]	9.76
Fattore [Ng]	0.77
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.33
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0

Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.01
Fattore profondità [Dq]	1.23
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	134.37 kN/m ²
Resistenza di progetto	74.65 kN/m ²

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	3.61
Fattore [Nc]	11.36
Fattore [Ng]	1.94
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	130.77 kN/m ²
Resistenza di progetto	72.65 kN/m ²

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	3.24
Fattore [Nc]	9.76
Fattore [Ng]	0.73
Fattore forma [Sc]	1.02
Fattore profondità [Dc]	1.21
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.01
Fattore profondità [Dq]	1.1
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.01
Fattore profondità [Dg]	1.1
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	123.38 kN/m ²
Resistenza di progetto	68.54 kN/m ²

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	3.24
Fattore [Nc]	9.76
Fattore [Ng]	1.95
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.33
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.01
Fattore profondità [Dq]	1.23
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	145.38 kN/m ²
Resistenza di progetto	80.77 kN/m ²

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	3.24
Fattore [Nc]	9.76
Fattore [Ng]	1.03
Fattore forma [Sc]	1.02
Fattore profondità [Dc]	1.33
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.01
Fattore profondità [Dq]	1.23
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	138.03 kN/m ²
Resistenza di progetto	76.69 kN/m ²

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 183.2 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 101.78 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

**Costante di Winkler 7327.87 kN/m³
A2+M2+R2**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore [Ng]	0.0
Fattore forma [Sc]	1.01
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite 183.2 kN/m²
Resistenza di progetto 101.78 kN/m²

- Approccio 2:

Combinazione – (A1+M1+R3) - STR+GEO

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	Sisma	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Ca pacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 200.74 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 87.28 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 8029.66 kN/m³

A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	4.34
Fattore [Nc]	11.63
Fattore [Ng]	1.43
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.33
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.02
Fattore profondità [Dq]	1.25
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite 194.74 kN/m²

Resistenza di progetto 84.67 kN/m²

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	4.92
Fattore [Nc]	13.68
Fattore [Ng]	2.94
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite 189.04 kN/m²

Resistenza di progetto 82.19 kN/m²

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	4.34
Fattore [Nc]	11.63
Fattore [Ng]	1.37

Fattore forma [Sc]	1.02
Fattore profondità [Dc]	1.22
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.01
Fattore profondità [Dq]	1.11
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.01
Fattore profondità [Dg]	1.11
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	179.68 kN/m ²
Resistenza di progetto	78.12 kN/m ²

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	4.34
Fattore [Nc]	11.63
Fattore [Ng]	3.06
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.33
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.02
Fattore profondità [Dq]	1.25
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	209.96 kN/m ²
Resistenza di progetto	91.29 kN/m ²

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	4.34
Fattore [Nc]	11.63
Fattore [Ng]	1.91
Fattore forma [Sc]	1.02
Fattore profondità [Dc]	1.33
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.02
Fattore profondità [Dq]	1.25

Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.98
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	200.74 kN/m ²
Resistenza di progetto	87.28 kN/m ²

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 250.08 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 108.73 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

**Costante di Winkler 10003.02 kN/m³
A1+M1+R3**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore [Ng]	0.0
Fattore forma [Sc]	1.01
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	250.08 kN/m ²
Resistenza di progetto	108.73 kN/m ²

Pertanto riassumendo i valori delle resistenze **in condizioni drenate e non drenate statiche** alla profondità di - 1.00 m e considerando una fondazione superficiale a trave, sono:

Resistenze di progetto - Rd (SLU) - Approccio 1

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 138.03 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 76.69 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 5521.33 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 183.2 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 101.78 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7327.87 kN/m³

Resistenze di progetto - Rd (SLU) - Approccio 2

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 200.74 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 87.28 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 8029.66 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 250.08 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 108.73 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 10003.02 kN/m³

5. ANALISI SISMICA RIPIANTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO

5.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO

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.

Nella nuova classificazione tutto il territorio viene suddiviso in 4 zone di cui la n. 1 è la più pericolosa.

Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna la novità consiste in un allargamento della zona 3 ed in un ampliamento della zona 2 entro la quale ricadono alcuni comuni.

Il comune di Medolla e la zona d'indagine ricadono nella zona 3 e vengono definiti a "bassa sismicità".

La classificazione è rimasta tale anche dopo la grossa recente crisi sismica verificatasi la mattina del 20 Maggio 2012 con un terremoto di magnitudo locale pari a 5.9 con epicentro Finale Emilia e la mattina del 29 Maggio con terremoto di magnitudo locale pari a 5.8 ed epicentro fra i Comuni di Medolla e Cavezzo.

5.1.1 Cenni sulla sismotettonica della pianura padana

(Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004)

Il sottosuolo della Pianura Padana è intensamente deformato da fronti sepolti delle catene a thrust del Sud-Alpino e dell'Appennino Settentrionale.

A sud del fiume Po sono presenti tre archi formati da thrust ciechi nord-vergenti e dalle relative anticlinali, che costituiscono i fronti più esterni della catena appenninica in sollevamento.

Questi sono da ovest verso est: il Monferrato, l'arco delle Pieghe Emiliane e l'arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole.

L'attività recente di alcuni dei thrust appartenenti a questi fronti è dimostrata dalla sismicità storica e strumentale dei depositi Quaternari deformati, osservazione ottenuta dall'analisi delle linee sismiche e, in superficie, dalla correlazione con evidenti anomalie del drenaggio.

Dal punto di vista tettonico e stratigrafico la Pianura Padana è caratterizzata dal Supersistema Emiliano Romagnolo.

Il Supersistema Emiliano Romagnolo è rappresentato da depositi di tipo alluvionali instaurati nel Pliocene medio a causa della prosecuzione del sollevamento. Le fonti dei sedimenti sono da ricercare nell'attività deposizionale del Fiume Po, dei suoi affluenti di destra e dei fiumi romagnoli.

Questo supersistema si suddivide in due sotto sistemi: il Sistema Emiliano Romagnolo Inferiore (SERI) ed il Sistema Emiliano Romagnolo Superiore (SERS).

Il SERI, datato tra 0.65 e 0.45 Ma, è caratterizzato da argille limose di piana alluvionale con intercalazioni di sabbie di canale e ghiaie di conoide alluvionale.

Il SERS invece ha un'età compresa tra 0.45 Ma ed il presente; è rappresentato da ghiaie e sabbie di terrazzo e conoide alluvionale.

Tettonicamente sono molto importanti poiché il SERI, e talora il SERS, poggiano in discordanza angolare sul substrato marino rappresentando così le più recenti superfici di discordanza riconoscibili a scala regionale.

La geometria del SERS è articolata in zone più o meno depresse. Questa variabilità è data dalle anticlinali, interna ed esterna, che costituiscono il sistema dell'arco della dorsale ferrarese.

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 (come nel sito di studio).

L'anticlinale più esterna, quella di Ferrara, è più pronunciata nel settore orientale, con il suo culmine 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 permettendo di ipotizzare un'attività tardo - pleistocenica della struttura.

Lo studio in dettaglio, delle strutture sepolte della Pianura Padana, è possibile soprattutto grazie all'interpretazione di profili sismici.

I terreni più recenti, che registrano diffuse deformazioni alla mesoscala, sono le Sabbie di Imola e il Sistema Emiliano-Romagnolo inferiore. Risulta dunque evidente, anche da osservazioni di campagna, che gran parte del margine appenninico-padano e del sottosuolo padano-adriatico sono stati interessati da deformazioni più recenti di 0.45 Ma.

Le maggiori evidenze di strutture attive, segnalate nella Carta della Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, sono nel settore del margine compreso tra Salsomaggiore e la valle dell'Idice (a est di Bologna), sul fronte sepolto delle pieghe emiliane (tra Piacenza e Reggio Emilia) e al tetto delle dorsale ferrarese (tra Reggio Emilia e le Valli di Comacchio), dove si trova il sito di studio.

L'attività recente e attuale della dorsale ferrarese è indicata, oltre che dagli ultimi eventi sismici, anche da alcune evidenze morfologiche.

Alcuni depositi di canale dei fiumi appenninici non raggiungono né il Po, né il mare e sembrano non oltrepassare l'alto della dorsale ferrarese. Anche il corso del Po, a nord di Reggio Emilia, fa una brusca deviazione verso nord, immediatamente prima di raggiungere Novellara e Mirandola, zone in cui il fronte della dorsale ferrarese è molto vicino alla superficie.

Nell'area di studio la SERS è indicata a una profondità compresa fra 100 e 50 m. Dall'analisi delle prove eseguite con sismica passiva e attiva risulta che fino alla profondità di circa 80-100 m si registrano aumenti graduali delle velocità di propagazione delle onde sismiche fino a circa 500 m/s.

La profondità di 100-120 m può essere considerata come la quota del bedrock sismico.

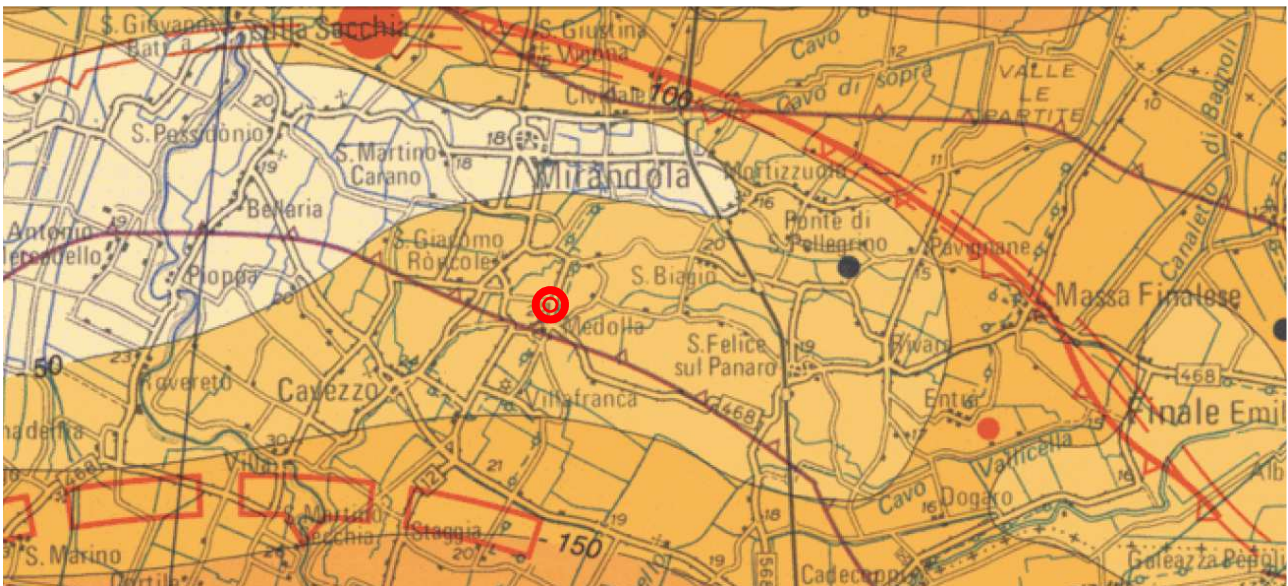


Fig.10. Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004.

Nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", redatta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (versione 2.0 – 14/11/2013), l'area di studio ricade in LQ2: substrato a profondità < 120 m con presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna.

LQ1 Substrato a profondità < 120 m
 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 Substrato a profondità < 120 m
 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Prove geotecniche utilizzate per la stima della profondità degli orizzonti liquefacibili

- L1 - orizzonti liquefacibili (minimo 20 cm) presenti sotto falda già nei primi 5 m dal piano campagna
- L2 - orizzonti liquefacibili (minimo 1 m) presenti tra 5 m e 10 m dal piano campagna
- L3 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 10 m e 15 m dal piano campagna
- L4 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 15 m e 20 m dal piano campagna
- N - assenza di orizzonti liquefacibili (valutazione nei primi 20 m)
- X - dato non interpretabile
- punti di liquefazione

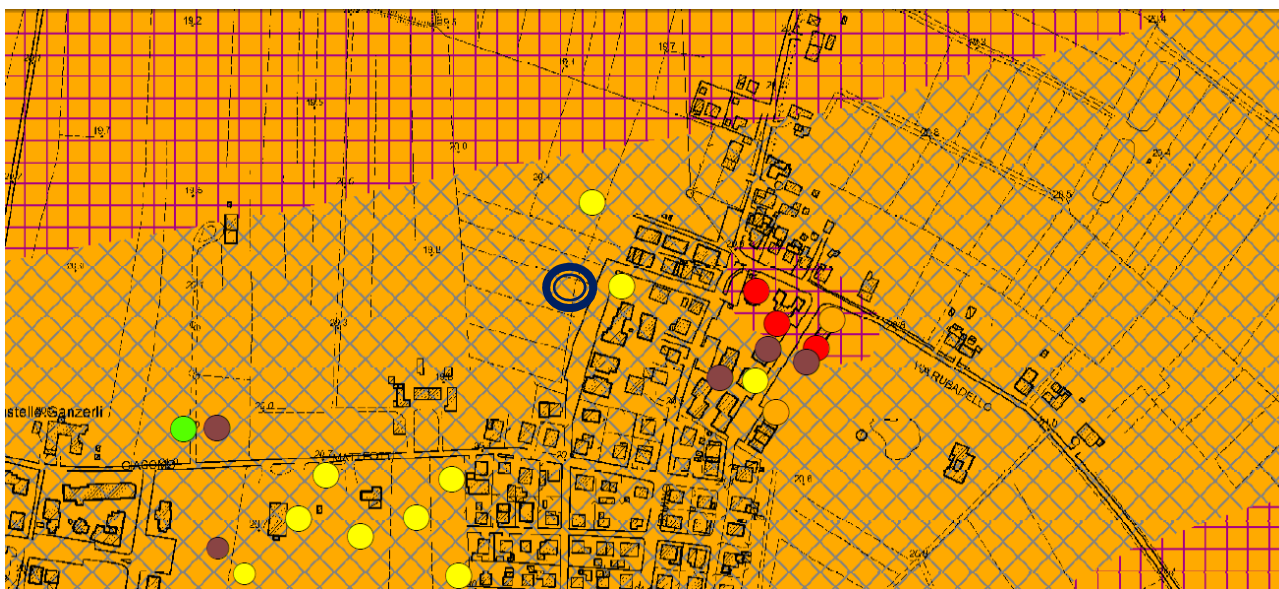


Fig.11. stralcio di "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" redatta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (versione 2.0 - 4/11/2013).

5.1.2 Sismicità storica ed attuale

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).

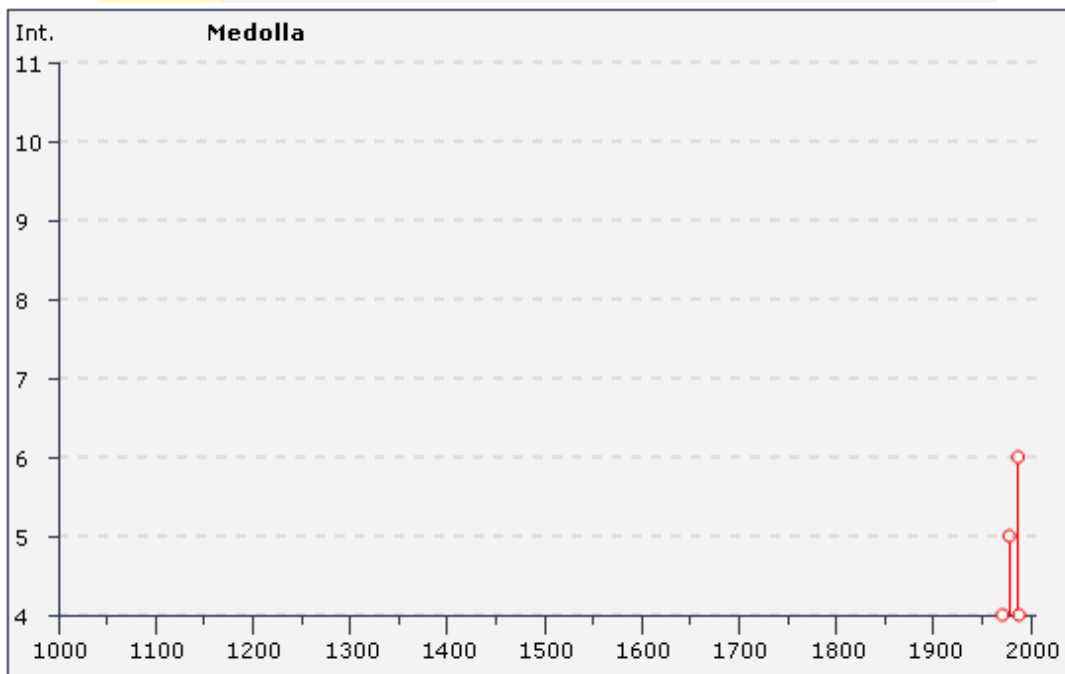
Nella tabella sottostante sono riportati i dati storici del comune di Medolla reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di Medolla
[44.849, 11.071]



Numero di eventi: 8

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1971 07 15 01:3	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1978 12 25 22:5	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
3	1983 11 09 16:2	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3	1986 12 06 17:0	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
6	1987 05 02 20:4	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4	1988 03 15 12:0	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
NF	1998 02 21 02:2	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17
3-4	2000 06 18 07:4	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09



La crisi sismica del 2012 ha messo 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 Mw 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 Mw e 6.0 Mw, l'epicentro è localizzato nel comune di Medolla ad una profondità di circa 10 km.

Constatando 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 ZS9.

La ZS9 è stata costruita basandosi sugli approcci cinematici ed i modelli sismotettonici della ZS4, ovviando al problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente con un numero esiguo di campioni sismici. È stata integrata con le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche nazionali (DISS 2.0 – *Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy*, Valensise e Pantosti, 2001) e regionali; inoltre sono presenti anche i dati risultati dalle considerazioni sui terremoti più importanti che si sono verificati dopo la ZS4.

Il Comune di Medolla ricade nella zona sismogenetica numero 912.

La zona sismogenetica 912 coincide con l'area geologica della Dorsale Ferrarese. Rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

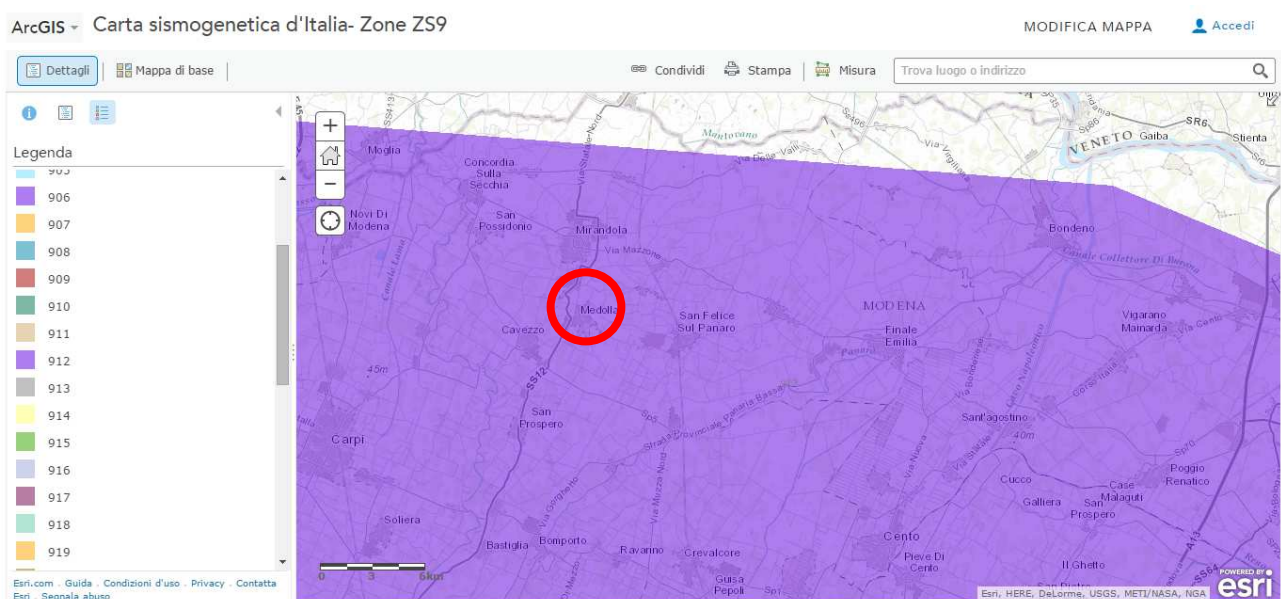


Fig.14: Zonazione Sismica ZS9.

All'interno della zona si osserva un regime tettonico debolmente compressivo in atto. Strutture compressive (prevalentemente *thrust*), allineate lungo la costa o a breve distanza da essa, sono responsabili della sismicità.

Nella zona 912 i dati pubblicati dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (marzo 2004) evidenziano che negli anni di monitoraggio strumentale la magnitudo massima registrata sia stata di 4.6 Md, la profondità efficace è di 7 Km e che la maggior parte dei terremoti che si verificano hanno basse magnitudo, indicando così un frequente movimento che ha funzione dissipativa delle energie tettoniche che possono accumularsi nell'area.

I valori a cui si faranno riferimento sono quelli della magnitudo prevista Mw.

La magnitudo prevista Mw della zona sismogenetica 912, è pari a 6.14.

ZS Name	ZS9	MwMax AR	Tassi Mwmax Co-04.2 AR	Tassi Mwmax Co-04.4 AR	b Co-04.2	b Co-04.4	MwMax GR	Tassi Mwmax (Co.04.2) GR	Tassi Mwmax (Co.04.4) GR
Savoia	901	5,91	0,21	0,21	-1,18	-1,26	6,14	0,11	0,14
Vallese	902	6,14			-1,26	-1,05	6,14	0,14	0,21
Grigioni - Valtellina	903	5,91	0,21	0,21	-1,26	-1,05	6,14	0,14	0,21
Trieste - Monte Nevoso	904	5,68			-1,12	-1,32	6,14	0,14	0,09
Friuli - Veneto Orientale	905	6,60			-1,06	-1,12	6,60	0,37	0,34
Garda - Veronese	906	6,60		0,14	-1,14	-1,70	6,60	0,11	0,08
Bergamasco	907	5,91	0,14	0,14	-1,71	-1,48	6,14	0,04	0,06
Piemonte	908	5,68			-1,91	-1,67	6,14	0,04	0,06
Alpi Occidentali	909	5,68	0,21	0,33	-1,27	-1,38	6,14	0,10	0,09
Nizza - Sanremo	910	6,37			-1,12	-1,06	6,37	0,14	0,12
Tortona - Bobbio	911	5,68			-1,47	-1,33	6,14	0,05	0,09
Dorsale Ferrarese	912	6,14	0,12	0,12	-1,35	-1,32	6,14	0,12	0,12
Appennino Emiliano-Romagnolo	913	5,91		0,21	-1,80	-1,53	6,14	0,07	0,18
Forlivese	914	5,91			-1,33	-1,23	6,14	0,14	0,21
Garfagnana - Mugello	915	6,60			-1,34	-1,36	6,60	0,11	0,12
Versilia-Chianti	916	5,68	0,21	0,33	-1,96	-1,58	6,14	0,04	0,06
Rimini - Ancona	917	6,14	0,12	0,12	-1,04	-1,01	6,14	0,12	0,12
Medio-Marchigiana/Abruzzese	918	6,37	0,14	0,21	-1,10	-1,11	6,37	0,14	0,21
Appennino Umbro	919	6,37			-1,22	-1,39	6,37	0,26	0,21
Val di Chiana - Ciociaria	920	5,68	0,28	0,33	-1,96	-1,58	6,14	0,06	0,17
Etruria	921	5,91		0,08	-2,00	-2,01	6,14	0,05	0,04
Colli Albani	922	5,45			-2,00	-2,01	5,45	0,37	0,25
Appennino Abruzzese	923	7,06			-1,05	-1,09	7,06	0,14	0,14
Molise-Gargano	924	6,83			-1,04	-1,06	6,83	0,13	0,14
Ofanto	925	6,83			-0,67	-0,75	6,83	0,17	0,17
Basento	926	5,91			-1,28	-1,38	6,14	0,10	0,09
Sannio - Irpinia - Basilicata	927	7,06			-0,74	-0,72	7,06	0,43	0,69
Ischia - Vesuvio	928	5,91	0,21	0,21	-1,04	-0,66	5,91	0,21	0,21
Calabria tirrenica	929	7,29			-0,82	-0,79	7,29	0,17	0,17
Calabria ionica	930	6,60			-0,98	-0,89	6,60	0,17	0,21
Canale d'Otranto	931	6,83			-0,63	-0,63	6,83	0,21	0,21
Eolie - Patti	932	6,14			-1,21	-1,08	6,14	0,21	0,33
Sicilia settentrionale	933	6,14	0,21	0,33	-1,39	-1,24	6,14	0,20	0,31
Belice	934	6,14			-0,96	-0,93	6,14	0,20	0,20
Iblei	935	7,29			-0,72	-0,69	7,29	0,12	0,17
Etna	936	5,45	0,33	0,33	-1,63	-1,22	5,45	0,33	0,33

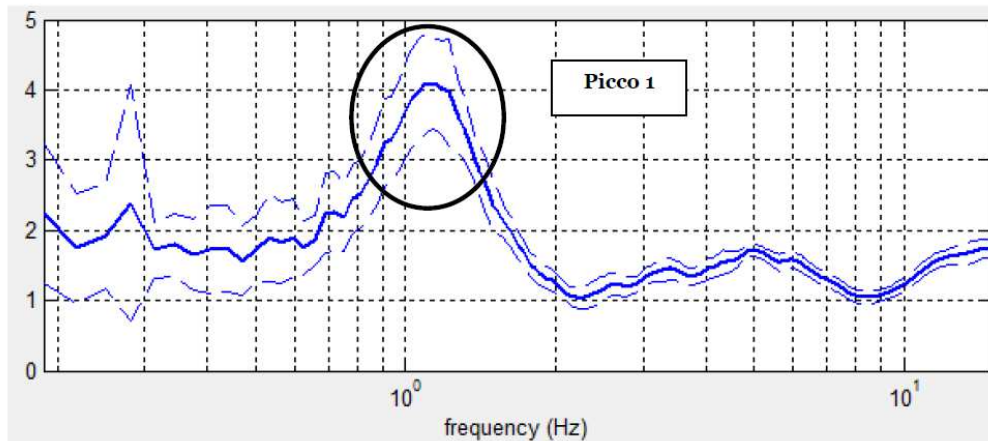
5.2 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO

5.2.1. Definizione categoria sismica mediante analisi del sottosuolo in sismica passiva e attiva in onde Rayleigh

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, per determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono eseguite una prova di sismica passiva di microtremiti HV, una prova di sismica passiva SPAC e una prova di sismica attiva MFA-Hs in onde Rayleigh, realizzate in data 12/02/2016.

Si allega in epigrafe la relazione di modellazione sismica redatta dal Dott. Geol. Lorenzo Del Maschio (All. n.5).

Relativamente alle frequenze caratteristiche di sito, abbiamo un picco stratigrafico caratteristico alla frequenza di 1.1 Hz e periodo caratteristico pari a 0.91 s che rappresenta un contrasto di impedenza profondo circa 100-120 m. Il rapporto H/V, di ~ 4.1, evidenzia contrasti di impedenza significativi (H/V > 3) in caso di moto sismico.



Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)
1	~ 4.1	~ 1.1

5.2.3 Modello sismico del sottosuolo

Il profilo di Vs con la profondità e la determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, è stato ricavato dall'analisi congiunta della tecnica in sismica attiva (che rappresenta bene le alte frequenze e quindi gli strati di terreno più superficiale) con quella in sismica passiva (che rappresenta bene le basse frequenze e quindi gli strati di terreno più profondo), vincolando le curve spettrali alle prove CPT .

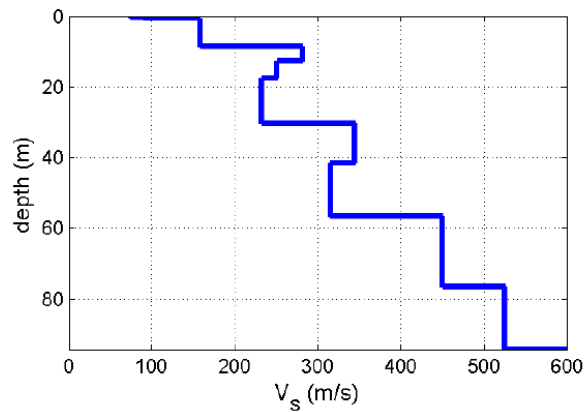
Per il calcolo si è applicato il procedimento di calcolo indicato dalla Normativa secondo la formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

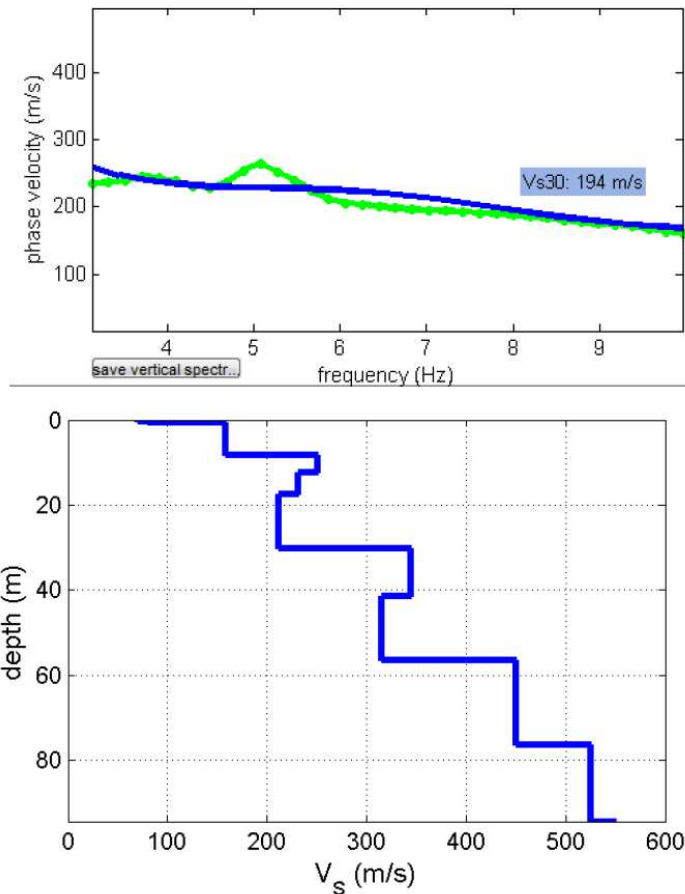
I risultati dettagliati nella relazione di analisi sismica allegata sono:

Vs (30): 194-206 m/s (categoria di sottosuolo C)

- MFA - Hs



- SPAC



Sulla base dell'interpretazione litostratigrafica del sito, e dei valori di V_{s30} calcolati che non manifestano inversioni di velocità di spessore ed entità significativa di propagazione delle onde con la profondità fino alla quota di 30 metri e oltre, si fa

riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento conformemente a quanto espresso nel DM 2008.

Le categorie di sottosuolo di riferimento sono:

A – Amassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.

B – Rocce tenere e depositi terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa o coesione non drenata $C_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa, $C_u < 70$ kPa nei terreni a grana fine).

E – Terreni del sottosuolo di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con valori di $V_{s30} > 800$ m/s.

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

S1 – Depositi di terreni caratterizzati da valore $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u,30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Il sito rientra in classe sismica di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).

5.3 ANALISI PERICOLOSITA SISMICA LOCALE

Nelle carte delle sicurezze del territorio “Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali”, elaborate per il Nuovo P.T.C.P approvato dalla Provincia di Modena con atto D.C.P. n.46 del 18/03/2009, l’area di studio ricade in zona 7: area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione.

7	<p>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione <u>studi</u>*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; <u>microzonazione sismica</u>*: approfondimenti di III livello.</p>
8	<p>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti <u>studi</u>*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; <u>microzonazione sismica</u>*: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.</p>

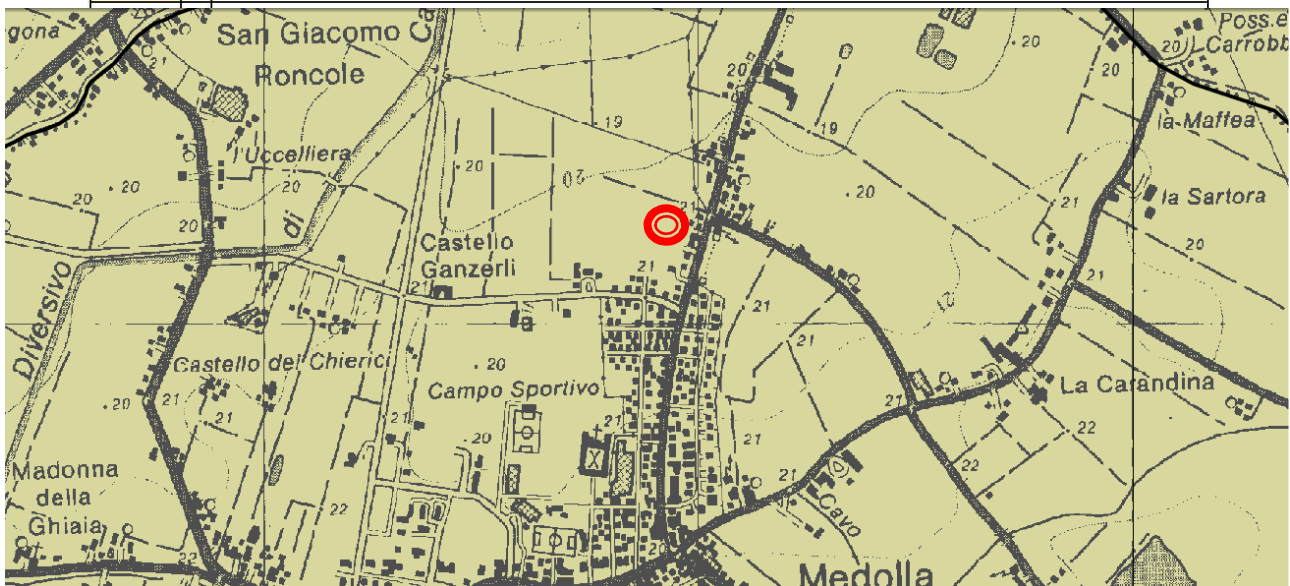


Fig.12. Tav. 2.2a.2 PTCP 2009 “Carta delle aree suscettibili di effetti locali”.

Dalla valutazione delle caratteristiche litologiche del sito in esame, che presenta limi sabbiosi e sabbie sottofalda, occorre fare una valutazione preventiva del potenziale rischio liquefazione dei terreni riscontrati in sito, come indicato anche nelle recenti “Carte dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione”, redatte dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (versione 1.0 – 14/11/2013).

Il sito di studio ricade in LQ2: presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna.

LQ1

FAPGA = 1.7; FH 0.1 – 0.5s = 1.9; FH 0.5 – 1.0s = 2.6

Stima con abachi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2

FAPGA = 1.7; FH 0.1 – 0.5s = 1.9; FH 0.5 – 1.0s = 2.6

Stima con abachi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).

stima IL 10 m		stima IL 15–20 m	
1.2	◇	Rischio di liquefazione basso (0.0 < IL < 2.0)	□ 1.5
2.8	◇	Rischio di liquefazione moderato (2.0 ≤ IL < 5.0)	■ 3.3
5.4	◇	Rischio di liquefazione elevato (5.0 ≤ IL < 15.0)	■ 6.4

Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL

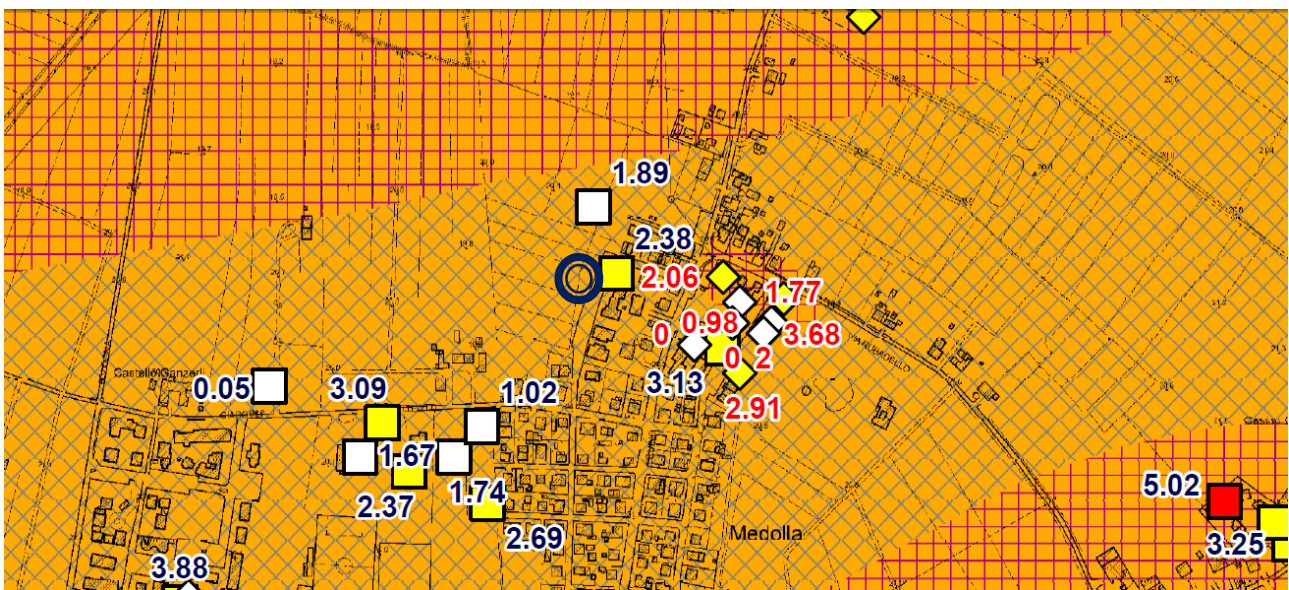


Fig.13. Stralcio "carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione"

Fig.14. RER Versione 1.0 del 14/11/2013.

5.3.1 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. La liquefazione si verifica in depositi sabbiosi saturi, infatti se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{vo} - u) \tan \varphi$$

è evidente che la grandezza τ si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

$$c = 0$$

$$(\sigma_{vo} - u) = 0.$$

La prima condizione vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La seconda condizione si verifica quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità della colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{vo} - u$).

In definitiva il fenomeno della liquefazione si può verificare in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

In conclusione si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti che presentano le seguenti caratteristiche:

- granulometricamente sono sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;
- si trovano sotto falda;
- sono da poco a mediamente addensati;
- si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 metri).

L'altra variabile che provoca fenomeni di liquefazione è il sisma.

Durante un terremoto il terreno può essere visto come sottoposto ad una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso.

In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per ridurre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico.

I maggiori terremoti storici, nella regione Emilia Romagna si sono verificati in Romagna e dopo la recente crisi sismica del Maggio 2012, nella parte nord della provincia di Modena e Ferrara con magnitudo stimata pari a 5.9. In queste zone quindi si possono verificare terremoti a energia media.

La sequenza stratigrafica, descritta per il sito di studio, ha evidenziato la presenza di limi sabbiosi sciolti sottofalda da - 11.60 m a - 15.00 m dal piano campagna. Si riscontrano, inoltre, sabbie addensate da - 24.20 m fino alla quota di fine prova. Sulle colonne stratigrafiche riscontrate è stata eseguita una verifica alla possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione mediante procedure denominate "metodi semplificati".

La verifica è stata effettuata, con due metodi: Robertson & Wride (1997) e Idriss e Boulanger (2008) con il software Liquiter Versione 2016.18.4.400 producer by Geostru Software.

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_C che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata;

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo} ;

f_s è l'attrito del manicotto;

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_C con la (5.0a).

Se $I_C > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se $I_C \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente $n = 0,5$.

Se è ancora $I_C \leq 2,6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $I_C > 2,6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo $n = 0,75$.

Calcolato I_C , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo n è lo stesso utilizzato nel calcolo di I_C .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$K_c = 0$	per	$FC \leq 5$
$K_c = 0,0267(FC - 5)$	per	$5 < FC \leq 35$
$K_c = 0,8$	per	$FC > 35$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR_{7,5}**) si calcola con le espressioni seguenti:

se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR_{7,5}**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitudo Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

Tabella 1- Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

Fig.15. Metodo di Idriss e Boulanger (2008)

Nel metodo proposto da **Idriss e Boulanger** l'indice di comportamento **IC** per il tipo di suolo è ricavato con le formule riportate di seguito:

$$I_c = \left[(\log_{10} Q - 3,47)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (6.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (6.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (6.0c)$$

dove

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo, variabile tra 0,5 e 1.

Calcolato I_c , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{Pa} \right) \quad (6.1)$$

$$C_Q = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \leq 1,7 \quad (6.2)$$

dove n si determina per via iterativa dalla seguente relazione:

$$n = 1,338 - 0,249 \cdot q_{c1N}^{0,264} \quad (6.3)$$

La correzione della resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata mediante la seguente procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (6.4a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(5,4 + \frac{q_{c1N}}{16} \right) \cdot \exp \left[1,63 + \frac{9,7}{FC + 0,01} - \left(\frac{15,7}{FC + 0,01} \right)^2 \right] \quad (6.4b)$$

Dove la frazione di fine FC(%) viene calcolata mediante l'espressione seguente:

$$FC(\%) = 2,8 \cdot (I_c)^{2,60} \quad (6.5)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR**_{7,5}) si calcola da:

$$CRR = \exp \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{540} + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{114} \right)^4 - 3 \right] \quad (6.6)$$

Per $z_w > z$, con z_w profondità della falda, e per $(q_{c1N})_{cs} \leq 160$ il terreno è non liquefacibile (NL). Il rapporto di sforzo ciclico **CSR** (*Cyclic Stress Ratio*) si determina da:

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d \quad (6.7)$$

Dove per il coefficiente di riduzione delle tensioni r_d si utilizza la formula, con M si indica la magnitudo:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (6.8a)$$

$$\alpha = -1,1012 - 1,126 \cdot \text{sen} \left[\frac{z}{11,73} + 5,133 \right] \quad (6.8b)$$

$$\beta = 0,106 + 0,118 \cdot \text{sen} \left[\frac{z}{11,28} + 5,142 \right] \quad (6.8c)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (6.9)$$

Per determinare il fattore di scala della magnitudo **MSF**, la formula di **Idriss & Boulanger** utilizza l'espressione:

$$MSF = 6,9 \cdot \exp \left(-\frac{M}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \quad (6.10)$$

Il fattore di correzione della pressione di confinamento K_σ è dato da:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) \leq 1 \quad (6.11a)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37,3 - 8,27 \cdot (q_{c1N})^{0,264}} \leq 0,3 \quad (6.11b)$$

L'indice e il rischio di liquefazione vengono calcolati con il metodo di **SOMENZ (2003)**.

Secondo la classificazione di Sonmez (2003) adottata dalla Regione Emilia-Romagna, risulta che:

- $IL = 0$ 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.

La verifica è stata eseguita con l'accelerazione calcolata in superficie da norma per un suolo di tipo C e tempo di ritorno di 475 (classe d'uso II - fabbricati il cui uso preveda normali affollamenti): a_{max} in superficie (g) = 0.22.

$M_w = 6.14$ (M_w max Zona 912 di ZS9, come suggerito dagli ICMS)

Il livello della soggiacenza della falda misurato nel foro di prova nel marzo 2016 pari a - 2.40 m dal p.c.

VERIFICA SULLA VERTICALE DI PROVA N.1

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: RICOSTRUZIONE EDIFICIO RESIDENZIALE

Cliente: BOTTI MATTEO

Indirizzo, Coordinate: MEDOLLA VIASANDRO PERTINI

Data 21/03/2016

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

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2.4 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.149

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) 1.469

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (M_w) 6.14

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.22

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza laterale attrito fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	2	17	19	0	0	1370	100	130
2	Argilla	2	5.4	16	18	0	0	790	40	80
3	Argilla	5.4	8	17	19	0	0	1110	70	100
4	Argilla	8	8.8	17	19	0	0	1800	80	150
5	Limo	8.8	9.2	17	19.5	0	0	4700	70	250

45

Dott. Geol. Rita Ballista

Dott. Geol. Paolo Cestari

Via Genova 1/8 - 41036 MEDOLLA - MODENA -

Tel. 053547170-Cell: 3356250803- email:geoprogettisrl@gmail.com

6	argilloso Limo	9.2	10.8	17	19.5	0	0	2790	110	200
7	argilloso Limo	10.8	11.6	17	19	0	0	1470	70	140
8	argilloso Limo	11.6	14	18	20	0	0	4870	100	250
9	sabbioso Sabbia	14	15	18	20	0	0	9000	170	280
10	limosa Limo	15	15.4	17	19	0	0	3700	170	220
11	sabbioso Limo	15.4	16.6	16	18	0	0	1400	90	120
12	argilloso Argilla	16.6	19	17	19	0	0	2580	130	200
13	Argilla	19	20	17	19	0	0	1900	120	180

METODO ROBERTSON E WRIDE

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normale Q	Attrito laterale normale o lizzato F(%)	Indice di compattamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridotto (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale lizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquazione	Rischi
2.60	44.000	42.039	17.746	5.362	2.955	1.7	84.035	0.980	0.135	0.088	1.538	0	Molto basso
2.80	47.600	43.677	16.997	5.388	2.971	1.7	86.242	0.979	0.140	0.091	1.528	0	Molto basso
3.00	51.200	45.316	16.303	5.414	2.986	1.7	88.433	0.977	0.144	0.095	1.525	0	Molto basso
3.20	54.800	46.955	15.658	5.441	3.000	1.7	90.608	0.976	0.149	0.098	1.529	0	Molto basso
3.40	58.400	48.593	15.056	5.467	3.015	1.7	92.769	0.974	0.154	0.100	1.537	0	Molto basso
3.60	62.000	50.232	14.493	5.495	3.029	1.7	94.915	0.972	0.160	0.103	1.551	0	Molto basso
3.80	65.600	51.871	13.966	5.522	3.042	1.7	97.050	0.971	0.165	0.105	1.568	0	Molto basso
4.00	69.200	53.509	13.471	5.549	3.056	1.7	99.172	0.969	0.171	0.107	1.589	0	Molto basso
4.20	72.800	55.148	13.005	5.577	3.069	1.7	101.283	0.968	0.177	0.110	1.613	0	Molto basso
4.40	76.400	56.787	12.566	5.605	3.082	1.7	103.384	0.966	0.183	0.111	1.640	0	Molto basso
4.60	80.000	58.425	12.152	5.634	3.094	1.7	105.475	0.965	0.189	0.113	1.670	0	Molto basso

4.80	83.600	60.064	11.761	5.663	3.107	1.66489	105.336	0.963	0.189	0.115	1.642	0	Molto basso
5.00	87.200	61.703	11.390	5.692	3.119	1.620674	104.516	0.962	0.186	0.116	1.598	0	Molto basso
5.20	90.800	63.341	11.039	5.721	3.131	1.578747	103.731	0.960	0.184	0.118	1.558	0	Molto basso
5.40	94.400	64.980	10.705	5.750	3.142	1.538934	102.979	0.959	0.182	0.119	1.521	0	Molto basso
5.60	98.200	66.819	15.142	6.918	3.080	1.496587	127.574	0.957	0.273	0.121	2.265	0	Molto basso
5.80	102.000	68.657	14.682	6.944	3.091	1.456507	126.365	0.956	0.268	0.122	2.200	0	Molto basso
6.00	105.800	70.496	14.245	6.971	3.102	1.418519	125.205	0.954	0.263	0.123	2.139	0	Molto basso
6.20	109.600	72.335	13.830	6.997	3.113	1.382462	124.092	0.953	0.258	0.124	2.083	0	Molto basso
6.40	113.400	74.173	13.436	7.024	3.123	1.348192	123.023	0.951	0.253	0.125	2.031	0	Molto basso
6.60	117.200	76.012	13.061	7.051	3.134	1.315558	121.995	0.950	0.249	0.125	1.983	0	Molto basso
6.80	121.000	77.851	12.704	7.078	3.144	1.284509	121.006	0.948	0.245	0.126	1.938	0	Molto basso
7.00	124.800	79.689	12.363	7.105	3.154	1.254872	120.053	0.946	0.241	0.127	1.896	0	Molto basso
7.20	128.600	81.528	12.038	7.133	3.164	1.226571	119.135	0.945	0.237	0.128	1.857	0	Molto basso
7.40	132.400	83.367	11.727	7.160	3.173	1.199519	118.250	0.943	0.234	0.128	1.820	0	Molto basso
7.60	136.200	85.205	11.429	7.188	3.183	1.173634	117.395	0.942	0.230	0.129	1.786	0	Molto basso
7.80	140.000	87.044	11.144	7.216	3.192	1.148843	116.570	0.940	0.227	0.130	1.754	0	Molto basso
8.00	143.800	88.883	10.871	7.245	3.202	1.125077	115.773	0.939	0.224	0.130	1.723	0	Molto basso
8.20	147.600	90.721	18.214	4.841	2.917	1.102275	116.479	0.937	0.227	0.131	1.737	0	Molto basso
8.40	151.400	92.560	17.811	4.853	2.925	1.080379	115.736	0.936	0.224	0.131	1.709	0	Molto basso
8.60	155.200	94.399	17.424	4.864	2.933	1.059336	115.014	0.934	0.221	0.132	1.682	0	Molto basso
8.80	159.000	96.237	17.052	4.875	2.941	1.039097	114.315	0.933	0.219	0.132	1.658	0	Molto basso
9.00	162.900	98.176	47.435	1.543	2.281	1.009246	89.567	0.931	0.147	0.132	1.109	0.0	Molto basso
9.20	166.800	100.115	46.973	1.544	2.284	0.9994267	89.210	0.928	0.146	0.133	1.101	0.0	Molto basso
9.40	170.700	102.053	25.666	4.200	2.765	0.9798788	122.809	0.923	0.252	0.132	1.906	0	Molto basso
9.60	174.600	103.992	25.150	4.206	2.772	0.9616113	122.044	0.918	0.249	0.132	1.886	0	Molto basso

9.80	178.500	105.931	24.653	4.212	2.779	0.9440126	121.301	0.912	0.246	0.132	1.867	0	Molto basso
10.00	182.400	107.870	24.174	4.218	2.785	0.9270465	120.579	0.907	0.243	0.131	1.849	0	Molto basso
10.20	186.300	109.808	23.711	4.225	2.792	0.9106795	119.877	0.902	0.240	0.131	1.832	0	Molto basso
10.40	190.200	111.747	23.265	4.231	2.799	0.8948803	119.194	0.896	0.237	0.131	1.816	0	Molto basso
10.60	194.100	113.686	22.834	4.237	2.805	0.8796199	118.529	0.891	0.235	0.130	1.801	0	Molto basso
10.80	198.000	115.624	22.417	4.244	2.812	0.8648713	117.882	0.886	0.232	0.130	1.787	0	Molto basso
11.00	201.800	117.463	10.797	5.520	3.128	0.8513333	103.711	0.880	0.184	0.130	1.417	0	Molto basso
11.20	205.600	119.302	10.598	5.536	3.135	0.8382126	103.246	0.875	0.182	0.129	1.411	0	Molto basso
11.40	209.400	121.140	10.406	5.553	3.142	0.8254901	102.792	0.870	0.181	0.129	1.405	0	Molto basso
11.60	213.200	122.979	10.220	5.570	3.149	0.8131482	102.350	0.864	0.180	0.128	1.399	0	Molto basso
11.80	217.200	125.018	43.556	2.149	2.400	0.8943646	100.790	0.859	0.175	0.128	1.370	0	Molto basso
12.00	221.200	127.056	43.205	2.151	2.403	0.8871604	100.496	0.854	0.174	0.127	1.369	0	Molto basso
12.20	225.200	129.095	42.862	2.153	2.406	0.8801275	100.209	0.848	0.174	0.127	1.369	0	Molto basso
12.40	229.200	131.134	42.528	2.155	2.409	0.8732593	99.928	0.843	0.173	0.126	1.368	0	Molto basso
12.60	233.200	133.172	42.201	2.157	2.412	0.8665493	99.655	0.838	0.172	0.126	1.368	0	Molto basso
12.80	237.200	135.211	41.882	2.159	2.415	0.8599917	99.388	0.832	0.171	0.125	1.369	0	Molto basso
13.00	241.200	137.250	41.569	2.160	2.417	0.8535808	99.127	0.827	0.171	0.125	1.370	0	Molto basso
13.20	245.200	139.288	41.264	2.162	2.420	0.8473111	98.872	0.822	0.170	0.124	1.370	0	Molto basso
13.40	249.200	141.327	40.965	2.164	2.423	0.8411775	98.623	0.816	0.169	0.123	1.372	0	Molto basso
13.60	253.200	143.366	40.673	2.166	2.425	0.8351753	98.379	0.811	0.169	0.123	1.373	0	Molto basso
13.80	257.200	145.404	40.387	2.168	2.428	0.8292998	98.141	0.806	0.168	0.122	1.375	0	Molto basso
14.00	261.200	147.443	40.107	2.170	2.430	0.8235465	97.908	0.800	0.167	0.122	1.377	0	Molto basso
14.20	265.200	149.482	73.612	1.946	2.202	0.8179114	123.000	0.795	0.253	0.121	2.094	0	Molto basso
14.40	269.200	151.520	73.115	1.947	2.204	0.8123903	122.581	0.790	0.251	0.120	2.090	0	Molto basso
14.60	273.200	153.559	72.628	1.948	2.206	0.8069797	122.171	0.784	0.250	0.120	2.087	0	Molto basso

14.80	277.200	155.598	72.151	1.949	2.208	0.8016756	121.770	0.779	0.248	0.119	2.085	0	Molto basso
15.00	281.200	157.636	71.683	1.950	2.211	0.7964748	121.377	0.774	0.246	0.118	2.083	0	Molto basso
15.20	285.000	159.475	21.414	4.978	2.873	0.6270581	126.094	0.768	0.266	0.118	2.264	0	Molto basso
15.40	288.800	161.314	21.146	4.984	2.877	0.6199108	125.609	0.763	0.264	0.117	2.258	0	Molto basso
15.60	292.400	162.952	6.797	8.126	3.390	0.6136768	104.511	0.757	0.186	0.117	1.598	0	Molto basso
15.80	296.000	164.591	6.708	8.152	3.396	0.607567	104.235	0.752	0.185	0.116	1.598	0	Molto basso
16.00	299.600	166.230	6.620	8.179	3.401	0.6015777	103.966	0.747	0.185	0.115	1.599	0	Molto basso
16.20	303.200	167.868	6.534	8.206	3.406	0.5957053	103.701	0.741	0.184	0.115	1.600	0	Molto basso
16.40	306.800	169.507	6.449	8.233	3.412	0.5899465	103.442	0.736	0.183	0.114	1.602	0	Molto basso
16.60	310.400	171.146	6.367	8.260	3.417	0.584298	103.187	0.731	0.182	0.114	1.604	0	Molto basso
16.80	314.200	172.984	13.098	5.737	3.074	0.5780873	113.478	0.725	0.216	0.113	1.912	0	Molto basso
17.00	318.000	174.823	12.939	5.747	3.079	0.5720074	113.101	0.720	0.215	0.112	1.911	0	Molto basso
17.20	321.800	176.662	12.783	5.757	3.083	0.5660541	112.731	0.715	0.213	0.112	1.911	0	Molto basso
17.40	325.600	178.500	12.630	5.767	3.088	0.5602234	112.368	0.709	0.212	0.111	1.911	0	Molto basso
17.60	329.400	180.339	12.480	5.776	3.092	0.5545115	112.010	0.704	0.211	0.110	1.911	0	Molto basso
17.80	333.200	182.178	12.333	5.786	3.097	0.548915	111.658	0.699	0.209	0.110	1.912	0	Molto basso
18.00	337.000	184.016	12.189	5.796	3.101	0.5434302	111.311	0.693	0.208	0.109	1.913	0	Molto basso
18.20	340.800	185.855	12.048	5.806	3.105	0.5380541	110.970	0.688	0.207	0.108	1.915	0	Molto basso
18.40	344.600	187.694	11.910	5.816	3.110	0.5327833	110.634	0.683	0.206	0.107	1.917	0	Molto basso
18.60	348.400	189.532	11.774	5.825	3.114	0.5276147	110.304	0.677	0.205	0.107	1.919	0	Molto basso
18.80	352.200	191.371	11.641	5.835	3.118	0.5225454	109.979	0.672	0.204	0.106	1.922	0	Molto basso
19.00	356.000	193.210	11.511	5.845	3.123	0.5175726	109.658	0.667	0.203	0.105	1.924	0	Molto basso
19.20	359.800	195.048	7.897	7.791	3.328	0.5126935	108.673	0.661	0.199	0.105	1.906	0	Molto basso
19.40	363.600	196.887	7.803	7.810	3.333	0.5079057	108.371	0.656	0.198	0.104	1.910	0	Molto basso
19.60	367.400	198.726	7.712	7.830	3.338	0.5032064	108.073	0.651	0.197	0.103	1.914	0	Molto basso

19.80	371.200	200.564	7.622	7.849	3.342	0.4985932	107.781	0.645	0.196	0.102	1.919	0	Molto basso
20.00	375.000	202.403	7.534	7.869	3.347	0.4940639	107.493	0.640	0.196	0.102	1.924	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.01 Zcrit=20 m Rischio=Basso

Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di compattamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridotto (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
2.60	44.000	42.039	7.797	5.362	3.007	2.057195	0.000	1.007	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.80	47.600	43.677	7.797	5.388	3.020	1.998948	0.000	1.003	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.00	51.200	45.316	7.797	5.414	3.031	1.94573	0.000	0.998	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.20	54.800	46.955	7.797	5.441	3.043	1.89365	0.000	0.994	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.40	58.400	48.593	7.797	5.467	3.055	1.845697	0.000	0.990	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.60	62.000	50.232	7.797	5.495	3.066	1.800003	0.000	0.985	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.80	65.600	51.871	7.797	5.522	3.078	1.75538	0.000	0.981	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.00	69.200	53.509	7.797	5.549	3.089	1.713877	0.000	0.976	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.20	72.800	55.148	7.797	5.577	3.100	1.674196	0.000	0.971	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.40	76.400	56.787	7.797	5.605	3.111	1.63622	0.000	0.966	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.60	80.000	58.425	7.797	5.634	3.121	1.599223	0.000	0.962	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.80	83.600	60.064	7.797	5.663	3.132	1.564424	0.000	0.957	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.00	87.200	61.703	7.797	5.692	3.142	1.531029	0.000	0.952	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.20	90.800	63.341	7.797	5.721	3.153	1.498537	0.000	0.947	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.40	94.400	64.980	7.797	5.750	3.163	1.467761	0.000	0.942	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.60	98.200	66.819	10.955	6.918	3.104	1.409747	0.000	0.937	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.80	102.000	68.657	10.955	6.944	3.113	1.380168	0.000	0.932	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

6.00	105.800	70.496	10.955	6.971	3.122	1.351505	0.000	0.926	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.20	109.600	72.335	10.955	6.997	3.131	1.324208	0.000	0.921	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.40	113.400	74.173	10.955	7.024	3.140	1.297934	0.000	0.916	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.60	117.200	76.012	10.955	7.051	3.149	1.272628	0.000	0.911	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.80	121.000	77.851	10.955	7.078	3.157	1.248125	0.000	0.905	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.00	124.800	79.689	10.955	7.105	3.166	1.224624	0.000	0.900	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.20	128.600	81.528	10.955	7.133	3.175	1.201942	0.000	0.895	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.40	132.400	83.367	10.955	7.160	3.183	1.180039	0.000	0.889	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.60	136.200	85.205	10.955	7.188	3.191	1.158829	0.000	0.884	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.80	140.000	87.044	10.955	7.216	3.200	1.138378	0.000	0.878	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
8.00	143.800	88.883	10.955	7.245	3.208	1.118594	0.000	0.873	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
8.20	147.600	90.721	17.765	4.841	2.925	1.091641	0.000	0.868	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
8.40	151.400	92.560	17.765	4.853	2.932	1.074628	0.000	0.862	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
8.60	155.200	94.399	17.765	4.864	2.938	1.058112	0.000	0.857	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
8.80	159.000	96.237	17.765	4.875	2.945	1.042071	0.000	0.851	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
9.00	162.900	98.176	46.385	1.543	2.293	1.020687	89.193	0.846	0.126	0.201	0.896	7.25	Alto
9.20	166.800	100.115	46.385	1.544	2.298	1.007852	88.512	0.840	0.125	0.200	0.891	7.76	Alto
9.40	170.700	102.053	27.535	4.200	2.764	0.9947034	88.512	0.834	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
9.60	174.600	103.992	27.535	4.206	2.770	0.9808658	88.512	0.829	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
9.80	178.500	105.931	27.535	4.212	2.775	0.9673929	88.512	0.823	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
10.00	182.400	107.870	27.535	4.218	2.780	0.9542705	88.512	0.818	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
10.20	186.300	109.808	27.535	4.225	2.786	0.9414756	88.512	0.812	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
10.40	190.200	111.747	27.535	4.231	2.791	0.9290102	88.512	0.807	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
10.60	194.100	113.686	27.535	4.237	2.796	0.9168562	88.512	0.801	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
10.80	198.000	115.624	27.535	4.244	2.801	0.9050023	88.512	0.796	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
11.00	201.800	117.463	14.508	5.520	3.121	0.8819306	88.512	0.790	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto

11.20	205.600	119.302	14.508	5.536	3.127	0.8701177	88.512	0.785	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
11.40	209.400	121.140	14.508	5.553	3.134	0.8585961	88.512	0.779	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
11.60	213.200	122.979	14.508	5.570	3.140	0.8473557	88.512	0.774	0.125	0.200	0.000	0.00	Molto basso
11.80	217.200	125.018	48.063	2.149	2.430	0.8684105	84.015	0.768	0.118	0.191	0.879	10.04	Alto
12.00	221.200	127.056	48.063	2.151	2.434	0.8586537	83.445	0.763	0.117	0.190	0.877	10.30	Alto
12.20	225.200	129.095	48.063	2.153	2.438	0.8491085	82.887	0.758	0.117	0.189	0.876	10.55	Alto
12.40	229.200	131.134	48.063	2.155	2.443	0.8397682	82.340	0.752	0.116	0.188	0.874	10.78	Alto
12.60	233.200	133.172	48.063	2.157	2.447	0.8306261	81.804	0.747	0.115	0.187	0.873	10.99	Alto
12.80	237.200	135.211	48.063	2.159	2.451	0.8215574	81.272	0.741	0.114	0.186	0.871	11.19	Alto
13.00	241.200	137.250	48.063	2.160	2.455	0.8127827	80.757	0.736	0.114	0.185	0.870	11.37	Alto
13.20	245.200	139.288	48.063	2.162	2.459	0.8041881	80.252	0.731	0.113	0.184	0.870	11.54	Alto
13.40	249.200	141.327	48.063	2.164	2.463	0.7957681	79.757	0.726	0.112	0.183	0.869	11.69	Alto
13.60	253.200	143.366	48.063	2.166	2.467	0.7875175	79.271	0.720	0.112	0.182	0.868	11.82	Alto
13.80	257.200	145.404	48.063	2.168	2.471	0.7792576	78.785	0.715	0.111	0.181	0.868	11.95	Alto
14.00	261.200	147.443	48.063	2.170	2.475	0.7713197	78.317	0.710	0.110	0.180	0.868	12.05	Alto
14.20	265.200	149.482	88.823	1.946	2.222	0.80087	118.466	0.705	0.176	0.179	1.389	0.00	Molto basso
14.40	269.200	151.520	88.823	1.947	2.225	0.7941905	117.784	0.700	0.175	0.178	1.385	0.00	Molto basso
14.60	273.200	153.559	88.823	1.948	2.228	0.7876227	117.114	0.695	0.174	0.177	1.382	0.00	Molto basso
14.80	277.200	155.598	88.823	1.949	2.231	0.7811638	116.453	0.690	0.172	0.176	1.379	0.00	Molto basso
15.00	281.200	157.636	88.823	1.950	2.234	0.774811	115.803	0.685	0.171	0.175	1.376	0.00	Molto basso
15.20	285.000	159.475	36.516	4.978	2.836	0.7115643	115.803	0.680	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
15.40	288.800	161.314	36.516	4.984	2.840	0.7050276	115.803	0.675	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
15.60	292.400	162.952	13.817	8.126	3.373	0.6541991	115.803	0.670	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
15.80	296.000	164.591	13.817	8.152	3.378	0.6480466	115.803	0.665	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
16.00	299.600	166.230	13.817	8.179	3.383	0.6419995	115.803	0.660	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
16.20	303.200	167.868	13.817	8.206	3.389	0.6360552	115.803	0.655	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
16.40	306.800	169.507	13.817	8.233	3.394	0.6302112	115.803	0.651	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
16.60	310.400	171.146	13.817	8.260	3.399	0.6244648	115.803	0.646	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
16.80	314.200	172.984	25.463	5.737	3.042	0.6460771	115.803	0.641	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
17.00	318.000	174.823	25.463	5.747	3.046	0.6401058	115.803	0.637	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
17.20	321.800	176.662	25.463	5.757	3.050	0.6342368	115.803	0.632	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso

17.40	325.600	178.500	25.463	5.767	3.054	0.6281918	115.803	0.628	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
17.60	329.400	180.339	25.463	5.776	3.058	0.6225122	115.803	0.623	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
17.80	333.200	182.178	25.463	5.786	3.062	0.6169272	115.803	0.619	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
18.00	337.000	184.016	25.463	5.796	3.066	0.6114346	115.803	0.615	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
18.20	340.800	185.855	25.463	5.806	3.070	0.6060323	115.803	0.610	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
18.40	344.600	187.694	25.463	5.816	3.074	0.6007177	115.803	0.606	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
18.60	348.400	189.532	25.463	5.825	3.078	0.5954891	115.803	0.602	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
18.80	352.200	191.371	25.463	5.835	3.082	0.5903443	115.803	0.598	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
19.00	356.000	193.210	25.463	5.845	3.086	0.5849545	115.803	0.594	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
19.20	359.800	195.048	18.752	7.791	3.301	0.5640486	115.803	0.590	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
19.40	363.600	196.887	18.752	7.810	3.305	0.5590652	115.803	0.586	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
19.60	367.400	198.726	18.752	7.830	3.310	0.5541621	115.803	0.582	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
19.80	371.200	200.564	18.752	7.849	3.314	0.5493373	115.803	0.578	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso
20.00	375.000	202.403	18.752	7.869	3.318	0.544589	115.803	0.574	0.171	0.175	0.000	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=1.32 Zcrit=20 m Rischio=Basso

VERIFICA SULLA VERTICALE DI PROVA N.2

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: RICOSTRUZIONE EDIFICIO RESIDENZIALE

Cliente: BOTTI MATTEO

Indirizzo, Coordinate: MEDOLLA VIASANDRO PERTINI

Data 21/03/2016

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

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2.4 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.149

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) 1.469

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA)

0.22

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	0.8	17	19	0	0	1000	70	100
2	Argilla	0.8	3.4	17	19	0	0	1300	90	130
3	Argilla limosa	3.4	4.8	17	19	0	0	1370	40	120
4	Argilla	4.8	9.2	16	18	0	0	900	50	80
5	Argilla	9.2	11.6	17	19	0	0	2200	100	190
6	Limo sabbioso	11.6	12	17	19.5	0	0	5340	60	250
7	Sabbia limosa	12	13.6	17	19.5	0	0	6170	130	280
8	Limo sabbioso	13.6	15	17	19.5	0	0	4260	150	230
9	Argilla	15	15.4	16	18	0	0	900	60	80
10	Argilla	15.4	18	17	19	0	0	3190	110	280
11	Argilla	18	20	17	19	0	0	2300	130	230

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Correzione per la magnitudo (MSF)

1.67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta Q (KPa)	Attrito laterale normale lizzato F(%)	Indice di compattamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridotto (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale lizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indicazioni di rischio
2.60	44.600	42.639	29.443	7.169	2.883	1.7	122.294	0.980	0.250	0.088	2.846	0 Molto basso
2.80	48.400	44.477	28.140	7.191	2.898	1.7	125.415	0.979	0.263	0.091	2.886	0 Molto basso
3.00	52.200	46.316	26.941	7.213	2.912	1.7	128.499	0.977	0.277	0.094	2.938	0 Molto basso
3.20	56.000	48.155	25.833	7.235	2.926	1.7	131.546	0.976	0.292	0.097	3.000	0 Molto basso
3.40	59.800	49.993	24.807	7.257	2.939	1.7	134.560	0.974	0.307	0.100	3.070	0 Molto basso
3.60	63.600	51.832	25.205	3.062	2.681	1.7	89.941	0.972	0.148	0.102	1.444	0 Molto basso
3.80	67.400	53.671	24.270	3.071	2.695	1.7	92.180	0.971	0.153	0.105	1.462	0 Molto basso

54

4.00	71.200	55.509	23.398	3.080	2.708		1.7	94.408	0.969	0.158	0.107	1.485	0	Molto basso
4.20	75.000	57.348	22.581	3.089	2.721		1.7	96.625	0.968	0.164	0.108	1.511	0	Molto basso
4.40	78.800	59.187	21.816	3.098	2.733	1.689569		98.225	0.966	0.168	0.110	1.525	0	Molto basso
4.60	82.600	61.025	21.096	3.107	2.745	1.638663		97.382	0.965	0.166	0.112	1.482	0	Molto basso
4.80	86.400	62.864	20.419	3.116	2.757	1.590734		96.580	0.963	0.164	0.113	1.443	0	Molto basso
5.00	90.000	64.503	12.558	6.173	3.109	1.550323		112.127	0.962	0.211	0.115	1.835	0	Molto basso
5.20	93.600	66.141	12.192	6.200	3.120	1.511913		111.261	0.960	0.208	0.116	1.787	0	Molto basso
5.40	97.200	67.780	11.844	6.228	3.131	1.475361		110.429	0.959	0.205	0.118	1.742	0	Molto basso
5.60	100.800	69.419	11.513	6.256	3.141	1.440534		109.629	0.957	0.203	0.119	1.700	0	Molto basso
5.80	104.400	71.057	11.197	6.285	3.152	1.407313		108.860	0.956	0.200	0.120	1.662	0	Molto basso
6.00	108.000	72.696	10.895	6.313	3.162	1.37559		108.120	0.954	0.198	0.121	1.626	0	Molto basso
6.20	111.600	74.335	10.606	6.342	3.172	1.345266		107.408	0.953	0.195	0.123	1.593	0	Molto basso
6.40	115.200	75.973	10.330	6.371	3.183	1.31625		106.721	0.951	0.193	0.124	1.562	0	Molto basso
6.60	118.800	77.612	10.065	6.400	3.193	1.288459		106.059	0.950	0.191	0.125	1.533	0	Molto basso
6.80	122.400	79.251	9.812	6.430	3.202	1.261818		105.420	0.948	0.189	0.125	1.506	0	Molto basso
7.00	126.000	80.889	9.569	6.460	3.212	1.236256		104.803	0.946	0.187	0.126	1.480	0	Molto basso
7.20	129.600	82.528	9.335	6.490	3.222	1.211709		104.208	0.945	0.185	0.127	1.456	0	Molto basso
7.40	133.200	84.167	9.110	6.521	3.231	1.188118		103.633	0.943	0.184	0.128	1.434	0	Molto basso
7.60	136.800	85.805	8.895	6.551	3.241	1.165428		103.078	0.942	0.182	0.129	1.413	0	Molto basso
7.80	140.400	87.444	8.687	6.582	3.250	1.143588		102.541	0.940	0.180	0.129	1.393	0	Molto basso
8.00	144.000	89.083	8.486	6.614	3.259	1.122552		102.021	0.939	0.179	0.130	1.374	0	Molto basso
8.20	147.600	90.721	8.294	6.645	3.268	1.102275		101.519	0.937	0.177	0.131	1.357	0	Molto basso
8.40	151.200	92.360	8.107	6.677	3.277	1.082719		101.033	0.936	0.176	0.131	1.340	0	Molto basso
8.60	154.800	93.999	7.928	6.710	3.286	1.063844		100.562	0.934	0.175	0.132	1.324	0	Molto basso
8.80	158.400	95.637	7.754	6.742	3.295	1.045616		100.107	0.933	0.173	0.132	1.309	0	Molto basso

9.00	162.000	97.276	7.587	6.775	3.304	1.028002	99.666	0.931	0.172	0.133	1.295	0	Molto basso
9.20	165.600	98.915	7.425	6.808	3.312	1.010971	99.239	0.928	0.171	0.133	1.283	0	Molto basso
9.40	169.400	100.753	20.154	4.925	2.889	0.9925219	122.121	0.923	0.249	0.133	1.875	0	Molto basso
9.60	173.200	102.592	19.756	4.934	2.896	0.9747338	121.396	0.918	0.246	0.133	1.855	0	Molto basso
9.80	177.000	104.431	19.372	4.943	2.903	0.957572	120.691	0.912	0.243	0.133	1.837	0	Molto basso
10.00	180.800	106.269	19.001	4.952	2.910	0.9410042	120.004	0.907	0.241	0.132	1.820	0	Molto basso
10.20	184.600	108.108	18.642	4.962	2.917	0.9249999	119.336	0.902	0.238	0.132	1.804	0	Molto basso
10.40	188.400	109.947	18.296	4.971	2.923	0.9095308	118.685	0.896	0.235	0.132	1.789	0	Molto basso
10.60	192.200	111.786	17.961	4.981	2.930	0.8945707	118.050	0.891	0.233	0.131	1.774	0	Molto basso
10.80	196.000	113.624	17.637	4.990	2.937	0.8800947	117.432	0.886	0.231	0.131	1.761	0	Molto basso
11.00	199.800	115.463	17.323	5.000	2.943	0.8660798	116.829	0.880	0.228	0.131	1.749	0	Molto basso
11.20	203.600	117.302	17.019	5.009	2.949	0.8525042	116.241	0.875	0.226	0.130	1.737	0	Molto basso
11.40	207.400	119.140	16.725	5.019	2.956	0.8393476	115.667	0.870	0.224	0.130	1.726	0	Molto basso
11.60	211.200	120.979	16.439	5.028	2.962	0.826591	115.106	0.864	0.222	0.129	1.715	0	Molto basso
11.80	215.100	122.918	48.165	1.171	2.203	0.9019722	80.670	0.859	0.129	0.129	1.000	0.01	Basso
12.00	219.000	124.856	47.790	1.172	2.206	0.8949423	80.391	0.854	0.128	0.128	1.000	0.01	Basso
12.20	222.900	126.795	54.794	2.186	2.330	0.8880742	112.294	0.848	0.212	0.128	1.656	0	Molto basso
12.40	226.800	128.734	54.380	2.187	2.333	0.8813618	111.943	0.843	0.210	0.127	1.653	0	Molto basso
12.60	230.700	130.672	53.975	2.189	2.335	0.8747994	111.601	0.838	0.209	0.127	1.651	0	Molto basso
12.80	234.600	132.611	53.579	2.190	2.338	0.8683814	111.267	0.832	0.208	0.126	1.649	0	Molto basso
13.00	238.500	134.550	53.192	2.192	2.341	0.8621026	110.940	0.827	0.207	0.126	1.648	0	Molto basso
13.20	242.400	136.488	52.813	2.193	2.343	0.8559581	110.621	0.822	0.206	0.125	1.646	0	Molto basso
13.40	246.300	138.427	52.441	2.195	2.346	0.8499432	110.308	0.816	0.205	0.124	1.645	0	Molto basso
13.60	250.200	140.366	52.078	2.196	2.348	0.8440531	110.003	0.811	0.204	0.124	1.645	0	Molto basso
13.80	254.100	142.304	28.150	3.744	2.702	0.7027201	119.978	0.806	0.241	0.123	1.952	0	Molto basso
14.00	258.000	144.243	27.745	3.748	2.707	0.6932752	119.446	0.800	0.238	0.123	1.944	0	Molto basso

14.20	261.900	146.182	27.350	3.752	2.712	0.684081	118.926	0.795	0.236	0.122	1.937	0	Molto basso
14.40	265.800	148.120	26.966	3.755	2.716	0.6751274	118.416	0.790	0.234	0.121	1.930	0	Molto basso
14.60	269.700	150.059	26.592	3.759	2.721	0.6664051	117.917	0.784	0.232	0.121	1.924	0	Molto basso
14.80	273.600	151.998	26.227	3.763	2.726	0.6579054	117.428	0.779	0.231	0.120	1.919	0	Molto basso
15.00	277.500	153.936	25.871	3.766	2.731	0.6496197	116.949	0.774	0.229	0.120	1.914	0	Molto basso
15.20	281.100	155.575	3.978	9.695	3.620	0.6427773	94.881	0.768	0.159	0.119	1.340	0	Molto basso
15.40	284.700	157.214	3.914	9.751	3.628	0.6360776	94.718	0.763	0.159	0.118	1.343	0	Molto basso
15.60	288.500	159.052	18.242	3.791	2.849	0.6287243	104.553	0.757	0.186	0.118	1.582	0	Molto basso
15.80	292.300	160.891	18.010	3.796	2.853	0.6215392	104.206	0.752	0.185	0.117	1.582	0	Molto basso
16.00	296.100	162.730	17.783	3.801	2.858	0.6145166	103.865	0.747	0.184	0.116	1.582	0	Molto basso
16.20	299.900	164.568	17.562	3.806	2.863	0.6076508	103.530	0.741	0.183	0.116	1.582	0	Molto basso
16.40	303.700	166.407	17.345	3.811	2.867	0.6009367	103.201	0.736	0.182	0.115	1.582	0	Molto basso
16.60	307.500	168.246	17.133	3.816	2.872	0.5943694	102.878	0.731	0.181	0.114	1.583	0	Molto basso
16.80	311.300	170.084	16.925	3.821	2.876	0.5879439	102.560	0.725	0.180	0.114	1.585	0	Molto basso
17.00	315.100	171.923	16.722	3.826	2.881	0.5816562	102.248	0.720	0.179	0.113	1.586	0	Molto basso
17.20	318.900	173.762	16.523	3.831	2.885	0.5755013	101.940	0.715	0.179	0.112	1.588	0	Molto basso
17.40	322.700	175.600	16.329	3.836	2.889	0.5694753	101.638	0.709	0.178	0.112	1.590	0	Molto basso
17.60	326.500	177.439	16.138	3.841	2.894	0.5635742	101.341	0.704	0.177	0.111	1.592	0	Molto basso
17.80	330.300	179.278	15.951	3.847	2.898	0.5577942	101.048	0.699	0.176	0.110	1.595	0	Molto basso
18.00	334.100	181.116	15.768	3.852	2.902	0.5521316	100.761	0.693	0.175	0.110	1.597	0	Molto basso
18.20	337.900	182.955	10.725	6.626	3.181	0.5465828	112.969	0.688	0.214	0.109	1.965	0	Molto basso
18.40	341.700	184.794	10.597	6.638	3.185	0.5411444	112.615	0.683	0.213	0.108	1.967	0	Molto basso
18.60	345.500	186.632	10.472	6.651	3.190	0.5358132	112.267	0.677	0.212	0.107	1.969	0	Molto basso
18.80	349.300	188.471	10.350	6.664	3.194	0.5305859	111.925	0.672	0.210	0.107	1.971	0	Molto basso
19.00	353.100	190.310	10.230	6.677	3.199	0.5254596	111.589	0.667	0.209	0.106	1.973	0	Molto basso

19.20	356.900	192.148	10.113	6.690	3.203	0.5204315	111.257	0.661	0.208	0.105	1.976	0	Molto basso
19.40	360.700	193.987	9.997	6.703	3.208	0.5154986	110.931	0.656	0.207	0.105	1.979	0	Molto basso
19.60	364.500	195.826	9.884	6.717	3.212	0.5106585	110.610	0.651	0.206	0.104	1.983	0	Molto basso
19.80	368.300	197.664	9.773	6.730	3.216	0.5059084	110.294	0.645	0.205	0.103	1.987	0	Molto basso
20.00	372.100	199.503	9.664	6.743	3.221	0.5012458	109.983	0.640	0.204	0.102	1.991	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.03 Zcrit=20 m Rischio=Basso

Metodo di Idriss & Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale e norma lizzata o F(%)	Indice di compormento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridotto (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
2.60	44.600	42.639	12.830	7.169	2.947	1.925559	0.000	1.007	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
2.80	48.400	44.477	12.830	7.191	2.958	1.870604	0.000	1.003	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
3.00	52.200	46.316	12.830	7.213	2.968	1.820583	0.000	0.998	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
3.20	56.000	48.155	12.830	7.235	2.978	1.773081	0.000	0.994	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
3.40	59.800	49.993	12.830	7.257	2.988	1.726632	0.000	0.990	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
3.60	63.600	51.832	13.521	3.062	2.733	1.676131	0.000	0.985	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
3.80	67.400	53.671	13.521	3.071	2.743	1.634888	0.000	0.981	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
4.00	71.200	55.509	13.521	3.080	2.753	1.596582	0.000	0.976	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
4.20	75.000	57.348	13.521	3.089	2.763	1.559222	0.000	0.971	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
4.40	78.800	59.187	13.521	3.098	2.773	1.524286	0.000	0.966	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
4.60	82.600	61.025	13.521	3.107	2.782	1.490821	0.000	0.962	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
4.80	86.400	62.864	13.521	3.116	2.791	1.458255	0.000	0.957	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
5.00	90.000	64.503	8.882	6.173	3.132	1.466327	0.000	0.952	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso

5.20	93.600	66.141	8.882	6.200	3.141	1.437166	0.000	0.947	0.000	0.000	0.000	0	basso
5.40	97.200	67.780	8.882	6.228	3.150	1.40879	0.000	0.942	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
5.60	100.800	69.419	8.882	6.256	3.160	1.381764	0.000	0.937	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
5.80	104.400	71.057	8.882	6.285	3.169	1.355699	0.000	0.932	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
6.00	108.000	72.696	8.882	6.313	3.178	1.330544	0.000	0.926	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
6.20	111.600	74.335	8.882	6.342	3.187	1.306096	0.000	0.921	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
6.40	115.200	75.973	8.882	6.371	3.196	1.282651	0.000	0.916	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
6.60	118.800	77.612	8.882	6.400	3.204	1.259983	0.000	0.911	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
6.80	122.400	79.251	8.882	6.430	3.213	1.238055	0.000	0.905	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
7.00	126.000	80.889	8.882	6.460	3.222	1.216756	0.000	0.900	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
7.20	129.600	82.528	8.882	6.490	3.231	1.196219	0.000	0.895	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
7.40	133.200	84.167	8.882	6.521	3.239	1.17632	0.000	0.889	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
7.60	136.800	85.805	8.882	6.551	3.247	1.157032	0.000	0.884	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
7.80	140.400	87.444	8.882	6.582	3.256	1.138326	0.000	0.878	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
8.00	144.000	89.083	8.882	6.614	3.264	1.120154	0.000	0.873	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
8.20	147.600	90.721	8.882	6.645	3.273	1.102544	0.000	0.868	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
8.40	151.200	92.360	8.882	6.677	3.281	1.085443	0.000	0.862	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
8.60	154.800	93.999	8.882	6.710	3.289	1.068829	0.000	0.857	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
8.80	158.400	95.637	8.882	6.742	3.297	1.052682	0.000	0.851	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
9.00	162.000	97.276	8.882	6.775	3.305	1.036981	0.000	0.846	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
9.20	165.600	98.915	8.882	6.808	3.313	1.021713	0.000	0.840	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
9.40	169.400	100.753	21.712	4.925	2.890	1.0044	0.000	0.834	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
9.60	173.200	102.592	21.712	4.934	2.895	0.9903743	0.000	0.829	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
9.80	177.000	104.431	21.712	4.943	2.901	0.9767153	0.000	0.823	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
10.00	180.800	106.269	21.712	4.952	2.907	0.9634098	0.000	0.818	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso

10.20	184.600	108.108	21.712	4.962	2.912	0.950444	0.000	0.812	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
10.40	188.400	109.947	21.712	4.971	2.918	0.9378052	0.000	0.807	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
10.60	192.200	111.786	21.712	4.981	2.923	0.9254816	0.000	0.801	0.000	0.000	0.000	0.0	Molto basso
10.80	196.000	113.624	21.712	4.990	2.929	0.9134439	0.000	0.796	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
11.00	199.800	115.463	21.712	5.000	2.934	0.9017112	0.000	0.790	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
11.20	203.600	117.302	21.712	5.009	2.939	0.8902601	0.000	0.785	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
11.40	207.400	119.140	21.712	5.019	2.945	0.8790807	0.000	0.779	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
11.60	211.200	120.979	21.712	5.028	2.950	0.8681635	0.000	0.774	0.000	0.000	0.000	0	Molto basso
11.80	215.100	122.918	52.702	1.171	2.231	0.8816072	86.596	0.768	0.122	0.192	0.901	8.28	Alto
12.00	219.000	124.856	52.702	1.172	2.235	0.8723136	86.064	0.763	0.121	0.191	0.899	8.51	Alto
12.20	222.900	126.795	60.893	2.186	2.354	0.8686036	97.659	0.758	0.139	0.190	1.033	0.00	Molto basso
12.40	226.800	128.734	60.893	2.187	2.357	0.8599024	97.023	0.752	0.138	0.189	1.031	0.00	Molto basso
12.60	230.700	130.672	60.893	2.189	2.361	0.8514505	96.406	0.747	0.137	0.189	1.028	0.00	Molto basso
12.80	234.600	132.611	60.893	2.190	2.364	0.8431613	95.799	0.741	0.136	0.188	1.026	0.00	Molto basso
13.00	238.500	134.550	60.893	2.192	2.368	0.8350304	95.204	0.736	0.135	0.187	1.023	0.00	Molto basso
13.20	242.400	136.488	60.893	2.193	2.372	0.827053	94.620	0.731	0.134	0.186	1.021	0.00	Molto basso
13.40	246.300	138.427	60.893	2.195	2.375	0.8192247	94.046	0.726	0.133	0.185	1.020	0.00	Molto basso
13.60	250.200	140.366	60.893	2.196	2.379	0.8113829	93.471	0.720	0.132	0.184	1.018	0.00	Molto basso
13.80	254.100	142.304	42.043	3.744	2.670	0.7852916	93.471	0.715	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
14.00	258.000	144.243	42.043	3.748	2.674	0.7773239	93.471	0.710	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
14.20	261.900	146.182	42.043	3.752	2.678	0.7695103	93.471	0.705	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
14.40	265.800	148.120	42.043	3.755	2.682	0.761846	93.471	0.700	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
14.60	269.700	150.059	42.043	3.759	2.685	0.7543271	93.471	0.695	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
14.80	273.600	151.998	42.043	3.763	2.689	0.7467489	93.471	0.690	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
15.00	277.500	153.936	42.043	3.766	2.693	0.7394983	93.471	0.685	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
15.20	281.100	155.575	8.882	9.695	3.612	0.6684028	93.471	0.680	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto

15.40	284.700	157.214	8.882	9.751	3.619	0.6614206	93.471	0.675	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
15.60	288.500	159.052	31.483	3.791	2.814	0.7054322	93.471	0.670	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
15.80	292.300	160.891	31.483	3.796	2.818	0.6987543	93.471	0.665	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
16.00	296.100	162.730	31.483	3.801	2.822	0.6921945	93.471	0.660	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
16.20	299.900	164.568	31.483	3.806	2.826	0.6857498	93.471	0.655	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
16.40	303.700	166.407	31.483	3.811	2.830	0.6794173	93.471	0.651	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
16.60	307.500	168.246	31.483	3.816	2.834	0.6729394	93.471	0.646	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
16.80	311.300	170.084	31.483	3.821	2.838	0.6668145	93.471	0.641	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
17.00	315.100	171.923	31.483	3.826	2.842	0.6607936	93.471	0.637	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
17.20	318.900	173.762	31.483	3.831	2.846	0.6548738	93.471	0.632	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
17.40	322.700	175.600	31.483	3.836	2.850	0.6490529	93.471	0.628	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
17.60	326.500	177.439	31.483	3.841	2.853	0.6433283	93.471	0.623	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
17.80	330.300	179.278	31.483	3.847	2.857	0.6376977	93.471	0.619	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
18.00	334.100	181.116	31.483	3.852	2.861	0.6318505	93.471	0.615	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
18.20	337.900	182.955	22.699	6.626	3.150	0.6084818	93.471	0.610	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
18.40	341.700	184.794	22.699	6.638	3.154	0.6029838	93.471	0.606	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
18.60	345.500	186.632	22.699	6.651	3.158	0.5975769	93.471	0.602	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
18.80	349.300	188.471	22.699	6.664	3.162	0.592259	93.471	0.598	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
19.00	353.100	190.310	22.699	6.677	3.166	0.5870278	93.471	0.594	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
19.20	356.900	192.148	22.699	6.690	3.170	0.5818814	93.471	0.590	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
19.40	360.700	193.987	22.699	6.703	3.175	0.5768177	93.471	0.586	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
19.60	364.500	195.826	22.699	6.717	3.179	0.5718348	93.471	0.582	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
19.80	368.300	197.664	22.699	6.730	3.183	0.5666045	93.471	0.578	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso
20.00	372.100	199.503	22.699	6.743	3.187	0.561772	93.471	0.574	0.132	0.184	0.000	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.23 Zcrit=20 m Rischio=Basso

Si sintetizzano di seguito i risultati ottenuti

PROVA	a_g	LPI Robertson & Wride 1997	LPI Idriss & Boulanger 2008	RISCHIO (Sonmez 2003)	SPESSORI STRATI (m)	PROFONDITA' (m)
CPT1	0.22	0.18	1.32	BASSO	0.40	11.8 0÷12.00
CPT2	0.22	0.03	0.23	BASSO	0.40 2.20	9.00÷9.20 11.8 0÷14.00

Considerato il basso valore dell'indice IPL, lo spessore e la profondità degli strati potenzialmente liquefacibili, si ritiene corretto definire i terreni presenti in sito a basso rischio liquefazione e determinare la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato previsto dalle NTC08, classificando il sito in categoria di sottosuolo C.

5.3.2 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, 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:

44.856669° N - 11.074240° 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.

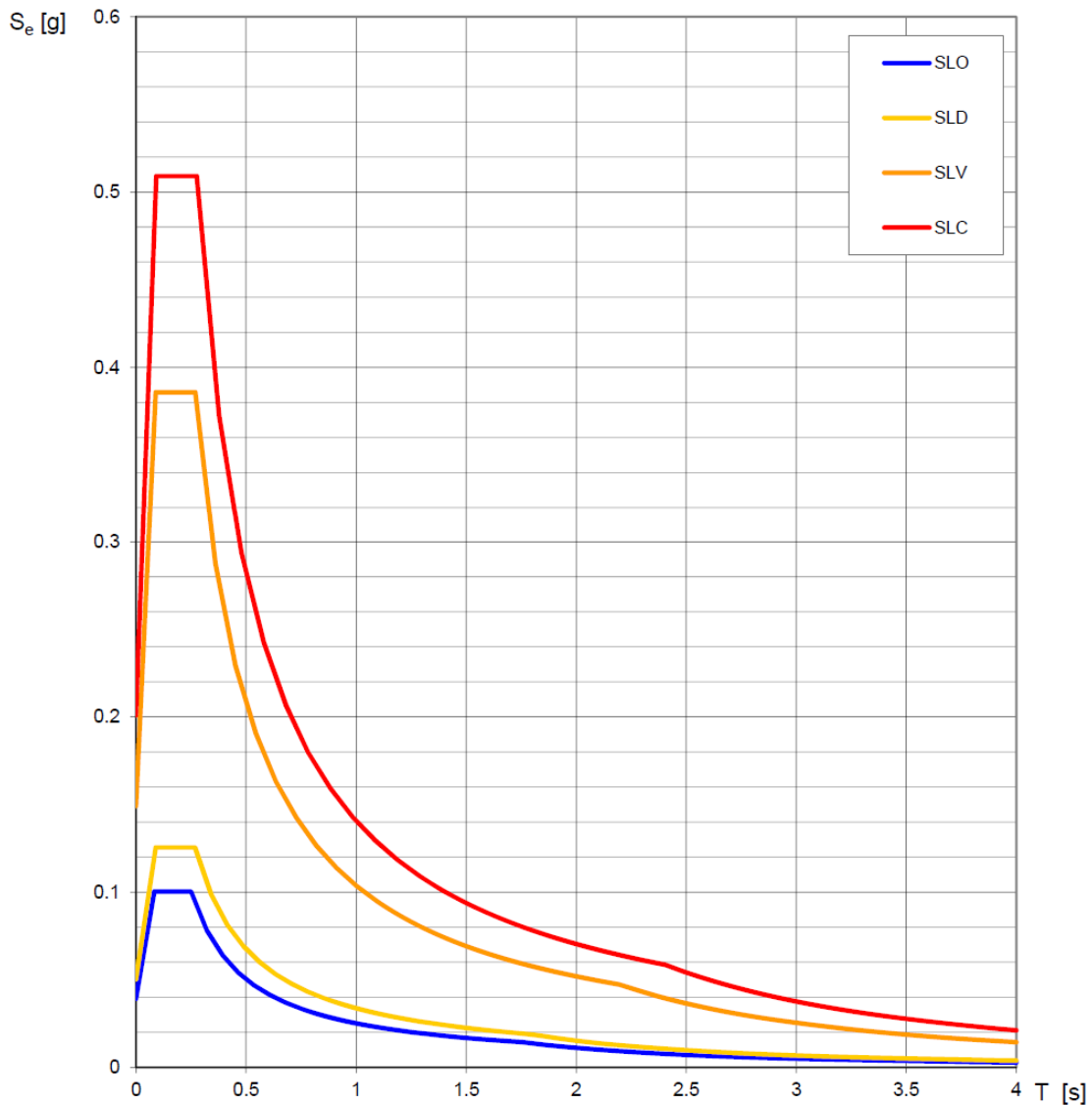
I parametri definiti sono

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_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.039	2.569	0.250
SLD	50	0.050	2.495	0.269
SLV	475	0.149	2.588	0.269
SLC	975	0.201	2.535	0.276

Fig.16. 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 smorzamento $\xi = 5\%$ in superficie su suolo di tipo C:

Il valore di $a_g(g)$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido = 0.149 che deriva dai dati imposti secondo le NTC (2008) per il Comune di Medolla, scalato per un coefficiente d'uso 1 che corrisponde ad una classe d'uso II (edifici con normali affollamenti), vita nominale ≥ 50 anni (opere ordinarie).

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 0.269 s

Il fattore di amplificazione stratigrafica S_s (poiché la categoria del suolo indagato è la C) risulta pari a 1.468.

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

Accelerazione attesa in superficie $PGA = a_g \times S_s = 0.22g$

$K_h = 0.0528$

$K_v = 0.0264$

$\beta = 0.240$

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

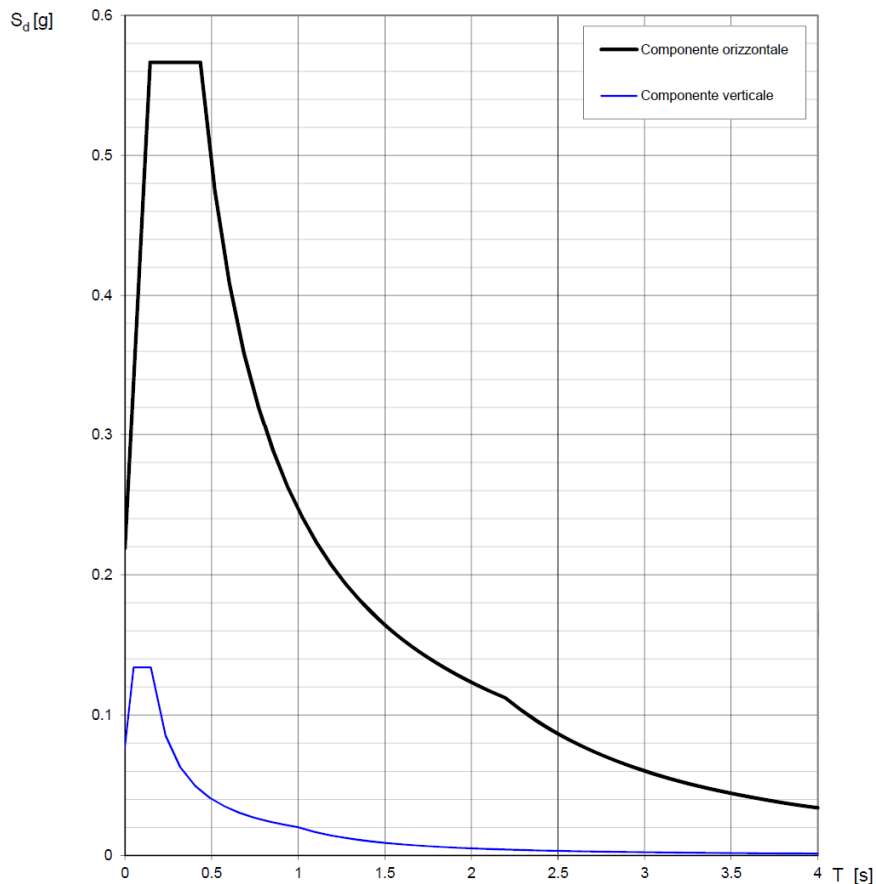


Fig.17. Spettro di risposta elastico per lo stato limite di salvaguardia della vita su suolo di studio di tipo C.

Infine, a livello informativo, si riporta di seguito la PGA registrata in superficie al sito di studio come risulta dalle mappe di scuotimento dell'INGV nell'evento sismico del 20 Maggio 2012, del 29 Maggio 2012 e del 03 Giugno 2012 e la PGA in superficie calcolata da Norma.

Evento del 20 Maggio PGA AL SITO = 0.28g

Evento del 20 Maggio PGV AL SITO = 40 cm/s

Evento del 29 Maggio PGA AL SITO = 0.30g

Evento del 29 Maggio PGV AL SITO = 40 cm/s

Evento del 03 Giugno PGA AL SITO = 0.08g

Evento del 03 Giugno PGV AL SITO = 4 cm/s

NORMATIVA DI RIFERIMENTO NTC 2008 PGA AL SITO = 0.22g.

Per quanto riguarda l'accelerazione spettrale si riportano di seguito:

- le accelerazioni spettrali riportate nelle mappe di scuotimento dell'INGV per la zona dell'edificio reperibili sul sito <http://shakemap.rm.ingv.it/shake> e disponibili solo per periodi di 0.3s;1.0s e 3.0s per l'evento sismico del 20 Maggio, del 29 Maggio e del 03 Giugno 2012.
- le accelerazioni spettrali calcolate seconda la normativa NTC08 considerando lo spettro elastico per il profilo di sottosuolo C calcolate per i soli periodi di 0.3s;1.0s e 3.0s.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO NTC 2008 PSA 0.3s = 0.57g
NORMATIVA DI RIFERIMENTO NTC 2008 PSA 1s = 0.25g
NORMATIVA DI RIFERIMENTO NTC 2008 PSA 3s = 0.06g
Evento del 20 Maggio PSA 0.3s = 0.80g
Evento del 20 Maggio PSA 1s = 0.48g
Evento del 20 Maggio PSA 3s = 0.06g
Evento del 29 Maggio PSA 0.3s = 0.72g
Evento del 29 Maggio PSA 1s = 0.28g
Evento del 29 Maggio PSA 3s = 0.10g
Evento del 03 Giugno PSA 0.3s = 0.12g
Evento del 03 Giugno PSA 1s = 0.02g
Evento del 03 Giugno PSA 3s = 0.02g

6. CONCLUSIONI

Su incarico e per conto del Committente si produce una modellazione geologica del sito, un'analisi di pericolosità sismica locale, riportando gli effetti attesi, e una caratterizzazione geotecnica della litologia superficiale e profonda dei terreni interessati dalla delocalizzazione e ricostruzione di un edificio residenziale sito in Via Sandro Pertini, nel Comune di Medolla. 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 di tipo meccanico, eseguite in sito in data 14/03/2016, spinte alla profondità di - 32.00 e - 20.00 metri dal piano campagna;

Tutte le prove sono state effettuate dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla.

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, per determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono eseguite una prova di sismica passiva di microtremiti HV, una prova di sismica passiva SPAC e una prova di sismica attiva MFA-Hs in onde Rayleigh, realizzate in data 12/02/2016.

Si allega in epigrafe la relazione di modellazione sismica redatta dal Dott. Geol. Lorenzo Del Maschio (All. n.5).

La zona oggetto di studio si trova a nord-nord-est rispetto il centro cittadino di Medolla, rappresentato dalla sede comunale, in zona residenziale ad una quota media di 19 m s.l.m.

Le coordinate geografiche dell'area sono 44°51' 20.65"N e 11°04' 23.39"E.

Il sito ha accesso da Via Sandro Pertini, in collegamento con Via Bruino, Via Matteotti e Via Caduti.

I centri abitati vicini sono:

Medolla a circa 0.90 Km a sud-sud-ovest

Mirandola a circa 3.40 Km a nord

Frazione di Mortizzuolo a circa 5.30 Km a nord-est
San Felice sul Panaro a circa 5.80 Km a est-sud-est
Oltre che a varie frazioni e località.

Il territorio del Comune di Medolla è situato a Nord della provincia di Modena e ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".

L'area, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena redatto nel Marzo 2000, ricade nell'Unità di Paesaggio indicata con il numero 2 "Dossi e zone più rilevate nella Bassa e Media Pianura".

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.

I caratteri ambientali dell'Unità di Paesaggio n. 2 sono rappresentati dalla trama degli antichi paleovalvi fluviali, morfologicamente emergenti sull'intorno delle aree vallive riscattate dalla bonifica. Sono presenti vari dossi con disegno complesso e con digitazioni dall'andamento vario. Le caratteristiche morfologiche dei dossi hanno determinato storicamente la disposizione delle infrastrutture e degli insediamenti per evidenti ragioni di sicurezza nei confronti della divagazione delle acque, prima e durante le grandi opere di bonifica.

La zona si trova ubicata su un paleodosso di accertato interesse.

Nella carta d'individuazione degli ambiti del PSC del comune di Medolla, approvato con delibera del C.C. n.30 del 31/08/2011, la zona di ubicazione della struttura è classificata in zona AAP "Ambiti agricoli periurbani" (Artt. 56/60) e AC "Ambito della città consolidata" (artt. 36/37/41/42) soggetto a piano particolareggiato.

La sequenza stratigrafica si presenta con livelli litologici aventi diverse proprietà litostratigrafiche.

- Da 0.00 m a - 8.80 m sono presenti argille debolmente limose mediamente consistenti;
- Da - 8.80 m a - 11.60 m si evidenziano limi argillosi compatti;
- Da - 11.60 m a - 15.00 m si trovano limi e limi sabbiosi sciolti;
- Da - 15.00 m a - 24.20 m si riscontrano argille molto compatte;
- Da - 24.20 m a - 32.00 m sono presenti sabbie addensate.

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	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (kN/m ³)	c' _k (kPa)	ϕ'_k (°)	C _{uk} (kPa)
0.00 - 8.80	Argille debolmente limose mediamente consistenti	16	18.50	5÷7	14÷16	45
8.80 - 11.60	Limi argillosi compatti	17	19	8÷10	17÷19	65
11.60 - 15.00	Limi e Limi sabbiosi sciolti	17	19.50	0	23÷25	0
15.00 - 24.20	Argille limose molto compatte	17	19	10÷12	18÷20	75
24.20 - 32.00	Sabbie addensate	18	20	0	31÷33	0

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	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (kN/m ³)	Coeff.di Poisson (ν)	Modulo elastico E'(kPa)	Modulo Edometrico Ed (kPa)
0.00 - 8.80	Argille debolmente limose mediamente consistenti	16	18.50	0.45	/	3000÷5000
8.80 - 11.60	Limi argillosi compatti	17	19	0.45	/	6000÷8000
11.60 - 15.00	Limi e Limi sabbiosi sciolti	17	19.50	0.38	10000÷15000	/
15.00 - 24.20	Argille limose molto compatte	17	19	0.45	/	7000÷9000
24.20 - 32.00	Sabbie addensate	18	20	0.35	30000÷35000	/

Sulla base della caratterizzazione geotecnica dei terreni studiati sono state definite le resistenze **in condizioni drenate e non drenate statiche** alla profondità di - 1.00 m e considerando fondazione superficiale a trave:

Resistenze di progetto - Rd (SLU) - Approccio 1

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 138.03 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 76.69 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 5521.33 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 183.2 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 101.78 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7327.87 kN/m³

Resistenze di progetto - Rd (SLU) - Approccio 2

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 200.74 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 87.28 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 8029.66 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 250.08 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 108.73 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 10003.02 kN/m³

Per l'analisi di pericolosità sismica di base, in seguito a quanto riscontrato dall'analisi stratigrafica delle prove penetrometriche eseguite nel sito e da quanto indicato nelle carte di pianificazione di microzonazione sismica, si è eseguita un'analisi rischio di liquefazione da prove in sito e si è definita l'amplificazione stratigrafica e gli spettri di risposta.

La sequenza stratigrafica, descritta per il sito di studio, ha evidenziato la presenza di limi sabbiosi sciolti sottofalda da - 11.60 m a - 15.00 m dal piano campagna. Si riscontrano, inoltre, sabbie addensate da - 24.20 m fino alla quota di fine prova. Su entrambe le verticali di prova è stata eseguita una verifica alla possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione mediante procedure denominate "metodi semplificati".

Le verifiche sono state effettuate, con due metodi con il software Liquiter Versione 2016.18.4.400 producer by Geostru Software.

I metodi di analisi utilizzati sono:

Robertson & Wride (1997)

Idriss e Boulanger (2008)

La verifica è stata eseguita con l'accelerazione calcolata in superficie da norma per un suolo di tipo C e tempo di ritorno di 475 (classe d'uso II - fabbricati il cui uso preveda normali affollamenti): a_{max} in superficie (g) = 0.22.

Mw = 6.14 (Mw max Zona 912 di ZS9, come suggerito dagli ICMS)

Il livello della soggiacenza della falda misurato nel foro di prova nel marzo 2016 pari a - 2.40 m dal p.c.

I valori dell'indice IPL calcolati risultano bassi (0.03/1.32); si ritiene pertanto corretto definire i terreni presenti in sito a basso rischio liquefazione e determinare la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato previsto dalle NTC08.

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, per determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono eseguite una prova di sismica passiva di microtremiti HV, una prova di sismica passiva SPAC e una prova di sismica attiva MFA-Hs in onde Rayleigh, realizzate in data 12/02/2016, tarate dalla sequenza litostratigrafica definita dall'analisi della

prova penetrometrica statica.

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, abbiamo un **picco stratigrafico** caratteristico **alla frequenza di 1.1 Hz e periodo caratteristico pari a 0.91 s** che rappresenta un contrasto di impedenza profondo circa 100-120 m. **Il rapporto H/V, di ~ 4.1, evidenzia contrasti di impedenza significativi (H/V > 3) in caso di moto sismico.**

Per il calcolo del profilo di Vs si è applicato il procedimento indicato dalla Normativa secondo la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

I calcoli sono stati condotti considerando 30 metri di sottosuolo a partire dal p.c. e i risultati sono:

Vs (30): 194-206 m/s (categoria di sottosuolo C)

Sulla base della categoria sismica individuata si è riportato in fig. 17 **lo spettro allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita con smorzamento $\xi = 5\%$ in superficie su suolo di tipo C:**

Il valore di $a_g(g)$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido = 0.149 che deriva dai dati imposti secondo le NTC (2008) per il Comune di Medolla, scalato per un coefficiente d'uso 1 che corrisponde ad una classe d'uso II (edifici con normali affollamenti), vita nominale ≥ 50 anni (opere ordinarie).

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 0.269 s

Il fattore di amplificazione stratigrafica S_s (poiché la categoria del suolo indagato è la C) risulta pari a 1.468.

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

Accelerazione attesa in superficie $PGA = a_g \times S_s = 0.22g$

$K_h = 0.0528$ $K_v = 0.0264$ $\beta = 0.240$

Il livello della frangia freatica superficiale di circolazione nel materasso alluvionale, è stato misurato in foro all'atto d'esecuzione delle prove, in data 21/03/2016 alla quota di - 2.40 m dal p.c.

La frangia freatica presente in superficie è un livello idrico sospeso, povero e non utilizzabile perché presente in terreni poco permeabili testimonianza di una circolazione ipodermica.

In questa situazione la presenza di acqua è fortemente influenzata dalle precipitazioni che percolano nei primi metri di terreno e nei livelli limo-sabbiosi a permeabilità maggiore.

Nei periodi carenti in precipitazioni tale livello idrico spesso è assente nei primi quattro metri in quanto non alimentato dall'acqua meteorica, tende invece a crescere nei periodi invernali o comunque nei periodi con piogge abbondanti.

Dott. Geol. CESTARI PAOLO



Dott. Geol. RITA BALLISTA



ALLEGATI

1. UBICAZIONE INDAGINI ESEGUITE
2. DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
3. DIAGRAMMI VALUTAZIONI LITOLOGICHE
4. PARAMETRI GEOTECNICI
5. RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA REDATTA DAL DOTT. GEOL. LORENZO DEL MASCHIO



LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:

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/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

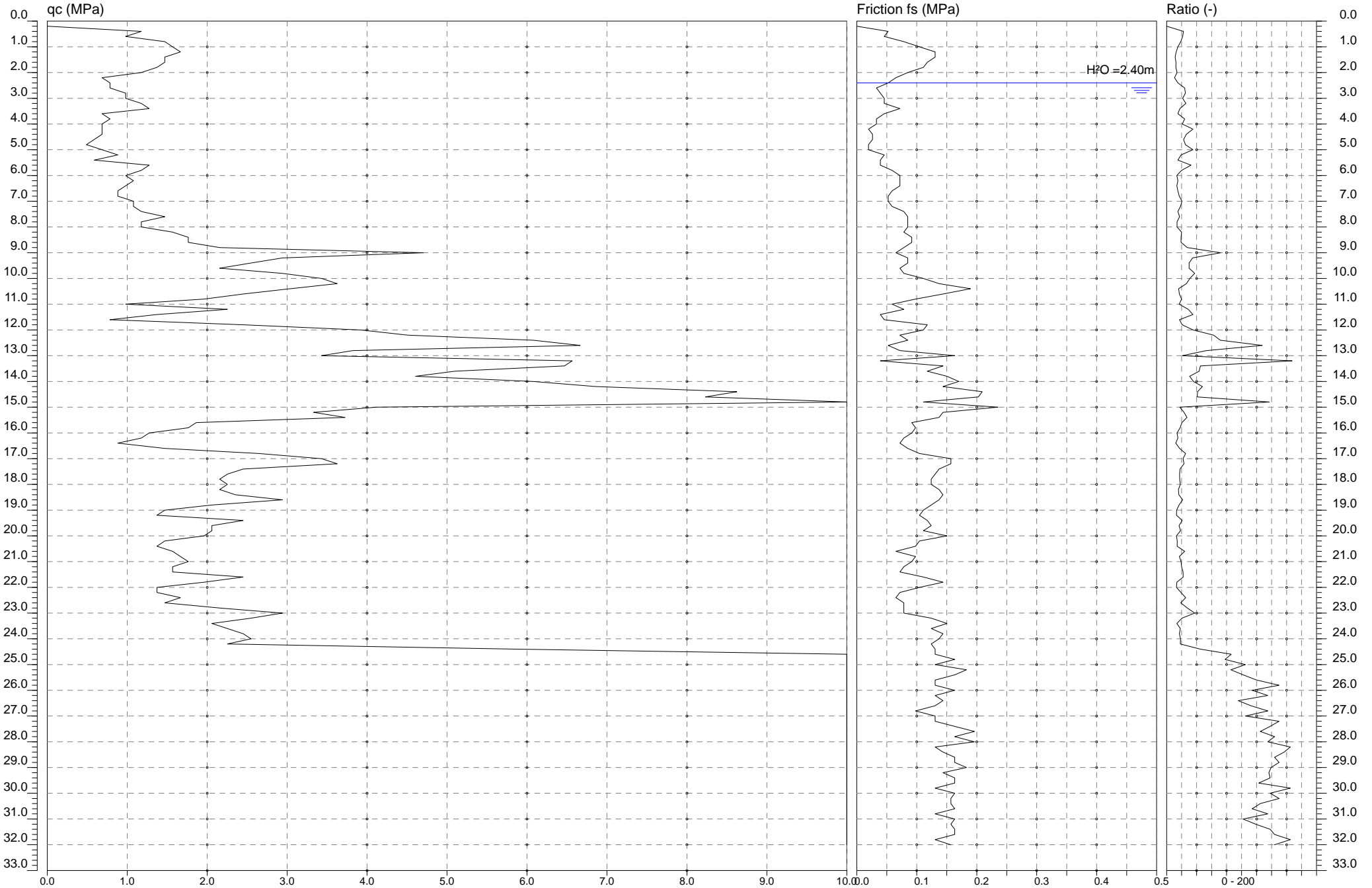


GEOPROGETTI SRL
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: BOTTI MATTEO
Cantiere: MEDOLLA Via Sandro Pertini
Data: 21/03/2016

Quota:
Preforo:
Falda: -2.40

Prova n° 1



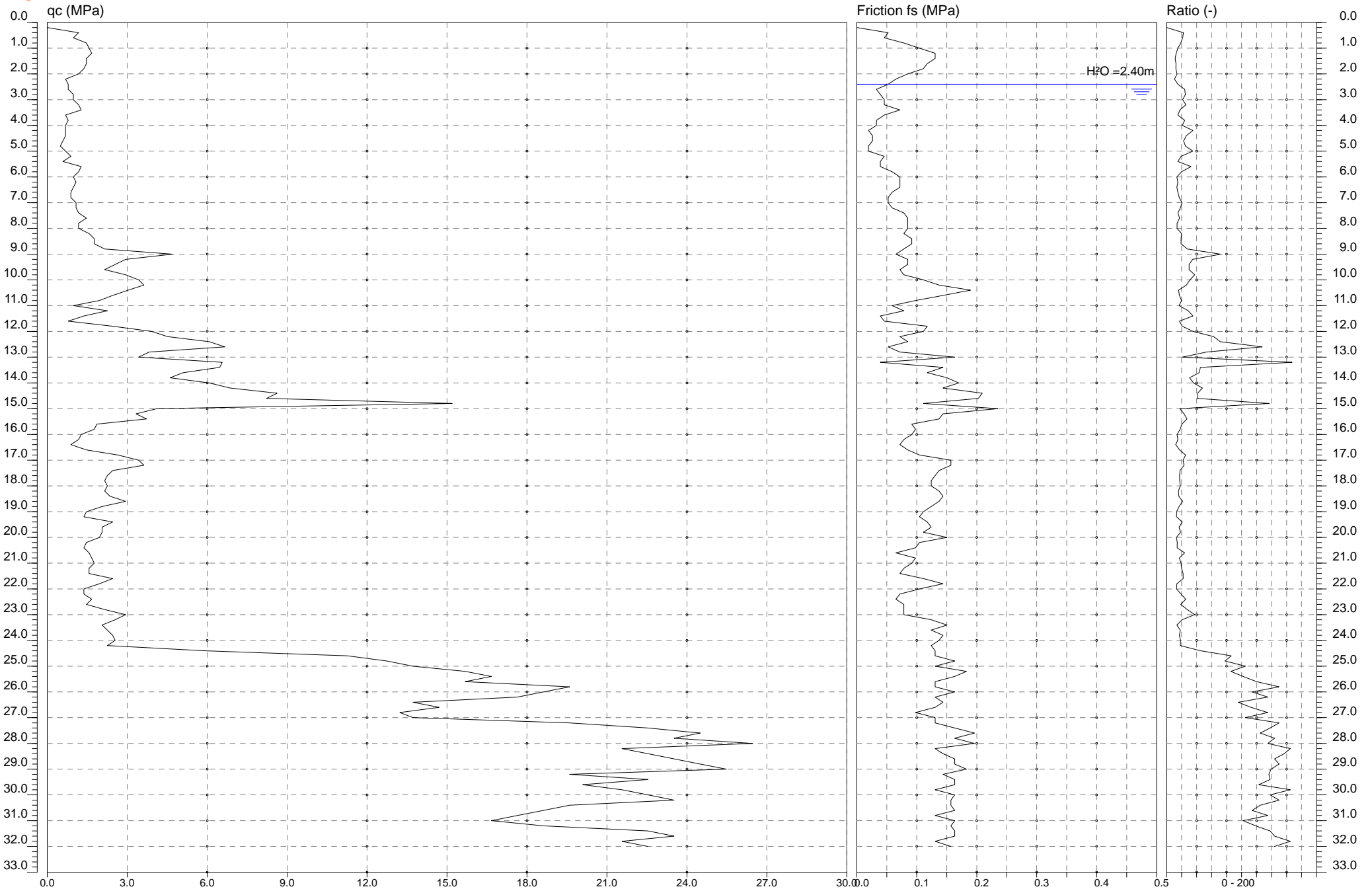


GEOPROGETTI SRL
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: BOTTI MATTEO
Cantiere: MEDOLLA Via Sandro Pertini
Data: 21/03/2016

Quota:
Preforo:
Falda: -2.40

Prova n° 1



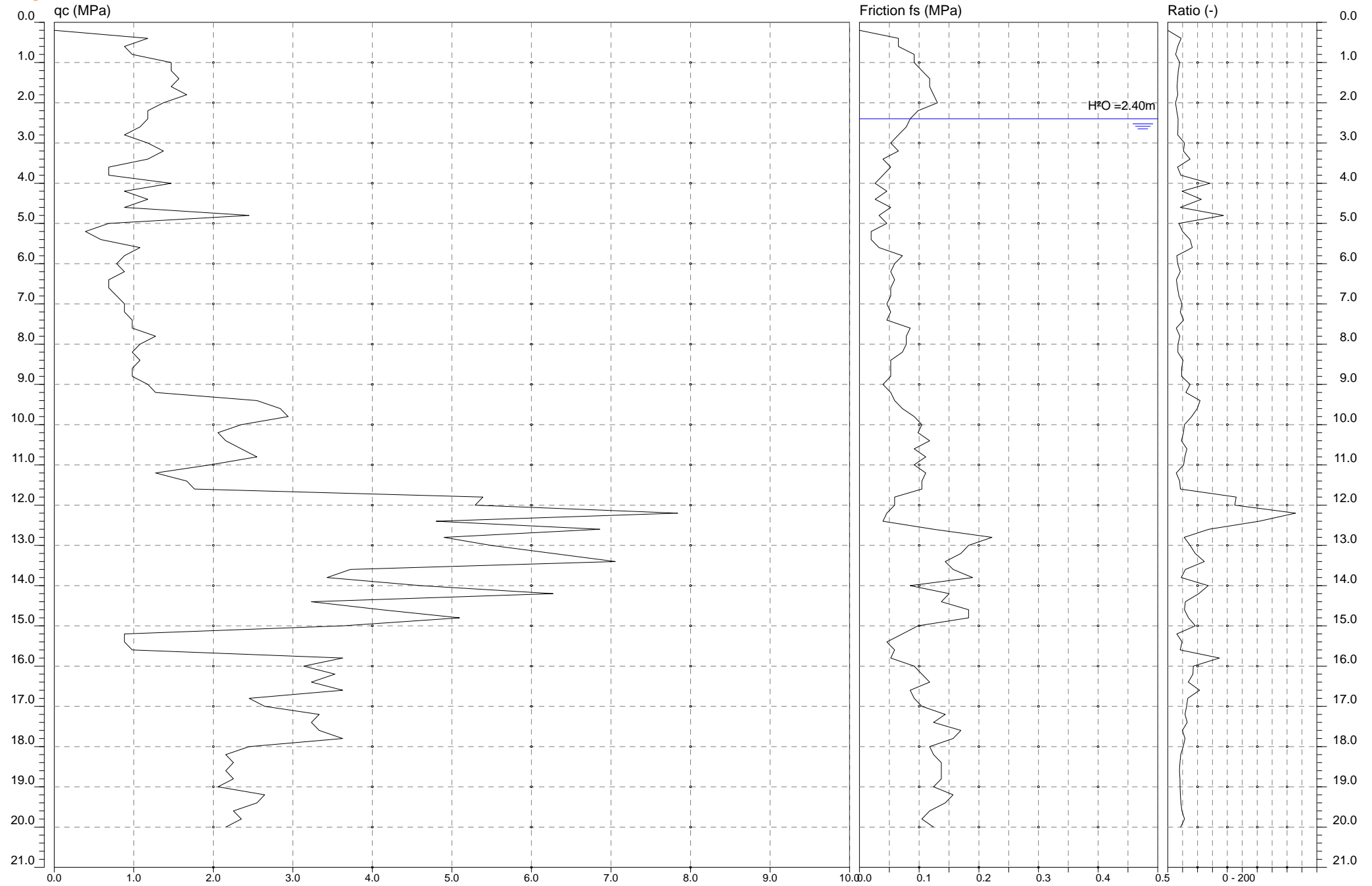


GEOPROGETTI SRL
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: BOTTI MATTEO
Cantiere: MEDOLLA Via Sandro Pertini
Data: 21/03/2016

Quota:
Preforo:
Falda: -2.40

Prova n° 2



20.000 m

Sperimentatore: Dott. Geol. PAOLO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA

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

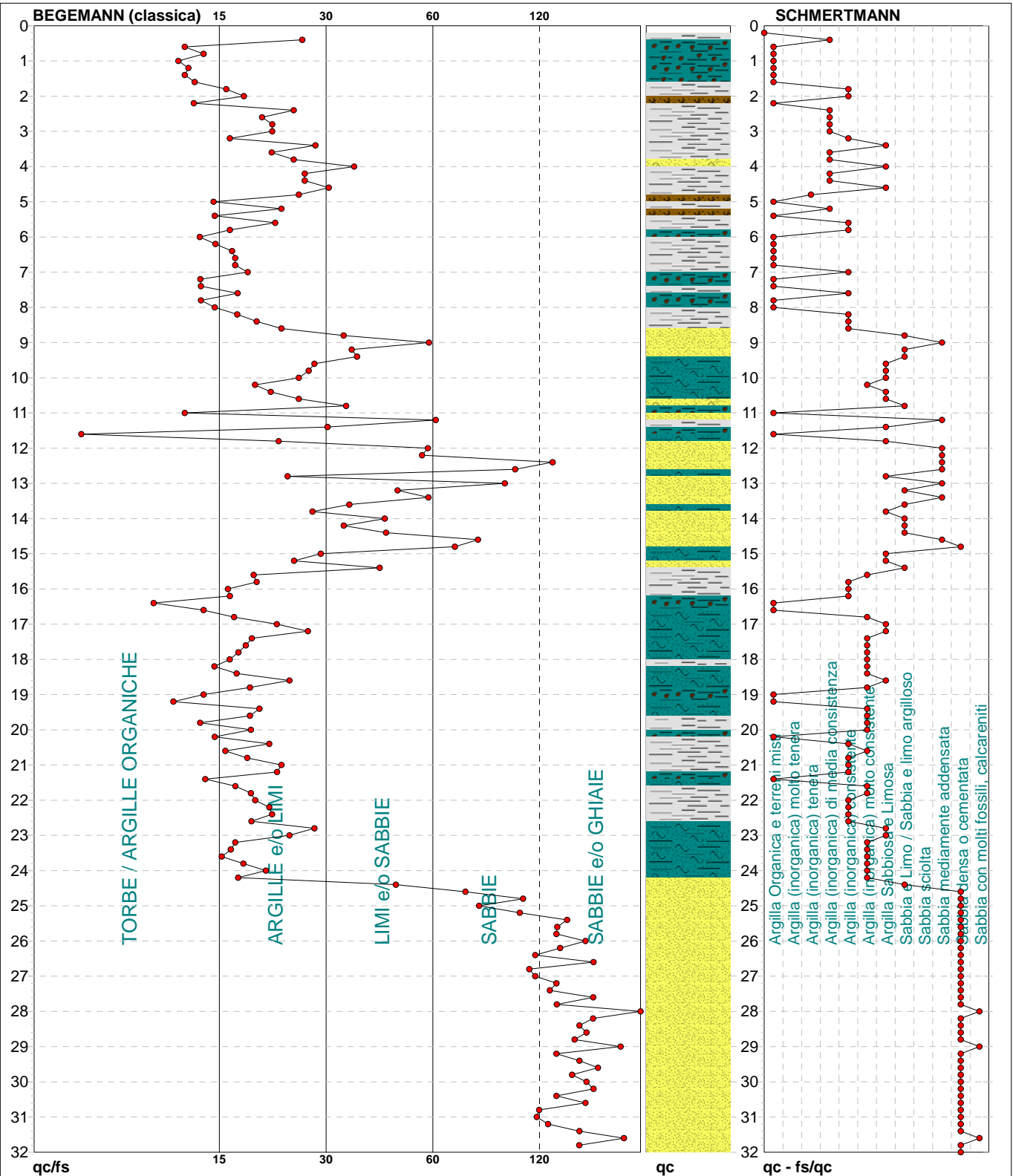
1

riferimento

037-2016

Committente: **BOTTI MATTEO**
 Cantiere: **MEDOLLA Via Sandro Pertini**
 Località: **MEDOLLA Via Sandro Pertini**

U.M.: **MPa**
 Scala: **1:160**
 Pagina: **1**
 Elaborato: **Falda: -2.40 m 2.40**



Torbe / Argille org. :	25 punti, 15.72%	Argilla Organica e terreni misti:	26 punti, 16.35%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	19 punti, 11.95%
Argille e/o Limi :	75 punti, 47.17%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 0.63%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	11 punti, 6.92%
Limi e/o Sabbie :	17 punti, 10.69%	Argilla (inorganica) media consist.:	10 punti, 6.29%	Sabbia mediamente addensata:	9 punti, 5.66%
Sabbie:	21 punti, 13.21%	Argilla (inorganica) consistente:	21 punti, 13.21%	Sabbia densa o cementata:	35 punti, 22.01%
Sabbie e/o Ghiaie :	21 punti, 13.21%	Argilla (inorganica) molto consist.:	23 punti, 14.47%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	3 punti, 1.89%

nota:

FON025

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

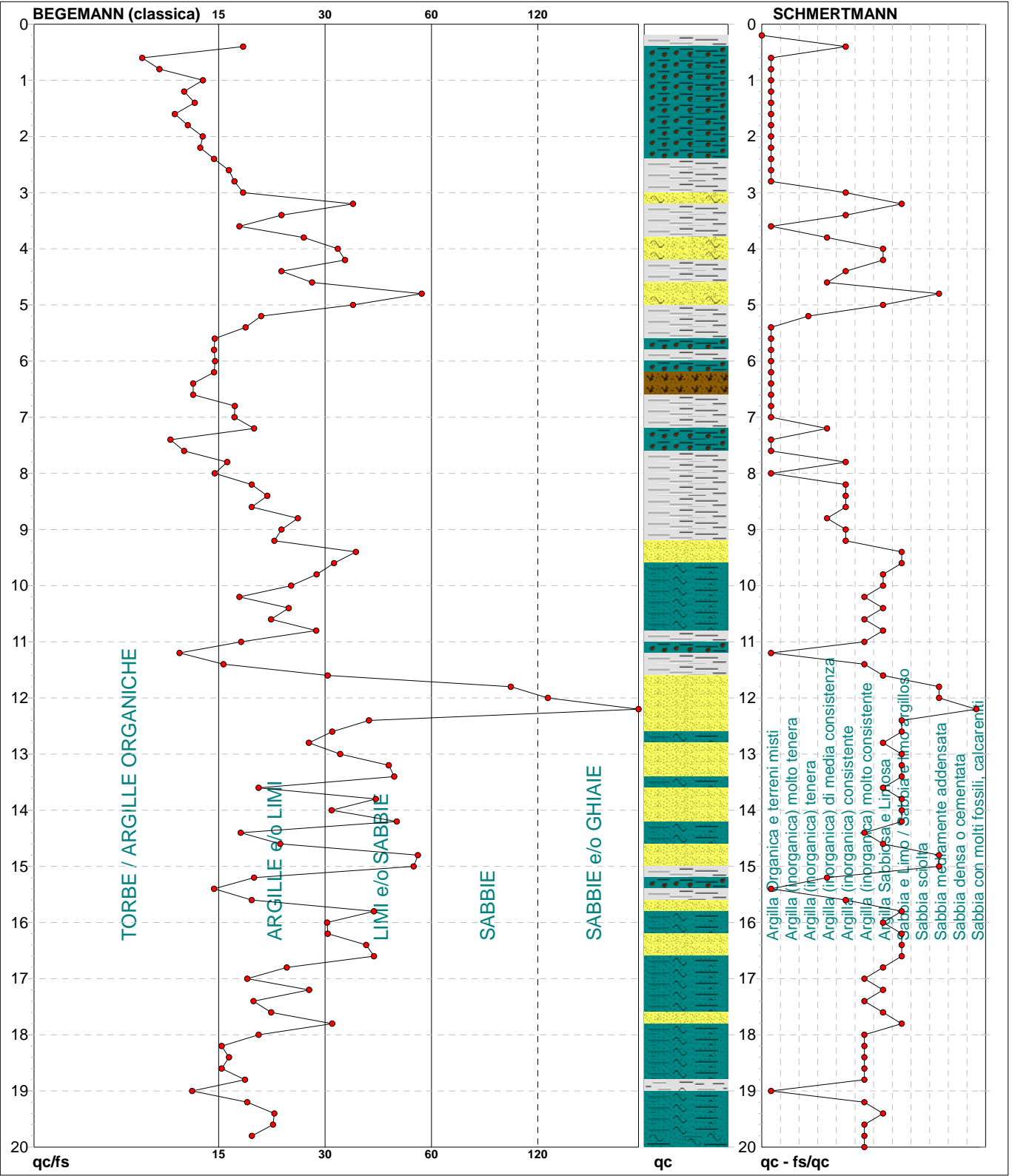
2

riferimento

037-2016

Committente: **BOTTI MATTEO**
 Cantiere: **MEDOLLA Via Sandro Pertini**
 Località: **MEDOLLA Via Sandro Pertini**

U.M.: **MPa**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1**
 Elaborato: **Falda: -2.40 m 2.40**



Torbe / Argille org. :	20 punti, 20.20%	Argilla Organica e terreni misti:	28 punti, 28.28%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	16 punti, 16.16%
Argille e/o Limi :	55 punti, 55.56%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 1.01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	16 punti, 16.16%
Limi e/o Sabbie :	21 punti, 21.21%	Argilla (inorganica) media consist.:	5 punti, 5.05%	Sabbia mediamente addensata:	5 punti, 5.05%
Sabbie:	2 punti, 2.02%	Argilla (inorganica) consistente:	11 punti, 11.11%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1.01%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1.01%	Argilla (inorganica) molto consist.:	15 punti, 15.15%		

nota:

FON025

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT
1

riferimento

037-2016

 Committente: **BOTTI MATTEO**
 Cantiere: **MEDOLLA Via Sandro Pertini**
 Località: **MEDOLLA Via Sandro Pertini**

 U.M.: **MPa** Data exec.: 21/03/2016
 Pagina: 2
 Elaborato: Falda: -2.40 m 2.40

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE							F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	σ_{Sc} (°)	σ_{Ca} (°)	σ_{Ko} (°)	σ_{DB} (°)	σ_{DM} (°)	σ_{Me} (°)				
20.00	2.0	18.7		0.93	201.2	167	78.4	1.9	44.2	66.3	5.9	--	31	21	18	17	25	27	--	3.3	4.9	5.9
20.20	1.5	15.0		0.95	203.0	164	65.3	1.5	38.1	57.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20.40	1.4	20.9		0.94	204.9	163	62.4	1.4	36.6	54.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20.60	1.6	16.0		0.96	206.8	164	68.2	1.6	39.6	59.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20.80	1.7	18.3		0.97	208.7	165	70.9	1.6	41.0	61.5	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21.00	1.8	22.5		0.98	210.6	166	73.5	1.7	42.3	63.4	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21.20	1.6	21.9		0.96	212.5	164	68.2	1.5	39.7	59.6	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21.40	1.6	14.2		0.96	214.3	164	68.2	1.5	39.8	59.7	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21.60	2.5	17.0		0.94	216.2	170	89.1	2.1	49.5	74.3	7.4	5	32	22	18	17	25	28	--	4.1	6.1	7.4
21.80	2.0	18.7		0.93	218.0	167	78.4	1.7	44.9	67.3	5.9	--	31	21	17	16	25	27	--	3.3	4.9	5.9
22.00	1.4	19.2		0.94	219.9	163	62.4	1.3	36.8	55.3	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.20	1.4	20.9		0.94	221.7	163	62.4	1.3	36.9	55.3	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.40	1.7	21.3		0.97	223.6	165	70.9	1.5	41.4	62.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.60	1.5	18.8		0.95	225.5	164	65.3	1.3	38.5	57.8	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.80	2.2	27.5		0.93	227.3	168	82.9	1.8	47.4	71.0	6.5	--	31	21	17	17	25	28	--	3.6	5.4	6.5
23.00	2.9	23.6		0.96	229.2	173	98.0	2.2	53.9	80.9	8.8	10	32	22	19	18	26	29	--	4.9	7.4	8.8
23.20	2.5	17.0		0.95	231.0	171	91.0	2.0	51.2	76.7	7.6	5	32	22	18	17	25	28	--	4.2	6.4	7.6
23.40	2.1	16.5		0.93	232.9	167	80.7	1.7	46.5	69.8	6.2	--	31	21	17	16	25	27	--	3.4	5.1	6.2
23.60	2.3	15.6		0.94	234.7	169	85.1	1.8	48.6	72.9	6.8	--	31	21	18	17	25	28	--	3.8	5.6	6.8
23.80	2.5	17.9		0.94	236.5	170	89.1	1.9	50.6	75.8	7.4	3	32	21	18	17	25	28	--	4.1	6.1	7.4
24.00	2.5	20.5		0.95	238.4	171	91.0	1.9	51.5	77.3	7.6	4	32	22	18	17	25	28	--	4.2	6.4	7.6
24.20	2.3	17.3		0.94	240.2	169	85.1	1.7	48.8	73.3	6.8	--	31	21	17	17	25	28	--	3.8	5.6	6.8
24.40	5.9	45.1		0.93	242.1	192	--	--	--	--	--	32	35	26	22	21	29	32	--	9.8	14.7	17.6
24.60	11.3	68.9		1.02	244.1	228	--	--	--	--	--	55	38	29	26	24	33	35	--	18.8	28.2	33.8
24.80	12.7	97.7		1.05	246.1	237	--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	35	--	21.2	31.9	38.2
25.00	13.7	74.9		1.06	248.2	244	--	--	--	--	--	61	39	30	27	25	34	36	--	22.9	34.3	41.2
25.20	15.7	95.8		1.09	250.3	256	--	--	--	--	--	65	39	30	27	26	34	36	--	26.1	39.2	47.0
25.40	16.7	127.8		1.11	252.5	263	--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	37	--	27.8	41.7	50.0
25.60	15.7	120.3		1.09	254.6	256	--	--	--	--	--	65	39	30	27	26	34	36	--	26.1	39.2	47.0
25.80	19.6	119.8		1.15	256.9	282	--	--	--	--	--	72	40	31	28	27	35	38	--	32.7	49.0	58.8
26.00	18.6	142.9		1.14	259.1	276	--	--	--	--	--	70	40	31	28	26	35	37	--	31.0	46.6	55.9
26.20	17.6	122.4		1.12	261.3	269	--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	37	--	29.4	44.1	52.9
26.40	13.7	105.3		1.06	263.4	244	--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	36	--	22.9	34.3	41.2
26.60	14.7	150.0		1.08	265.5	250	--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	--	24.5	36.8	44.1
26.80	13.2	101.5		1.05	267.5	240	--	--	--	--	--	58	38	29	26	24	33	35	--	22.1	33.1	39.7
27.00	13.7	105.3		1.06	269.6	244	--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	36	--	22.9	34.3	41.2
27.20	19.6	119.8		1.15	271.9	282	--	--	--	--	--	71	40	31	28	26	35	38	--	32.7	49.0	58.8
27.40	22.5	115.0		1.15	274.1	301	--	--	--	--	--	76	40	32	29	27	36	39	--	37.6	56.4	67.6
27.60	24.5	149.7		1.15	276.4	314	--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	39	--	40.8	61.3	73.5
27.80	23.5	120.0		1.15	278.6	308	--	--	--	--	--	77	40	32	29	27	36	39	--	39.2	58.8	70.6
28.00	26.5	203.0		1.15	280.9	327	--	--	--	--	--	80	41	32	29	28	37	40	--	44.1	66.2	79.4
28.20	21.6	149.7		1.15	283.2	295	--	--	--	--	--	73	40	31	28	27	35	38	--	35.9	53.9	64.7
28.40	22.5	137.7		1.15	285.4	301	--	--	--	--	--	75	40	31	29	27	36	39	--	37.6	56.4	67.6
28.60	23.5	143.7		1.15	287.7	308	--	--	--	--	--	76	40	32	29	27	36	39	--	39.2	58.8	70.6
28.80	24.5	133.7		1.15	289.9	314	--	--	--	--	--	77	40	32	29	27	36	39	--	40.8	61.3	73.5
29.00	25.5	176.9		1.15	292.2	320	--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	40	--	42.5	63.7	76.4
29.20	19.6	119.8		1.15	294.4	282	--	--	--	--	--	69	40	31	28	26	35	38	--	32.7	49.0	58.8
29.40	22.5	137.7		1.15	296.7	301	--	--	--	--	--	74	40	31	28	27	35	39	--	37.6	56.4	67.6
29.60	20.1	154.1		1.15	298.9	285	--	--	--	--	--	69	40	31	28	26	35	38	--	33.5	50.2	60.3
29.80	21.6	131.7		1.15	301.2	295	--	--	--	--	--	72	40	31	28	26	35	38	--	35.9	53.9	64.7
30.00	22.5	143.8		1.15	303.4	301	--	--	--	--	--	73	40	31	28	26	35	39	--	37.6	56.4	67.6
30.20	23.5	150.0		1.15	305.7	308	--	--	--	--	--	74	40	31	28	27	36	39	--	39.2	58.8	70.6
30.40	19.6	119.8		1.15	307.9	282	--	--	--	--	--	68	39	30	27	26	34	38	--	32.7	49.0	58.8
30.60	18.6	142.9		1.14	310.2	276	--	--	--	--	--	66	39	30	27	25	34	37	--	31.0	46.6	55.9
30.80	17.6	107.8		1.12	312.4	269	--	--	--	--	--	64	39	30	27	25	34	37	--	29.4	44.1	52.9
31.00	16.7	106.3		1.11	314.5	263	--	--	--	--	--	62	39	29	26	25	33	37	--	27.8	41.7	50.0
31.20	18.6	113.8		1.14	316.8	276	--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	37	--	31.0	46.6	55.9
31.40	22.5	137.7		1.15	319.0	301	--	--	--	--	--	72	40	31	28	26	35	39	--	37.6	56.4	67.6
31.60	23.5	180.5		1.15	321.3	308	--	--	--	--	--	73	40	31	28	26	35	39	--	39.2	58.8	70.6
31.80	21.6	137.5		1.15	323.5	295	--	--	--	--	--	70	40	31	28	26	35	38	--	35.9	53.9	64.7
32.00	22.5	--		1.15	325.8	301	--	--	--	--	--	71	40	31	28	26	35	39	--	37.6	56.4	67.6

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
PEC delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it

COMUNE DI MEDOLLA
PROVINCIA DI MODENA

OGGETTO:

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
PER LA RICOSTRUZIONE CON DELOCALIZZAZIONE DI EDIFICIO
RESIDENZIALE IN COMUNE DI MEDOLLA**

LOCALITÀ:

Medolla - via Pertini

COMMITTENTE

Botti Matteo

FEBBRAIO 2016



INDICE GENERALE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA	1
a. Riferimenti cartografici	1
b. Copertura aerofotogrammetrica	1
c. Riferimenti catastali	1
3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO	3
a. Sismicità delle aree di interesse	3
b. Sismicità storica delle aree di intervento	4
c. Individuazione della pericolosità sismica del sito	8
4. INDAGINI REALIZZATE	17
5. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	18
a. Indagini geofisiche	18
a1. I dati ottenuti	18
a2. Interpretazione delle indagini	18

1. PREMESSA

Su incarico della Geoprogetti. Srl, con sede in Via Genova 1/8 - 41036 Medolla (MO), è stato redatto lo studio per la ricostruzione con delocalizzazione di fabbricato ad uso edificio residenziale, in Comune di Medolla. L'indagine è stata effettuata mediante indagini sismiche.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVO

L'area di intervento è ubicata in Medolla, via Pertini

I principali riferimenti sono:

a. Riferimenti cartografici (fig. 2.1 - 2.2)

C.T.R.: Tavola 184 SO (1:25.000);
Sezione 184090 (1:10.000);
Elemento 184092 (1:5000).

b. Copertura aereofotogrammetrica

- Foto aeree RER 1954
- Foto aeree RER 1973-1978
- Ortofoto digitali AIMA 1996
- Ortofoto digitali Terraitaly 2000
- Ortofoto digitali QB 2003
- Ortofoto AGEA-RER 2008
- Ortofoto AGEA-RER 2011

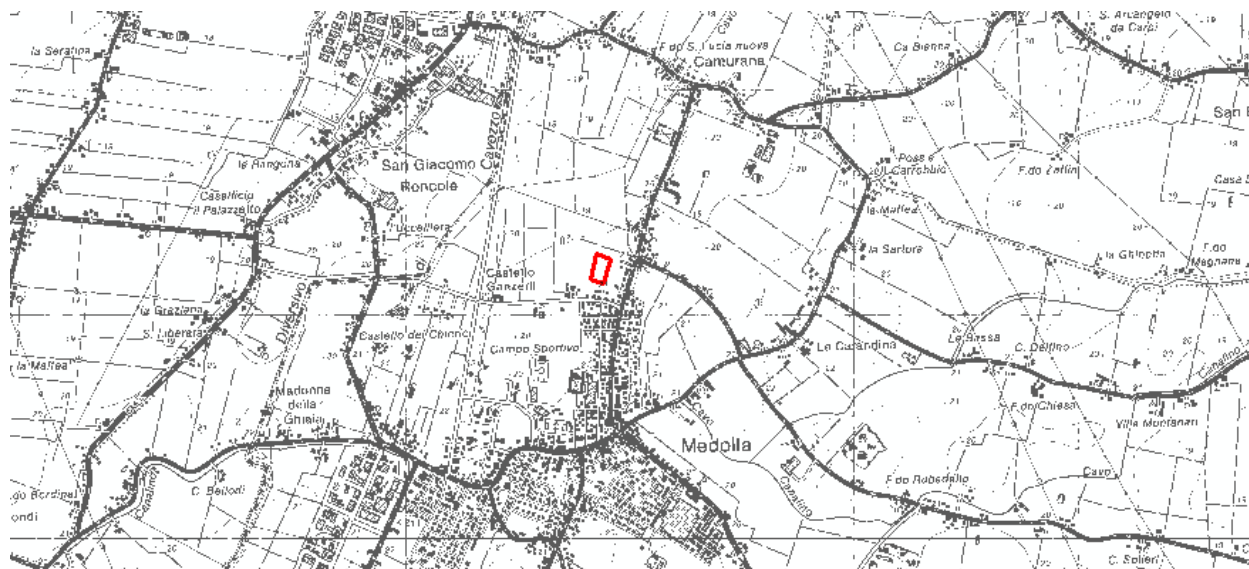


Figura 2.1: Localizzazione area di indagine su C.T.R. a scala 1:25.000.

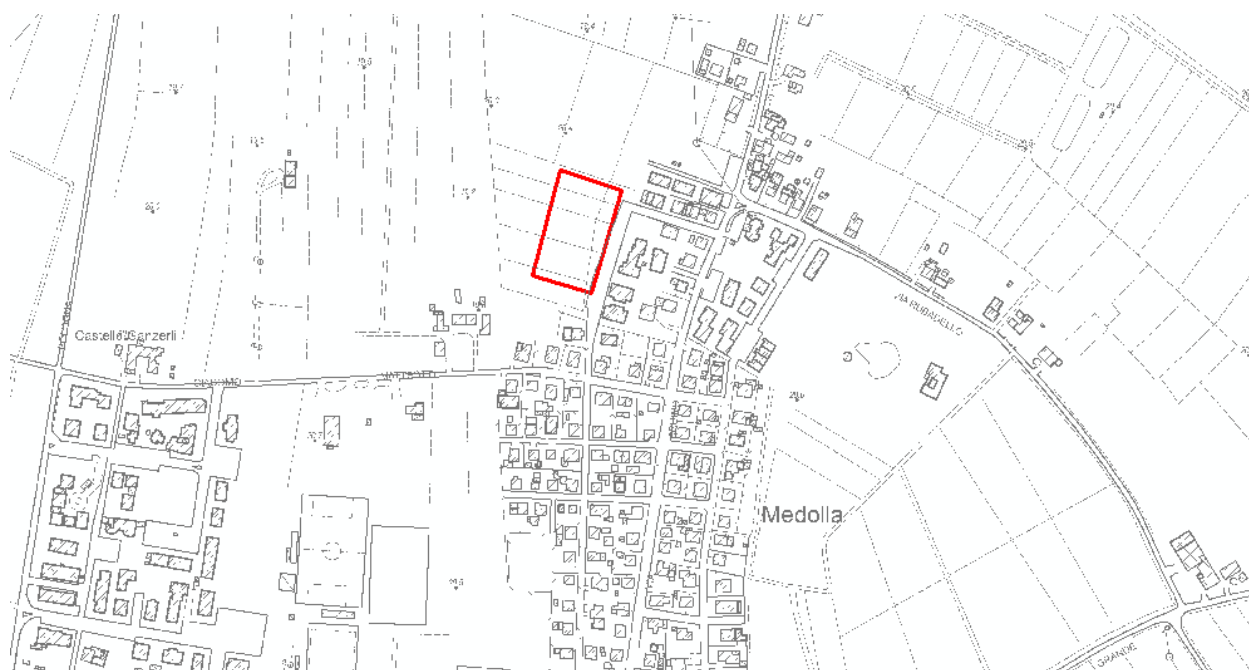


Figura 2.2: Localizzazione area di indagine su C.T.R. a scala 1:5.000.

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

a. Sismicità delle aree di interesse

Allo stato attuale la normativa di riferimento in materia sismica risulta essere il D.M. 14 gennaio 2008 recante “norme tecniche per le costruzioni”, entrata in vigore a partire dal 1 luglio 2009.

La classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna 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
Medolla	n.c.	3	$0.15 g$

b. Sismicità storica delle aree di intervento

In Pianura Padana la superficie di base del Sistema Emiliano Romagnolo (0.45 Ma) è la più recente superficie di discordanza angolare in scala regionale.

La geometria di questa superficie è articolata in zone più o meno depresse. In particolare sono evidenti gli alti di Mirandola – San Possidonio e Finale Emilia (tra Reggio Emilia e Ferrara), di San Bartolomeo in Bosco (a sud di Ferrara) e di Bondeno-Casaglia-Occhiobello (a nord-ovest di Ferrara), dove la base del SERS è a una profondità inferiore a 100 m s.l.m. Queste zone di alto ricadono tutte sul culmine della dorsale ferrarese, permettendo di ipotizzare un'attività tardo - pleistocenica di questa struttura.

Lo studio in dettaglio delle strutture sepolte della Pianura Padana è possibile soprattutto grazie all'interpretazione di profili sismici.

I terreni più recenti che registrano diffuse deformazioni alla mesoscala sono le Sabbie di Imola e il Sistema Emiliano-Romagnolo inferiore (SERI) di età compresa tra 0.8 e 0.45 Ma; risulta dunque evidente, anche da osservazioni di campagna, che gran parte del margine appenninico-padano e del sottosuolo padano-adriatico sono stati interessati da deformazioni più recenti di 0.45 Ma.

Nell'area di studio la SERS è indicata a una profondità compresa tra i 50 ed i 100 m. Dall'analisi delle prove eseguite con sismica passiva e attiva risulta che fino alla profondità di circa 80-100 m si registrano aumenti graduali delle velocità di propagazione delle onde sismiche fino 500 m/s. La profondità di circa 100-120 m da p.c. può essere considerata come la quota del bedrock sismico.

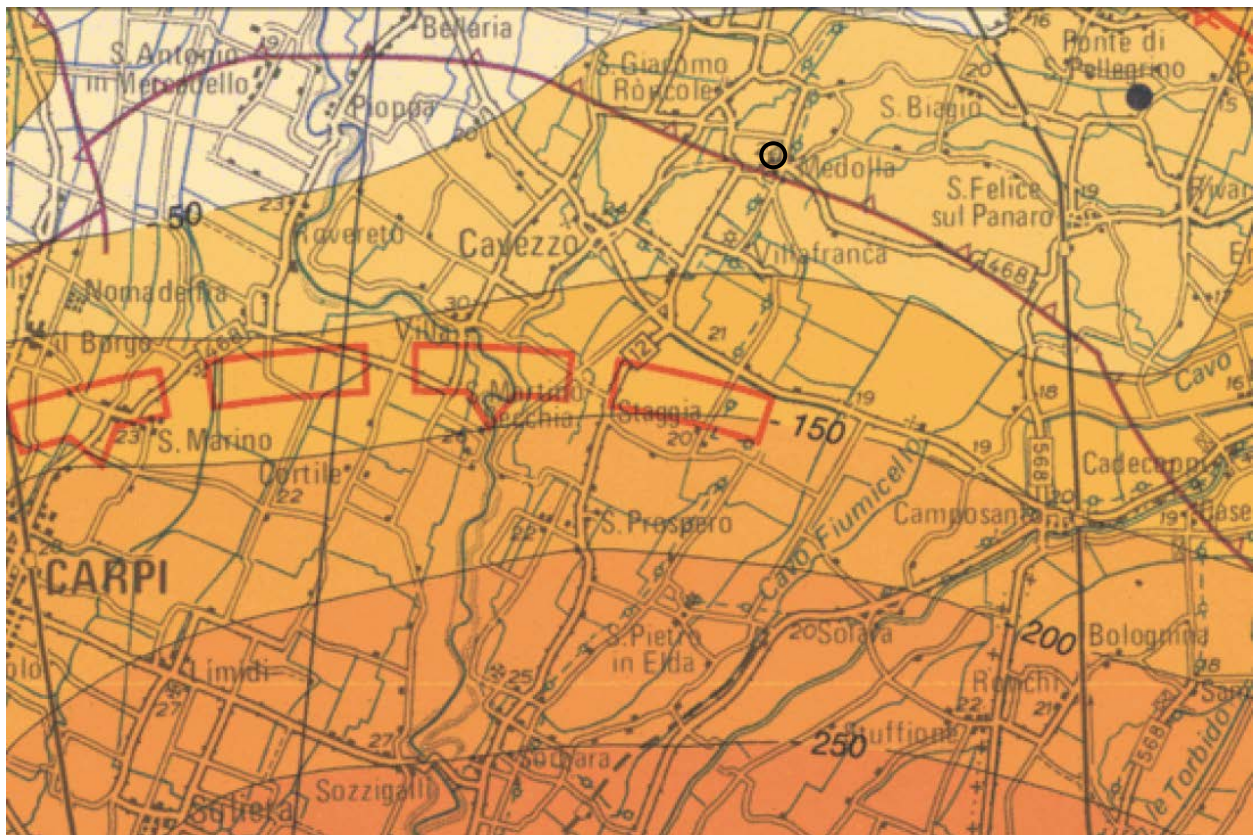


Figura 3.1: Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna (2004).

Tali dati vengono validati anche dal rapporto presentato nel 31° convegno nazionale GNGTS tenutosi a Potenza dal 20-22 novembre 2012.

In particolare si riportano i risultati ottenuti dall'Università di Siena "PRIME INDAGINI DI SISMICA PASSIVA NELLE AREE EMILIANE INTERESSATE DALLA SEQUENZA SISMICA DEL MAGGIO-GIUGNO 2012" del Prof. Albarello.

In particolar modo si riportano i risultati delle analisi congiunta HVSR e onde di dispersione Rayleigh che sono serviti ad individuare l'interfaccia risonante.

Campagna di Misura

Mirandola	M6	0,9	3,5			B1		3
	M7	0,9	4,6			B1	A7	3
	S6	1	4,7			B1	A7	3
	S7	1	6,1			B1	A7	3
Finale Emilia	R9	0,8	2,9	0,3	2,5 *	B1		1
	R10	0,7	3,3	0,3	3,2 *	B1		1
	R11	0,8	2,7	0,4	2,1 *	B1		1
	R12	0,8	2,5 *	0,3	2,4	B1		1
	R13	0,7	4	0,3	2,5	B1		1
	R14	0,9	3,9	0,3	3	B1		1
	R15	0,7	3,6	0,2	2,5 *	B1		1

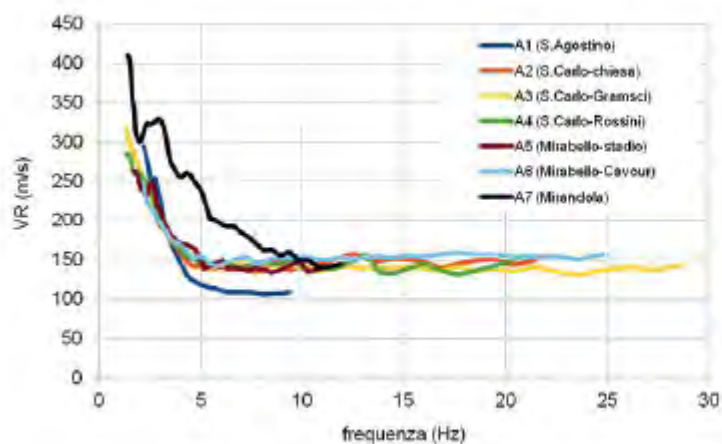


Fig. 1 - Curve di dispersione effettive delle onde di Rayleigh ottenute dalle sette antenne sismiche realizzate nelle località indicate nella legenda.

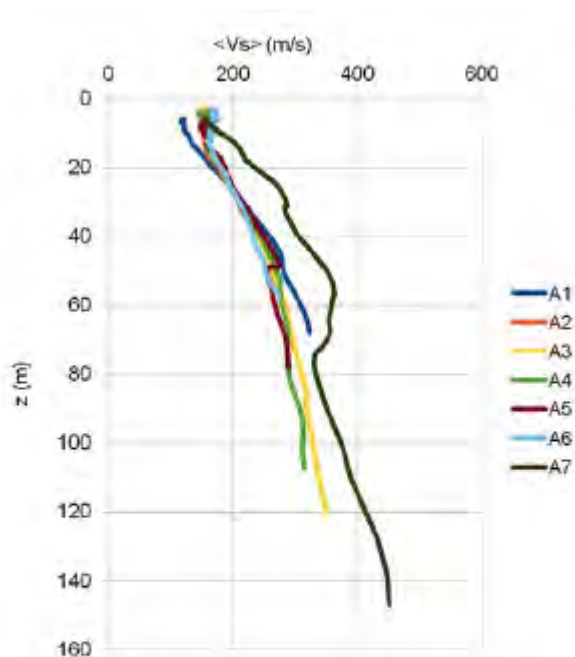


Fig. 2 - Andamento approssimato delle V_s medie in funzione della profondità. Il grafico è stato realizzato assumendo una profondità di penetrazione pari alla metà della lunghezza d'onda corrispondente alle diverse frequenze.

Sintesi dei risultati

Tab. 2 - Corrispondenze indicative fra frequenza di picco della curva HVSR e profondità stimata della relativa interfaccia risonante.

Località	f_0 (Hz)	H (m)
Mirandola	0,9-1	100-120
Finale Emilia 1	0,7-0,9	150-260
Finale Emilia 2	0,7-0,9	120-180

Nella tabella 3.3 sono riportati i dati storici del comune di Medolla, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di Medolla
[44.849, 11.071]



Numero di eventi: 8

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1971 07 15 01:3	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1978 12 25 22:5	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
3	1983 11 09 16:2	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3	1986 12 06 17:0	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
6	1987 05 02 20:4	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4	1988 03 15 12:0	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
NF	1998 02 21 02:2	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17
3-4	2000 06 18 07:4	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

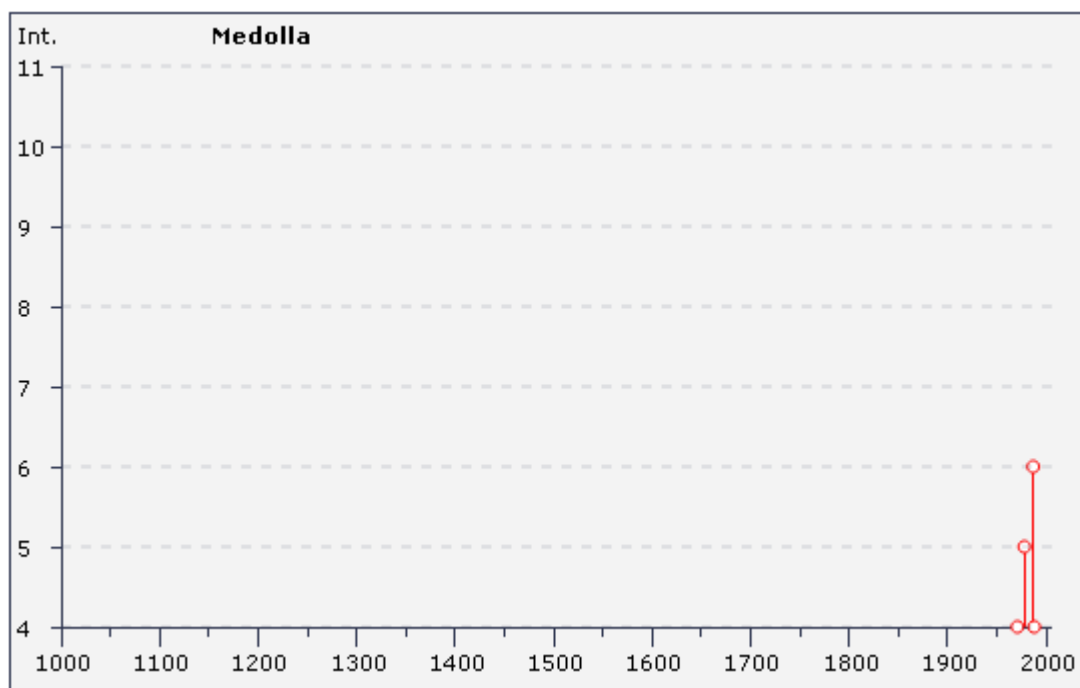


Tabella 3.3: Storia sismica del comune di Medolla (Mo).

La sismicità storica non tiene conto della recente crisi sismica verificatasi la mattina del 20 Maggio 2012 con un terremoto di magnitudo locale pari a 5.9 con epicentro Finale Emilia e la mattina del 29 Maggio con terremoto di magnitudo locale pari a 5.8 ed epicentro fra i Comuni di Medolla e Cavezzo.

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: 11.07407733 LATTITUDINE: 44.85655161

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

le
er
he
le
re
lle
di.

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	{	SLO - $P_{VR} = 81\%$	30
		SLD - $P_{VR} = 63\%$	50
Stati limite ultimi - SLU	{	SLV - $P_{VR} = 10\%$	475
		SLC - $P_{VR} = 5\%$	975

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

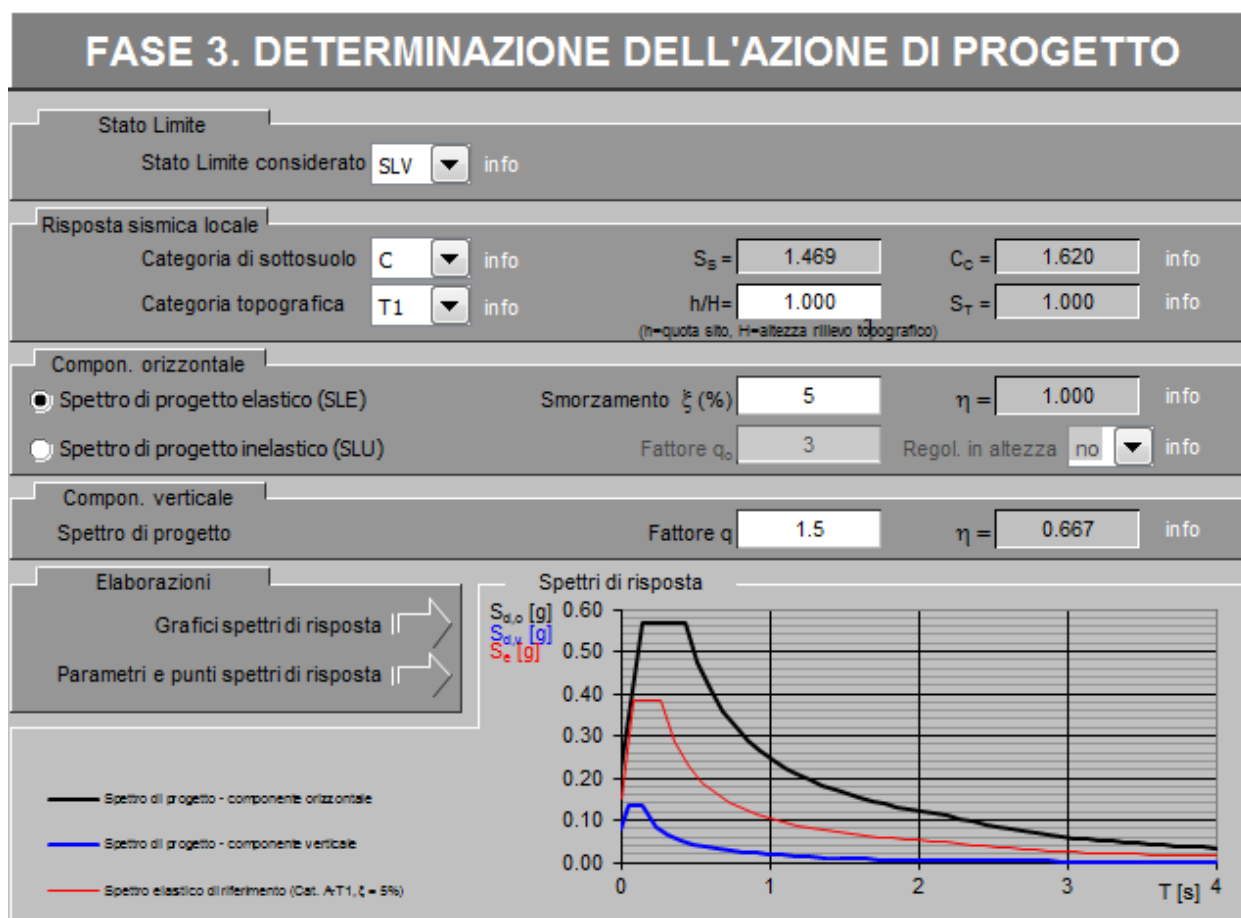
LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie - - - ■ - - - Strategia scelta

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0.039	2.569	0.250
SLD	50	0.050	2.495	0.269
SLV	475	0.149	2.588	0.269
SLC	975	0.201	2.535	0.276

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



Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,856551613705
longitudine: 11,0740773343093
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 15172	Lat: 44,8594	Lon: 11,0231	Distanza: 4034,408
Sito 2	ID: 15173	Lat: 44,8608	Lon: 11,0935	Distanza: 1600,529
Sito 3	ID: 15395	Lat: 44,8108	Lon: 11,0955	Distanza: 5355,514
Sito 4	ID: 15394	Lat: 44,8094	Lon: 11,0251	Distanza: 6511,939

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: 0,039 g
Fo: 2,569
Tc*: 0,250 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,050 g
Fo: 2,495
Tc*: 0,268 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,149 g
Fo: 2,588
Tc*: 0,269 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,201 g
Fo: 2,535
Tc*: 0,276 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,660
St: 1,000
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,573
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,015
Kv: 0,008
Amax: 0,737
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,470
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,053
Kv: 0,026
Amax: 2,150
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,390
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,078
Kv: 0,039
Amax: 2,738
Beta: 0,280

Si riporta di seguito il rapporto presentato nel 31° convegno nazionale GNGTS tenutosi a potenza dal 20-22 novembre 2012 “Il terremoto emiliano del 2012: analisi delle registrazioni accelerometriche e confronto con le azioni sismiche previste nelle NTC2008” del Prof. Mucciarelli.

Le accelerazioni registrate al sito dalla stazione accelerometrica RAN di Mirandola (MRN) dell'INGV durante l'evento sismico del 20-29 maggio sono state le seguenti:

Tab. 1 - Valori di PGA, PGV, PGD e IH per ciascuna componente della stazione RAN di Mirandola (MRN) per gli eventi del 20.05.2012 e del 29.05.2012.

EVENTO	Dist. Epicentrale	Componente	PGA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)	I _H (cm)
5.9 MI 20.05.2012	17 km	N - S	0.29	40.00	10.71	129
		E - O	0.28	32.43	6.28	84
		VERT.	0.32	5.65	1.26	17
5.8 MI 29.05.2012	2 km	N - S	0.29	40.07	19.77	135
		E - O	0.23	23.62	9.21	70
		VERT.	0.87	22.71	5.70	31

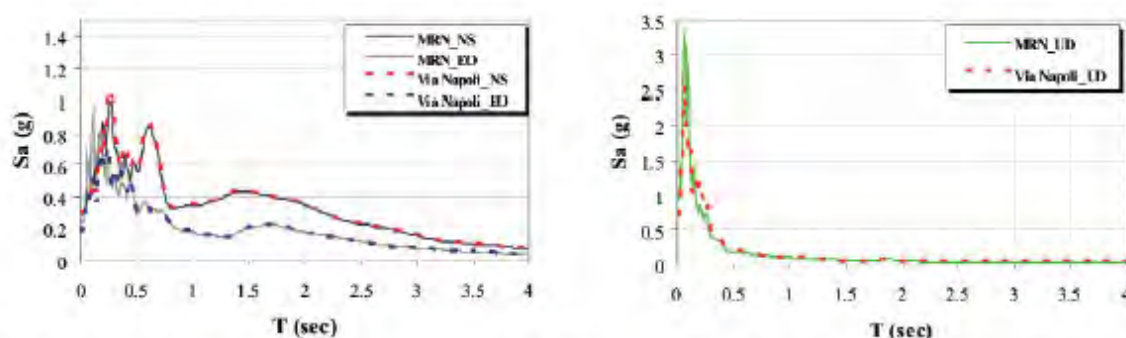


Fig. 1 - Confronto in pseudoaccelerazione spettrale tra le registrazioni dell'evento del 29.05.2012 (5.8 MI) disponibili per le stazioni MRN-RAN e di via Napoli.

Sulla base di quanto registrato durante l'evento sismico è stato fatto il confronto tra gli spettri di risposta registrati alla stazione di Mirandola MRN con quelli utilizzati dalla normativa vigente NTC08 per categorie di sottosuolo di tipo C e D e per due differenti tempi di ritorno (Tr 475 e Tr 975 anni):

Tab. 2 - Valori di PGA, PGV, PGD ed IH per ciascuna componente delle stazioni temporanee installate a Mirandola dopo l'evento principale. Registrazione dell'evento 5.8 MI del 29.05.2012.

COD. STAZIONE	Dist. Epicentrale	Componente	PGA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)	I _{H-RAN} (cm)
Staz. temporanea VIA NAPOLI	2 km	N - S	0.30	40.44	19.94	136
		E - O	0.18	24.27	8.92	69
		VERT.	0.71	20.93	5.79	32
Staz. temporanea OSPEDALE	2 km	N - S	0.30	48.72	21.76	117
		E - O	0.15	19.25	5.18	59
		VERT.	0.52	16.01	4.95	29

Tab. 3 - Confronto in termini di PGA ed Intensità di Housner tra le azioni registrate e quelle attese (NTC-2008) per le stazioni (fisse e temporanee) installate a Mirandola riferito agli eventi del 20.05.2012 (sopra) e 29.05.2012 (sotto). In rosso sono evidenziati i casi in cui i valori di norma (sia per 475 che per 2475 anni) sottostimano i valori ottenuti dalle registrazioni strumentali, in blu quelli per i quali i valori di norma sono maggiori di quelli registrati.

59 MI 20.05.2012		SITO		NORMA NTC-2008							
				TR=475		TR=2475		%Δ(TR=475)		%Δ(TR=2475)	
ID-Stazione	Comp.	PGA	IH	PGA	IH	PGA	IH	PGA	IH	PGA	IH
MRN-RAN ENEL	N - S	0.29	129	0.21	64	0.35	110	-39%	-101%	+17%	-17%
	E - O	0.28	84					-34%	-31%	+20%	+24%
	VERT.	0.32	17	0.07	4	0.19	11	-360%	-325%	-68%	-54%
5.8 MI 20.05.2012		SITO		NORMA NTC-2008							
				TR=475		TR=2475		%Δ(TR=475)		%Δ(TR=2475)	
ID-Stazione	Comp.	PGA	IH	PGA	IH	PGA	IH	PGA	IH	PGA	IH
MRN-RAN ENEL	N - S	0.29	135	0.21	64	0.35	110	-38%	-111%	17%	-23%
	E - O	0.23	70					-10%	-9%	34%	36%
	VERT.	0.87	31	0.07	4	0.19	11	-1143%	-675%	-358%	-182%
staz. temporanea VIA NAPOLI	N - S	0.30	136	0.21	64	0.35	110	-43%	-113%	14%	-24%
	E - O	0.18	69					14%	-8%	49%	37%
	VERT.	0.71	32	0.07	4	0.19	11	-914%	-700%	-274%	-191%
staz. temporanea OSPEDALE	N - S	0.30	117	0.21	64	0.35	110	-43%	-83%	14%	-6%
	E - O	0.15	59					29%	8%	57%	46%
	VERT.	0.52	29	0.07	4	0.19	11	-643%	-625%	-174%	-164%

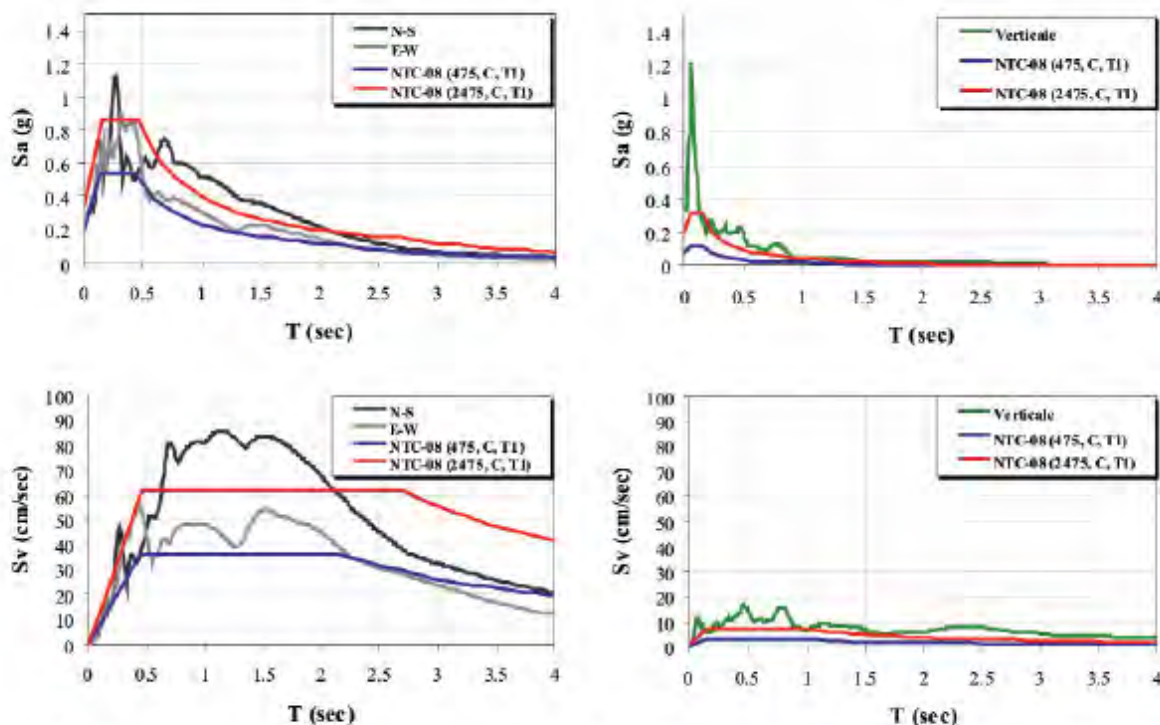


Fig. 2 - Confronto in pseudoaccelerazione (sopra) e pseudovelocità (sotto) tra l'azione registrata, nel piano (N-S, E-W) e sulla componente verticale dell'evento del 20.05.2012 alla stazione RAN di Mirandola (MRN) e quella attesa dalla norma NTC-2008 per suolo C, categoria topografica T1 e periodi di ritorno dell'azione di 475 e 2475 anni).

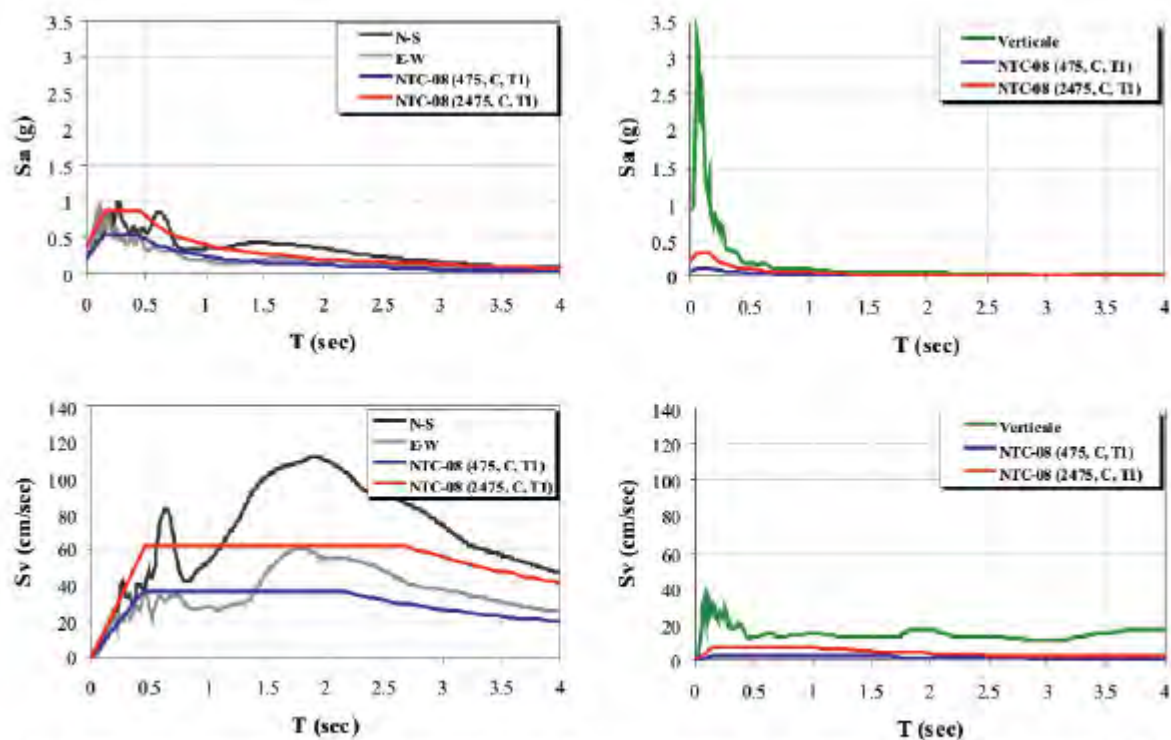


Fig. 3 - Confronto in pseudoaccelerazione (sopra) e pseudovelocità (sotto) tra l'azione registrata, nel piano (N-S, E-W) e sulla componente verticale dell'evento del 29.05.2012 alla stazione RAN di Mirandola (MRN) e quella attesa dalla norma NTC-2008 per suolo C, categoria topografica T1 e periodi di ritorno dell'azione di 475 e 2475 anni.

Si riportano di seguito i parametri del terremoto, al sito di studio, come risulta dalle mappe di scuotimento dell'INGV (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake>) per gli eventi sismici del 20 Maggio 2012, del 29 Maggio 2012 e del 03 giugno 2012, opportunamente confrontati con quelli calcolati dalla normativa tecnica - NTC08.

Ivalori desunti dalle mappe di accelerazione sismica sono i seguenti:

Pga value = (di g)

Pgv value = (cm/s)

Psa value = (di g)

con

Ps_a 0.3 = spectral acceleration at 0.3 s period, 5% damping.

Ps_a 1.0 = spectral acceleration at 1.0 s period, 5% damping.

Ps_a 3.0 = spectral acceleration at 3.0 s period, 5% damping.

EVENTO del 20 maggio 2012 M=5.9 - sito via Pertini

PGA = 0.28g

PGV = 40 cm/s

PSA 0.3 sec = 0.80g

PSA 1.0 sec = 0.48g

PSA 3.0 sec = 0.06g

EVENTO del 29 maggio 2012 M=5.8 - sito via Pertini

PGA = 0.30g

PGV = 40 cm/s

PSA 0.3 sec = 0.72g

PSA 1.0 sec = 0.28g

PSA 3.0 sec = 0.10g

EVENTO del 03 giugno 2012 M=5.1 - sito via Pertini

PGA = 0.08g

PGV = 4 cm/s

PSA 0.3 sec = 0.12g

PSA 1.0 sec = 0.02g

PSA 3.0 sec = 0.02g

NTC 2008 - sito via Pertini

PGA = 0.219g.

PSA 0.3 sec = 0.57g

PSA 1.0 sec = 0.25g

PSA 3.0 sec = 0.06g

Ai sensi dell'Ordinanza n. 112/2013 "Modalità di applicazione dell'Art. 10 comma 3 della Legge 122/2012" il manufatto in oggetto ricade all'interno dell'area campita per le costruzioni in classe d'uso II. La categoria di sottosuolo individuata risulta essere la "C".

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 HVSR) eseguite nell'area di intervento (figura 4.1):

- n. 1 indagini sismica passiva di microtremori HVSR;
- n.1 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.

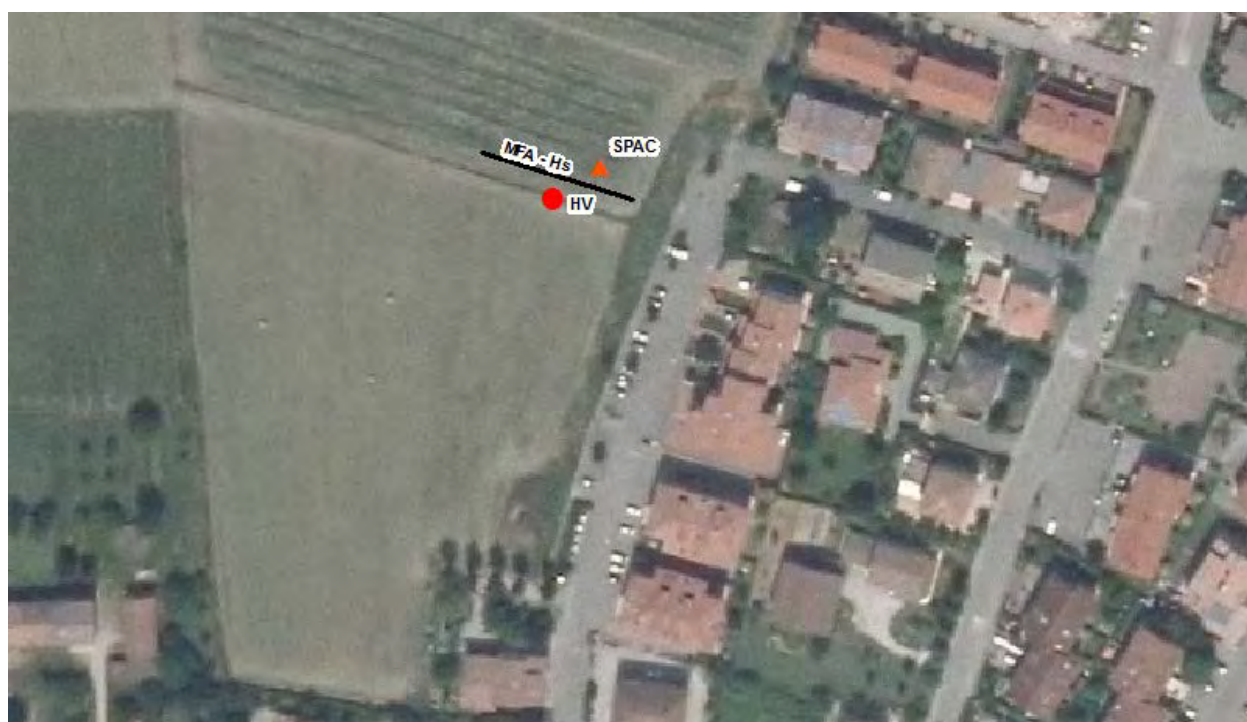


Figura 4.1: Ubicazione delle indagini sismiche.

5. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

a. Indagini geofisiche

a1. I dati ottenuti

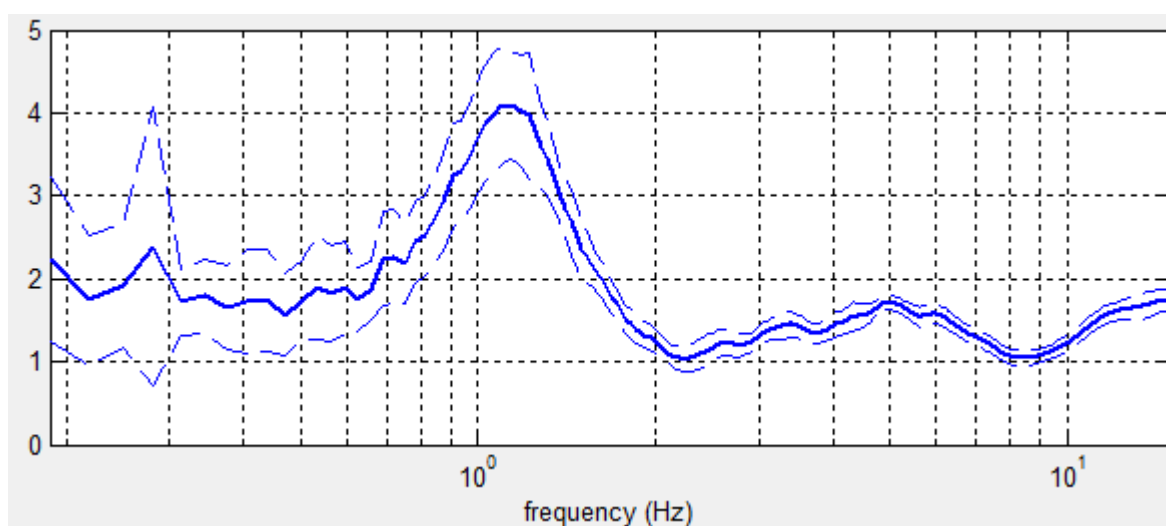
L'indagine geofisica è stata eseguita mediante sismica attiva MFA - HoliSurface e passiva multicanale (SPAC) e a stazione singola (HVSr) sia per la definizione del picco di risonanza dei terreni di fondazione (f_0) sia per la determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, mediante la ricostruzione delle V_{s30} .

a2. Interpretazione delle indagini geofisiche

La campagna di prospezione geofisica è stata eseguita nel febbraio 2016. Tale indagine ha consistito nelle acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSr e nella definizione del profilo di V_s 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 V_s con la profondità e quindi la definizione delle V_{s30} ai fini della classificazione sismica dei suoli di fondazione come previsto dal D.M. 14 gennaio 2008.

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. 14/01/08.

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



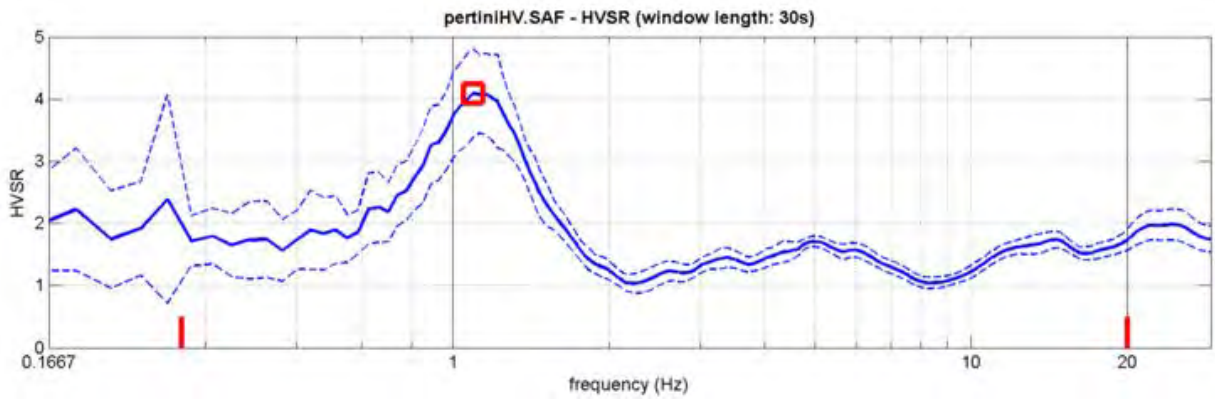
Le acquisizioni HVSr, risultano in parte convalidate dalle linee guida SESAME 2005.

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

Medolla (MO) - via Pertini - HVSR

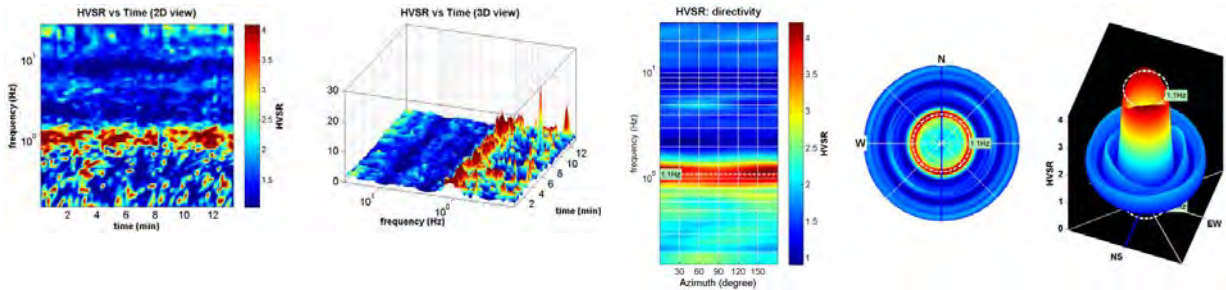
Strumento: Gemini2 - PASI Srl
 Inizio registrazione: 12/02/16 Fine registrazione: 12/02/16
 Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 0h19'5" tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 200 Hz
 Lunghezza finestre: 30 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

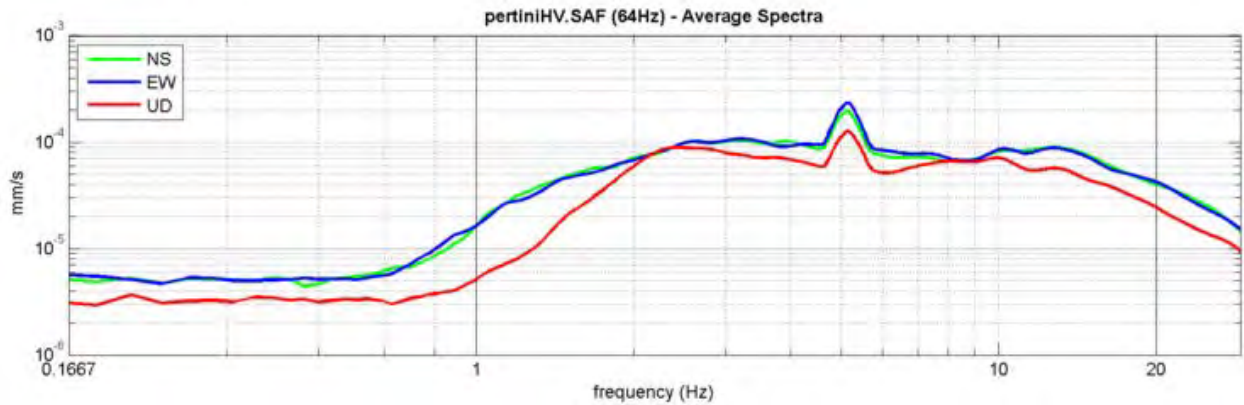


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Secondo le linee guida SESAME, 2005.

<p><i>0.3-20.0Hz frequency range</i> Peak frequency (Hz): 1.1(±0.3) Peak HVSr value: 4.1 (±0.6)</p>

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.1 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1774 > 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	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.3 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.7 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.1 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.281 < 0.109		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.711 < 1.78	OK	

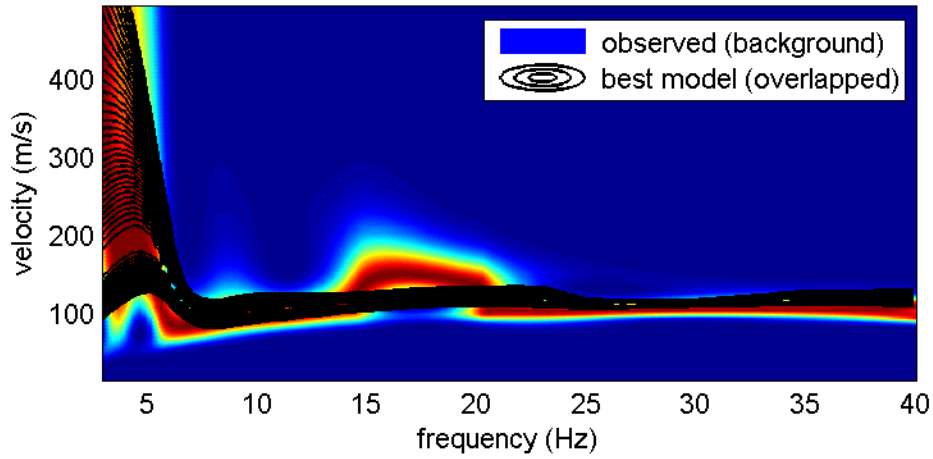
L_w n_w $n_c = L_w n_w f_0$ f f_0 σ_f $\varepsilon(f_0)$ A_0 $A_{H/V}(f)$ f^- f^+ $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log H/V}(f)$ $\theta(f_0)$	lunghezza della finestra numero di finestre usate nell'analisi numero di cicli significativi frequenza attuale frequenza del picco H/V deviazione standard della frequenza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

Valori di soglia per σ_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

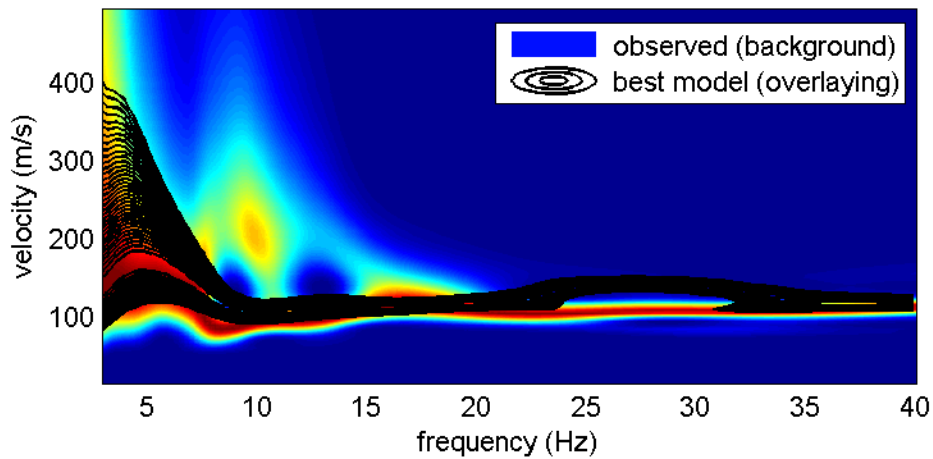
Medolla (MO) - via Pertini - MFA - Hs
(Analisi Rayleigh + SPAC + HVSr)

Analisi onde Rayleigh (offset 40 m e frequenza di campionamento a 1 KHz)

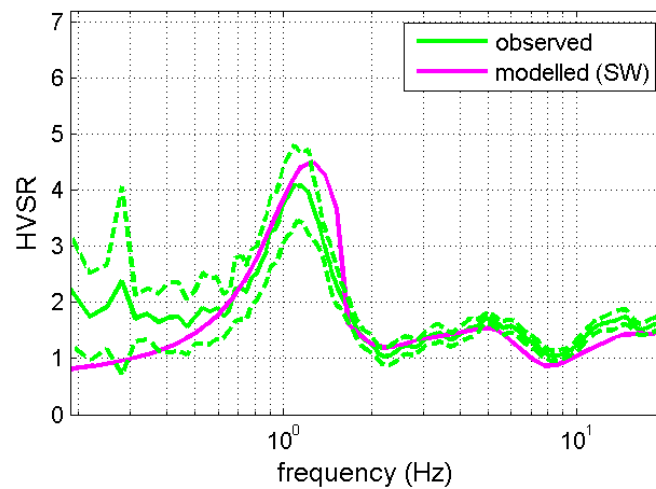
vertical component

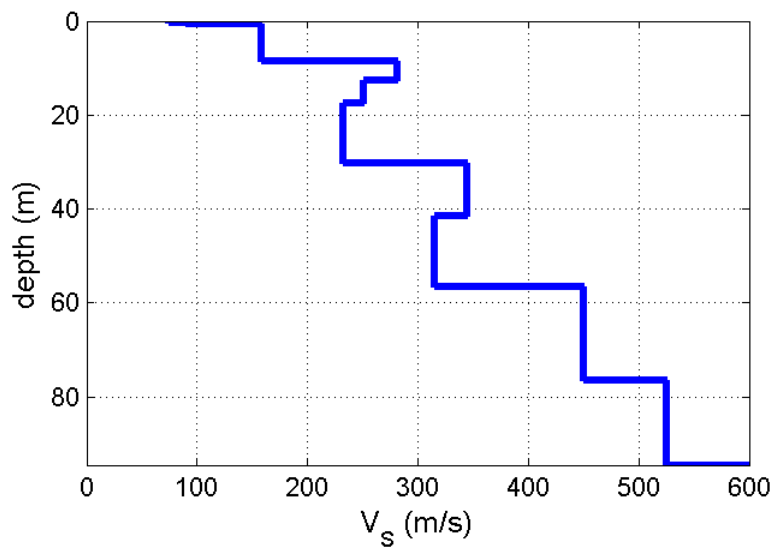


radial component



Analisi HVSr - Tr01





Subsurface model

Shear-wave velocities (m/s): 75 90 158 281 251 232 345 315 450 525 600

Thicknesses (m): 0.3 0.4 7.8 4.1 4.9 12.8 11.2 15.0 20.0 18.0

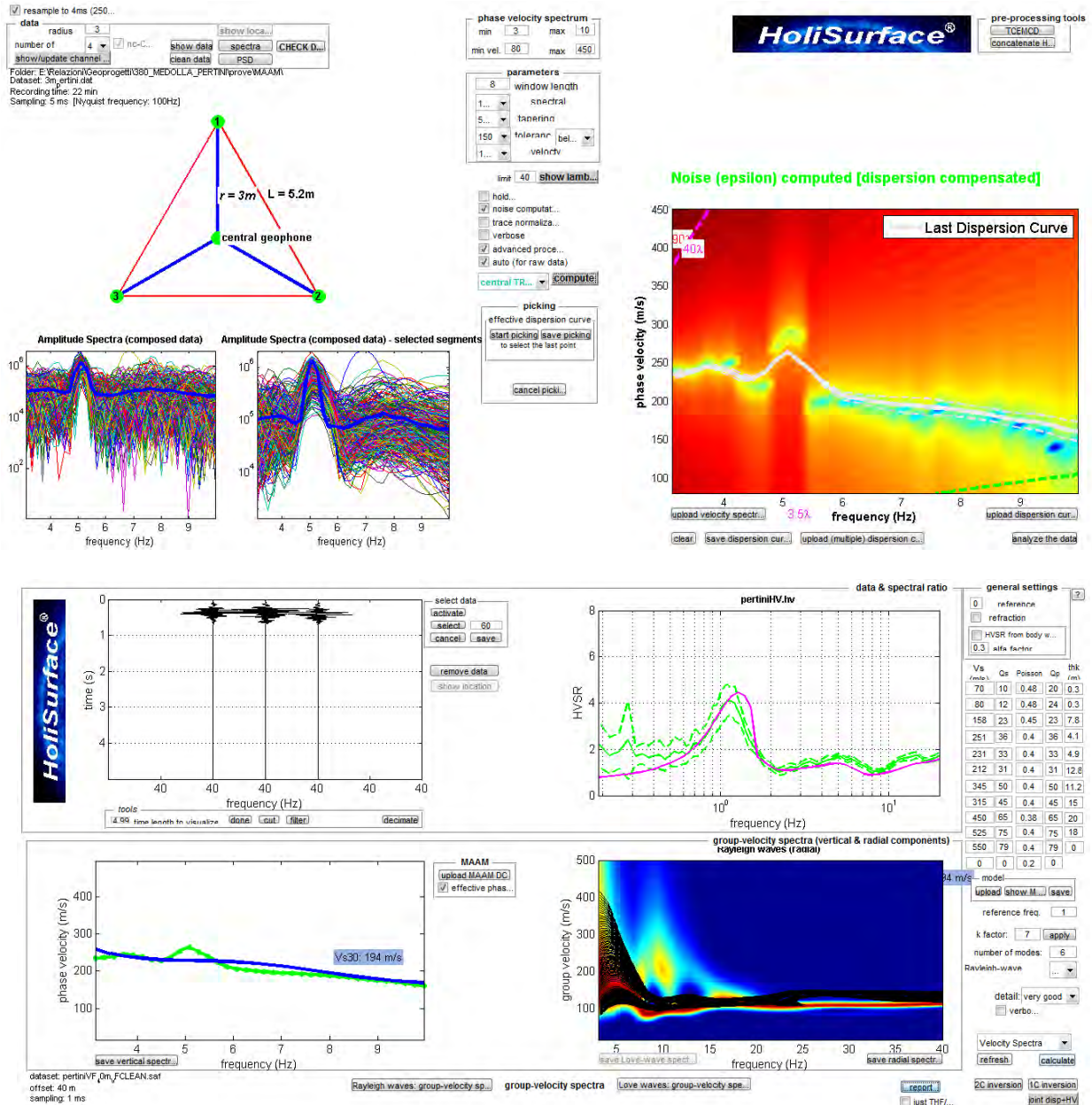
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 10 15 47 155 122 103 240 198 417 583 773

Vs30 (m/s): 206

**Medolla (MO) - via Pertini - SPAC
 (Analisi Rayleigh + SPAC + HVSR)**

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

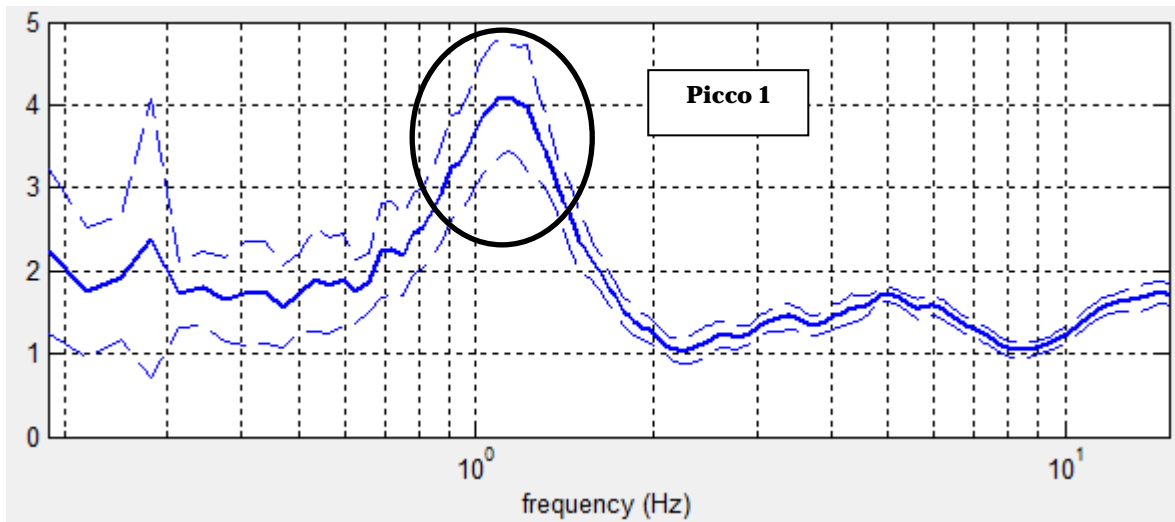
Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh (velocità di fase) secondo la tecnica passiva *Miniature Array Analysis of Microtremors* (nc-CCA), evoluzione della metodologia SPAC, grazie alla quale è possibile delineare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.



Vs30 (m/s): 194

Sul sito di studio, sono state eseguite 1 acquisizione HVSR, 1 acquisizione SPAC collegato con 4 geofoni verticali, 1 acquisizione MFA - Hs, 2 prove penetrometriche statiche CPT, utilizzate per tarare e/o vincolare le prove geofisiche.

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

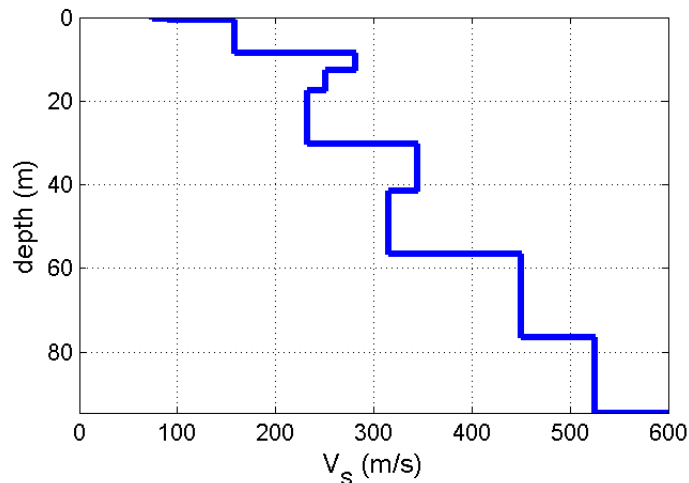


Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)
1	~ 4.1	~ 1.1

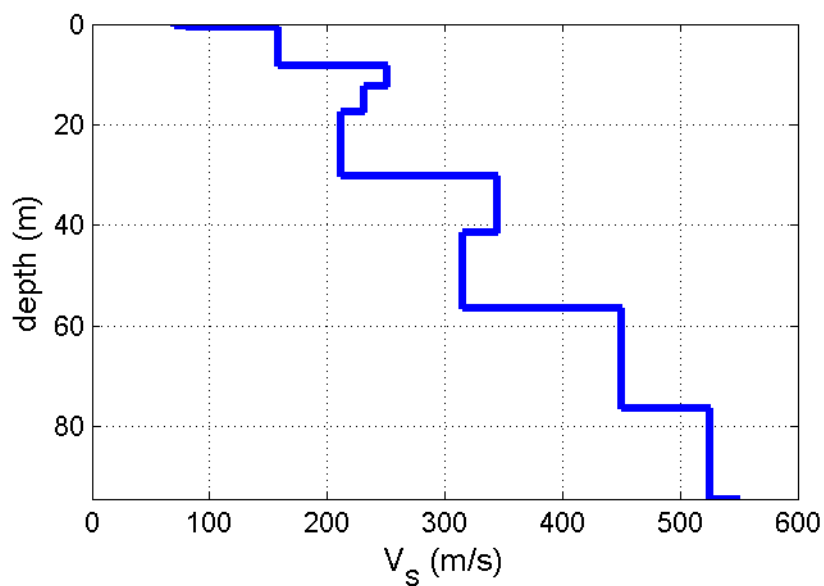
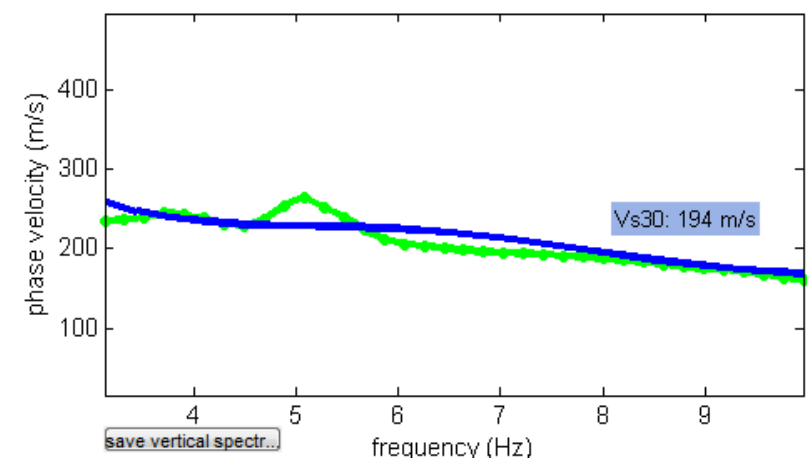
Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza significativi ($H/V > 3$) in caso di moto sismico.

Relativamente al profilo di V_s con la profondità e alla determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, **mediante la ricostruzione delle V_{s30}** attraverso l'analisi HoliSurface, abbiamo che:

- MFA - Hs



- SPAC



V_s (30): 194 - 206 (categoria di sottosuolo "C")