



REGIONE LOMBARDIA



RegioneLombardia

PROVINCIA DI MANTOVA



COMUNE DI
SAN GIOVANNI DEL DOSSO



DIOCESI DI MANTOVA

UFFICIO BENI CULTURALI ECCLESIASTICI

T 0376319511 F 0376224740

beniculturali@diocesidimantova.it

S. E. E. s.r.l.

Piazza Sordello, 15 - 46100 Mantova

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Geom. Riccardo Pacchioni

PROPRIETA'

PARROCCHIA DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO

PARROCO - LEGALE RAPPRESENTANTE: DON PAOLO AZZINI

Via Roma, 11 - 46020 San Giovanni del Dosso (MN) - Tel. 0386/757082

**INTERVENTI DI RESTAURO E CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE
DELLA CHIESA PARROCCHIALE "SAN GIOVANNI BATTISTA"
DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO (MN)
A SEGUITO DEGLI EVENTI SISMICI DEL MAGGIO 2012**

**PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTO ARCHITETTONICO-STRUTTURALE**

RELAZIONI

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

TAVOLA

R.05

SCALA

PROGETTISTI

ING. ALBERTO MANI

ARCH. LUCIANO PASTORIO

ING. PAOLO RAVELLI

VIA A. SACCHI, 6 - 46100 MANTOVA

tel.: 0376 222683 - fax: 0376 750904 - e-mail: alberto.mani@studiotecnico.it

ARCH. MARTA FASOL

VIA D. MANIN, 9 - 37122 VERONA

cell.: 333 4619603 - fax: 045 4851277 - e-mail: info@emmeastudio.it



IMPIANTI MECCANICI

PER.IND. GIORGI LORENZO

VIA S. PERTINI, 2/C - 46020 PEGOGNAGA (MN)

cell.: 338 4253839 - fax: 0376 507917 - e-mail: lorenzogiorgi@interfree.it

IMPIANTI ELETTRICI

ING. ALLEGRETTI DARIO

VIA ROMA, 9 - 46020 PEGOGNAGA (MN)

tel.: 0376 550176 - cell.: 335 6482529 - e-mail: info@darioallegretti.it



RILIEVI



POLITECNICO DI MILANO - POLO TERRITORIALE DI MANTOVA

Laboratorio di Ricerca Mantova - **Hesutech group** (Heritage Survey Technology) - Dipartimento A.B.C.

TIMBRO

Data

Giugno 2016

**RELAZIONE GEOGNOSTICA SULLE INDAGINI
ESEGUITE IN SITO
MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO E
CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E
GEOTECNICA DEI TERRENI INTERESSATI DA
INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE E
RECUPERO FUNZIONALE DELLA CHIESA
PARROCCHIALE "SAN GIOVANNI BATTISTA" DI
SAN GIOVANNI DEL DOSSO
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"

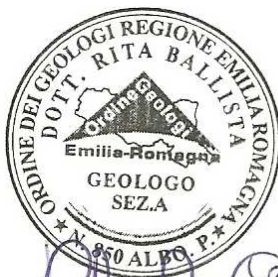
CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617

COMMITTENTE: PARROCCHIA DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO

CANTIERE: SAN GIOVANNI DEL DOSSO - VIA ROMA n.11

UBICAZIONE CATASTALE: Foglio n.13; Mappale n.A

DATA: LUGLIO 2015



INDICE

INDICE	2
1.PREMESSA.....	3
2.RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3.MODELLO GEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO	4
3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	8
Fig.9: "Carta Analisi delle criticità e del sistema vincolistico del territorio " del PGT Comunale	15
3.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE.....	15
3.4 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA.....	17
3.5 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI	19
4. ANALISI RESISTENZE DI PROGETTO	21
5. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO.....	31
5.1 CENNI DI SISMOTETTONICA	31
5.2 SISMICITA' DEL TERRITORIO	34
5.3 PERICOLOSITA' SISMICA.....	37
5.4 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO.....	42
5.4.1. Analisi di primo livello	42
5.4.2. Analisi di secondo livello	44
5.4.2.1 Definizione categoria sismica mediante analisi del sottosuolo in sismica passiva HVRS e attiva in onde Rayleigh con metodo HoliSurface	44
5.4.3 Modello sismico del sottosuolo.....	45
5.4.4 Modello sismico del sottosuolo.....	47
5.4.5 Analisi di Risposta Sismica Locale di III livello con valutazione amplificazione litologica e definizione dei spettri di risposta elastici.....	48
5.4.6 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito.....	60
6. CONCLUSIONI	78
ALLEGATI.....	86

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 da interventi di ristrutturazione e recupero funzionale della Chiesa Parrocchiale "San Giovanni Battista" di San Giovanni del Dosso (MN).

La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del profilo stratigrafico nel sito sono ricavati dai risultati di n. 1 prova penetrometrica statica di tipo meccanico ed n.1 prova penetrometrica statica con punta elettrica CPTU "ENVI MEMOCONE", eseguite in sito in data 20/07/2015 dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla.

Le prove sono state spinte alla profondità di – 30.00 m e – 20.00 m dal piano campagna per la definizione in dettaglio delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche fino a tale quota.

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, determinando 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 HVSr, un'indagine di sismica passiva SPAC e una prova di sismica attiva MFA - Hs in onde Rayleigh, realizzate in data 20/07/2015.

Si allega in epigrafe 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 statica meccanica ed elettrica 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 nel centro cittadino di San Giovanni del Dosso in zona residenziale, ad una quota media di 16 m slm.

Le coordinate geografiche dell'area sono 44°57' 56.05"N e 11°04' 45.01"E .

Il sito ha accesso da Via Roma, in collegamento con Strada Comunale San Giovanni e Strada Provinciale San Giovanni-Schivenoglia.

I centri abitati vicini sono:

San Giacomo delle Segnate a circa 3.80 Km a ovest

Schivenoglia a circa 3.50 Km a nord

Poggio Rusco a circa 3.40 Km a nord-est

Frazione di Tramuschio a circa 1.20 Km a sud-est

Oltre che a varie frazioni e località.

Il comune di San Giovanni del Dosso fa parte dell'area dell'Oltrepò Mantovano ed è collocato nei pressi della sponda destra del Fiume Po.

Il comune si estende su una superficie territoriale di circa 15 Km². Il territorio del comune risulta essere ad un'altitudine di circa 13 m sul livello del mare. Il tessuto edificato è principalmente concentrato nel centro abitato di San Giovanni del Dosso, a meno di qualche piccolo nucleo ubicato in aperta campagna.

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

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

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

I suoli della Piana alluvionale possono essere considerati sommariamente i più giovani di tutta la pianura lombarda, discretamente sviluppati sui dossi fluviali più antichi, in cui la

morfologia è generalmente pianeggiante con locali emergenze derivate da convessità (dossi) e concavità (le valli della bonifica).

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

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

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

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

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

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

Nella carta del "Azzonamento del territorio comunale" del PGT del Comune di San Giovanni del Dosso, approvato con D.C.C. n.04 del 01/02/2011, l'area di studio ricade in una zona F "Aree per attività pubbliche".







ZONE RESIDENZIALI		
	B1	Nucleo urbano di antica formazione a prevalente destinazione residenziale
	B2	Zona consolidata a prevalente destinazione residenziale
	B3	Zona di recente edificazione a prevalente destinazione residenziale
	C	Zone "C" conformate
	ATR 1-2-3-4 Ambiti di trasformazione a prevalente destinazione residenziale	
ZONE DI INTERESSE PUBBLICO		
	F	Aree per attività pubbliche (verde, gioco, sport, attrezzature per interesse comune, parcheggi, piazzole ecologiche, comune, cimitero, ecc.
PECO		PIAZZOLA ECOLOGICA



Fig.1: Stralcio della Carta "Azzonamento territorio comunale" del PGT di San Giovanni del Dosso.

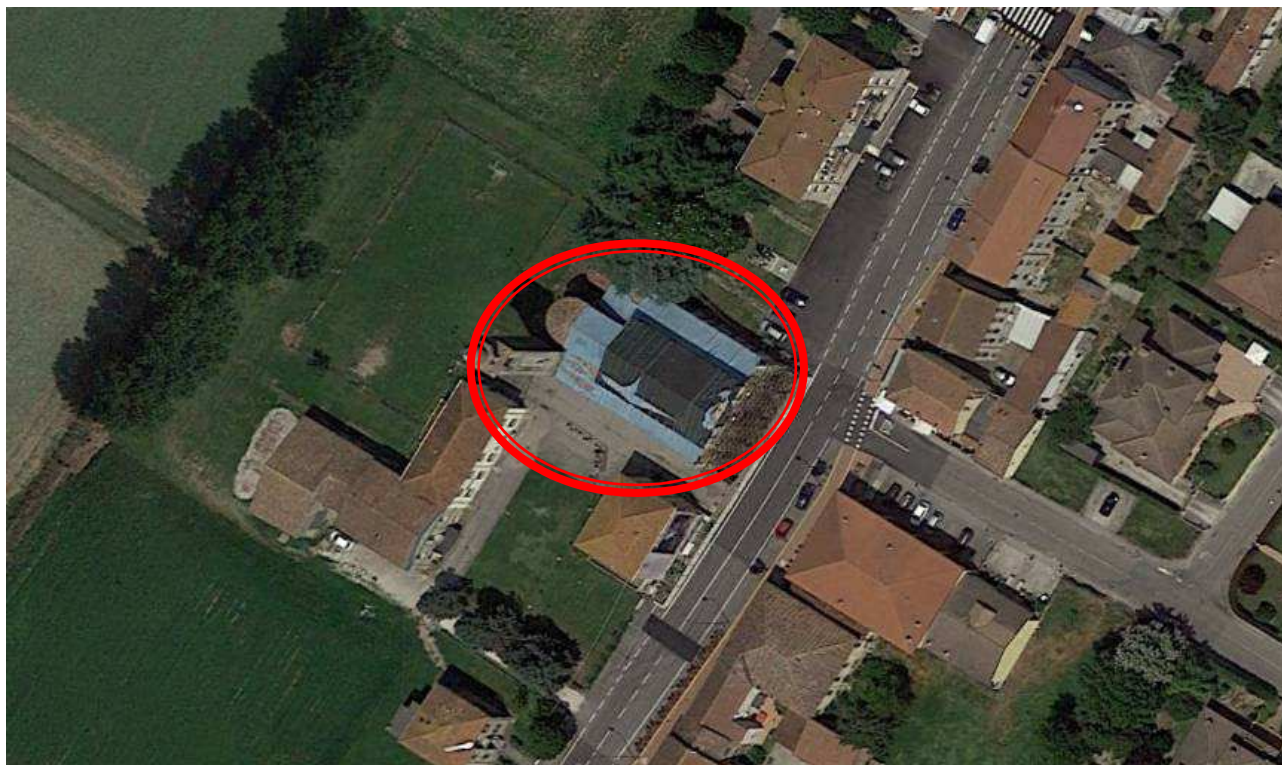


Fig.2: Ortofoto.



Fig.3: Carta Tecnica Regionale.

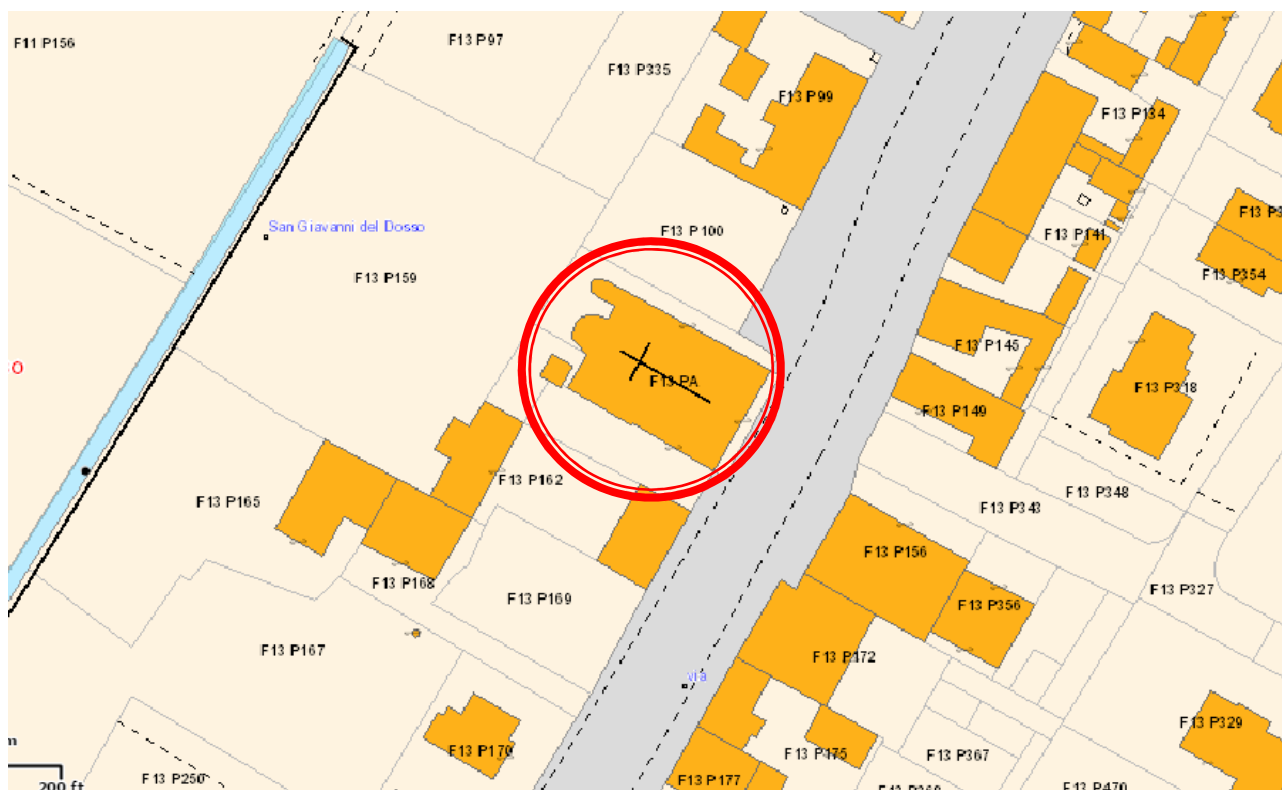


Fig.4: Ubicazione catastale (Foglio:13; Mappale:A)

3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il Comune di San Giovanni del Dosso è inserito nel sottosistema di paesaggio del territorio provinciale di Mantova VA: "Piane alluvionali inondabili con dinamica deposizionale". Secondo quanto riportato nel "Rapporto sullo stato dell'ambiente nel territorio mantovano" redatto dalla provincia di Mantova, il sottosistema VA rappresenta le pianure alluvionali inondabili, più o meno ampie a seconda dello stadio evolutivo del corso d'acqua.

Tali aree corrispondono alle vaste pianure di tracimazione delle piane a meandri ed ai fondovalle delle pianure pedemontane e intravallive, in cui il fiume scorre incassato o pensile rispetto ai territori limitrofi. È sempre presente una falda freatica e quando questa è laterale al corso d'acqua, e in contatto con la corrente fluviale, si ha la falda di subalveo.

La zona interessata dallo studio è caratterizzata dalla presenza di sedimenti recenti od attuali (Olocene recente ed attuale). La litologia dei depositi superficiali, strettamente connessa alla

capacità di trasporto dei corsi d'acqua attuali, varia dalle argille più o meno pure alle sabbie fini e medie. La natura dei terreni condiziona poi le caratteristiche naturalistiche e ambientali. I fiumi che scorrono in questa porzione di bassa pianura si trovano in uno stadio di maturità evolutiva in cui la fase deposizionale prevale su quella erosiva, a causa della bassa capacità di deflusso e della esigua capacità di trasporto. Questo quadro è confermato dalla presenza di meandri e di alvei pensili che hanno reso necessaria la costruzione di argini artificiali.

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

Nelle aree distali più depresse, poste tra un fiume e l'altro, l'energia cinetica della corrente diminuisce ed i depositi si fanno sempre più fini per diventare prevalentemente argillosi nelle basse, dove la prolungata permanenza delle acque favorisce la sedimentazione delle particelle in sospensione.

Per la maggiore costipabilità dei materiali fini, rispetto a quelli sabbiosi, si determina poi un aumento dei dislivelli fra i dossi dei paleoalvei e le valli, oltre che fra la rete idrografica ed il livello medio del territorio.

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

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

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

La costruzione di argini artificiali, in questa zona, si è completata nel XV secolo. A partire da questo periodo, i fiumi sono stati canalizzati entro percorsi ben definiti e non hanno più avuto la possibilità di aprirsi, dopo un rotta, nuovi percorsi. Di conseguenza le alluvioni degli ultimi 500 anni hanno determinato un classamento ben preciso dei depositi per cui troviamo sedimenti più grossolani e sedimenti più fini, rispettivamente nelle vicinanze e nelle zone più lontane dai percorsi attuali dei fiumi. Questo spiega perchè antichi dossi corrispondenti a paleoalvei siano stati ricoperti da sedimenti più fini che hanno notevolmente uniformato la morfologia dell'area.

Di seguito si riporta uno stralcio della "Carta Geomorfologica della Pianura Padana", redatta dal Comitato Consuntivo del C.U.N. n. 4 "Scienze della Terra", (prima edizione 1997) in scala 1:250.000, ed uno stralcio della "Carta di Sintesi" dell'elaborato prescrittivo dello studio geologico del PRG Comunale. In entrambi gli elaborati, **la zona di studio ricade su un dosso fluviale particolarmente pronunciato.**

- Traccia di corso fluviale estinto, a livello della pianura o leggermente incassato:
Trace of abandoned river bed at plain level or slightly below:
- a - ben conservata;
well preserved;
- b - mal conservata.
poorly preserved.
- Tracce diffuse di corsi d'acqua a canali intrecciati, estinti.
Widespread traces of abandoned braided streams.
- Sito di importante deviazione fluviale (età, eventualmente anno).
Site of known river diversion (age and year, when known).
- Dosso fluviale particolarmente pronunciato (altezza > 2 m, pendenza longitudinale < 1‰).
Well defined levée ridge (height > 2 m, longitudinal slope < 1‰).
- Altri dossi fluviali (meno pronunciati, o a forte pendenza longitudinale).
Other fluvial ridges (less well-defined, or with higher longitudinal slope).
- Ventaglio di esondazione.
Crevasse splay.
- Gorgo.
Erosion cavity.
- Area depressa in pianura alluvionale.
Depression in alluvial plain.
- Antica conca lacustre prosciugata.
Ancient lake basin, now dry.

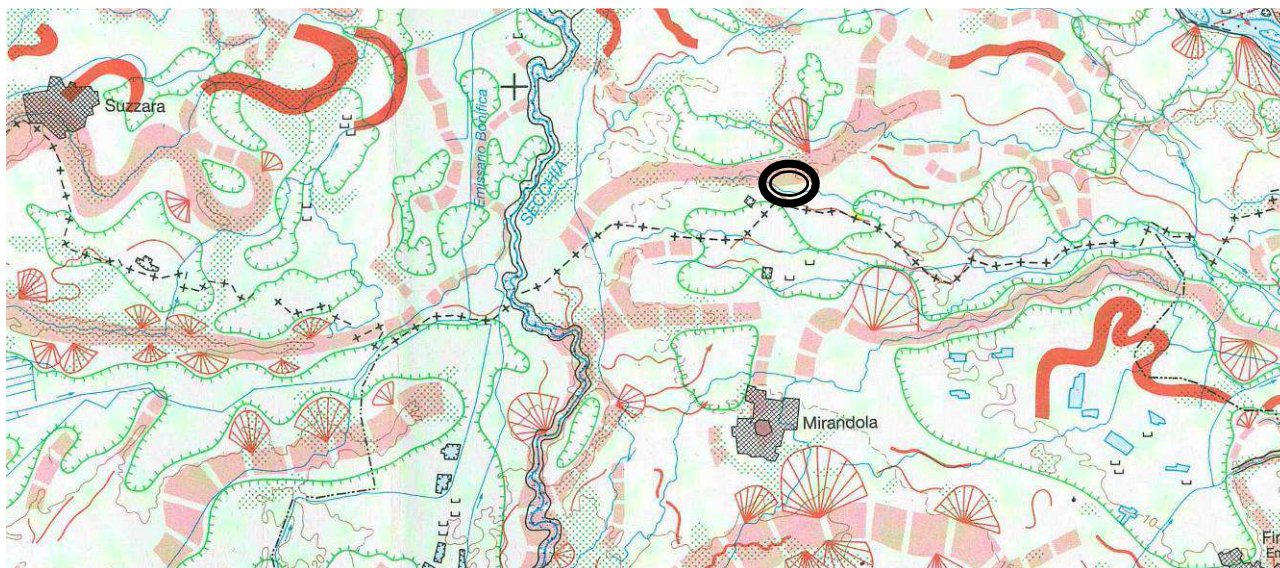
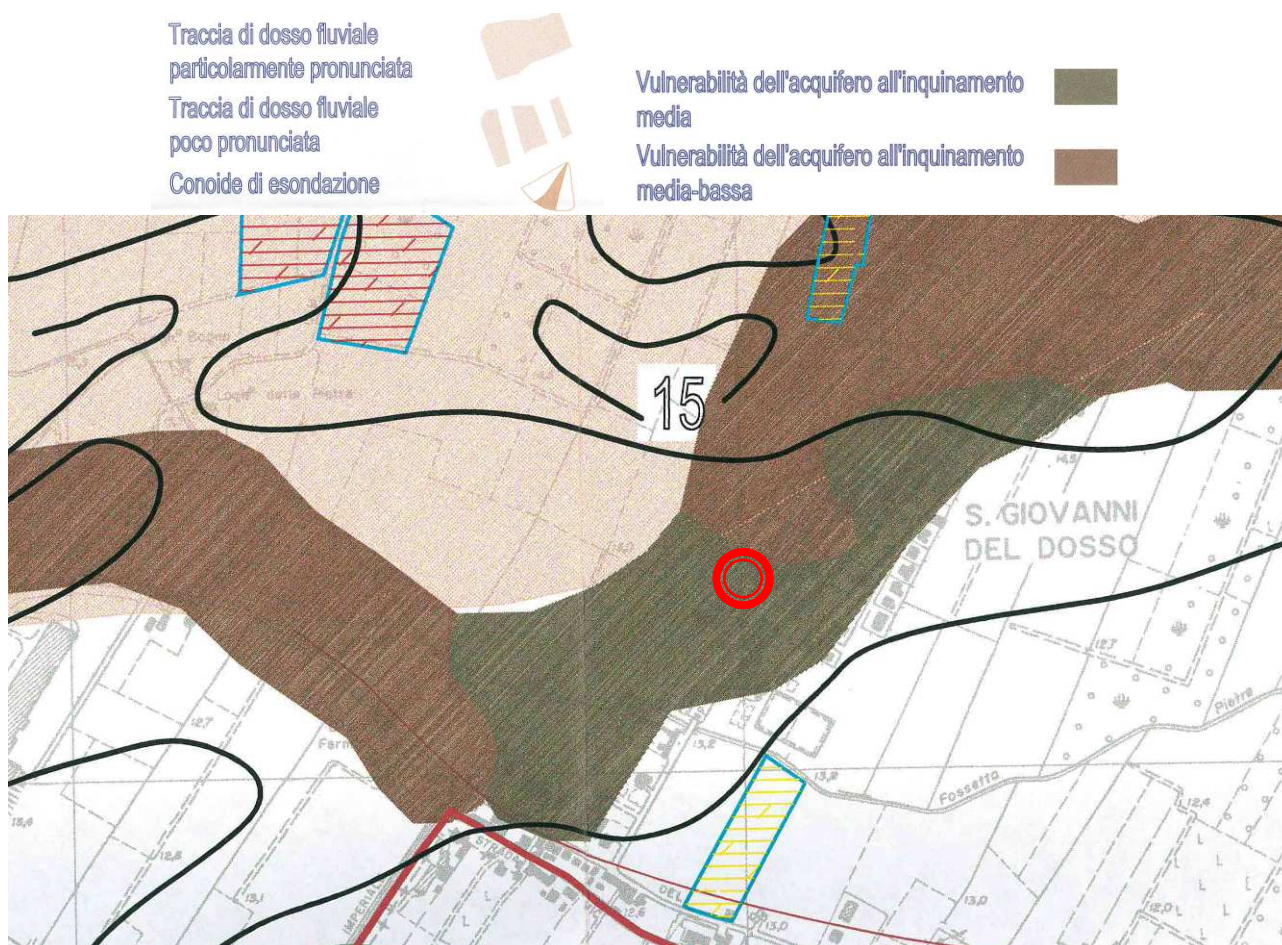




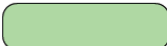




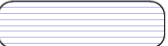
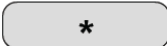







Fig.5: "Carta Geomorfologica della Pianura Padana" redatta dal Comitato Consuntivo del C.U.N. n. 4 "Scienze della Terra", (prima edizione 1997).



SISTEMA INSEDIATIVO		RETE AMBIENTALE	
	TESSUTO RESIDENZIALE CONSOLIDATO		RETE ECOLOGICA DI 1° LIVELLO
	TESSUTO RESIDENZIALE DI RECENTE REALIZZAZIONE		RETE ECOLOGICA DI 2° LIVELLO
	AREE - SERVIZI		RETE ECOLOGICA DI 3° LIVELLO
	AREA INDUSTRIALE CONSOLIDATA		CANALI STORICI
	AREA COMMERCIALE CONSOLIDATO		AMBITO TERRITORIALE DI ESTRAZIONE (A.T.E.)
	COMPLESSI EDILIZI IN AMBITO AGRICOLO DA RECUPERARE		VEGETAZIONE
	IMPIANTI TECNOLOGICI		ZONE DI CRISI IDRICA - AGRICOLA
	COMMERCIO/TRATTAMENTO INERTI		PIOPPETI

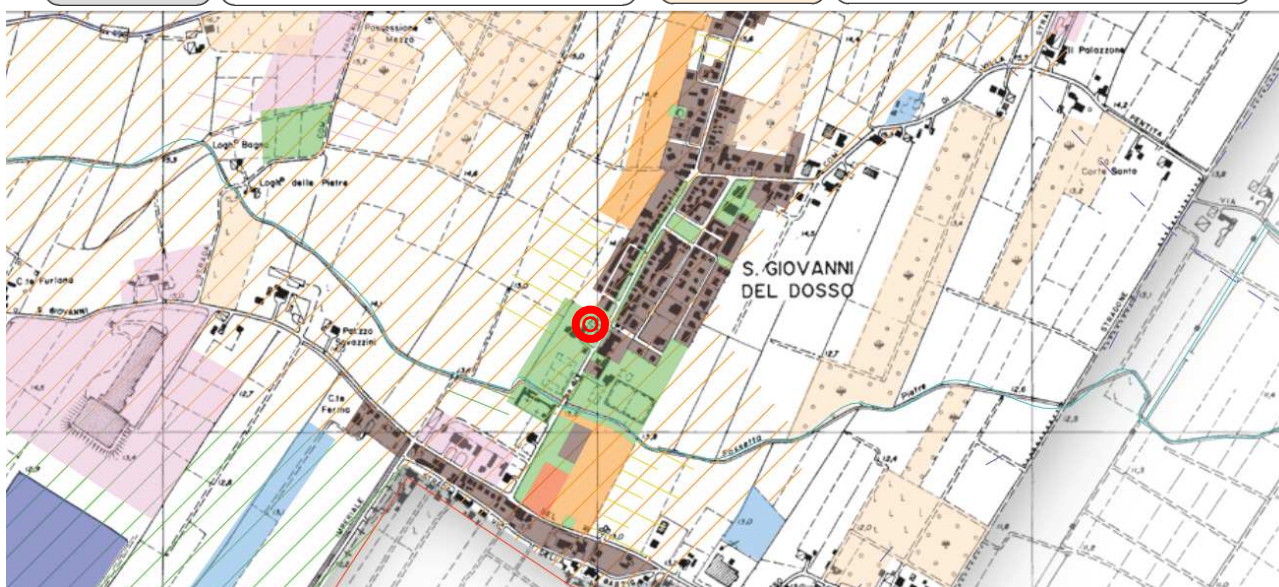












Fig.7: stralcio carta "inquadramento territoriale infrastrutture e sviluppo rete ambientale" del PGT comunale.

Secondo la "Carta del Sistema Paesaggistico Físico e Naturale", del PTCP della Provincia di Mantova variante del 2010, il sito di studio rientra in un'area urbanizzata e consolidata.

	Corridoi e gangli primari	
Secondo livello della rete - aree di protezione dei valori ambientali Art. 33.2		
	Corridoi verdi secondari	
	Nodi potenziali secondari della rete di valore naturale	
	Nodi potenziali secondari della rete di valore storico-culturale	
Terzo livello della rete- aree di conservazione o ripristino dei valori naturali dei territori agricoli Art. 33.3		
	Aree di conservazione e ripristino dei valori di naturalità dei territori agricoli	
Interferenze ed altri elementi nel progetto di rete Art. 33.4 Art. 33.5		
	Ambiti insediativi di interferenza	
	Barriere infrastrutturali	
	Zone di ripopolamento e cattura	
Urbanizzato		
	Consolidato	
	Disponibile	

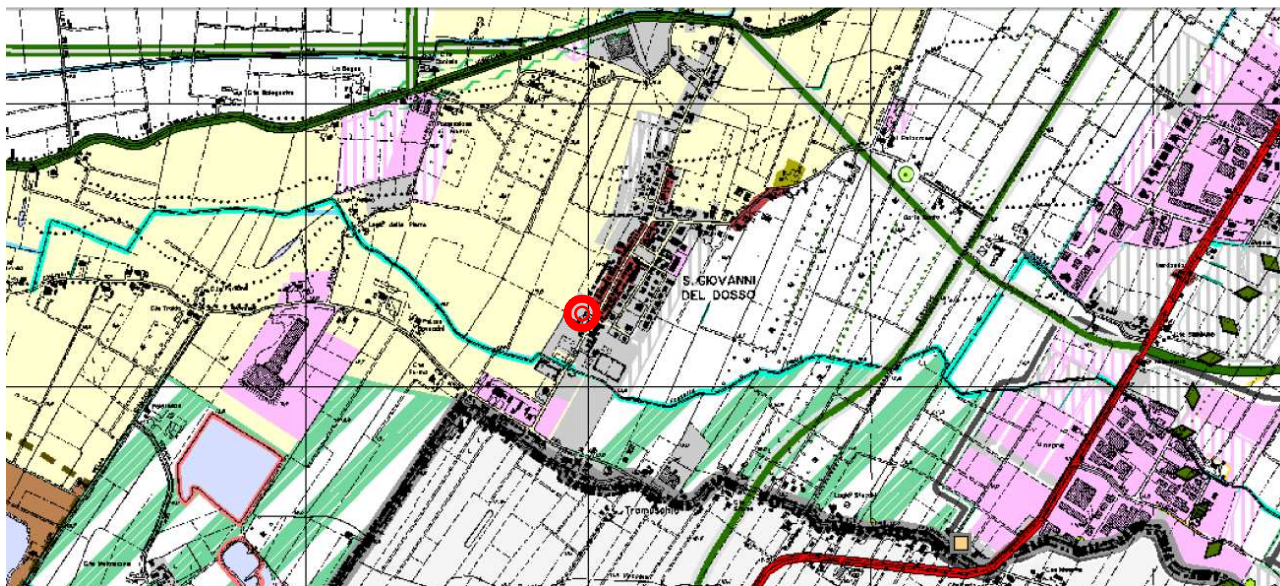


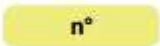
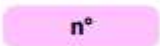
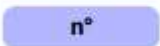

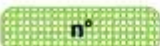
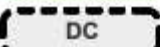
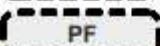



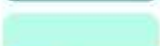









Fig.8: Stralcio "Carta del Sistema Paesaggistico Fisico e Naturale del PTCP Variante 2010.

Secondo la “Carta Analisi delle criticità e del sistema vincolistico del territorio”, del PGT Comunale, il sito di studio rientra in un’area destinata a servizi in classe di fattibilità geologica 2b che sta a indicare: terreni limo-sabbiosi e zone di dosso con profondità del tetto delle sabbie maggiore di 8 metri dal piano campagna e soggiacenza della frangia freatica superficiale minore di 1,50 metri dal p.c..

ELEMENTI DI INDAGINE E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	
	CONFINE COMUNALE
	CONFINE REGIONALE
	AMBITI DI TRASFORMAZIONE RESIDENZIALE
	AMBITI DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA
	AMBITI DI TRASFORMAZIONE COMMERCIALE E SERVIZI
	AMBITI DI TRASFORMAZIONE COMMERCIO/TRATTAMENTO INERTI
	AMBITI DI TRASFORMAZIONE IN CONTESTO AGRICOLO (RECUPERO E RIUSO COMPLESSI RURALI)
	AREA PER DISTRIBUTORE DI CARBURANTE
	PARCO FOTOFOLTAICO
	AREE RESIDENZIALI (TERRITORIO URBANO CONSOLIDATO, IN ATTUAZIONE E NUCLEI URBANI)
	AREE PRODUTTIVE (TERRITORIO PRODUTTIVO CONSOLIDATO ED IN ATTUAZIONE)
	AREE DESTINATE A SERVIZI (AREE CONSOLIDATE ED IN ATTUAZIONE)
	AREE IDRICHE
	PIOPPETI
	TRACCIATO STRADALE PREVISTO
	INIZIO E FINE DELIMITAZIONE CENTRO ABITATO (D.G.C. n° 213/1993)

RETE FOGNARIA COMUNALE ESISTENTE	
	LINEE CONDOTTE: ACQUE BIANCHE
	LINEE CONDOTTE: ACQUE MISTE
	LINEE CONDOTTE: ACQUE NERE
	SCOLO






FATTIBILITA' GEOLOGICA	
	CLASSE DI FATTIBILITA' 2a (CON MODESTE LIMITAZIONI)
	CLASSE DI FATTIBILITA' 2b (CON MODESTE LIMITAZIONI)
	CLASSE DI FATTIBILITA' 2c (CON MODESTE LIMITAZIONI)
	CLASSE DI FATTIBILITA' 2d (CON MODESTE LIMITAZIONI)
	CLASSE DI FATTIBILITA' 3 (CON CONSISTENTI LIMITAZIONI)



Fig.9: "Carta Analisi delle criticità e del sistema vincolistico del territorio " del PGT Comunale

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 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e numero 1 prova penetrometrica statica meccanica.

La prova elettrica è stata realizzata con un penetrometro statico da 300 KN munito di punta elettrica con piezocono "Envi Memocone" con inclinometro per la determinazione in continuo delle caratteristiche litologiche e idrauliche dei terreni.

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

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

La prova penetrometrica statica meccanica è stata realizzata 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.10: 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 del sito si presenta con livelli litologici aventi diverse proprietà litostratigrafiche:

- da 0.00 a – 4.40 m sono presenti limi argillosi poco consistenti;
- da – 4.40 m a – 7.20 m si evidenziano argille mediamente compatte;
- da – 7.20 m a – 9.80 m sono presenti limi sabbiosi sciolti e limi argillosi poco consistenti;
- da – 9.80 m a – 15.20 m si evidenziano argille mediamente compatte;
- da – 15.20 m a – 30.00 m si riscontrano sabbie addensate.

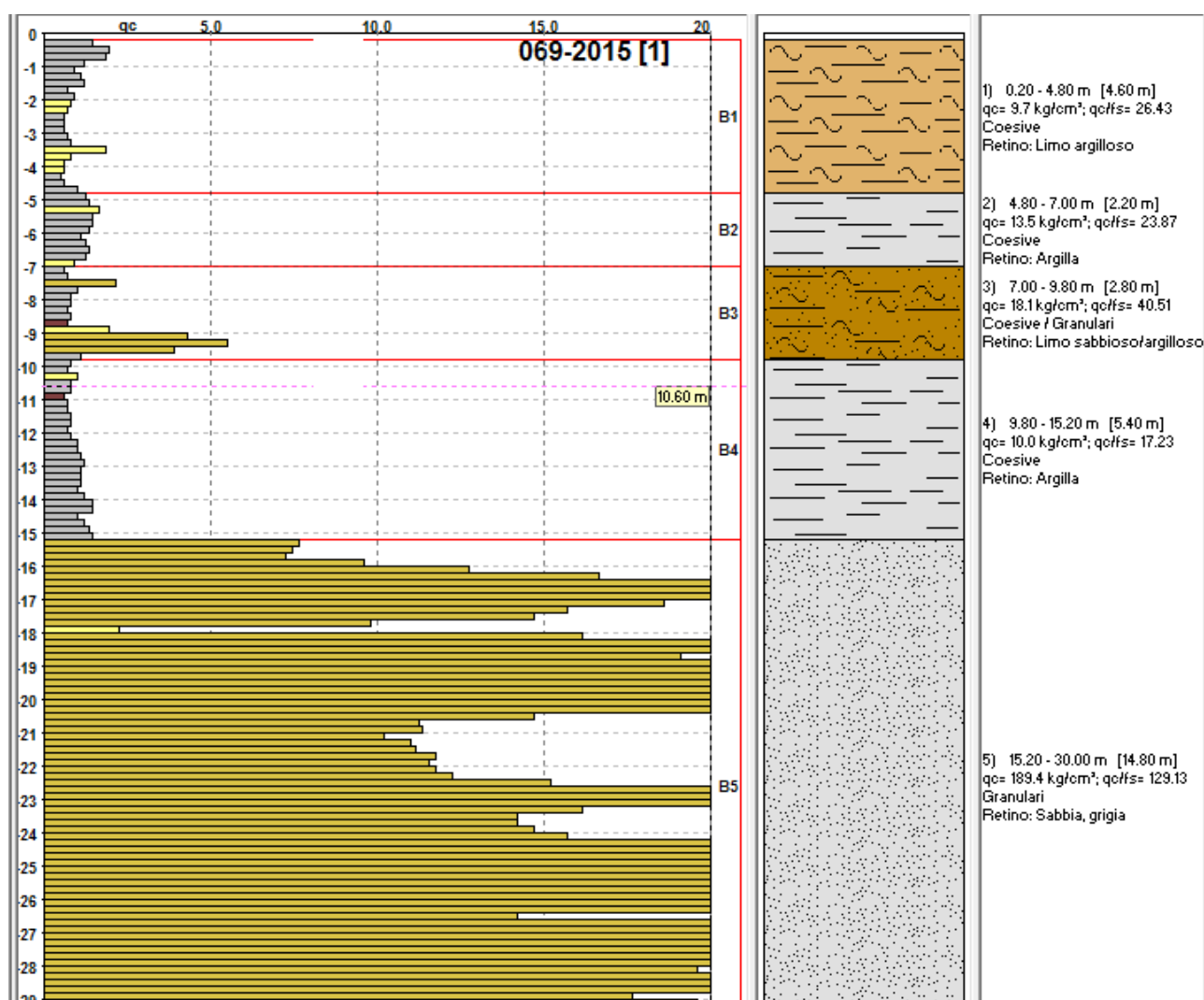


Fig.11: Schema sequenza stratigrafica CPT n.1

In allegato (All. n.2) si riportano:

Diagrammi penetrometrici CPT riportanti

- qc (MPa);
- fs (MPa);
- valori della qc/fs (F) (numero puro);

Diagrammi penetrometrici CPTU riportanti

- qc (MPa);
- fs (MPa);
- valori della fs/qc % (Rf) (numero puro);
- Pure pressure (Mpa)
- inclinazione dalla verticale (°)

In allegato (All. n.5) si riportano le tabelle di campagna :

Valori della CPT ogni 20 cm riportanti

- lettura di campagna L1
- lettura di campagna L2
- valori della qc (MPa);
- valori della fs (KPa);

Valori della CPTU ogni 2 cm riportanti

- valori della qc (MPa);
- valori della pure pressione (KPa);
- valori della fs (KPa);
- valori dell'inclinazione in °.

3.5 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Al fine di caratterizzare i singoli strati della sequenza litologica, riscontrata dall'indagine, 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	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	eSc2	eCa	eKo	eDB	eDM	eMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
	m	m	kg/cm²	kg/cm²	-	t/m²	kg/cm²	m/sec	kg/cm²	-	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	-	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
1	0.20	4.80	9.65	0.37	26.43	1.32	0.41	160	0.45	15.89	126.8	190.2	38.0	13.6	32.9	24.9	21.7	20.4	28.4	26.0	--	16.3	24.5	29.40
2	4.80	7.00	13.45	0.56	23.87	0.93	0.76	163	0.62	4.93	206.3	309.5	47.0	9.9	32.4	23.6	20.2	19.1	27.0	26.4	--	21.7	32.5	39.00
3	7.00	9.80	18.14	0.45	40.51	0.85	0.97	166	0.44	2.37	208.9	313.4	35.2	34.3	35.4	27.2	24.0	22.6	30.8	29.4	--	60.7	91.0	109.20
4	9.80	15.20	10.04	0.58	17.23	0.88	1.32	160	0.49	1.78	269.7	404.6	38.9	0.0	31.3	20.6	17.1	16.2	25.0	26.0	--	16.7	25.0	30.00
5	15.20	30.00	189.42	1.44	131.15	1.11	2.38	275	0.87	2.43	463.8	695.8	69.0	71.0	39.8	31.3	28.3	26.5	35.5	37.2	--	315.7	473.5	568.26

Fig.12: Valori GEOTECNICI MEDI per ogni strato delle sequenze litologiche riscontrate CPT N.1.

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 c_u e di ϕ , derivati dalle correlazioni dei valori di q_c e f_s ricavati direttamente dalla prova penetrometrica mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 – Marsal et al. 1974/1979).

COESIONE NON DRENATA Terreni COESIVI $C_u = R_p/\beta$		
CORRELAZIONI STANDARD - Raccomandazioni A.G.I. 1977 - Ricceri et altri 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.13: 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 dalla prova penetrometrica, interpretati e “ragionati” dalla scrivente.

Primo strato da 0.00 m a - 4.40 m: limi argillosi poco consistenti: $c_{uk} = 37 \text{ kPa}$;

Secondo strato da - 4.40 m a - 7.20 m: argille mediamente compatte: $c_{uk} = 50 \text{ kPa}$;

Terzo strato da - 7.20 m a - 9.80 m: limi sabbiosi sciolti e limi argillosi poco consistenti: $c_{uk} = 35 \text{ kPa}$; $\phi_k = 23^\circ$;

Quarto strato da - 9.80 m a - 15.20 m: argille mediamente compatte: $c_{uk} = 47 \text{ kPa}$;

Quinto strato da - 15.20 m a - 30.00 m: sabbie addensate: $\phi_k = 32$.

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 - 4.40	Limi argillosi poco consistenti	16	18	2÷4	11÷13	37
4.40 - 7.20	Argille mediamente compatte	17	19	5÷7	14÷16	50
7.20 - 9.80	Limi sabbiosi sciolti e limi argillosi poco consistenti	17	19.50	1÷3	22÷24	35
9.80 - 15.20	Argille mediamente compatte	17	19	5÷7	14÷16	47
15.20 - 30.00	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 (v)	Modulo elastico E' (kPa)	Modulo Edometrico Ed (kPa)
0.00 - 4.40	Limi argillosi poco consistenti	16	18	0.45	/	3000÷4000
4.40 - 7.20	Argille mediamente compatte	17	19	0.45	/	5000÷7000
7.20 - 9.80	Limi sabbiosi sciolti e limi argillosi poco consistenti	17	19.50	0.40	5000÷8000	/
9.80 - 15.20	Argille mediamente compatte	17	19	0.45	/	5000÷7000
15.20 - 30.00	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 $E_d \leq R_d$ venga sempre verificata.

Cioè l'effetto delle azioni di progetto (E_d) deve essere sempre non superiore alle Resistenze di progetto (R_d) 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_{Qi}	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	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	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 Q_{ult} (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 (Q_{ult}) e delle resistenze di

progetto (Rd) sono stati considerati entrambi gli approcci **in condizioni drenate e non drenate e statiche**.

Le resistenze sono state definite alla profondità di - 2.50 metri considerando una fondazione a trave di larghezza B = 2.00 metri .

DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	2.0 m
Lunghezza fondazione	22.0 m
Profondità piano di posa	2.5 m
Altezza di incastro	2.5 m
Profondità falda	2.55

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
4.4	16.0	18.0	12.0	3.0	37.0	0.0	3500.0	0.45	Limi argillosi
2.8	17.0	19.0	15.0	6.0	50.0	0.0	6000.0	0.45	Argilla
2.6	17.0	19.5	23.0	2.0	35.0	7000.0	0.0	0.40	Limo sabbioso e limo argilloso
5.4	17.0	19.0	15.0	6.0	47.0	0.0	6000.0	0.45	Argilla
14.8	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 combinazione	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] 149.27 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 82.93 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 5970.92 kN/m³
A2+M2+R2

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.39
Fattore [Nc]	8.19
Fattore [Ng]	0.36
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.36
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]	1.21
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.96
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	147.47 kN/m ²
Resistenza di progetto	81.93 kN/m ²

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.6
Fattore [Nc]	9.42
Fattore [Ng]	1.19
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	137.12 kN/m ²
Resistenza di progetto	76.18 kN/m ²

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.39
--------------	------

Fattore [Nc]	8.19
Fattore [Ng]	1.15
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.36
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]	1.21
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.96
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	154.25 kN/m ²
Resistenza di progetto	85.7 kN/m ²

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.39
Fattore [Nc]	8.19
Fattore [Ng]	0.47
Fattore forma [Sc]	1.03
Fattore profondità [Dc]	1.36
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]	1.21
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.97
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	149.27 kN/m ²
Resistenza di progetto	82.93 kN/m ²

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

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

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 178.31 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 99.06 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7132.51 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]	1.02
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 178.31 kN/m²

Resistenza di progetto 99.06 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. Capacità 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] 196.31 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 85.35 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7852.24 kN/m³
A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.97
Fattore [Nc]	9.28
Fattore [Ng]	0.63
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.36
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]	1.24
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.96
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 193.39 kN/m²

Resistenza di progetto 84.08 kN/m²

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	3.29
Fattore [Nc]	10.76
Fattore [Ng]	1.7
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 178.78 kN/m²

Resistenza di progetto 77.73 kN/m²

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.97
Fattore [Nc]	9.28
Fattore [Ng]	0.6
Fattore forma [Sc]	1.03
Fattore profondità [Dc]	1.31
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.01
Fattore profondità [Dq]	1.15
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.01
Fattore profondità [Dg]	1.15
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	182.81 kN/m ²
Resistenza di progetto	79.48 kN/m ²

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.97
Fattore [Nc]	9.28
Fattore [Ng]	1.69
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore profondità [Dc]	1.36
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]	1.24
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.96
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	202.4 kN/m ²
Resistenza di progetto	88.0 kN/m ²

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	2.97
Fattore [Nc]	9.28
Fattore [Ng]	0.84
Fattore forma [Sc]	1.03

Fattore profondità [Dc]	1.36
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]	1.24
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.97
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	196.31 kN/m ²
Resistenza di progetto	85.35 kN/m ²

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

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

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 233.64 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 101.58 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 9345.51 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]	1.02
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	233.64 kN/m ²
Resistenza di progetto	101.58 kN/m ²

Pertanto riassumendo i valori delle resistenze **in condizioni drenate e non drenate statiche** alla profondità di – 2.50 m e considerando una fondazione superficiale a trave, secondo la formula di Brinch – Hansen (1970) 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] 149.27 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 82.93 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 5970.92 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

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

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 178.31 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 99.06 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7132.51 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] 196.31 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 85.35 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7852.24 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

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

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 233.64 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 101.58 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 9345.51 kN/m³

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

5.1 CENNI DI SISMOTETTONICA

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

In profondità sono, infatti, presenti 3 serie di thrusts sepolti, dei quali due a sviluppo sequenziale frontale e uno a sviluppo sequenziale a ritroso (v. Fig. 15), costituenti sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico. Essi si sono formati attraverso faglie inverse e sovrascorrimenti immergenti verso sud - ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

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

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

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

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

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

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

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

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

Queste zone di alto permettendo di ipotizzare un'attività tardo - pleistocenica della struttura.

Il Fiume Po sembra seguire fino a Pomponesco la zona assiale della Monoclinale Pedalpina, dove peraltro si registra il massimo ispessimento dei depositi quaternari, per poi dirigersi verso nord adattandosi alla presenza dell'alto strutturale relativo alle

pieghe ferraresi sismicamente attive.

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

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

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

A sud risulta essere delimitata dai fronti sepolti delle pieghe emiliane e ferraresi e a nord dal margine pedealpino bresciano-veronese, deformazioni tettonicamente e sismicamente attive, è interessata da un blando regime di compressione e sprofondamento, esercitato essenzialmente da Sud.

Le componenti deformazionali, indotte dalle strutture sismogeniche poste al contorno, comportano modesti accumuli di energia, i quali si liberano saltuariamente nelle aree di minore resistenza rappresentate dalla struttura di Piadena, Mantova e Sanguinetto (v. Fig. 15). Queste ultime sono deformazioni secondarie che, seppur debolmente, risultano tettonicamente e sismicamente attive.

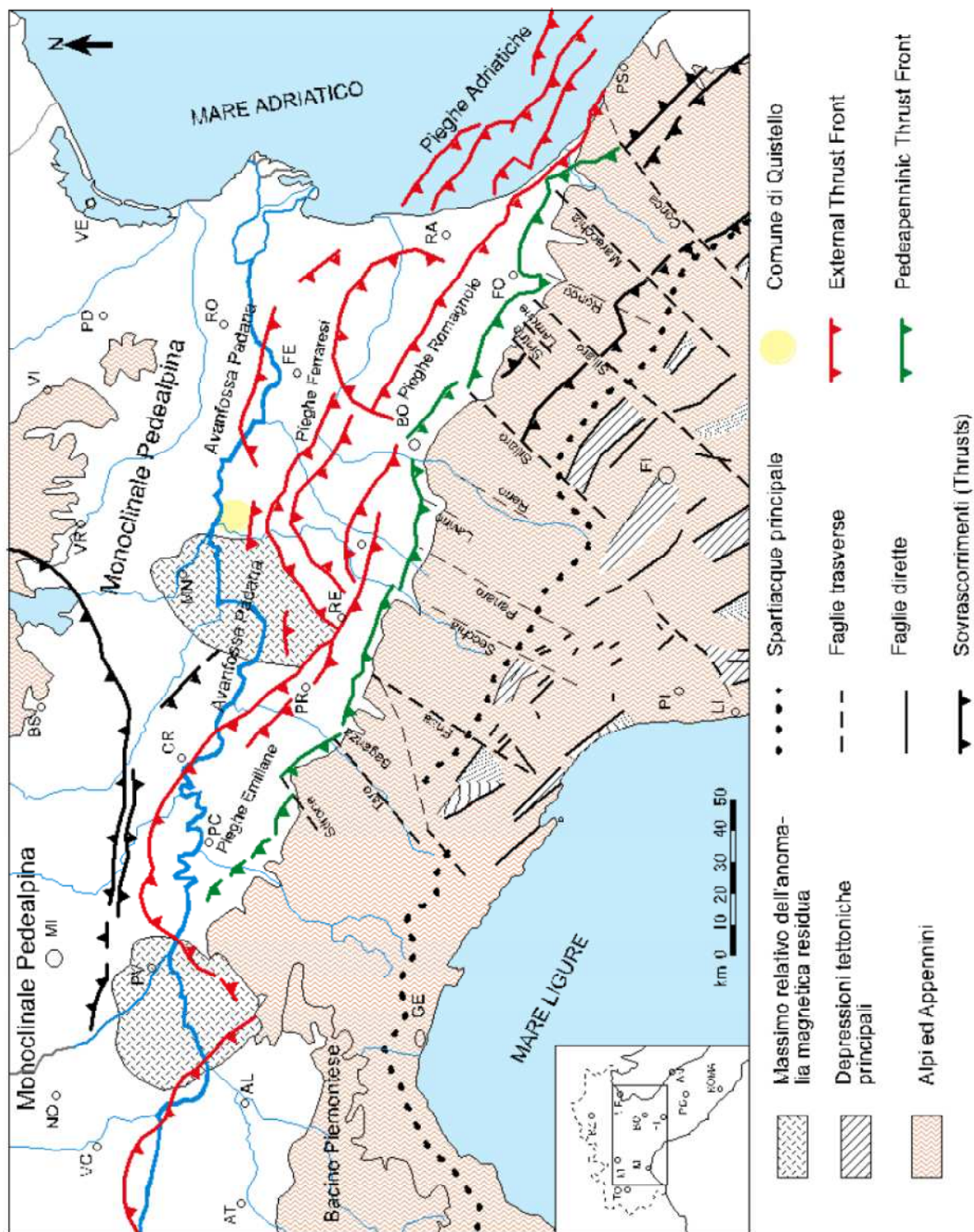


Fig. 14: Struttura tettonica semplificata dell'Appennino settentrionale e dell'avanfossa padano - adriatica (AGIP 1983; modificato).

5.2 SISMICITA' DEL TERRITORIO

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

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

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

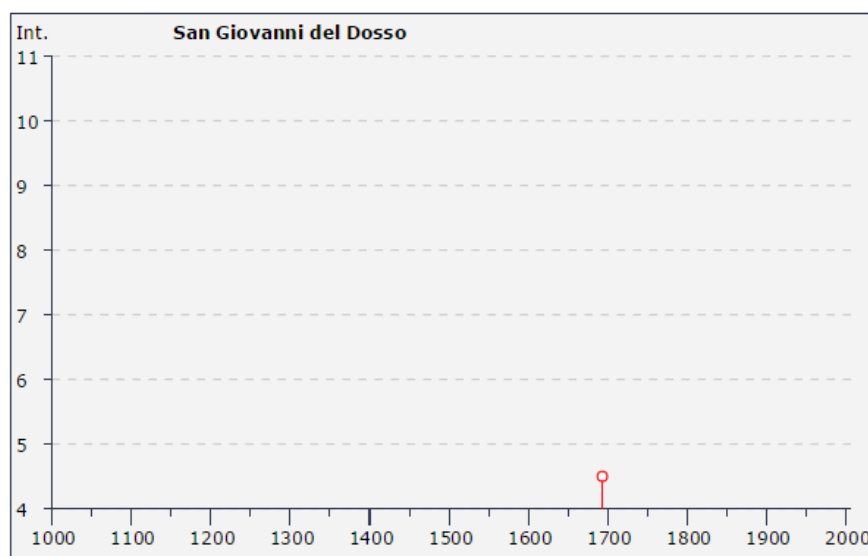
Nella tabella sottostante sono riportati i dati storici del comune di San Giovanni del Dosso reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di San Giovanni del Dosso [44.966, 11.079]



Numero di eventi: 5

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4-5	1693 07 06 09:15	GOITO	13	7 5.22 ±0.72
NF	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21
NF	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
NF	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17
3	2000 06 18 07:42	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 Ml e 6.1 Mw, l'epicentro è localizzato nel comune di Finale Emilia ad una profondità di circa 6 km;
- Terremoto del 29 Maggio 2012, caratterizzato da una magnitudo di 5.8 Ml e 6.0 Mw, l'epicentro è localizzato nel comune di Medolla ad una profondità di circa 10 km.

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 San Giovanni del Dosso non ricade in nessuna particolare zona sismogenetica. Tuttavia, considerando la vicinanza del territorio comunale alla zona sismogenetica numero 912 ed alla necessità di inserire un valore di Magnitudo Momento Sismico (Mw) all'interno del calcolo del potenziale di liquefazione, il Comune di San Giovanni del Dosso verrà considerato all'interno della zona 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.

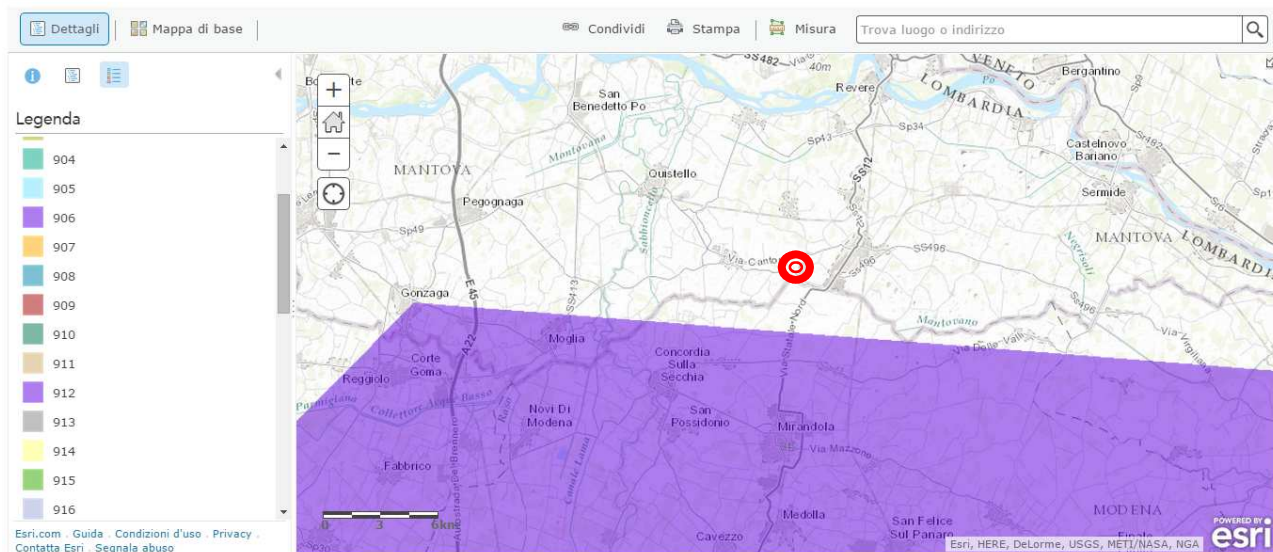


Fig.15: Zonizzazione sismogenetica ZS9.

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

5.3 PERICOLOSITA' SISMICA

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

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

L'O.P.C.M. 3274 e s.m.i. è entrata in vigore il 23 ottobre 2005 in concomitanza con le nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 settembre 2005); da tale data è quindi vigente la classificazione sismica del territorio nazionale che, per la Regione Lombardia, è mostrata in Figura 16.

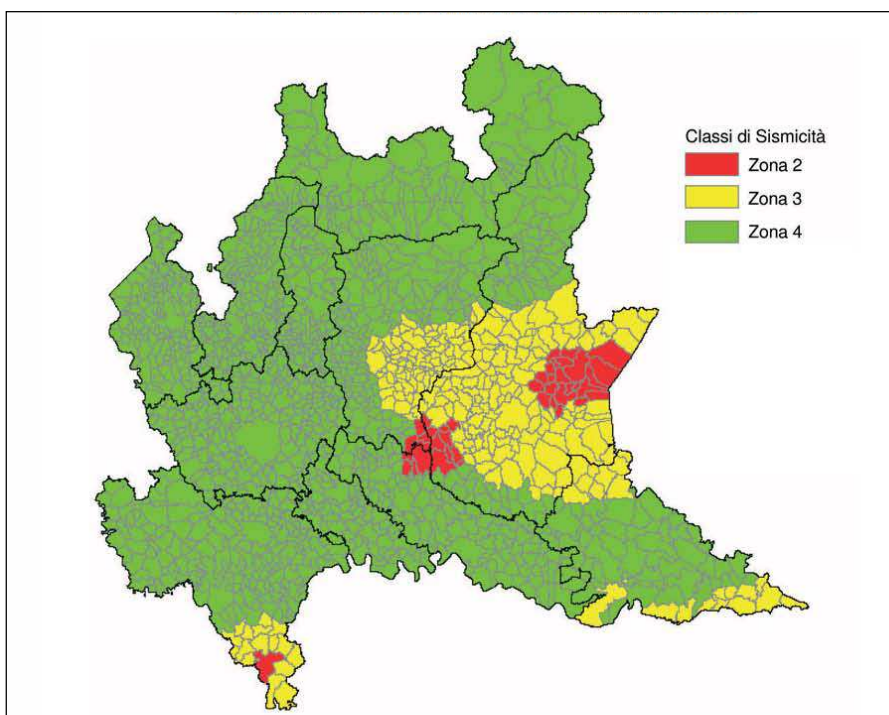


Fig.16: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

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

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

Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'OPCM n. 3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, da attribuire alle 4 zone sismiche così come riportato nella tabella di seguito.

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

Tuttavia la mappa di pericolosità dell'Ordinanza 3519 non è mai stata recepita dalla Regione Lombardia ai fini della riclassificazione amministrativa.

È stata differita al 14 ottobre 2015 l'entrata in vigore della nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, approvata con D.G.R. 21 luglio 2014 n.2129. Lo ha stabilito la Giunta regionale con la Delibera del 10 ottobre 2014 - n. X/248.

Tale classificazione prevede che il comune di San Giovanni del Dosso rimanga inserito nella zona 3.

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

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

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

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera; un valore di pericolosità di base, dunque, viene definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli Enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Come accennato in precedenza, in seguito all'emanazione della O.P.C.M. 3274/2003 e del D.M. 14.09.2005, è stata prodotta una nuova versione della Carta della Pericolosità Sismica del territorio nazionale (INGV anno 2004 e 2006).

La mappa riporta il valore dell'accelerazione orizzontale massima a_g che ha la probabilità di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni; tale valore di probabilità, che corrisponde ad un periodo di ritorno di 475 anni, è assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente.

Nella figura seguente si riporta l'estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia, da cui si ricava che per il territorio di San Giovanni del Dosso il valore di a_g atteso risulta compreso tra **0.100** e **0.125** g, ovvero può assumere valori compresi a quelli previsti dalla normativa per la zona sismica 3 dal D.M. 14.09.2005 (**$0.05 < a_g \leq 0.15$**).

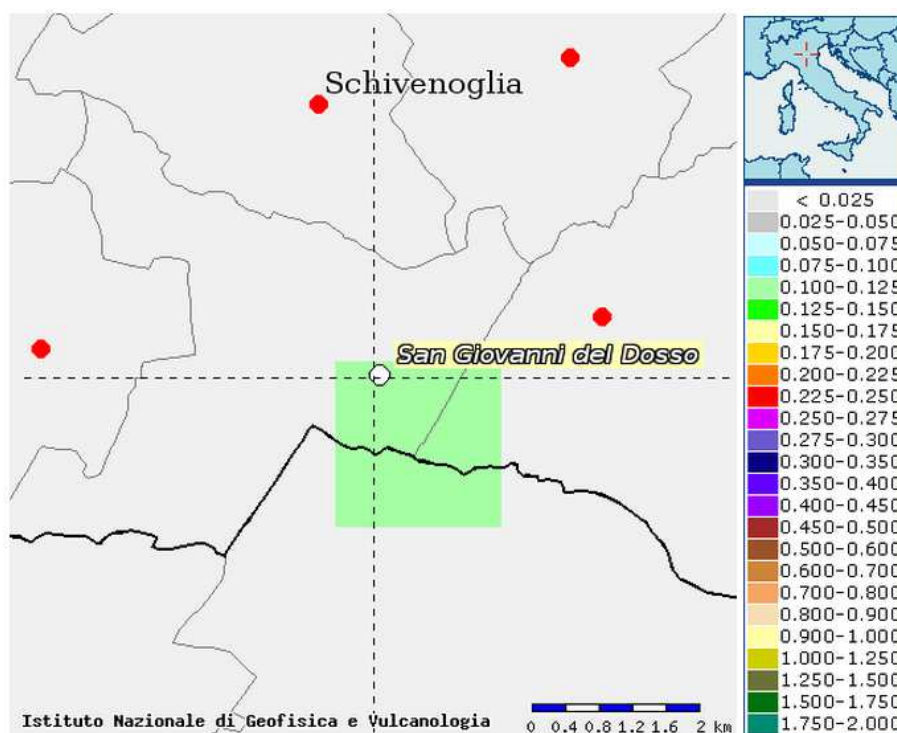


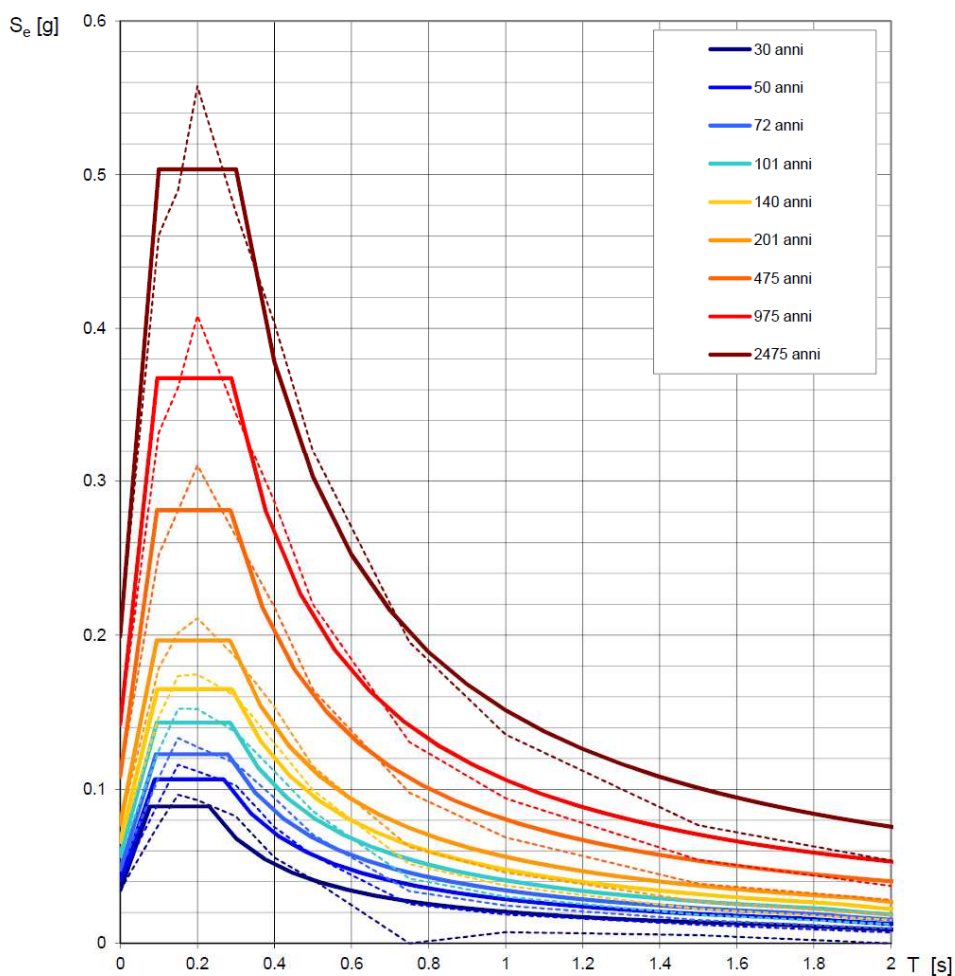
Figura 17: Stralcio della mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

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

In figura 18 si riportano gli spettri UHS (calcolati dalla media pesata dei valori relativi ai 4 vertici della griglia di accelerazioni - reticolo di riferimento per il calcolo degli studi di PS - INGV, 2006-2008 - che comprendono il sito in esame così come definito nell'Allegato A e B del D.M. 14.01.2008) e i relativi Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

Si rileva come lo spettro previsto dal D.M. 14.09.2005 (accelerazione orizzontale massima a_g con probabilità di essere superata corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni = **0,05 g**), sottostimi i valori ricavati dal criterio "sito dipendente" (**0.108 g**) (D.M. 14.01.2008).

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



Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.034	2.582	0.230
50	0.041	2.593	0.269
72	0.048	2.562	0.279
101	0.057	2.515	0.285
140	0.066	2.513	0.290
201	0.077	2.546	0.285
475	0.108	2.598	0.286
975	0.142	2.590	0.288
2475	0.199	2.529	0.300

Figura 18: Spettri di risposta UHRS (calcolati dalla media pesata dei valori relativi ai 4 vertici della griglia di accelerazioni che comprendono il Comune di San Giovanni del Dosso) e i relativi Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

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

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

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

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

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

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

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente: i primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione, come nel caso di studio.

5.4 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO

5.4.1. Analisi di primo livello

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

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

Considerando che:

- i terreni presenti nel sito di studio sono limi argillosi\argille da poco consistenti a mediamente consistenti e limi sabbiosi sciolti/sabbie addensate;
- il livello della frangia freatica superficiale è stato misurato nei fori di prova in data 20/07/2015, alla quota di - 2.55 m;
- il sito è completamente pianeggiante;
- La Magnitudo momento definita sulla base della zona Sismogenetica di appartenenza Maw = 6.14 (Zona Sismogenetica 912)

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

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

Quindi secondo la tabella di seguito esposte il sito oggetto di intervento si trova in zona Z4a "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi ma con depositi granulari fini con livello superiore della falda acquifera a profondità minore di 15 m dal piano che possono generare fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici".

Gli effetti attesi sono: amplificazioni litologiche e geometriche.

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

Fig.19: Scenari di pericolosità sismica locale.

Il sito di studio è indicato come Zona Z4a anche nella Carta “Pericolosità Sismica Locale” redatta per il PGT del Comune di San Giovanni del Dosso che riporta la tabella di seguito

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI	CASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali coesivi e granulari	Amplificazioni litologiche e geometriche	H2 – livello di approfondimento 2°

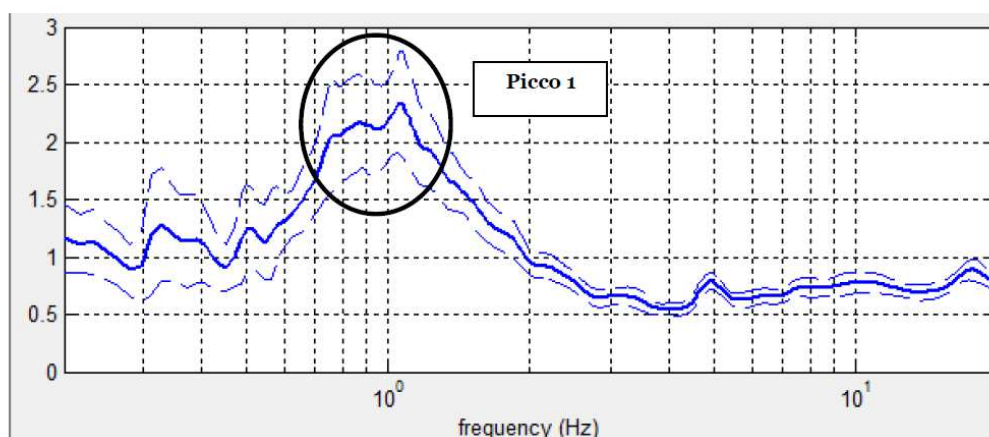
5.4.2. Analisi di secondo livello

5.4.2.1 Definizione categoria sismica mediante analisi del sottosuolo in sismica passiva HVRS e attiva in onde Rayleigh con metodo HoliSurface

La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo e la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato sono ricavati dall'analisi di una acquisizione in sismica passiva di microtremiti HVSR, una indagine di sismica passiva SPAC e di una acquisizioni in sismica attiva MFA con metodo HoliSurface.

Si allega in calce la relazione di modellazione sismica redatta dal Dott. Geol. Lorenzo del Maschio (All. n.6).

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, abbiamo un **picco stratigrafico** caratteristico **alla frequenza caratteristica di 1.1 Hz e periodo caratteristico pari a 0.91 s**. **Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli ($2 < H/V < 3$) in caso di moto sismico**.



Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)
1	~ 2.3	~ 1.1

5.4.3 Modello sismico del sottosuolo

Il profilo di V_s 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.

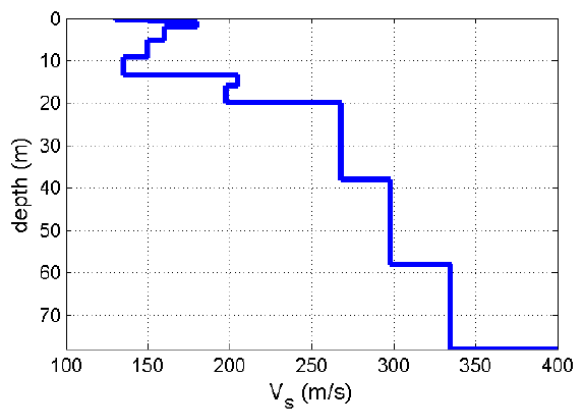
Per il calcolo si è applicato il procedimento di calcolo indicato dalla Normativa secondo la formula:

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

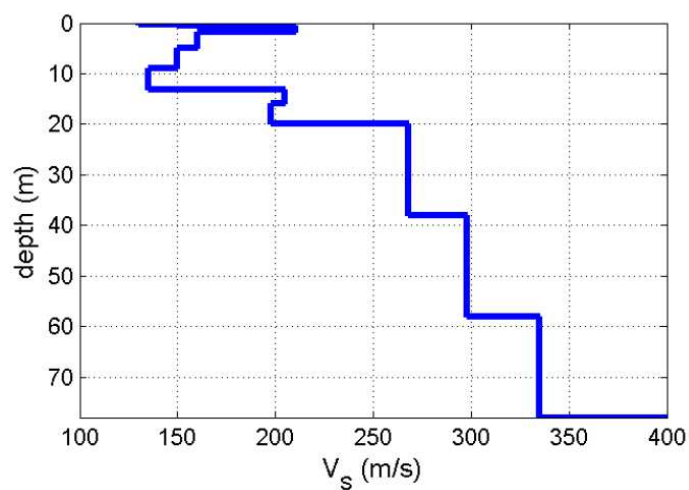
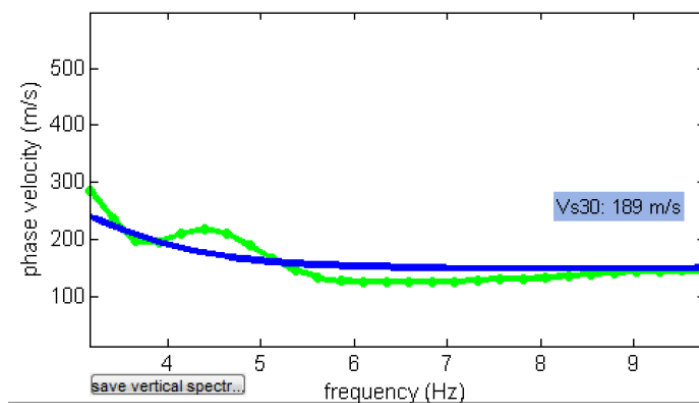
I risultati dettagliati nella relazione di analisi sismica allegata sono:

V_s (30): compreso fra 187 - 189 m/s (Categoria di sottosuolo C)

- MFA - Hs



- SPAC



5.4.4 Modello sismico del sottosuolo

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).

5.4.5 Analisi di Risposta Sismica Locale di III livello con valutazione amplificazione litologica e definizione dei spettri di risposta elastici

Cautelativamente si è scelto di applicare il terzo livello di approfondimento in quanto trattasi di edificio strategico e rilevante (cfr. elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) e soprattutto perchè dalle prove sismiche eseguite in sito il valore di V_{s30} è di poco sopra alla soglia indicata da normativa per un suolo di tipo C e D e quindi si è preferito definire uno spettro da RSL.

Il calcolo delle risposta sismica locale **nelle analisi di terzo livello** è eseguito sulla base di segnali di riferimento assegnati ad ogni comune.

Tali segnali sono rappresentativi dello scuotimento atteso su un suolo di riferimento, quest'ultimo inteso come la superficie al di sotto della quale si può assumere una velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) superiore o uguale a 800 m/s. La profondità approssimativa di 100-120 m da p.c. segna un contrasto di impedenza che separa la successione alluvionale caratterizzata da valori di V_s intorno ai 400/500 m/s da corpi con $V_s \geq 800$ m/s.

Il valore di $a_g(g)$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido viene considerato uguale a 0.126 che deriva dai dati imposti secondo le NTC (2008) per il sito in oggetto, scalato per un coefficiente d'uso 1.5 che corrisponde ad una classe d'uso III (edifici suscettibili di affollamento), vita nominale ≥ 50 anni (opere ordinarie).

Si definiscono così i fattori amplificativi espressi come rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (PGA/PGA_0) e si definiscono i fattori dell'Intensità spettrale di Housner IS.

Per poter effettuare tali analisi, è necessario definire l'azione sismica da applicare al substrato roccioso, rappresentata da un numero prefissato di registrazioni accelerometriche. Si sono utilizzati accelerogrammi naturali (il numero minimo che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati, secondo quanto prescritto dalle NTC 08) selezionato da banche accelerometriche digitali (ITACA 2008), imponendo i criteri di scelta e spettro-compatibilità imposti dalle NTC 08.

Il primo criterio per la selezione degli accelerogrammi reali è la compatibilità con i vincoli sismo tettonici del contesto geologico regionale ed, in particolare, con i valori di magnitudo, distanza epicentrale e i meccanismi focali dei terremoti di scenario che contribuiscono maggiormente alla pericolosità del sito.

Tale informazione può essere ottenuta dall'analisi di disaggregazione della pericolosità. I risultati della disaggregazione dello studio di pericolosità sismica sono disponibili sul sito web dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) per tutto il territorio nazionale, con riferimento ai punti del reticolo in cui esso è stato suddiviso.

Per il sito in esame si forniscono un valore medio di magnitudo $M=6.2$ e distanza epicentrale $d=19.58$ km.

Gli accelerogrammi spettro-compatibili sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica ISESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento

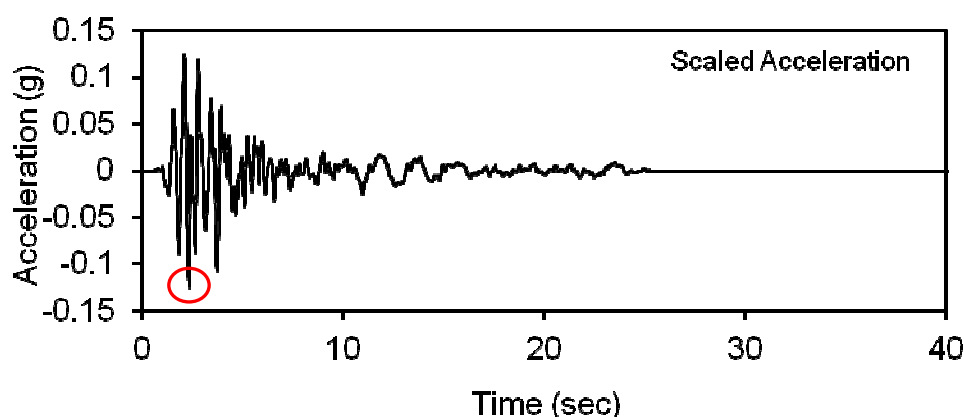
(nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ITACA.

I dati degli accelerogrammi spettro-compatibili selezionati sono di seguito riportati:

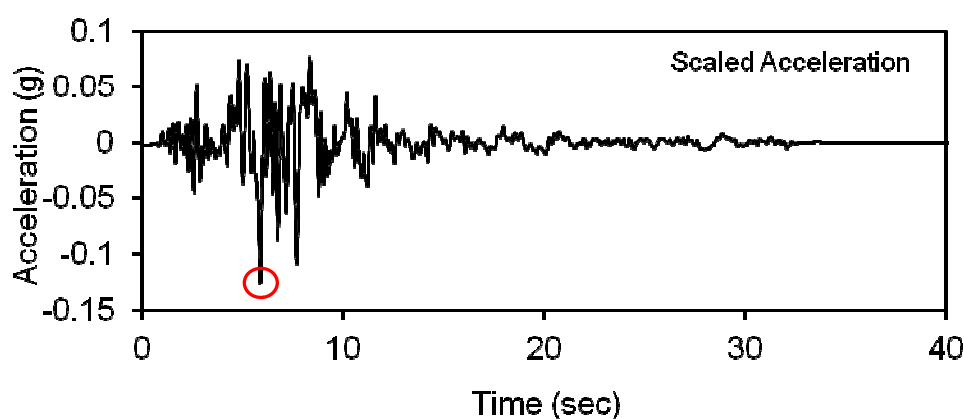
Waveform	Earthquak	Station ID	Earthquak Date	Mw	Fault Mec	Epicentral	PGA_X [m]	PGA_Y [m]	PGV_X [m]	PGV_Y [m]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
103	28 SRC0	FRIULI EAF	15/09/1976	5.9	Thrust	164,207	12,852	2,449	0.10752	0.20528	42,894	31,488	0.65334	0.55895	A
103	28 SRC0	FRIULI EAF	15/09/1976	5.9	Thrust	164,207	12,852	2,449	0.10752	0.20528	42,894	31,488	0.65334	0.55895	A
813	178 MTR	L'Aquila Mainshock		6.3	Normal	223,479	0.61371	0.42922	0.028864	0.035396	204,661	137,792	0.72241	0.96436	A
164	47 ALT	IRPINIA E/	23/11/1980	6.9	Normal	237,807	0.54875	0.56399	0.050589	0.062836	13,859	131,752	0.70845	11,284	A
79	23 SRC0	FRIULI EAF	11/09/1976	5.6	Thrust	258,944	0.77938	0.93103	0.031202	0.050466	61,419	65,706	0.75989	0.7707	A
164	47 ALT	IRPINIA E/	23/11/1980	6.9	Normal	237,807	0.54875	0.56399	0.050589	0.062836	13,859	131,752	0.70845	11,284	A
111	28 TRC	FRIULI EAF	15/09/1976	5.9	Thrust	84,677	12,684	10,038	0.063483	0.040067	127,182	149,887	0.96212	0.68326	A
mean:				6.2		19.58754	0.904185	1.198567	0.062824	0.094593	10.80329	9.712357	0.738286	0.827569	

Questi 7 segnali vengono “scalati” rispetto al comune a cui si riferiscono.

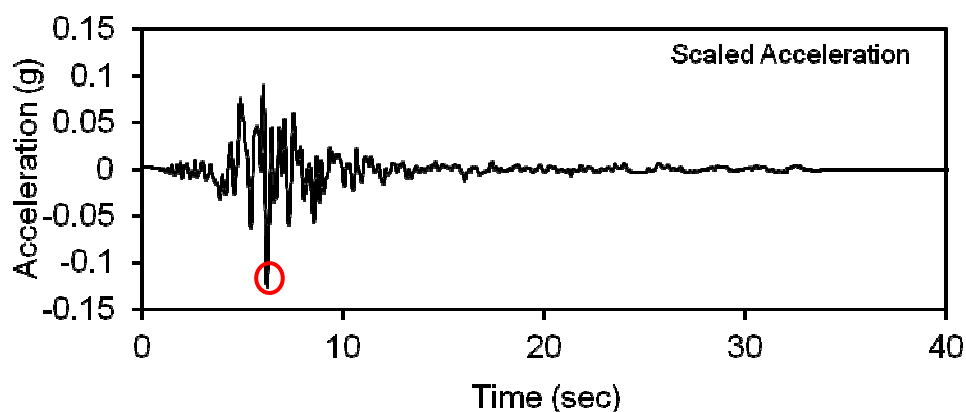
EARTHQUAKE IT0079xa



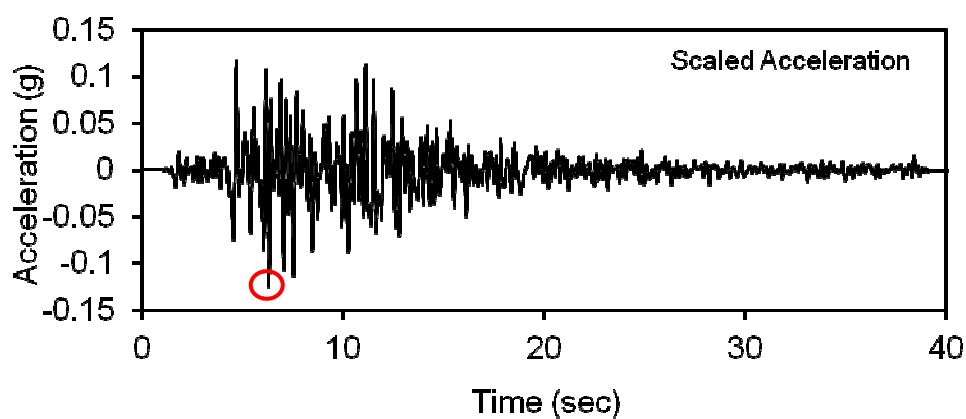
EARTHQUAKE IT0103xa



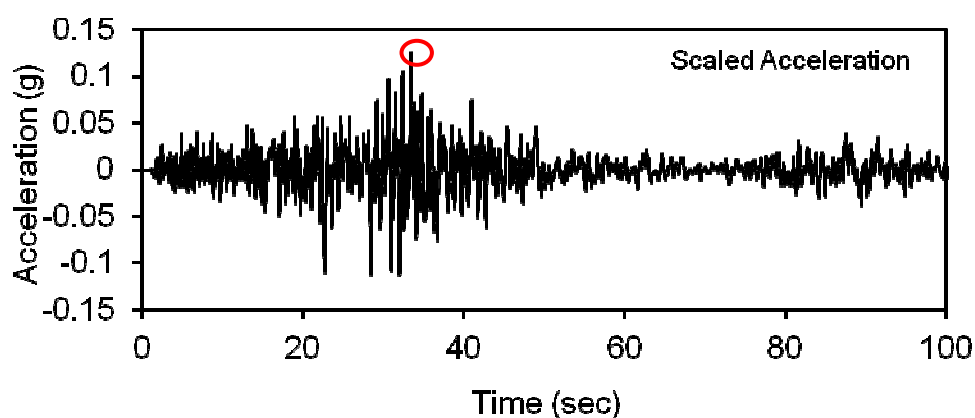
EARTHQUAKE IT0103ya



EARTHQUAKE IT0111xa



EARTHQUAKE IT0164xa



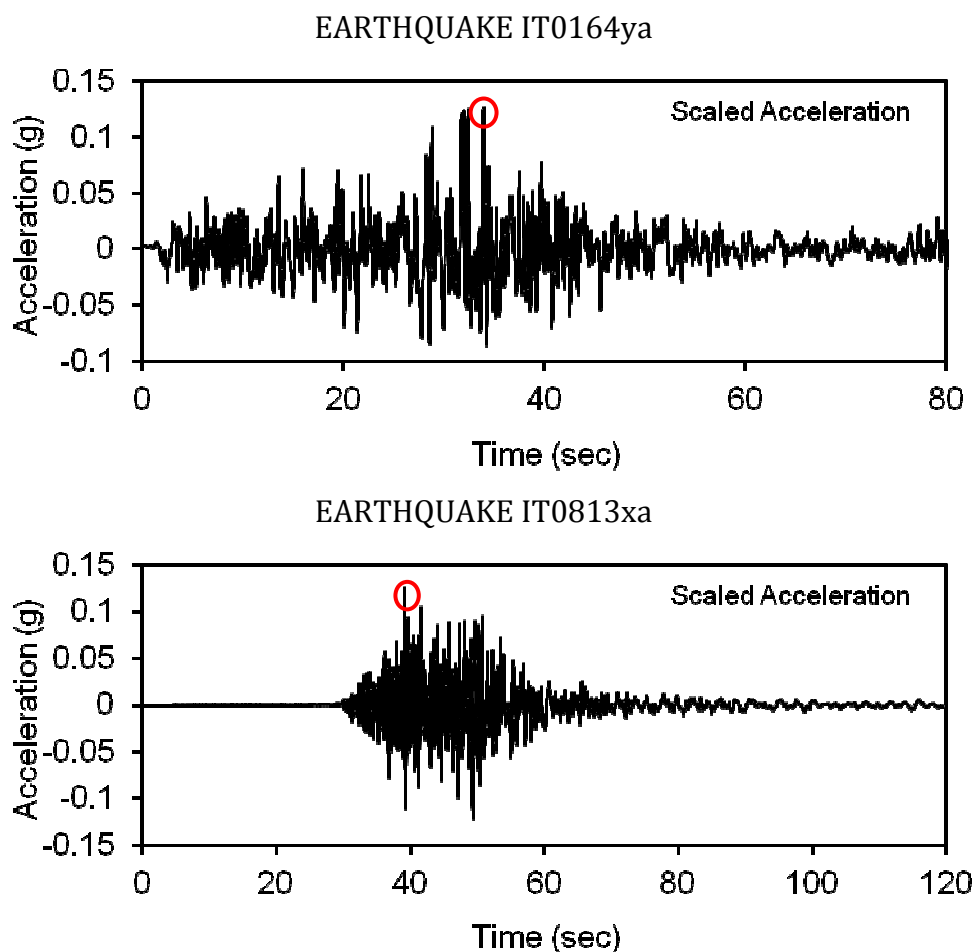


Fig.19: Accelerogrammi spettro-compatibili selezionati dalla banca dati accelerometrica ITACA per il sito di studio.

Nel cerchio, in ogni accelerogramma è indicata la PGA_0 di 0.126g cioè la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido così come indicato nel reticolo di riferimento per tempo di ritorno di 712 anni.

La costruzione della colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (*layer*) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (V_s) deriva per i primi 30 m da prove dirette ed indirette, prove penetrometriche e geofisiche; mentre per ciò che concerne l'intervallo più profondo delle conoscenze dirette (> 30 m), la stratigrafia viene estrapolata dalla combinazione di vari dati con le prove di microtremoni, che consentono una stima delle velocità ed una verifica della continuità geografica delle discontinuità rilevate. Per quanto riguarda l'attribuzione delle velocità delle onde di taglio (V_s) ai differenti layer costituenti la colonna litologica schematica, nell'intervallo superiore a 30 m vengono utilizzati i risultati derivanti dalle indagini geofisiche eseguite e per arrivare alla profondità del bedrock (118 metri) ci si è avvalsi della possibilità data dalla normativa per cui qualora le prove disponibili non abbiano raggiunto il bedrock, il profilo di V_s può essere estrapolato in profondità fino a

51

valori di $V_s = 800$ m/s, mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale.

I dati ottenuti e immessi nel programma sono elencati nella tabella di seguito.

Total number of sublayers = 17											
Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	0.3	31.01		18	130			0.2	2.70
	2	1	0.4	41.28		18	150			0.5	9.00
	3	1	1.2	59.45		18.0	180			1.3	23.40
	4	1	3.2	46.97		18.0	160		W	3.5	63.00
	5	1	4.0	41.28		18.0	150			7.1	108.18
	6	1	4.2	34.37		18.5	135			11.2	142.81
	7	1	2.7	81.39		19.0	205			14.6	173.46
	8	2	4.0	75.93		19.0	198			18.0	204.25
	9	2	10.0	146.43		20.0	268			25.0	273.58
	10	2	8.0	146.43		20.0	268			34.0	365.29
	11	2	10.0	181.0478973		20.0	298			43	457.000977
	12	2	10.0	181.0478973		20.0	298			53	558.901001
	13	2	10.0	240.2369843		21.0	335			63	665.801025
	14	2	10.0	240.2369843		21.0	335			73	777.70105
	15	3	10.0	454.128418		22.0	450			83	894.601074
	16	3	10.0	678.3893433		22.0	550			93	1016.5011
Bedrock	17	0	20.0	1435.27002		22.0	800	Outcrop		98	1077.45105

La modellazione numerica dei dati ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software EERAM (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses), che è un software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali che, eseguendo una sequenza di analisi lineari complete, è in grado raggiungere valori di rigidezza G e di smorzamento D compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio.

In particolare le curve di smorzamento per alluvioni argillose, alluvioni sabbiose e roccia utilizzate sono rappresentate in figura 20, 21 e 22.

Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.981	0.003	1.4
0.01	0.941	0.01	2.8
0.03	0.847	0.03	5.1
0.1	0.656	0.1	9.8
0.3	0.438	0.3	15.5
1	0.238	1	21
3	0.144	3.16	25
10	0.11	10	28

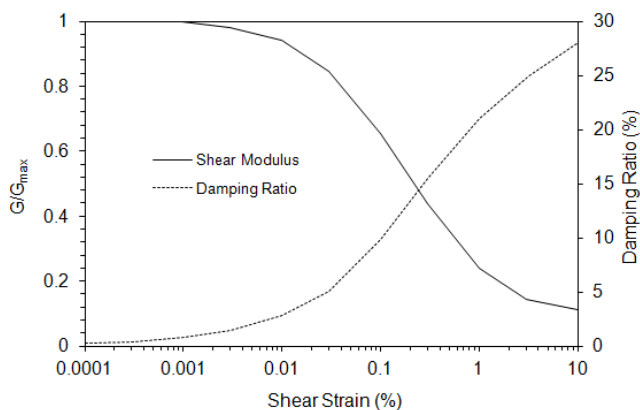


Fig.20: Curva di decadimento alluvioni argillose (Seed and Sun, 1989) (Idriss 1990)

Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1.00	0.0001	0.5
0.0003	1.00	0.0003	0.6
0.0010	0.99	0.0010	0.8
0.0032	0.94	0.0032	1.4
0.0100	0.84	0.0100	2.8
0.0316	0.65	0.0316	5.3
0.1000	0.36	0.1000	10
0.3160	0.19	0.3160	15.8
1.0000	0.08	1.0000	21.5

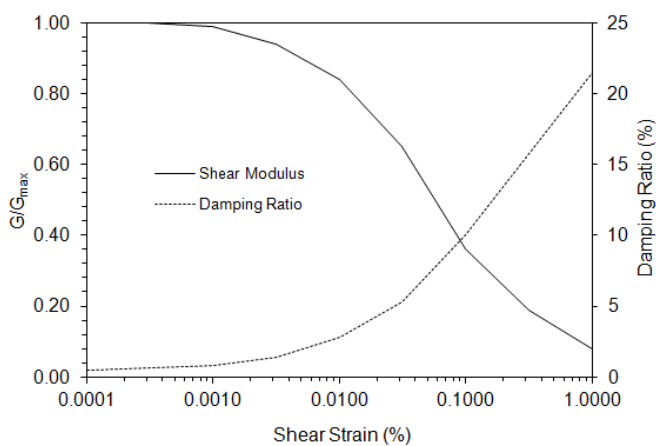


Fig.21: Curva di decadimento alluvioni sabbiose (Idriss 1990)

Attenuation of rock average and damping in rock

Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.4
0.0003	1	0.001	0.8
0.001	0.9875	0.01	1.5
0.003	0.9525	0.1	3
0.01	0.9	1	4.6
0.03	0.81		
0.1	0.725		
1	0.55		

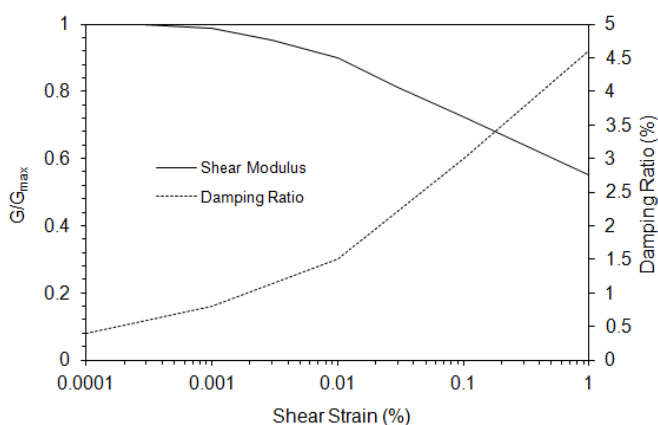


Fig.22: Curva di attenuazione roccia

Gli spettri attesi con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento $\xi = 5\%$ per il sito di studio sono indicati nella figura 23. Gli spettri vengono confrontati con gli spettri di norma per un suolo di tipo C e D (classe d'uso III e vita nominale 50 anni) e viene definito uno spettro di risposta medio. I parametri spettrali per i sette sismi di riferimento e i parametri spettrali dello spettro medio vengono riportati di seguito in forma numerica.

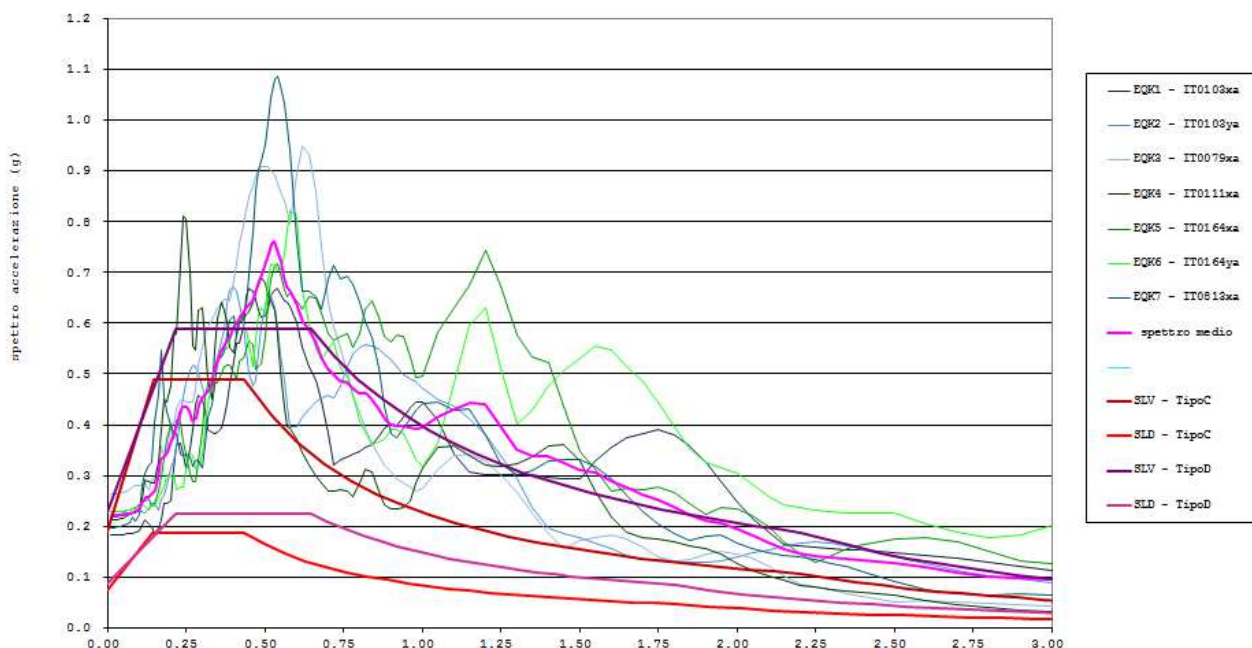


Fig.23: spettri attesi con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento $\xi = 5\%$ per il sito di studio e spettro di risposta medio e confronto con spettri di norma (SLV e SLD) per suoli di tipo C e D.

Parametri spettrali e parametri spettro medio dell'analisi di risposta sismica locale

	EQK1 - IT0103xa	EQK2 - IT0103ya	EQK3 - IT0079xa	EQK4 - IT0111xa	EQK5 - IT0164xa	EQK6 - IT0164ya	EQK7 - IT0813xa	spettro medio
Period	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	media
sec	g	g	g	g	g	g	g	g
0.01	0.18	0.22	0.26	0.21	0.23	0.23	0.20	0.219
0.02	0.18	0.22	0.26	0.21	0.23	0.23	0.20	0.219
0.03	0.18	0.22	0.26	0.21	0.23	0.23	0.20	0.220
0.04	0.18	0.22	0.27	0.21	0.23	0.23	0.20	0.221
0.05	0.18	0.22	0.27	0.22	0.23	0.23	0.20	0.222
0.06	0.18	0.23	0.27	0.22	0.23	0.23	0.20	0.223
0.07	0.19	0.23	0.27	0.22	0.23	0.23	0.21	0.225
0.08	0.18	0.23	0.28	0.22	0.23	0.23	0.22	0.228
0.09	0.19	0.23	0.28	0.23	0.24	0.23	0.21	0.229
0.10	0.19	0.23	0.28	0.23	0.24	0.24	0.22	0.234
0.11	0.20	0.23	0.28	0.26	0.25	0.24	0.28	0.248

0.12	0.21	0.23	0.28	0.29	0.25	0.24	0.30	0.258
0.13	0.20	0.23	0.27	0.29	0.25	0.23	0.32	0.258
0.14	0.20	0.25	0.29	0.29	0.24	0.24	0.33	0.261
0.15	0.19	0.24	0.30	0.29	0.24	0.24	0.40	0.272
0.16	0.20	0.23	0.32	0.33	0.27	0.26	0.46	0.295
0.17	0.21	0.25	0.36	0.39	0.30	0.27	0.55	0.332
0.18	0.25	0.26	0.34	0.45	0.33	0.28	0.46	0.337
0.19	0.25	0.28	0.35	0.45	0.37	0.30	0.43	0.345
0.20	0.25	0.31	0.40	0.48	0.40	0.30	0.40	0.363
0.21	0.31	0.33	0.40	0.57	0.37	0.30	0.39	0.383
0.22	0.36	0.36	0.43	0.58	0.41	0.27	0.38	0.399
0.23	0.36	0.42	0.45	0.72	0.40	0.28	0.34	0.424
0.24	0.34	0.45	0.45	0.81	0.37	0.28	0.34	0.434
0.25	0.31	0.48	0.45	0.81	0.34	0.31	0.34	0.435
0.26	0.35	0.51	0.44	0.70	0.31	0.35	0.34	0.427
0.27	0.39	0.52	0.45	0.55	0.29	0.34	0.32	0.407
0.28	0.44	0.51	0.47	0.55	0.29	0.31	0.33	0.414
0.29	0.46	0.50	0.52	0.63	0.33	0.32	0.33	0.440
0.30	0.45	0.47	0.55	0.63	0.39	0.34	0.32	0.450
0.31	0.43	0.46	0.58	0.56	0.46	0.40	0.36	0.462
0.32	0.39	0.47	0.59	0.49	0.48	0.44	0.42	0.467
0.33	0.39	0.49	0.61	0.45	0.49	0.49	0.44	0.478
0.34	0.38	0.52	0.62	0.55	0.48	0.51	0.48	0.505
0.35	0.38	0.53	0.63	0.61	0.48	0.52	0.52	0.526
0.36	0.39	0.57	0.64	0.64	0.50	0.54	0.53	0.545
0.37	0.42	0.59	0.65	0.63	0.51	0.55	0.54	0.555
0.38	0.44	0.64	0.65	0.60	0.52	0.55	0.58	0.568
0.39	0.48	0.67	0.64	0.55	0.52	0.56	0.61	0.576
0.40	0.52	0.67	0.68	0.54	0.50	0.60	0.61	0.590
0.41	0.56	0.66	0.72	0.58	0.49	0.61	0.57	0.599
0.42	0.56	0.64	0.76	0.60	0.53	0.59	0.61	0.612
0.43	0.59	0.60	0.79	0.61	0.53	0.59	0.62	0.619
0.44	0.65	0.55	0.82	0.62	0.55	0.59	0.63	0.630
0.45	0.67	0.50	0.85	0.62	0.57	0.56	0.70	0.638
0.46	0.66	0.48	0.87	0.64	0.56	0.51	0.78	0.643
0.47	0.65	0.49	0.89	0.66	0.51	0.57	0.86	0.660
0.48	0.62	0.54	0.90	0.68	0.51	0.62	0.90	0.683
0.49	0.61	0.60	0.91	0.69	0.52	0.63	0.92	0.697
0.50	0.62	0.64	0.91	0.68	0.57	0.62	0.95	0.712
0.51	0.63	0.66	0.91	0.65	0.64	0.68	0.99	0.738
0.52	0.65	0.66	0.90	0.64	0.69	0.72	1.04	0.757
0.53	0.67	0.63	0.89	0.63	0.71	0.71	1.08	0.760
0.54	0.67	0.59	0.88	0.58	0.72	0.70	1.09	0.746

0.55	0.66	0.54	0.86	0.51	0.70	0.71	1.07	0.720
0.56	0.64	0.49	0.84	0.43	0.67	0.74	1.03	0.691
0.57	0.64	0.44	0.82	0.40	0.65	0.78	0.99	0.674
0.58	0.63	0.40	0.80	0.39	0.66	0.82	0.94	0.663
0.60	0.60	0.40	0.89	0.37	0.65	0.81	0.76	0.640
0.62	0.55	0.42	0.95	0.34	0.63	0.67	0.66	0.603
0.64	0.51	0.43	0.93	0.32	0.65	0.60	0.66	0.588
0.66	0.49	0.44	0.86	0.30	0.65	0.55	0.65	0.563
0.68	0.45	0.45	0.75	0.28	0.62	0.53	0.63	0.530
0.70	0.38	0.46	0.64	0.27	0.58	0.55	0.69	0.510
0.72	0.32	0.45	0.59	0.27	0.57	0.56	0.71	0.497
0.74	0.33	0.48	0.55	0.27	0.57	0.51	0.69	0.486
0.76	0.34	0.52	0.50	0.27	0.58	0.49	0.69	0.484
0.78	0.34	0.54	0.46	0.26	0.55	0.46	0.68	0.469
0.80	0.35	0.55	0.42	0.29	0.58	0.41	0.64	0.462
0.82	0.35	0.56	0.39	0.31	0.63	0.38	0.60	0.462
0.84	0.36	0.56	0.36	0.31	0.64	0.36	0.57	0.452
0.86	0.38	0.55	0.34	0.27	0.61	0.37	0.51	0.432
0.88	0.39	0.54	0.32	0.24	0.57	0.37	0.44	0.411
0.90	0.40	0.53	0.31	0.23	0.56	0.39	0.38	0.400
0.92	0.40	0.51	0.29	0.23	0.58	0.39	0.37	0.397
0.94	0.42	0.50	0.28	0.24	0.57	0.38	0.39	0.398
0.96	0.44	0.49	0.28	0.25	0.53	0.36	0.41	0.394
0.98	0.44	0.49	0.27	0.28	0.49	0.33	0.43	0.391
1.00	0.44	0.47	0.27	0.32	0.50	0.32	0.44	0.395
1.05	0.41	0.45	0.31	0.36	0.58	0.36	0.44	0.417
1.10	0.34	0.44	0.34	0.36	0.63	0.48	0.43	0.431
1.15	0.31	0.41	0.34	0.34	0.67	0.60	0.43	0.443
1.20	0.30	0.38	0.33	0.32	0.74	0.63	0.38	0.441
1.25	0.30	0.34	0.30	0.32	0.67	0.51	0.32	0.396
1.30	0.30	0.29	0.27	0.32	0.58	0.40	0.30	0.352
1.35	0.30	0.24	0.23	0.34	0.53	0.43	0.31	0.339
1.40	0.30	0.20	0.18	0.36	0.52	0.48	0.33	0.337
1.45	0.29	0.18	0.16	0.36	0.44	0.51	0.33	0.324
1.50	0.29	0.18	0.17	0.33	0.35	0.53	0.33	0.311
1.55	0.33	0.17	0.18	0.27	0.31	0.55	0.32	0.304
1.60	0.36	0.15	0.18	0.22	0.27	0.55	0.29	0.289
1.65	0.37	0.14	0.18	0.19	0.28	0.51	0.26	0.276
1.70	0.38	0.14	0.16	0.18	0.27	0.48	0.23	0.263
1.75	0.39	0.13	0.14	0.17	0.28	0.45	0.20	0.252
1.80	0.38	0.13	0.13	0.17	0.27	0.40	0.19	0.237
1.85	0.36	0.13	0.13	0.16	0.25	0.35	0.17	0.222
1.90	0.33	0.13	0.14	0.16	0.22	0.33	0.18	0.212

1.95	0.29	0.13	0.15	0.14	0.24	0.32	0.18	0.207
2.00	0.25	0.14	0.15	0.13	0.23	0.30	0.17	0.195
2.05	0.22	0.15	0.14	0.11	0.22	0.28	0.16	0.182
2.10	0.19	0.15	0.12	0.10	0.20	0.26	0.15	0.167
2.15	0.16	0.16	0.10	0.09	0.17	0.24	0.14	0.154
2.20	0.16	0.17	0.09	0.08	0.14	0.24	0.14	0.145
2.25	0.16	0.17	0.08	0.08	0.13	0.23	0.13	0.140
2.30	0.16	0.17	0.07	0.07	0.14	0.23	0.13	0.138
2.35	0.15	0.16	0.07	0.07	0.16	0.23	0.12	0.137
2.40	0.15	0.15	0.06	0.07	0.16	0.23	0.11	0.134
2.50	0.15	0.14	0.05	0.06	0.17	0.22	0.09	0.127
2.60	0.14	0.13	0.05	0.05	0.18	0.20	0.08	0.119
2.70	0.14	0.11	0.05	0.04	0.17	0.19	0.07	0.110
2.80	0.13	0.10	0.05	0.04	0.15	0.18	0.06	0.101
2.90	0.12	0.10	0.05	0.04	0.13	0.18	0.07	0.097
3.00	0.11	0.09	0.04	0.03	0.13	0.20	0.06	0.095
3.10	0.11	0.08	0.04	0.03	0.11	0.21	0.06	0.091
3.20	0.11	0.07	0.04	0.03	0.10	0.21	0.05	0.086
3.30	0.11	0.07	0.03	0.02	0.09	0.18	0.05	0.080
3.40	0.11	0.06	0.03	0.02	0.09	0.15	0.05	0.073
3.50	0.11	0.05	0.03	0.02	0.08	0.13	0.05	0.069
3.60	0.11	0.05	0.03	0.02	0.09	0.11	0.06	0.066
3.70	0.10	0.05	0.02	0.02	0.09	0.09	0.06	0.062
3.80	0.10	0.05	0.02	0.02	0.09	0.08	0.06	0.059
3.90	0.09	0.05	0.02	0.02	0.09	0.07	0.05	0.055
4.00	0.09	0.05	0.02	0.02	0.08	0.06	0.05	0.053
4.10	0.08	0.05	0.02	0.02	0.08	0.06	0.04	0.050
4.20	0.08	0.05	0.02	0.02	0.08	0.06	0.04	0.048
4.30	0.07	0.05	0.02	0.02	0.08	0.06	0.04	0.046
4.40	0.07	0.05	0.01	0.02	0.07	0.05	0.04	0.045
4.50	0.06	0.04	0.01	0.02	0.07	0.05	0.04	0.042
4.60	0.06	0.04	0.01	0.02	0.06	0.04	0.04	0.040
4.70	0.05	0.04	0.01	0.02	0.06	0.04	0.04	0.039
4.80	0.05	0.04	0.01	0.02	0.06	0.04	0.04	0.037
4.90	0.04	0.04	0.01	0.02	0.06	0.04	0.03	0.035
5.00	0.04	0.04	0.01	0.02	0.05	0.04	0.03	0.033
5.10	0.04	0.04	0.01	0.02	0.05	0.04	0.03	0.031
5.20	0.04	0.03	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03	0.030
5.40	0.04	0.03	0.01	0.01	0.04	0.05	0.02	0.028
5.60	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04	0.05	0.02	0.027
5.80	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.05	0.02	0.025
6.00	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02	0.024
6.20	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.023

6.40	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.022
6.60	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.022
6.80	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.021
7.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.03	0.05	0.01	0.020
7.20	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.05	0.01	0.020
7.40	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.05	0.01	0.019
7.60	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.05	0.01	0.018
7.80	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.04	0.01	0.017
8.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.04	0.01	0.016
8.50	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.013
9.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.011
9.50	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.010
10.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.009

Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i sette sismi di riferimento e l'accelerazione media sono indicati nella tabella di seguito.

	IT0079xa	IT0103xa	IT0103ya	IT0111xa	IT0164xa	IT0164ya	IT0813xa	Media
ag max	0.18	0.22	0.26	0.21	0.23	0.23	0.20	0.219

I rapporti di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀) calcolati in riferimento al valore massimo di PGA desunto dall'accelerogramma calcolato per ognuno dei 7 sismogrammi normalizzati e il valore di PGA₀ pari a 0.126g in relazione alla modellazione di suolo adottata sono:

	IT0079xa	IT0103xa	IT0103ya	IT0111xa	IT0164xa	IT0164ya	IT0813xa	Media
Fattore di amplificazione PGA/PGA₀	2.09	1.44	1.77	1.68	1.81	1.81	1.56	1.74
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,1 - 0,5 s	1.73	1.62	1.73	1.74	1.60	1.47	1.85	1.68
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,5 - 1 s	2.21	2.07	2.14	2.38	2.09	1.92	2.24	2.14

Infine, da un punto di vista ingegneristico, è utile ottenere per la singola analisi uno spettro parametrizzato con la forma proposta dall'NTC e dall'EUROCODICE.

Tali spettro viene determinato mediante uno processo di 'curve-fitting' ai minimi quadrati sullo spettro medio ottenuto nell'analisi in modo da determinare i seguenti parametri sismici:

S -> Coefficiente del terreno;

T_b -> Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

T_c -> Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;

T_d -> Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

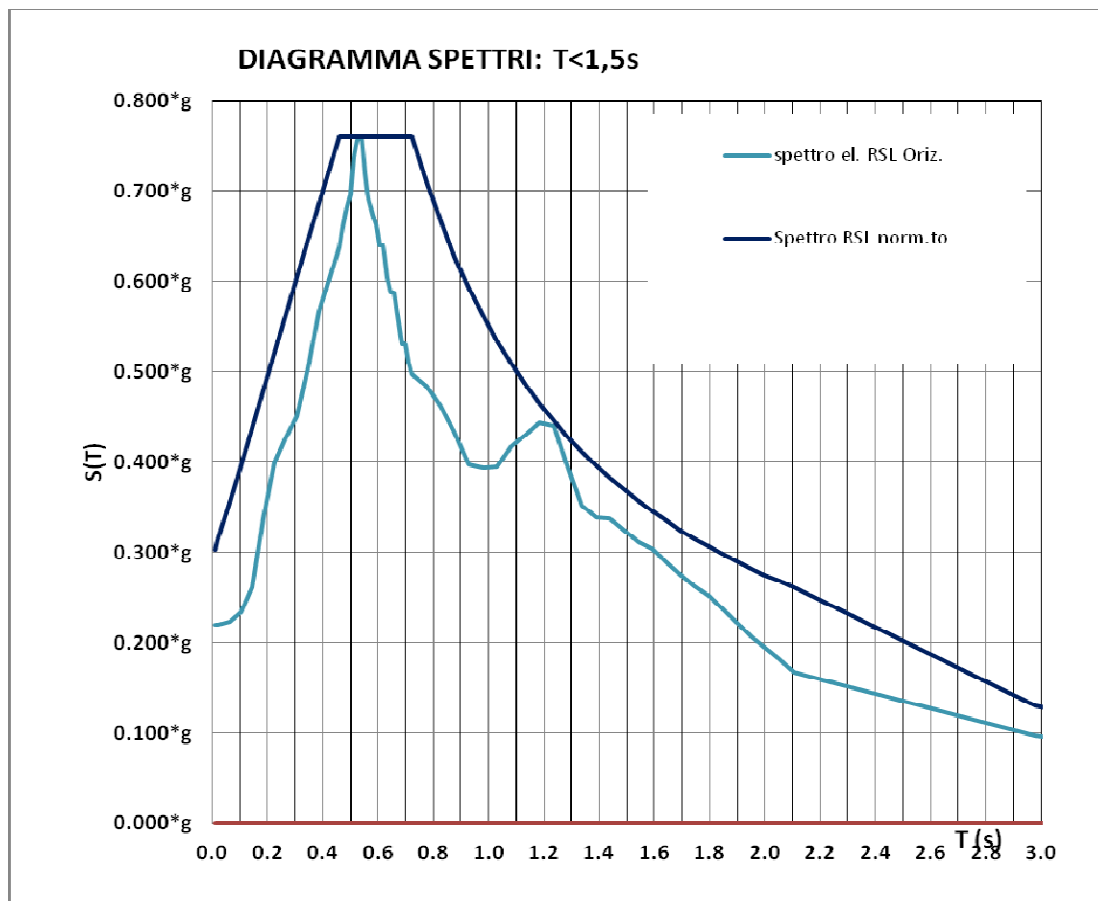


Fig.24: spettro parametrizzato con la forma proposta dall'NTC

Parametri spettro parametrizzato

Normalizzazione spettro Risposta Sismica Locale				
<i>Parametri indipendenti:</i>				
accelerazione orizzontale massima al sito		ag /g		0.126*g
amplificazione spettrale massima		Fo		2.593
smorzamento		η		1.000
Amplificazione sismica max locale (da grafico)		Se(T) max		0.760*g
<i>Parametri dipendenti:</i>				
Coeff. di amplificazione locale (DM08 eq. 3.2.4)	=Se(max)/ag*η~Fo	S _{RSL}		2.327
Periodo caratteristico (leggere da grafico)		T _B =	s	0.460
Periodo caratteristico (leggere da grafico)		T _C =	s	0.724
Periodo caratteristico (DM2008 formula 3.2.9)		T _D =		2.104

5.4.6 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 presente nel sito di studio ha evidenziato la presenza di limi e limi sabbiosi sciolti sottofalda dalla quota di - 7.20 m a - 9.80 m. Sono, inoltre, presenti sabbie addensate dalla quota di - 15.20 m. Sulle colonne stratigrafiche riscontrate è stata eseguita una verifica alla possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione mediante procedure denominate "metodi semplificati".

Sono stati utilizzati due metodi: il metodo di Robertson & Wride (1997) con la prova CPT e il metodo di Idriss e Boulanger (2008) con la prova CPTU. Il metodo di Idriss e Boulanger, è stato indicato dalla Regione Emilia Romagna, dopo confronto fra i vari metodi eseguito dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012 (R.E.R.) quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito.

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:

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

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** (*Magnitude 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:

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

mentre **l'indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki SOMENZ et alii (1978; 1984)**.

Metodo di Idriss e Boulanger (2008)

Metodo di Idriss & Boulanger (2008)

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

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

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

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

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:

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

$$C_Q = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n \leq 1,7 \quad (6.2)$$

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:

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

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

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

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:

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

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

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 ≤ IL < 5 il rischio di liquefazione è moderato;
- 5 ≤ IL < 15 il rischio di liquefazione è elevato;
- IL ≥ 15 il rischio di liquefazione è estremamente elevato.

I parametri di input per le verifiche sono definiti in base alle conoscenze acquisite:

Accelerazione media ottenuta dall'analisi di RSL (da 7 registrazioni accelerometriche che sono il numero minimo prescritto dalle NTC 08 che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati) $a_{g,max}$ da RSL = 0.22g

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

Profondità della falda più superficiale fra quelle misurate nei fori di prova eseguite nel Luglio 2015 pari a - 2.55 m dal p.c.

VERIFICA PROVA CPTU N.1

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: MIGLIORAMENTO SISMICO CHIESA

Cliente: PARROCCHIA DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO

Indirizzo, Coordinate: SAN GIOVANNI DEL DOSSO

Data 20/07/2015

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

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2.55 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.126

Fattore amplificazione 2.593

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) 1.746

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	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1.2	18	20	0	0	3600	23	180
2	Argilla	1.2	2.6	16	18	0	0	810	25	80
3	Argilla	2.6	3.4	16	18	0	0	970	25	100
4	Argilla	3.4	4	16	18	0	0	830	28	80
5	Argilla	4	6.3	16	18	0	0	700	11	60
6	Limo argilloso	6.3	6.9	17	19	0	0	1230	13	100
7	Limo sabbioso	6.9	7.4	17	19.5	0	0	3670	15	200
8	Limo argilloso	7.4	9	17	19	0	0	1760	26	160
9	Limo sabbioso	9	9.4	17	19.5	0	0	5830	35	250
10	Limo argilloso	9.4	9.7	17	19	0	0	1400	25	140
11	Argilla	9.7	11.8	17	19	0	0	920	20	100
12	Argilla	11.8	12.2	17	19	0	0	1700	24	160
13	Argilla	12.2	15.4	17	19	0	0	1200	30	120
14	Sabbia	15.4	16	18	20	0	0	7640	31	300

15	Sabbia	16	16.6	18	20	0	0	11600	28	320
16	Sabbia	16.6	17.8	18	20	0	0	15500	44	350
17	Sabbia	17.8	20	18	20	0	0	20860	62	380

metodo 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 normale Q	Attrito laterale e normale lizzato o F(%)	Indice di compattamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridotti vo (rd)	Resistenza alla liquefazione e (CRR)	Sforzo di taglio normale lizzato o (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
2.75	46.800	44.839	9.573	2.708	2.773	1.92134	0.000	1.004	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.95	50.400	46.477	9.573	2.719	2.785	1.871195	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.15	54.000	48.116	9.573	2.729	2.796	1.825139	0.000	0.995	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.35	57.600	49.755	9.573	2.740	2.807	1.779953	0.000	0.991	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.55	61.200	51.393	8.191	3.642	2.944	1.761075	0.000	0.986	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.75	64.800	53.032	8.191	3.659	2.955	1.719481	0.000	0.982	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.95	68.400	54.671	8.191	3.676	2.966	1.679714	0.000	0.977	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.15	72.000	56.309	6.908	1.752	2.860	1.660602	0.000	0.972	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.35	75.600	57.948	6.908	1.762	2.872	1.622806	0.000	0.968	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.55	79.200	59.587	6.908	1.772	2.884	1.5866	0.000	0.963	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.75	82.800	61.225	6.908	1.782	2.896	1.551404	0.000	0.958	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.95	86.400	62.864	6.908	1.793	2.908	1.518156	0.000	0.953	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.15	90.000	64.503	6.908	1.803	2.919	1.486223	0.000	0.948	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.35	93.600	66.141	6.908	1.814	2.930	1.455529	0.000	0.943	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.55	97.200	67.780	6.908	1.825	2.942	1.425726	0.000	0.938	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.75	100.800	69.419	6.908	1.836	2.953	1.397343	0.000	0.933	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.95	104.400	71.057	6.908	1.847	2.964	1.37	0.000	0.928	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

6.15	108.000	72.696	6.908	1.858	2.975	1.343642	0.000	0.923	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.35	111.650	74.385	12.139	1.162	2.649	1.289641	0.000	0.917	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.55	115.450	76.223	12.139	1.166	2.659	1.264973	0.000	0.912	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.75	119.250	78.062	12.139	1.170	2.668	1.241184	0.000	0.907	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.95	123.075	79.926	36.220	0.423	2.041	1.171759	75.181	0.901	0.106	0.198	0.770	13.23	Alto
7.15	126.975	81.864	36.220	0.423	2.048	1.153749	74.640	0.896	0.105	0.199	0.763	13.92	Alto
7.35	130.875	83.803	36.220	0.424	2.054	1.136386	74.116	0.891	0.105	0.199	0.757	14.58	Alto
7.55	134.700	85.667	17.370	1.600	2.627	1.141828	74.116	0.885	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
7.75	138.500	87.505	17.370	1.603	2.634	1.123194	74.116	0.880	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
7.95	142.300	89.344	17.370	1.607	2.641	1.105173	74.116	0.874	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
8.15	146.100	91.183	17.370	1.611	2.649	1.087694	74.116	0.869	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
8.35	149.900	93.021	17.370	1.615	2.656	1.070732	74.116	0.863	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
8.55	153.700	94.860	17.370	1.619	2.663	1.054259	74.116	0.858	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
8.75	157.500	96.699	17.370	1.622	2.670	1.03827	74.116	0.852	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
8.95	161.300	98.537	17.370	1.626	2.677	1.022733	74.116	0.847	0.105	0.199	0.000	0.00	Molto basso
9.15	165.175	100.451	57.538	0.618	1.995	1.005308	92.262	0.841	0.130	0.198	0.941	4.14	Basso
9.35	169.075	102.390	57.538	0.618	2.000	0.9936079	91.673	0.836	0.129	0.197	0.936	4.55	Basso
9.55	172.900	104.253	13.817	2.037	2.843	0.9762641	91.673	0.830	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
9.75	176.700	106.092	9.080	2.691	3.098	0.9595973	91.673	0.825	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
9.95	180.500	107.931	9.080	2.705	3.107	0.9448127	91.673	0.819	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
10.15	184.300	109.769	9.080	2.718	3.116	0.9304376	91.673	0.814	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
10.35	188.100	111.608	9.080	2.733	3.124	0.9164656	91.673	0.808	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
10.55	191.900	113.447	9.080	2.747	3.133	0.9028764	91.673	0.803	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
10.75	195.700	115.286	9.080	2.761	3.142	0.8896548	91.673	0.797	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
10.95	199.500	117.124	9.080	2.776	3.150	0.8767862	91.673	0.792	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
11.15	203.300	118.963	9.080	2.791	3.159	0.8642567	91.673	0.786	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
11.35	207.100	120.802	9.080	2.805	3.167	0.852024	91.673	0.781	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso

11.55	210.900	122.640	9.080	2.820	3.175	0.8401302	91.673	0.775	0.129	0.197	0.000	0.00	basso
11.75	214.700	124.479	9.080	2.836	3.184	0.8285385	91.673	0.770	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
11.95	218.500	126.318	16.778	1.620	2.781	0.8311701	91.673	0.764	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
12.15	222.300	128.156	16.778	1.624	2.787	0.8207885	91.673	0.759	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
12.35	226.100	129.995	11.843	3.080	3.097	0.8017102	91.673	0.754	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
12.55	229.900	131.834	11.843	3.092	3.104	0.7914747	91.673	0.748	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
12.75	233.700	133.672	11.843	3.105	3.111	0.7814073	91.673	0.743	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
12.95	237.500	135.511	11.843	3.117	3.118	0.7716354	91.673	0.737	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
13.15	241.300	137.350	11.843	3.129	3.125	0.7620866	91.673	0.732	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
13.35	245.100	139.188	11.843	3.142	3.132	0.7527532	91.673	0.727	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
13.55	248.900	141.027	11.843	3.154	3.139	0.7436282	91.673	0.722	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
13.75	252.700	142.866	11.843	3.167	3.145	0.7347049	91.673	0.716	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
13.95	256.500	144.704	11.843	3.180	3.152	0.7259766	91.673	0.711	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
14.15	260.300	146.543	11.843	3.193	3.159	0.7173246	91.673	0.706	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
14.35	264.100	148.382	11.843	3.205	3.166	0.7089623	91.673	0.701	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
14.55	267.900	150.220	11.843	3.219	3.172	0.7007773	91.673	0.696	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
14.75	271.700	152.059	11.843	3.232	3.179	0.6927642	91.673	0.691	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
14.95	275.500	153.898	11.843	3.245	3.186	0.6849174	91.673	0.686	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
15.15	279.300	155.736	11.843	3.258	3.192	0.6772324	91.673	0.681	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
15.35	283.100	157.575	11.843	3.272	3.199	0.6697039	91.673	0.676	0.129	0.197	0.000	0.00	Molto basso
15.55	287.050	159.564	75.401	0.422	1.926	0.7565638	87.412	0.671	0.123	0.173	1.004	0.00	Molto basso
15.75	291.050	161.602	75.401	0.422	1.929	0.7501599	87.041	0.666	0.123	0.172	1.005	0.00	Molto basso
15.95	295.050	163.641	75.401	0.422	1.933	0.7438627	86.676	0.661	0.122	0.171	1.006	0.00	Molto basso
16.15	299.050	165.680	114.483	0.248	1.653	0.7722887	102.698	0.657	0.147	0.169	1.214	0.00	Molto basso

16.35	303.050	167.718	114.483	0.248	1.656	0.7668043	102.271	0.652	0.146	0.168	1.215	0.00	Molto basso
16.55	307.050	169.757	114.483	0.248	1.659	0.7614	101.851	0.647	0.146	0.167	1.216	0.00	Molto basso
16.75	311.050	171.796	152.973	0.290	1.565	0.7679843	126.518	0.643	0.194	0.166	1.622	0.00	Molto basso
16.95	315.050	173.834	152.973	0.290	1.568	0.7634677	125.982	0.638	0.193	0.165	1.620	0.00	Molto basso
17.15	319.050	175.873	152.973	0.290	1.570	0.7590299	125.457	0.633	0.192	0.164	1.619	0.00	Molto basso
17.35	323.050	177.912	152.973	0.290	1.572	0.7546685	124.943	0.629	0.191	0.163	1.618	0.00	Molto basso
17.55	327.050	179.950	152.973	0.290	1.575	0.7503815	124.440	0.624	0.189	0.162	1.618	0.00	Molto basso
17.75	331.050	181.989	152.973	0.290	1.577	0.7461666	123.946	0.620	0.188	0.161	1.617	0.00	Molto basso
17.95	335.050	184.028	205.872	0.302	1.470	0.7420222	156.739	0.616	0.306	0.160	2.611	0.00	Molto basso
18.15	339.050	186.066	205.872	0.302	1.473	0.7379459	155.998	0.611	0.302	0.159	2.590	0.00	Molto basso
18.35	343.050	188.105	205.872	0.302	1.475	0.7339361	155.272	0.607	0.298	0.158	2.570	0.00	Molto basso
18.55	347.050	190.144	205.872	0.302	1.477	0.729991	154.559	0.603	0.294	0.157	2.551	0.00	Molto basso
18.75	351.050	192.182	205.872	0.302	1.479	0.7261087	153.859	0.599	0.290	0.156	2.533	0.00	Molto basso
18.95	355.050	194.221	205.872	0.302	1.481	0.7222878	153.172	0.595	0.287	0.155	2.517	0.00	Molto basso
19.15	359.050	196.260	205.872	0.302	1.483	0.7185267	152.497	0.591	0.283	0.154	2.501	0.00	Molto basso
19.35	363.050	198.298	205.872	0.302	1.485	0.7148235	151.835	0.587	0.280	0.154	2.486	0.00	Molto basso
19.55	367.050	200.337	205.872	0.303	1.488	0.7111772	151.185	0.583	0.277	0.153	2.472	0.00	Molto basso
19.75	371.050	202.376	205.872	0.303	1.490	0.707586	150.546	0.579	0.274	0.152	2.460	0.00	Molto basso
19.95	375.050	204.414	205.872	0.303	1.492	0.7040487	149.918	0.575	0.271	0.151	2.447	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=1.07 Zcrit=20 m Rischio=Basso

VERIFICA PROVA CPT N.1

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: MIGLIORAMENTO SISMICO CHIESA

Cliente: PARROCCHIA DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO

Indirizzo, Coordinate: SAN GIOVANNI DEL DOSSO

Data 20/07/2015

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

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 2.55 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.126

Fattore amplificazione 2.593

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) 1.746

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	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unà volume (KN/mc)	Peso unità volume saturò (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	0.8	17	19	0	0	1760	85	150
2	Argilla	0.8	2	16	18	0	0	980	50	100
3	Argilla	2	3.2	16	18	0	0	672	22	80
4	Limo argilloso	3.2	3.4	17	19	0	0	1860	46	150
5	Argilla	3.4	4.6	16	18	0	0	608	16	60
6	Argilla	4.6	7	17	19	0	0	1290	55	120
7	Limo argilloso	7	7.6	17	19.5	0	0	1570	29	140
8	Argilla	7.6	9	17	19	0	0	783	40	70
9	Limo sabbioso	9	9.8	17	19.5	0	0	4573	41	250
10	Argilla	9.8	12.4	17	19	0	0	803	42	90
11	Argilla	12.4	15.2	17	19	0	0	1200	70	120
12	Sabbia	15.2	16	18	20	0	0	7985	85	250
13	Sabbia	16	19	18	20	0	0	16365	130	320
14	Sabbia	19	20	18	20	0	0	22785	163	380

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica a totale (KPa)	Pressione verticale e effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito lateral e norma lizzata o F(%)	Indice di comp ortam ento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi cienti ridotti vo (rd)	Resistenza alla liquef azion e (CRR)	Sforz o di taglio norma lizzata o (CSR)	Coeffi cienti di sicure zza Fs	Indice di liquef azion e	Rischi o
2.75	45.200	43.239	14.496	3.510	2.906	1.7	65.804	0.979	0.107	0.088	1.250	0.00	Molto basso
2.95	48.800	44.877	13.887	3.530	2.923	1.7	67.669	0.977	0.109	0.091	1.250	0.00	Molto basso
3.15	52.400	46.516	13.320	3.551	2.939	1.7	69.526	0.976	0.111	0.094	1.250	0.00	Molto basso
3.35	56.150	48.305	32.101	2.550	2.550	1.7	95.888	0.974	0.162	0.097	1.669	0	Molto basso
3.55	59.800	49.993	10.965	2.919	2.957	1.7	64.902	0.973	0.105	0.100	1.250	0.00	Molto basso
3.75	63.400	51.632	10.548	2.938	2.973	1.7	66.609	0.971	0.107	0.102	1.250	0.00	Molto basso
3.95	67.000	53.271	10.156	2.957	2.988	1.7	68.314	0.970	0.110	0.105	1.250	0.00	Molto basso
4.15	70.600	54.909	9.787	2.977	3.003	1.7	70.017	0.968	0.112	0.107	1.250	0.00	Molto basso
4.35	74.200	56.548	9.440	2.997	3.017	1.7	71.719	0.967	0.114	0.109	1.250	0.00	Molto basso
4.55	77.800	58.187	9.112	3.018	3.032	1.7	73.420	0.965	0.117	0.111	1.250	0.00	Molto basso
4.75	81.550	59.975	20.149	4.551	2.867	1.667351	115.704	0.964	0.224	0.112	1.250	0.00	Molto basso
4.95	85.350	61.814	19.488	4.566	2.879	1.617755	114.594	0.962	0.220	0.114	1.250	0.00	Molto basso
5.15	89.150	63.653	18.866	4.580	2.890	1.571025	113.535	0.961	0.216	0.115	1.250	0.00	Molto basso
5.35	92.950	65.491	18.278	4.595	2.901	1.526919	112.522	0.959	0.212	0.117	1.250	0.00	Molto basso
5.55	96.750	67.330	17.722	4.609	2.913	1.485221	111.552	0.958	0.209	0.118	1.250	0.00	Molto basso
5.75	100.550	69.169	17.196	4.624	2.923	1.44574	110.623	0.956	0.206	0.119	1.250	0.00	Molto basso
5.95	104.350	71.007	16.698	4.639	2.934	1.408304	109.731	0.954	0.203	0.120	1.250	0.00	Molto basso
6.15	108.150	72.846	16.224	4.654	2.945	1.372758	108.874	0.953	0.200	0.121	1.250	0.00	Molto basso

6.35	111.950	74.685	15.774	4.669	2.955	1.338962	108.051	0.951	0.197	0.122	1.250	0.00	Molto basso
6.55	115.750	76.523	15.345	4.684	2.965	1.30679	107.258	0.950	0.195	0.123	1.250	0.00	Molto basso
6.75	119.550	78.362	14.936	4.699	2.975	1.276128	106.495	0.948	0.192	0.124	1.250	0.00	Molto basso
6.95	123.350	80.201	14.547	4.714	2.985	1.246871	105.760	0.947	0.190	0.125	1.250	0.00	Molto basso
7.15	127.225	82.114	17.570	2.010	2.697	1.217813	75.934	0.945	0.121	0.126	1.250	0.00	Molto basso
7.35	131.125	84.053	17.119	2.015	2.707	1.189724	75.545	0.944	0.120	0.126	1.250	0.00	Molto basso
7.55	135.025	85.992	16.687	2.021	2.716	1.162902	75.172	0.942	0.120	0.127	1.250	0.00	Molto basso
7.75	138.850	87.855	7.332	6.210	3.292	1.138234	94.414	0.941	0.158	0.127	1.250	0.00	Molto basso
7.95	142.650	89.694	7.139	6.247	3.303	1.114901	93.916	0.939	0.157	0.128	1.250	0.00	Molto basso
8.15	146.450	91.533	6.954	6.284	3.313	1.092505	93.438	0.938	0.156	0.129	1.250	0.00	Molto basso
8.35	150.250	93.371	6.777	6.322	3.324	1.070991	92.977	0.936	0.155	0.129	1.250	0.00	Molto basso
8.55	154.050	95.210	6.606	6.360	3.334	1.050309	92.533	0.935	0.154	0.130	1.250	0.00	Molto basso
8.75	157.850	97.049	6.442	6.398	3.345	1.03041	92.107	0.933	0.153	0.130	1.250	0.00	Molto basso
8.95	161.650	98.887	6.283	6.438	3.355	1.011251	91.696	0.932	0.152	0.131	1.250	0.00	Molto basso
9.15	165.525	100.801	45.548	0.930	2.167	0.9960184	72.372	0.930	0.115	0.131	0.881	8.41	Alto
9.35	169.425	102.740	45.116	0.931	2.170	0.9865763	72.056	0.924	0.115	0.131	0.879	8.70	Alto
9.55	173.325	104.679	44.696	0.932	2.174	0.9773978	71.750	0.919	0.114	0.130	0.877	8.96	Alto
9.75	177.225	106.617	44.288	0.933	2.177	0.9684708	71.453	0.914	0.114	0.130	0.875	9.20	Alto
9.95	181.050	108.481	5.733	6.753	3.399	0.9218221	91.133	0.908	0.150	0.130	1.250	0.00	Molto basso
10.15	184.850	110.320	5.603	6.794	3.409	0.9064583	90.790	0.903	0.150	0.130	1.250	0.00	Molto basso
10.35	188.650	112.158	5.478	6.836	3.418	0.8915983	90.460	0.898	0.149	0.129	1.250	0.00	Molto basso
10.55	192.450	113.997	5.356	6.879	3.427	0.8772175	90.142	0.892	0.148	0.129	1.250	0.00	Molto basso
10.75	196.250	115.836	5.238	6.922	3.437	0.8632933	89.835	0.887	0.147	0.129	1.250	0.00	Molto basso
10.95	200.050	117.674	5.124	6.966	3.446	0.8498044	89.539	0.882	0.147	0.128	1.250	0.00	Molto basso
11.15	203.850	119.513	5.013	7.010	3.455	0.8367304	89.254	0.876	0.146	0.128	1.250	0.00	Molto basso
11.35	207.650	121.352	4.906	7.055	3.465	0.8240525	88.980	0.871	0.146	0.128	1.250	0.00	Molto basso

11.55	211.450	123.190	4.802	7.100	3.474	0.8117532	88.715	0.866	0.145	0.127	1.250	0.00	Molto basso
11.75	215.250	125.029	4.701	7.146	3.483	0.7998155	88.461	0.860	0.144	0.127	1.250	0.00	Molto basso
11.95	219.050	126.868	4.603	7.192	3.492	0.788224	88.217	0.855	0.144	0.127	1.250	0.00	Molto basso
12.15	222.850	128.706	4.508	7.240	3.501	0.7769635	87.981	0.850	0.143	0.126	1.250	0.00	Molto basso
12.35	226.650	130.545	4.415	7.287	3.510	0.7660204	87.755	0.844	0.143	0.126	1.250	0.00	Molto basso
12.55	230.450	132.384	7.324	7.220	3.333	0.755381	101.787	0.839	0.178	0.125	1.250	0.00	Molto basso
12.75	234.250	134.222	7.195	7.248	3.340	0.7450333	101.401	0.834	0.177	0.125	1.250	0.00	Molto basso
12.95	238.050	136.061	7.070	7.277	3.347	0.7349653	101.024	0.828	0.176	0.124	1.250	0.00	Molto basso
13.15	241.850	137.900	6.948	7.306	3.354	0.7251657	100.657	0.823	0.175	0.124	1.250	0.00	Molto basso
13.35	245.650	139.738	6.830	7.335	3.361	0.715624	100.299	0.818	0.174	0.123	1.250	0.00	Molto basso
13.55	249.450	141.577	6.714	7.364	3.368	0.7063301	99.950	0.812	0.173	0.123	1.250	0.00	Molto basso
13.75	253.250	143.416	6.601	7.394	3.375	0.6972746	99.610	0.807	0.172	0.122	1.250	0.00	Molto basso
13.95	257.050	145.254	6.492	7.424	3.381	0.6884482	99.278	0.802	0.171	0.122	1.250	0.00	Molto basso
14.15	260.850	147.093	6.385	7.454	3.388	0.6798427	98.954	0.796	0.170	0.121	1.250	0.00	Molto basso
14.35	264.650	148.932	6.280	7.484	3.395	0.6714494	98.638	0.791	0.169	0.120	1.250	0.00	Molto basso
14.55	268.450	150.770	6.179	7.514	3.402	0.6632611	98.329	0.786	0.168	0.120	1.250	0.00	Molto basso
14.75	272.250	152.609	6.079	7.545	3.408	0.6552699	98.028	0.780	0.168	0.119	1.250	0.00	Molto basso
14.95	276.050	154.448	5.982	7.576	3.415	0.6474689	97.735	0.775	0.167	0.119	1.250	0.00	Molto basso
15.15	279.850	156.286	5.888	7.607	3.421	0.6398516	97.448	0.769	0.166	0.118	1.250	0.00	Molto basso
15.35	283.800	158.275	63.470	1.104	2.092	0.7948661	91.390	0.764	0.151	0.117	1.286	0	Molto basso
15.55	287.800	160.314	63.065	1.104	2.094	0.7897959	91.070	0.759	0.150	0.117	1.287	0	Molto basso
15.75	291.800	162.352	62.668	1.105	2.096	0.7848215	90.756	0.753	0.150	0.116	1.288	0	Molto basso
15.95	295.800	164.391	62.278	1.105	2.099	0.7799398	90.449	0.748	0.149	0.115	1.290	0	Molto basso
16.15	299.800	166.430	126.853	0.809	1.772	0.7751482	137.866	0.743	0.324	0.115	2.822	0	Molto basso

16.35	303.800	168.468	126.083	0.809	1.774	0.7704438	137.215	0.737	0.320	0.114	2.810	0	Molto basso
16.55	307.800	170.507	125.327	0.810	1.776	0.7658241	136.575	0.732	0.317	0.113	2.798	0	Molto basso
16.75	311.800	172.546	124.585	0.810	1.778	0.7612864	135.946	0.727	0.314	0.113	2.786	0	Molto basso
16.95	315.800	174.584	123.855	0.810	1.780	0.7568284	135.328	0.721	0.310	0.112	2.776	0	Molto basso
17.15	319.800	176.623	123.138	0.810	1.782	0.752448	134.720	0.716	0.307	0.111	2.766	0	Molto basso
17.35	323.800	178.662	122.434	0.810	1.784	0.7481427	134.123	0.711	0.304	0.110	2.757	0	Molto basso
17.55	327.800	180.700	121.741	0.811	1.786	0.7439104	133.535	0.705	0.301	0.110	2.748	0	Molto basso
17.75	331.800	182.739	121.060	0.811	1.788	0.7397491	132.957	0.700	0.299	0.109	2.740	0	Molto basso
17.95	335.800	184.778	120.390	0.811	1.790	0.7356569	132.388	0.695	0.296	0.108	2.733	0	Molto basso
18.15	339.800	186.816	119.732	0.811	1.792	0.7316319	131.828	0.689	0.293	0.107	2.727	0	Molto basso
18.35	343.800	188.855	119.084	0.811	1.794	0.7276723	131.277	0.684	0.290	0.107	2.721	0	Molto basso
18.55	347.800	190.894	118.446	0.812	1.796	0.7237762	130.735	0.679	0.288	0.106	2.715	0	Molto basso
18.75	351.800	192.932	117.819	0.812	1.798	0.719942	130.202	0.673	0.285	0.105	2.711	0	Molto basso
18.95	355.800	194.971	117.201	0.812	1.800	0.7161682	129.676	0.668	0.283	0.104	2.706	0	Molto basso
19.15	359.800	197.010	162.332	0.727	1.660	0.7124531	164.039	0.663	0.491	0.104	4.728	0	Molto basso
19.35	363.800	199.048	161.499	0.727	1.662	0.7087952	163.395	0.657	0.486	0.103	4.716	0	Molto basso
19.55	367.800	201.087	160.678	0.727	1.664	0.7051931	162.759	0.652	0.481	0.102	4.705	0	Molto basso
19.75	371.800	203.126	159.870	0.727	1.665	0.7016453	162.131	0.647	0.476	0.101	4.695	0	Molto basso
19.95	375.800	205.164	159.074	0.727	1.667	0.6981505	161.512	0.641	0.472	0.101	4.686	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.51 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)
CPTU1	0.22	/	1.07	BASSO	0.40 0.20	6.95÷7.35 9.15÷9.35
CPT1	0.22	0.51	/	BASSO	0.60	9.15÷9.75

Si precisa che la stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL che viene calcolato secondo la formula seguente

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z) \Delta z$$

dove:

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

$F = 1 - F_s$ per $F_s \leq 1$ e $F = 0$ per $F_s > 1$;

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;

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

Sulla base delle verifiche eseguite vi sono dei livelli di spessore inferiore al metro potenzialmente liquefacibili alla quota di 7.00 e 9.15 metri che nella effettiva stima rischio liquefazione sulla verticale di calcolo (20 metri) determinano un rischio liquefazione IPL basso.

I terreni presenti in sito verificati fino alla profondità di - 20.00 metri sono a rischio liquefazioni basso.

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 da interventi di ristrutturazione e recupero funzionale della Chiesa Parrocchiale "San Giovanni Battista" di San Giovanni del Dosso (MN).

La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del profilo stratigrafico nel sito sono ricavati dai risultati di n. 1 prova penetrometrica statica di tipo meccanico ed n.1 prova penetrometrica statica con punta elettrica CPTU "ENVI MEMOCONE", eseguite in sito in data 20/07/2015 dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.r.l. di Medolla.

Le prove sono state spinte alla profondità di – 30.00 m e – 20.00 m dal piano campagna per la definizione in dettaglio delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche fino a tale quota.

Si sottolinea come l'interpretazione delle prove ed i calcoli da esse derivanti siano stati effettuati applicando criteri cautelativi per vari motivi quali:

- non sono note, o almeno lo sono solo in parte, le caratteristiche costruttive dell'edificio attuale, del 1616: in particolare non si dispone di uno schema delle fondazioni, di indicazioni su quale sia la profondità di imposta delle strutture, se esistano o siano mai state fatte opere di bonifica da falda superficiale (ad es. sottofondi di ghiaia o maceri, o altro), e sulle problematiche incontrate dai costruttori durante la prima fase dei lavori; si presume che i lavori di scavo delle fondazioni possano avere avuto difficoltà oltre i due metri, con ingressione di acque oltre i due metri e mezzo, situazione che rende difficile la formazione di fondazioni più profonde di tale quota (si riferisce che la quota di falda era 1.73 dal p.c. nel 1963 (Rif.: Relazione Arch. Fasol).
- l'area sulla quale insiste l'edificio corrisponde ad un dosso fluviale inserito in una geomorfologia discretamente variabile, formata da lenti a litologia spesso argillosa o limoso argillosa, deposte dalle divagazioni dei fiumi; si ricorda che in queste aree, costruite da divagazioni e rotte di paleoalvei in epoca recente, anche spostamenti limitati corrispondono a variazioni di spessore di lenti a caratteristiche geomeccaniche differenti
- la zona è già stata interessata da cedimenti differenziali, come viene attestato dallo stato del vecchio campanile che viene demolito per essersi inclinato eccessivamente (campanile di altezza circa 20 m, fuori piombo di 0.85 cm; demolizione effettuata nell'anno 1965, Rif.: Relazione Arch. Fasol); sostituito dall'attuale campanile ubicato, in pianta, nelle immediate adiacenze del vecchio (si fa notare come, cautelativamente, il nuovo campanile sia stato basato su palificazione e non abbia ricevuto danni dal sisma del 2012).

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, determinando il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m e fornendo la frequenza

fondamentale del sito, si sono eseguite una prova di sismica passiva di microtremiti HVSR, una indagine di sismica passiva SPAC e una prova di sismica attiva MFA - Hs in onde Rayleigh, realizzate in data 20/07/2015.

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

La zona oggetto di studio si trova nel centro cittadino di San Giovanni del Dosso in zona residenziale, ad una quota media di 16 m s.l.m.

Le coordinate geografiche dell'area sono 44°57' 56.05"N e 11°04' 45.01"E .

Il sito ha accesso da Via Roma, in collegamento con Strada Comunale San Giovanni e Strada Provinciale San Giovanni-Schivenoglia.

I centri abitati vicini sono:

San Giacomo delle Segnate a circa 3.80 Km a ovest

Schivenoglia a circa 3.50 Km a nord

Poggio Rusco a circa 3.40 Km a nord-est

Frazione di Tramuschio a circa 1.20 Km a sud-est

Oltre che a varie frazioni e località.

Il comune di San Giovanni del Dosso fa parte dell'area dell'Oltrepò Mantovano ed è collocato nei pressi della sponda destra del Fiume Po.

Il comune si estende su una superficie territoriale di circa 15 Km². Il territorio del comune risulta essere ad un'altitudine di circa 13 m sul livello del mare. Il tessuto edificato è principalmente concentrato nel centro abitato di San Giovanni del Dosso, a meno di qualche piccolo nucleo ubicato in aperta campagna.

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

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

Nella carta del "Azzonamento del territorio comunale" del PGT del Comune di San Giovanni del Dosso, approvato con D.C.C. n.04 del 01/02/2011, l'area di studio ricade in una zona F "Aree per attività pubbliche".

La zona di studio ricade su un dosso fluviale particolarmente pronunciato.

Secondo la "Carta Analisi delle criticità e del sistema vincolistico del territorio ", del PGT Comunale, il sito di studio rientra in un'area destinata a servizi in classe di fattibilità geologica 2b che sta a indicare: terreni limo-sabbiosi e zone di dosso con profondità del tetto delle sabbie maggiore di 8 metri dal piano campagna e soggiacenza della frangia freatica superficiale minore di 1,50 metri dal p.c..

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

- da 0.00 a - 4.40 m sono presenti limi argillosi poco consistenti;
- da - 4.40 m a - 7.20 m si evidenziano argille mediamente compatte;

- da - 7.20 m a - 9.80 m sono presenti limi sabbiosi sciolti e limi argillosi poco consistenti;
- da - 9.80 m a - 15.20 m si evidenziano argille mediamente compatte;
- da - 15.20 m a - 30.00 m si riscontrano sabbie addensate.

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 - 4.40	Limi argillosi poco consistenti	16	18	2÷4	11÷13	37
4.40 - 7.20	Argille mediamente compatte	17	19	5÷7	14÷16	50
7.20 - 9.80	Limi sabbiosi sciolti e limi argillosi poco consistenti	17	19.50	1÷3	22÷24	35
9.80 - 15.20	Argille mediamente compatte	17	19	5÷7	14÷16	47
15.20 - 30.00	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 (v)	Modulo elastico E'(kPa)	Modulo Edometrico Ed (kPa)
0.00 - 4.40	Limi argillosi poco consistenti	16	18	0.45	/	3000÷4000
4.40 - 7.20	Argille mediamente compatte	17	19	0.45	/	5000÷7000
7.20 - 9.80	Limi sabbiosi sciolti e limi argillosi poco consistenti	17	19.50	0.40	5000÷8000	/
9.80 - 15.20	Argille mediamente compatte	17	19	0.45	/	5000÷7000
15.20 - 30.00	Sabbie addensate	18	20	0.35	30000÷35000	/

Sulla base delle caratteristiche geotecniche studiate, i valori delle resistenze **in condizioni drenate e non drenate statiche** alla profondità di - 2.50 m e considerando una fondazione superficiale a trave, secondo la formula di Brinch - Hansen (1970) 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] 149.27 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 82.93 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 5970.92 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

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

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 178.31 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 99.06 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7132.51 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] 196.31 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 85.35 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7852.24 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

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

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 233.64 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 101.58 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 9345.51 kN/m³

Per quanto attiene l'analisi di pericolosità sismica del sito, considerando che:

- i terreni presenti nel sito di studio sono limi argillosi\argille da poco consistenti a mediamente consistenti e limi sabbiosi sciolti/sabbie addensate;
- il livello della frangia freatica superficiale è stato misurato nei fori di prova in data 20/07/2015, alla quota di - 2.55 m;
- il sito è completamente pianeggiante;
- La Magnitudo momento definita sulla base della zona Sismogenetica di appartenenza Maw = 6.14 (Zona Sismogenetica 912)

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

- litotipi del substrato con Vs < 800 m/sec;

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

Quindi il sito oggetto di intervento si trova in zona Z4a e gli effetti attesi sono: amplificazioni litologiche e geometriche.

La stessa classificazione Z4a viene confermata dalla Carta della Fattibilità Geologica e della Pericolosità Sismica documento di piano del PGT Comunale di San Giovanni del Dosso che riporta la tabella di seguito

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI	CASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali coesivi e granulari	Amplificazioni litologiche e geometriche	H2 – livello di approfondimento 2°

La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo e la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato sono ricavati dall'analisi di una acquisizione HVSR e di due acquisizioni in onde di superficie Rayleigh con metodo HoliSurface.

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, abbiamo **un picco stratigrafico** caratteristico **alla frequenza caratteristica di 1.1 Hz e periodo caratteristico pari a 0.91 s**. **Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli ($2 < H/V < 3$) in caso di moto sismico.**

Il profilo di V_s 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 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:

$V_{s(30)}$: compreso fra 187 - 189 m/s (Categoria di sottosuolo C)

Cautelativamente si è scelto di applicare il terzo livello di approfondimento in quanto trattasi di edificio strategico e rilevante (cfr. elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) e soprattutto perchè dalle prove sismiche eseguite in sito il valore di V_{s30} è di poco sopra alla soglia indicata da normativa per un suolo di tipo C e D e quindi si è preferito definire uno spettro da analisi di risposta sismica locale mediante modellazione numerica.

I sette spettri attesi e lo spettro medio con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento $\xi = 5\%$ per il sito di studio sono indicati nella figura 23.

Gli spettri vengono confrontati con gli spettri di norma per un suolo di tipo C, per un suolo di tipo D (classe d'uso III) .

I parametri spettrali per i sette sismi di riferimento e i parametri spettrali dello spettro medio vengono riportati da pag. 54 a pag.57 in forma numerica.

Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i sette sismi di riferimento e l'accelerazione media sono indicati nella tabella di seguito.

	IT0079xa	IT0103xa	IT0103ya	IT0111xa	IT0164xa	IT0164ya	IT0813xa	Media
ag max	0.18	0.22	0.26	0.21	0.23	0.23	0.20	0.219

Da un punto di vista ingegneristico, è utile ottenere per la singola analisi uno spettro parametrizzato con la forma proposta dall'NTC e dall' EUROCODICE.

Tale spettro (fig.24) viene determinato mediante uno processo di 'curve-fitting' ai minimi quadrati sullo spettro medio ottenuto nell'analisi in modo da determinare i parametri sismici di seguito riportati:

Normalizzazione spettro Risposta Sismica Locale			
<i>Parametri indipendenti:</i>			
accelerazione orizzontale massima al sito		ag /g	0.126*g
amplificazione spettrale massima		Fo	2.593
smorzamento		η	1.000
Amplificazione sismica max locale (da grafico)		Se(T) max	0.760*g
<i>Parametri dipendenti:</i>			
Coeff. di amplificazione locale (DM08 eq. 3.2.4)	=Se(max)/ag* η ~Fo	S _{RSL}	2.327
Periodo caratteristico (leggere da grafico)		T _B = s	0.460
Periodo caratteristico (leggere da grafico)		T _C = s	0.724
Periodo caratteristico (DM2008 formula 3.2.9)		T _D =	2.104

Sui terreni sabbiosi saturi sottofalda riscontrati è stata eseguita una verifica alla possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione mediante procedure denominate “metodi semplificati”.

I parametri di input per la verifica sono stati tutti scelti sulla base delle conoscenze acquisite:

Le verifiche sono state eseguite con l'accelerazione media ottenuta dall'analisi di RSL (da 7 registrazioni accelerometriche che sono il numero minimo prescritto dalle NTC 08 che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati) ag_{max} da RSL =0.22g

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

Il livello della soggiacenza della falda misurato nei fori di prova nel LUGLIO 2015 pari a - 2.55 m dal p.c.

Per la verifica sono stati utilizzati due metodi: il metodo di Robertson & Wride (1997) con la prova CPT e il metodo di Idriss e Boulanger (2008) con la prova CPTU. Il metodo di Idriss e Boulanger, è stato indicato dalla Regione Emilia Romagna, dopo confronto fra i vari metodi eseguito dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012 (R.E.R.) quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito.

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)
CPTU1	0.22	/	1.07	BASSO	0.40 0.20	6.95÷7.35 9.15÷9.35
CPT1	0.22	0.51	/	BASSO	0.60	9.15÷9.75

Si precisa che la stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL che viene calcolato secondo la formula seguente

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z) \Delta z$$

dove:

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

$F = 1 - F_s$ per $F_s \leq 1$ e $F = 0$ per $F_s > 1$;

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;

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

Sulla base delle verifiche eseguite vi sono dei livelli di spessore inferiore al metro potenzialmente liquefacibili alla quota di 7.00 e 9.15 metri che nella effettiva stima rischio liquefazione sulla verticale di calcolo (20 metri) determinano un rischio liquefazione IPL basso.

I terreni presenti in sito verificati fino alla profondità di - 20.00 metri sono a rischio liquefazioni basso.

Da ultimo si osserva che la Regione Lombardia, ha deliberato l'aggiornamento delle zone sismiche dei comuni lombardi con l'obiettivo di mantenere alta l'attenzione e la prevenzione sul tema del rischio sismico.

In tale classificazione il comune di San Giovanni del Dosso è considerato in "ZONA 3".

L'entrata in vigore della nuova classificazione (approvata con D.G.R. 21 luglio 2014 n.2129. Lo ha stabilito la Giunta regionale con la Delibera del 10 ottobre 2014 - n. X/2480) è stata differita al **14 ottobre 2015**.

Il livello della frangia freatica superficiale di circolazione nel materasso alluvionale, è stato misurato in foro all'atto d'esecuzione della prova, in data 20/07/2015, alla quota di - 2.55 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

Dott. Geol. ADRIANO ROSSI



ALLEGATI

1. UBICAZIONE INDAGINI ESEGUITE
2. DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT E CPTU
3. VALUTAZIONI LITOLOGICHE
4. PARAMETRI GEOTECNICI
5. VALORI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT E CPTU
6. RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA DEL DOTT. GEOL. LORENZO DEL MASCHIO



LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

All.n.2

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



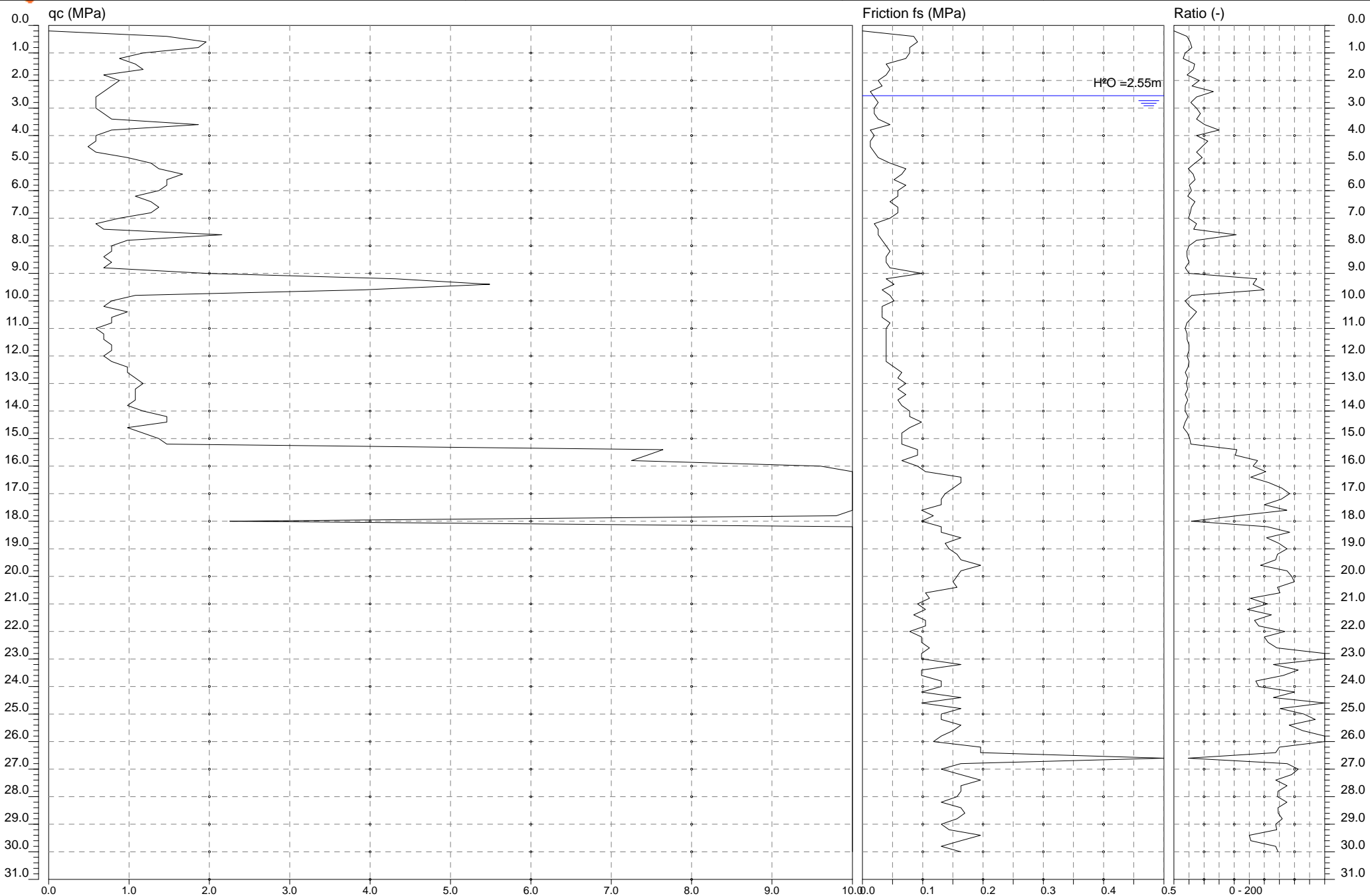
ROGETTI

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

Committente: PARROCCHIA DI S. GIOVANNI DEL DOSSO
Cantiere: SAN GIOVANNI DEL DOSSO Via Roma
Data: 20/07/2015

Quota:
Preforo:
Falda: -2.55

Prova n° 1



30.000 m

Sperimentatore: Dott. Geol. PAOLO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA

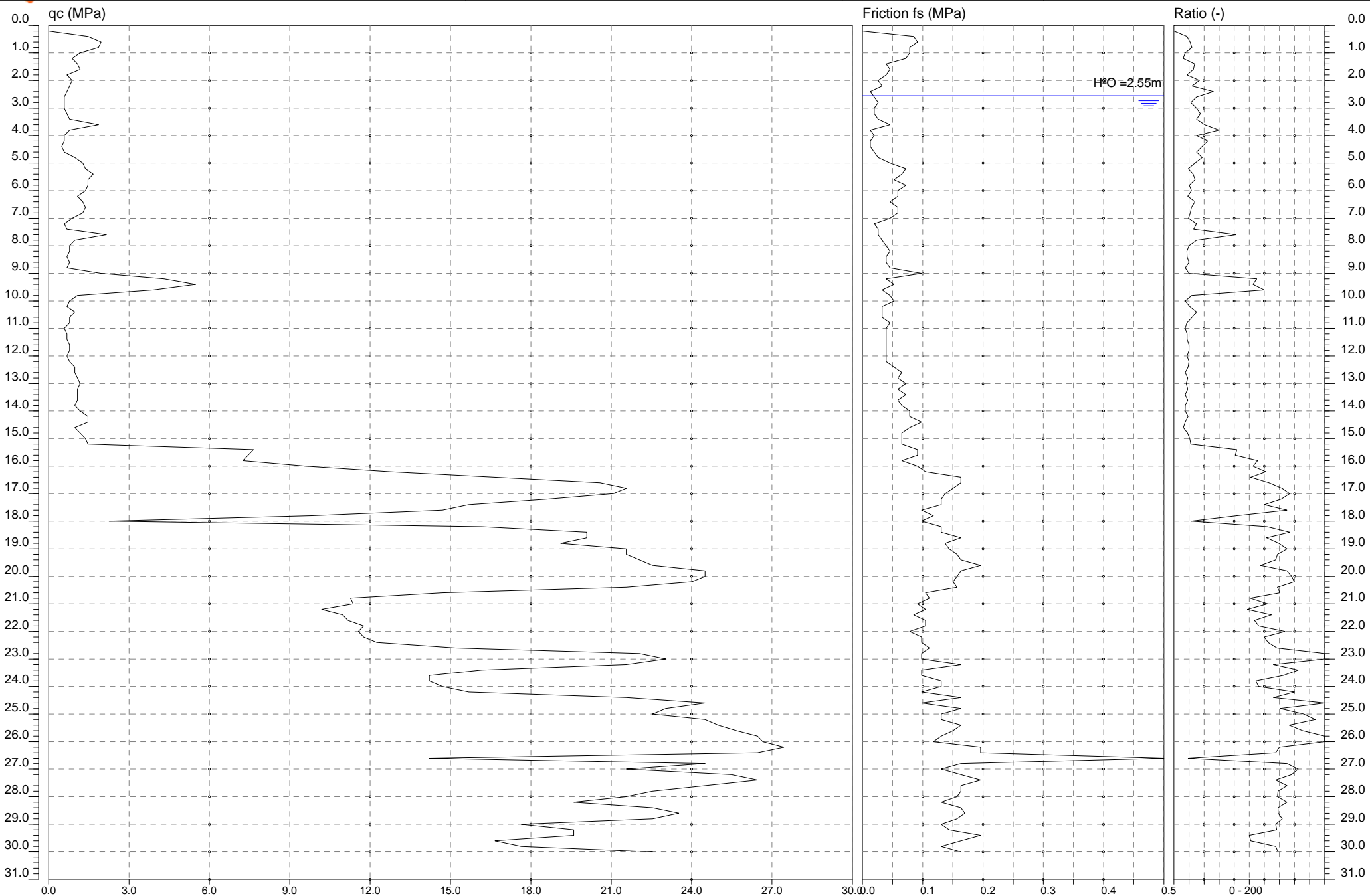


GEOPROGETTI SRL
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione n. 54420 del 27/01/2006
Sede legale: Via Genova, 1/8 - 41036 Medolla (MO)

Committente: PARROCCHIA DI S. GIOVANNI DEL DOSSO
Cantiere: SAN GIOVANNI DEL DOSSO Via Roma
Data: 20/07/2015

Quota:
Preforo:
Falda: -2.55

Prova n° 1



30.000 m

Sperimentatore: Dott. Geol. PAOLO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA



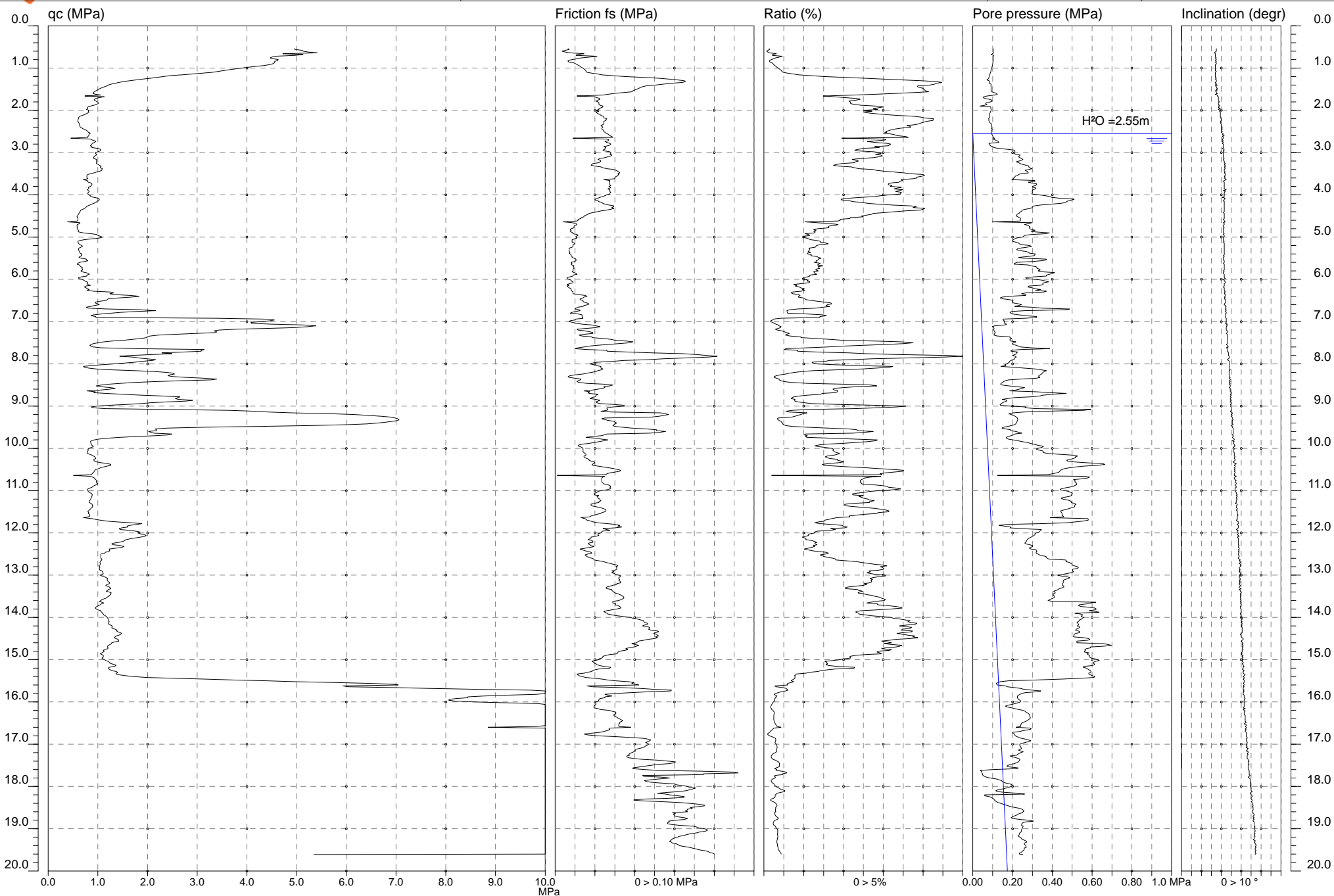
ROGETTI

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

Committente: PARROCCHIA DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO
Cantiere: giovanni
Data: 20/07/2015 12:46:51

Quota: 0.50
Metodo: CPT
Preforo:
Falda: -2.55

Prova n° 1
Pagina: 1 di 1



19.590 m

Sperimentatore: Dott. Geol. PAOLO CESTARI

Direttore Laboratorio: Dott. Geol. RITA BALLISTA



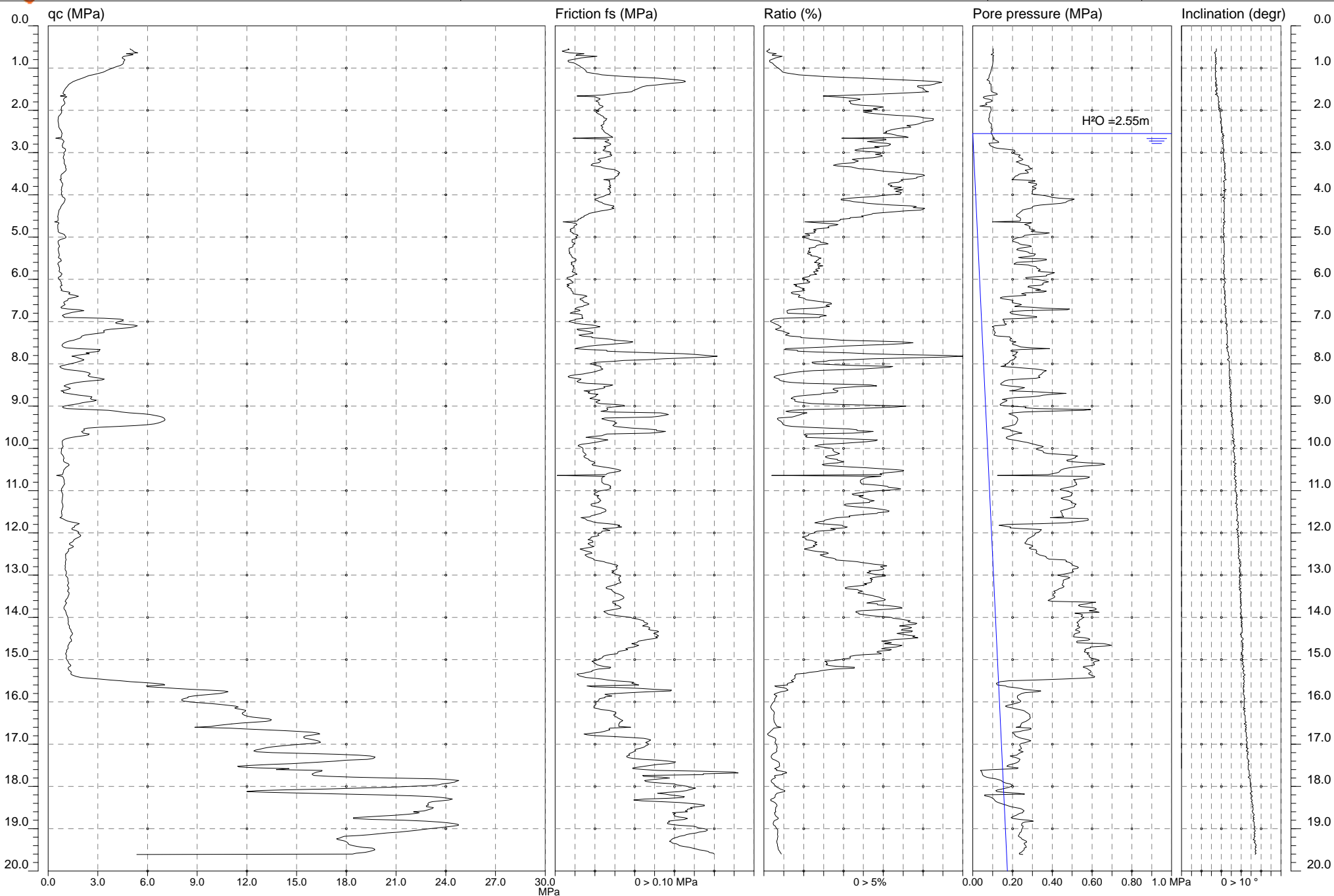
ROGETTI

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

Committente: PARROCCHIA DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO
Cantiere: giovanni
Data: 20/07/2015 12:46:51

Quota: 0.50
Metodo: CPT
Preforo:
Falda: -2.55

Prova n° 1
Pagina: 1 di 1



19.590 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

069-2015

 Committente: **PARROCCHIA DI S. GIOVANNI DEL DOSSO**

 Cantiere: **SAN GIOVANNI DEL DOSSO Via Roma 11**

 Località: **SAN GIOVANNI DEL DOSSO Via Roma 11**

U.M.:

MPa

Data exec.:

20/07/2015

Scala:

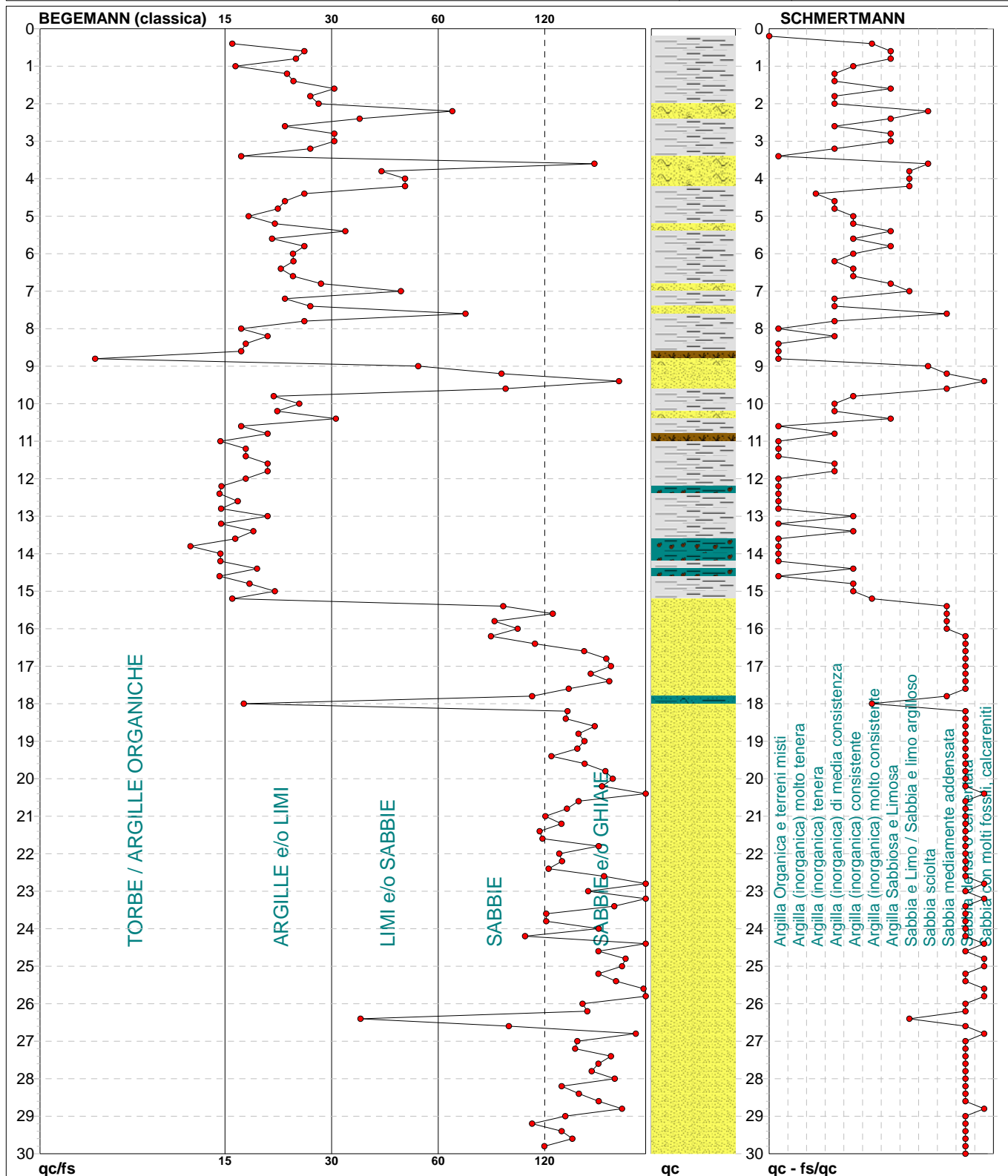
1:150

Pagina:

1

Elaborato:

Falda: -2.55 m



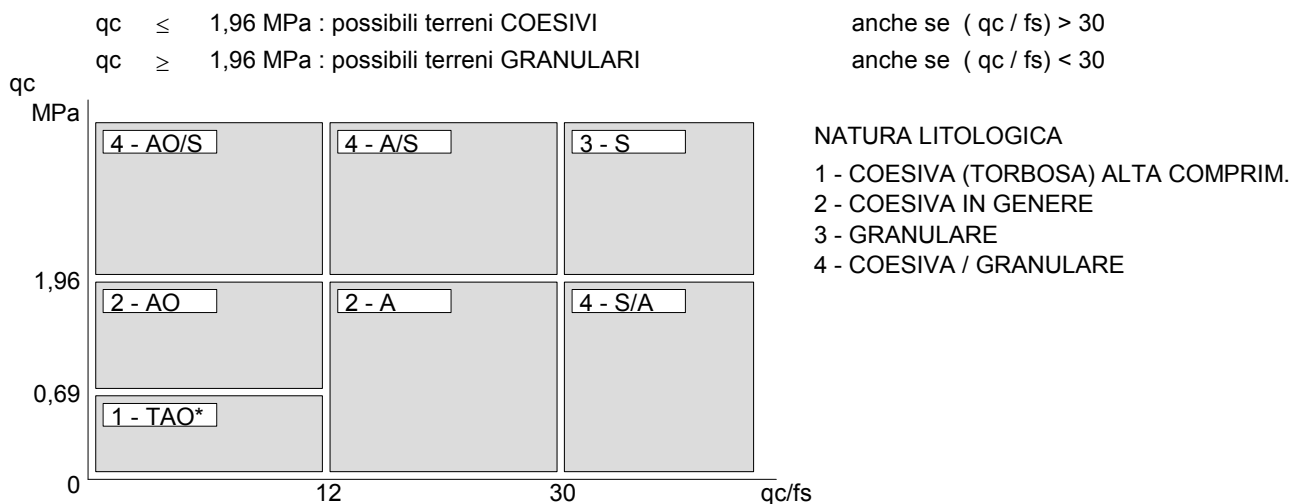
Torbe / Argille org. :	8 punti, 5.37%	Argilla Organica e terreni misti:	20 punti, 13.42%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	10 punti, 6.71%
Argille e/o Limi :	55 punti, 36.91%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 0.67%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	5 punti, 3.36%
Limi e/o Sabbie :	9 punti, 6.04%	Argilla (inorganica) media consist.:	18 punti, 12.08%	Sabbia sciolta:	3 punti, 2.01%
Sabbie:	27 punti, 18.12%	Argilla (inorganica) consistente:	13 punti, 8.72%	Sabbia mediamente addensata:	8 punti, 5.37%
Sabbie e/o Ghiaie :	50 punti, 33.56%	Argilla (inorganica) molto consist.:	3 punti, 2.01%	Sabbia densa o cementata:	56 punti, 37.58%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	11 punti, 7.38%

nota:

FON025

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

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



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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - q_c - σ'_{vo})
 ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - D_r]
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Burrow e Stokoe 1983)

CPT	1
riferimento	069-2015

U.M.: MPa	Data esec.: 20/07/2015
Pagina: 1	
Elaborato:	Falda: -2.55 m

FON025

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA														CPT		1						
PARAMETRI GEOTECNICI														riferimento		069-2015						
Committente: PARROCCHIA DI S. GIOVANNI DEL DOSSO														U.M.: MPa		Data esec.: 20/07/2015						
Cantiere: SAN GIOVANNI DEL DOSSO Via Roma 11														Pagina: 2								
Località: SAN GIOVANNI DEL DOSSO Via Roma 11														Elaborato:		Falda: -2.55 m						
							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ' vo kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ Sc (°)	ϕ Ca (°)	ϕ Ko (°)	ϕ DB (°)	ϕ DM (°)	ϕ Me (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
20.00	24.5	163.4		1.15	206.3	314	--	--	--	--	--	85	41	33	31	29	38	39	--	40.8	61.3	73.5
20.20	24.0	153.1		1.15	208.5	311	--	--	--	--	--	84	41	33	30	28	38	39	--	40.0	60.0	72.0
20.40	21.6	205.6		1.15	210.8	295	--	--	--	--	--	80	41	33	30	28	37	38	--	35.9	53.9	64.7
20.60	14.7	132.7		1.08	212.9	250	--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	--	24.5	36.8	44.1
20.80	11.3	123.7		1.02	214.9	228	--	--	--	--	--	58	38	29	26	25	33	35	--	18.8	28.2	33.8
21.00	11.4	108.4		1.02	216.9	228	--	--	--	--	--	58	38	29	26	25	33	35	--	18.9	28.4	34.1
21.20	10.2	119.5		1.01	218.9	221	--	--	--	--	--	54	38	29	26	24	33	34	--	17.0	25.5	30.6
21.40	11.0	104.7		1.02	220.9	226	--	--	--	--	--	56	38	29	26	24	33	34	--	18.3	27.4	32.9
21.60	11.2	106.5		1.02	222.9	227	--	--	--	--	--	56	38	29	26	25	33	34	--	18.6	27.9	33.5
21.80	11.8	150.0		1.03	224.9	231	--	--	--	--	--	58	38	29	26	25	33	35	--	19.6	29.4	35.3
22.00	11.6	118.0		1.03	226.9	230	--	--	--	--	--	57	38	29	26	25	33	35	--	19.3	28.9	34.7
22.20	11.8	120.0		1.03	228.9	231	--	--	--	--	--	58	38	29	26	25	33	35	--	19.6	29.4	35.3
22.40	12.3	110.6		1.04	230.9	234	--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	35	--	20.4	30.6	36.8
22.60	15.2	155.0		1.08	233.0	253	--	--	--	--	--	66	39	31	28	26	35	36	--	25.3	38.0	45.6
22.80	22.1	225.0		1.15	235.3	298	--	--	--	--	--	78	41	32	29	28	37	39	--	36.8	55.1	66.2
23.00	23.0	140.7		1.15	237.6	304	--	--	--	--	--	80	41	32	30	28	37	39	--	38.4	57.6	69.1
23.20	21.6	220.0		1.15	239.8	295	--	--	--	--	--	77	41	32	29	27	36	38	--	35.9	53.9	64.7
23.40	16.2	165.0		1.10	242.0	260	--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	37	--	27.0	40.4	48.5
23.60	14.2	109.0		1.07	244.1	247	--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	--	23.7	35.5	42.6
23.80	14.2	109.0		1.07	246.2	247	--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	--	23.7	35.5	42.6
24.00	14.7	150.0		1.08	248.3	250	--	--	--	--	--	63	39	30	27	25	34	36	--	24.5	36.8	44.1
24.20	15.7	95.8		1.09	250.4	256	--	--	--	--	--	65	39	30	27	26	34	36	--	26.1	39.2	47.0
24.40	21.6	220.0		1.15	252.7	295	--	--	--	--	--	76	40	32	29	27	36	38	--	35.9	53.9	64.7
24.60	24.5	149.7		1.15	254.9	314	--	--	--	--	--	80	41	32	30	28	37	39	--	40.8	61.3	73.5
24.80	23.0	176.7		1.15	257.2	304	--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	39	--	38.4	57.6	69.1
25.00	22.5	172.9		1.15	259.4	301	--	--	--	--	--	77	40	32	29	27	36	39	--	37.6	56.4	67.6
25.20	24.5	149.7		1.15	261.7	314	--	--	--	--	--	80	41	32	29	28	37	39	--	40.8	61.3	73.5
25.40	25.0	166.7		1.15	263.9	317	--	--	--	--	--	80	41	32	29	28	37	39	--	41.7	62.5	75.0
25.60	25.7	197.0		1.15	266.2	322	--	--	--	--	--	81	41	32	30	28	37	40	--	42.8	64.2	77.0
25.80	26.5	225.0		1.15	268.4	327	--	--	--	--	--	82	41	33	30	28	37	40	--	44.1	66.2	79.4
26.00	26.7	136.0		1.15	270.7	328	--	--	--	--	--	82	41	33	30	28	37	40	--	44.4	66.6	80.0
26.20	27.4	140.0		1.15	272.9	333	--	--	--	--	--	82	41	33	30	28	37	40	--	45.7	68.6	82.3
26.40	26.5	35.2		1.15	275.2	327	--	--	--	--	--	81	41	32	30	28	37	40	--	44.1	66.2	79.4
26.60	14.2	86.8		1.07	277.3	247	--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	36	--	23.7	35.5	42.6
26.80	24.5	188.0		1.15	279.5	314	--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	39	--	40.8	61.3	73.5
27.00	21.6	131.7		1.15	281.8	295	--	--	--	--	--	73	40	31	28	27	35	38	--	35.9	53.9	64.7
27.20	25.5	130.0		1.15	284.1	320	--	--	--	--	--	79	41	32	29	27	36	40	--	42.5	63.7	76.4
27.40	26.5	161.7		1.15	286.3	327	--	--	--	--	--	80	41	32	29	27	37	40	--	44.1	66.2	79.4
27.60	24.5	149.7		1.15	288.6	314	--	--	--	--	--	77	41	32	29	27	36	39	--	40.8	61.3	73.5
27.80	22.5	143.8		1.15	290.8	301	--	--	--	--	--	74	40	31	28	27	36	39	--	37.6	56.4	67.6
28.00	21.6	165.4		1.15	293.1	295	--	--	--	--	--	72	40	31	28	26	35	38	--	35.9	53.9	64.7
28.20	19.6	119.8		1.15	295.3	282	--	--	--	--	--	69	40	31	28	26	35	38	--	32.7	49.0	58.8
28.40	22.5	132.9		1.15	297.6	301	--	--	--	--	--	74	40	31	28	26	35	39	--	37.6	56.4	67.6
28.60	23.5	150.0		1.15	299.8	308	--	--	--	--	--	75	40	31	28	27	36	39	--	39.2	58.8	70.6
28.80	22.5	172.9		1.15	302.1	301	--	--	--	--	--	73	40	31	28	26	35	39	--	37.6	56.4	67.6
29.00	17.6	122.4		1.12	304.3	269	--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	37	--	29.4	44.1	52.9
29.20	19.6	100.0		1.15	306.5	282	--	--	--	--	--	68	39	30	27	26	34	38	--	32.7	49.0	58.8
29.40	19.6	119.8		1.15	308.8	282	--	--	--	--	--	68	39	30	27	26	34	38	--	32.7	49.0	58.8
29.60	16.7	127.8		1.11	311.0	263	--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	33	37	--	27.8	41.7	50.0
29.80	17.6	107.8		1.12	313.1	269	--	--	--	--	--	64	39	30	27	25	34	37	--	29.4	44.1	52.9
30.00	22.5	--		1.15	315.4	301	--	--	--	--	--	72	40	31	28	26	35	39	--	37.6	56.4	67.6

FON025

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

riferimento

1A

069-2015

Committente:	PARROCCHIA DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO	U.M.:	MPa	Data exec.:	20/07/2015
Cantiere:	SAN GIOVANNI DEL DOSSO	Pagina:	1	Falda: -2.55 m	
Località:	SAN GIOVANNI DEL DOSSO	Elaborato:			

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{Sc}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{DB}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		U.M.	U.M.	U.M.
0.20	2.5	--		1.85	3.6	171	--	--	--	--	--	100	43	42	40	37	45	28	2.00	4.2	6.4	7.6
0.40	--	--		1.85	7.3	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	--	--		1.85	10.9	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	--	--		1.85	14.5	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	4.9	47.6		1.85	18.1	186	--	--	--	--	--	89	42	38	35	33	41	31	2.00	8.2	12.3	14.7
1.20	4.4	44.6		1.85	21.8	183	--	--	--	--	--	81	41	36	33	31	40	31	2.00	7.4	11.0	13.2
1.40	3.2	36.7		1.85	25.4	175	--	--	--	--	--	67	39	34	31	29	38	29	2.00	5.4	8.1	9.7
1.60	1.6	19.5		1.85	29.0	164	68.2	18.3	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	1.0	10.9		1.85	32.6	160	49.0	10.4	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	1.0	18.9		1.85	36.3	160	49.0	9.1	8.6	12.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.8	22.2		1.85	39.9	159	39.2	6.1	10.5	15.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.7	8.3		1.85	43.5	158	34.3	4.7	2.2	3.3	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.6	6.8		0.46	44.4	158	29.4	3.7	2.3	3.5	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.8	8.6		0.86	46.1	159	39.2	5.1	12.7	19.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.9	8.0		0.88	47.8	160	44.1	5.7	12.9	19.3	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1.0	8.0		0.90	49.6	160	49.0	6.2	13.0	19.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.9	3.9		0.88	51.3	160	44.1	5.2	14.1	21.1	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	1.0	3.7		0.90	53.1	160	49.0	5.7	14.3	21.4	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0.9	3.7		0.88	54.8	160	44.1	4.8	15.2	22.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.8	2.9		0.86	56.5	159	39.2	4.0	15.8	23.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.8	2.6		0.86	58.2	159	39.2	3.8	16.4	24.5	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1.0	2.0		0.90	59.9	160	49.0	4.9	16.6	24.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.8	2.7		0.86	61.6	159	39.2	3.6	17.4	26.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.6	2.7		0.46	62.5	158	29.4	2.4	3.3	5.0	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.6	2.3		0.46	63.4	158	29.4	2.4	3.3	5.0	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.7	1.8		0.46	64.3	158	34.3	2.9	3.5	5.3	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.6	3.0		0.46	65.2	158	29.4	2.3	3.4	5.1	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.6	2.7		0.46	66.1	158	29.4	2.3	3.4	5.1	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.7	2.8		0.46	67.0	158	34.3	2.7	3.7	5.5	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.7	2.2		0.46	67.9	158	34.3	2.7	3.7	5.5	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.8	2.2		0.86	69.6	159	39.2	3.1	19.1	28.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.8	2.3		0.86	71.3	159	39.2	3.0	19.4	29.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.3	3.7		0.93	73.1	162	59.3	4.8	20.3	30.4	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	1.2	5.9		0.92	74.9	162	56.0	4.4	20.9	31.4	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	1.2	2.5		0.92	76.7	162	56.0	4.2	21.4	32.1	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	1.0	3.1		0.90	78.5	160	49.0	3.5	22.1	33.2	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	5.3	48.6		0.92	80.3	189	--	--	--	--	--	56	38	31	28	26	35	31	--	8.8	13.2	15.9
7.60	2.5	23.1		0.94	82.2	170	89.1	6.9	20.7	31.0	7.4	29	35	27	23	22	30	28	--	4.1	6.1	7.4
7.80	1.0	4.9		0.90	83.9	160	49.0	3.2	23.3	35.0	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	3.0	16.1		0.97	85.8	174	101.3	7.7	20.8	31.2	9.1	35	35	27	24	23	31	29	--	5.1	7.6	9.1
8.20	2.2	10.7		0.93	87.7	168	82.9	5.9	23.4	35.0	6.5	23	34	26	22	21	29	28	--	3.6	5.4	6.5
8.40	0.8	3.1		0.86	89.3	159	39.2	2.2	21.4	32.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	2.5	7.5		0.94	91.2	170	89.1	6.1	24.0	36.0	7.4	26	34	26	23	22	30	28	--	4.1	6.1	7.4
8.80	1.1	7.5		0.91	93.0	161	52.6	3.1	25.6	38.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	1.2	2.6		0.92	94.8	162	56.0	3.3	26.4	39.7	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	2.4	15.0		0.94	96.6	169	87.1	5.5	26.2	39.2	7.1	23	34	26	22	21	29	28	--	3.9	5.9	7.1
9.40	3.5	6.5		0.99	98.5	177	117.6	7.8	23.8	35.7	10.6	37	36	28	24	23	31	30	--	5.9	8.8	10.6
9.60	6.9	31.0		0.95	100.4	199	--	--	--	--	--	59	38	31	28	26	35	32	--	11.4	17.2	20.6
9.80	3.0	20.0		0.97	102.3	174	101.3	6.2	26.8	40.2	9.1	31	35	27	23	22	30	29	--	5.1	7.6	9.1
10.00	2.2	11.4		0.93	104.1	168	82.9	4.7	28.9	43.4	6.5	18	33	25	22	20	28	28	--	3.6	5.4	6.5
10.20	0.9	2.9		0.88	105.9	160	44.1	2.1	24.5	36.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	0.8	2.2		0.86	107.5	159	39.2	1.8	22.4	33.6	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	0.9	1.9		0.88	109.3	160	44.1	2.0	24.6	37.0	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	1.0	2.2		0.90	111.0	160	49.0	2.3	26.7	40.1	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	0.9	1.6		0.88	112.8	160	44.1	1.9	24.8	37.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	0.9	1.8		0.88	114.5	160	44.1	1.9	24.9	37.4	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.40	0.9	1.8		0.88	116.2	160	44.1	1.9	25.0	37.5	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	0.9	1.8		0.88	117.9	160	44.1	1.8	25.1	37.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	0.8	1.8		0.86	119.6	159	39.2	1.6	22.8	34.2	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00	1.0	1.7		0.90	121.4	160	49.0	2.0	27.4	41.1	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20	1.4	5.7		0.94	123.2	163	62.4	2.7	32.3	48.4	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.40	1.9	6.5		0.99	125.2	166	76.0	3.4	35.1	52.7	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.60	1.4	4.7		0.94	127.0	163	62.4	2.6	32.7</													

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 SAN GIOVANNI DEL DOSSO
PROVINCIA DI MANTOVA

OGGETTO:

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
PER GLI INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE E RECUPERO FUNZIONALE
DELLA CHIESA PARROCCHIALE “SAN GIOVANNI BATTISTA”
IN COMUNE DI SAN GIOVANNI DEL DOSSO**

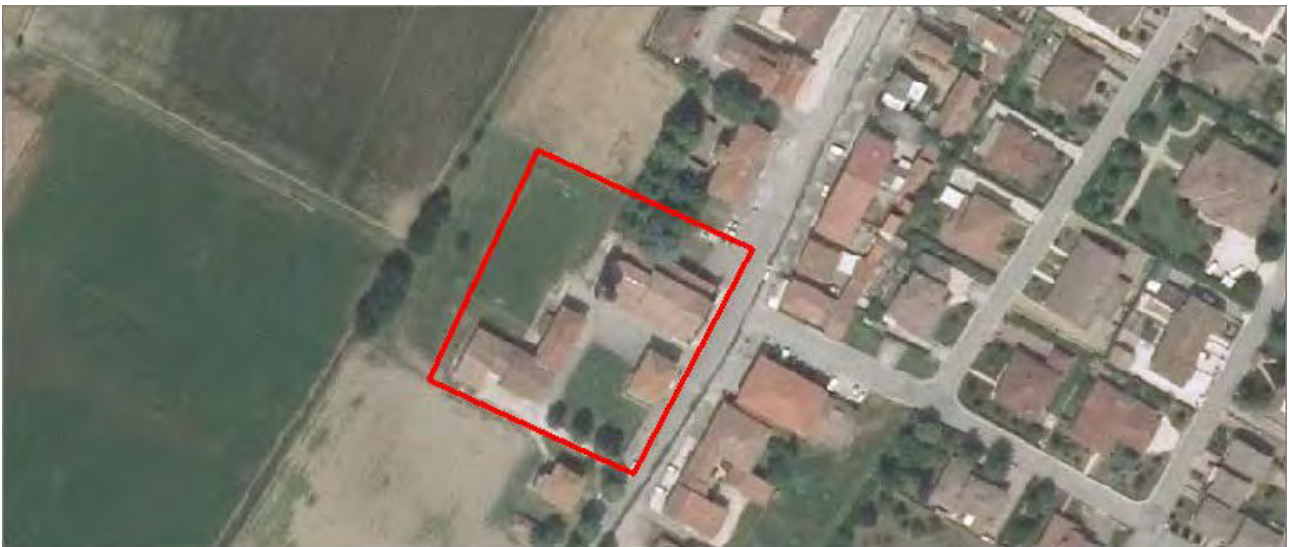
LOCALITÀ:

San Giovanni del Dosso - Via Roma 11

COMMITTENTE

Parrocchia di San Giovanni del Dosso

LUGLIO 2015



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	5
4. INDAGINI REALIZZATE	13
5. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	14
a. Indagini geofisiche	14
a1. I dati ottenuti	14
a2. Interpretazione delle indagini	14

1. PREMESSA

Su incarico della GeoProgetti Srl, con sede in Via Duca D'Este 6 - 41036 Medolla (MO), è stato redatto lo studio sismico per il miglioramento sismico della Chiesa di San Giovanni del Dosso nel comune omonimo. L'indagine è stata effettuata mediante indagini sismiche.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVO

L'area di intervento è ubicata in San Giovanni del Dosso, via Roma

I principali riferimenti sono:

a. Riferimenti cartografici (fig. 2.1 - 2.2)

C.T.R.: F8A3 (Poggio Rusco)

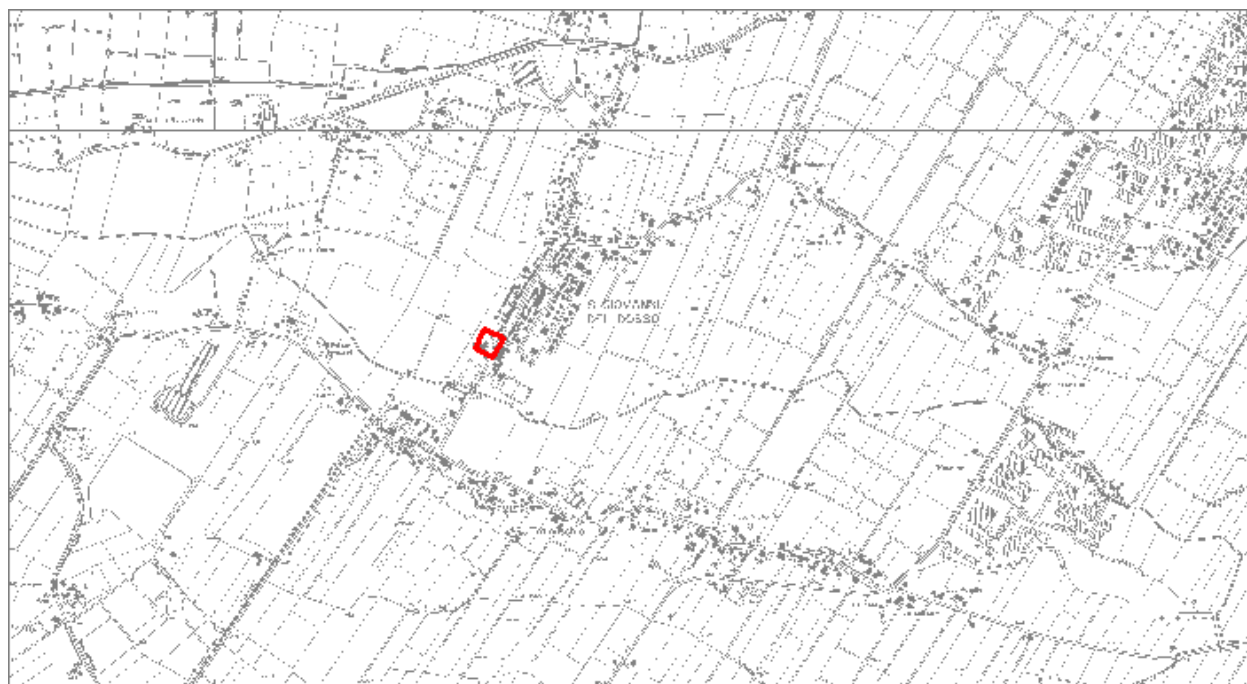


Figura 2.1: Localizzazione area di indagine su C.T.R. a scala 1:25.000.

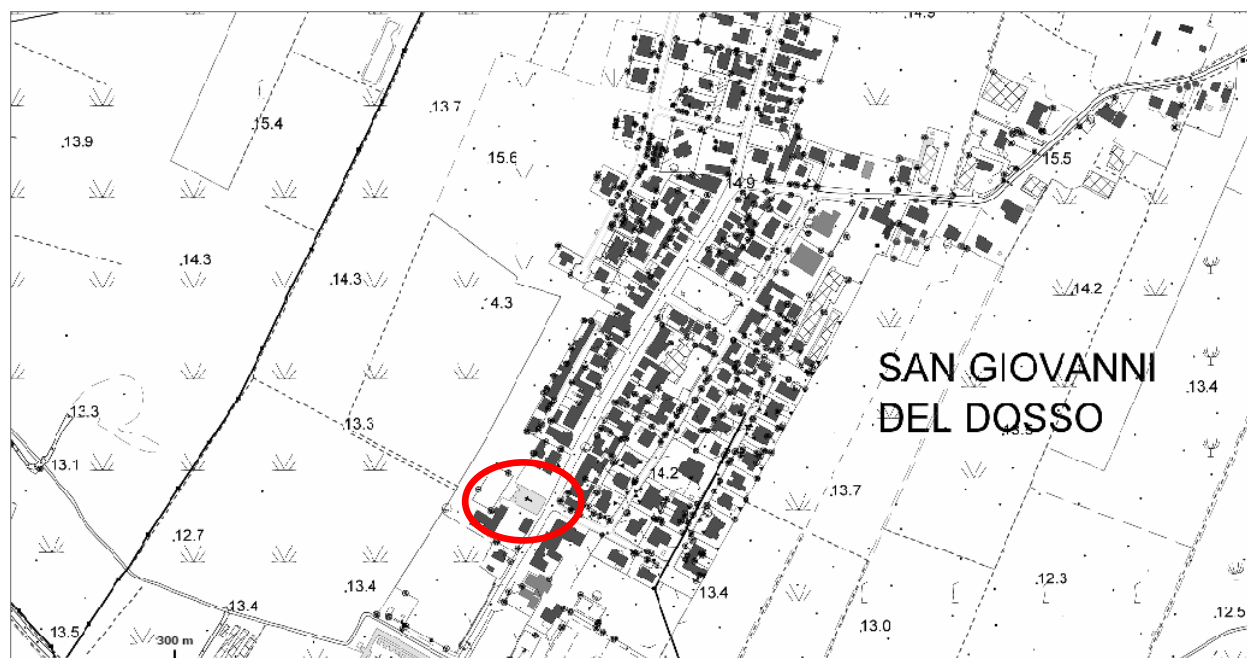


Figura 2.2: Localizzazione area di indagine su C.T.R. a scala 1:5.000.

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 $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ 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
San Giovanni del Dosso	n.c.	3	$0.15 g$

È stata differita al 14 ottobre 2015 l’entrata in vigore della nuova classificazione sismica dei comuni lombardi, approvata con D.G.R. 21 luglio 2014 n.2129. Lo ha stabilito la Giunta regionale con la Delibera del 10 ottobre 2014 - n. X/248.

b. Sismicità storica delle aree di intervento

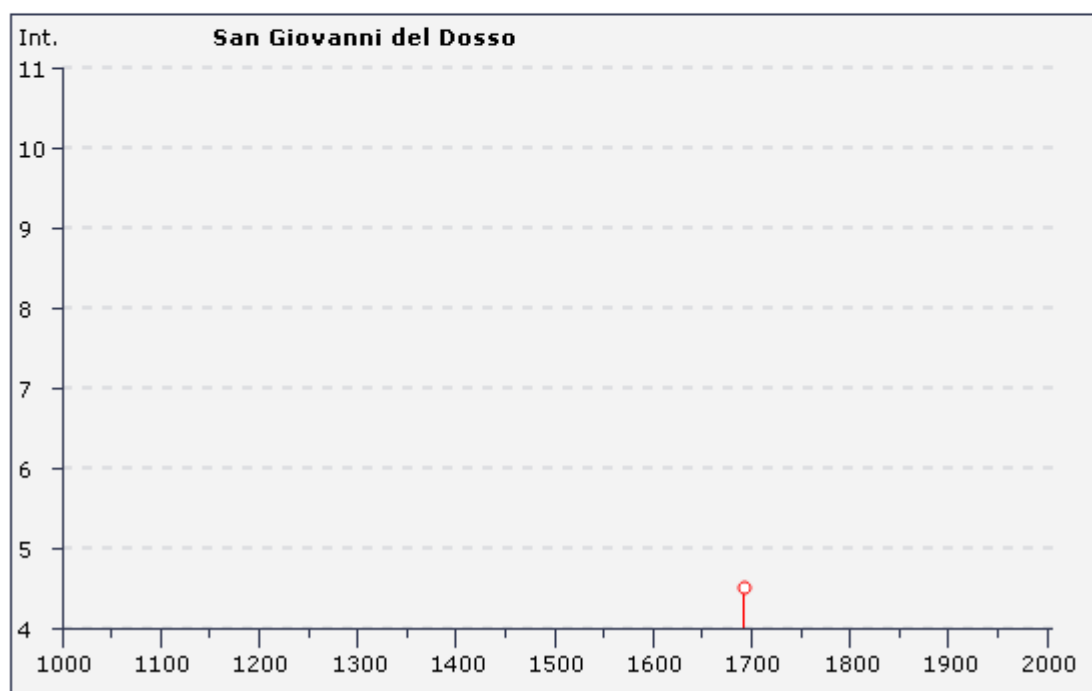
Nella tabella 3.3 sono riportati i dati storici del comune di San Giovanni del Dosso, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di San Giovanni del Dosso [44.966, 11.079]



Numero di eventi: 5

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4-5	1693 07 06 09:15	GOITO	13	7 5.22 ±0.72
NF	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21
NF	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
NF	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17
3	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09



[download]

Tabella 3.3: Storia sismica del comune di San Giovanni del Dosso (Mn).

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: 11.080181 LATITUDINE: 44.966509

☐ 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

km 7.5

14506 14507

-7.5 14728 14729 7.5 km

-7.5

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☒ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione
media ponderata

FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE

Stati limite ultimi - SLU

$\left\{ \begin{array}{l} \text{SLO} - P_{VR} = 81\% \\ \text{SLD} - P_{VR} = 63\% \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{SLV} - P_{VR} = 10\% \\ \text{SLC} - P_{VR} = 5\% \end{array} \right.$

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	45	0.040	2.591	0.260
SLD	75	0.049	2.556	0.280
SLV	712	0.126	2.593	0.287
SLC	1462	0.164	2.563	0.294

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

6

FASE 3 – Determinazione dell'azione di progetto

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato SLV info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo C info

Categoria topografica T1 info

$S_s =$ 1.500 info

$h/H =$ 1.000 info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

$C_o =$ 1.585 info

$S_T =$ 1.000 info

Compon. orizzontale

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Smorzamento ξ (%) 5 info

Fattore q_o 3 info

$\eta =$ 1.000 info

Regol. in altezza no info

Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore q 1.5 $\eta =$ 0.667 info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta ➡

Parametri e punti spettri di risposta ➡

Spettri di risposta

$S_{d,o}$ [g]

$S_{d,v}$ [g]

S_e [g]

0.60

0.50

0.40

0.30

0.20

0.10

0.00

0

1

2

3

4

T [s]

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,966509
longitudine: 11,080181
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14728	Lat: 44,9593	Lon: 11,0190	Distanza: 4882,236
Sito 2	ID: 14729	Lat: 44,9608	Lon: 11,0895	Distanza: 968,310
Sito 3	ID: 14507	Lat: 45,0108	Lon: 11,0875	Distanza: 4953,582
Sito 4	ID: 14506	Lat: 45,0093	Lon: 11,0168	Distanza: 6892,674

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,040 g
Fo: 2,591
Tc*: 0,260 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,049 g
Fo: 2,556
Tc*: 0,280 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,126 g
Fo: 2,593
Tc*: 0,287 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,164 g
Fo: 2,563
Tc*: 0,294 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,640
St: 1,000
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,582
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,015
Kv: 0,007
Amax: 0,719
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500
Cc: 1,580
St: 1,000
Kh: 0,045
Kv: 0,023
Amax: 1,854
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,450
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,057
Kv: 0,029
Amax: 2,338
Beta: 0,240

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

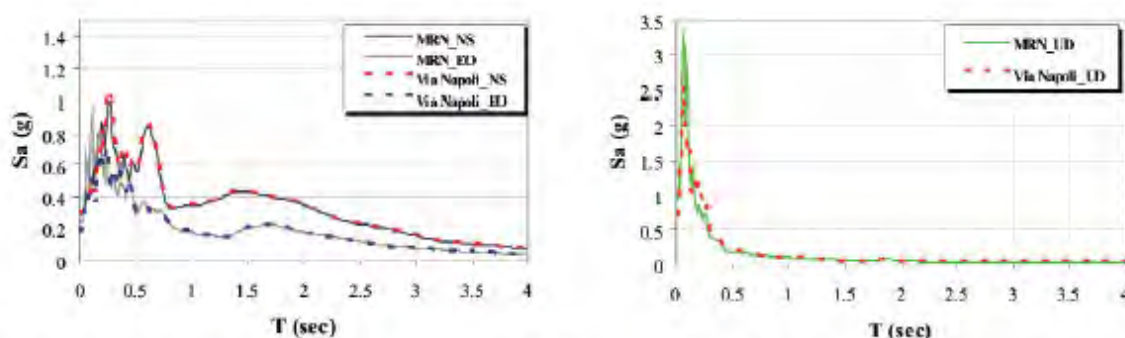


Fig. 1 - Confronto in pseudoaccelerazione spettrale tra le registrazioni dell'evento del 29.05.2012 (5.8 MI) disponibili per le stazioni MRN-RAN e di via Napoli.

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
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
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
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

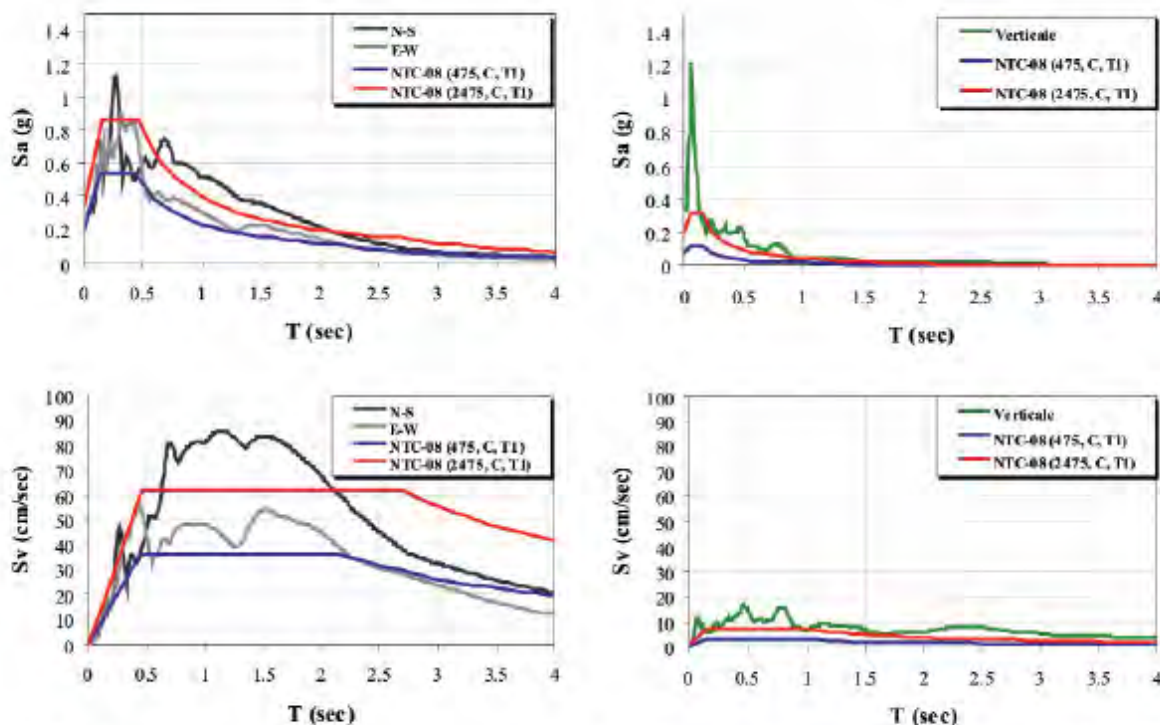


Fig. 2 - Confronto in pseudoaccelerazione (sopra) e pseudovelocità (sotto) tra l'azione registrata, nel piano (N-S, E-W) e sulla componente verticale dell'evento del 20.05.2012 alla stazione RAN di Mirandola (MRN) e quella attesa dalla norma NTC-2008 per suolo C, categoria topografica T1 e periodi di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

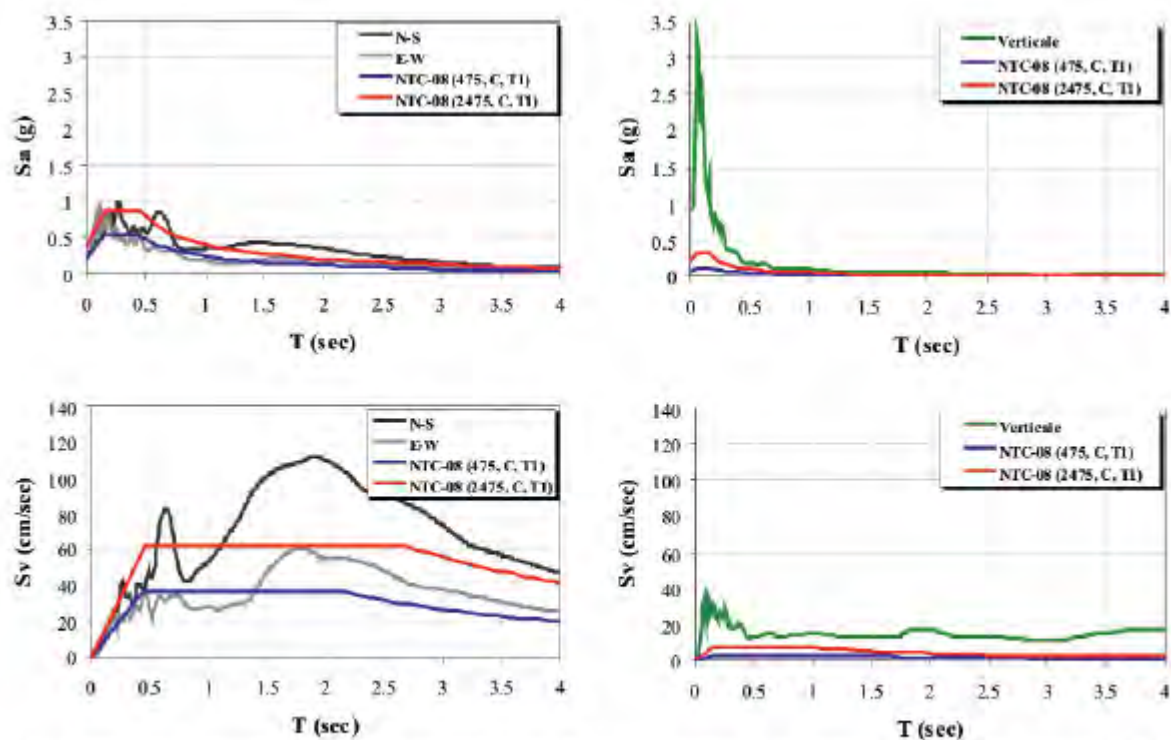


Fig. 3 - Confronto in pseudoaccelerazione (sopra) e pseudovelocità (sotto) tra l'azione registrata, nel piano (N-S, E-W) e sulla componente verticale dell'evento del 29.05.2012 alla stazione RAN di Mirandola (MRN) e quella attesa dalla norma NTC-2008 per suolo C, categoria topografica T1 e periodi di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

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

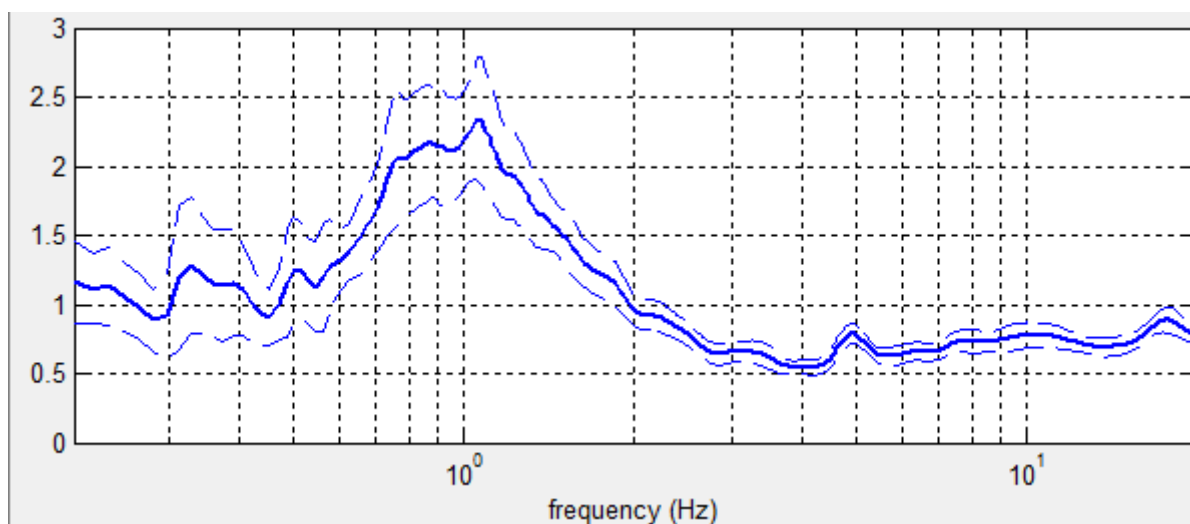
L'indagine geofisica è stata eseguita mediante sismica attiva MFA - HoliSurface e passiva multicanale (SPAC) e a stazione singola (HVSr) sia per la definizione del picco di risonanza dei terreni di fondazione (f_0) sia per la determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, mediante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

a2. Interpretazione delle indagini geofisiche

La campagna di prospezione geofisica è stata eseguita nel luglio 2015. Tale indagine ha consistito nelle acquisizioni di microtremiti 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:

San Giovanni del Dosso (MN) - via Roma - HVSR

Strumento: Gemini2 - PASI Srl

Inizio registrazione: 20/07/15 Fine registrazione: 20/07/15

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

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 0h15'5" tracciato (selezione manuale)

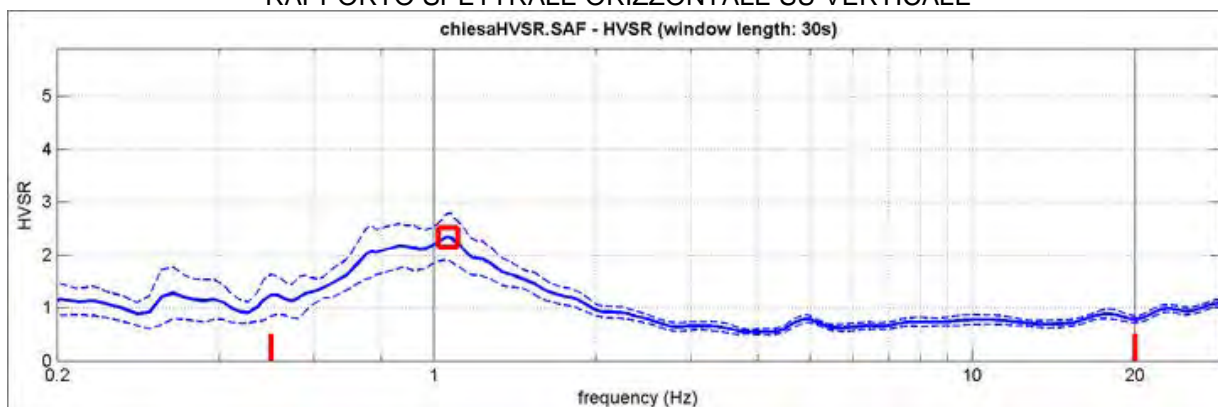
Freq. campionamento: 64 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

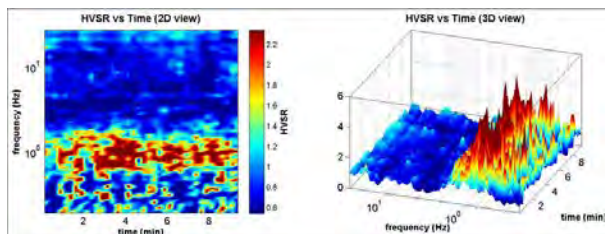
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

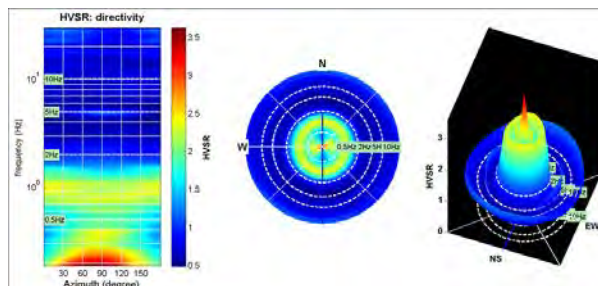
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



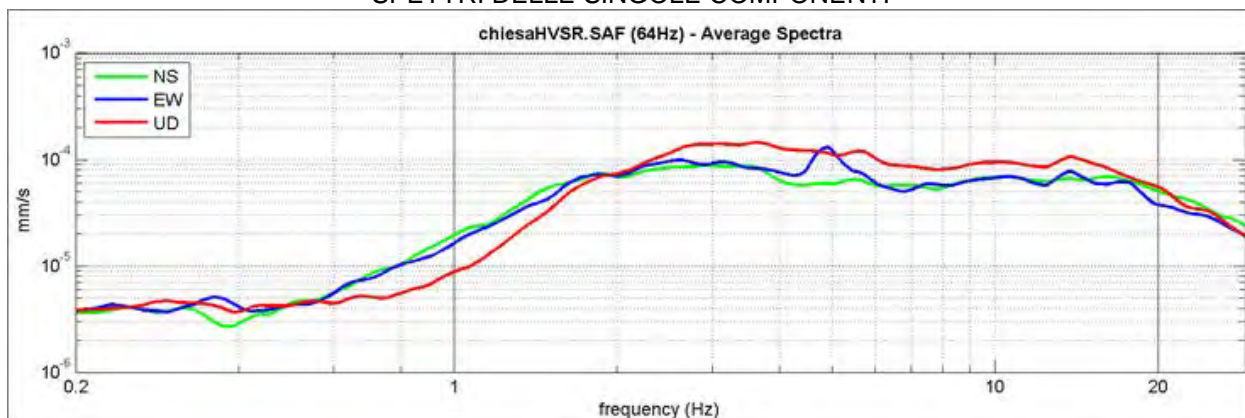
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Secondo le linee guida SESAME, 2005.

<p><i>0.5-20.0Hz frequency range</i> Peak frequency (Hz): 1.1 (± 0.2) Peak HVSR value: 2.3 (± 0.5)</p>
--

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.1 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1212 > 200$	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 $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.5 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.9 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.3 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.244 < 0.106$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.445 < 1.78$	OK	

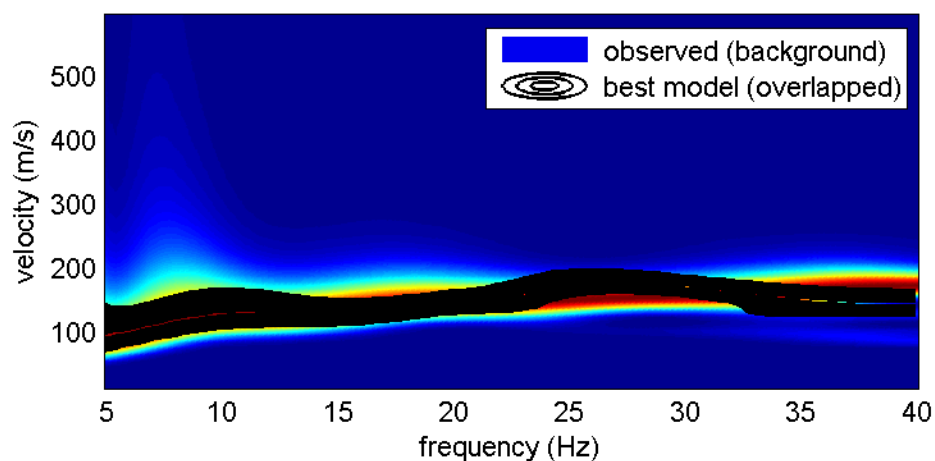
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f 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

Valori di soglia per 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

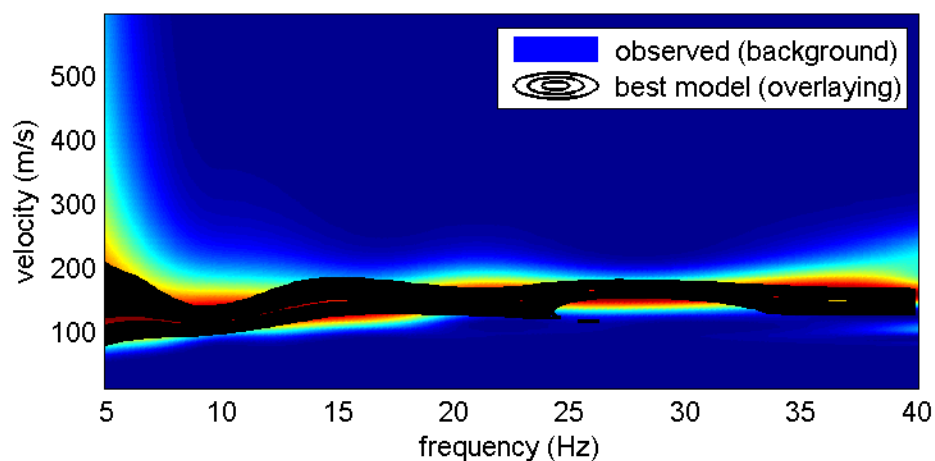
San Giovanni del Dosso (MN) - via Roma - Hs
(Analisi Rayleigh + SPAC + HVSR)

Analisi onde Rayleigh (offset 35 m e frequenza di campionamento a 1 KHz)

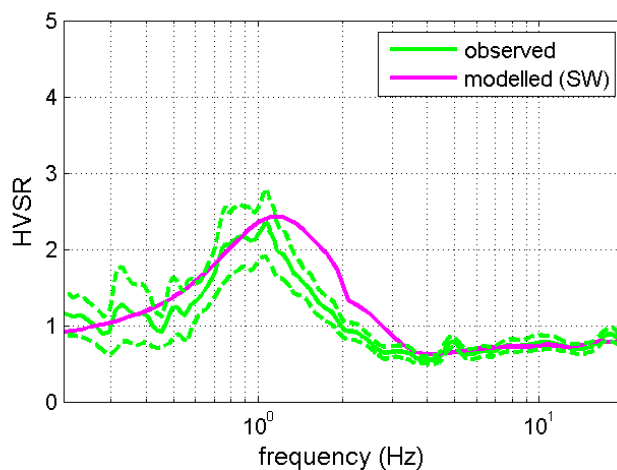
vertical component

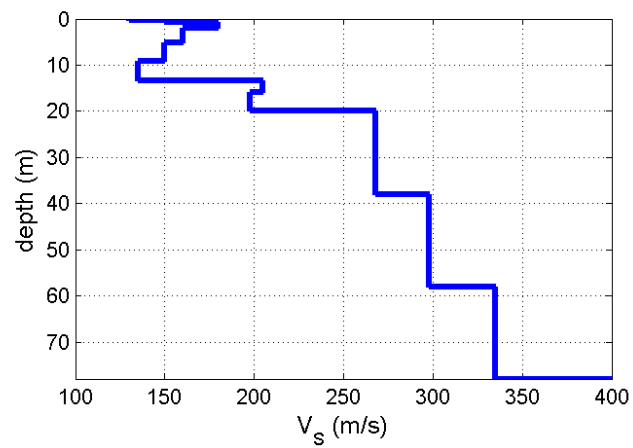


radial component



Analisi HVSR - Tr01





Subsurface model

Shear-wave velocities (m/s): 130 150 180 160 150 135 205 198 268 298 335 400

Thicknesses (m): 0.3 0.4 1.2 3.2 4.0 4.2 2.7 4.0 18.0 20.0 20.0

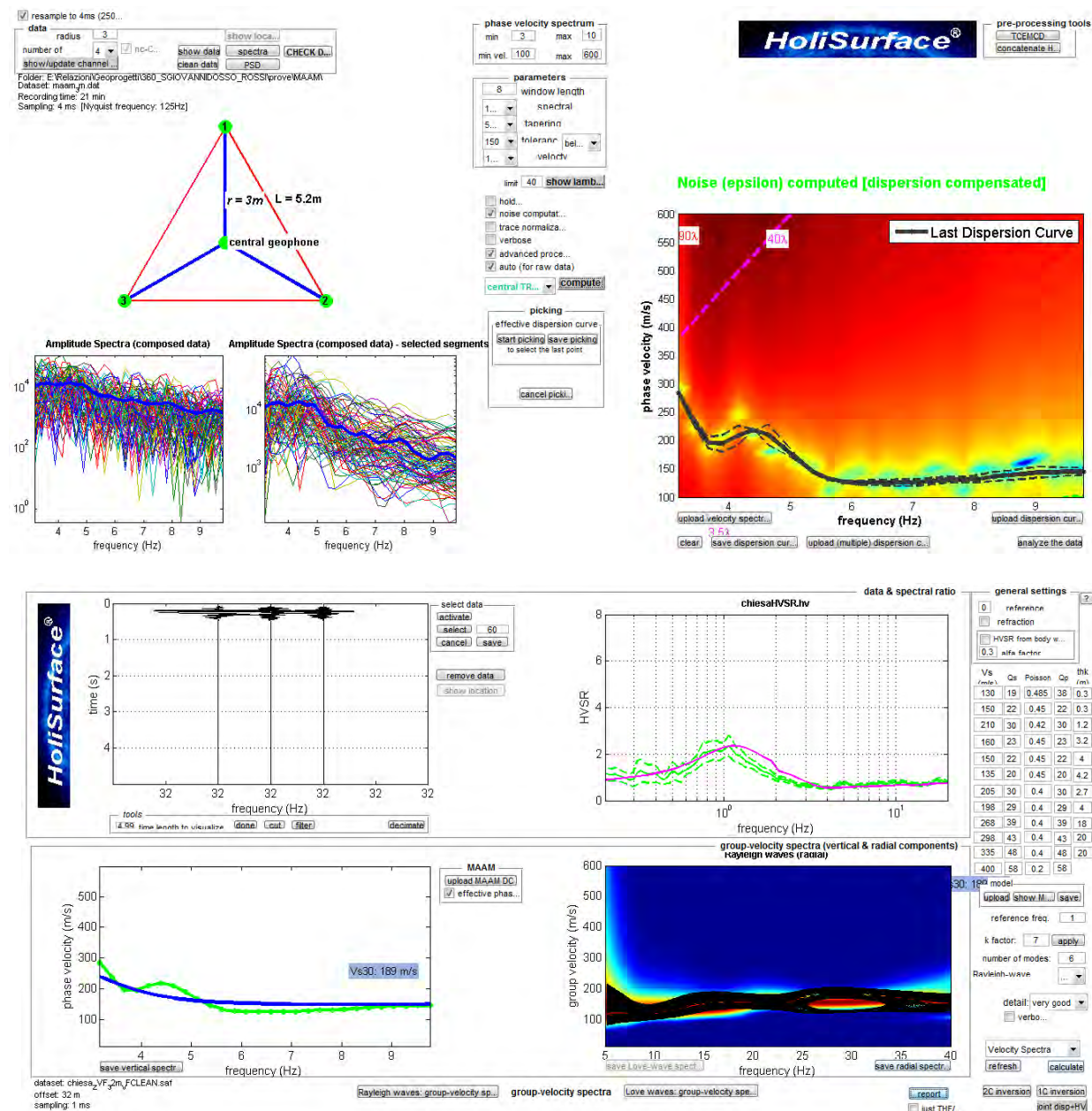
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 34 42 61 49 42 34 79 74 140 176 225 312

V_{s30} (m/s): 187

San Giovanni del Dosso (MN) - via Roma - SPAC (Analisi Rayleigh + SPAC + HVSR)

Analisi onde Rayleigh (Config. spaziale circolare con raggio 3 m e frequenza di campionamento a 500 Hz)

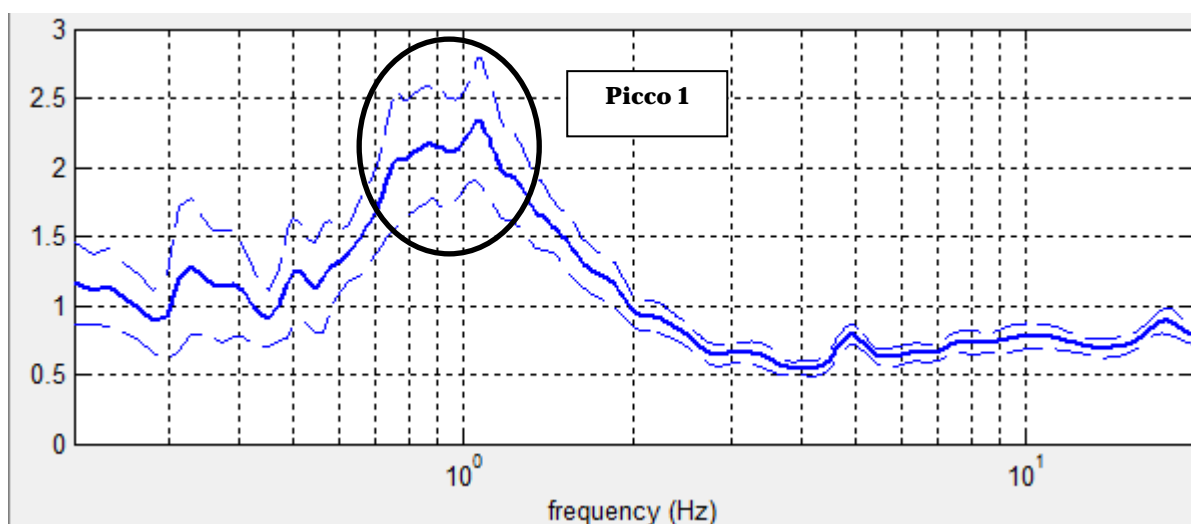
Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh (velocità di fase) secondo la tecnica passiva *Miniature Array Analysis of Microtremors* (nc-CCA), evoluzione della metodologia SPAC, grazie alla quale è possibile delineare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.



Vs30 (m/s): 189

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 e CPTU, 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:

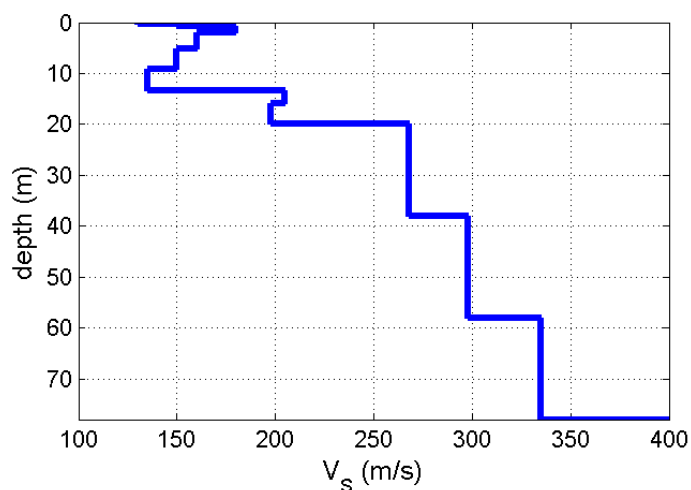


Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)
1	~ 2.3	~ 1.1

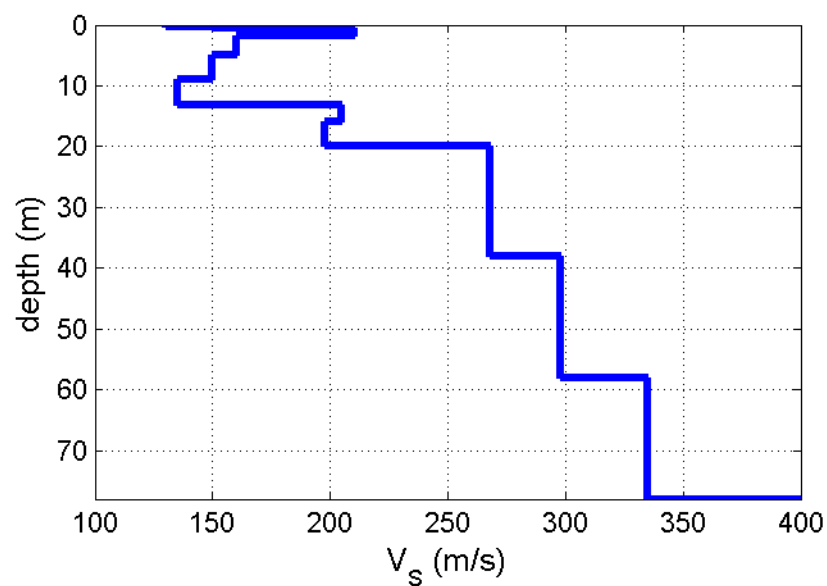
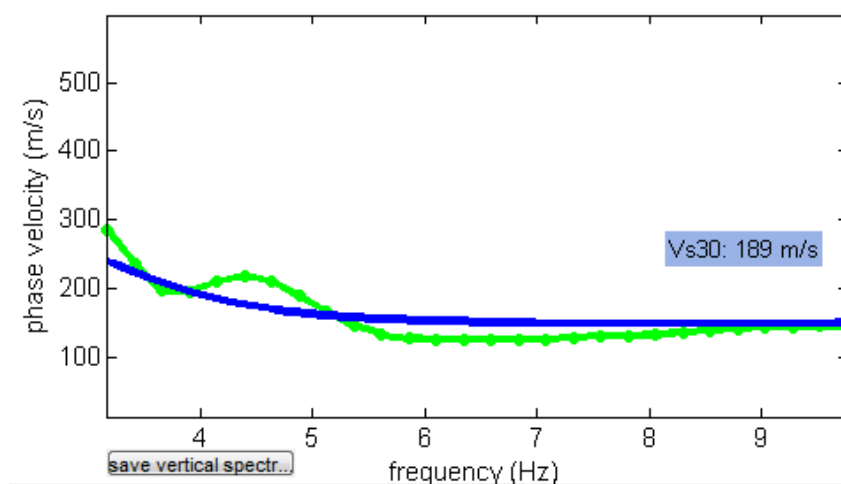
Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli ($2 < H/V < 3$) in caso di moto sismico.

Relativamente al profilo di Vs con la profondità e alla determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, **mediante la ricostruzione delle Vs₃₀** attraverso l'analisi HoliSurface, abbiamo che:

- MFA - Hs



- SPAC



V_s (30): 187 - 189 (categoria di sottosuolo "C")