

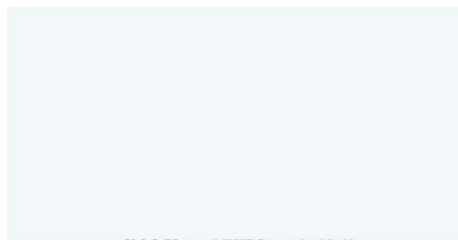
GEOLOGIA E AMBIENTE
DOTT. GEOL. ALESSANDRO MERLI 

Committente: **Consorzio "REGINA PACIS"**

Comune: **Rimini**

**RELAZIONE GEOLOGICA E APPROFONDIMENTI DI STUDIO DI MICROZONAZIONE
SISMICA DI III° LIVELLO PER PIANO PARTICOLAREGGIATO DENOMINATO "REGINA
PACIS-SCHEDA DI PRG 9.3B-VIA BUONAMICI/VIA GRAVINA, COMUNE DI RIMINI (RN)**

Rimini, aprile 2013
Rif. 2044



Dott. Geol. ALESSANDRO MERLI

"Riproduzione Cartacea di documento Firmato Digitalmente ai sensi artt 20 e 22 Dl 82/2005"

Protocollo N.0322044/2018 del 26/11/2018

'Class. ' 010.006002

Firmatario: Alessandro Ravaglioli

Documento Principale

I N D I C E

1	PREMESSA	pag. 2
2	ANALISI GEOLOGICA	pag. 3
2.1.	Inquadramento geotettonico	pag. 3
2.2.	Geomorfologia e stratigrafia	pag. 4
2.3.	Idrografia e idrogeologia	pag. 7
3	INDAGINE GEOGNOSTICA E GEOFISICA	pag. 9
3.1	Considerazioni generali	pag. 9
3.2	Prova penetrometriche statiche CPTe-CPTu	pag. 9
3.3	Sondaggio meccanico a rotazione	pag. 9
3.4	Prove di laboratorio	pag.10
4	INDAGINI GEOFISICHE	pag. 11
4.1	Generalità	pag. 11
4.2.1	Cono sismico	pag. 11
4.2.2	Valutazione moduli elastici	pag. 12
4.3	Prove HVSR	pag. 14
4.4	Risultanze indagini geofisiche	pag. 15
5	LITOLOGIA E CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE	pag. 16
6	TUTELA ASSETTI IDROGEOLOGICI	pag. 20
7	VALUTAZIONI DI MICROZONAZIONE SISMICA	pag. 20
7.1	Premesse normative	pag. 20
7.2	Verifiche e valutazioni di microzonazione sismica	pag. 20
8	STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA	pag. 22
9	VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA	pag. 23
10	ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	pag. 24
10.1	Verifica dei casi in cui si può escludere fenomeni di liquefazione	pag. 24
10.2	Eventi sismici attesi	pag. 24
10.3	Accelerazione massima attesa	pag. 30
10.4	Distribuzione granulometrica	pag. 30
10.5	Profondità della falda	pag. 31
11	STIMA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	pag. 31
12	CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	pag. 32
13	EDIFICABILITA' DELL'AREA	pag. 34
13.1	Generalità	pag. 34
13.2	Parcheggi e viabilità	pag. 35

ALLEGATI NEL TESTO

- ALLEGATO N. 1 - Inquadramento geografico - corografia
 ALLEGATO N. 2 - Carta geologica
 ALLEGATO N. 3 - Planimetria con ubicazione campagna geognostica e geofisica
 ALLEGATO N. 4 - Prove geognostiche
 ALLEGATO N. 5 - Prove geofisiche
 ALLEGATO N. 6 - Prove di laboratorio
 ALLEGATO N. 7 – Stralcio Tavola PSC.1.3.1a - Comune di Rimini
 ALLEGATO N. 8 - Stralcio Tavola PSC.1.3.2 a - Comune di Rimini
 ALLEGATO N. 9 – Diagramma di suscettibilità alla liquefazione
 ALLEGATO N. 10 – Verifiche di calcolo della potenziale liquefacibilità
 ALLEGATO N. 11 – Carta del potenziale di liquefazione e dei cedimenti sismici attesi
 ALLEGATO N. 12 – Stima delle manifestazioni superficiali dei fenomeni di liquefazione

"Riproduzione Cartacea di documento Firmato Digitalmente ai sensi artt 20 e 22 Dl 82/2005"

Protocollo N.0322044/2018 del 26/11/2018

'Class. ' 010.006002

Firmatario: Alessandro Ravaglioli

Documento Principale

1 PREMESSA

Su incarico del Consorzio "Regina Pacis", nell'ambito della progettazione del Piano Particolareggiato in esecuzione della scheda di PRG 9.3B – Via Buonamici / Via Gravina - del Comune di Rimini, è stato predisposto il presente studio geologico con finalità sia di conoscenza geologica dell'area di sedime dell'intervento edilizio che di approfondimento per gli aspetti di microzonazione sismica e sulla liquefazione.

Quest'ultimo aspetto si rende necessario quale conseguenza delle valutazioni di microzonazione sismica riportate in Tav. 1.3.1a del PSC del Comune di Rimini (in regime di adozione) che hanno individuato la necessità di procedere ad uno studio di microzonazione sismica come *terzo livello di approfondimento - analisi approfondita* di cui al punto a) del punto 4.2 della delibera dell'Assemblea Legislativa progr. N° 112 del 2 maggio 2007 – "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*".

L'area di studio è compresa nel nell'Elemento 123 (Bellariva) del Foglio 256 (RIMINI) della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna (allegato 1).

Il lavoro è stato articolato nelle seguenti fasi:

- rilevamento geolitologico, geomorfologico e delle condizioni idrogeologiche;
- ricostruzione del modello geologico e geofisico generale del sito attraverso il materiale bibliografico (sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano romagnola a cura del Servizio geologico e sismico dei suoli della Regione Emilia Romagna) e studi precedenti effettuati in sito adiacente dal Comune di Rimini con relativa Microzonazione di III livello redatti dai tecnici comunali, per la realizzazione di un edificio scolastico in Via Parini (anno 2008);
- valutazione delle caratteristiche geomorfologiche, geolitologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area;
- esecuzione di n. 3 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu;
- esecuzione di n. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTe;
- Utilizzo a scopo correlativo di n. 1 sondaggio a rotazione a carotaggio continuo
- Utilizzo a scopo correlativo di indagini geofisiche eseguite nell'areale adiacente tramite n. 1 prospezione sismica con cono sismico e n. 1 Down Hole;
- correlazione delle prove effettuate con altre realizzate per altri studi in aree limitrofe;
- utilizzo a scopo correlativo di risultanze di analisi di laboratorio pregresse di campioni prelevati in prossimità dell'area in studio (realizzati per scuola Via Parini);
- individuazione delle caratteristiche di edificabilità dell'area;
- valutazione del rischio sismico e degli effetti di sito attraverso l'analisi di microzonazione sismica di III° livello di approfondimento per gli effetti della liquefazione.

All'interno del piano in oggetto sono presenti diverse aree di cui una, l'ambito relativo alla Scuola Comunale ubicata in via Parini, risulta già studiata sotto il profilo delle analisi di microzonazione sismica di III livello. Tale studio è stato condotto dai tecnici comunali Dott. Carlo Copioli e Roberta Carlini in data ottobre 2008 nel contesto della "Variante al P.R.G. a seguito dell'accordo art. 40 L.R. 20/2000 con Provincia Diocesi - I.D.S.C., Comitato "San Martino contro elettrodotto" e con soggetti privati per risarcire i danni causati dall'elettrodotto".

Tale relazione, fornita dall'Amministrazione Comunale di Rimini, sarà presentata in allegato al progetto di Piano Particolareggiato quale compendio al presente studio per la parte prettamente relativa all'edificio scolastico ed agli approfondimenti di microzonazione sismica di III livello, a cui si rimanda per tutti i risultati specifici e gli approfondimenti metodologici generali.

In tale relazione, a seguito di specifiche indagini geognostiche e geofisiche (cui peraltro si farà esplicito riferimento anche nel seguito) i fattori di amplificazione sismica sono stati ottenuti tramite l'adozione delle tabella RER "Costa 1" indicata nella Del.A.Lgs. 112/2007 risultando pari a:

- **F.A. di P.G.A. = 1,7.**
- **F.A. Intensità Spettrale di Housner per periodi di frequenza di 0.1 sec < To < 0.5 sec = 2,3.**
- **F.A. Intensità Spettrale di Housner per periodi di frequenza di 0.5 sec < To < 1.0 sec = 2,5.**

I fattori di amplificazione così stimati, hanno consentito di determinare una accelerazione massima in superficie pari ad **Agmax=0.311**.

Infine le verifiche condotte per il potenziale di liquefazione di tale sito, caratterizzato da un corpo sabbioso saturo di spessore pari a 6.5 mt, attraverso analisi sulla base delle Vs rilevate, hanno condotto ad una stima di **IL=9.518** ovvero ad un rischio di liquefazione "elevato" e cedimenti di 2.5 cm in funzione del piano riferimento adottato.

Pertanto il presente studio è finalizzato sia alla valutazione complessiva da parte della Provincia di Rimini ai sensi dell'art. 5 della L.R. 19/08 della compatibilità dello strumento urbanistico attuativo con gli elementi di pericolosità geologica locale che, al pari di tutti gli atti di pianificazione urbanistica, concorrono alla riduzione del rischio sismico, così come specificato nell'art. 2, comma 4, dell'allegato alla L.R. 20/2000.

Diversamente sulle altre aree oggetto del piano particolareggiato, di seguito individuate e denominate come: LOTTO1 e 2, AUTORIMESSA 1 e 2 (vedi all. n. 3), è stato condotto uno studio di microzonazione di III livello di approfondimento ai sensi della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07 della Regione Emilia – Romagna, la quale ha approvato il seguente documento: *"Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16, comma 1, della L.R. 20/2000 – Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio"*, in merito a *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*, seguita successivamente da una nota esplicativa redatta dai Servizi della Regione Emilia - Romagna con prot. n. 2007.0166430 del 22/06/07.

2 ANALISI GEOLOGICA

2.1 Inquadramento geotettonico

Il bordo appenninico esterno e l'attuale fascia costiera sono il prodotto del sistema ad embrici e accavallamenti che regola il sollevamento e lo sviluppo della catena appenninica.

Secondo le recenti ricerche dell'AGIP (Pieri e Groppi, 1981) la Pianura Padana meridionale costituisce una stretta fascia allungata parallelamente ai rilievi del bordo appenninico entro cui si è verificato un consistente accumulo di depositi soprattutto neogenici.

La presenza di strutture tettoniche sepolte drappeggiate ed annegate da tali depositi, storicamente ipotizzata, è stata accertata attraverso la realizzazione di "sezioni sismiche".

Lungo il bordo appenninico esterno e la fascia di pianura antistante gli elementi strutturali accatastati vengono a formare un prisma di accrezione che per la complessa interferenza tra l'attività tettonica e quella sedimentaria assume i caratteri di una pronunciata fossa tettonica (Scandone, 1980) denominata "Avanfossa appenninico-adriatica" (Ori, Roveri e Vannoni, 1986). L'intrecciarsi di complessi meccanismi sedimentari e tettonici hanno dato luogo alla formazione di bacini alla fronte e sulla parte retrostante degli accavallamenti traslando con essi all'interno della avanfossa.

Il risultato finale è quello di un consistente impilamento di sedimenti caratteristici della successione sedimentaria plio-peistocenica della zona di studio.

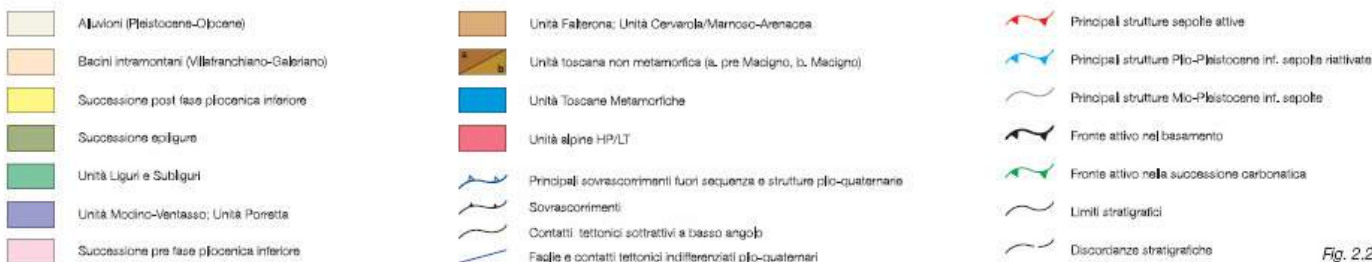
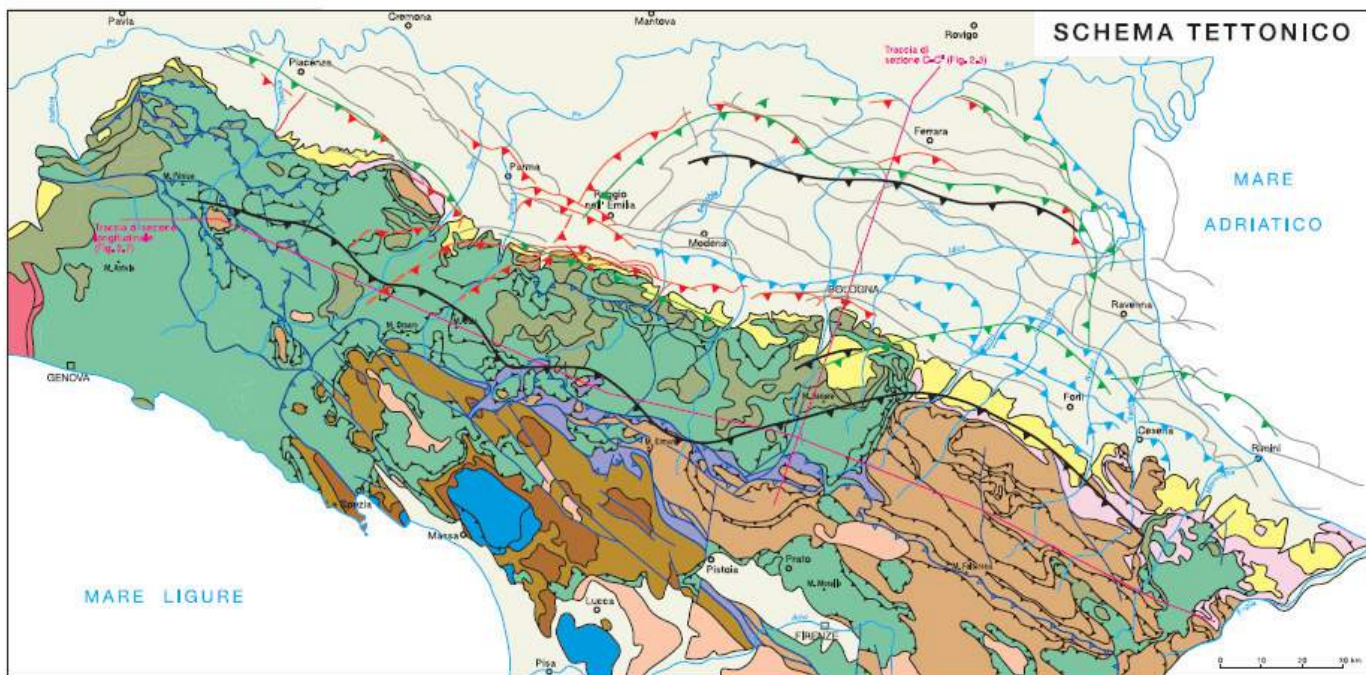


Fig. 2.2

Schema tettonico Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico, 2004)

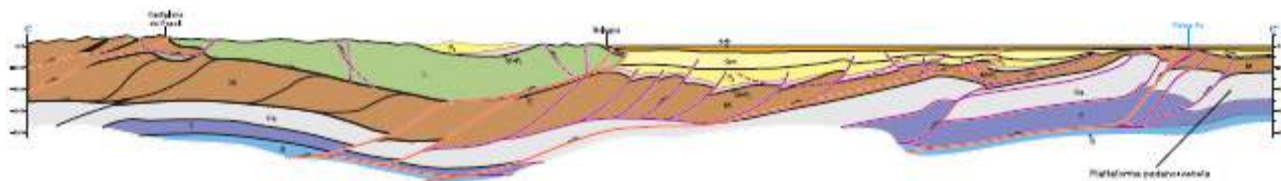


Fig. 2.3

Sezione schematica Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico, 2004)

2.2 Geomorfologia e stratigrafia

Le aree in studio sono inserite nell'ambito di una porzione di territorio prettamente urbano posto in prossimità della fascia costiera a circa 600 ml di distanza dall'attuale linea di costa e 160 ml a sud ovest della Linea Ferroviaria Rimini-Ancona, ad una quota altimetrica media di circa 2,6 mt rispetto al livello marino medio di riferimento.

L'aspetto morfologico dell'area è quello subpianeggiante tipico delle fasce costiere basse, originato dall'interazione tra ambiente continentale (alluvionale) e marino (litorale).

L'estensione lineare del tratto costiero consente un'azione piuttosto regolare da parte delle correnti litorali e la formazione di una fascia sabbiosa estesa anche a distanza dalle foci fluviali che costituiscono le fonti di alimentazione per lo sviluppo del sistema deposizionale litorale.

Spostandosi verso l'entroterra, ad una distanza media di circa 900 ml dalla linea di riva, al di là della fascia di lidi e spiagge morte ora urbanizzata, vi sono deboli tracce del gradino morfologico di paleofalesia con un innalzamento topografico di qualche metro. Tale salto di pendenza, determina un terrazzamento costiero, a tratti più o meno marcato e/o antropizzato, linearmente esteso dal Comune di Cattolica (a S.E.) fino a quello di Igea Marina (a N.O.) se si eccettua l'interruzione centrale da parte del cono alluvionale del Fiume Marecchia.

La falesia, composta da depositi limo-argillosi recenti, rappresenta il limite tra la pianura alluvionale a S.O. ed il prisma sedimentario sabbioso litorale a N.E. riferibile alla trasgressione Flandriana (Olocene) successiva all'ultima glaciazione (Wurm). La scarpata rappresenta il prodotto dell'azione erosiva del mare durante la fase di massima ingressione verificatasi circa 5.000 anni fa (Veggiani, "La linea di spiaggia"). Successivamente le variazioni oloceniche del livello marino hanno portato la linea di riva a lambire più volte la falesia.

Le caratteristiche sedimentarie dei terreni nel primo sottosuolo nell'area di interesse indica una dominanza di processi deposizionali costieri (ambiente litorale) a scapito dei processi alluvionali. I terreni costituenti la stratigrafia sono costituiti da sabbie, sabbie limose di origine marina e mista (continentale e marina); più in profondità da argille e limi di deposizione alluvionale.

La serie marina che ricopre in contatto discordante quella alluvionale (trasgressione Flandriana) è costituita da sabbie medie o medio-fini, generalmente ben classate, con laminazione a basso angolo cuneiforme o concavo - convessa, talora evidenziata da allineamenti di livelli di frustoli vegetali. Localmente si possono rinvenire alternanze sabbioso-limose e limo-argillose, che denunciano un'elaborazione incompleta dei sedimenti di apporto alluvionale da parte del moto ondoso. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale, in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungocosta. La presenza occasionale di ghiaie in livelli organizzati e con ciottoli ben arrotondati, denota sia la vicinanza di fonti d'apporto grossolano, sia elaborazione da parte delle correnti costiere e del moto ondoso.

Data la morfologia pianeggiante non si rinviene alcuna evidenza di fenomeni gravitativi.

Dal punto di vista geologico l'area d'indagine ricade nel territorio di affioramento della formazione quaternaria denominata "a4s" (sabbie e ghiaie delle spiagge attuali) della Carta Geologica d'Italia.

La Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna, della quale in allegato 2 è riportato uno stralcio, nell'ambito della copertura quaternaria inquadra i siti nel modo seguente:

AES8a: Unità di Modena. Ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e piana inondabile; sabbie e ghiaie di cordone litorale e di barra di foce; argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro (2,5Y) al tetto, privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati e caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (es. argini e bacini interfluviali). Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura. Include, concettualmente, i depositi fluviali in evoluzione b1 che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente. Spessore massimo 3-4 metri. *Età: post-romana (IV-VI sec. d.C.-Attuale; datazione archeologica).*

Al di sotto dell'Unità di Modena, che costituisce i depositi alluvionali e di transizione recenti ed attuali, si rinviene il Sintema Emiliano-Romagnolo che viene qui di seguito indicato:

AES: Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore. In affioramento comprende depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini. Nel sottosuolo della pianura è costituito da una successione di cicli trasgressivi-regressivi formati da argille, limi, sabbie e ghiaie di ambienti alluvionale e limitatamente al settore costiero, da sabbie litorali.

In affioramento e nel sottosuolo prossimale alla catena il limite inferiore è erosivo e discordante sui depositi marini del Gruppo del Santerno. Nel sottosuolo della pianura il limite è per discordanza angolare con AEI (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore). Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi (AES8, AES7 ed AES6) limitati, in affioramento, dalle principali scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e, nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino-marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. I depositi fini di tracimazione fluviale dei terrazzi del margine appenninico non sono differenziati in subsintemi. Nel sottosuolo presso lo sbocco vallivo del F. Marecchia i depositi grossolani di conoide si amalgamano fra loro ed i singoli subsintemi non sono più separabili. Nel sottosuolo della pianura alluvionale sono presenti 2 cicli deposizionali inferiori che non hanno corrispettivi in affioramento e perciò non sono stati formalizzati. Spessore massimo circa 200mt (sottosuolo della pianura). *Età: Pleistocene medio-Olocene.*

La parte sommitale è rappresentata dai seguenti subsintemi:

AES8: Subsintema di Ravenna – Subsintema di Villa Verucchio (AES7) - Subsintema di Bazzano (AES6)

Si tratta di cicli deposizionali caratterizzati da alternanze decametriche di depositi fini e grossolani relativi a importanti fasi trasgressivo-regressive nell'ambiente sedimentario del bacino del Fiume Marecchia in corrispondenza dell'attuale fronte marino. Ciascuno di essi è delimitato alla base da un orizzonte trasgressivo basale di alcuni metri con argille generalmente ricche in materia organica tipiche di ambiente alluvionale/lagunare che, progredendo verso l'alto, tendono a diventare sabbiosi e di ambiente costiero, soprattutto in corrispondenza dell'attuale linea di costa.

Ciascuno di questi cicli poggia, delimitato da una superficie erosiva, generalmente su banchi di ghiaie e sabbie fluviali al tetto del ciclo sottostante, interpretabili come lobi di conoide alluvionale variamente intercalati/interdigitati fra loro per via dell'azione di trasporto, sedimentazione e tracimazione dei canali fluviali nella loro divagazione laterale; essendo confinati da consistenti depositi più fini risultano sede di falde idriche a pressione.

Età complessiva Pleistocene medio - Olocene.

Il limite inferiore di tutta la sequenza alluvionale sommatiale è dato da una superficie di erosione fluviale che incide, in discordanza, i depositi marini preesistenti propri delle Sabbie di Imola:

IMO - Sabbie di Imola: formazione caratterizzata da arenaria e sabbia da medie a finissime, generalmente poco cementate, giallastra all'alterazione, in strati spessi e molto spessi, mal definiti, frequentemente amalgamati tra di loro.

La parte inferiore dell'unità è generalmente costituita da arenarie e sabbie fini e medie con rari livelli conglomeratici contenete ciottoli silicei bruni; sono presenti rare intercalazioni polittiche, spesse fino ad alcune decine di centimetri. Le arenarie sono caratterizzate da stratificazione incrociata ad alto angolo e piano-parallela; localmente sono presenti ripples da onda drappeggiati da sottili intercalazioni polittiche. La parte superiore è generalmente costituita da sabbie fini e finissime in cui sono presenti sporadici livelli centimetrici di peliti grigie frequentemente interessate da formazioni di concrezioni carbonatiche. L'età della formazione è stimata in 0,8 – 0,65 MA, corrispondente alla parte basale del Pleistocene medio (ciclo Qm3). Questi depositi sono riferibili all'ambiente litorale, variabile da spiaggia sommersa a laguna di retrospiaggia.

SVGa – Arenarie e argille di Savignano: Alternanza di strati sottili e molto sottili, raramente medi, di argille grigio chiare, beige all'alterazione, e arenarie fini e finissime, poco cementate, talora lenticolari, A/P da <<1 crescente verso l'alto e lateralmente. Depositi di piattaforma. Limite inferiore graduale su FAA per aumento della frazione pelitica. Limite superiore graduale, parzialmente eteropico, con SVGa e discordante con IMO. Potenza massima affiorante circa 200 mt. *L'età risale al Pleistocene inferiore.*

2.3 Idrografia e idrogeologia

Il territorio comunale di Rimini è attraversato da alcuni corsi d'acqua tra i quali, il più importante è Fiume Marecchia, il cui corso originario (ubicato in corrispondenza del Parco Marecchia sino all'Arco d'Augusto) si trova a circa 2600 mt di distanza a nord-nord ovest, sfociando successivamente nel mare Adriatico per tramite del Portocanale.

Tuttavia corso d'acqua di maggior rilievo ed influenza nel contesto ideologico locale, prossimo alle aree in studio, è il Torrente Ausa che scorre a circa 1500 mt di distanza a nord-nord ovest.

L'idrografia superficiale della zona urbanizzata risulta in loco assente, in quanto ha lasciato gradualmente il posto alla regimazione antropica delle acque con il tombinamento dei corsi d'acqua secondari. Pertanto l'originario reticolo idrografico riveste un'importanza ormai di secondo piano rispetto alla rete fognaria sotterranea che convoglia le acque meteoriche fino al mare entro scoli consorziali tombinati.

Il livello statico della falda freatica nelle sabbie litorali di superficie è generalmente compreso tra 1.0 -2,0 m dal piano campagna ed è alimentata, ormai in misura moderata, sia da precipitazioni direttamente insistenti, sia dagli apporti infiltrati nell'area a monte.

In generale sul lungo periodo, sulla base delle conoscenze bibliografiche dirette per analoghi lavori effettuati, si è rilevato che la falda superficiale è caratterizzata da oscillazioni stagionali contenute. Solamente in occasioni d'eventi meteorologici prolungati di forte intensità, il livello freatico potrà raggiungere per brevi periodi anche la quota -0,50 mt dal p.c.

Tuttavia nello specifico si ritiene che il livello medio della falda freatica nel periodo di massimo innalzamento stagionale possa ragionevolmente essere definita ad una quota di -1,00 mt dal p.c.

Per quanto riguarda la permeabilità i terreni superficiali sabbiosi della piana costiera sono dotati di discreta/buona permeabilità.

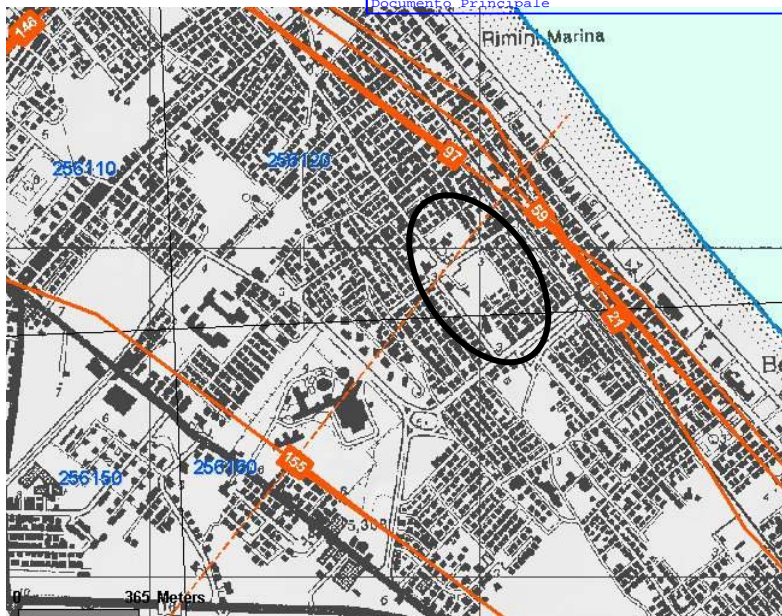
Gli strati argillosi presenti sotto il pacco di sabbie costiere al contrario presentano valori di permeabilità molto ridotti al limite dell'impermeabilità. La permeabilità in tali sedimenti è generalmente molto limitata e perlopiù dovuta alla presenza di sottili livelli sabbiosi intercalati ai materiali più fini.

Al loro interno talora si rinvencono anche modesti paleoalvei di sabbia e sabbia ghiaiosa in genere ascrivibile a fasi di attività deposizionale di forte energia e/o di rotta d'argine ma di corsi d'acqua minori.

Il litotipo intermedio tra i due soprascritti, denominato "AL", che si pone come termine di passaggio, si presenta come alternanza di limi-sabbiosi e sabbie fittamente intercalate con argille plastiche e limi-argillosi. Tale litotipo è caratterizzato da una permeabilità intermedia tra i due litotipi sopradescritti, dipendente dal maggior o minor contenuto di argilla e dal grado di interdigitazione e continuità laterale dei livelli semimpermeabili.

Una ricostruzione del modello geologico generale dell'area è possibile attraverso il rilievo geologico - morfologico di superficie e la consultazione dello Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia, entrambi a cura del Servizio Geologico Regione Emilia Romagna.

In particolare i dati di correlazione disponibili a pochissima distanza dal sito di intervento, oltre a quelli ricavati in sito dalla campagna geognostica, sono una sezione geologica profonda parallela alla linea di costa, distante 220-340 mt a NE dell'area in studio, denominata n. 059, in loco profonda circa 230 mt (realizzata nell'ambito degli studi del progetto CARG e sulla conoide del Fiume Marecchia RER), la cui ubicazione è la seguente:

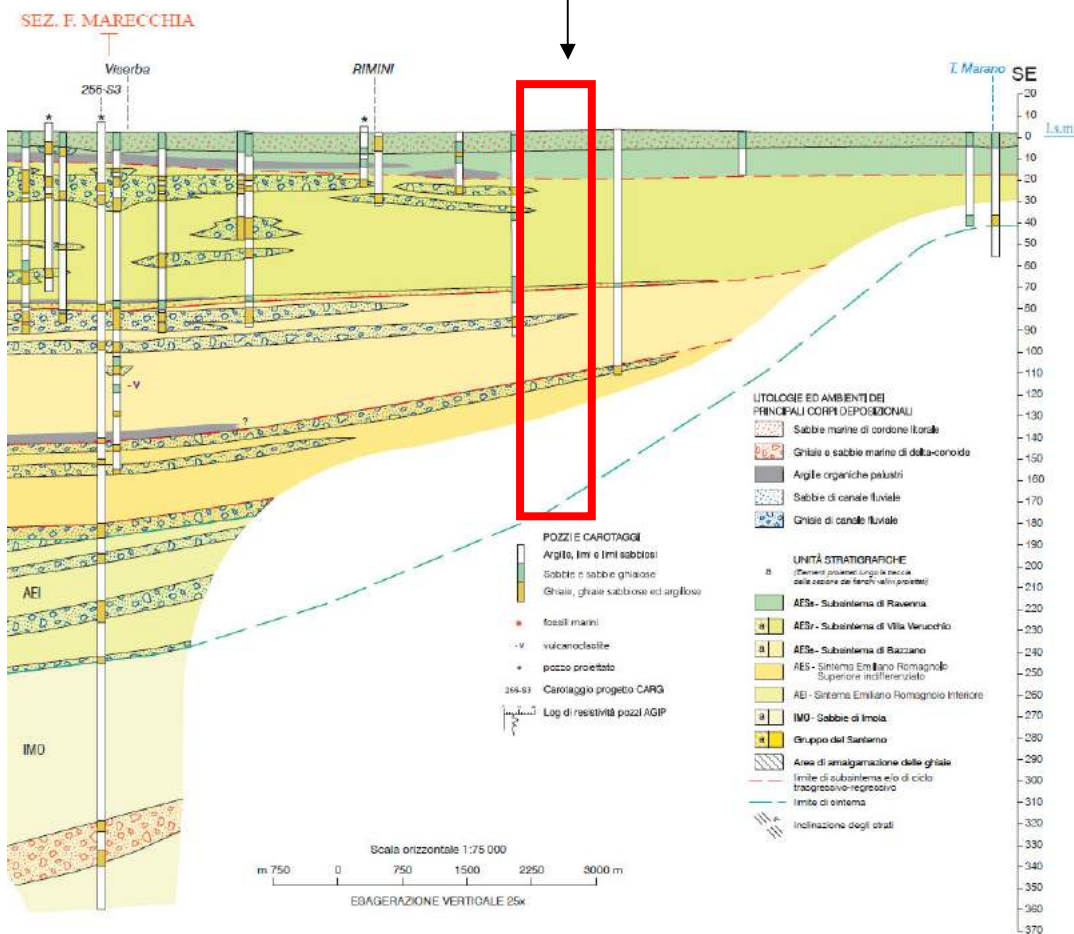


Area in studio

Indagini geognostiche "dirette" (sondaggi meccanici per pozzi e carotaggi) ed "indirette" (penetrometrie) di riferimento eseguite in corrispondenza ed in prossimità delle aree di intervento (sia in occasione della presente indagine che degli studi precedenti richiamati in premessa) confermano l'assetto generale riscontrabile dalle sezioni profonde riportate.

SEZ. 059

Proiezione area in studio



3 INDAGINE GEOGNOSTICA E GEOFISICA

3.1 Considerazioni generali

i.

La campagna geognostica di riferimento si articola nell'esecuzione di n. 6 prove penetrometriche statiche CPTe/CPTu spinte sino a profondità di 10.0-20,0 mt dal p.c., nonché tramite l'utilizzo a scopo correlativo di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo (comprensivo di prove SPT e campioni di laboratorio) realizzati dall'Ufficio Geologico del Comune di Rimini a fini di studio di microzonazione sismica di III livello per la realizzazione di un edificio scolastico nell'adiacente Via Parini.

L'ubicazione delle prove effettuate nell'area di studio e quelle utilizzate per correlazione è riportata in allegato n. 3.

L'indagine geognostica realizzata, unitamente ai sondaggi geognostici ed alle prove di laboratorio esistenti, hanno consentito di definire il quadro litostratigrafico e geomeccanico dell'area in esame.

3.2 Prova penetrometrica statica – CPTe/CPTu

L'esecuzione di n. 6 prove penetrometriche statiche con punta elettrica/piezocono hanno fornito una valutazione estensiva delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni dell'area in studio.

Le prove eseguite con l'ausilio di penetrometro statico tipo "PAGANI" da 20 tons si spingono fino alla profondità massima di -20.0 ml dal piano campagna rilevando, in maniera continua (ogni cm), i valori di resistenza di punta "Rp" e resistenza di attrito laterale locale "Rl" (vedi allegato 4). Il sistema all'occorrenza acquisisce inoltre il valore della U (Pressione Idrostatica nei Pori), l'angolo di inclinazione della batteria di aste ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione misurata in fase di alleggerimento di spinta).

Le caratteristiche meccaniche della punta elettrica utilizzata dallo strumento sono le seguenti:

Angolo di apertura cono:	60°
Diametro:	36 mm
Sezione di spinta:	10 cm ²
Superficie laterale:	150 cm ²
Peso:	2,1 kg
Lunghezza:	413 mm

Oltre ad una caratterizzazione litologica della successione stratigrafica le penetrometrie statiche in terreni sabbiosi permettono di ricavare i valori di angolo di attrito interno "Fi" e di densità relativa "Dr" (vedi appendice all'allegato 4); inoltre in terreni coesivi esse forniscono, attraverso le esperienze pratiche di Begemann e Robertson, i dati di resistenza del terreno in termini di tensioni totali di picco ($C_u = R_p - G * H / 15-20$ dove $G * H =$ pressione litostatica) e residue, nonché di stimare il grado di sovraconsolidazione ed i moduli di compressibilità e deformabilità degli stessi.

3.3 Sondaggio meccanico a rotazione

L'utilizzo del sondaggio a rotazione con carotaggio continuo, denominato S3 realizzato dall'Amministrazione Comunale per la realizzazione della vicina scuola (ubicato come da allegato 3) e spinto fino alla profondità di ml 35.0 dal piano campagna, rappresenta lo strumento geognostico conoscitivo di riferimento della successione stratigrafica locale (vedi log stratigrafico in allegato n. 4).

La sonda a rotazione utilizzata ha permesso la perforazione con carotieri semplici, del diametro 101 mm, seguiti per l'intero sviluppo da tubi di rivestimento provvisorio, del diametro di 127 mm, per impedire franamenti delle pareti dei fori di sondaggio.

Nel corso delle operazioni sono state eseguite prove Standard Penetration Test per meglio caratterizzare da un punto di vista geomeccanico i terreni presenti. Tutti i campioni di terreno prelevati (carote) sono stati posti in apposite cassette catalogatrici in legno a scomparti, contenenti ognuna 5 mt di perforazione, e fotografati.

Il recupero in cassette catalogatrici del materiale ottenuto dal carotaggio ha consentito una osservazione diretta del materiale. Inoltre nelle porzioni carotate a granulometria fine, ove possibile, si sono eseguite, previa decorticazione superficiale, rilevazioni con "pocket penetrometer" e "torvane" che hanno fornito valori in prima approssimazione della resistenza del terreno in termini di tensioni totali (q , = resistenza alla compressione semplice e C , = coesione non drenata).

Durante la perforazione sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati con carotiere tipo Shelby alle seguenti profondità: Sh1 a 5,50 — 6,05 mt, Sh2 a 7,50 — 8,10 mt, Sh3 a 15,00 — 15,50 mt. Sono stati altresì prelevati direttamente dalle cassette catalogatrici anche n. 2 campioni disturbati alle seguenti profondità RimA a 2,50 — 3,00 mt, RimB a 4,00 — 4,50 mt. Su tutti i campioni sono state eseguite opportune prove di laboratorio.

3.4 Prove di laboratorio

A titolo correlativo e di verifica dei dati acquisiti tramite l'indagine geognostica in sito si riporta anche la caratterizzazione di campioni prelevati nell'ambito del precedente studio, a cura dall'Ufficio Geologico del Comune di Rimini per la vicina scuola in via Parini.

La loro analisi e caratterizzazione geomeccanica ha fornito le risultanze riportate nei certificati di cui all'allegato 6.

Tali prove, unitamente alla campagna geognostica, hanno consentito di definire il quadro stratigrafico dell'area in esame ed hanno consentito le valutazioni e verifiche ai fini della microzonazione sismica e delle analisi circa la potenziale liquefacibilità dei terreni.

I certificati di laboratorio sono stati utilizzati a scopo correlativo sia relativamente alle caratteristiche granulometriche che ai fini di una corretta interpretazione delle prove e della caratterizzazione litologica e geomeccanica dei vari litotipi.

L'analisi granulometrica dei campioni è stata effettuata mediante vagli per i campioni a dominante frazione grossolana sabbiosa e mediante decantazione (aerometria) per quelli a dominante fine limo-argillosa passante al vaglio n. 200.

Il risultato è quello riportato in allegato 6 dove unitamente al grafico della curva granulometrica (in ordinate % cumulativa e in ascisse diametro equivalente) vengono fornite le classificazioni A.G.I. e CNR-UNI 10006.

I campioni Sh1, RimA e RimB, relativi alle profondità rispettivamente di -5.5/-2.5/-4.0 mt da p.c., presentano una nettissima predominanza della frazione incoerente sabbiosa, con percentuale compresa tra 78% e 95% e frazione subordinata di limo-argilloso compresa tra 5% e 22%. Secondo la normativa AGI/S i terreni sono moderatamente omogenei e variano da **"Sabbia ghiaiosa debolmente limo-argillosa a Sabbia limo-argillosa"**.

I campioni sottostanti, prelevati al di sotto del prisma sabbioso costiero, Sh2 e Sh3 individuano terreni prettamente coesivi con frazione argillosa dominante, compresa tra il 58% ed il 67%, sulla parte limosa presente per il 33% e 41%. Secondo la normativa AGI/S i terreni risultano uniformi e denominabili come **"Argilla con limo"**.

I limiti di consistenza di Atterberg, rilevati soprattutto per i terreni fini, hanno mostrato un limite liquido elevato e compreso tra il 61% ed il 86% con un indice plastico tra 39% e 55%; Si tratta di valori molto elevati che identificano come **"plastici"** i terreni presenti. Il contenuto d'acqua nel campione al passaggio tra i vari stati fisici (stato liquido e stato plastico e solido) si differenzia in base alla natura litologica e ne descrive il comportamento in base alla sua consistenza.

Dall'analisi dei carichi litostatici e delle caratteristiche della curve edometriche i campioni Sh1 (parte argillosa delle alternanze) ed Sh2 risultano **"normalconsolidati o al limite leggermente sottoconsolidati"**, mentre l' Sh3 prettamente **"sottoconsolidato"**.

Il coefficiente di Uniformità (D60/D10) per i terreni sabbiosi superficiali Sh1, RimA e RimB risulta rispettivamente pari a U=4.00 - 2.53 – 2.53.

4 INDAGINI GEOFISICHE

4.1 Generalità

Per la caratterizzazione sismica dei siti e la misura delle Vs in profondità sono state realizzate ed utilizzate le seguenti prove geofisiche:

- n° 1 prova CPTS con cono sismico, prof. 30 mt
- n° 2 misure di rumore ambientale (Sismica passiva HVSR)

Lo schema planimetrico allegato in coda alla relazione (all. 3) mostra la posizione delle prove geofisiche di riferimento.

Le tecnologie geofisiche utilizzate, data l'omogeneità e semplicità stratigrafica dei siti, si ritengono sufficienti a caratterizzare adeguatamente il sottosuolo. Per una caratterizzazione dettagliata e rappresentativa delle Vs si è utilizzata la prova con cono sismico entro il foro della prova penetrometrica in corrispondenza dell'ampliamento scolastico comunale in via Parini, in grado di fornire valori di Vs-Vp ad alta risoluzione; diversamente le prove di sismica passiva tipo HVSR hanno consentito di individuare le frequenze di risonanza e caratteristiche dei riflettori sismici e di stimare altresì i relativi log di Vs in profondità.

Ciò ha consentito di valutare l'omogeneità strutturale/geofisica dell'areale, il posizionamento del bed-rock sismico nonché le frequenze di risonanza di sito. Tutti questi metodi, congiuntamente alle indagini geognostiche ed alle vicine sezioni geologiche profonde realizzate dal Servizio Geologico Regionale, permettono di definire la profondità dell'interfaccia geofisica d'impedenza di riferimento e di valutare, sulla base delle stime di Vs, i fattori di amplificazione sismica tramite correlazione tabellare come da allegato "A2" della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07 RER.

4.2.1 Prova penetrometrica con cono sismico

L'indagine geofisica con cono sismico di riferimento è avvenuta all'interno del foro in cui è stata precedentemente effettuata la prova penetrometrica statica denominata CPTS3, la cui ubicazione è stata indicata in allegato n. 3. La punta sismica viene calata all'interno del foro e ad ogni metro viene effettuata una misurazione. La punta sismica è realizzata in acciaio cementato.

Al suo interno sono posizionati tre geofoni orientati secondo gli assi x – y – z al fine di ricevere le onde di tipo S e onde di tipo P. La sonda sismica attraverso un cavo, è collegata in superficie con l'unità di acquisizione EG&G Geometrics Geode dotato di estremo dettaglio di campionatura (0.018 millisecc) collegato tramite cavo sismico con la punta di infissione.

In adiacenza al foro è posizionata la sorgente di energizzazione. Essa è costituita da un maglio di 8kg che colpendo un blocco di legno verticalmente e trasversalmente genera onde di compressione (P) e onde di taglio (S). I dati di campagna acquisiti dal sismografo sono stati interpretati con apposito software.

Dall'elaborazione dei dati si ricavano i valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche (Vp e Vs) del sottosuolo indagato. Successivamente da tali valori vengono determinati i seguenti parametri del terreno (vedi allegato n. 5) come descritti anche al par. 4.2.2.:

- Coefficiente di Poisson ν
- Peso di Volume γ in ton/mc
- Modulo di Elasticità dinamico E_{din} kg/cm²
- Modulo di taglio dinamico G_{din} kg/cm²
- Modulo di Compressibilità dinamico K in Kg/cm²

4.2.2 Valutazione dei Moduli Elastici Dinamici

Per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici e/o di prove di laboratorio su campioni prelevati nei sondaggi geognostici, al fine di modellare la risposta sismica locale, è opportuno definire alcuni Moduli elastici dinamici del terreno (i quali possono oltretutto contribuire in fase esecutiva ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione (vedi all. n. 5).

Generalmente attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998):

- | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| - Coefficiente di Poisson | (ν) | |
| - Peso di volume | (γ_{din}) | in t/m ³ |
| - Modulo di Elasticità dinamico | (E_{din}) | in Kg/cm ² |
| - Modulo di Taglio dinamico | (G_{din}) | in Kgcm ² |
| - Modulo di Compressibilità dinamico | (K_{din}) | in Kgcm ² |

Tuttavia, avendo condotto analisi geofisiche basate solo sulla verifica delle onde di taglio e microtremori, alcuni parametri e la loro variabilità possono essere definiti direttamente (E_{din} - G_{din}), mentre altri vengono dedotti da esperienze condotte su aree vicine e terreni simili (appartenenti alla stessa tipologia litologica e formazionale) e con metodi di indagine delle onde Vs e Vp ad alta risoluzione (penetrometro sismico e tomografia in onde Vp e Vs).

Il *Coefficiente di Poisson* (ν), noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell'altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di Vp e di Vs il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad \nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

Il *Peso di volume* (γ_{din}) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:

$$\text{Peso di volume} \quad \gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in T/m}^3)$$

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

$$\text{Densità geofisica} \quad \delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{acc. di gravità m/sec})$$

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale* E_{din} , definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione V_p , della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Elasticità } E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità* G_{din} definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio V_s e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Taglio} \quad G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Compressibilità} \quad K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1-2 \cdot \nu)} \quad (K_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni elastiche istantanee.

Il modulo di taglio G_{din} , oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di G_{din} dei due strati):

$$\text{Rigidità sismica} \quad R = \delta_{din} \sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}} \quad (R \text{ in t/(m}^2 \cdot \text{sec)})$$

$$\text{Periodo proprio} \quad T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}} \quad (T \text{ in sec})$$

$$\text{Rapporto di Impedenza} \quad \lambda = \frac{\delta_{din1} \cdot G_{din1}}{\delta_{din2} \cdot G_{din2}} \quad (\lambda \text{ adimensionale})$$

Il modulo di compressibilità K_{din} o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico B o, inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità C_c .

4.3 Prova HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio) – Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

Il giorno 19/03/2013 nelle aree denominate LOTTO 1 e 2 (vedi ubicazione in allegato n. 3) è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola per fornire le frequenze di risonanza caratteristiche di sito ed i log di Vs necessari a definire i fattori di amplificazione sismica tramite correlazione tabellare come da allegato "A2" della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07 RER.

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un registratore sismico del tipo Tromino Zero prodotto dalla ditta Micromed S.p.a.. Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore. Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale.

Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono archiviati, analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

La strumentazione di acquisizione ha le seguenti specifiche:

Sensori triassiali (N-S, E-W, verticali) a bassa frequenza (<1-2 Hz);
 Amplificatori;
 Digitalizzatore;
 Convertitore A/D a 24 bit;
 Durata registrazioni: 20 minuti;
 Posizionamento GPS;

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire, si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

4.3.1 Procedure di analisi dati per stazioni singole H/V – elaborati e risultati

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO; vedi allegato n. 5). Il grafico H/V TIME HISTORY mostra le "finestre temporali" analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale. In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA, mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S_E-O_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche delle prove in sito e tramite opportune correlazioni con il sondaggio S3 e la vicina prova con cono sismico CPTS3, utilizzando la curva H/V (allegato n. 5 seconda pagina), è stato possibile definire su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005.

La curva H/V è stata invertita creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. L'inversione delle curve H/V è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo. Nel caso in questione tale vincolo è fornito dalla conoscenza della stratigrafia e, quindi, della profondità di almeno un riflettore sismico significativo individuabile tramite prove geognostiche (o anche tramite altre metodologie di indagine geofisica), il cui marker sia ben riconoscibile e correlabile anche nelle curve H/V.

In allegato n. 5 sono riportati i risultati della prova HVSR eseguita come sopra descritto, unitamente alle frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni in sito ed al grafico delle Vs. Per fenomeno di "risonanza" si intende la coincidenza tra le frequenze dominanti del segnale sismico in ingresso e quelle naturali del sottosuolo. Con il termine "doppia risonanza" si intende la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle caratteristiche dei manufatti ivi edificati (da Risposta Sismica Locale di Lanzo e Silvestri, Hevelys Edizioni).

L'indagine sismica basata sulla misura del microtremore, nel massimo valore H/V del rapporto spettrale, individua le frequenze caratteristiche del sottosuolo.

Sarà compito del progettista geotecnico/strutturale verificare la frequenza fondamentale delle strutture in progetto e confrontarla con la frequenza fondamentale o le frequenze caratteristiche del sottosuolo onde evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma.

La lettura degli spettri HVSR si basa sull'analisi dei picchi di frequenza distinguendo due range primari:

- 1) con risposta determinata dai sedimenti superficiali nei primi 30 m quindi mediamente sopra a 2.0 Hz;
- 2) con risposta prodotta da interfacce più profonde tra 0.25-0.4 Hz.

Al punto 1) i modesti picchi compresi fra 10.0<f<15.0 Hz e 22.0<f<27.0 Hz portano ad individuare orizzonti di impedenza molto deboli posizionati rispettivamente a quote comprese tra - 6.5/8 mt e -2.5/3.5 mt dal p.c., fra i quali (e fra 20-25 mt da p.c.) zone di debole inversione di velocità vengono riscontrate nel log di Vs elaborato da cono sismico.

Per quanto riguarda il punto 2, quindi, si rileva su tutte le misure una zona a maggiore contrasto di impedenza, sebbene sempre prossima o di poco superiore all'unità, che ragionevolmente fa ipotizzare un orizzonte di impedenza sismica più significativo in profondità, presumibilmente in corrispondenza del passaggio dai terreni limo-argillosi alluvionali alla formazione marina basale pleistocenica (IMO) con profondità prossima a - 120/150 mt dal p.c. attuale.

Poiché l'andamento degli spettri ed i picchi significativi ivi indicati, in considerazione della deviazione standard, risultano presentare una significativa coerenza ed omogeneità areale, non si ritiene necessario sviluppare mappe di distribuzione delle isofrequenze.

Pertanto l'analisi delle varianze in virtù delle tolleranze strumentali ed operative porta ad individuare i seguenti valori di range sebbene quello maggiormente significativo sia quello basale del III° orizzonte:

Frequenza di risonanza del I° orizzonte compresa tra 22.0 - 30.0 Hz ($F_m = 26.0$ Hz)
Frequenza di risonanza del II° orizzonte compresa tra 10.0 - 15.0 Hz ($F_m = 12.5$ Hz)
Frequenza di risonanza del III° orizzonte compresa tra 0.25 - 0.4 Hz ($F_m = 0.32$ Hz)

L'omogeneità e similitudine dei vari spettri H/V porta a considerare l'area strutturalmente e geofisicamente omogenea infatti non appaiono situazioni di differenziazione significative tali da individuare la presenza di situazioni del sottosuolo differenziate, questo è anche suffragato dalla significativa correlabilità dei log di Vs della che presenta una generale uniformità di crescita vs con la profondità.

La V_{S30} è stata ricavata indirettamente mediante l'utilizzo della formula $V_{S30} = 30 / \sum_{i=1, N} h_i / V_i$ dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

4.4 Risultanze indagini sismiche

Nel caso specifico, in considerazione della rilevanza strutturale dell'intervento, poiché l'intervento risulta ricadere interamente all'interno della stessa unità stratigrafica e in ambito geologicamente omogeneo (AES8a) la tipologia di indagine geofisica di riferimento si ritiene particolarmente idonea anche al fine di utilizzare le tabelle di correlazione per la stima della PGA attesa contenute nell'ALLEGATO A.2 della delibera dell'Assemblea Legislativa progr. N° 112 del 2

maggio 2007 – *“Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”* o per l'utilizzo corretto dei parametri di amplificazione sismica prescritti per l'area in esame nel PSC adottato del Comune di Rimini alla Tavola 1.3.2a.

Per utilizzare tali tabelle risulta necessario definire il valore del parametro Vs30, il quale a partire dalla quota di riferimento, viene calcolato utilizzando la stratigrafia Vs tramite la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

L'indagine geofisica di riferimento, condotta tramite cono sismico (denominata CPTS3) dall'Amministrazione Comunale per la realizzazione della vicina scuola in via Parini, evidenzia una velocità delle onde di taglio (Vs30) pari a **186 mt/sec** calcolata da -0.0 a -30.0 mt dal piano di campagna (vedi allegato n. 5). Tale Log di Vs, sulla base dei dati geognostici rilevati e di un raffronto con le prove HVSR eseguite ai margini di tali aree, si ritiene direttamente utilizzabile per caratterizzare le vicine aree destinate ad autorimessa e denominate **AUTORIMESSA 1 e 2**.

Invece per attiene il **LOTTO 1 e 2** si può far riferimento ai log di Vs risultanti dalle prove HVSR ivi condotte le quali conducono alle seguenti stime di Vs30:

Vs30_H1= 184 m/s (0-30 mt da p.c.)

Vs30_H2= 183 m/s (0-30 mt da p.c.)

A tal proposito, dal contesto litostratigrafico e di comportamento geofisico, i terreni in sito appaiono caratterizzati da un generale graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, inoltre i contrasti di impedenza sismica rilevati e le eventuali deboli e limitate inversioni di velocità nel profilo di Vs non presentano alcuna incompatibilità con le prescrizioni ed i limiti di applicabilità dei modelli semplificati richiamati al Par. 2.5.2.1 “Limiti di utilizzo degli abachi per amplificazioni litostratigrafiche” - Linee Guida I.C.M.S. (Prot. Civile).

Pertanto dall'analisi dell'indagine sismica, ai fini dell'utilizzo delle tabelle per i metodi semplificati si può affermare come **tutti i siti siano caratterizzati da una velocità media delle onde di taglio Vs30 ≤ 200 mt/sec**, calcolata da -0.0 mt fino a -30.0 mt. Per profondità di posa di riferimento differenti il valore di Vs30 andrà analogamente ragguagliato ritenendo, comunque, che per profondità mediamente comprese tra 0 e 4.0 mt dal p.c. **Vs30 ≤ 200 mt/sec**.

5 LITOLOGIA E CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE

La campagna geognostica, unitamente alle prove esistenti realizzate in precedenza, ed alle risultanze della campagna geofisica di riferimento tramite sezione in tomografia sismica, ha permesso di individuare e raggruppare i terreni costituenti il primo sottosuolo, sinteticamente in n. 5 litotipi.

Per l'identificazione dei tipi litologici ci si è avvalsi dell'osservazione dei dati provenienti dai sondaggi a carotaggio continuo, e dell'elaborazione dei dati delle prove penetrometriche basata sulle metodologie di Robertson (1996-2009), che classificano le terre tramite il parametro Ic (“Indice di Comportamento” SBTI) in funzione del rapporto fra i parametri Rp e RI.

Nello spessore di terreno indagato di circa 20-35 mt, si può innanzitutto osservare che, al disotto di un orizzonte superficiale variamente alterato e rimaneggiato di 1.3-1.9 mt, il pacco di sedimenti sabbiosi costieri “S” si presenta mediamente sino alla profondità di -6.4/-7.3 mt da p.c. Tali sedimenti sono costituiti in prevalenza da sabbie nella misura quasi sempre superiore a 80%, con subordinata frazione fine. Si presentano di colore nocciola, con presenza frequente di lenti argilloso limose, o di livelli nerastri torbosi, o di bioclasti. Gli orizzonti sabbiosi sono monogranulari, ben cerniti, con un grado di addensamento variabile in funzione sia della collocazione areale, che della profondità; generalmente risultano mediamente addensate tuttavia talora circoscritti livelli a bassa densità relativa.

Talora, soprattutto alla base, vi possono essere orizzonti decimetrici contraddistinti da caratteri deposizionali tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia a minore energia, di transizione ai depositi prettamente alluvionali, con alternanze di livelli sabbiosi e limoso-argillosi.

In posizione sottostante si rinvencono quindi con continuità i depositi alluvionali "C" ed "L". I primi orizzonti metrici, sino a circa 8.2-9.3 mt da p.c. sono generalmente rappresentati da limi ed argille sottoconsolidati olocenici, tipici di ambiente palustre o lagunare e ad elevata componente organica. Al di sotto si riscontrano prevalenti depositi Argillo-limosi o limo-argillosi da mediamente compatti a compatti, di colore dal grigio al nocciola, con presenza di livelli da decimetrici a metrici di sabbia-limosa, interclusi all'interno dei sedimenti fini e con modesta continuità laterale e occasionali livelli più compressibili ed a maggiore contenuto organico.

In corrispondenza delle penetrometrie e del sondaggio di riferimento, all'interno dei depositi alluvionali e sino alle profondità massime sondate, non sono stati rilevati orizzonti ghiaioso-sabbiosi di rilievo.

Qui di seguito si riportano le caratteristiche dei litotipi presenti distinguendo in una stratigrafia schematica la situazione litostratigrafica riscontrabile per ciascuna area in studio, ritenendo non necessaria la rappresentazione tramite sezioni topografiche in quanto caratterizzate da una significativa omogeneità all'interno di ciascun comparto.

N O T A

Le quote riportate si riferiscono al piano campagna nel punto in cui è stato effettuato ciascun sondaggio.

STRATIGRAFIA SCUOLA – Sondaggio S3

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Dal p.c. a 0,7	Livello superficiale Generalmente Sabbia di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici/metrici argillosi e riporti antropici con resti di laterizio e materiale organico. Possiede caratteristiche geomeccaniche varie e soggette alle variazioni climatiche ma, comunque, generalmente scarse.
H	Da 0,7 a 4.5	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza di sottili livelli limo argillosi a varie altezze
S	Da 4.5 a 6,5	Sabbie Mediamente addensate Di colore nocciola. Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità. Talora, soprattutto alla base, sono presenti orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
C	Da 6.5 a 10	Argille con limo compressibili Di natura palustre/lagunare di transizione a quello prettamente alluvionale, con scarse caratt. geotecniche ed elevata compressibilità; generalmente presente al letto del litotipo S.
L	Da 10 A Termine sondaggi	Argille-limose mediamente compatte Depositati di piana alluvionale aventi caratteristiche geomeccaniche buone e scarsa compressibilità, con intercalati livelli decimetrici sino a metrici di sabbia-limosa e orizzonti argillosi compressibili ricchi in contenuto organico.

STRATIGRAFIA LOTTO 2 e AUTORIMESSA 2 – Penetrometrie CPTu1-CPTe1

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Dal p.c. a 1.3 – 1,4	Livello superficiale Generalmente Sabbia di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici/metrici argillosi e riporti antropici con resti di laterizio e materiale organico. Possiede caratteristiche geomeccaniche varie e soggette alle variazioni climatiche ma, comunque, generalmente scarse.
H	Da 1.3 – 1,4 a 3.6-4.0	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza di sottili livelli limo argillosi a varie altezze
S	Da 3.6-4.0 a 7.1-7.3	Sabbie Mediamente addensate Di colore nocciola. Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità. Talora, soprattutto alla base, sono presenti orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
C	Da 7.1-7.3 a 9.2-9.3	Argille con limo compressibili Di natura palustre/lagunare di transizione a quello prettamente alluvionale, con scarse caratt. geotecniche ed elevata compressibilità; generalmente presente al letto del litotipo S.
L	Da 9.2-9.3 A Termine sondaggi	Argille-limose mediamente compatte Depositi di piana alluvionale aventi caratteristiche geomeccaniche buone e scarsa compressibilità, con intercalati livelli decimetrici sino a metrici di sabbia-limosa e orizzonti argillosi compressibili ricchi in contenuto organico.

STRATIGRAFIA AUTORIMESSA 1 – Penetrometrie CPTu2-CPTe2

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Dal p.c. a 1.30 – 1,9	Livello superficiale Generalmente Sabbia di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici/metrici argillosi e riporti antropici con resti di laterizio e materiale organico. Possiede caratteristiche geomeccaniche varie e soggette alle variazioni climatiche ma, comunque, generalmente scarse.
H	Da 1.3 – 1,9 a 1.8-3.7	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza di sottili livelli limo argillosi a varie altezze

S	Da 1.8-3.7 a 6.4-6.5	Sabbie Mediamente addensate Di colore nocciola. Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità. Talora, soprattutto alla base, sono presenti orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
C	Da 6.4-6.5 a 8.2-8.7	Argille con limo compressibili Di natura palustre/lagunare di transizione a quello prettamente alluvionale, con scarse caratt. geotecniche ed elevata compressibilità; generalmente presente al letto del litotipo S.
L	Da 8.2-8.7 A Termine sondaggi	Argille-limose mediamente compatte Depositi di piana alluvionale aventi caratteristiche geomeccaniche buone e scarsa compressibilità, con intercalati livelli decimetrici sino a metrici di sabbia-limosa e orizzonti argillosi compressibili ricchi in contenuto organico.

STRATIGRAFIA LOTTO 1 – Penetrometrie CPTu3-CPTe3

LIT.	Profondità min e max da mt a mt	Descrizione
V	Dal p.c. a 1.70	Livello superficiale Generalmente Sabbia di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici/metrici argillosi e riporti antropici con resti di laterizio e materiale organico. Possiede caratteristiche geomeccaniche varie e soggette alle variazioni climatiche ma, comunque, generalmente scarse.
H	Da 1.7 a 2.5-3.6	Sabbie poco Addensate Di origine litorale, medie e medio – fini, grigio-giallastre, da poco a med. addensate e dotate di media compressibilità. Presenza di sottili livelli limo argillosi a varie altezze
S	Da 2.5-3.6 a 6.6	Sabbie Mediamente addensate Di colore nocciola. Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità. Talora, soprattutto alla base, sono presenti orizzonti decimetrici di alternanze con intercalazioni di sabbie limose fini e limo argillosi maggiormente compressibili, tipici di ambienti lagunari e/o di retrospiaggia.
C	Da 6.6 a 8.5-8.7	Argille con limo compressibili Di natura palustre/lagunare di transizione a quello prettamente alluvionale, con scarse caratt. geotecniche ed elevata compressibilità; generalmente presente al letto del litotipo S.
L	Da 8.5-8.7 A Termine sondaggi	Argille-limose mediamente compatte Depositi di piana alluvionale aventi caratteristiche geomeccaniche buone e scarsa compressibilità, con intercalati livelli decimetrici sino a metrici di sabbia-limosa e orizzonti argillosi compressibili ricchi in contenuto organico. In Pu3, da -10.4 a -13.5 dal p.c. , è presente un livello di argille/limi argillosi ad elevata compressibilità

6 TUTELA ASSETTI IDROGEOLOGICI

In riferimento alle caratteristiche di vulnerabilità dell'acquifero superficiale si fa riferimento a quanto riportato nel PTCP 2007 approvato con Delibera di Consiglio Provinciale n. 61 del 23/10/08. In particolare tutte l'area oggetto di variante urbanistica non ricade all'interno di alcuna area indicata come "Ambito a Vulnerabilità Idrogeologica" della Tavola D/1 – RISCHI AMBIENTALI.

In base al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico e successive integrazioni a cura dell'Autorità Interregionale di Bacino Marecchia-Conca, l'area in oggetto non rientra all'interno di alcuna fascia di vulnerabilità idraulica e/o di potenziale esondazione definite nel medesimo Piano Interregionale.

Pertanto si ritiene che non vi siano pericoli per la vulnerabilità degli acquiferi.

Nell'area non sussiste il rischio di esondazione da parte di fossi di importanza minori, i quali localmente risultano tombinati.

Anche in riferimento a quanto espresso nel PTCP 2007 l'area non ricade all'interno di alcuna zonazione indicata come "Ambito a Pericolosità Idraulica" della Tavola D/1 – RISCHI AMBIENTALI, e pertanto risulta non esondabile.

7 VALUTAZIONI DI MICROZONAZIONE SISMICA

7.1 Premesse normative

Con obiettivo di riduzione del rischio sismico, così come specificato nell'art. 2, comma 4, dell'allegato alla L.R. 20/2000, la Regione Emilia-Romagna con Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07 ha approvato il seguente documento: "Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 – Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", seguita successivamente da una nota esplicativa redatta dai Servizi della Regione Emilia-Romagna con prot. n. 2007.0166430 del 22/06/07.

In sostanza occorre valutare se il sito oggetto di studio debba contenere le analisi tecniche e gli approfondimenti di cui al terzo livello dell'allegato "A", punto 4.2, della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07, ricadendo nelle situazioni qui di seguito elencate:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
- b) aree instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree in cui le coperture hanno spessori fortemente variabili, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- d) aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

7.2 Verifiche e valutazioni di microzonazione sismica

Per la verifica in oggetto se si è in presenza di aree soggette a liquefazione e densificazione, come da punto a) dell'allegato "A", punto 4.2, della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07, si procederà nei seguenti modi:

1. verifica cartografica con la Tavola del PTCP 2007 della Provincia di Rimini denominata "S.A. 11 – SISTEMA AMBIENTALE – Rischio sismico e carta delle zone suscettibili degli effetti locali" ed in particolare con il punto 6 - aree suscettibili di liquefazione;
2. valutazione della presenza di caratteri predisposti alla liquefazione sull'occorrenza di tale fenomeno, con riferimento al punto 4.1.2, ultimo comma dell'allegato "A", della Delibera di Assemblea Legislativa n. 112 del 02/05/07, che a sua volta rimanda tale valutazione alla figura 1 dell'Allegato A3 della medesima Delibera.

A riguardo del punto 1) la verifica ha dato esito positivo ricadendo l'area oggetto di variante urbanistica all'interno *punto 6 - aree suscettibili di liquefazione*.

Ai fini delle valutazioni di cui al punto 2) sono stati utilizzati i dati stratigrafici e litologici provenienti dalla campagna geognostica e dai dati di laboratorio utilizzati.

Le curve granulometriche indicano, per la parte superficiale della successione stratigrafica, come i terreni interessati dal Piano Particolareggiato siano di natura prettamente sabbiosa, di ambiente deposizionale costiero. Al contrario la parte della successione stratigrafica sottostante di natura alluvionale, è caratterizzata da depositi fini. Dalla sovrapposizione (vedi allegato n. 9) delle curve granulometriche dei campioni Sh1, RimA e RimB di riferimento con le fasce granulometriche di cui alla figura 1) dell'Allegato A3 della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07, per terreni con coefficiente di uniformità sia $U_c < 3.5$ che $U_c > 3.5$, si evidenzia che i campioni prelevati nei sedimenti sabbiosi costieri rientrano per gran parte all'interno del campo di "elevata possibilità di liquefazione". Diversamente i campioni Sh2 ed Sh3 prelevati a maggior profondità al di sotto del cuneo sabbioso costiero risultano esterni alle fasce granulometriche di cui sopra.

Non si rinvencono ulteriori depositi incoerenti sabbiosi continui e di significativo spessore sino a 20,0 mt di profondità, considerata la massima profondità significativa per eventuali fenomeni di liquefazione.

Pertanto, poiché l'area oggetto di studio presenta un potenziale rischio circa la possibilità di verificarsi del fenomeno di liquefazione, in ottemperanza alla normativa regionale di riferimento, è necessario eseguire una "Analisi approfondita – terzo livello di approfondimento".

Per le aree instabili e potenzialmente instabili di cui al punto b) dell'allegato "A", punto 4.2, della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07), le valutazioni e verifiche si sono articolate seguendo l'allegato A1 della normativa regionale di cui sopra.

In particolare si ha:

- aree instabili: aree direttamente interessate da fenomeni franosi attivi;
- aree potenzialmente instabili: aree in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti indipendenti dalla genesi, con acclività $> 15^\circ$, pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati con acclività $> 15^\circ$, versanti con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio, aree prossime a zone instabili che possono essere coinvolte dalla riattivazione del movimento franoso, scarpate subverticali, accumuli detritici incoerenti prossimi all'orlo di scarpate).

A seguito di quanto sopra le valutazioni e verifiche sono state articolate come segue:

- 1) esame della condizione geologica, geomorfologia e litostratigrafica del territorio attraverso rilevamento diretto di superficie;
- 2) confronto con le Tavole "S.A. 9 – SISTEMA AMBIENTALE – Carta del dissesto", "S.A. 10 – RISCHIO SISMICO – Carta delle zone suscettibili di effetti di sito", "S.A. 11 - RISCHIO SISMICO – Carta delle zone suscettibili degli effetti locali" del PTCP 2007 ai fini della verifica della condizione di instabilità e potenziale instabilità gravitativi delle aree oggetto di variante;
- 3) verifica con la Cartografia Regionale CTR 1:5.000 ai fini della valutazione dell'acclività dei versanti, anche ai fini delle valutazioni degli effetti della topografia di cui all'Allegato A2.2 della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07;
- 4) verifica delle condizioni stratigrafiche di giacitura degli strati dalla Cartografia Geologica e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna redatta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della medesima Regione.

Al termine delle analisi effettuate seguendo lo schema sopra indicato, emerge quanto segue:

- L'area risulta subpianeggiante e pertanto gli effetti topografici di amplificazione sismica possono essere trascurati;
- Il sito oggetto di studio non risulta direttamente interessata da fenomeni franosi in atto o potenziali;

- Infine non risulta esserci rischi di instabilità gravitativa in quanto non si prevedono riattivazioni di frane quiescenti o attivazioni di movimenti franosi (pendio con acclività inferiore a 15°, versanti con giacitura degli strati a traversopoggio, non coinvolgimento di aree prossime a zone instabili, assenza di scarpate subverticali e accumuli detritici incoerenti).

Pertanto il sito oggetto di studio non presenta alcun rischio né di instabilità gravitativa, né di potenziale instabilità gravitativa e non si rinvergono effetti di sito a seguito del fattore topografico.

Nel merito del punto c) dell'allegato "A", punto 4.2, della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07, nel formulare le dovute valutazioni si terrà conto di:

- 1) esame della condizione geologica e geomorfologia delle singole aree direttamente in sito e più in generale della conoscenza geologica del territorio;
- 2) verifica della condizioni litostratigrafiche locali direttamente attraverso la campagna geognostica eseguita e indirettamente mediante l'utilizzo della banca dati geologici reperibile presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e della banca dati propria del Comune di Rimini;

3) confronto con la Tavola "S.A. 10 – RISCHIO SISMICO – Carta delle zone suscettibili di effetti di sito", e con la Tavola "S.A. 11 - RISCHIO SISMICO – Carta delle zone suscettibili degli effetti locali" del PTCP 2007 della Provincia di Rimini.

A conclusione delle valutazioni sopra esperite si può affermare che l'area oggetto di studio non presenta caratteristiche geologiche in alcun modo riconducibili alla situazione di "aree in cui le coperture hanno spessori fortemente variabili, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti".

Per quanto concerne il punto d) dell'allegato "A", punto 4.2, della Delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/07, la successiva nota esplicativa redatta dai Servizi della Regione Emilia-Romagna con prot. n. 2007.0166430 del 22/06/07 e la Delibera di Giunta Regionale n. 1661 del 02/11/09, non è oggetto nel presente studio alcuna valutazione e verifica al proposito.

8 STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

La procedura messa a punto dalla normativa regionale fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

Il **1° livello** consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di analisi e trova le sue fondamenta nell'osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo di natura empirica permette di localizzare quelle zone dove gli effetti prodotti dall'azione sismica sono prevedibili con sufficiente attendibilità sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta di dati e indagini ivi realizzate.

Queste sono, oltre alla cartografia topografica e geologica, anche le risultanze di indagini geognostiche, di laboratorio e geofisiche già svolte e saranno utili alla definizione delle condizioni locali.

Il **2° livello** permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione, di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Tali analisi richiedono, rispetto alle precedenti, la disponibilità di una documentazione più specifica e di maggiore dettaglio per la caratterizzazione geologico-tecnica e geomorfologica

dell'area oggetto di studio; è necessario inoltre caratterizzare il sottosuolo attraverso prove geotecniche (perforazioni, trincee esplorative e prelievo di campionamenti rappresentativi e indisturbati) e indagini geofisiche.

Per le analisi di 2° livello si distinguono 3 tipi di approccio geofisico:

- **metodi basati sulla distinzione delle velocità delle onde di taglio** (relazioni empiriche che permettono di quantificare l'amplificazione generata da un deposito in funzione delle sue proprietà geofisiche), in cui vengono proposte diverse relazioni tra le quali quella di Shima (1978), quella di Midorikawa (1987), quella di Joyner and Fumal (1984) e quella di Borchardt et alii (1991);
- **metodi basati sulla classificazione dei depositi** (determinazione degli spessori, della successione degli strati e del relativo stato di addensamento o di consistenza);
- **metodi basati sulla misura dei microtremori** (utilizzo dei metodi di Konai and Tanaka, 1961 e di Nakamura, 1989).

Il **3° livello** permette la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi.

Tali analisi richiedono, rispetto alle precedenti, una caratterizzazione più approfondita ed accurata dell'area in esame, ottenuta per mezzo di specifiche indagini geologiche e geotecniche in sito ed in laboratorio. La differenza sostanziale con i precedenti livelli di approfondimento consiste nella diretta definizione dei parametri meccanici dei terreni. Il metodo permette la valutazione degli effetti di sito per una determinata area, indipendentemente dalla geometria superficiale e profonda presente.

Per quanto riguarda la definizione del sito in esame in termini di velocità delle onde di taglio, i valori ottenuti possono essere messi in diretta relazione con la struttura stessa del sottosuolo in corrispondenza dell'opera da realizzarsi.

Al fine di calcolare i **Fattori di Amplificazione (F.A.)** richiesti nell'analisi semplificata, occorre definire lo spessore del deposito di copertura e della profondità del bedrock sismico. Conseguentemente al rilevamento della velocità equivalente delle onde di taglio sarà possibile definire rispettivamente la V_{S30} o la V_{SH} . Nella definizione di F.A. Si utilizzerà la V_{S30} nei casi in cui lo spessore della copertura sia superiore a 30 mt oppure quando la profondità del bedrock sismico superi i 30 mt; mentre si utilizzerà la V_{SH} quando lo spessore della copertura sarà inferiore a 30 mt oppure la profondità del bedrock sismico sarà inferiore a 30 mt di profondità.

Nel nostro caso si utilizzeranno le risultanze prodotte dalla prova di riferimento tramite cono sismico e dalle prove HVSR, che caratterizzano compiutamente i siti oggetto di studio.

Pertanto, applicando le opportune correzioni statistiche in relazione alla tipologia di prova ed incertezza del dato, nei 30 mt di profondità con piano iniziale di riferimento da 0 a -4 da p.c., si può cautelativamente stimare sempre una **$V_{S30} \leq 200$ mt/sec.**

9 VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

La valutazione dei fattori di amplificazione sismica può essere effettuata come da allegato A2 della Delibera di Assemblea Legislativa n. 112 del 02/05/07. Per calcolare i fattori di amplificazione sismica (F.A.) richiesti dall'analisi semplificata si sono utilizzati i coefficienti sismici e i valori delle V_{S30} determinati come dai capitoli precedenti rispetto ad un suolo di riferimento.

Questi fattori sono espressi sia in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo) sia come rapporto di Intensità di Housner (SI/SIo) per prefissati intervalli di periodo, dove PGAo e SIo sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento definito per ogni Comune, e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Lo spessore della copertura nell'area come già evidenziato nella relazione geologica è stimabile in circa 120 mt, pertanto in questo caso viene utilizzata ai fini della definizione del F.A. la **V_{S30}** .

Tuttavia nell'ambito di recenti studi di approfondimento per PSC del Comune di Rimini di recente adozione, è stata sviluppata la "Carta di microzonazione sismica: Fattori di amplificazione di PGA" – Tav. PSC.1.3.2a, in cui vengono definiti con maggior dettaglio gli ambiti territoriali ex all. 2, punto A.2.1 della Del. Ass. Lgs RER n. 112/2007, cui fare riferimento indicando, talora, anche puntualmente lo specifico valore del fattore di amplificazione indicato per ciascuna zona (Vedi stralcio Tav. PSC.1.3.2a in allegato n. 8)

Inoltre nella "Tavola PSC.1.3.1a" del PSC di Rimini, collegata alla precedente e denominata "Carta dei livelli di approfondimento per gli studi di microzonazione sismica", di cui se ne riporta lo stralcio in allegato n. 7, oltre al Fa per l'accelerazione massima orizzontale (PGA) vengono indicati anche i fattori amplificativi prescritti per l'intensità spettrale nei periodi **0.1 sec < To < 0.5** e **0.5 sec < To < 1.0**.

Pertanto per la definizione del F.A. necessario all'ottenimento dell'accelerazione massima orizzontale, a partire dalle accelerazioni al Bedrock e dagli spettri elastici di riferimento per il comune di Rimini, nelle elaborazioni si è ritenuto di utilizzare i parametri prescritti in sede di PSC, in quanto ritenuti idonei e coerenti alla situazione geologica/geofisica riscontrata in sito:

- **F.A. di P.G.A. = 1,7.**
- **F.A. dell'Intensità Spettrale di Housner per periodi di frequenza di 0.1 sec < To < 0.5 sec = 2,3.**
- **F.A. dell'Intensità Spettrale di Housner per periodi di frequenza di 0.5 sec < To < 1.0 sec = 2,5.**

10 ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

10.1 Verifica dei casi in cui si può escludere fenomeni di liquefazione.

In prima analisi, seguendo le procedure di cui all'allegato A3 della delibera dell'Assemblea legislativa progr. N° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007, si procede a verificare la possibilità di escludere, nei terreni oggetto d'indagine, la possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione attraverso l'analisi di cui prevista nel capitolo A), punto 1 dell'allegato A3.

Infatti la probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verificano fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - – frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $PI > 10$;
 - – $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
 - – $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$.
 dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione: $(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$ in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione $C_N = (p_a / \sigma'_v)^{0.5}$, essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_v la pressione efficace verticale.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 1 (a) nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1 (b) per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.
5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

10.2 Eventi sismici attesi

La storia sismica delle provincia di Rimini è stata effettuata mediante la consultazione del database dell'INGV. Qui di seguito si riporta uno stralcio del database relativo al territorio del riminese derivato dall'archivio INGV denominato **CPTI04**.

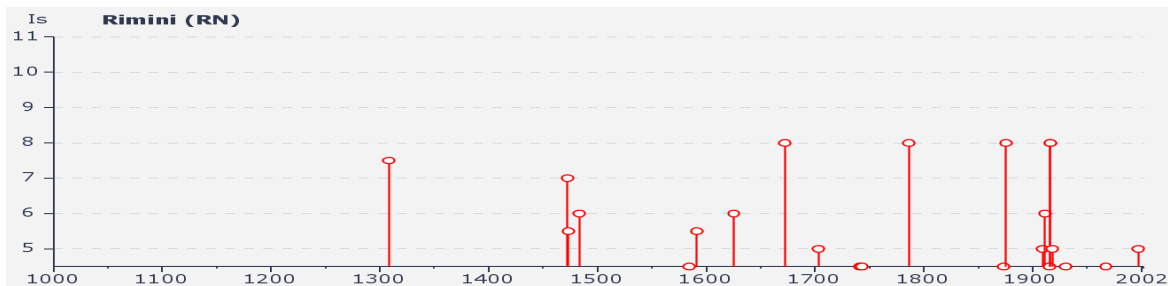
Storia sismica del Riminese – Riccionese (RN) [44.059, 12.567]

Storia sismica di Rimini (RN) [44.059, 12.567] e di Riccione (RN) [44.001, 12.659]													
Osservazioni disponibili:19													
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw	Rt	Rt1		
8	1672	04	14	15	45		Riminese	8	5,60	CFTI	BOA997		
8	1786	12	25	01			Riminese	8	5,67	CFTI	BOA997		
8	1875	03	17	23	51		Romagna sud-orient.	8	5,74	CFTI	BOA997		
8	1916	05	17	12	50		Alto Adriatico	8	5,85	CFTI	BOA997		
8	1916	08	16	07	06	14	Alto Adriatico	8	5,92	CFTI	BOA997		
7-8	1308	01	25	16			Rimini	7-8	5,37	CFTI	BOA997		
7	1472						RIMINI	7	5,17	DOM	POS990		
6	1483	08	11	19	40		Romagna meridionale	8	5,67	CFTI	BOA997		
6	1625	12	05				RIMINI	6	4,83	DOM	POS990		
6	1911	03	26	13	51		RIMINI	6	5,18	DOM	POS990		
5-6	1473	02	02				RIMINI	6	4,83	DOM	GDTSP		
5-6	1591	07	10				FORLI'	6-7	5,24	DOM	POS990		
4	1688	04	11	11	30		ROMAGNA	9	5,88	DOM	POS990		
4	1911	02	19	07	18	30	Romagna meridionale	7	5,38	CFTI	BOA997		
4	1924	01	02	08	55		SENIGALLIA	7-8	5,59	DOM	POS990		
4	1934	11	30	02	58	23	Adriatico		5,77	CFTI	BOA997		
3	1962	01	23	17	31		ADRIATICO	6-7	5,03	DOM	GDTSP		
8	1916	08	16	07	06	14	Alto Adriatico	8	5,92	CFTI	BOA997		
5	1930	10	30	07	13		SENIGALLIA	9	5,94	DOM	MOM992		
3	1987	07	05	13	12	36	VALMARECCHIA	6	4,65	BMING	BMING		

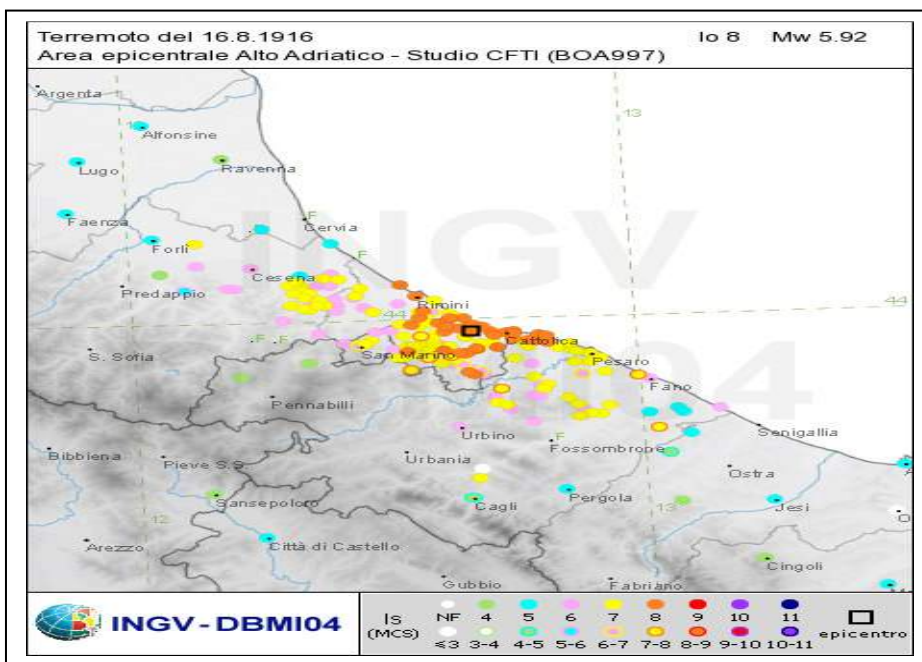
Estratto della tabella esplicativa riportante i parametri che costituiscono il formato sintetico del database

Parametro	Descrizione	Provenienza
NDBMI04	Identificativo del record	
NCPTI04	Identificativo del terremoto	CPTI04 (N)
An	Tempo origine: anno	CPTI04 (Anno)
Me	Tempo origine: mese	CPTI04
Gi	Tempo origine: giorno	CPTI04
Or	Tempo origine: ora	CPTI04
Mi	Tempo origine: minuti	CPTI04
Se	Tempo origine: secondi	CPTI04
AE	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	CPTI04
Io	Intensità epicentrale (MCS)	CPTI04
Mw	Magnitudo momento	CPTI04 (Maw)
Is	Intensità al sito (MCS)	

Distribuzione temporale degli eventi sismici considerati



Cartografie storica in cui si evidenzia la distribuzione degli eventi sismici



Distribuzione degli effetti superficiali legati alle sorgenti sismogenetiche locali relative all'evento del dicembre 1786 (DISS3/INGV).

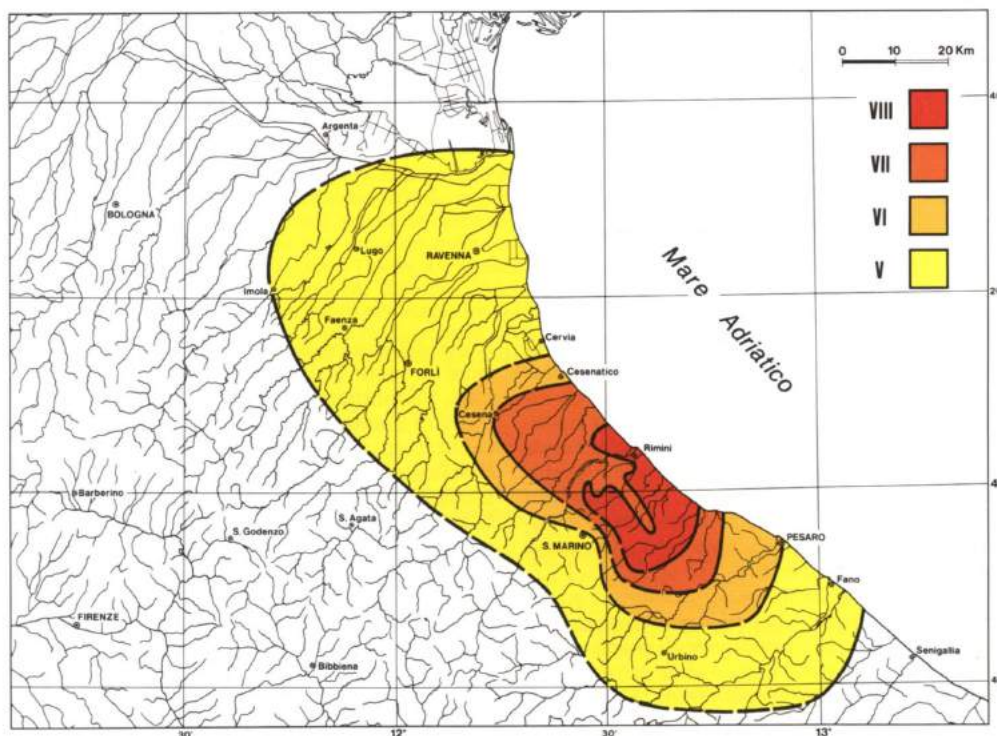


fig. 1 - Carta delle isosisme del terremoto del 25 dicembre 1786. Le diverse aree colorate dal rosso al verde, corrispondono a parti di territorio colpite da effetti di severità decrescente. Caratteristica è la maggiore propagazione degli effetti in direzione parallela alla costa. Si rileva anche una marcata irregolarità dell'area di VIII grado MCS.

Distribuzione degli effetti superficiali legati alle sorgenti sismogenetiche locali relative all'evento del dicembre 1916 (DISS3/INGV).

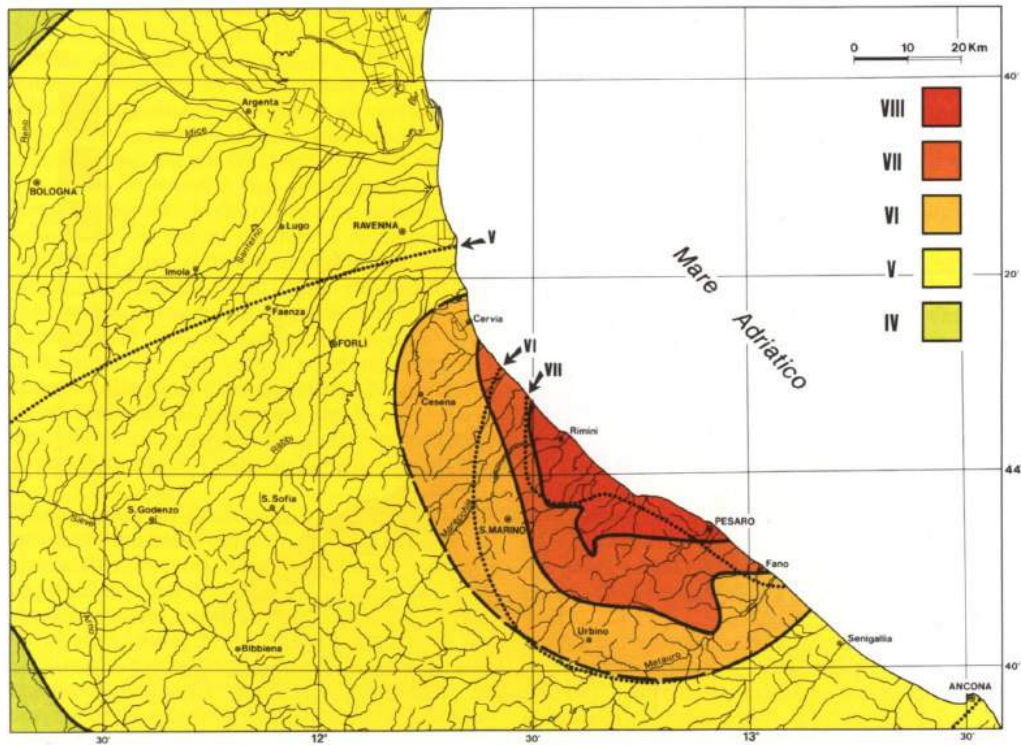
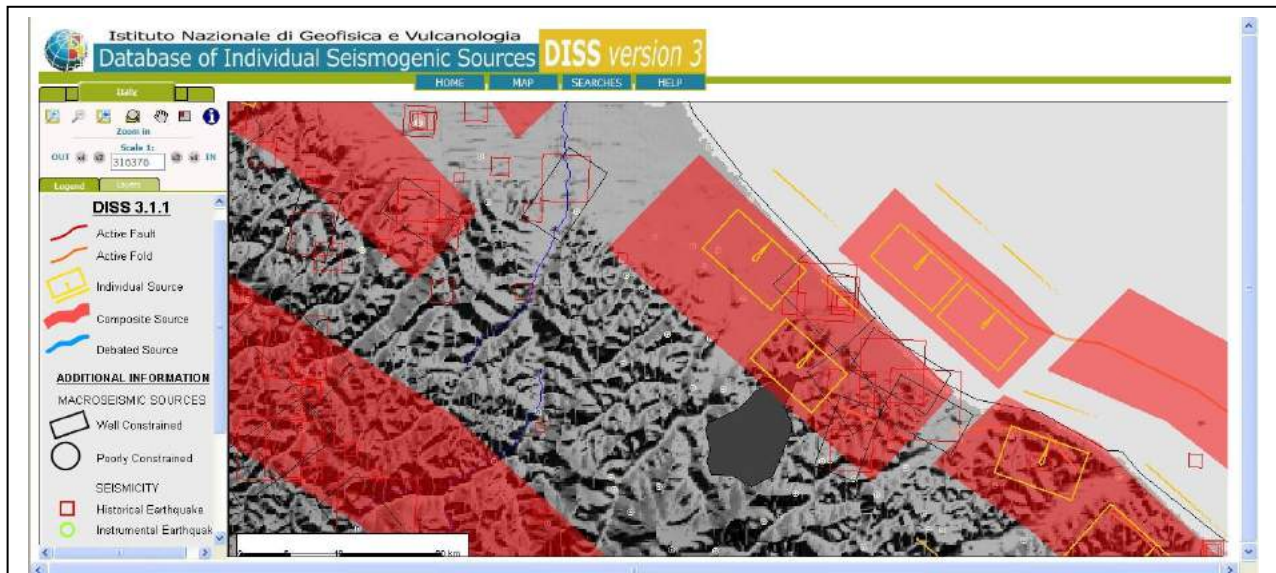


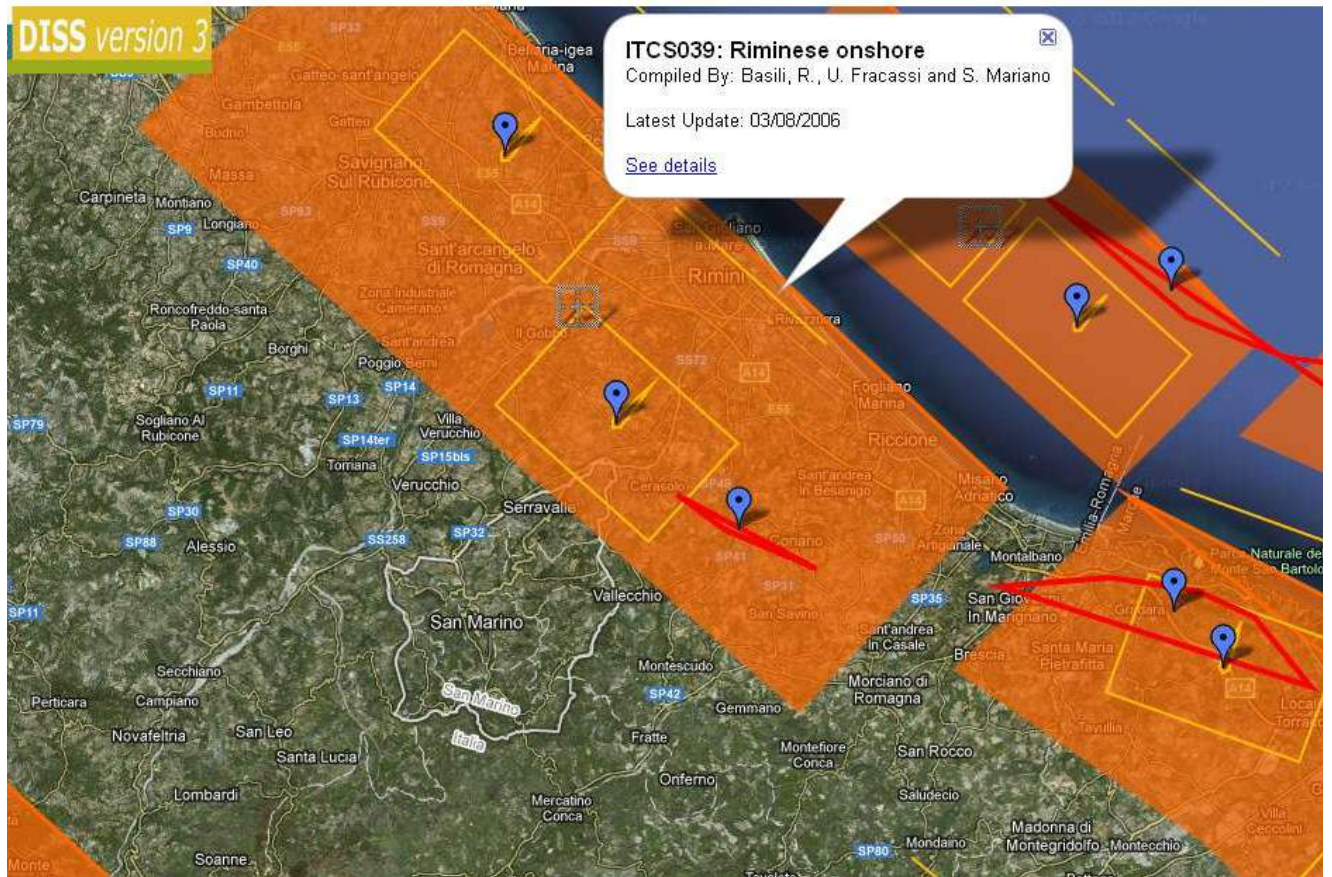
fig. 6 - Carta delle isosisme delle due scosse principali del periodo sismico del 1916. Le aree isosismiche relative alla scossa del 17 maggio (VIII MCS intensità epicentrale) sono delimitate da linee a tratteggio; quelle del 16 agosto (VIII MCS intensità epicentrale) sono delimitate da linee continue.

Sulla scorta di tali cataloghi nonché di più approfondite informazioni storico-scientifiche e di studi su modelli geodinamici e crostali l'INGV ha sviluppato un database delle sorgenti sismogenetiche attive denominato DISS3, contenente potenziali fonti per i terremoti più grandi di 5,5 M in Italia e nelle aree circostanti:

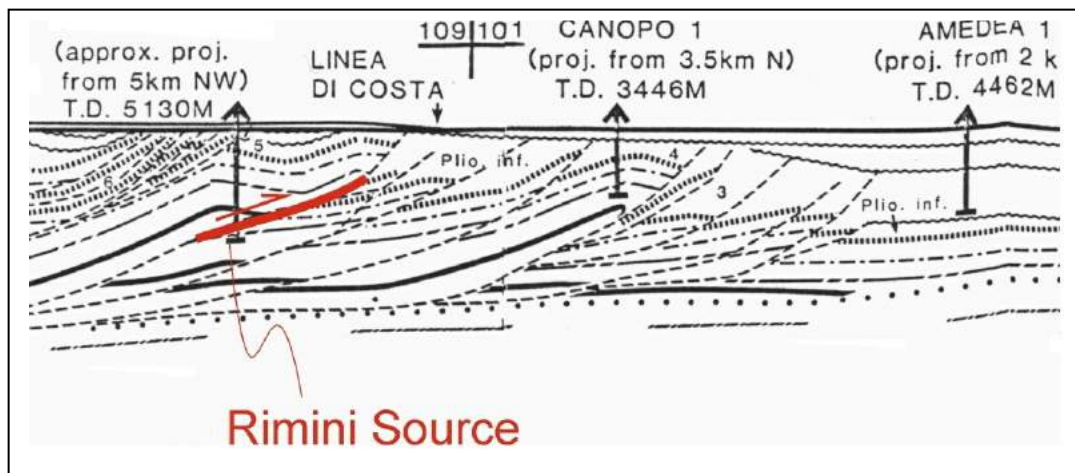
Stralcio cartografico con distribuzione regionale degli eventi e delle sorgenti sismogenetiche - INGV_DISS 3



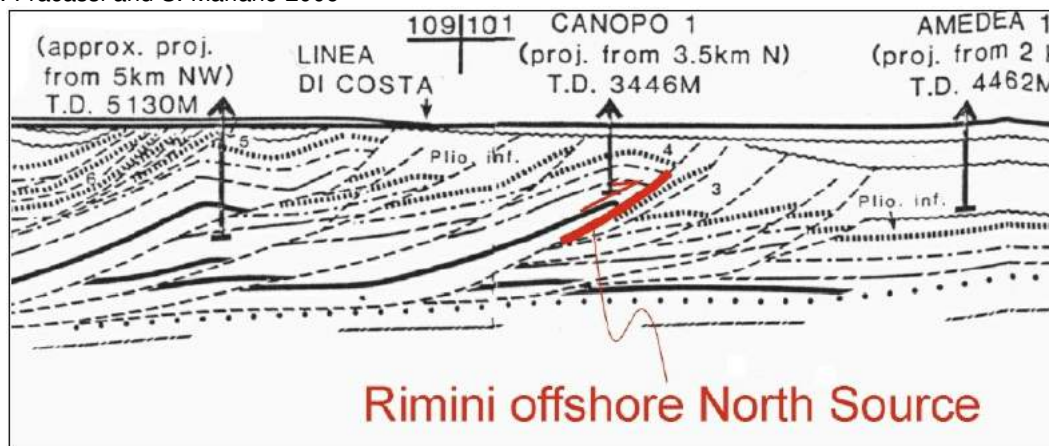
L'area d'intervento, risulta direttamente interessata dalla sorgente sismogenetica ITCS039 (denominata "Riminese On-Shore", Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006) e molto prossima alla ITCS039, posizionata nello specchio marino frontostante, così come censite e caratterizzate nel database INGV DISS3, di cui di seguito si riporta uno stralcio georeferenziato ed ingrandito su base ortofotografica a cura della softwarehouse GEOSTRU:



Sorgente sismogenetica ITC039 - Riminese "on-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006



Sorgente sismogenetica ITC030 - Riminese "off-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006



Schede generali con informazioni parametriche relative alle sorgente sismogenetiche ITCS039- ITCS030 (INGV-DISS3).

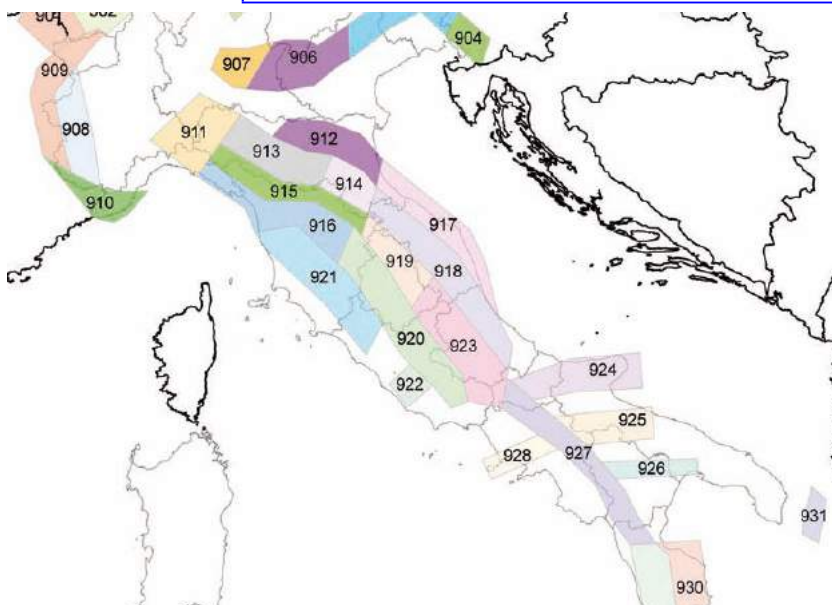
DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS039 - Riminese onshore		DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS030 - Riminese offshore	
Source_Info Summary	Commentary	References	Pictures
General information			
Code	ITCS039	Code	ITCS030
Name	Riminese onshore	Name	Riminese offshore
Compiled By	Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano	Compiled By	Basili, R., and S. Mariano
Latest Update	03/08/2006	Latest Update	24/09/2007
Parametric information			
Min Depth (km)	3	Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	7	Max Depth (km)	7
Strike (deg)	120 - 140	Strike (deg)	120 - 140
Dip (deg)	25 - 35	Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100	Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5
Max Magnitude (Mw)	5.7	Max Magnitude (Mw)	5.9
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement	Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement
Associated Active Faults or Folds			
#	Type	Name	Reference
90	Fold	Rimini	Vannoli et al. [2004]
97	Fold	Offshore Rimini South	Basili and Barba [2007]
96	Fold	Offshore Rimini North	Basili and Barba [2007]

Di conseguenza diviene necessario definire un valore di magnitudo di riferimento "Mwmax" (magnitudo momento), analogamente ai valori di accelerazione massima, in funzione della possibilità che si possano verificare, sia pure con probabilità molto basse, eventi con magnitudo pari o superiore a quelli verificatisi nel periodo di osservazione del Catalogo dei Terremoti.

La massima magnitudo associabile a tali sorgenti sismogenetiche, sulla base di soli dati storico/bibliografici, risulterebbe pari a 5.7-5.9 (vedi "Max Magnitude" in scheda parametrica sopraportata).

Tuttavia cautelativamente l'area in studio è inserita all'interno della **zona sismogenetica n. 917** (Rimini - Ancona; vedi figura successiva) nell'ambito della zonazione "ZS9" definita dal "Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV. Nel rapporto conclusivo al paragrafo 6.3 (a pag. 36) sono stati individuati due tipi di valori. Il primo è calibrato cautelativamente su dati geologici e sismologici risultando **Mwmax1=6.10**, proposto su base geologica nell'ambito del progetto DISS2 (Tabella n. 6 - 3° colonna, pag. 38 del Rapporto Conclusivo GdL INGV, 2004) assumibile per la zona in oggetto **per opere ordinarie**.

Il secondo, maggiormente cautelativo ovvero **Mwmax2 = 6.14**, viene richiamato in "Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica" (anno 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile) al paragrafo 2.8.2 e definito come metodo semplice e in favore della sicurezza per stimare il valore della magnitudo che può essere utilizzata **nella progettazione di opere di particolare importanza**.



Pertanto si può osservare che ben pochi terremoti verificatisi nella storia sismica del Comune di Rimini hanno delle magnitudo inferiori a 5 e, quindi, tale condizione (punto 1 delle norme della regione Emilia-Romagna sopra riportata) non è verificata.

Visto il succedersi di terremoti con sede epicentrale nella zona di Rimini e la presenza, in corrispondenza dell'area in studio, di sorgenti sismogenetiche, non risultando presenti opere di rilevanza strategica, si ritiene di considerare una magnitudo di riferimento pari a: **M = 6,1**, conformemente a quanto prescritto ed indicato per la Zona 917 - Zonazione "ZS9" a cura dell'INGV.

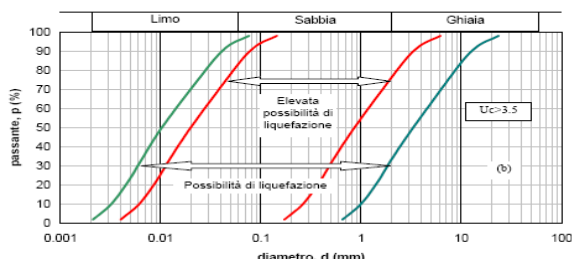
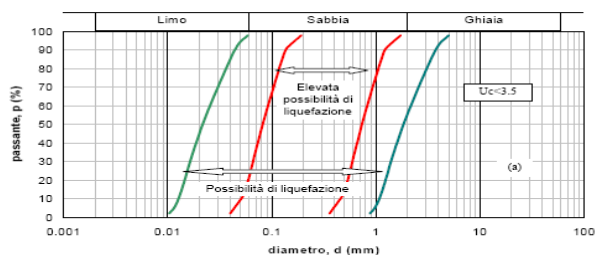
10.3 Accelerazione massima attesa

In base alle indicazioni della normativa di cui sopra (Par. 10.1 - punti 2 e 3) l'accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field dovrebbe essere minore di 0.1g e 0.15g per i terreni a granulometria fine.

Per ottenere il valore di PGA_0 (accelerazione massima al suolo di riferimento) si è consultata la tabella 2 dell'allegato A4 dove vengono forniti direttamente dalla Regione Emilia-Romagna i valori di PGA_0 distinti per Comune. Per il Comune di Rimini, il valore dell'accelerazione massima orizzontale di riferimento al suolo per $T = 0$, risulta essere pari a **0,183g**. Pertanto considerando il valore di F.A precedentemente determinato e pari ad 1,7, il picco di accelerazione al piano di campagna del terremoto di riferimento risulta **$a_{maxs} = 0,183g \times 1,7 = 0,311g$** . Da tale considerazione si ha che sia la **PGA_0 , pari a 0.183g** ed a maggior ragione la **a_{maxs} corrispondente a 0,311g**, risultano entrambi maggiori a quella di riferimento - free-field di 0.1g e di 0.15g per i terreni fini; pertanto la potenziale liquefacibilità non è escludibile.

10.4 Distribuzione granulometrica

Per quanto riguarda il punto 4 di cui al paragrafo 10.1, è necessario considerare le granulometrie dei campioni prelevati nei sondaggi geognostici, le cui curve andranno a sovrapporsi ai fusi granulometrici di riferimento riportati nella normativa regionale (vedi figura sottostante) a seconda del coefficiente di uniformità U_c .



La risultanza di tale sovrapposizione (vedi allegato 9) è evidenziata dalla curva granulometrica dei campioni utilizzati, dove viene confermata la “*elevata possibilità di liquefazione*” del deposito granulare costiero.

10.5 Profondità della falda

In base a quanto riscontrato durante le indagini geognostiche, attraverso misurazioni di falda eseguite nei fori di sondaggio ed in piezometri installati in aree limitrofe, nonché da monitoraggi su basi storiche eseguiti nel territorio, si evince che il livello freatico può essere collocato mediamente alla profondità media di circa 1,5 – 1,0 mt dal p.c; pertanto in condizioni di massimo innalzamento stagionale potrà raggiungere una profondità di –1,0 dal p.c. Tali profondità sono decisamente inferiori a quanto riportato nella normativa (profondità media stagionale >15m).

Pertanto anche il punto 5 di cui al paragrafo 10.1 non risulta verificato.

11 STIMA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Al fine di verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione, la normativa regionale prevede l'impiego di procedure individuate nell'Ingegneria Geotecnica Sismica quali “*metodi semplificati*”. Tali metodi sono basati su prove geotecniche di tipo corrente e sulla valutazione, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, del coefficiente di sicurezza $F_L = (CRR/CSR) \times MSF$ dove:

- $CRR = \tau_{ult} / \sigma'_{vo}$ è la resistenza normalizzata (rispetto alla pressione efficace verticale iniziale σ'_{vo}) che può essere valutata attraverso abachi, quali quelli indicati nella Figura 2 dell'allegato A3, in funzione di parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure dirette della velocità delle onde di taglio V_s , oppure tramite specifiche relazioni adottate dai vari metodi di calcolo semplificato presenti in letteratura;
- $CSR = \tau_{media} / \sigma'_{vo} = 0,65 (a_{maxs} / g) (\sigma_v / \sigma'_v) r_d$ è la tensione indotta dal terremoto e dove a_{maxs} è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento; g è l'accelerazione di gravità; σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata; r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con relazione semplificate in base al metodo utilizzato;

- MSF è un fattore di scala che può essere valutato mediante la Tabella 1 dell'allegato A3 (Idriss, 1978) in funzione della magnitudo dei terremoti attesi oppure tramite specifiche relazioni adottate dai vari metodi di calcolo semplificato presenti in letteratura.

Se il fattore $F_L > 1$ la liquefazione è da escludere; se è $F_L < 1$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione, ma in ogni caso vanno verificati anche i cedimenti post-sismici sia in sabbie sature che fuori falda, nonché in argille particolarmente compressibili potenzialmente soggette a fenomeni degradazione ciclica.

12 CALCOLO DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Per il calcolo della potenziale liquefacibilità dei terreni sabbiosi saturi e di degradazione ciclica di quelli limo/argillosi individuati nella successione litostratigrafica, sono stati utilizzati i risultati delle prove penetrometriche realizzate le cui risultanze sono state ritenute idonee ed accettabili, anche a seguito di verifica e comparazione con i risultati delle analisi granulometriche dei campioni prelevati nei depositi sabbiosi costieri ed argillosi sottostanti nonché con i corrispondenti valori di V_s riscontrati durante la campagna di prospezione geofisica a rifrazione di riferimento. Dai dati della campagna geognostica risulta che lo spessore del corpo sedimentario sabbioso costiero (rappresentato sostanzialmente dai litotipi "H" e "S" costituiti di sabbie prevalenti e alternanze di livelli sabbiosi con sottili orizzonti limosi ed argillosi ma a comportamento generale prettamente incoerente) è di 6.4-7.3 mt.

Data la variabilità delle opere in progetto per tutte le analisi circa la potenziale liquefacibilità e la stima dei cedimenti post-sismici attesi, in questa fase, cautelativamente si è fatto riferimento al piano campagna attuale estendendo le analisi entro i primi 20 mt dal piano di campagna, profondità oltre la quale il fenomeno è inibito dalla pressione litostatica e/o gli eventuali potenziali effetti in superficie risulterebbero di scarsa rilevanza se non del tutto ininfluenti.

Le verifiche possono essere effettuate con metodologie di tipo storico – empirico fra cui quelle basate su prove CPT con particolare riferimento al metodo di "Robertson", specificamente raccomandato nella direttiva regionale RER n. 112/2007 e nelle Linee Guida AGI 2005.

Come verificato al precedente paragrafo 10.3, l'accelerazione massima al suolo libero attesa sulla base degli elaborati di microzonazione sviluppati in sede di redazione del PSC di Rimini risulta pari a **$A_{max}=0.311 g$** .

La verifica di calcolo, riportata in allegato n. 10, è stata effettuata come da normativa attraverso l'utilizzo delle prove **CPTu1-CPTu3** e **CPTe1-CPTe3** effettuate in sito, ritenute rappresentative della situazione locale e sufficientemente profonde, discretizzando la stratigrafia secondo strati di 10 cm nonché avvalendosi di formule semplificate (metodologia di Robertson - Wride modificata, 2009) rapportabili a parametri probabilistici. La verifica è stata condotta in considerazione di un **livello di falda cautelativo pari a -1.0 mt dal p.c.** attuale (valor medio nella stagione di massimo innalzamento stagionale), con una magnitudo momento **$M_w = 6.1$** (vedi par. 10.2). L'analisi è stata eseguita utilizzando uno dei metodi più accreditati dal mondo accademico e scientifico, basato su un proprio fattore caratteristico di scala della magnitudo (MSF) e propri coefficienti riduttivi ($R_d-K_\alpha-K_\sigma$) atti a determinare i valori di CRR (cyclic resistance ratio) e CSR (cyclic stress ratio) per ciascuno strato, necessari a definirne il rispettivo FS (fattore di sicurezza) rispetto ad una soglia limite di riferimento prefissata (nel caso in esame $FS = 1.0$).

Il piano di riferimento adottato nelle analisi è stato indicativamente riferito al piano di posa delle fondazioni, in quanto i carichi prevedibili in funzione delle opere in progetto risultano sostanzialmente compensati dall'alleggerimento del terreno di sbanco; pertanto si è considerata la quota di -3.5 mt e -1.5 mt dal p.c. attuale rispettivamente per le aree da edificare e per quella destinata a parcheggio.

In aggiunta ed in funzione del FS calcolato sono stati determinati, altresì, le deformazioni massime (γ_{max} - LDI) ed i cedimenti attesi (ϵ_v - ΔSi) nei terreni sia in falda che fuori falda (Boulanger, 2006 – Yoshimine et Al., 2006 - Yoshimine e Ishihara, 1992 – Zhang, 2004 - direttiva RER 112/2007-tabella 7), siano essi incoerenti che coerenti (rispettivamente per deformazione

volumetrica/riaddensamento e riconsolidazione; Robertson metodo "all soil, 2009"), permettendo di individuare al contempo gli orizzonti maggiormente critici anche in relazione al rapporto di pressione interstiziale stimabile attraverso i diagrammi basati sulle esperienze di Dobry et Al. 1984/85 e della Regione Emilia Romagna (direttiva 112/2007-tabella 2) nonché tramite le formulazioni di Robertson, 2009 specifiche per i terreni di natura coesiva.

Nel caso in esame, dato il grado di conoscenza della stratigrafia, di affidabilità delle prove e dei dati utilizzati, nonché del grado di conoscenza delle caratteristiche dei terreni in esame, si è fatto riferimento ad una soglia limite di riferimento per la sicurezza pari a **FS=1.0**, come indicato nella stessa direttiva R.E.R. n.112/2007 (Allegato A3, capitolo A, par. 2).

In allegato n. 10, (colonne " Su/ σ'_{vc} " e " Sr/ σ'_{vc} ") viene altresì proposta una stima della resistenza residua offerta dai terreni a seguito del potenziale innesco di fenomeni di mobilità ciclica/liquefazione nei terreni incoerenti (Seed, 1987 - Boulanger, 2008) e di degradazione ciclica nei livelli coesivi (Robertson, 2009) per le condizioni sismiche di progetto.

In ultimo viene stimato anche il potenziale di liquefazione "IPL" lungo la colonna stratigrafica fino alla profondità sondata secondo il metodo di Iwasaki et Al. 1982 recentemente rivisto ed aggiornato da Sonmez (2003), integrando in modo pesato il potenziale di liquefazione di ciascuno strato su tutto il profilo stratigrafico indagato.

Visti i valori di resistenza alla liquefazione (terreni incoerenti) ed alla degradazione ciclica (terreni coesivi), nell'ipotesi di condizioni free-field (campo libero), si ritiene che nel caso specifico il potenziale di liquefazione dei terreni con riferimento al piano campagna attuale, vari realmente come illustrato planimetria in allegato n. 11, presentando un **3.65<IPL<9.37**, in cui diversi orizzonti sabbioso/limosi evidenziano FS<1.0 con una suscettibilità di liquefazione solitamente superiore al 50-60% ("PL" nel diagramma in allegato n. 10; Juang, 2001-2011). Per ciascun singolo strato, inoltre, nei tabulati di calcolo è possibile confrontare i valori di FS/PL con le sovrappressioni indotte stimabili tramite i metodi e le tabelle di calcolo regionali e/o correlabili con le esperienze di Dobry et al., 1984 (Alleg. A3 - direttiva RER 112/2007).

Livelli argillosi potenzialmente soggetti a significativa degradazione ciclica vengono riscontrati solo occasionalmente ed in sottili e discontinui orizzonti appartenenti al lit. C.

La presenza di livelli a bassa permeabilità durante la sollecitazione ciclica può talora comportare un ulteriore aggravio nella capacità di drenaggio e di smaltimento delle sovrappressioni dei depositi incoerenti.

Tale ambito di IPL indica per i siti in esame probabilità generali di innesco della liquefazione da medie ad elevate generalmente con $0.15 \leq PL < 0.35$ e talora $0.35 \leq PL < 0.65$ sino a $PL > 0.65$, con un potenziale di liquefazione da "moderato" ad "alto" (Sonmez, 2003 - Facciorusso, 2008 – Juang, 2011).

In allegato n. 11 viene altresì illustrata anche la distribuzione areale dei cedimenti post-sismici attesi, sia per terreni incoerenti che coesivi, i quali presentano un ambito di variabilità areale compreso tra **11.1< ΔH <23.0 cm**.

Si deve evidenziare, tuttavia, che gli orizzonti incoerenti potenzialmente liquefacibili, risultano sempre caratterizzati da un valore di resistenza espresso in n. di colpi Spt $(N1)_{60} > 10$, il che rappresenta una certa garanzia nei confronti del potenziale innesco di fenomeni di liquefazione totale o di flusso.

Sulla base dello spessore degli strati liquefacibili/non liquefacibili ed il relativo rapporto spessore-profondità, l'eventuale possibilità di propagazione risulti indicativamente non impedita con possibilità di manifestazioni superficiali verso l'alto, in quanto lo spessore degli orizzonti non liquefacibili soprastanti è sempre generalmente minore o uguale e, dunque, per innescare e propagare il fenomeno l'entità delle accelerazioni stimate appare coerente (Crespellani et. Al., 1988 e metodo Ishihara, 1985 + Youd e Garri 1994/95 – schema in allegato n. 12). Tale evenienza non può essere esclusa anche a causa della modesta consistenza ed addensamento degli strati sabbiosi superficiali congiuntamente all'alto livello freatico.

L'areale soggetto a minor rischio di liquefacibilità è quello relativo alle prove CPTu/e 3, mentre quello a rischio maggiore è quello pertinente alle prove CPTu/e 1 e CPTu/e 2.

I risultati ottenuti risultano peraltro essere in linea con quanto già stimato nell'ambito della microzonazione di III livello per la scuola comunale in via Parini, soprattutto per quanto riguarda le aree più attigue (LOTTO2, AUTORIMESSA 2 e AUTORIMESSA 1).

In sede progettuale esecutiva sarà opportuno valutare puntualmente la compatibilità di quanto stimato con i piani di posa dei manufatti, le caratteristiche delle strutture (geometriche, in elevazione e fondazionali) e realizzative (dimensionamento geotecnico, modalità operative, eventuali interventi di mitigazione, drenaggio, miglioramento dei terreni, ecc.), le prestazioni attese dall'opera e la relativa funzionalità.

13 EDIFICABILITA' DELL'AREA

13.1 Generalità

Come inquadramento generale l'area in studio si colloca nell'area storicamente urbanizzata della fascia costiera, posta tra la linea ferroviaria "Rimini-Ancona" a nord-est, sino alla vecchia linea di costa evidenziata dalla falesia costiera a sud-ovest.

I terreni sabbiosi e le alternanze presenti nell'area (piana costiera) si presentano, in condizioni statiche, generalmente come discreti terreni di fondazione, tuttavia va considerata la significativa saturazione di tali depositi, il grado di permeabilità unitamente al loro comportamento in condizioni dinamiche.

L'analisi di III° livello di approfondimento nell'ambito della verifica dei rischi sismici, a riguardo del potenziale di liquefacibilità in condizioni di *free field* e con riferimento al p.c. attuale, ha caratterizzato le seguenti aree come:

- LOTTO2 e AUTORIMESSA 2: ad **alto rischio di liquefacibilità con $5.89 < IPL < 8.17$** ;
- AUTORIMESSA 1: ad **alto rischio di liquefacibilità con $6.15 < IPL < 9.37$** ;
- LOTTO1: a **moderato rischio di liquefacibilità con $3.65 < IPL < 4.84$** ;

In allegato n. 11 viene altresì illustrata anche la distribuzione areale dei cedimenti post-sismici stimati, sia per terreni incoerenti che coesivi, i quali presentano i seguenti ambito di variabilità:

- LOTTO2 e AUTORIMESSA 2: **$14.2 < \Delta H < 20.0$ cm**;
- AUTORIMESSA 1: **$14.8 < \Delta H < 23.0$ cm**;
- LOTTO1: **$11.1 < \Delta H < 11.5$ cm**;

Il LOTTO1 risulta caratterizzato da un minor rischio di liquefacibilità rispetto alle aree denominate LOTTO2, AUTORIMESSA 2 e AUTORIMESSA 1, onde per cui si ritiene ammissibile un intervento edificatorio tramite fondazioni dirette opportunamente incastrate in profondità, nonché adeguatamente dimensionate ed irrigidite. Tuttavia, data la stima comunque significativa dei cedimenti attesi, si raccomanda un mirato approfondimento di indagine e di verifica analitica in sede di progettazione esecutiva nonché un idonea valutazione circa le metodologie di intervento più appropriate.

Diversamente sulle altre aree di intervento, al fine di inibire/mitigare la suscettibilità alla liquefazione dei depositi incoerenti e di omogeneizzarne il comportamento geotecnico, si consiglia l'attuazione di interventi preliminari di miglioramento e/o drenaggio dei terreni di fondazione; in tal caso potranno essere adottate fondazioni superficiali di tipo diretto da dimensionare in funzione delle prestazioni attese e del grado di miglioramento ottenuto nel volume di terreno di interesse per le specifiche opere.

In alternativa si renderà opportuno l'utilizzo di fondazioni profonde su pali adeguatamente realizzati per le problematiche riscontrate e idoneamente dimensionati alle azioni di taglio, nonché alla mancanza di adesione laterale negli orizzonti denominati Lit. V-H-S ed a possibili effetti di attrito negativo a seguito dell'addensamento dei terreni potenzialmente liquefacibili e/o coesivi soggetti a degradazione ciclica.

In ogni caso in sede esecutiva tali valutazioni andranno approfondite puntualmente in relazione alle quote dei piani di posa, ai carichi insistenti nonché alle modalità realizzative delle opere in progetto e delle prestazioni attese dalle stesse e, pertanto, anche in base a quanto espresso al paragrafo 7.11.3.4.3 delle NTC *"L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista"*.

Vista la previsione di realizzare piani interrati in corrispondenza dei fabbricati in progetto e la presenza di falda nei pressi della superficie, necessiterà l'utilizzo di drenaggi e pompe per provvedere all'aggettamento nello scavo. In tal caso andranno fatte debite valutazioni circa la permeabilità dei terreni in relazione al cono di emunzione onde limitare gli effetti dello scavo nell'intorno (spesso causa di consolidamento o cedimento dei terreni laterali).

In particolare una struttura continua quale diaframma in cemento armato senza soluzione di continuità, oltre a fornire una adeguata protezione in corso d'opera, potrà fungere da muro perimetrale per l'opera. La paratia permette di evitare l'utilizzo di drenaggi o pozzi con pompe all'esterno del perimetro al fine di abbassare il livello piezometrico e quindi di evitare e/o limitare problemi di assestamento del terreno nell'intorno. L'aggettamento della falda verrà realizzato all'interno del perimetro del diaframma.

Tuttavia data la presenza di altri manufatti limitrofi all'eventuale paratia sarà opportuno considerare gli effetti di un eventuale spostamento dell'opera a seguito della spinta del terreno a tergo. Determinazioni più precise si potranno effettuare in fase pre - esecutiva una volta dimensionati in dettaglio tutti gli elementi progettuali della struttura di sostegno.

Se verrà ritenuto di procedere a scavi non protetti da opere di contenimento, sarà comunque importante controllare che l'abbassamento si limiti a quote prossime al fondoscavo in modo tale che il "cono di depressione" originato dal pompaggio non interferisca in maniera consistente con le fondazioni di eventuali fabbricati vicini, valutando l'opportunità di utilizzare opere di sostegno provvisorie nei punti più critici. Piezometri installati al di fuori del perimetro dello scavo, nei pressi dei fabbricati potranno fornire uno strumento idoneo di controllo.

In quest'ultimo caso pertanto la stabilità dei fronti di scavo in parete sub verticale o inclinata di 50°-60°, per altezze non superiori a 3 mt, è affidata alle possibilità di autosostentamento sul breve termine del terreno e sarà influenzata sia dalla tipologia dei terreni presenti che dalla presenza di falda ed andrà verificata di caso in caso.

In ogni caso la scelta delle tipologie fondazionali e dei piani di posa delle fondazioni, nonché degli approcci metodologici corretti per gli sbancamenti, le opere di drenaggio e di contenimento, saranno effettuati in sede di progettazione esecutiva tenendo conto di quanto soprariportato ed in base sia alle problematiche di dettaglio che si presenteranno nel sito di edificazione, nonché alle caratteristiche tecniche dell'opera da realizzare e della presenza di edifici nelle adiacenze.

Data la presenza della falda e comunque di una notevole risalita capillare anche nei pressi della superficie, si consiglia di predisporre un idoneo sistema di impermeabilizzazione degli scantinati e di dimensionare le solette di fondazione tenendo conto delle eventuali sottospinte idrostatiche.

Non sussiste pericolo di esondabilità né da parte dei corsi d'acqua maggiori, né da parte della rete scolante minore presente nell'area.

Per lo smaltimento delle acque di pioggia all'interno dell'area dovrà essere prevista la realizzazione di un'idonea rete fognaria in grado di integrarsi con quella urbana già esistente ed in conformità alle norme di settore vigenti.

Un inerbimento ed una messa a dimora di piante sulle superfici residue non edificate ed asfaltate forniranno una protezione al suolo da eventuali fenomeni di degradazione superficiale.

13.2 Parcheggi e viabilità di nuova previsione

Per la realizzazione della viabilità interna e dei parcheggi si forniscono alcuni elementi per la progettazione sulla base delle prove penetrometriche e delle analisi di laboratorio effettuate.

Dall'indagine si desume che i terreni nel sottosuolo, escludendo il livello superficiale talora limo-argilloso, sono di natura prevalentemente sabbiosa, quindi possiederebbero buone caratteristiche come terreno di sottofondo. Tuttavia il livello superficiale limo – argilloso possiede valori di modulo di compressibilità insufficienti ed estremamente variabili e il giudizio come sottofondo è, in prima approssimazione, mediocre.

CLASSIFICAZIONE STRADALE SECONDO LA NORMA UNI-CNR 1006

Gruppo	Terreni granulari (passante al 200 A.S.T.M. <35%)							Terreni argillosi-limosi (passante al 200 A.S.T.M. >35%)			
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7
Sottogruppo	A1a	A1b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5 A7-6
Granulometria:											
passante al 10 A.S.T.M.	50 max	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
passante al 40 A.S.T.M.	30 max	50 max	50 max	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
passante al 200 A.S.T.M.	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Frazione passante al setaccio 40:											
Limite di liquidità	-----	-----	-----	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Indice di plasticità	6 max	6 max	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Indice di gruppo	0	0	0	0	0	4 max	4 max	8 max	12 max	16 max	20 max
Tipo del terreno	Frammenti di pietre e sabbia		Sabbia fine	Sabbia con limo od argilla				Limo		Argilla	
Giudizio come terreno di sottofondo	Terreni eccellenti-buoni						Mediocri e cattivi				

Per la formazione dei rilevati stradali si dovranno utilizzare materiali appartenenti alle classi A-1 e A-3 nel caso specifico. Pertanto prima di procedere alla realizzazione delle opere stradali e dei parcheggi si consiglia una asportazione del terreno vegetale per almeno 60-70 cm per poi procedere al rifacimento dello strato di sottofondo a partire da un piano di imposta costipato, con mezzi meccanici idonei, a valori non inferiori dell'85% della densità max. determinato dalle prove Proctor (A.A.S.H.O.) standard o modificate.

Per il dimensionamento della sovrastruttura stradale si potranno adottare metodi quali prove C.B.R. in sito per la verifica della compattezza e analisi di laboratorio per l'utilizzazione di miscele idonee alle necessità locali. In particolare si consiglia un utilizzo di materiali granulari e inerti costipati alla max densità proctor onde inibire la risalita capillare che può rivelarsi consistente soprattutto in periodi di max innalzamento della falda.

A chiarimento del carattere della prestazione professionale fornita e della trasparenza sul rapporto professionale con il committente si specifica quanto segue:

- ❖ L'incarico risulta ultimato alla data di consegna della presente relazione che non si configura in alcun modo come "relazione geotecnica" ai sensi del paragrafo 6.2.2 del D.M. 14/01/08 la quale rimane di esclusiva competenza della parte progettuale.
- ❖ Lo scrivente non ha alcun incarico di progettazione, rapporto di direzione lavori o assistenza alla direzione. Una eventuale presenza dello scrivente o di un suo collaboratore sul cantiere avrà come scopo la verifica della successione stratigrafica individuata. Tuttavia, solo se richiesta, tale presenza potrà assumere un carattere indicativo ed informale nei confronti delle scelte progettuali ed esecutive che rimarranno in ogni caso di competenza dei progettisti e/o della Direzione Lavori. La D.L. e/o la parte progettuale dovranno richiedere formalmente chiarimenti integrativi relativamente alla realizzazione di manufatti non trattati all'interno della relazione.
- ❖ Qualora i lavori relativi all'opera in oggetto abbiano inizio alcuni anni dopo la consegna della relazione, la Committenza dovrà provvedere a richiedere le eventuali aggiornamenti o integrazioni sopravvenuti cambiamenti nelle condizioni geologico – tecniche e idrogeologiche e idrogeologiche e idrogeologiche antropiche. Ciò vale anche a seguito di varianti apprezzabili al progetto originale.

Rimini, aprile 2013



Protocollo N.0322044/2018 del 26/11/2018

'Class. ' 010.006002

Firmatario: Alessandro Ravaglioli

Documento Principale

ALLEGATI

COROGRAFIA



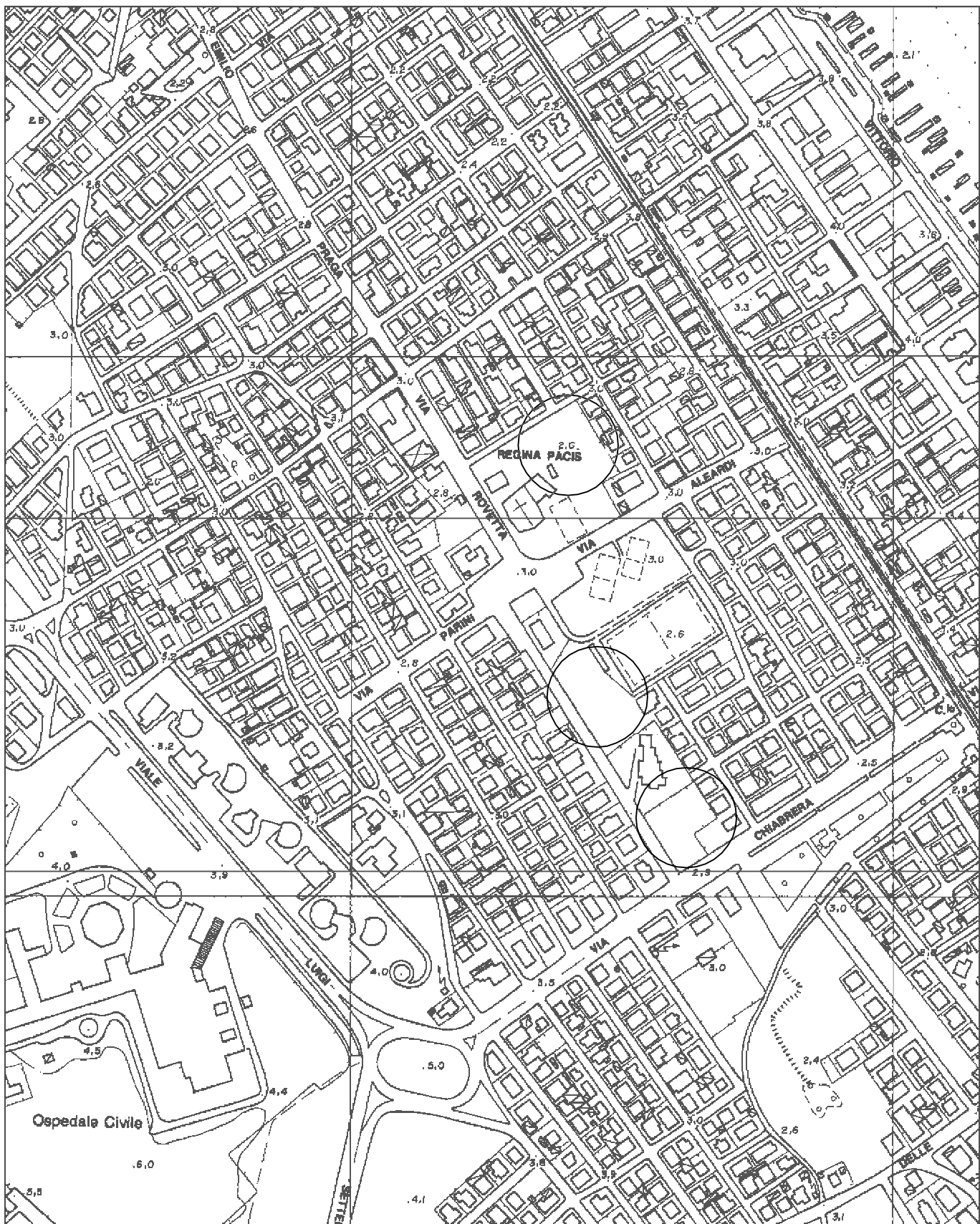
C.T.R. SCALA 1: 25.000

FOGLIO 256 SE (RIMINI)


 AREA IN STUDIO

Allegato n. 1

COROGRAFIA



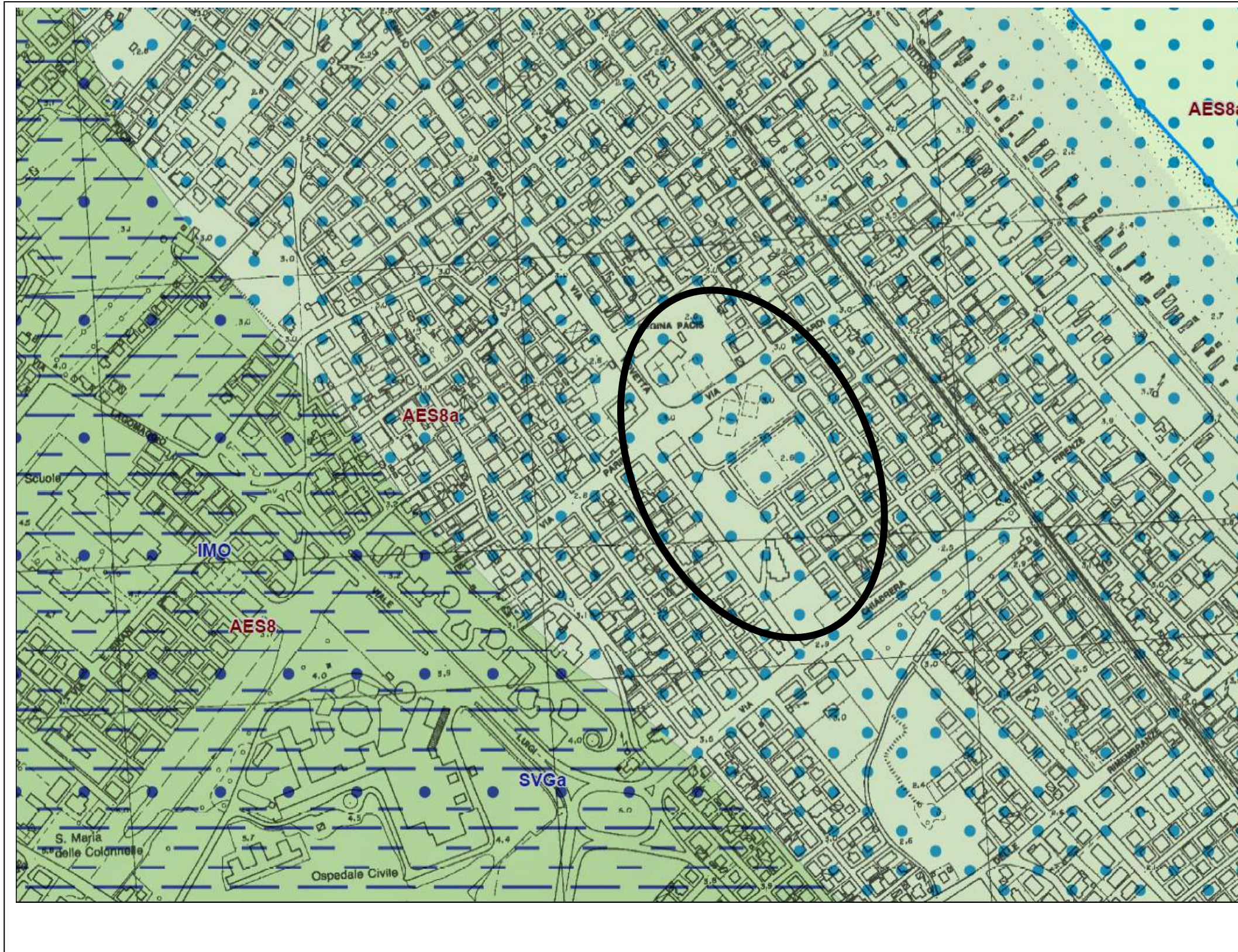
C.T.R. SCALA 1: 5.000

FOGLIO 256 (RIMINI)

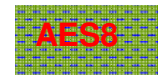
ELEMENTO 123 (BELLARIVA)


 AREE IN STUDIO

ALLEGATO N. 2 - CARTA GEOLOGICA Scala 1:5000



LEGENDA



AES8: SUBSISTEMA DI RAVENNA Subsistema sommitale del Sistema Emiliano - Romagnolo Superiore. In affioramento: depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale (AES8p), di piana di sabbia litorale nel settore a mare (AES8s), di prodelta e transizione alla piattaforma. I depositi di piana alluvionale includono ghiaie di canale fluviale a geometria nastriforme. *Pleistocene superiore - Olocene.*



AES8a: UNITA' DI MODENA. Ghiaie, sabbie, limi e argille di canale fluviale, argine e piana inondabile; sabbie e ghiaie di cordone litorale e di barra di foce; argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro (2,5Y), privo di reperti archeologici romani o più antichi, non rimaneggiati e caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (argini, e bacini interfluviali). Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto delle tracimazioni fluviali su suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura. Spessore massimo di 3-4 mt. *Età post-romana (IV-VI secolo d.C. - Attuale; datazione archeologica).*



Limite stratigrafico

**GEOLOGIA
E
AMBIENTE**

Studio di Geologia
via del marinaio, 32 - Rimini 47900
tel. 0541/722574
339/1361620

Allegato n. 3.1

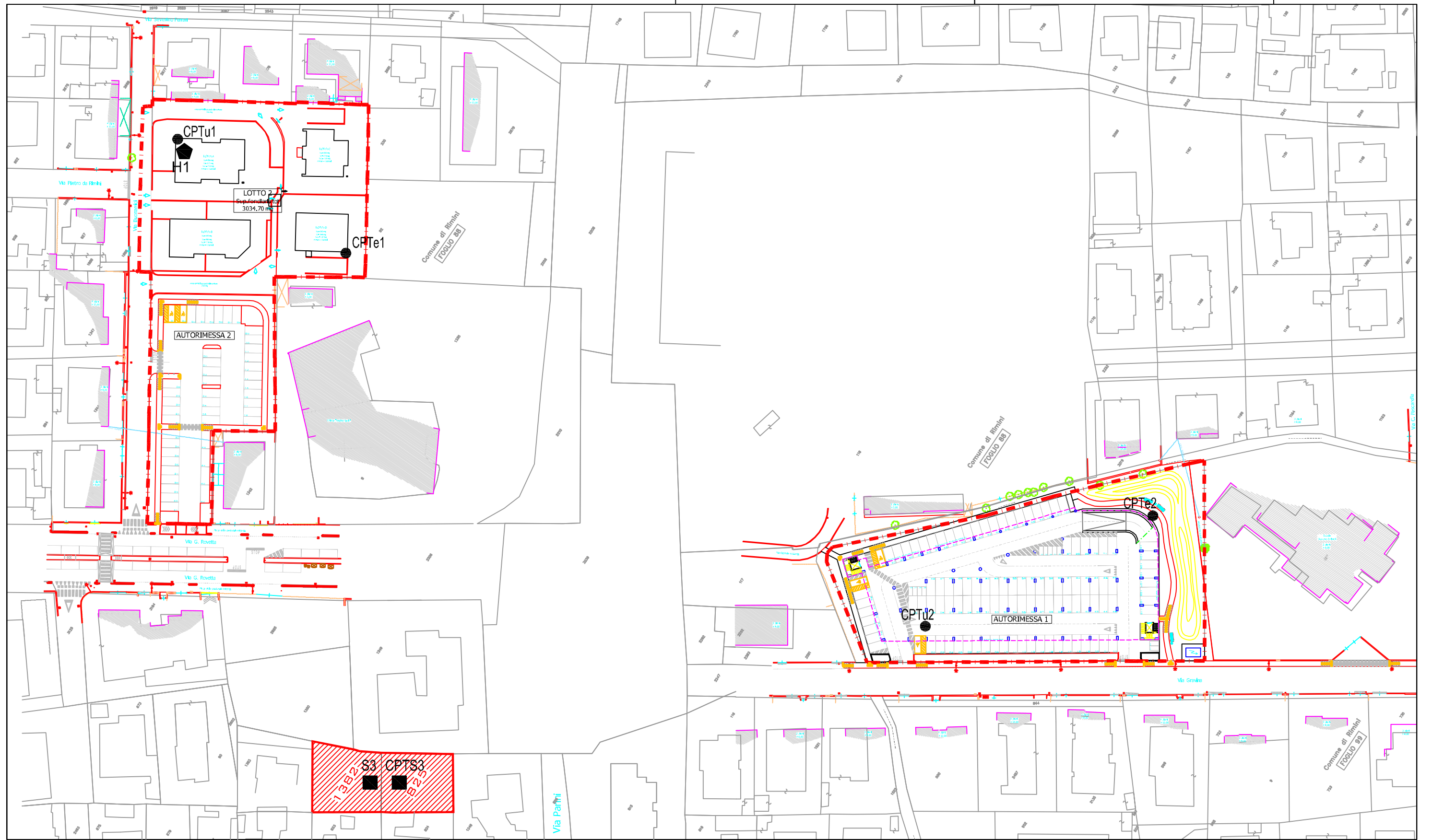
Rif. 2044 Scala 1 : 1000 marzo 2013

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE CAMPAGNA GEOGNOSTICA/GEOFISICA

LEGENDA

- CPTu1 ● Prova penetrom. CPTu - 2013
- CPTe1 ● Prova penetr. CPTe - 2013
- S3 ■ Sondaggio mecc. + SPT + Lab. terre
Comune Rimini - 2008

- CPTS3 ■ CPT Cono sismico - 2008 Com. Rimini
- H1 ● Prova HVSR - 2013
- Aree di Piano Part.



LEGENDA

- CPTu1 ● Prova penetrom. CPTu - 2013
- CPTe1 ● Prova penetr. CPTe - 2013
- S3 ■ Sondaggio mecc. + SPT + Lab. terre Comune Rimini - 2008

- CPTS3 ■ CPT Cono sismico - 2008 Com. Rimini
- H1 ● Prova HVSR - 2013
- Aree di Piano Part.



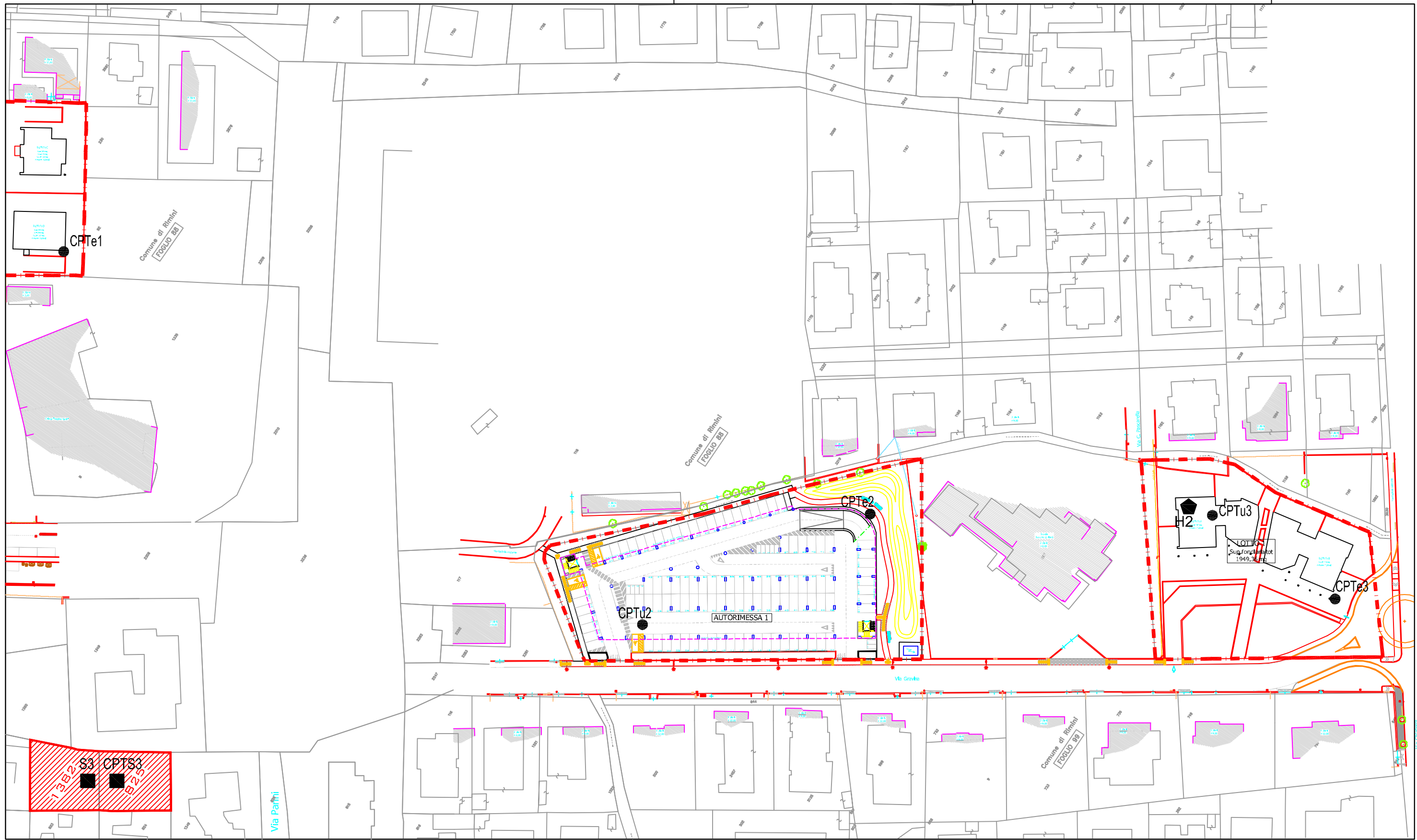
**GEOLOGIA
E
AMBIENTE**

Studio di Geologia
via del marinaio, 32 - Rimini 47900
tel. 0541/722574
339/1361020

Allegato n. 3.2

Rif. 2044 Scala 1 : 1000 marzo 2013

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE CAMPAGNA GEOGNOSTICA/GEOFISICA



1/362
S3 CPTS3
8233

Protocollo N.0322044/2018 del 26/11/2018

'Class. ' 010.006002

Firmatario: Alessandro Ravaglioli

Documento Principale

ALLEGATO N. 4

INDAGINI GEOGNOSTICHE 2013
CPTu/CPTe



GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEOL. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

Total depth: 19.98 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

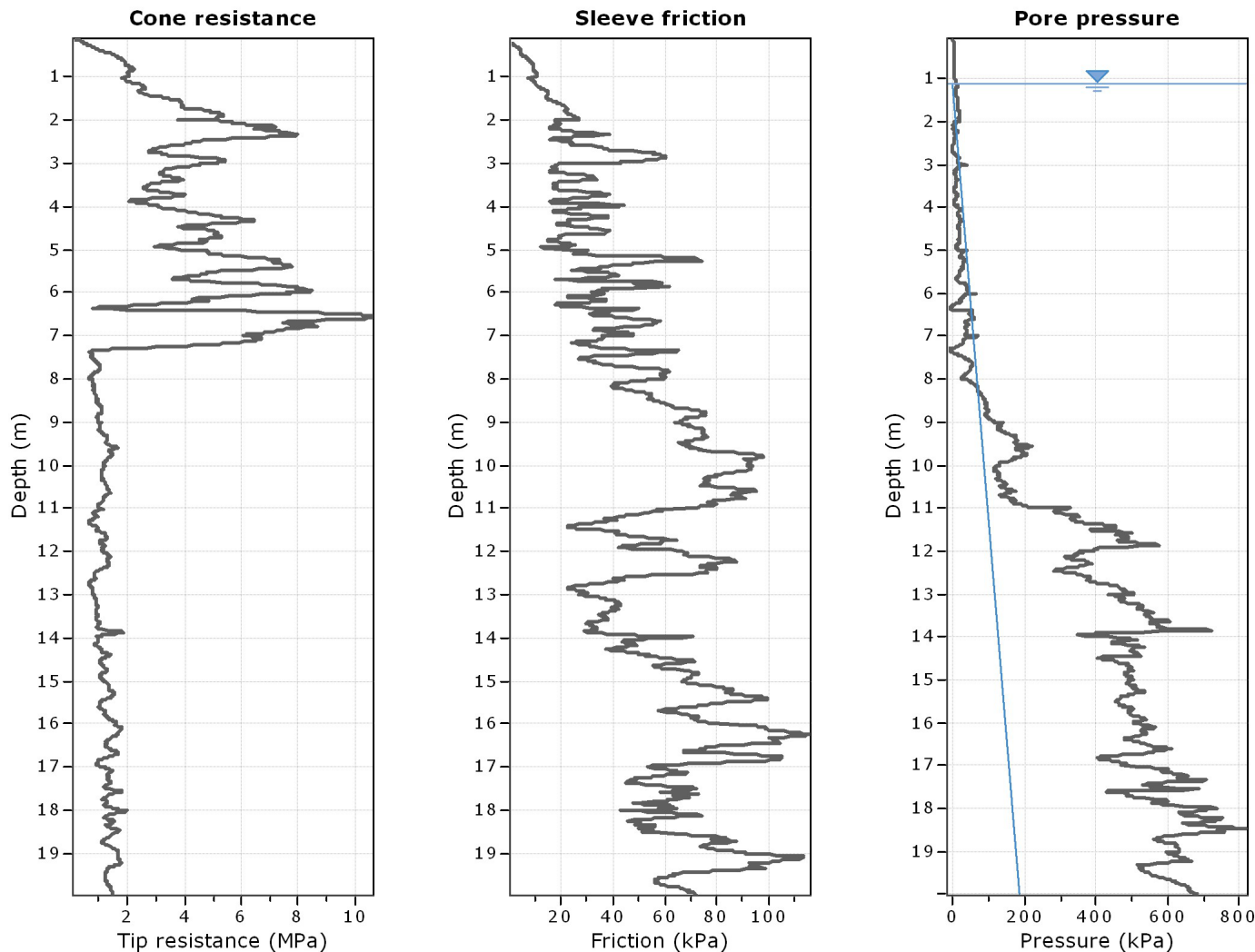
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: PAGANI

Cone Operator: Uknown

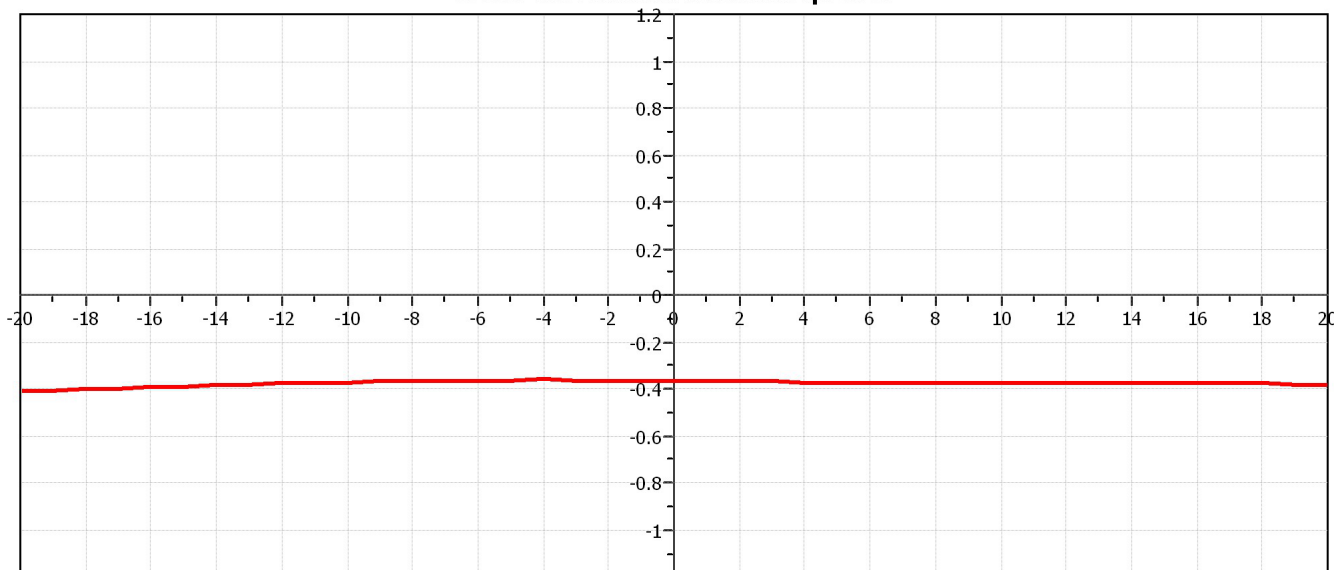
Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEOLOGO ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

Total depth: 19.98 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

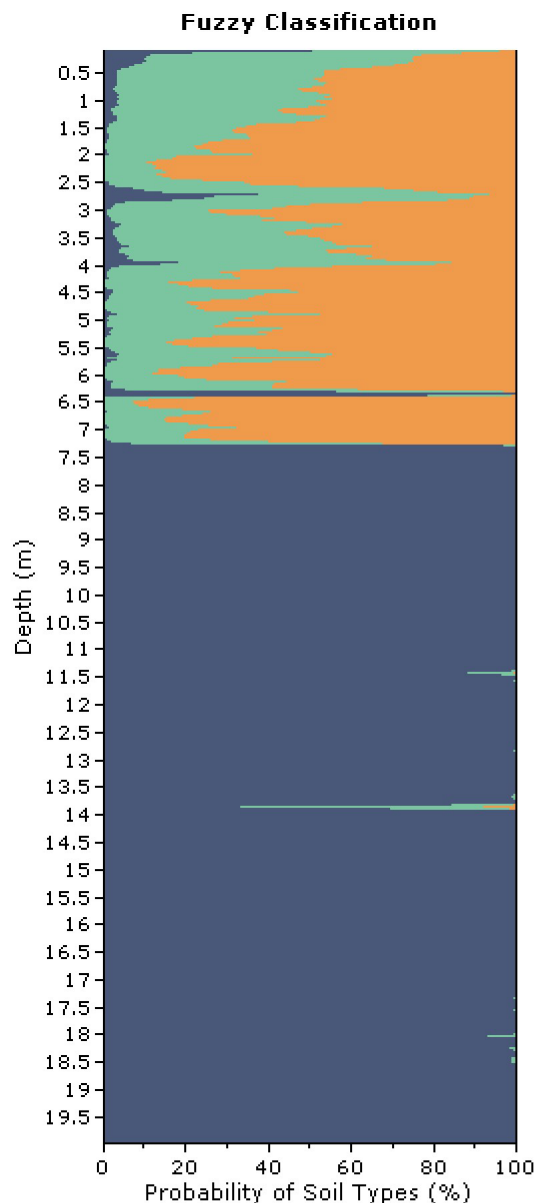
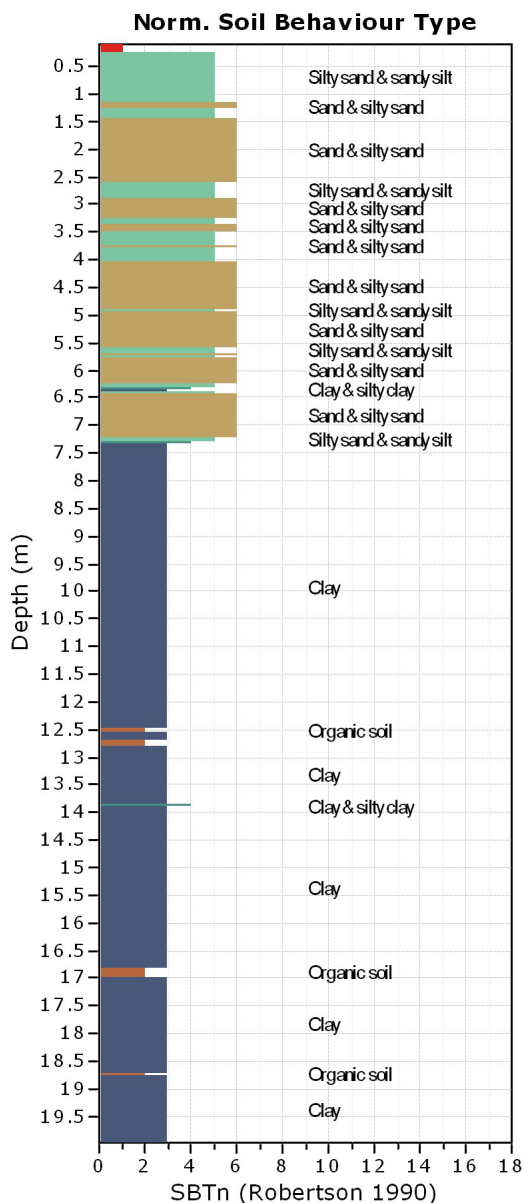
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: PAGANI

Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEOL. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

Total depth: 20.06 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

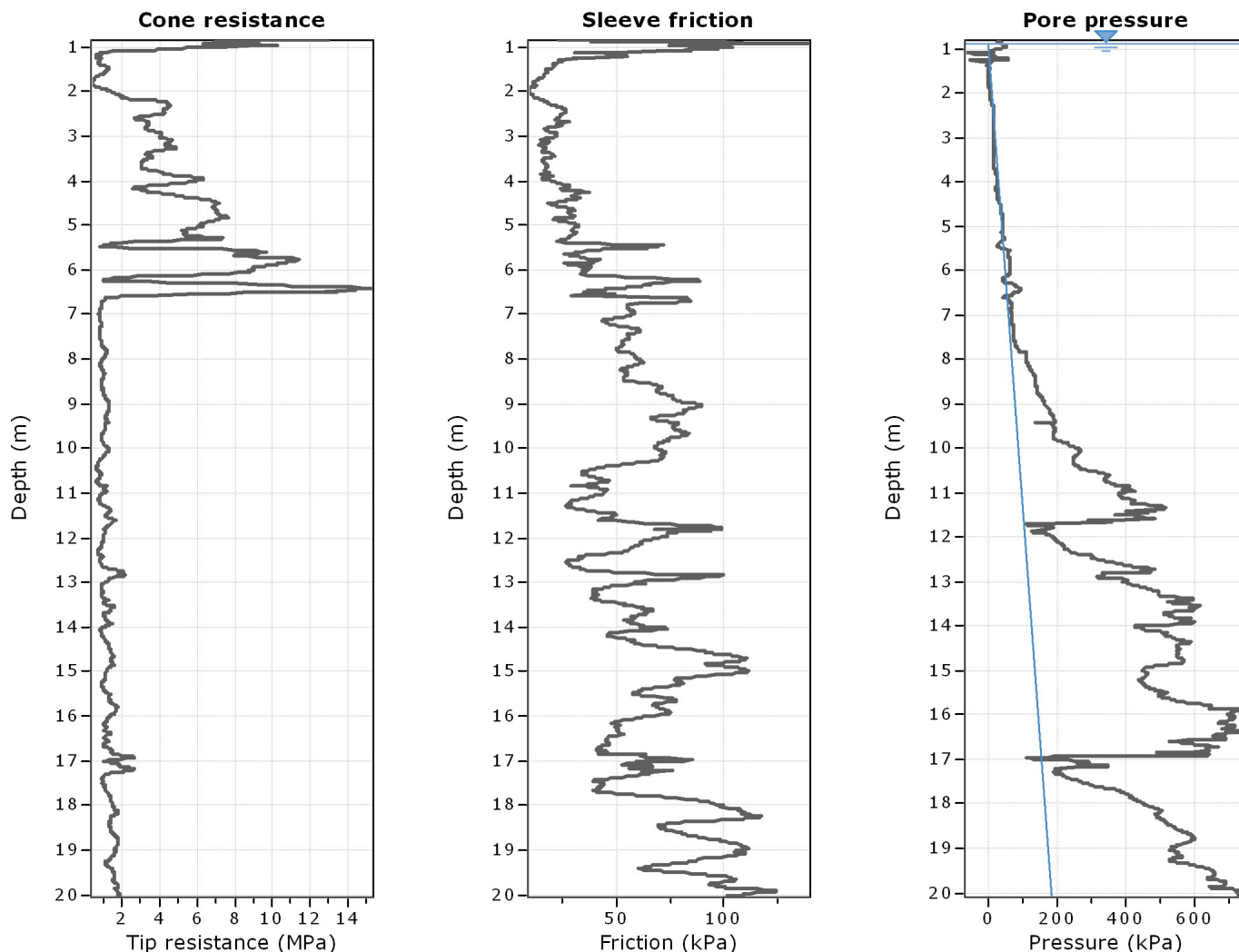
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: PAGANI

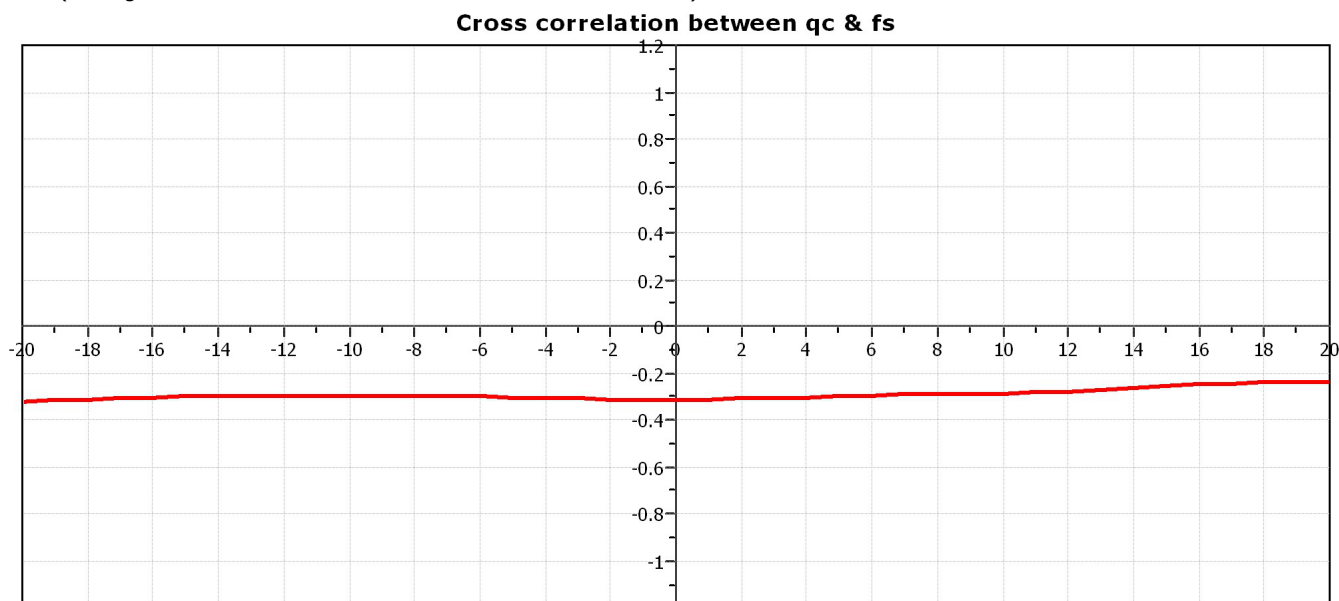
Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEO. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

CPT: CPTU2

Total depth: 20.06 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

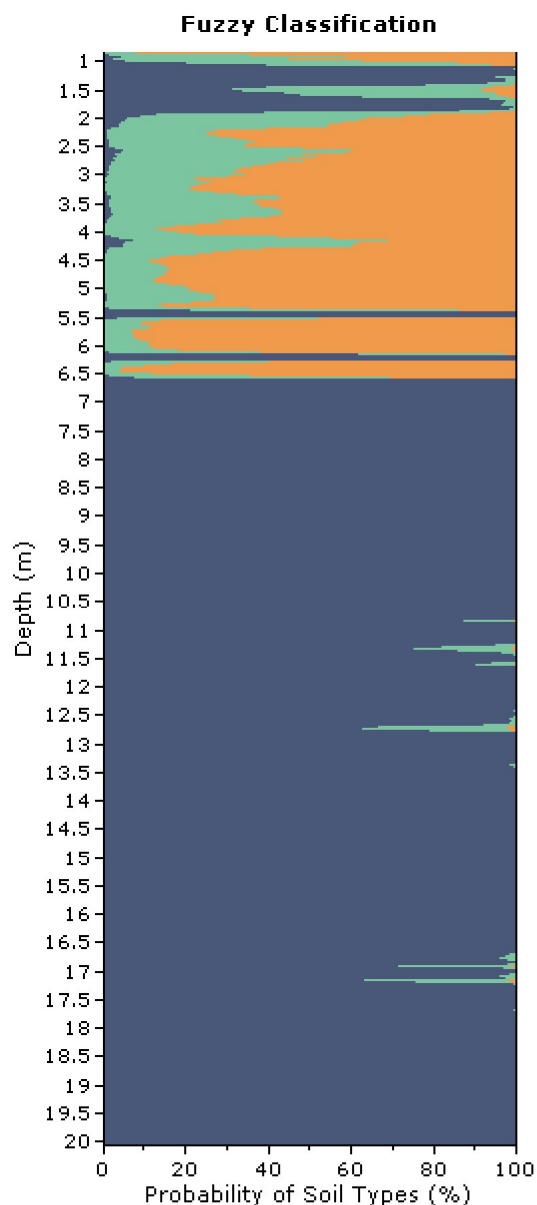
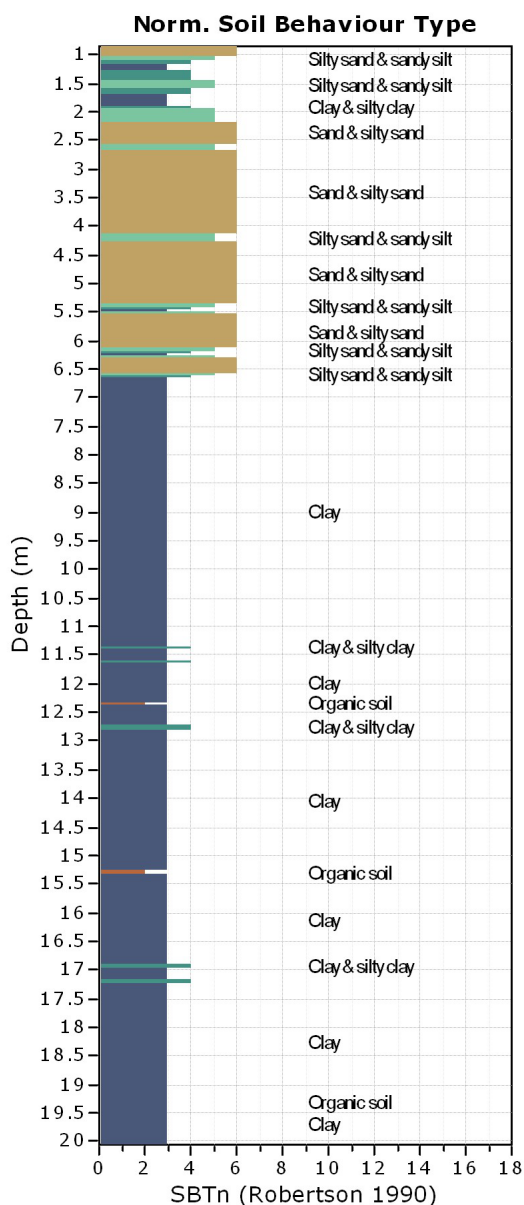
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: PAGANI

Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI

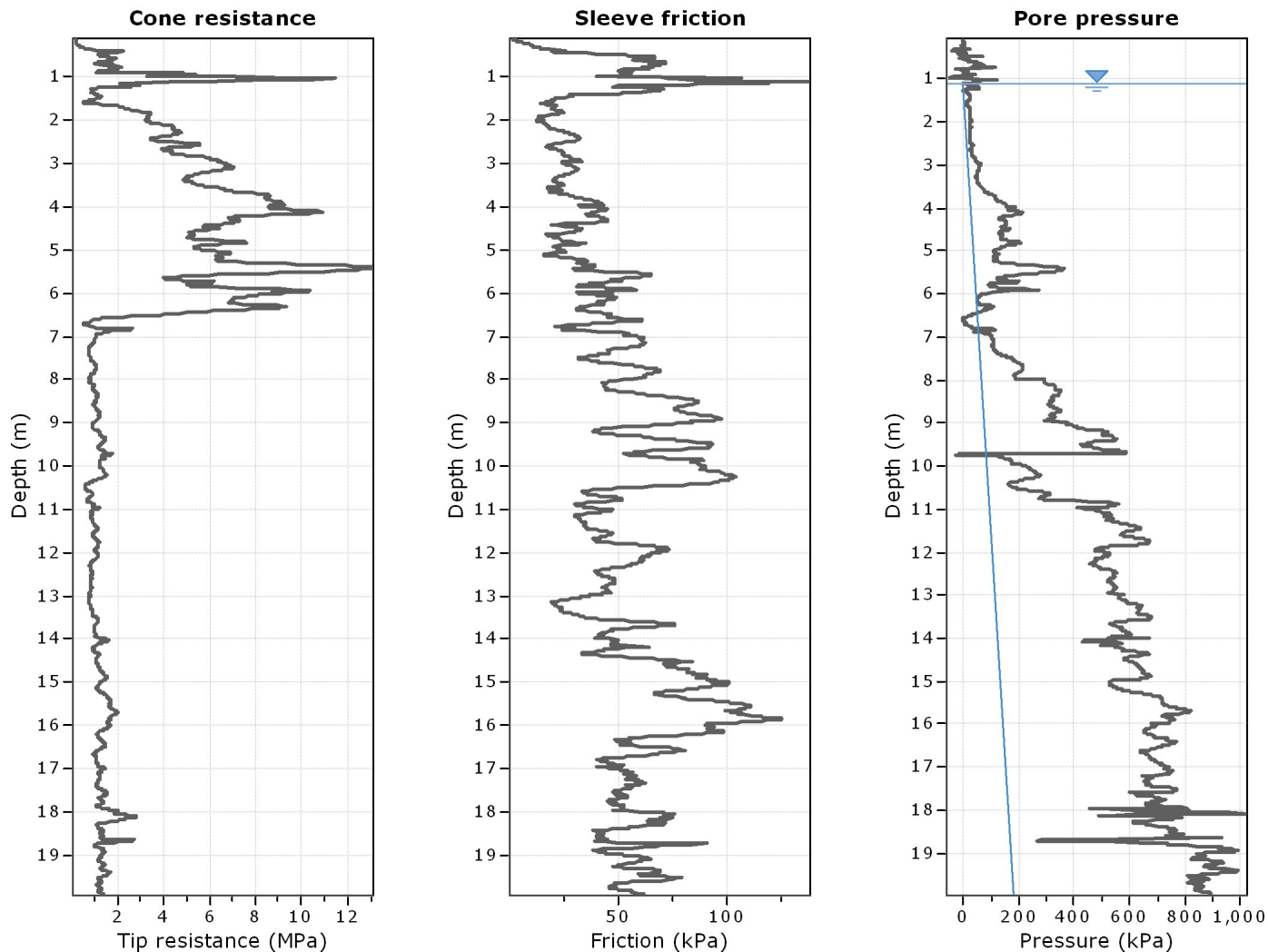




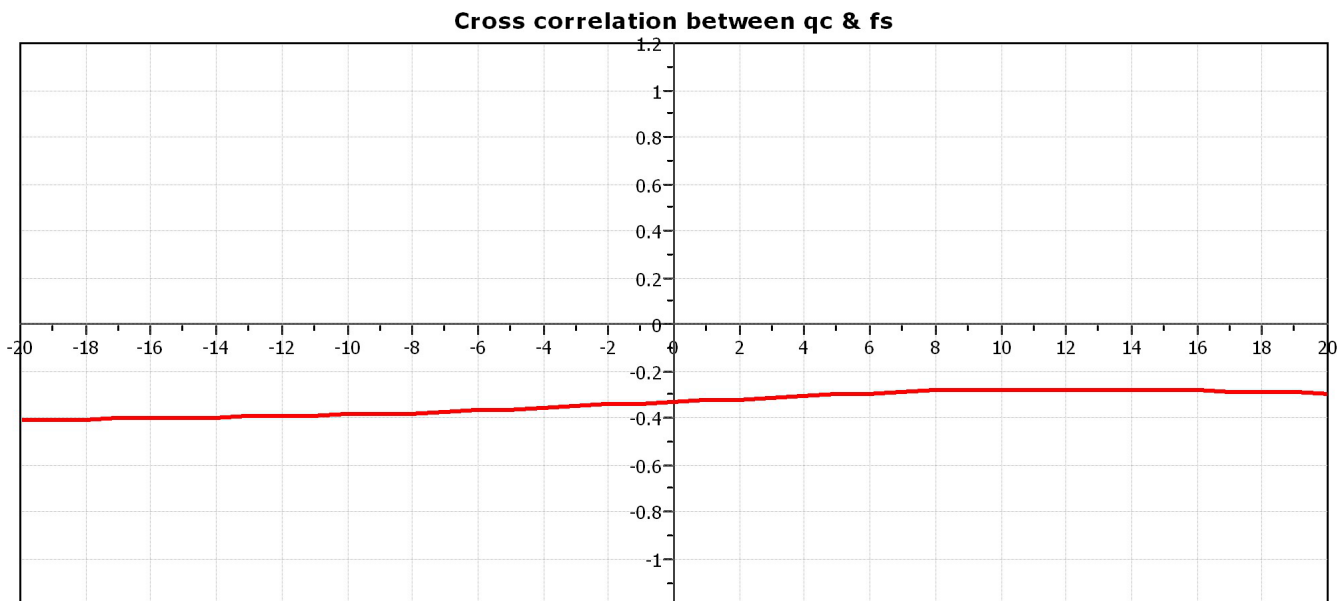
GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEOL. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

Total depth: 19.94 m, Date: 24/03/2013
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type: PAGANI
 Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044
Location: RIMINI



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEO. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

CPT: CPTU3

Total depth: 19.94 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

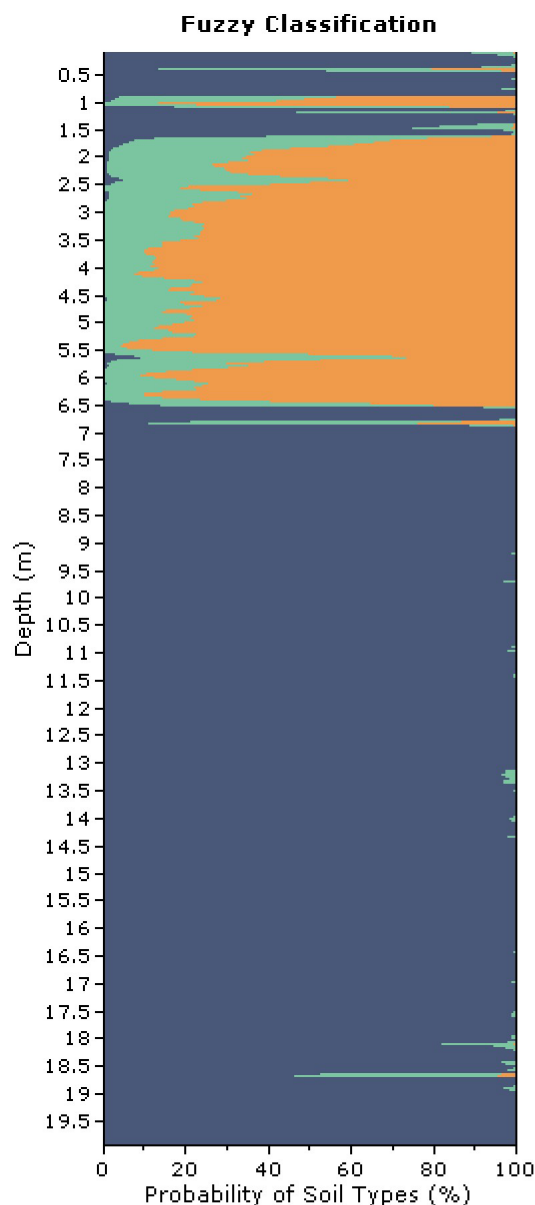
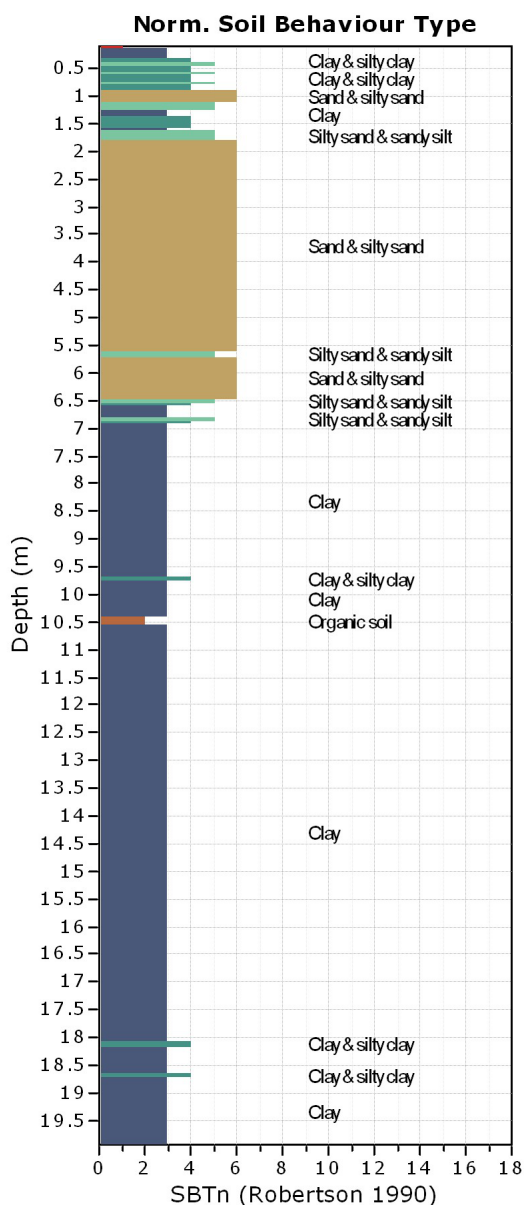
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: PAGANI

Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEOL. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

Total depth: 9.92 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

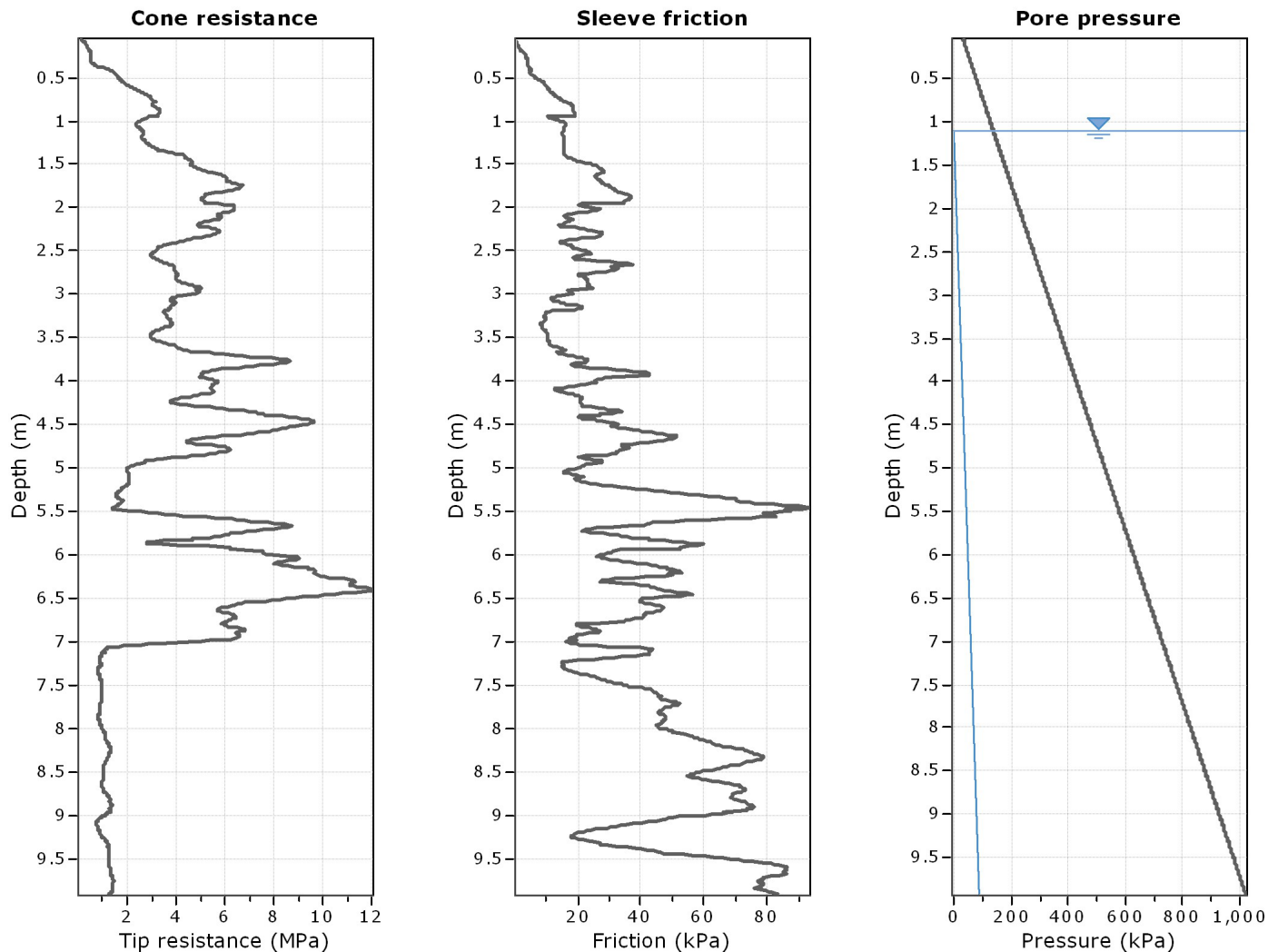
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: PAGANI

Cone Operator: Uknown

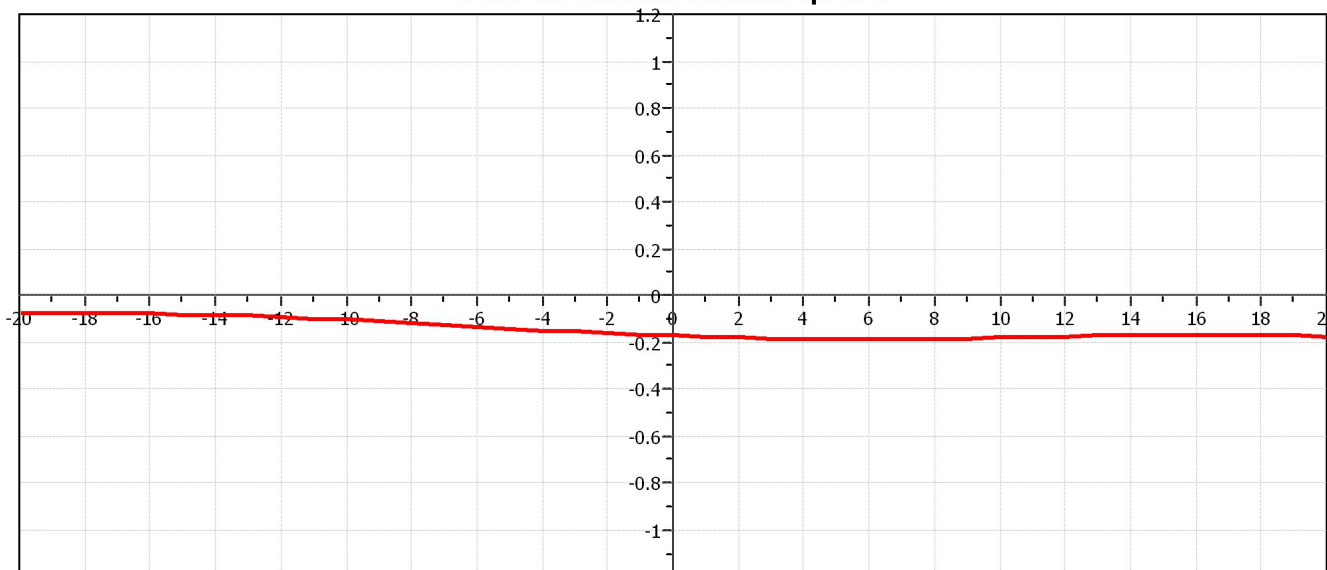
Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEO. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

CPT: CPTE1

Total depth: 9.92 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

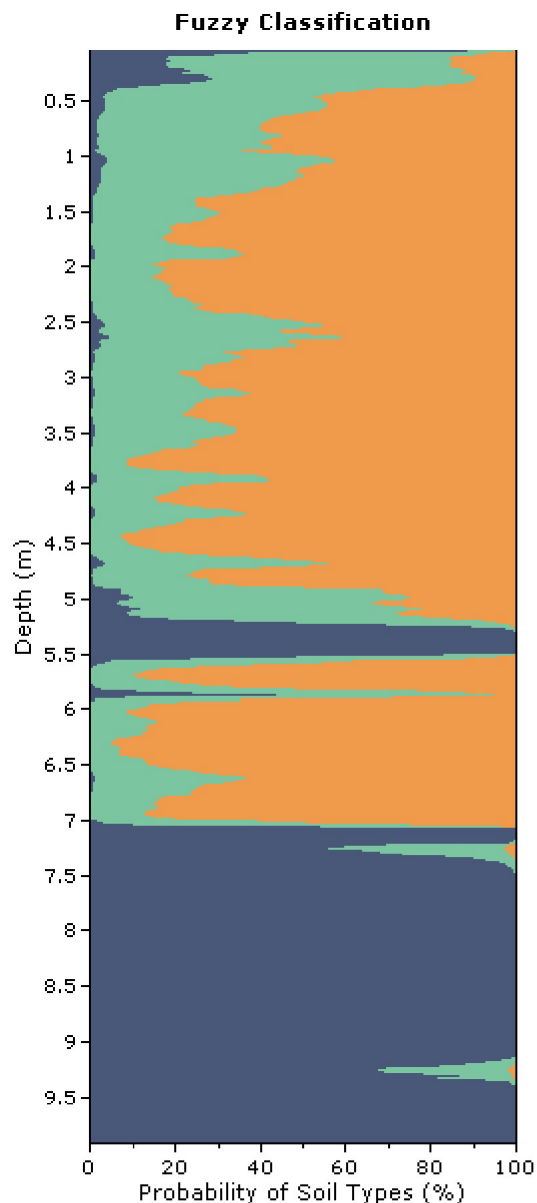
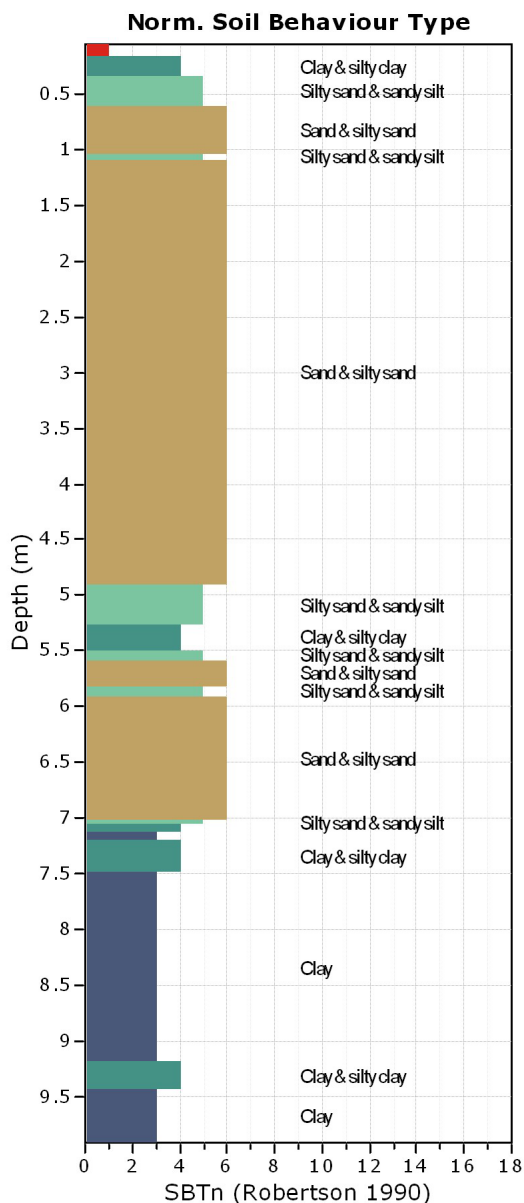
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: PAGANI

Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEOL. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

Total depth: 10.06 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

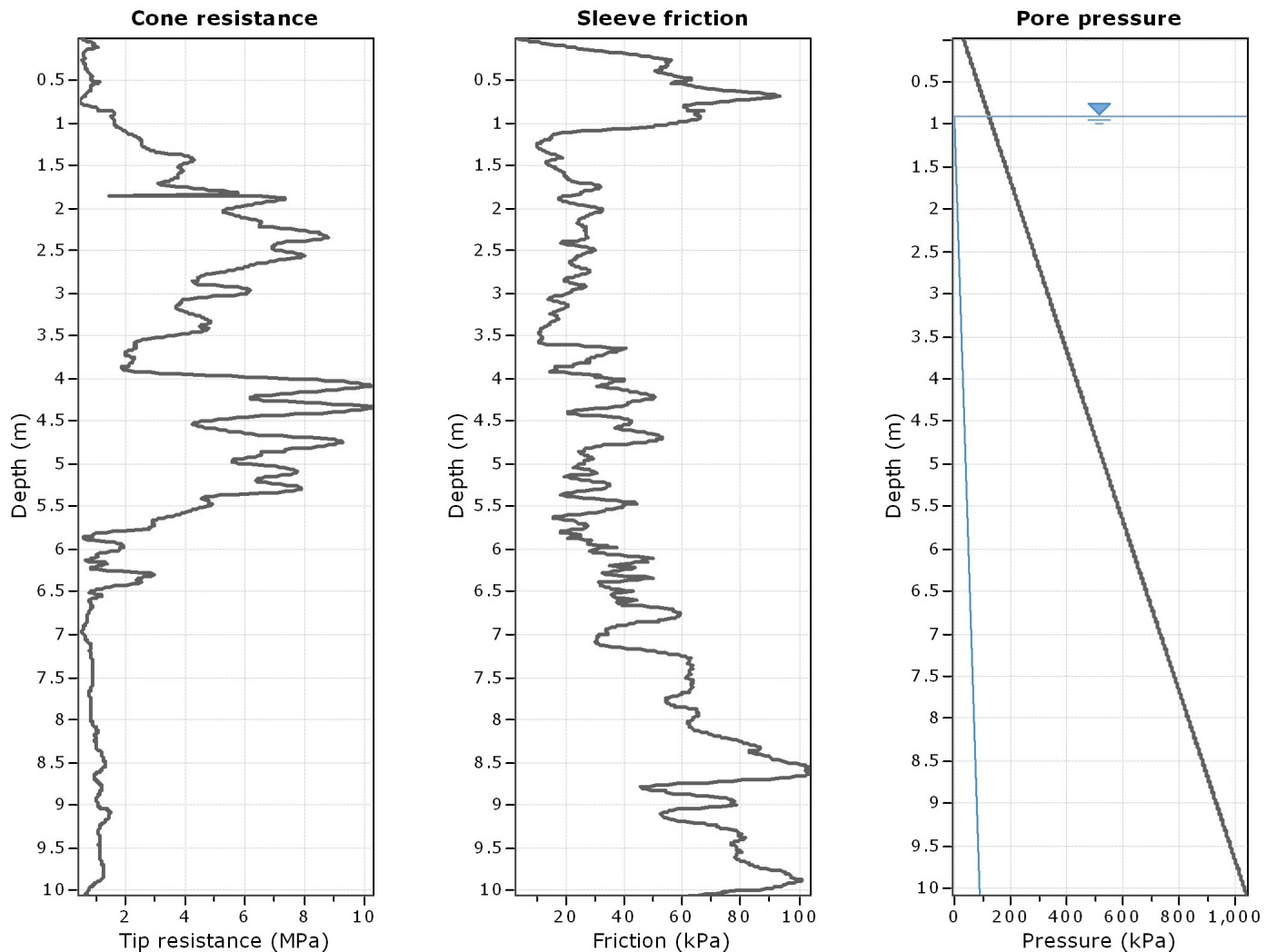
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani

Cone Operator: Unknown

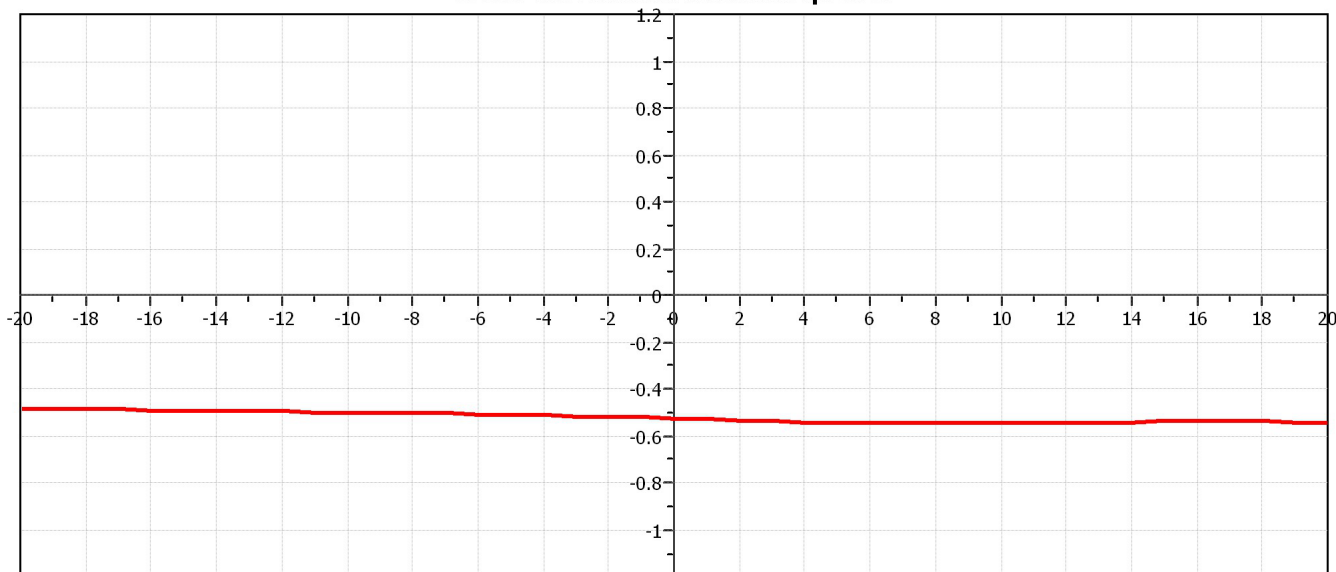
Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEO. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

CPT: CPTE2

Total depth: 10.06 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

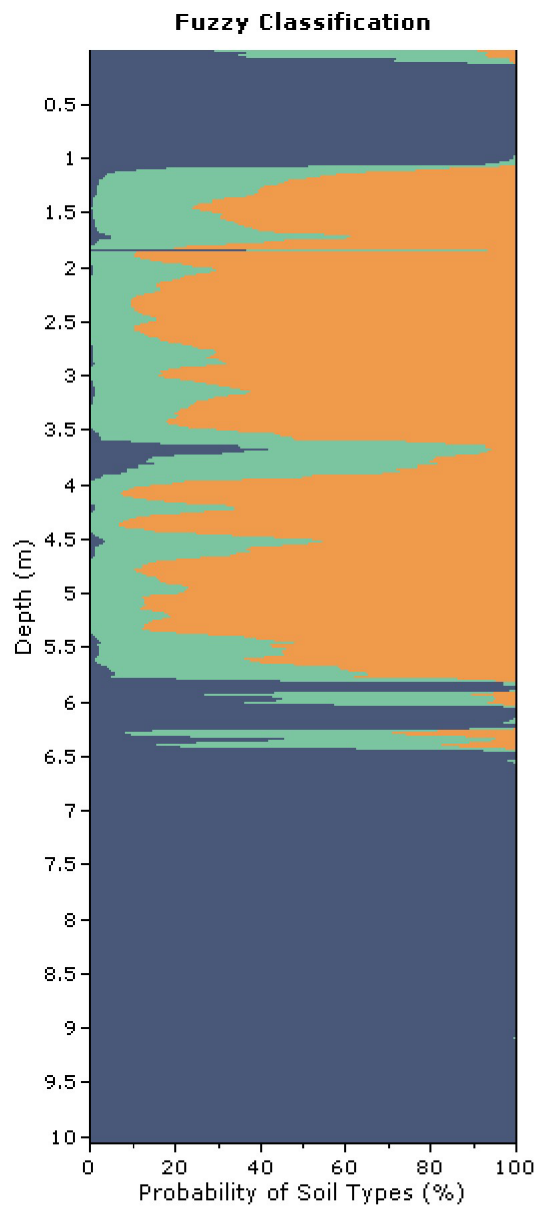
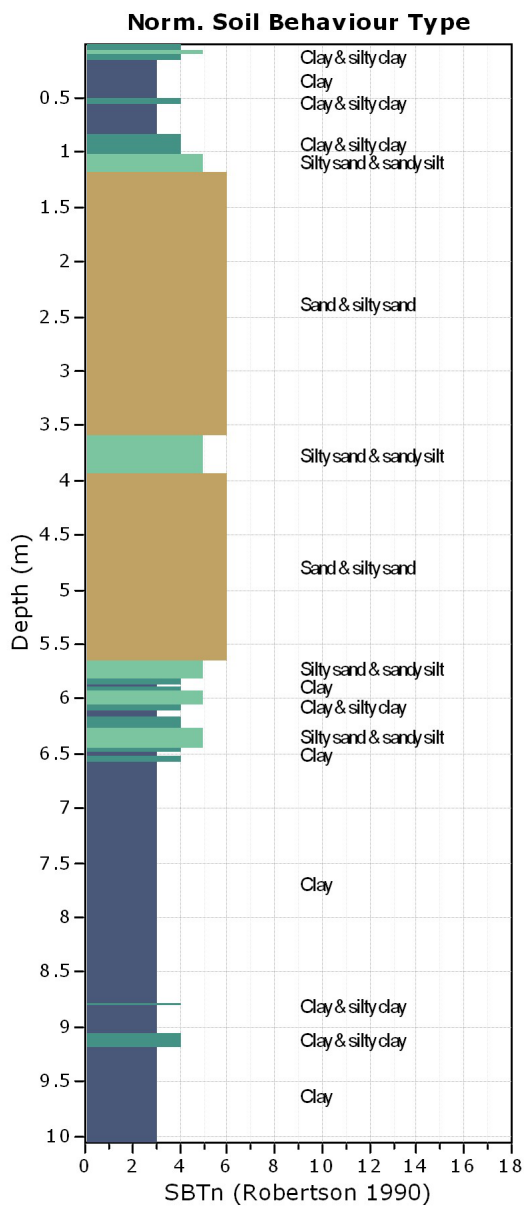
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani

Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEOL. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

Total depth: 10.00 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

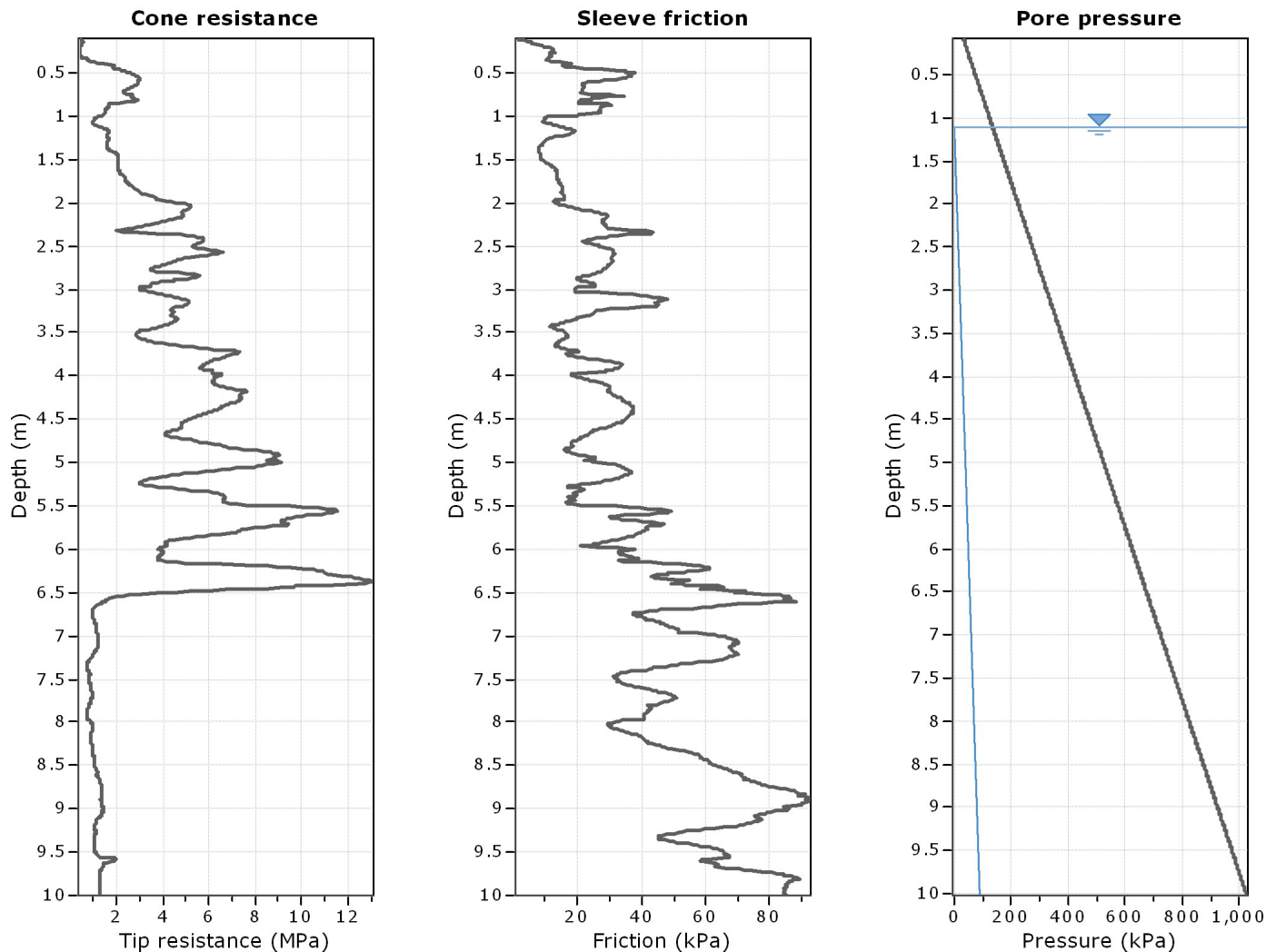
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani

Cone Operator: Uknown

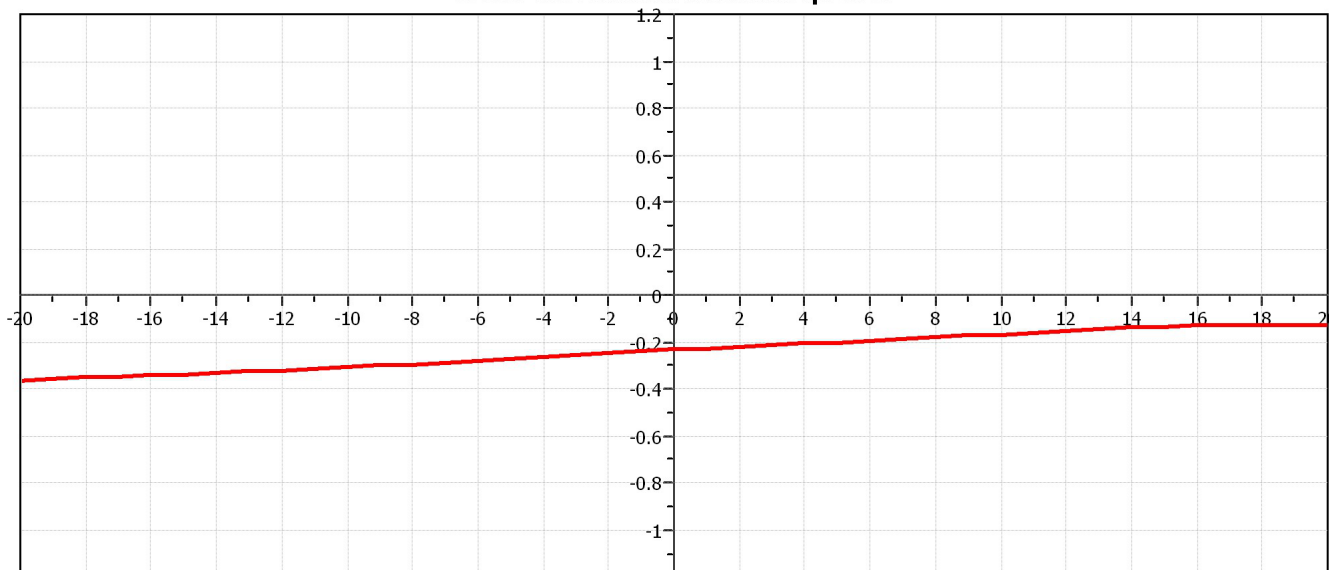
Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs





GEOLOGIA E AMBIENTE
 DOTT. GEO. ALESSANDRO MERLI
 VIA DEL MARINAIO 32 - 47921 RIMINI
 0541/722574 - 3391361620

CPT: CPTE3

Total depth: 10.00 m, Date: 24/03/2013

Surface Elevation: 0.00 m

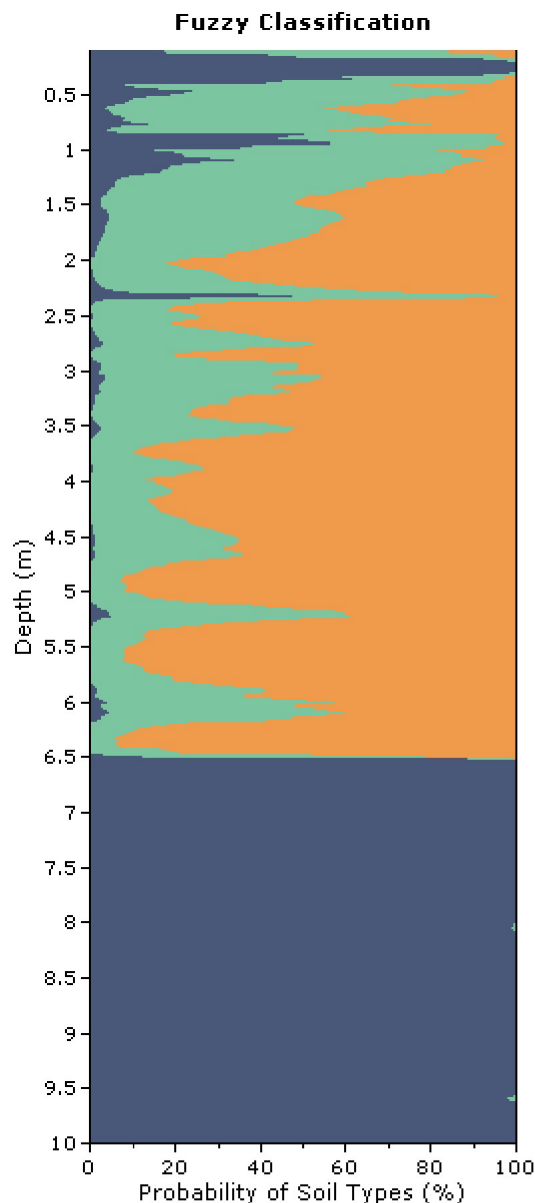
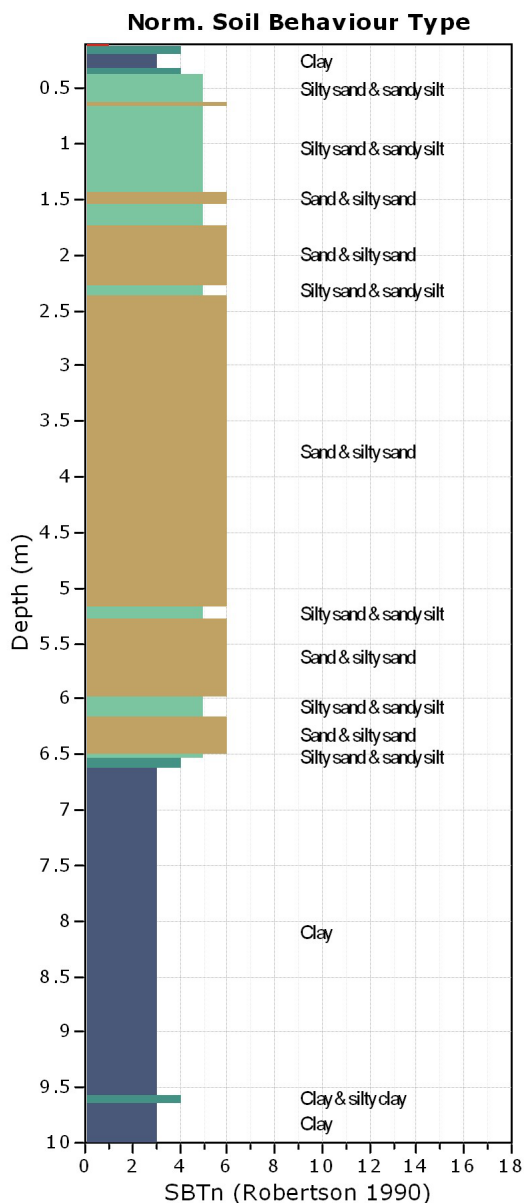
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani

Cone Operator: Uknown

Project: REGINA PACIS - Rif. 2044

Location: RIMINI



Protocollo N.0322044/2018 del 26/11/2018

'Class. ' 010.006002

Firmatario: Alessandro Ravaglioli

Documento Principale

ALLEGATO N. 4

INDAGINI GEOGNOSTICHE 2008
COMUNE DI RIMINI

Committente: Comune di Rimini - Dott. Buccini	Certificato n°: 625/08
Località: Via Parini	Verbale di accettazione n°:
Il direttore del laboratorio Dott. Geol. Rino Guadagnini	Data esecuzione: 12-13/05/08
	Data emissione: 14/05/08
	Sondaggio: S3
Lo sperimentatore Dott. Geol. Giampiero Tuso	

ø mm	R v	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.			prof. m	DESCRIZIONE	Cass.	
								S.P.T.	N	Pt				
			1								0,7	Riporto costituito da sabbia fine limosa con ghiaia, cemento, resti di laterizi, materiale organico. Colore marrone nocciola.		
			2									Sabbia fine da poco limosa a limosa. Colore nocciola		
			3		A) Dis < 2,50 3,00 1) SPT < 3,00 3,45			4-6-11			17	A		1
			4		B) Dis < 4,00 4,50									
			5								4,5	Sabbia fine limosa con qualche livelletto torboso dello spessore massimo di qualche centimetro di colore marrone scuro. Colore nocciola. A mt -5,50 livelletto argilloso.		
			6		1) She < 5,50 6,05 2) SPT < 6,05 6,50			3-7-12			19	A		
			7								6,2	Sabbia da media a grossa con qualche elemento di ghiaia fine. Colore nocciola.		
			8		2) She < 7,50 8,10						6,5	Argilla debolmente limosa, localmente limosa debolmente sabbiosa. Colore grigio.	2	
			9					2-3-7			10	A		
			10											
			11								10,2	Limo argilloso sabbioso passante a tratti ad argilla limosa. Colore: -da mt -10,20 a mt -12,80 nocciola con sfumature grigie; -da mt -12,80 a mt -13,40 grigio con qualche sfumatura nocciola; -da mt -13,40 a mt -13,80 nocciola con sfumature grigie; -da mt 13,80 a mt -14,80 grigio; -da mt 14,80 a mt -15,20 grigio scuro; -da mt -15,20 a mt -17,50 nocciola con sfumature grigie.	3	
			12		4) SPT < 11,80 12,25			2-4-4			8	A		
			13											
			14											
			15											
			16		5) SPT < 15,50 15,95			1-3-6			9	A		
			17											
			18		6) SPT < 18,00 18,45			3-4-8			12	A	Argilla limosa passante localmente a limo sabbioso argilloso. Colore: -da -17,50 a mt -17,70 nocciola con sfumature grigie; -da mt -17,70 a mt -18,90 grigio con qualche sfumatura nocciola; -da mt -18,90 a mt -19,90 nocciola; -da mt -19,90 a mt -20,15 grigio scuro; -da mt -20,15 a mt 24,30 nocciola con sfumature grigie.	4
			19								17,5			

Committente: Comune di Rimini - Dott. Bucci

Certificato n°: 625/08

Località: Via Parini

Verbale di accettazione n°:

 Il direttore del laboratorio
 Dott. Geol. Rino Guadagnini

 Lo sperimentatore
 Dott. Geol. Giampiero Tuso

Data esecuzione: 12-13/05/08

Data emissione: 14/05/08

Sondaggio: S3

Ø mm	R v	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.			prof. m	DESCRIZIONE	Cass.
								S.P.T.	N	Pt			
			20										
			21		7) SPT < 21,00 21,45			3-5-9		14	A	Argilla limosa passante localmente a limo sabbioso argilloso. Colore: -da mt -17,50 a mt -17,70 nocciola con sfumature grigie; -da mt -17,70 a mt -18,90 grigio con qualche sfumatura nocciola; -da mt -18,90 a mt -19,90 nocciola; -da mt -19,90 a mt -20,15 grigio scuro; -da mt -20,15 a mt 24,30 nocciola con sfumature grigie.	4
			22										
			23										
			24		8) SPT < 24,00 24,45			4-6-11		17	A		
			25							24,3		Argilla talvolta limosa e sabbiosa con qualche livelletto di pochi centimetri di limo argilloso sabbioso. Colore: -da mt -24,30 a mt -25,00 grigio scuro; -da mt -25,00 a mt -29,40 nocciola con qualche sfumatura grigia; -da mt -29,40 a mt -29,70 grigio; -da mt -29,70 a mt -30,00 nocciola.	5
			26										
			27		9) SPT < 27,00 27,45			9-16-21		37	A		
			28										
			29										
			30		10) SPT < 30,00 30,45			10-16-19		35	A		
			31										
			32										
			33		11) SPT < 33,00 33,45			9-11-14		25	A		
			34										
			35							33,1		Limo sabbioso passante localmente a sabbia fine limosa. Colore grigio.	7
101										35,0			

 Sondatore: Dott. Leonardo Ceccarelli
 Sonda: EGT VD 710

Installato tubo DOWN-HOLE in PVC da 3".

ALLEGATO N. 5

PROVE GEOFISICHE

CONO SISMICO - 2008

COMUNE DI RIMINI

CPT "cono sismico" 1

COMMITTENTE	GEOECOTER
CONO SISMICO	CPT - S3
Località	RIMINI (Via Parini)
Data acquisizione	15/05/08

Codice lavoro **704**

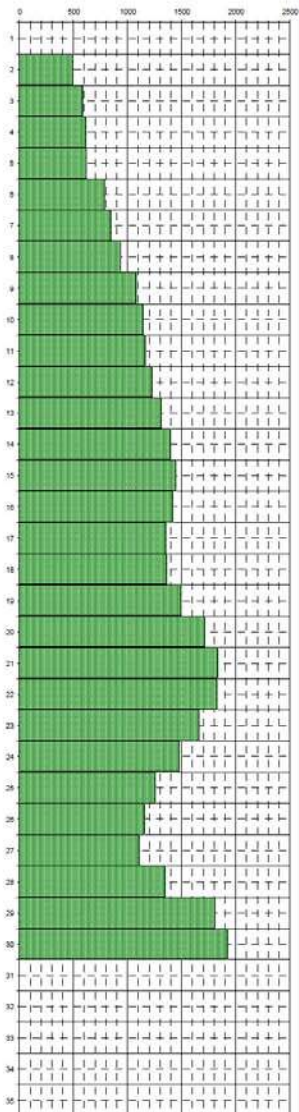


PROGEO S.r.l.
Via Talete 108 - 47100 Forlì
Tel. 0543 / 723360
Fax 0543 / 721486
e-mail: proggeo@tin.it

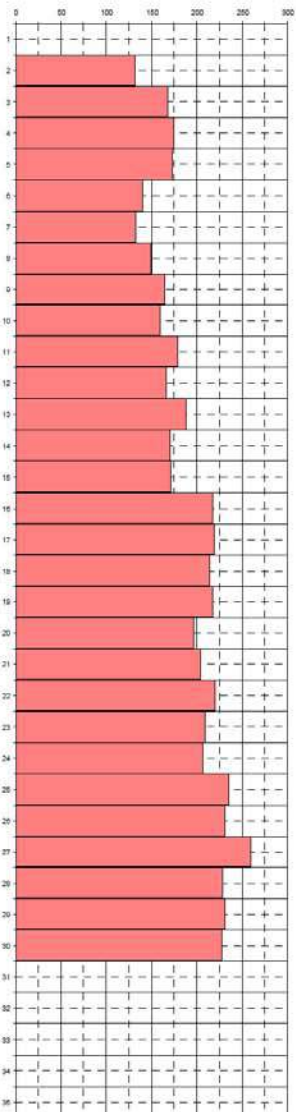
Profondità	Vp m/sec	Vs m/sec	v	γ T/m³	E _{din} Kg/cm²	G _{din} Kg/cm²	K _{din} Kg/cm²
------------	-------------	-------------	---	-----------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

0							
1							
2	490	132	0.46	1.65	859	294	3658
3	586	168	0.46	1.71	1433	493	5336
4	611	175	0.46	1.73	1569	539	5848
5	618	173	0.46	1.73	1534	526	6031
6	785	140	0.48	1.81	1076	362	10884
7	840	133	0.49	1.83	977	328	12747
8	930	149	0.49	1.87	1255	422	15914
9	1079	164	0.49	1.92	1577	530	22108
10	1140	159	0.49	1.94	1498	503	25065
11	1163	179	0.49	1.95	1892	636	26038
12	1227	167	0.49	1.97	1668	560	29486
13	1313	188	0.49	2.00	2147	721	34106
14	1394	170	0.49	2.02	1780	596	39184
15	1441	171	0.49	2.03	1803	604	42185
16	1418	217	0.49	2.02	2904	976	40201
17	1354	219	0.49	2.01	2916	981	36202
18	1358	214	0.49	2.01	2797	940	36499
19	1495	218	0.49	2.05	2941	987	45281
20	1713	197	0.49	2.10	2478	830	61675
21	1829	204	0.49	2.13	2692	901	71267
22	1820	220	0.49	2.12	3138	1051	70288
23	1656	209	0.49	2.09	2767	927	57060
24	1472	207	0.49	2.04	2659	892	43853
25	1254	235	0.48	1.98	3304	1115	30222
26	1153	231	0.48	1.95	3124	1056	24974
27	1104	260	0.47	1.93	3913	1330	22215
28	1343	229	0.49	2.00	3173	1068	35421
29	1806	231	0.49	2.12	3441	1153	68950
30	1921	228	0.49	2.15	3387	1134	79179
31							
32							
33							
34							
35							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



Legenda parametri dinamici

Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E _{din}	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G _{din}	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K _{din}	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
ν	Coefficiente di Poisson	-			

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI P.C.M. n° 3341 del 14/09/2005)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$Vs_{30} = 186$ m/sec

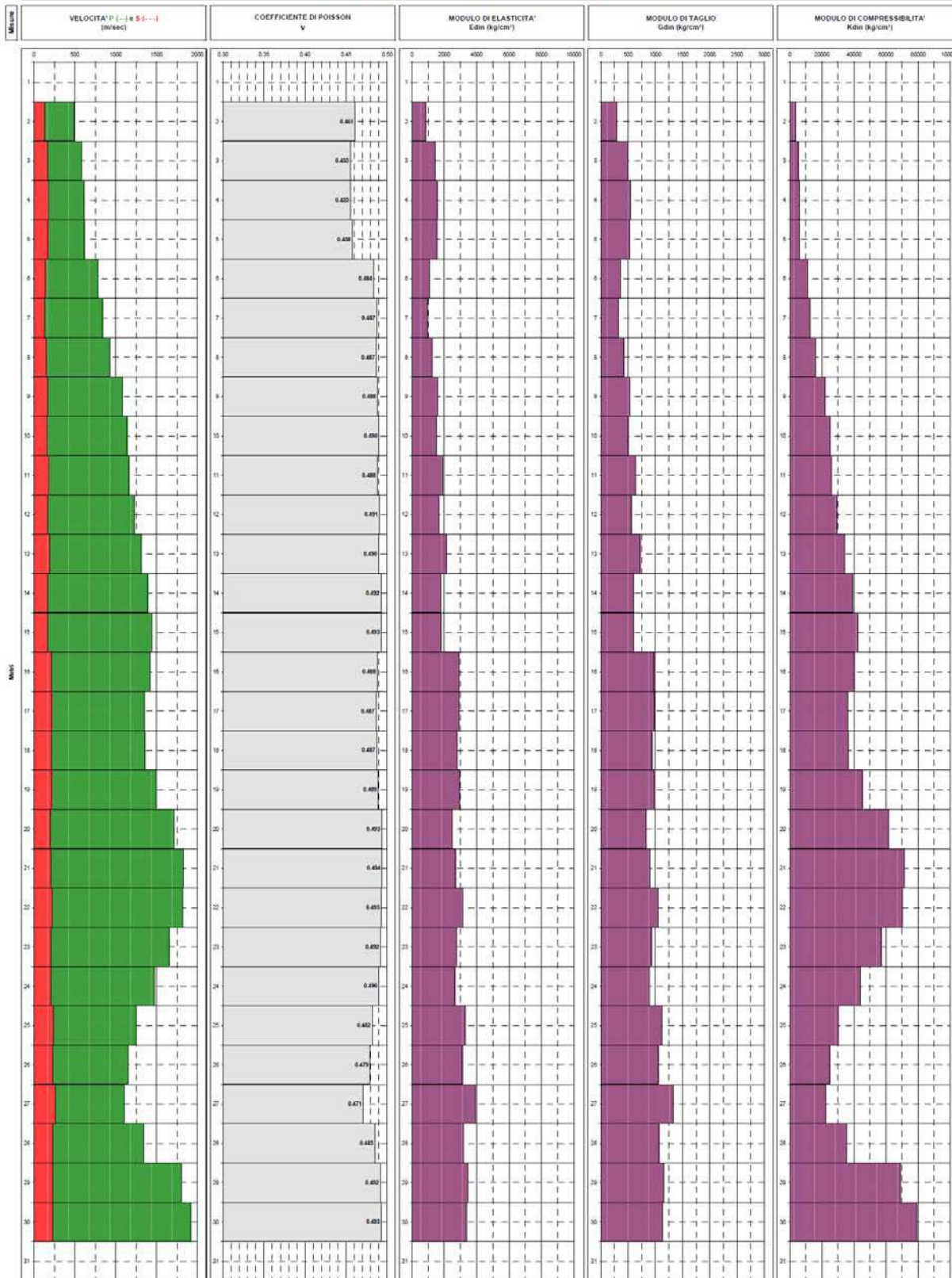
CATEGORIA SUOLO = C

COMMITTENTE
CONO SISMICO
Località
Data acquisizione

GEOECOTER
CPT - S3
RIMINI (Via Parini)
15/05/08



GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI



ALLEGATO N. 5

PROVE GEOFISICHE 2013

PROVE HVSR

PROVA H1

Strumento: TRZ-0080/01-10

Inizio registrazione: 18/03/13 17:19:06 Fine registrazione: 18/03/13 17:39:07

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

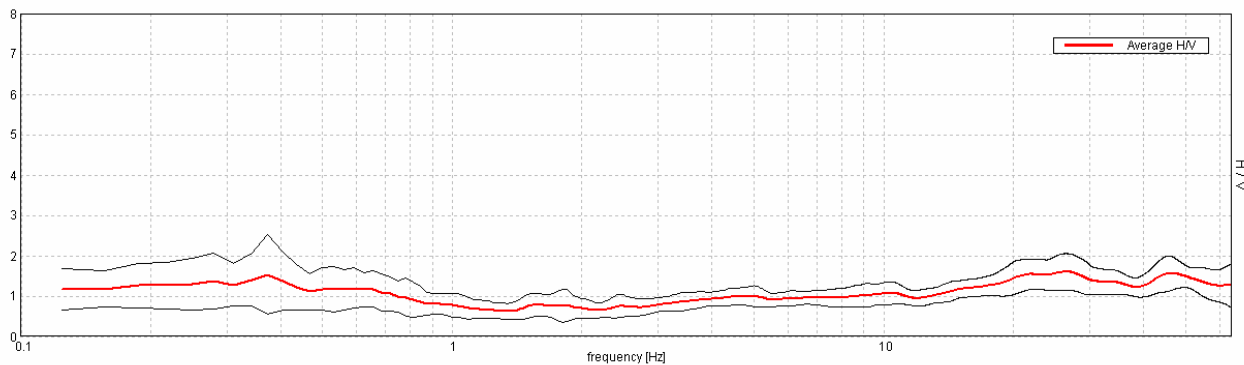
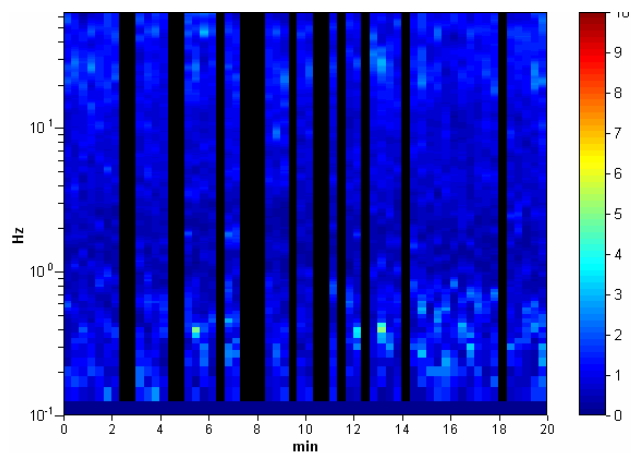
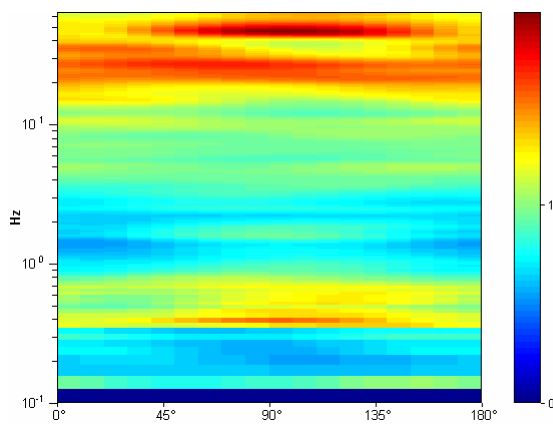
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

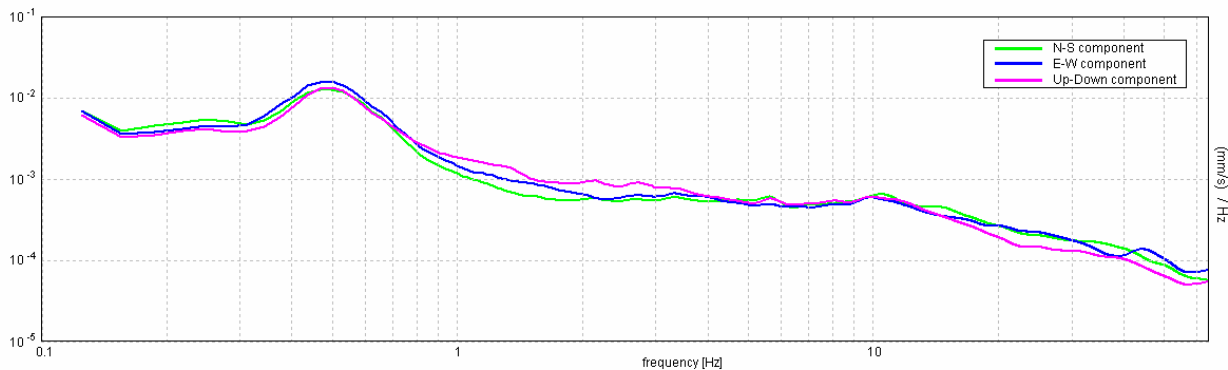
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at 26.56 ± 3.44 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

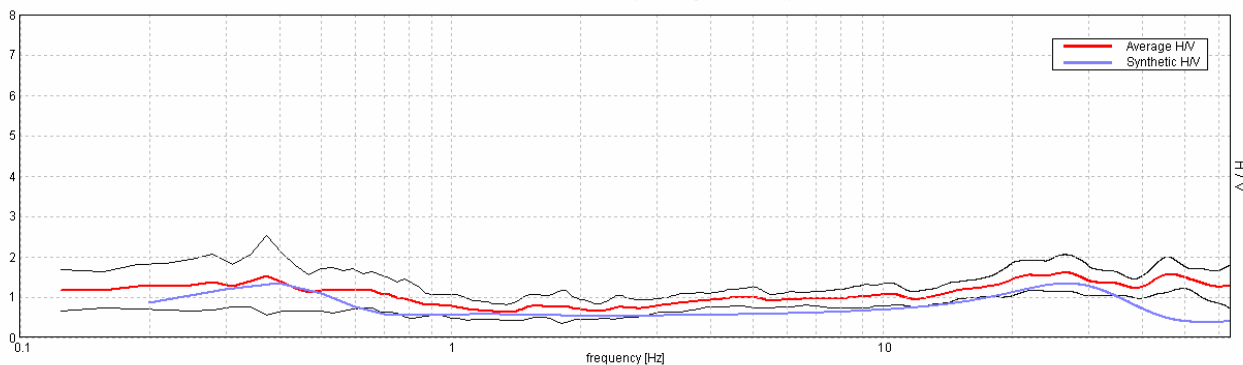
**SERIE TEMPORALE H/V****DIREZIONALITA' H/V**

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



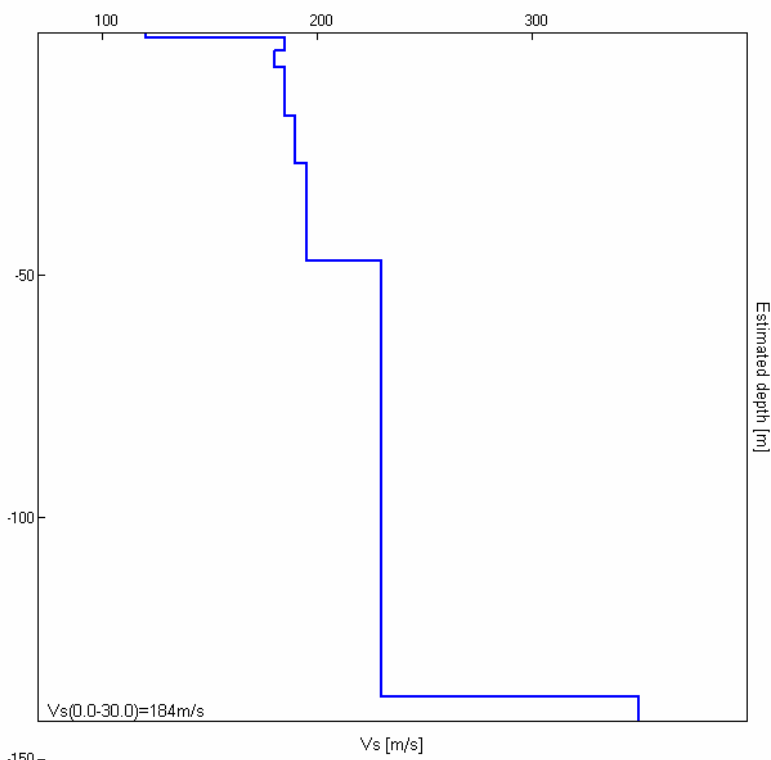
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 26.56 ± 3.44 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	120	0.49
3.50	2.50	185	0.49
7.00	3.50	180	0.49
17.00	10.00	185	0.40
27.00	10.00	190	0.40
47.00	20.00	195	0.40
137.00	90.00	230	0.40
inf.	inf.	350	0.35

Vs(0.0-30.0)=184m/s



[Secondo le linee guida SESAME 2005 **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 26.56 ± 3.44 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$26.56 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$23906.3 > 200$	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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1276	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.60 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06352 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.68735 < 1.32813$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2216 < 1.58$	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

PROVA H2

Strumento: TRZ-0080/01-10

Inizio registrazione: 19/03/13 10:03:19 Fine registrazione: 19/03/13 10:23:20

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

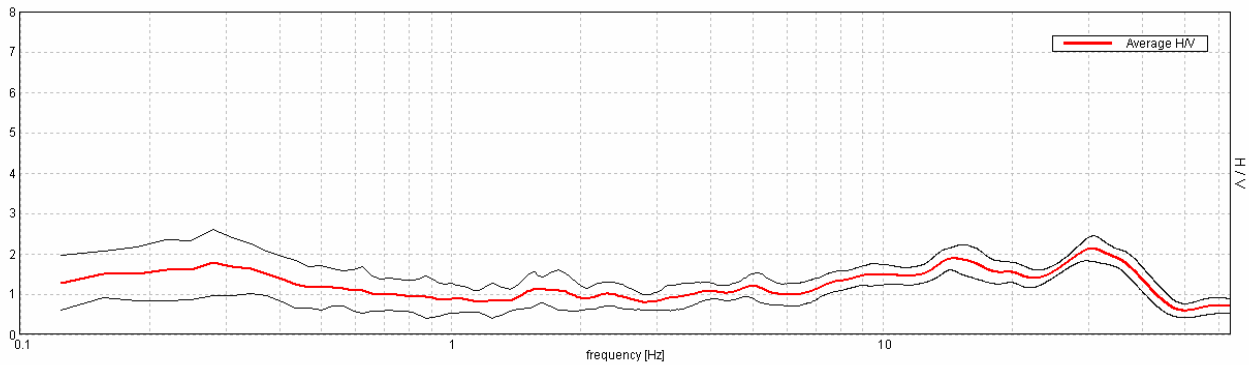
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

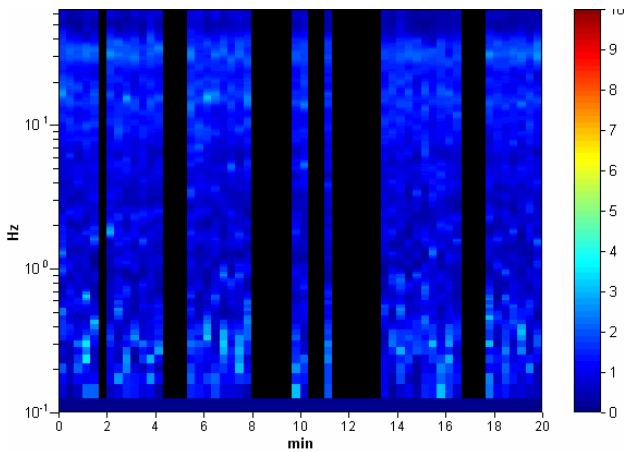
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

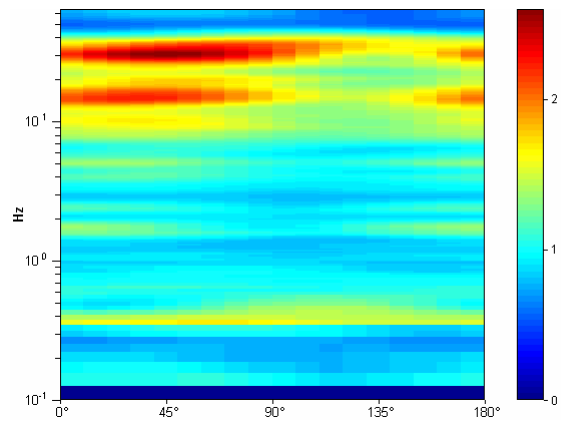
Max. H/V at 30.63 ± 1.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



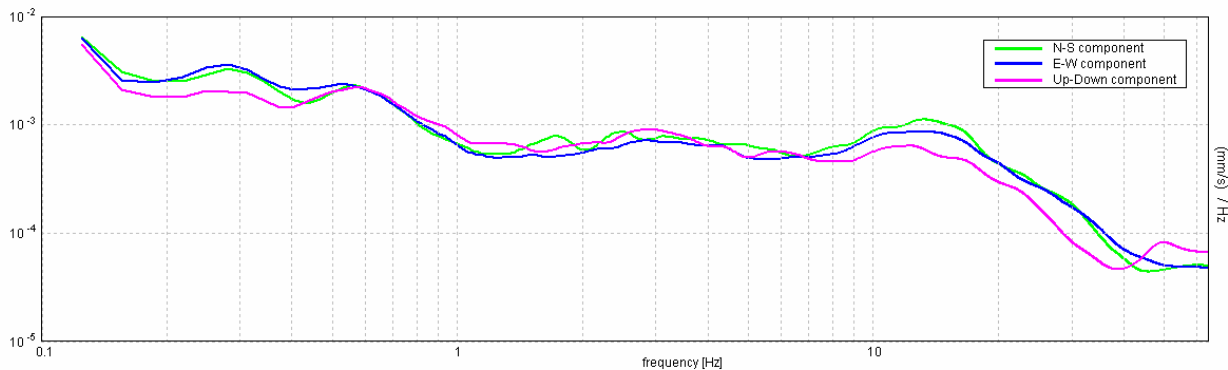
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

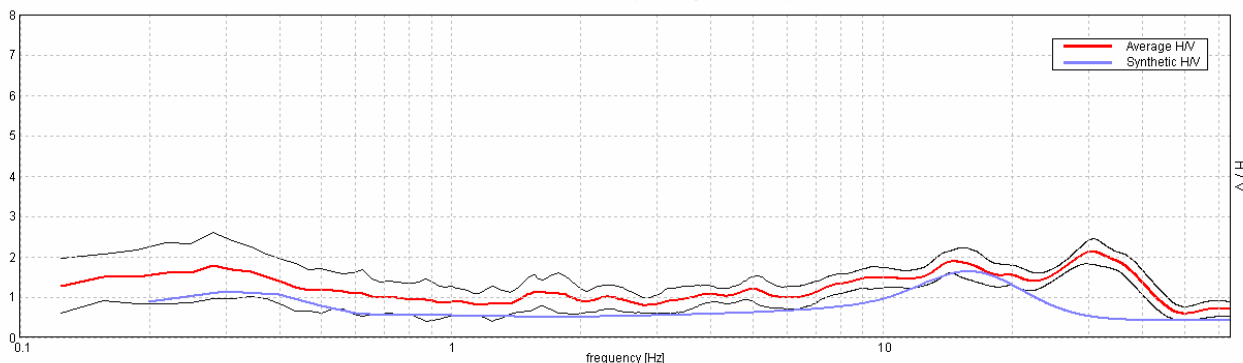


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



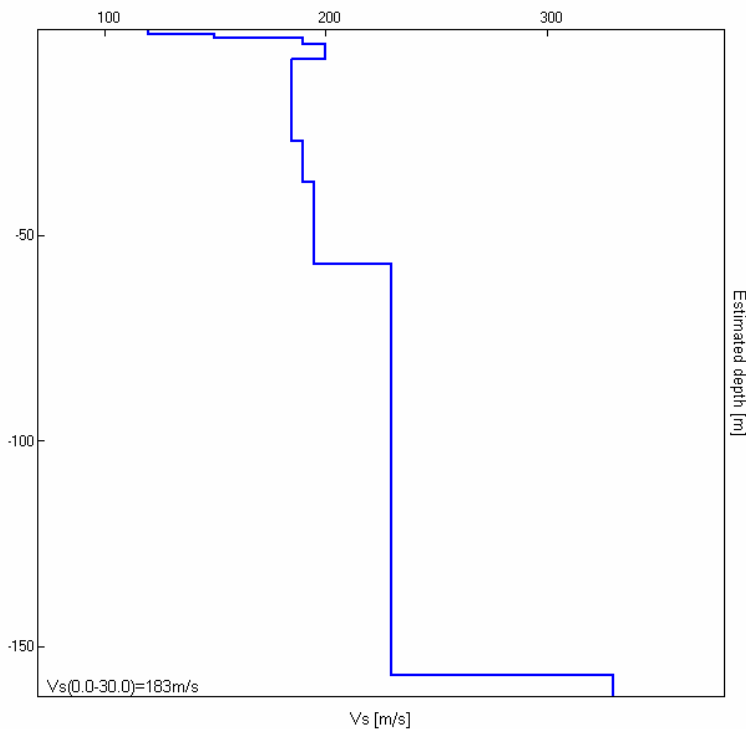
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 30.63 ± 1.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	120	0.49
2.00	1.00	150	0.49
3.50	1.50	190	0.49
7.00	3.50	200	0.49
27.00	20.00	185	0.40
37.00	10.00	190	0.40
57.00	20.00	195	0.40
157.00	100.00	230	0.40
inf.	inf.	330	0.40

Vs(0.0-30.0)=183m/s



[Secondo le linee guida SESAME 2005 **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 30.63 ± 1.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$30.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$24500.0 > 200$	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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1471	OK	

Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	42.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.13 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0168 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.51464 < 1.53125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1541 < 1.58$	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

Protocollo N.0322044/2018 del 26/11/2018

'Class. ' 010.006002

Firmatario: Alessandro Ravaglioli

Documento Principale

ALLEGATO N. 6

LABORATORIO 2008
COMUNE DI RIMINI

Laboratorio Geotecnico Dr.GeoI. Antonio Mucchi

Via Calvino 30/B int. 5 - 44100 Ferrara-Tel 0532/773749

Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389

Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004

Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma A.S.T.M. D 2488 - AGI 1977)COMMITTENTE: **Soc. Coop. Geo Eco Ter**CANTIERE: **Via Parini (Rimini)**DATA APERTURA : **22/05/08**VERBALE DI ACCETTAZIONI **17** del : **22/05/08**SONDAGGIO: **S3** CAMPIONE: **sh1** PROF. **5.5-6.05** m.TIPO DI CONTENITORE: **fustella** **sacchetto** **cassetta**

ALTO

A

BASSO

0

55 cm.

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		Prove di laboratorio eseguite (*)									
Livello	Descrizione litologica	P.P.	V.T.	Y	W	G	LA	Ed	PT	Ptra	Trcu
A	limo argilloso grigio con livelli sabbiosi (granulometria eseguita su sabbia)	90	40	*	*	*	*	*			
B											

QUALITA' DEL CAMPIONE : SCADENTE DISCRETA BUONA ECCELLENTE **LEGENDA PROVE:**

Pocket penetrometrico	P.P. (kPa)	Peso di volume	Y	Limiti di Atterberg	LA
Vane test	V.T. (kPa)	Peso specifico	G.S	Edometria	Ed
Contenuto d'acqua	W	Granulometria	G	Prova di taglio	PT
Compressione E.L.L.	C	Permeabilità	K	Triassiale	TR

pagina 1 di 1

Certificato n° : **343**Data emissione : **31/05/08**

Laboratorio Dr. Geol. Antonio Mucchi
 Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749
 Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004
 Settore A: Prova di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter
Cantiere : Via Parini (Rimini)
Data inizio prova : 22/05/08
Verbale acetazione: 17 del 22/05/08

Sondaggio: S3
Campione: sh1
Prof.(m): 5.5-6.05

Natura del campione :

Peso dell'unità di volume : (kN/m³)
Peso dell'unità di volume del terreno secco : (kN/m³)
Contenuto d'acqua naturale : (%)
Peso specifico dei granuli : (kN/m³)
Indice dei vuoti inizio prova : (e°)

limo argilloso grigio
 17.50
 12.35
 41.7
 26.06
 1.110

σ'_v (kPa)	ΔH (mm)	ϵ %	e°	M_o (kPa)
11.768	.17	.85	1.092	
24.518	.34	1.70	1.074	1500
49.035	.67	3.35	1.039	1486
98.070	1.19	5.95	.984	1886
196.140	1.98	9.90	.901	2483
392.280	2.97	14.85	.796	3962
784.560	3.98	19.90	.690	7768
1569.120	5.00	25.00	.582	15384
392.280	4.73	23.65	.611	
98.070	4.28	21.40	.658	
49.035	4.08	20.40	.679	

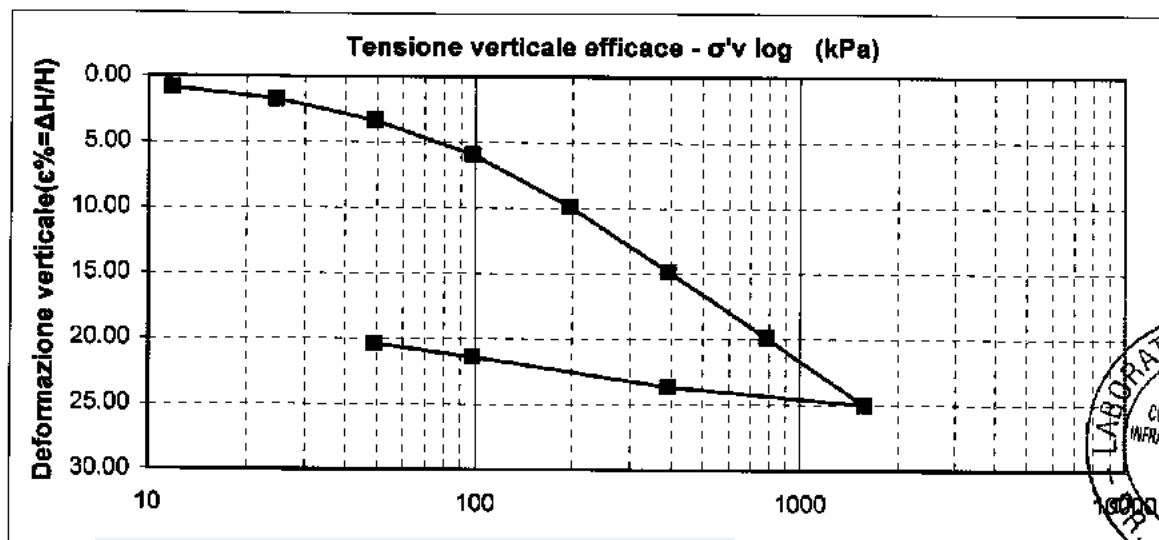
ΔH = cedimento

ϵ = $\Delta H/H$ = def. verticale

e° = indice dei vuoti

M_o = modulo edometrico

σ'_v = tensione verticale efficace



Certificato n° : 352
 Data emissione : 27/05/08

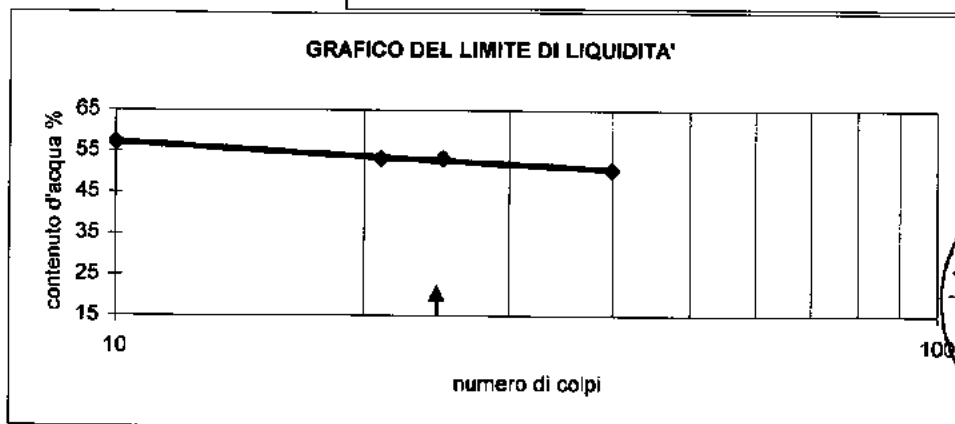
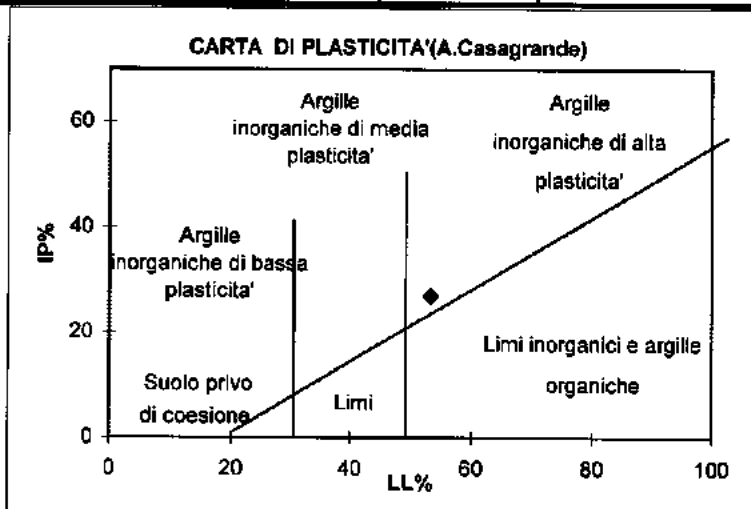
Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi
 Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749
 Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534460389
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004
 Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

LIMITI DI ATTERBERG (Norma CNR - UNI 10014)

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter **Sondaggio N°:** 3
Cantiere : Via Parini (Rimini) **Campione:** sh1
Prof. m: 5.5-6.05
Data inizio prova : 23/05/2008
Verbale di accettazione n°: 17 **del :** 22/05/08

N° CONTENITORE	Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale
	1	2	3		4
N° COLPI	40	21	10		
Massa terreno umido + tara (g)	34.92	37.49	42.37	13.32	128.47
Massa terreno secco + tara (g)	27.68	29.01	31.95	12.59	93.37
Massa acqua contenuta (g)	7.24	8.48	10.42	0.73	35.10
Massa tara (g)	13.30	13.09	13.70	9.84	9.20
Massa terreno secco (g)	14.38	15.92	18.25	2.75	84.17
Contenuto d'acqua %	50.3	53.3	57.1	26.3	41.7

Limite liquido %	53
Limite Plastico %	26
Umidita' naturale%	41.7
Indice Plastico %	27
Indice di consistenza :	0.43



Laboratorio Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Calvino 30/B-44100 Ferrara - Tel. 0532/773749

Isc. C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389

Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004

Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

**ANALISI GRANULOMETRICA per SETACCIATURA
norma ASTM D 422**

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter
Cantiere : Via Parini (Rimini)

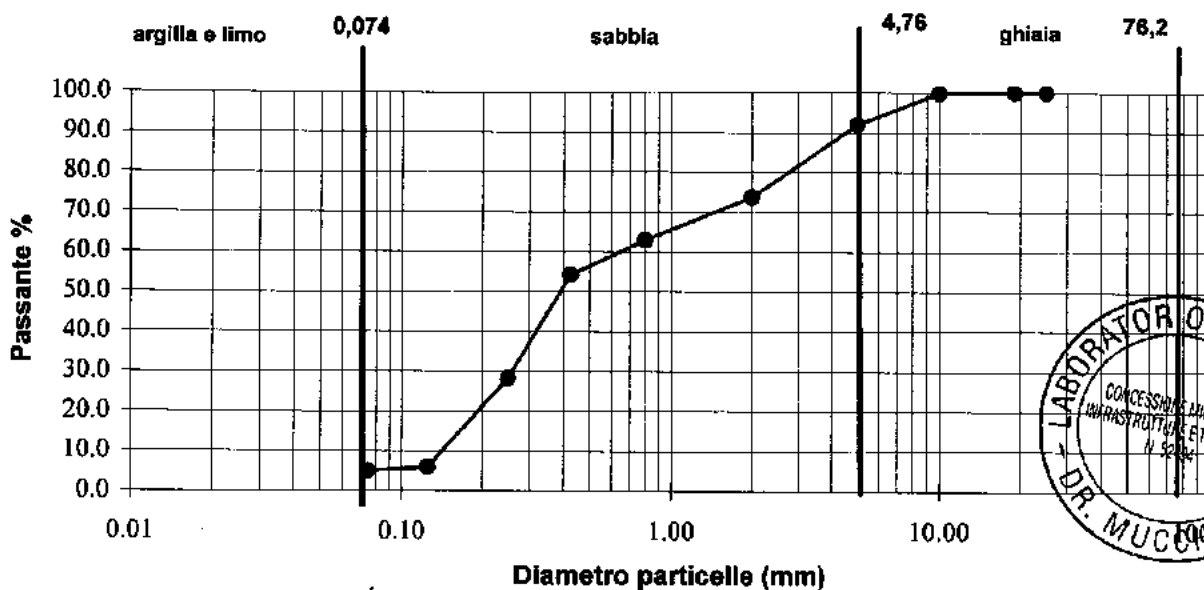
Sondaggio : 3
Campione n° : sh1
Profondità (mt): 5.5-6.05

Verbale Accettazione n° : 17
Del : 22/05/08
Data inizio prova: 23/05/08

Diametro (mm)	Passante (%)
25	100.0
19	100.0
10	99.83
5	91.94
2	73.70
0.8	62.89
0.425	54.12
0.250	28.12
0.125	5.93
0.075	5.09

Class. ASTM D2488-84

Ghiaia (>4.76 mm) : (%)	0
Sabbia (4.76-0.075mm) : (%)	95
Argilla e limo (<0.075 mm) : (%)	5



Laboratorio Dr. Geol. Antonio Mucchi
 Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749
 Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004
 Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter
Cantierte : Via Parini (Rimini)
Data inizio prova : 22/05/08
Verbale accettazione: 17 del 22/05/08

Sondaggio: S3
Campione: sh2
Prof. (m): 7.5-8.1

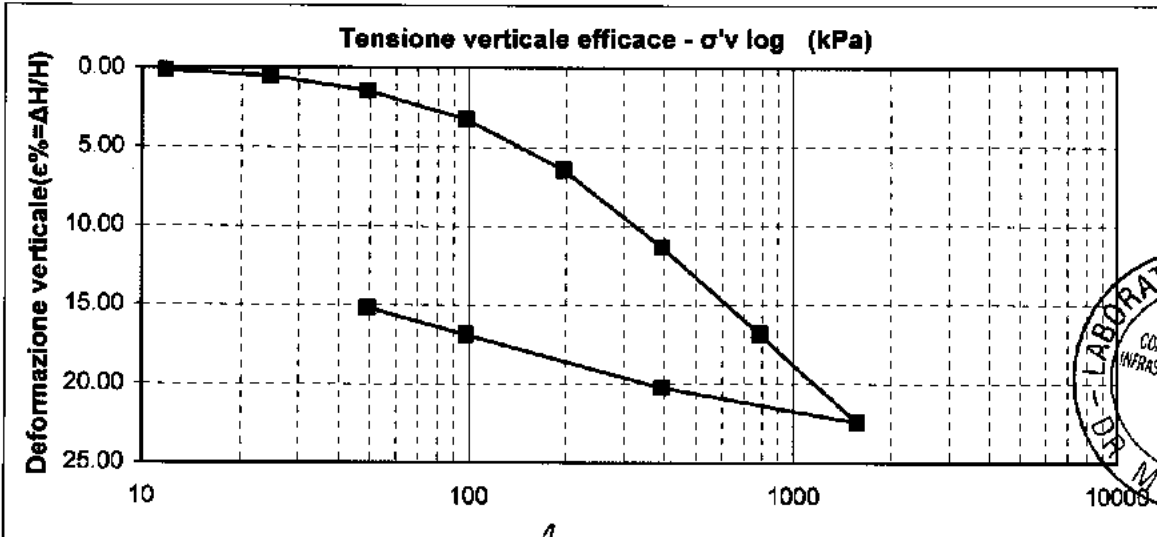
Natura del campione :

Peso dell'unità di volume : (kN/m³)
Peso dell'unità di volume del terreno secco : (kN/m³)
Contenuto d'acqua naturale : (%)
Peso specifico dei granuli : (kN/m³)
Indice dei vuoti inizio prova : (e°)

argilla grigio plastica
18.54
13.12
41.3
26.06
.986

σ'_v (kPa)	ΔH (mm)	ϵ %	e°	M_o (kPa)
11.768	.03	.15	.983	
24.518	.10	.50	.976	3643
49.035	.29	1.45	.957	2581
98.070	.65	3.25	.921	2724
196.140	1.29	6.45	.858	3065
392.280	2.27	11.35	.760	4003
784.560	3.37	16.85	.651	7132
1569.120	4.49	22.45	.540	14010
392.280	4.05	20.25	.584	
98.070	3.38	16.90	.650	
49.035	3.04	15.20	.684	

ΔH = cedimento
 $\epsilon = \Delta H/H$ = def. verticale
 e° = indice dei vuoti
 M_o = modulo edometrico
 σ'_v = tensione verticale efficace



Certificato n° : 355
Data emissione : 3/1/08

Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749
 Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti- Decreto n° 52494 del 11/10/2004
 Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE
norma ASTM D 422 - AGI 1994

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter
 Cantiere : Via Parini (Rimini)

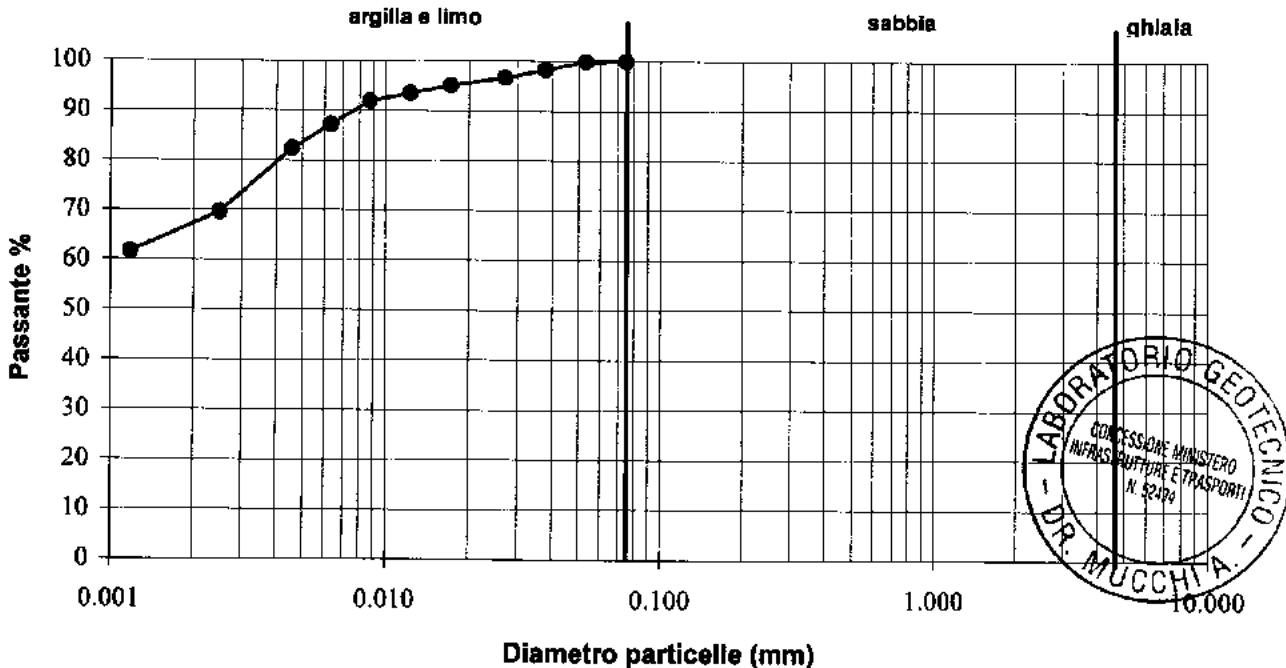
Sondaggio : S3
 Campione : sh2
 Profondità (mt): 7.5-8.1
 Data inizio prova : 26/05/08

Verbale di accettazione n° : 17
 del : 22/05/2008

Diametro (mm)	Passante (%)
0.075	100.00
0.0532	99.89
0.0379	98.29
0.0270	96.68
0.0172	95.07
0.0123	93.47
0.0088	91.85
0.0063	87.07
0.0046	82.28
0.0025	69.56
0.0012	61.60

Classificazione secondo norma ASTM D 2488 - 84		
Ghiaia	(>4.75mm)	: 0%
Sabbia	(4.76-0.075mm)	: 0%
Limo e Argilla	(< 0.075mm)	: 100%

trattenuto allo 0.075 mm : 0%



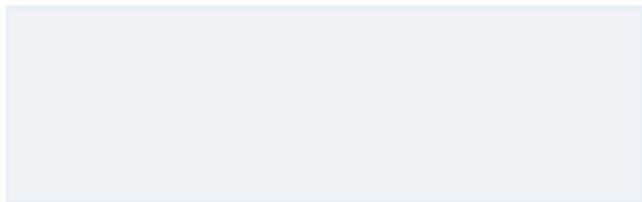
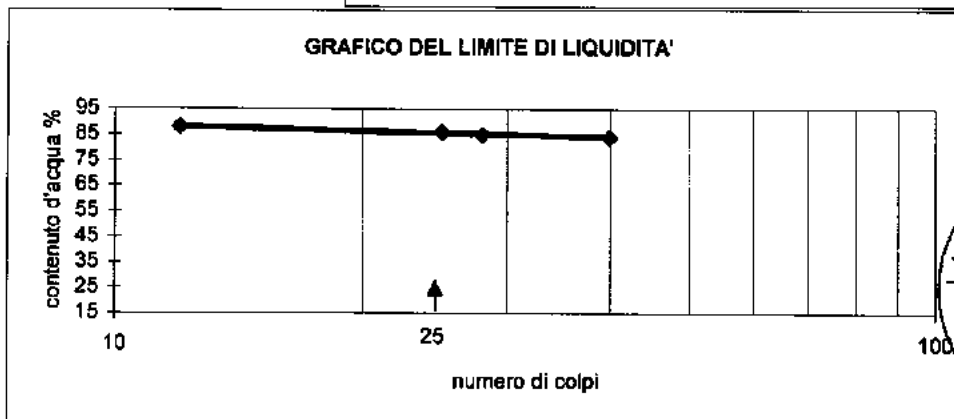
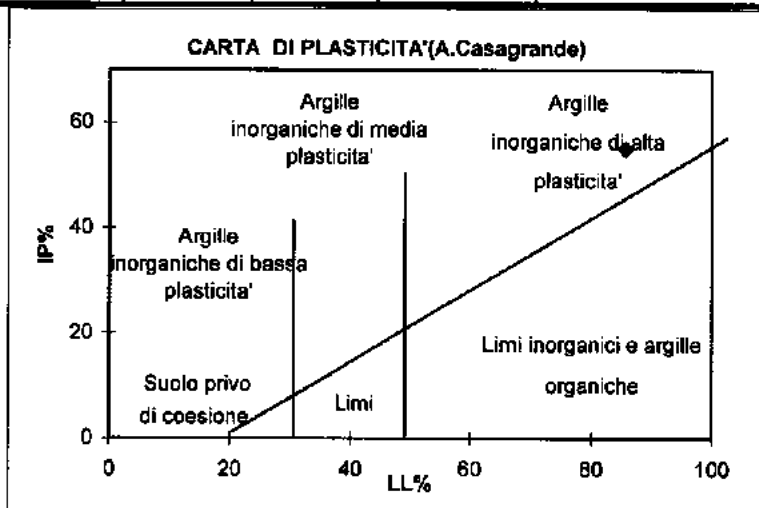
Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi
 Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749
 Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004
 Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

LIMITI DI ATTERBERG (Norma CNR - UNI 10014)

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter **Sondaggio N°:** 3
Cantiere : Via Parini (Rimini) **Campione:** sh2
Data inizio prova : 23/05/2008 **Prof. m:** 7.5-8.1
Verbale di accettazione n°: 17 **del :** 22/05/08

N° CONTENITORE	Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale 4
	1	2	3		
N° COLPI	40	28	12		
Massa terreno umido + tara (g)	41.28	38.55	41.29	13.25	201.36
Massa terreno secco + tara (g)	28.54	26.86	28.13	12.43	144.73
Massa acqua contenuta (g)	12.74	11.69	13.16	0.82	56.63
Massa tara (g)	13.33	13.11	13.18	9.79	7.72
Massa terreno secco (g)	15.21	13.75	14.95	2.65	137.01
Contenuto d'acqua %	83.8	85.0	88.0	30.8	41.3

Limite liquido %	86
Limite Plastico %	31
Umidita' naturale%	41.3
Indice Plastico %	55
Indice di consistenza :	0.81



Certificato n° : 358
 Data emissione 31/05/08

Laboratorio Dr. Geol. Antonio Mucchi
 Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749
 Isc. C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004
 Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°248/1993)

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter
 Cantiere : Via Parini (Rimini)
 Data inizio prova : 22/05/08
 Verbale accettazione: 17 del 22/05/08

Sondaggio: S3
 Campione: sh3
 Prof.(m): 15-15.0

Natura del campione :

Peso dell'unità di volume : (kN/m³)
 Peso dell'unità di volume del terreno secco : (kN/m³)
 Contenuto d'acqua naturale : (%)
 Peso specifico dei granuli : (kN/m³)
 Indice dei vuoti inizio prova : (e°)

argilla grigio plastica

18.41
 14.26
 29.1
 26.06
 .827

σ'_v (kPa)	ΔH (mm)	ϵ %	e°	M_o (kPa)
11.768	.02	.10	.825	
24.518	.06	.30	.821	6375
49.035	.20	1.00	.808	3503
98.070	.47	2.35	.784	3632
196.140	1.02	5.10	.733	3566
392.280	1.82	9.10	.660	4904
784.560	2.64	13.20	.585	9568
1569.120	3.51	17.55	.506	18036
392.280	3.22	16.10	.533	
98.070	2.76	13.80	.575	
49.035	2.59	12.95	.590	

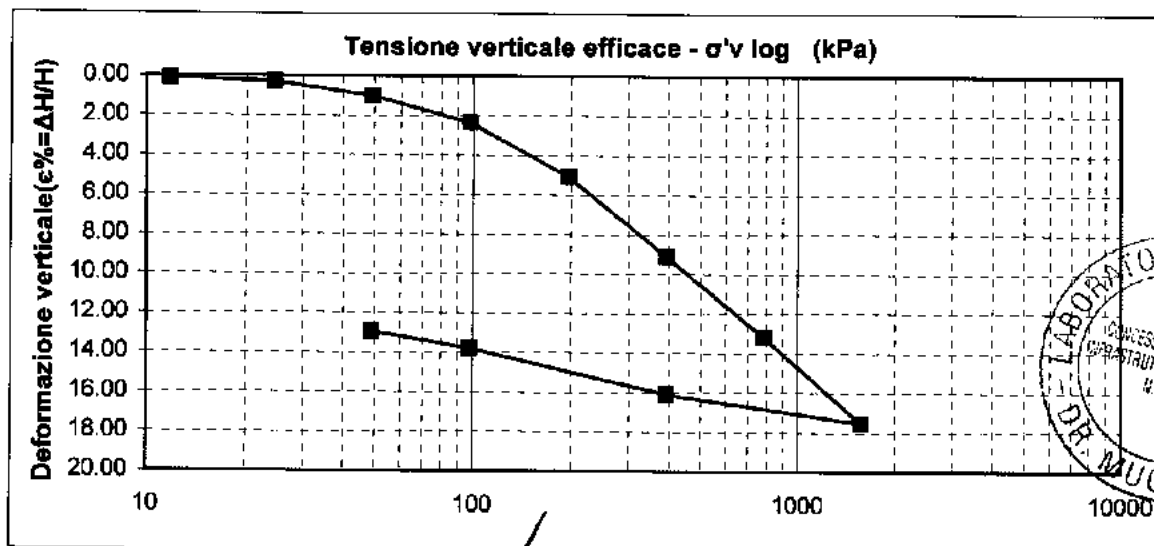
ΔH = cedimento

$\epsilon = \Delta H/H$ = def. verticale

e° = indice dei vuoti

M_o = modulo edometrico

σ'_v = tensione verticale efficace



Certificato n° : 360
 Data emissione : 31/05/08

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

norma ASTM D 422 - AGI 1994

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter
Cantiere : Via Parini (Rimini)

Sondaggio : S3
Campione : sh3
Profondità (mt): 15-15.5
Data inizio prova : 26/05/08

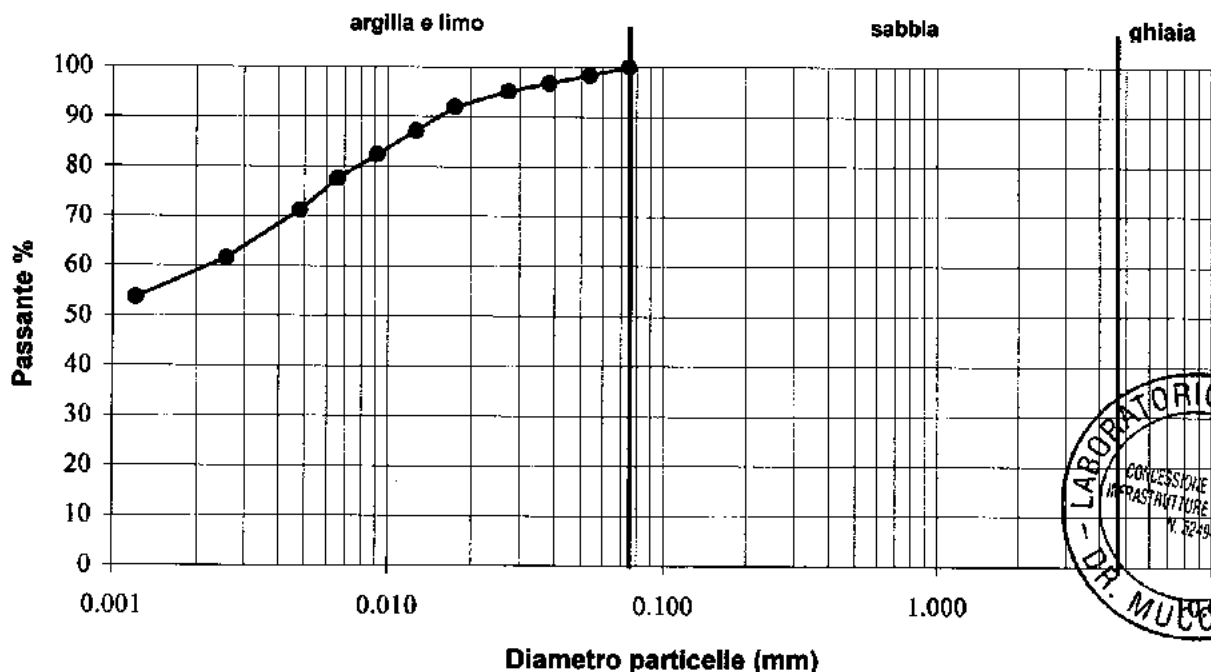
Verbale di accettazione n° : 17
del : 22/05/2008

Diametro (mm)	Passante (%)
0.075	100.00
0.0537	98.30
0.0383	96.70
0.0273	95.09
0.0175	91.89
0.0127	87.11
0.0092	82.32
0.0066	77.53
0.0048	71.16
0.0026	61.62
0.0012	53.66

Classificazione secondo norma ASTM D 2488 - 84

Ghiaia (>4.75mm) : 0%
Sabbia (4.76-0.075mm) : 0%
Limo e Argilla (< 0.075mm) : 100%

trattenuto allo 0.075 mm : 0%



Laboratorio Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749

Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389

Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Decreto n° 52494 del 11/10/2004

Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

**ANALISI GRANULOMETRICA per SETACCIATURA
norma ASTM D 422**

Committente : Soc. Coop. Geo Eco Ter
Cantiere : Via Parini (Rimini)

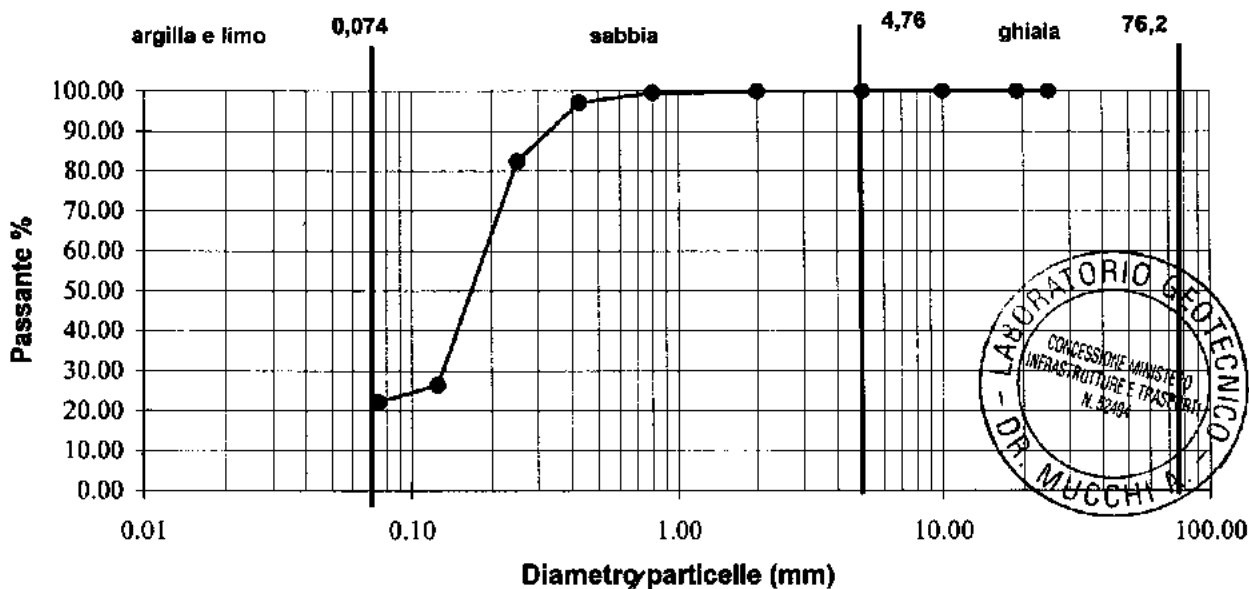
Sondaggio : 3
Campione n° : Rim. A
Profondità (mt): 2.5-3.0

Verbale Accettazione n° : 17
Del : 22/05/08
Data inizio prova: 23/05/08

Diametro (mm)	Passante (%)
25	100.00
19	100.00
10	100.00
5	100.00
2	99.88
0.8	99.59
0.425	97.14
0.250	82.35
0.125	26.39
0.075	22.16

Class. ASTM D2488-84


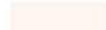
Ghiaia (>4.76 mm) : (%)	0
Sabbia (4.76-0.075mm) : (%)	78
Argilla e limo (< 0.075 mm) : (%)	22



Stralcio TAVOLA PSC 1.3.1.a "Carta dei livelli di approfondimento per microzonazione sismica" - Comune di Rimini

LEGENDA


PSC - Ipotesi nuove realizzazioni

-  Territorio urbanizzato
-  Ambiti suscettibili di nuove urbanizzazioni




Microzonazione sismica

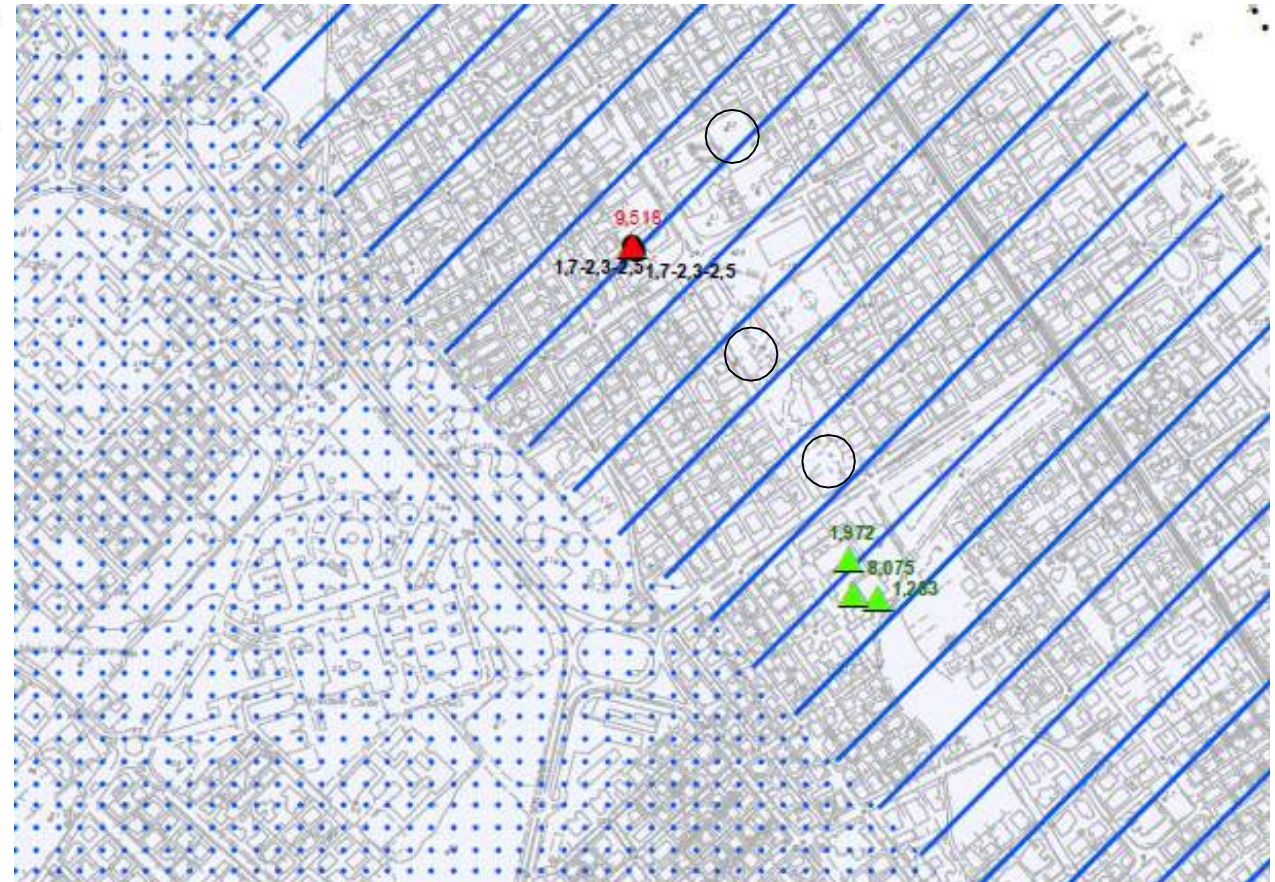
-  Territorio urbanizzato dove è sufficiente la microzonazione sismica di II livello di approfondimento - Analisi semplificata.
-  Territorio urbanizzato dove è necessario svolgere ulteriori indagini per effettuare studi di microzonazione sismica di III livello di approfondimento - Analisi approfondite per aree soggette a liquefazione e densificazione, di cui alla lettera a) del punto 4.2 della Del. Ass. Lgs. RER n. 112 del 02/05/2007.
-  Territorio urbanizzato dove è necessario svolgere ulteriori indagini per effettuare studi di microzonazione sismica di III livello di approfondimento - Analisi approfondite per aree soggette a liquefazione e densificazione, di cui alla lettera b) del punto 4.2 della Del. Ass. Lgs. RER n. 112 del 02/05/2007.
-  Viabilità di interesse provinciale-comunale
-  Trasporto Rapido Costiero (TRC)
-  Fermate TRC
-  Aree in studio

Fattori di amplificazione (FA):

-  Valori di PGA; Intensità spettrale per $0,1s < T_0 < 0,5s$; Intensità Spettrale per $0,5s < T_0 < 1s$

Indice del Potenziale di Liquefazione (IL):

-  Indice del potenziale di liquefazione (IL) da studi di riduzione del rischio sismico dell'Università di Firenze - Crespellani T., Madini C., Vannucchi G. - Novembre 2008.
-  Indice del potenziale di liquefazione (IL) da studi di microzonazione sismica di III livello di approfondimento svolti dal Comune di Rimini.
-  Indice del potenziale di liquefazione (IL) da studi di microzonazione sismica di III livello di approfondimento svolti da altri soggetti.



**GEOLOGIA
E
AMBIENTE**

Studio di Geologia
via del marinaio, 32 - Rimini 47900
tel. 0541/722574
339/1361820




Allegato n. 8






Rif. 2044	Scala 1 : 10000	marzo 2013
-----------	-----------------	------------

Stralcio TAVOLA PSC 1.3.2.a "Fattori di amplificazione per microzonazione sismica" - Comune di Rimini






LEGENDA

PSC - Ipotesi nuove realizzazioni

-  Territorio urbanizzato
-  Territorio urbanizzabile
-  Ambiti potenziali per nuovi insediamenti (insediamenti e nuove dotazioni territoriali)

-  Asse intermedio retro-costiero: tratti proposti
-  Strade urbane di penetrazione: tratti proposti
-  Ipotesi alternative di collegamenti stradali ai fini della pedonalizzazione del Ponte di Tiberio
-  Viabilità extraurbana secondaria: tratti proposti
-  Trasporto Rapido Costiero (TRC)






Ambiti territoriali di cui all'all.2, punto A2.1 della del.Ass.Lgs RER n. 112 del 02/05/2007


-  Ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sabbie costiere superficiali (con spessori fino a 10 m) e substrato poco profondo (25-80 m da p.c.) (COSTA 1)
-  Ambito di pianura e costiero assimilabile ad appennino e margine appenninico padano per substrato marino caratterizzato da Vs < 800 m/sec
-  Ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 2)
-  Appennino e margine appenninico padano per coperture su substrato marino caratterizzato da Vs minore di 800 m/sec
-  Appennino e margine appenninico padano per coperture su substrato marino affiorante caratterizzato da Vs minore di 800 m/sec

----- Limite tra classi di amplificazione di F.A.

- B** Classe di amplificazione bassa
- M** Classe di amplificazione media
- A** Classe di amplificazione alta
- E** Classe di amplificazione elevata
- ?** Classe di amplificazione non definita

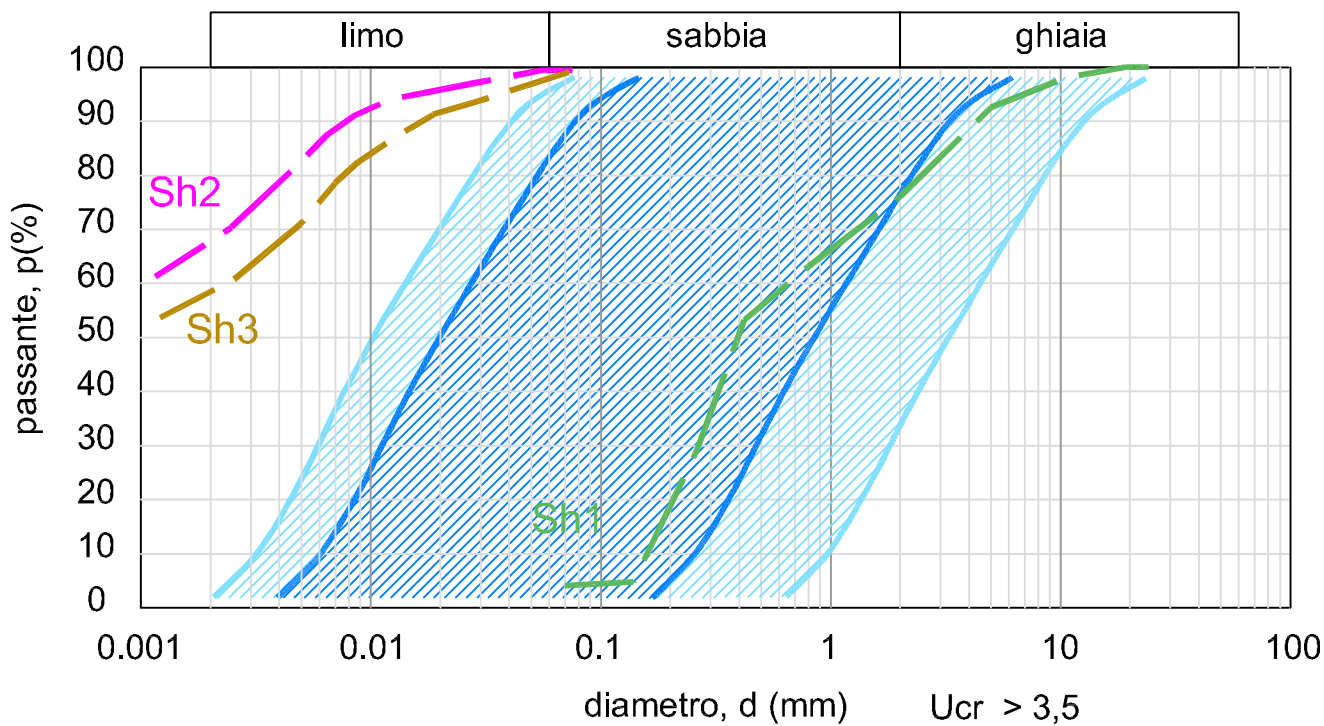
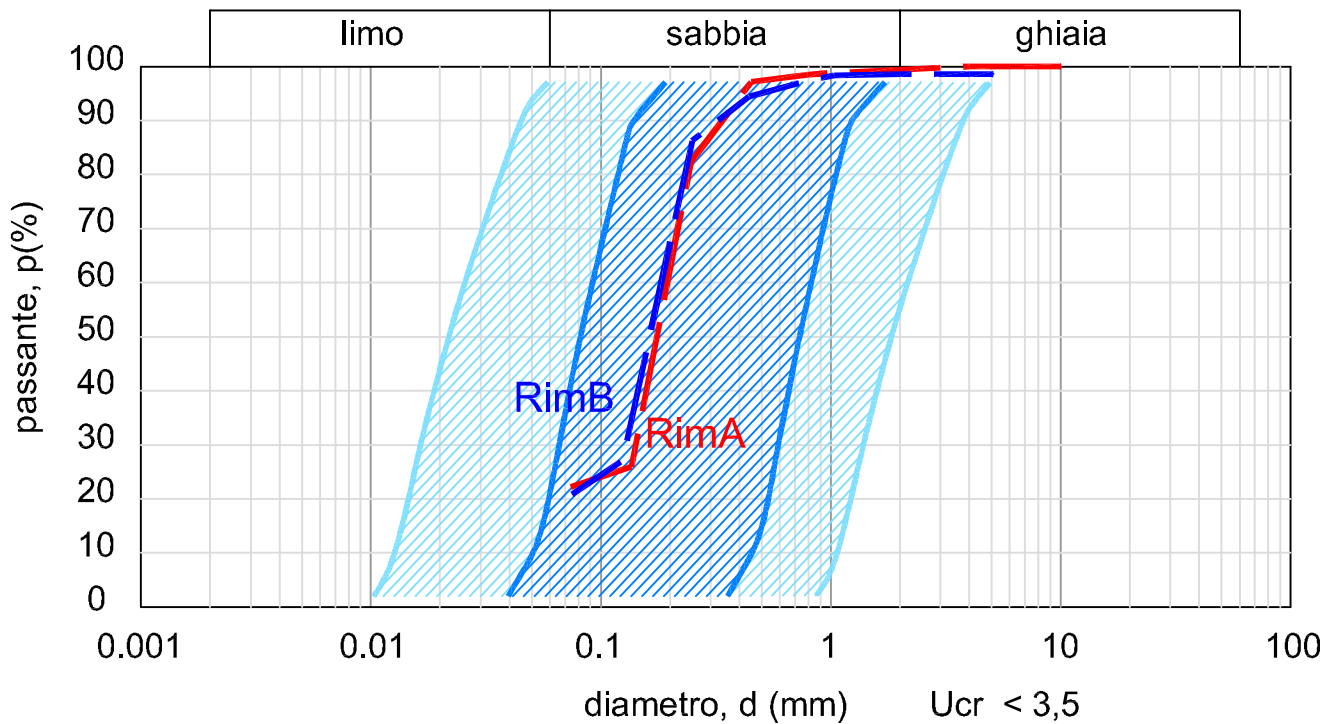
Fattori di amplificazione (F.A.) della PGA



-  Bassa amplificazione - F.A. da 1,4 a 1,7
-  Media amplificazione - F.A. da 1,8 a 2,0
-  Alta amplificazione - F.A. da 2,1 a 2,3
-  Elevata amplificazione - F.A. da 2,4 a 2,6
-  F.A. non determinato

 Aree in studio



ALLEGATO N. 9



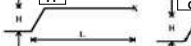
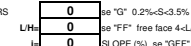
-  Possibilità di liquefazione
-  Elevata possibilità di liquefazione

ALLEGATO N. 10

Robertson & Wride, agg. 2009

PROVA "CPTu 1"

DISPLACEMENTS PARAMETERS



Potential flow failure if (N1)60-cs<10 and (qc)N1cs<60
No flow liquefaction if (qc)N1cs>60

Table with 2 columns: Ls, Ls Class. Values range from 655Ls-100 to 6Ls-15.

CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

Input parameter table including Peak ground accel (g), Earthquake magnitude, Water table depth, etc.

Environment: C Hill-H Plain-P Coast-C
Behaviour: SC Sand like-S

Computed constants:
ns = Blake ("B" 2007 - "Cetin" 2004 - "NCEER" - "Blake")
alpha (N) = N
MSF NCEER

Table with 2 columns: Probabilità e potenziale di liquefazione, Probabilità e suscettibilità di liquefazione.

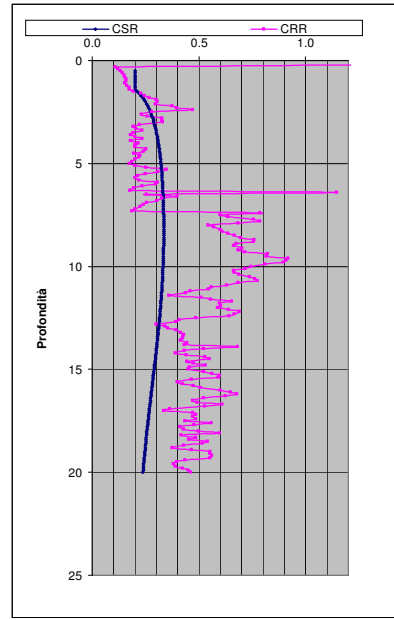
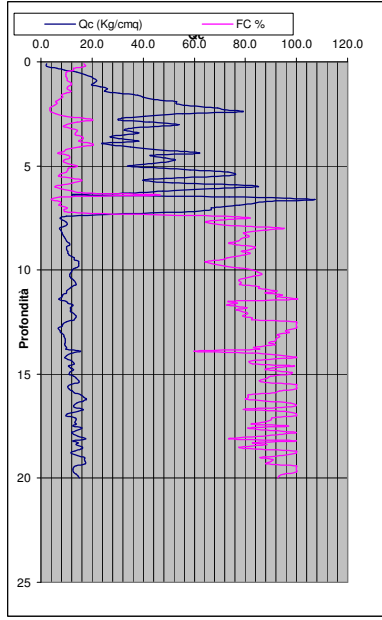
Main data table with columns: Depth (m), qcN bar, Fcn bar, qcN, Fcn, etc. Includes a 'PROFONDITA' DI CALCOLO' section with a value of 3.5.

Main data table continuing from the previous one, listing depth, qcN, Fcn, and various soil parameters for each sounding.

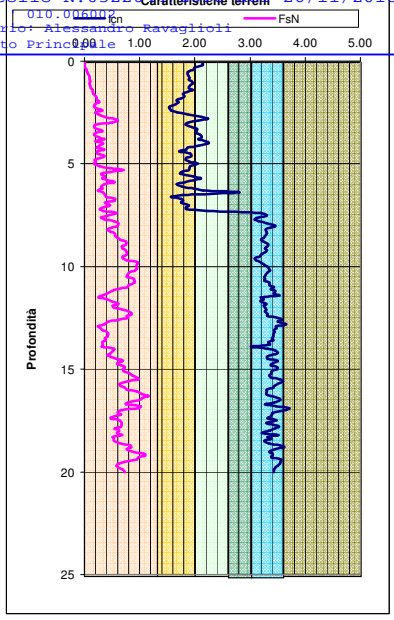
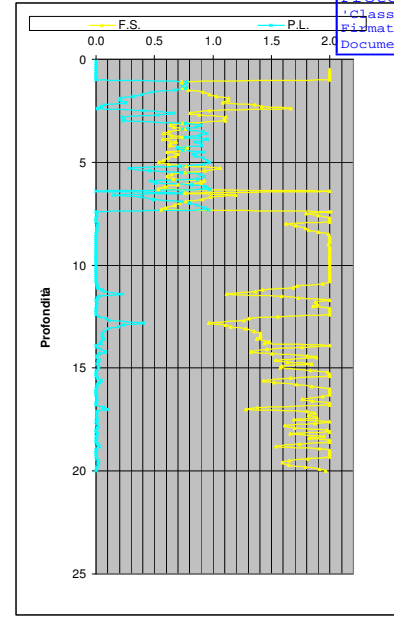
"Riproduzione Cartacea di documento Firmato Digitalmente ai sensi artt 20 e 22 Dl 82/2005"
Protocollo N.0322044/2018 del 26/11/2018
Class. : 010.006002
Firmatario: Alessandro Ravaglioli
Documento Principale

Table with columns: Depth (m), qcN bar, Fsn bar, ovc, o'vc, Qi, Qtn, F, Ic, IcN2, N1(60), n, Kc, Layer, Flag, FC, SFESSIONE, Kh, Interpreted, qc1N, Qtn-cs, Rd, CSR, Kc, xi, Ka, CRR for, CRR, Factor of Safety, MSF SAND, Limiting shear strain, Parameter, Maximum, AHI, ALDI, sv Vertical, ASI, Fmax, PL, F, IPL, Au/A', Au/A'', Rr, Au/A''', Dr, R, Rac, Su/o'vc, OCR, qc1N, Sr/o'vc, Su/r, Ls severity. The table contains 100 rows of data, each representing a soil profile measurement.

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W., 2009



PROVA CPTu 1



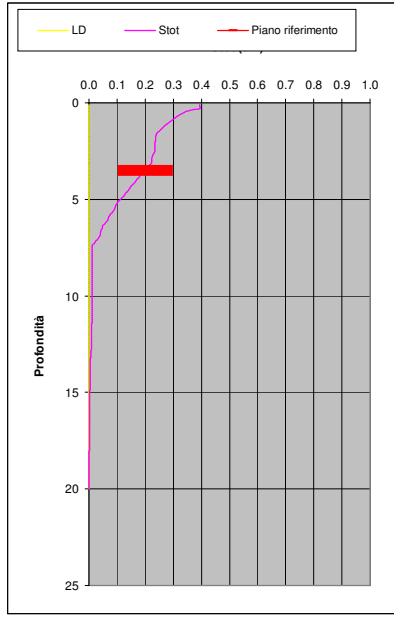
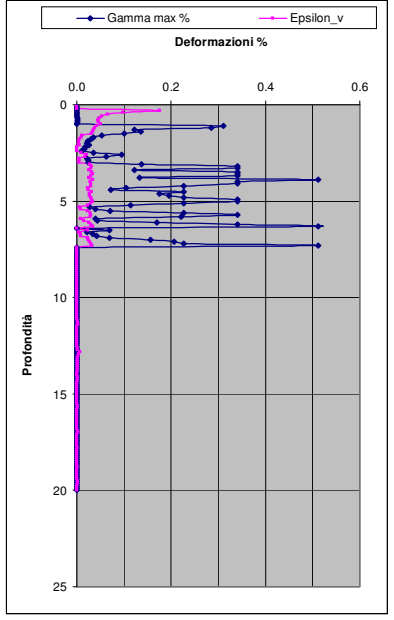
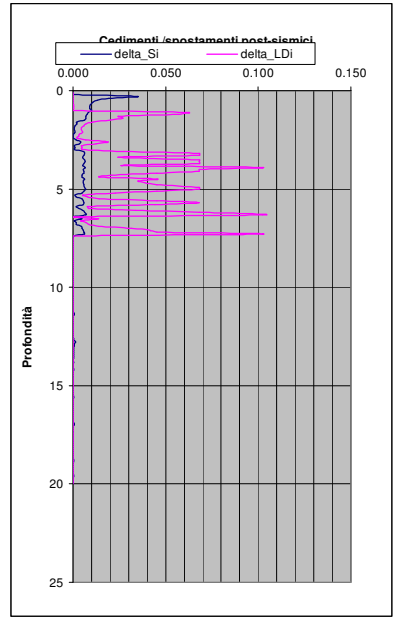
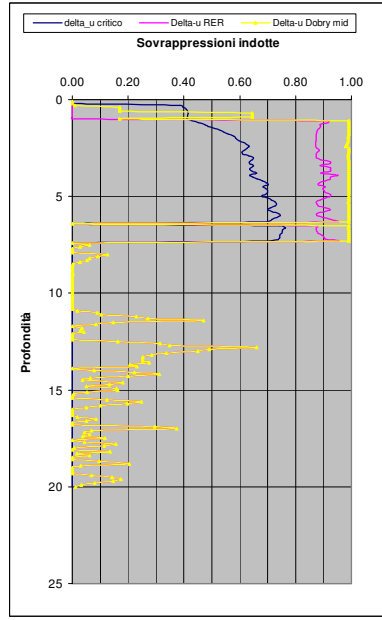
Caratteristiche terreni

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I_p < 3.60$
Silt Mixtures	4	$2.60 < I_p < 2.95$
Sand Mixtures	5	$2.05 < I_p < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I_p < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.31$

After Robertson and Wride (1998).
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- LEGENDA**
- Argille - terreni organici
 - Argille - argilla/argilla limosa
 - Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
 - Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
 - Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
 - Sabbie ghiaiose / sabbie dense

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.22$
Clays	3	$2.82 < I_p < 3.22$
Silt Mixtures	4	$2.54 < I_p < 2.82$
Sand Mixtures	5	$1.90 < I_p < 2.54$
Sands	6	$1.25 < I_p < 1.90$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.25$



- LEGENDA**
- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
 - FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
 - FsN= Attrito laterale (Kg/cmq)
 - F = rapporto di frizione
 - Qtn= parametro di resist. alla punta normal.
 - Icn= Soil behaviour index normalized (ad)
 - qc1N-cs= Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
 - xi= parametro di stato
 - KH= fatt. correttivo per spessore strato (ad)
 - Rd= stress reduction coefficient (ad)
 - CN= fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
 - Ks= fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
 - Ksc= fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
 - MSF= magnitudo scaling factor (ad)
 - F.S.= Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
 - CSR= Cyclic Stress ratio (ad)
 - CRR= Cyclic Resistance Ratio (ad)
 - P.L.= Probabilità di liquefazione (ad)
 - IPL= indice del potenziale di liquefazione (ad)
 - ymax= deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
 - ev = vertical reconsolidation strain
 - Delta si= cedimento i-esimo dello strato (mt)
 - Su= Su / sigma'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
 - Sur= Sur / sigma'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
 - qc1N-sr= Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
 - Sr= Sr / sigma'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
 - Ruc= Delta u/sigma'vc critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
 - Delta u RER= Delta u/sigma'vc sovrappressioni circ. 112/2007 - tabella 2 R.E.R.
 - Delta u Dobry M. = Delta u/sigma'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Delta u Dobry L. = Delta u/sigma'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Delta u Dobry U. = Delta u/sigma'vc Dobry et al. 1984 "Upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Stot= Cedimento post-sismico totale (mt)
 - LDI= Lateral Displacement Index (mt)
 - Dr= Densità relativa (ad)
 - theta= angolo di attrito interno (deg)
 - OCR= rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
 - St= coefficiente di sensitività delle argille (ad)

Probability	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_G$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_G \leq 0.9$	high
$0.3 < P_G \leq 0.7$	medium
$0.1 < P_G \leq 0.3$	low
$P_G \leq 0.1$	extremely low to none

LDI = 2.074 Stot = 0.200

IPL = 8.17

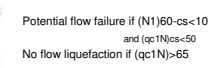
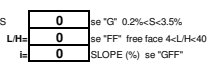
LD = 0.00

PG= 0.75

ALLEGATO N. 10

Robertson & Wride, agg. 2009

PROVA "CPTe 1"



CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

Environment= C Hill-H Plain-P Coast=C
Behaviour= SC Sand like-S

Computed constants:
alpha (N) = Blake ("IB" 2007 - "Cetin" 2004 - "NCEER" - "Blake")
MSF NCEER
Patm = 101.32 (cov 0.30-35%)
Q = 8
kDR = 1 350
rho = 2.0
FS = 1.2

Table with columns: Probabilità e suscettibilità di liquefazione, Probabilità e suscettibilità di liquefazione. Includes rows for Pot di Liq., IPL, and various probability values.

Input parameters:
Peak ground accel (g) = 0.311
Earthquake magnitude, M = 6.1
Water table depth (m) = 1
Average y above water table (h) = 18
Average y below water table (h) = 20

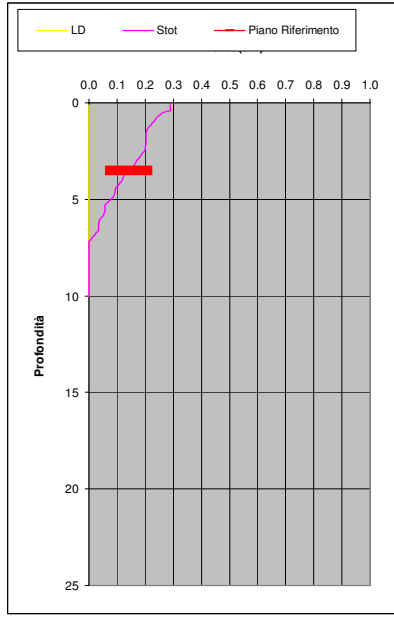
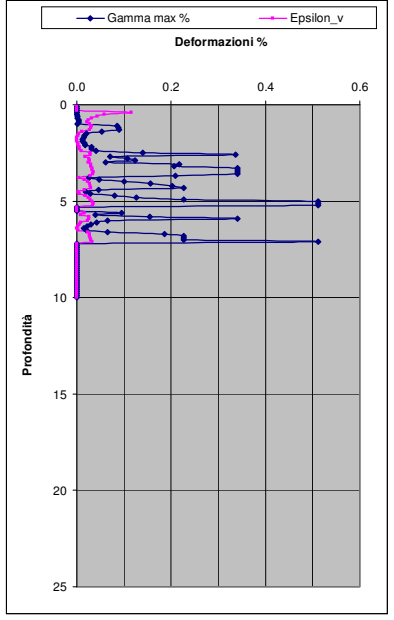
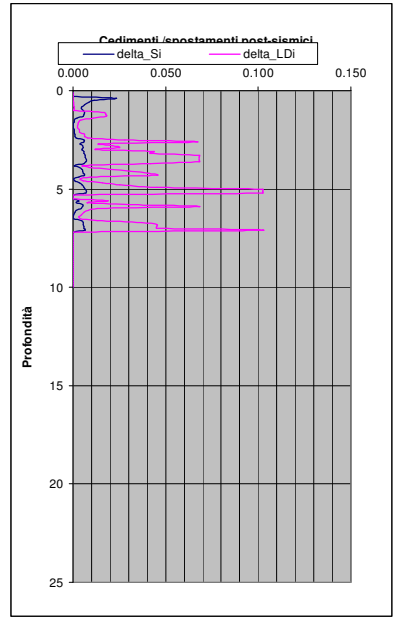
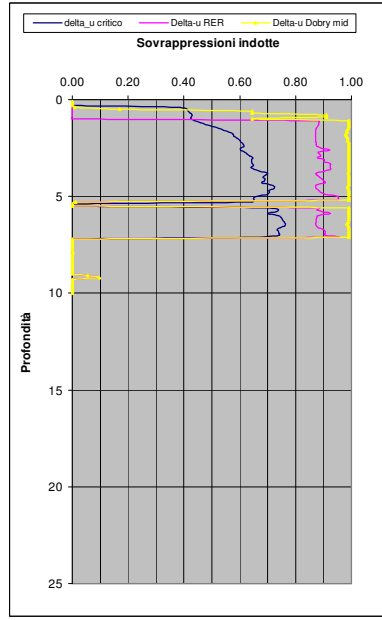
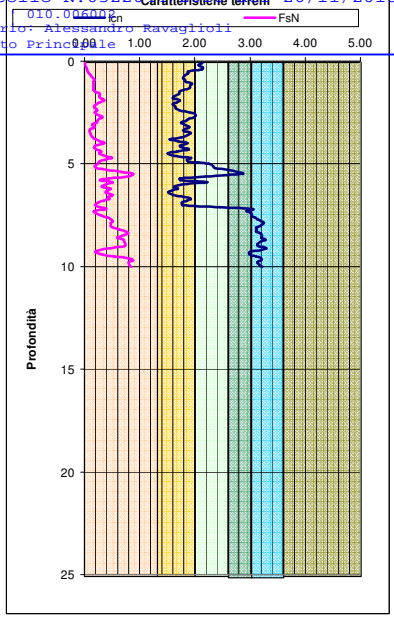
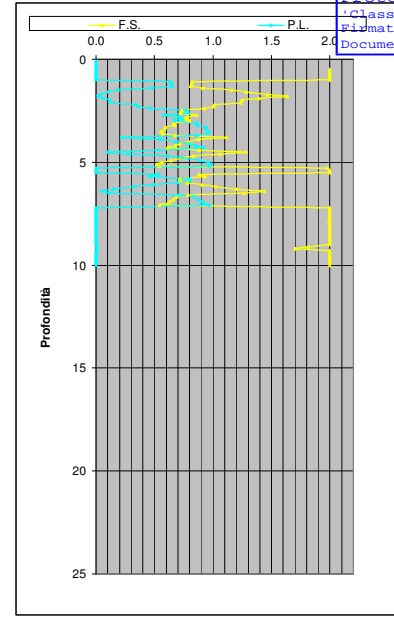
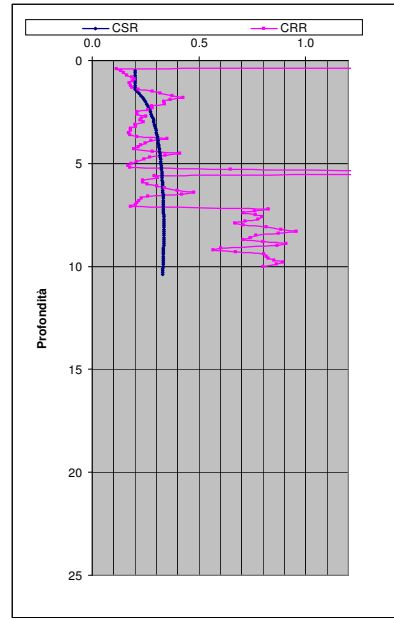
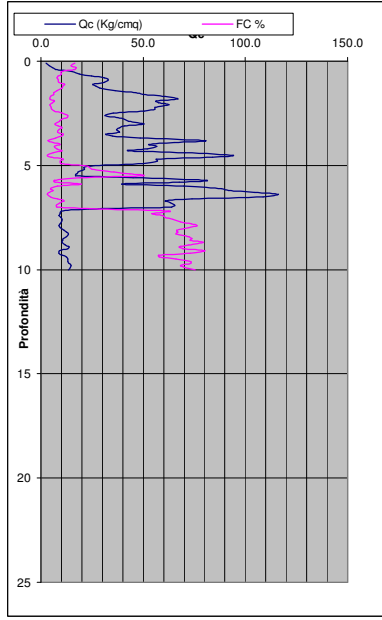
Main data table with columns: Depth (m), qcN bar, fsN bar, etc. Includes soil classification, layer descriptions, and various geotechnical parameters.

PROFONDITA' DICALCOLO (mt da p.c.): 3.5
LDI = 1.694 Stot = 0.142 (mt)
IPL = 5.89
LD = 0.00 (mt)
pg = 0.37
LS = 17.8

Main data table containing 100 rows of soil sounding data, including depth, qcN, fsN, and various geotechnical parameters.

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009

PROVA CPTe 1



Soil Classification	Zone No. #	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I_p < 3.60$
Silt Mixtures	4	$2.60 < I_p < 2.95$
Sand Mixtures	5	$2.05 < I_p < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I_p < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.31$

After Robertson and Wride (1998).
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

Soil Classification	Zone No. #	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.22$
Clays	3	$2.82 < I_p < 3.22$
Silt Mixtures	4	$2.54 < I_p < 2.82$
Sand Mixtures	5	$1.90 < I_p < 2.54$
Sands	6	$1.25 < I_p < 1.90$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.25$

LEGENDA

- Qc** = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC** = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- FSn** = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F** = rapporto di frizione
- Qtn** = parametro di resist. alla punta normal.
- lcn** = Soil behaviour index normalized (ad)
- qc1N-cs** = Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH** = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd** = stress reduction coefficient (ad)
- CN** = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- K_σ** = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- K_{σ'}** = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSF** = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S.** = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR** = Cyclic Stress ratio (ad)
- CRR** = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L.** = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL** = Indice del potenziale di liquefazione (ad)
- y_{max}** = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v** = vertical reconsolidation strain
- Δs_i** = cedimento i-esimo dello strato (mt)
- Su** = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Sur** = Sur / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qc1N-sr** = Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
- Sr** = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- Ruc** = Δu/σ'vc critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- Δu RER** = Δu/σ'vc sovrappressioni circ. 112/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Δu Dobry M.** = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry L.** = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry U.** = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "Upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot** = Cedimento post-sismico totale (mt)
- LDI** = Lateral Displacement Index (mt)
- Dr** = Densità relativa (ad)
- φ** = angolo di attrito interno (deg)
- OCR** = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- St** = coefficiente di sensitività delle argille (ad)

Probability	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_G$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_G \leq 0.9$	high
$0.3 < P_G \leq 0.7$	medium
$0.1 < P_G \leq 0.3$	low
$P_G \leq 0.1$	extremely low to none

LDI = 1.694 Stot = 0.142

IPL = 5.89

LD = 0.00

PG = 0.37

ALLEGATO N. 10

CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

Environment: C Hill-H Plain-P Coast-C
 Behaviour: SC Sand like-S

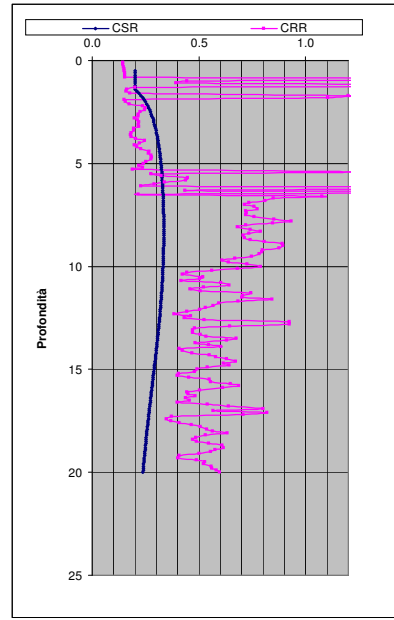
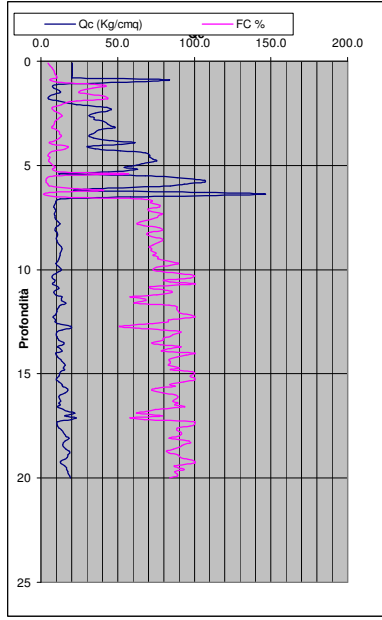
Computed constants:

nd = Blake (IB' 2007 - "Cetin" 2004 - "NCEER" - "Blake")

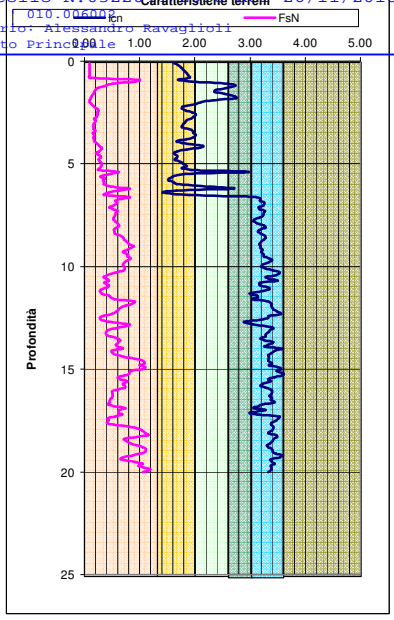
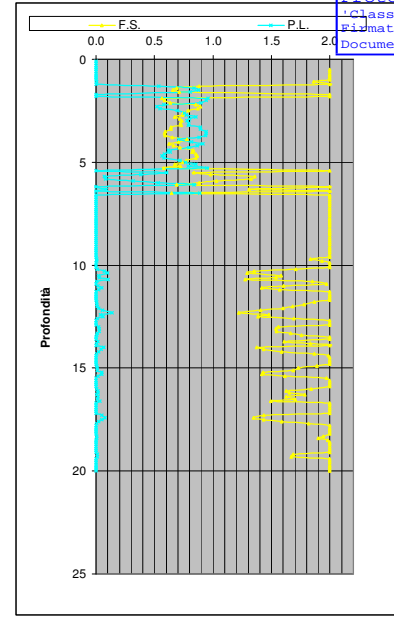
<p>Soil Classification: Zone No. 1 Range of CPT Index Values</p> <p>Organic Clay Index: 2 2.95 <= I <= 3.60</p> <p>Clays: 2 2.60 <= I <= 2.95</p> <p>Silt Mixtures: 4 2.00 <= I <= 2.60</p> <p>Silt: 6 1.31 <= I <= 2.00</p> <p>Gravelly Sands: 7 <= I <= 1.31</p>	<p>Building (V/N)</p> <p>Sedimentary environment</p> <p>C-coastal D-delta/lag - I-interbedded</p> <p>CPTe - CPTu = 1</p>	<p>static shear stress ratio</p> <p>alpha (N) = N</p> <p>mu NCEER = 0.357</p> <p>Carico Kpa = 0.0357 mt</p> <p>Building (V/N)</p> <p>Carico Kpa = 0.20</p> <p>mu = 0.15</p> <p>Prof (m) = 8</p> <p>Ln (m) = 3</p> <p>Cstr (Kpa) = 98</p>	<p>Probabilità e potenziale di liquefazione</p> <p>Probabilità: 0.85PL<=0.85 Molto Alto IPL-15</p> <p>Pot di Liq.: 0.85PL<=0.85 Alto S-IPLE15</p> <p>0.65PL<=0.85 Moderato Z-IPLE25</p> <p>0.45PL<=0.85 Basso D-IPLE25</p> <p>PL<=0.15 No. No. equal case</p>	<p>Probabilità e suscettibilità di liquefazione</p> <p>Probabilità: 0.85PL Suscettibilità</p> <p>0.65PL<=0.85 Molto prob.</p> <p>0.45PL<=0.85 SP-Prob.</p> <p>0.25PL<=0.85 Non prob.</p> <p>PL<=0.15 No. No. equal case</p>	<p>Displacements Parameters</p> <p>0.00</p> <p>0.00</p> <p>0.00</p>	<p>PROVA "CPTu 2"</p>	<p>Potential flow failure if (N) 60-cs-10 and (q) N=60</p> <p>No flow liquefaction if (q) N=65</p>	<table border="1"> <tr> <th>LS</th> <th>Le Class</th> </tr> <tr> <td>85SL<=100</td> <td>Very High</td> </tr> <tr> <td>65SL<=85</td> <td>High</td> </tr> <tr> <td>35SL<=65</td> <td>Moderate</td> </tr> <tr> <td>15SL<=35</td> <td>Low</td> </tr> <tr> <td>PL<=15</td> <td>Very low</td> </tr> <tr> <td>LS=0</td> <td>Non liquet.</td> </tr> </table>	LS	Le Class	85SL<=100	Very High	65SL<=85	High	35SL<=65	Moderate	15SL<=35	Low	PL<=15	Very low	LS=0	Non liquet.
LS	Le Class																					
85SL<=100	Very High																					
65SL<=85	High																					
35SL<=65	Moderate																					
15SL<=35	Low																					
PL<=15	Very low																					
LS=0	Non liquet.																					

Depth (m)	qcN bar	fsN bar	fsr bar	qvc (kPa)	o'vc (kPa)	Qi	Qtn	F	lc	lcN2	N(60)	n	Kc	Layer	Flag	FC	FS	Kh	Interprete	qcN	Qtn-cs	Rd	CSR	Ks	CRF	CRR	Factor of Safety FS	MSF	Limiting shear strain	Parameter	AH	ALDI	ev	Fant. Pl.	PL	F	IPL	Delta'o	Au'o	Ru	Au'o	Dr	theta	Rae	Su/o'vc	OCR	qcN-cs	Sr	Su r/ o'vc	LS	Severity Index			
0.1	20.6	0.09	1.8	1.80	1121.0	130.32	0.46	0.97	1.61	27.74	0.47	1.00	V	Unsaturated	4.6	1.00	1.00	131.11	131.1	41.2	1.00	0.202	1.00	-0.541891431	1.00	0.084	0.143	2.00	1.70	0.500	0.943	0.008	0.100	0.001	0.0103	0.001	2.881	0.000	0.00	0.00	1.00	0.00	0.81	0.00	0.21	38.1	0.44	0.00	2.93	144.1	0.22	0.00	0.00	
0.2	20.6	0.09	3.6	3.60	560.0	104.74	0.46	1.14	1.70	23.49	0.50	1.03	V	Unsaturated	6.0	1.00	1.00	105.37	105.4	42.6	1.00	0.202	1.00	-0.432553633	1.00	0.086	0.145	2.00	1.70	0.500	0.943	0.004	0.200	0.001	0.0174	0.003	2.881	0.000	0.00	0.00	1.00	0.91	0.77	0.00	0.55	37.8	0.44	0.00	4.89	115.4	0.15	0.00	0.04	
0.3	20.6	0.09	5.4	5.40	370.0	90.96	0.46	1.26	1.75	21.11	0.52	1.07	V	Unsaturated	7.1	1.00	1.00	91.51	91.5	44.1	1.00	0.202	1.00	-0.364470433	1.00	0.087	0.147	2.00	1.70	0.500	0.943	0.004	0.200	0.001	0.0232	0.005	2.881	0.000	0.00	0.00	1.00	0.91	0.77	0.00	0.51	37.1	0.43	0.00	4.48	115.0	0.12	0.00	0.03	
0.4	20.6	0.09	7.2	7.20	279.5	81.74	0.46	1.35	1.79	19.47	0.54	1.10	V	Unsaturated	7.9	1.00	1.00	82.22	82.2	45.3	1.00	0.202	1.00	-0.314069779	1.00	0.088	0.149	2.00	1.70	0.500	0.943	0.004	0.200	0.001	0.0283	0.006	2.881	0.000	0.00	0.00	1.00	0.91	0.77	0.00	0.48	36.6	0.43	0.00	4.19	92.2	0.11	0.00	0.03	
0.5	20.6	0.09	9.0	9.00	223.4	74.90	0.46	1.42	1.82	18.24	0.55	1.12	V	Unsaturated	8.6	1.00	1.00	75.05	75.0	46.3	1.00	0.202	1.00	-0.272181329	1.00	0.089	0.150	2.00	1.70	0.500	0.943	0.002	0.200	0.000	0.0329	0.007	2.881	0.000	0.00	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.46	36.1	0.42	0.00	3.97	85.1	0.10	0.00	0.03	
0.6	20.6	0.09	10.8	10.80	186.0	69.52	0.46	1.49	1.85	17.24	0.56	1.15	V	Unsaturated	9.2	1.00	1.00	69.66	69.7	47.2	1.00	0.202	1.00	-0.238270701	1.00	0.089	0.152	2.00	1.70	0.500	0.943	0.002	0.200	0.000	0.0373	0.007	2.881	0.000	0.00	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.45	35.8	0.42	0.00	3.79	79.7	0.09	0.00	0.03	
0.7	20.6	0.09	12.6	12.60	159.3	65.12	0.46	1.54	1.88	16.42	0.57	1.17	V	Unsaturated	9.8	1.00	1.00	65.25	65.2	48.1	1.00	0.201	1.00	-0.208908056	1.00	0.090	0.153	2.00	1.70	0.500	0.943	0.002	0.200	0.000	0.0414	0.008	2.881	0.000	0.00	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.43	35.5	0.42	0.00	3.64	75.2	0.08	0.00	0.03	
0.8	20.6	0.09	14.4	14.40	139.2	61.41	0.46	1.59	1.90	15.71	0.58	1.19	V	Unsaturated	10.4	1.00	1.00	61.54	61.5	48.9	1.00	0.201	1.00	-0.182982084	1.00	0.091	0.154	2.00	1.70	0.500	0.943	0.002	0.200	0.000	0.0454	0.009	2.881	0.000	0.00	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.42	35.2	0.41	0.00	3.51	66.5	0.10	0.00	0.03	
0.9	83.6	1.00	16.2	16.20	104.6	57.26	0.46	1.65	1.96	14.57	0.59	1.20	V	Unsaturated	11.0	1.00	1.00	57.26	57.3	49.8	1.00	0.201	1.00	-0.162021411	1.00	0.091	0.155	2.00	1.70	0.500	0.943	0.002	0.200	0.000	0.0507	0.011	2.881	0.000	0.00	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.40	34.9	0.40	0.00	3.37	64.4	0.09	0.00	0.03	
1	50.8	0.92	18	18.00	275.6	137.56	0.55	1.75	1.94	36.14	0.60	1.23	V	Unsaturated	11.4	1.00	1.00	137.83	137.8	124.8	0.99	0.201	1.00	-0.152621411	1.00	0.261	0.443	2.72	1.70	0.173	0.551	0.008	0.200	0.002	0.0207	0.000	2.881	0.000	0.00	0.00	1.00	0.96	0.77	0.00	0.44	34.0	0.40	0.00	5.48	162.8	0.33	0.00	0.03	
1.1	11.1	0.51	20	20.00	19.02	56.3	31.00	4.19	2.52	2.60	17.58	0.90	n.a.	V	Saturated	35.2	2.00	1.00	43.74	43.7	117.6	0.99	0.211	1.00	-0.051999776	1.00	0.231	0.393	1.86	1.70	0.206	0.609	0.000	0.200	0.000	0.0000	0.000	2.881	0.000	0.00	0.00	1.00	0.05	0.03	0.00	0.35	31.9	0.45	0.00	2.52	88.7	0.10	0.00	0.05
1.2	7.6	0.39	22	22.04	36.2	137.00	4.75	2.69	2.74	13.70	0.90	n.a.	V	Clay	42.7	2.00	1.00	31.03	31.0	n.a.	0.99	0.220	1.00	n.a.	1.154	1.958	2.00	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.0000	0.000	2.881	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	0.00	1.04	5.64	0.00	0.00	0.88	0.03				
1.3	8.5	0.23	24	24.06	38.4	29.80	2.49	2.48	2.57	11.77	0.84	0.99	V	Saturated	33.8	2.00	1.00	29.84	29.8	74.7	0.99	0.229	1.00	0.075842368	1.00	0.119	0.201	0.88	1.70	0.500	0.934	0.332	0.200	0.066	0.042	0.005	-0.099	0.536	0.1	0.11	1.00	0.99	0.73	0.92	0.29	30.5	0.42	0.00	1.96	74.8	0.08	0.00	0.56	
1.4	12.3	0.20	26	22.06	53.4	37.51	1.67	2.26	2.38	13.14	0.77	2.24	V	Saturated	25.7	2.00	1.00	37.57	37.6	55.1	0.99	0.236	1.00	0.004024167	1.00	0.096	0.162	0.69	1.70	0.500	0.943	0.512	0.200	0.102	0.0381	0.008	-0.091	0.839	0.3	0.29	1.00	0.99	0.73	0.95	0.33	32.1	0.45	0.00	2.41	82.6	0.09	0.00	0.76	
1.5	12.5	0.17	28	23.10	51.8	36.22	1.42	2.23	2.35	12.43	0.76	2.13	V	Saturated	24.5	2.00	1.00	36.27	36.3	53.2	0.99	0.243	1.00	0.017095668	1.00	0.094	0.159	0.66	1.70	0.500	0.943	0.512	0.200	0.102	0.0392	0.008	-1.153	0.876	0.3	0.32	1.00	0.99	0.73	0.95	0.32	32.1	0.47	0.00	2.38	61.3	0.07	0.00	0.78	
1.6	8.6	0.16	30	24.11	33.5	26.31	1.93	2.46	2.54	10.23	0.63	3.75	V	Saturated	32.7	2.00	1.00	26.34	26.3	64.1	0.99	0.249	1.00	0.1	1.100	1.005	0.177	0.71	1.70	0.500	0.943	0.512	0.200	0.102	0.0336	0.007	-0.658	0.805	0.3	0.26	1.00	0.99	0.73	0.95	0.27	30.3	0.46	0.00	1.84	71.3	0.08	0.00	0.73	
1.7	5.3	0.13	32	25.13	19.3	16.79	2.53	2.72	2.72	7.33	0.30	n.a.	V	Clay	41.6	2.00	1.00	16.81	16.8	n.a.	0.99	0.255	1.00	n.a.	1.100	1.007	1.199	2.00	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.0000	0.000	2.881	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	0.00	0.75	3.76	0.00	0.00	0.63	0.03			
1.8	4.9	0.11	34	26.15	17.1	15.17	2.43	2.75	2.75	6.76	0.31	n.a.	V	Clay	43.4	2.00	1.00	15.18	15.1	n.a.	0.99	0.260	1.00	n.a.	1.100	1.005	1.105	2.00	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.0000	0.000	2.881	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	0.00	0.70	3.47	0.00	0.00	0.60	0.03			
1.9	11.1	0.09	36	27.17	38.7	27.83	0.84	2.20	2.33	9.40	0.75	2.04	V	Saturated	23.5	2.00	1.00	27.87	27.9	45.2	0.99	0.264	1.00	0.1	1.100	1.008	1.148	0.56	1.70	0.500	0.943	0.512	0.200	0.102	0.0448	0.009	-1.718	0.957	0.4	0.40	1.00	0.99	0.73	0.95	0.28	31.2								

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W. , 2009



PROVA CPTu 2



Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I_p < 3.60$
Silt Mixtures	4	$2.60 < I_p < 2.95$
Sand Mixtures	5	$2.05 < I_p < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I_p < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.31$

After Robertson and Wride (1998).
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

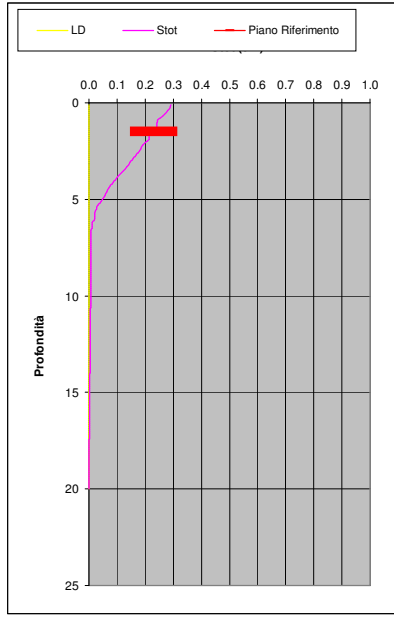
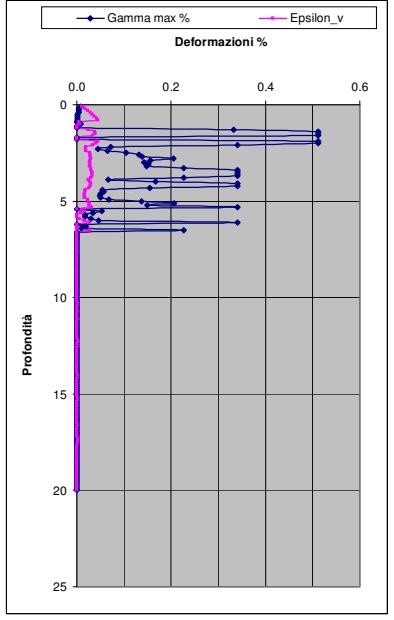
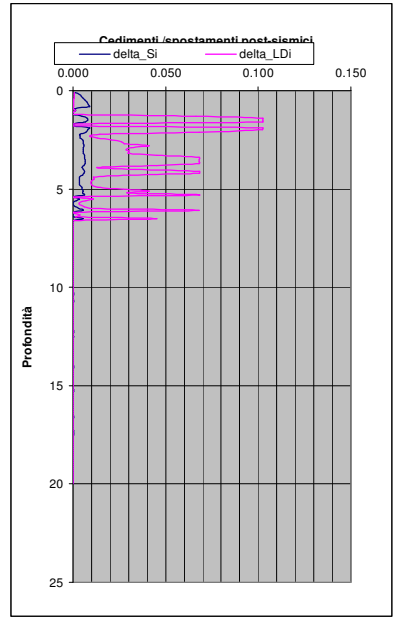
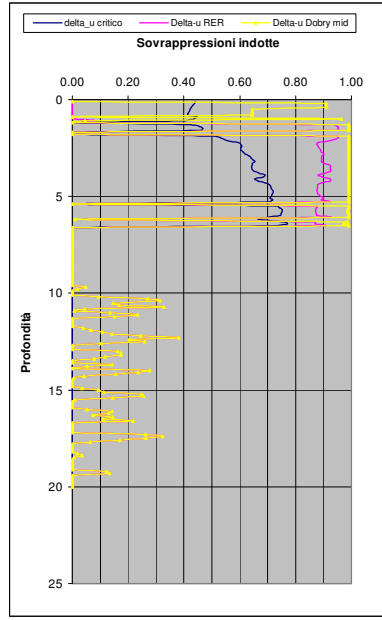
- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.22$
Clays	3	$2.82 < I_p < 3.22$
Silt Mixtures	4	$2.54 < I_p < 2.82$
Sand Mixtures	5	$1.90 < I_p < 2.54$
Sands	6	$1.25 < I_p < 1.90$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.25$

LEGENDA

- Qc** = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC** = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- FsN** = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F** = rapporto di frizione
- Qtn** = parametro di resist. alla punta normal.
- lcn** = Soil behaviour index normalized (ad)
- qc1N-cs** = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH** = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd** = stress reduction coefficient (ad)
- CN** = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- K_σ** = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- K_{σz}** = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSF** = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S.** = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR** = Cyclic Stress ratio (ad)
- CRR** = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L.** = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL** = Indice del potenziale di liquefazione (ad)
- y_{max}** = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ε_v** = vertical reconsolidation strain
- Δsi** = cedimento i-esimo dello strato (mt)
- Su** = S_u / σ'_{vc} resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Sur** = S_{ur} / σ'_{vc} resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qc1N-sr** = Resist. alla penetz. corretta all'FC e normalizzata
- Sr** = S_r / σ'_{vc} resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- Ruc** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- Δu RER** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ sovrappressioni circ. 112/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Δu Dobry M.** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry L.** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry U.** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ Dobry et al. 1984 "Upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot** = Cedimento post-sismico totale (mt)
- LDI** = Lateral Displacement Index (mt)
- Dr** = Densità relativa (ad)
- ϕ = angolo di attrito interno (deg)
- OCR** = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- St** = coefficiente di sensitività delle argille (ad)

Probability	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_G$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_G \leq 0.9$	high
$0.3 < P_G \leq 0.7$	medium
$0.1 < P_G \leq 0.3$	low
$P_G \leq 0.1$	extremely low to none



LDI = 1.893 Stot = 0.230

IPL = 9.37

LD = 0.00

PG = 0.88

CPT-based liquefaction triggering analysis for a single sounding

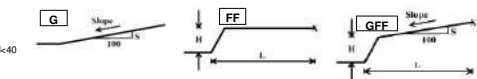
Environment= C Hill-H Plain-P Coast=C
 Behaviour= SC Sand like-S

Computed constants:
 Rd = Blake (IB' 2007 - 'Cetin' 2004 - 'NCEER' - 'Blake')
 α (N) = 101.32 (cov 0.30-35%)
 MSF NCEER Q = 8
 Patm = 101.32
 N = 35.7
 MSF NCEER Q = 8
 Patm = 101.32
 N = 35.7
 MSF NCEER Q = 8
 Patm = 101.32

Probabilità e Potenzialità di liquefazione			Probabilità e suscettibilità di liquefazione		
Probabilità	Pot di Liq.	iPL	Probabilità	Suscettibilità	
0.65iPL<0.88	Molto Alto	iPL<15	0.65iPL	Quasi certa	
0.35iPL<0.48	Alto	15<iPL<15.15	0.35iPL	Molto prob.	
0.15iPL<0.35	Moderato	15.15<iPL<15.2	0.15iPL	50% prob.	
PL<0.15	Basso	0.15iPL<0.35	PL<0.15	Non prob.	
NON LIQ.	Molto basso	iPL>15.2	PL<0.15	No flow quasi certa	

Robertson & Wride, agg. 2009

PROVA "CPTe 2"

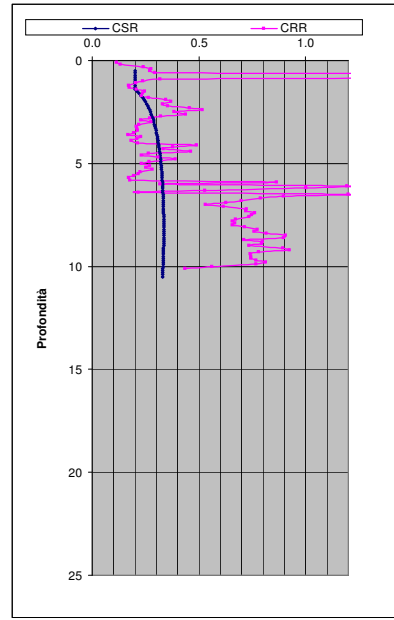
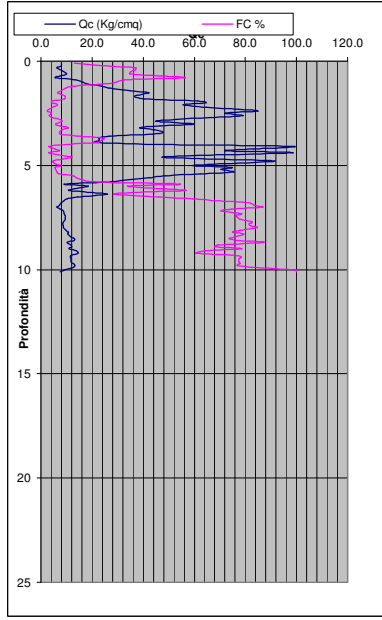


Potential flow failure if (N1)60<cs<10 and (q1Ncs)50 and (q1Ncs)50
 No flow liquefaction if (q1Ncs)65

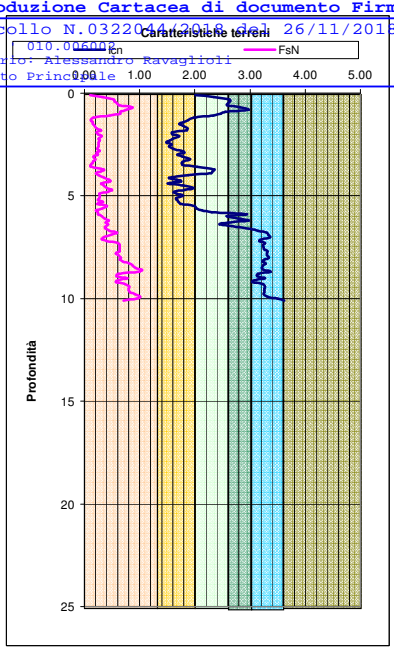
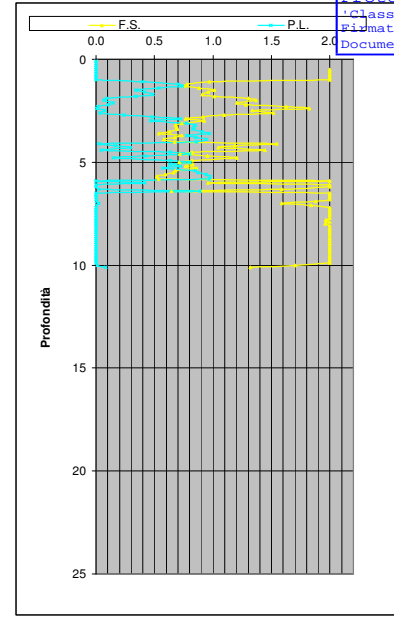
LS	LS Class
85SLs-100	Very high
85SLs-85	High
85SLs-65	Moderate
15SLs-35	Low
0-Ls-15	very low
Ls=0	Non liquel.

Depth (m)	qcN bar	FsN bar	qvc (kPa)	o'vc (kPa)	QI	Qtn	F	lc	lc2	N1(60)	n	Kc	Layer	Flag "Clay" "unavailable"	FC	SPRINGS	Kh	Interprete	q1N	Qtn-cs	Rd	CSR	Ko	MSF	CRR	Factor of Safety FS	MSF SAND	Limiting shear strain	Parameter Fa	Maximum shear strain	AHI	ALD	ev	ΔSi	Func. PL	PL	F	IPL	Au/r	Au/r	Ru	Au/r	Dr	θ	Rue	Su/o'vc	OCR	q1Ncs	residual strength	Su / o'vc	LS severity index			
0.1	8.0	0.10	1.8	1.80	434.8	92.24	1.26	1.57	2.01	25.31	0.62	1.31	V	Unsaturated	13.1	1.00	1.00	92.76	92.8	20.9	1.00	2.02	1.00	-0.3906778	1.00	0.067	0.114	2.00	1.70	0.500	0.943	0.004	0.100	0.000	0.0309	0.003	2.881	0.000	0.0	0.00	1.00	0.00	0.77	0.00	0.00	34.2	0.40	0.00	1.31	117.8	0.15	0.00	0.00	
0.2	7.9	0.32	3.6	3.60	437.7	90.91	3.66	2.12	2.34	30.93	0.74	2.08	V	Unsaturated	24.0	1.00	1.00	91.39	91.4	32.9	1.00	2.02	1.00	-0.3722434	1.00	0.077	0.131	2.00	1.70	0.500	0.943	0.004	0.100	0.001	0.0204	0.004	2.881	0.000	0.0	0.00	1.00	0.91	0.77	0.00	0.51	33.5	0.40	0.00	3.82	116.4	0.15	0.00	0.04	
0.3	6.3	0.53	5.4	5.40	114.1	75.08	7.58	2.53	2.64	31.01	0.86	6.84	V	Unsaturated	37.2	1.00	1.00	75.45	75.5	86.8	1.00	2.02	1.00	-0.286269	1.00	0.141	0.239	2.00	1.70	0.422	0.884	0.002	0.200	0.000	0.0070	0.001	2.881	0.000	0.0	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.46	31.7	0.38	0.00	3.19	120.5	0.16	0.00	0.03	
0.4	7.2	0.54	7.2	7.20	67.63	68.2	2.53	2.63	27.44	0.86	6.65	V	Unsaturated	37.0	1.00	1.00	66.96	67.0	96.1	1.00	2.02	1.00	-0.2333235	1.00	0.163	0.276	2.00	1.70	0.340	0.823	0.002	0.200	0.000	0.0074	0.001	2.881	0.000	0.0	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.44	31.8	0.38	0.00	3.02	112.0	0.14	0.00	0.03		
0.5	8.9	0.59	9	9.00	95.4	65.46	6.08	2.50	2.60	26.37	0.84	5.96	V	Unsaturated	35.3	2.00	1.00	65.53	65.5	94.9	1.00	2.02	1.00	-0.2196104	1.00	0.159	0.271	2.00	1.70	0.350	0.832	0.002	0.200	0.000	0.0082	0.002	2.881	0.000	0.0	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.43	32.2	0.39	0.00	3.07	110.5	0.14	0.00	0.03	
0.6	10.1	0.63	10.8	10.80	90.3	63.25	5.71	2.49	2.59	25.29	0.84	4.36	V	Unsaturated	34.7	2.00	1.00	63.33	63.3	99.9	1.00	2.02	1.00	-0.2018704	1.00	0.173	0.293	2.00	1.70	0.311	0.794	0.002	0.200	0.000	0.0084	0.002	2.881	0.000	0.0	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.43	32.5	0.39	0.00	3.06	108.3	0.13	0.00	0.03	
0.7	7.6	0.87	12.6	12.60	57.8	50.02	10.54	2.82	2.82	23.25	0.99	n.a.	V	Clay	47.1	2.00	1.00	50.06	n.a.	n.a.	1.00	2.01	1.00	n.a.	1.00	1.692	2.871	2.00	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.0000	0.000	2.881	0.002	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	1.33	7.67	0.0	0.00	1.12	0.03		
0.8	5.9	0.76	14.4	14.40	39.0	38.06	11.87	2.97	2.97	19.45	0.99	n.a.	V	Clay	56.2	2.00	1.00	38.09	n.a.	n.a.	1.00	2.01	1.00	n.a.	1.00	1.360	2.308	2.00	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.0000	0.000	2.881	0.002	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	0.00	1.08	5.92	0.0	0.00	0.91	0.03	
0.9	13.6	0.65	16.2	16.20	81.4	4.81	2.46	2.55	23.18	0.83	3.86	V	Unsaturated	32.9	2.00	1.00	59.51	59.5	105.0	1.00	2.01	1.00	n.a.	1.00	0.198	0.319	2.00	1.70	0.276	0.750	0.001	0.200	0.000	0.0007	0.002	2.881	0.000	0.0	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.42	33.6	0.40	0.00	3.26	108.1	0.13	0.00	0.03		
1	16.6	0.65	18	18.00	89.2	3.95	2.37	2.47	23.33	0.83	2.05	V	Unsaturated	29.3	2.00	1.00	63.10	63.1	86.5	0.99	2.01	1.00	-0.1954954	1.00	0.140	0.238	2.00	1.70	0.425	0.896	0.002	0.200	0.000	0.0030	0.003	2.881	0.000	0.0	0.00	0.91	0.64	0.44	0.00	0.42	33.6	0.40	0.00	3.31	106.8	0.10	0.00	0.04		
1.1	18.5	0.45	20	19.00	94.2	61.69	2.49	2.20	23.33	0.89	2.75	V	Saturated	23.7	2.00	1.00	61.78	61.8	75.8	0.99	2.11	1.00	-0.1757657	1.00	0.120	0.204	0.97	1.70	0.500	0.922	0.041	0.200	0.008	0.0114	0.002	2.880	0.000	0.0	0.00	0.99	0.75	0.87	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	23.8	0.16	22	20.06	115.5	62.01	0.69	1.76	1.99	16.78	0.62	1.28	V	Saturated	12.5	2.00	1.00	62.12	62.1	61.1	0.99	2.20	1.00	-0.1760839	1.00	0.101	0.172	0.78	1.70	0.500	0.943	0.108	0.200	0.022	0.0350	0.007	-0.525	0.704	0.2	0.21	1.00	0.99	0.74	0.89	0.42	35.1	0.45	0.00	3.51	87.1	0.10	0.00	0.68	
1.3	26.5	0.11	24	21.06	122.1	62.60	0.42	1.62	1.88	15.78	0.57	1.17	V	Saturated	9.8	2.00	1.00	62.73	62.7	61.8	0.99	2.29	1.00	-0.1780522	1.00	0.102	0.173	0.76	1.70	0.500	0.943	0.123	0.200	0.025	0.0347	0.007	-0.641	0.739	0.2	0.23	1.00	0.99	0.74	0.89	0.42	35.5	0.47	0.00	3.59	72.7	0.08	0.00	0.70	
1.4	34.9	0.15	26	22.08	153.6	76.93	0.43	1.54	1.80	18.45	0.55	1.11	H	Saturated	8.1	2.00	1.00	77.10	77.1	77.1	0.99	2.26	1.00	-0.2562068	1.00	0.123	0.208	0.88	1.70	0.500	0.927	0.062	0.200	0.012	0.0230	0.005	-0.086	0.534	0.1	0.11	1.00	0.99	0.74	0.88	0.47	36.5	0.50	0.00	4.08	87.1	0.10	0.00	0.55	
1.5	42.1	0.15	28	23.10	177.5	86.87	0.37	1.45	1.72	19.79	0.52	1.05	H	Saturated	6.5	2.00	1.00	87.06	87.1	87.6	0.99	2.43	1.00	-0.3037016	1.00	0.145	0.245	1.01	1.70	0.405	0.874	0.031	0.200	0.006	0.0060	0.001	0.408	0.342	0.0	0.02	1.00	0.99	0.76	0.87	0.50	37.1	0.52	0.00	4.40	97.1	0.11	0.00	0.41	
1.6	39.4	0.18	30	24.11	159.0	82.51	0.46	1.55	1.79	19.64	0.54	1.10	H	Saturated	7.8	2.00	1.00	82.68	82.7	86.6	0.99	2.49	1.00	-0.281142	1.00	0.140	0.238	0.96	1.70	0.424	0.886	0.036	0.200	0.007	0.0101	0.002	0.208	0.417	0.0	0.04	1.00	0.99	0.75	0.88	0.49	36.8	0.53	0.00	4.25	92.7	0.11	0.00	0.46	
1.7	36.6	0.22	32	25.13	141.4	78.00	0.60	1.65	1.87	19.53	0.57	1.16	H	Saturated	9.6	2.00	1.00	78.15	78.2	84.8	0.99	2.55	1.00	-0.2570258	1.00	0.137	0.232	0.91	1.70	0.442	0.895	0.054	0.200	0.011	0.0103	0.002	0.200	0.488	0.0	0.08	1.00	0.99	0.75	0.88	0.47	36.4	0.54	0.00	4.08	88.2	0.10	0.00	0.51	
1.8	40.4	0.20	34	26.15	150.2	83.92	0.64	1.65	1.86	20.90	0.57	1.15	H	Saturated	9.4	2.00	1.00	84.09	84.1	93.0	0.99	2.60	1.00	-0.2805710	1.00	0.155	0.263	1.01	1.70	0.365	0.845	0.031	0.200	0.006	0.0058	0.001	0.412	0.340	0.0	0.01	1.00	0.99	0.76	0.87	0.49	36.7	0.55	0.00	4.26	94.1	0.11	0.00	0.40	
1.9	61.3	0.32	36	27.17	219.8	109.44	0.30	1.33	1.59	22.97	0.47	1.00	S	Saturated	4.2	2.00	1.00	109.70	109.7	109.7	0.99	2.64	1.00	-0.3956184	1.00	0.203	0.344	1.30	1.70	0.248	0.708	0.019	0.200	0.004	0.0000	0.000	1.323	0.093	0.0	0.00	1.00	0.99	0.78	0.87	0.56	38.1	0.58	0.00	5.					

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W., 2009



PROVA CPTe 2



Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I_p < 3.60$
Silt Mixtures	4	$2.60 < I_p < 2.95$
Sand Mixtures	5	$2.05 < I_p < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I_p < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.31$

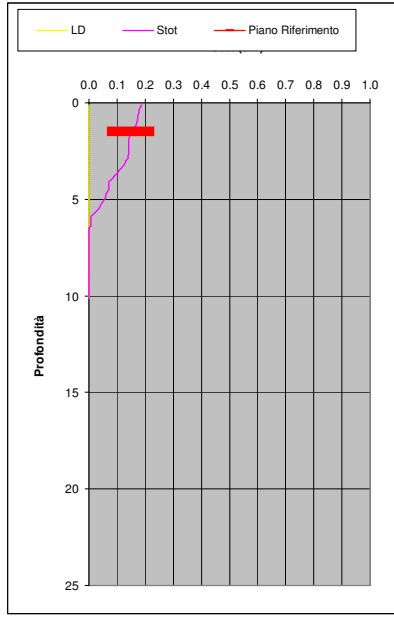
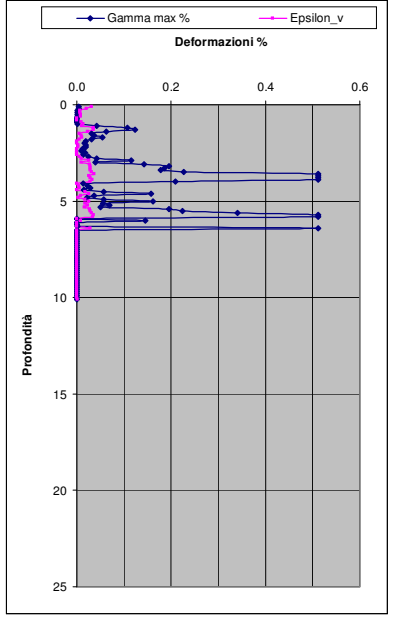
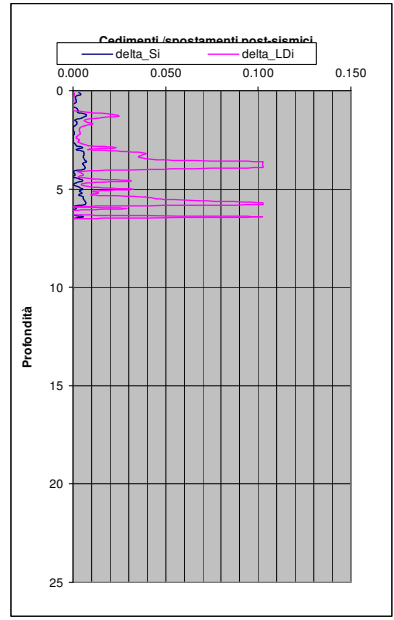
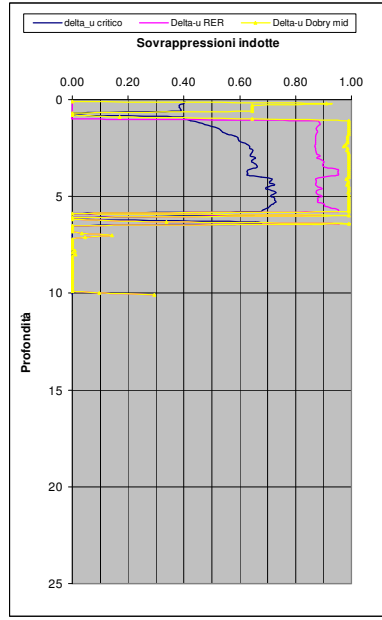
After Robertson and Wride (1998).
*Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.22$
Clays	3	$2.82 < I_p < 3.22$
Silt Mixtures	4	$2.54 < I_p < 2.82$
Sand Mixtures	5	$1.90 < I_p < 2.54$
Sands	6	$1.25 < I_p < 1.90$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.25$

LEGENDA

- Qc** = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
- FC** = Fine content - passante 0.074 mm (%)
- FsN** = Attrito laterale (Kg/cmq)
- F** = rapporto di frizione
- Qtn** = parametro di resist. alla punta normal.
- lcn** = Soil behaviour index normalized (ad)
- qc1N-cs** = Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
- ξ = parametro di stato
- KH** = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
- Rd** = stress reduction coefficient (ad)
- CN** = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
- Kc** = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
- K α** = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
- MSF** = magnitudo scaling factor (ad)
- F.S.** = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
- CSR** = Cyclic Stress ratio (ad)
- CRR** = Cyclic Resistance Ratio (ad)
- P.L.** = Probabilità di liquefazione (ad)
- IPL** = Indice del potenziale di liquefazione (ad)
- y α max** = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
- ϵ_v** = vertical reconsolidation strain
- Δs_i** = cedimento i-esimo dello strato (mt)
- Su** = S_u / σ'_{vc} resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
- Sur** = S_{ur} / σ'_{vc} resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
- qc1N-sr** = Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
- Sr** = S_r / σ'_{vc} resistenza residua - strati incoerenti (ad)
- Ruc** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
- Δu RER** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ sovrappressioni circ. 112/2007 - tabella 2 R.E.R.
- Δu Dobry M.** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry L.** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Δu Dobry U.** = $\Delta u / \sigma'_{vc}$ Dobry et al. 1984 "Upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
- Stot** = Cedimento post-sismico totale (mt)
- LDI** = Lateral Displacement Index (mt)
- Dr** = Densità relativa (ad)
- ϕ** = angolo di attrito interno (deg)
- OCR** = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
- St** = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)



LDI = 1.445 Stot = 0.148

IPL = 6.15

LD = 0.00

PG = 0.41

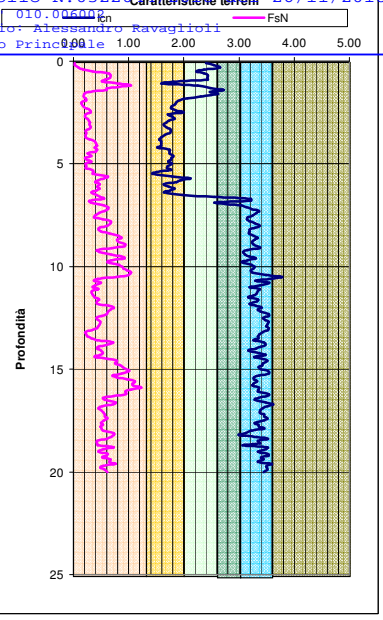
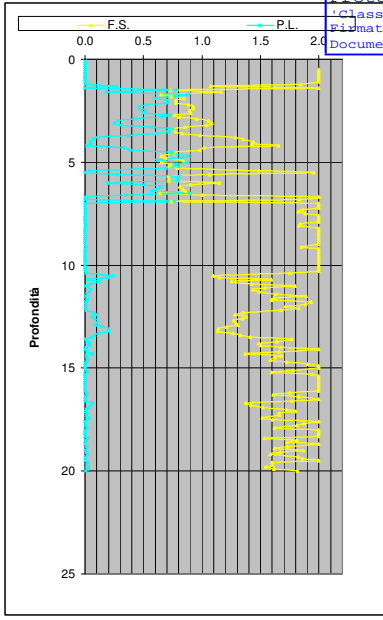
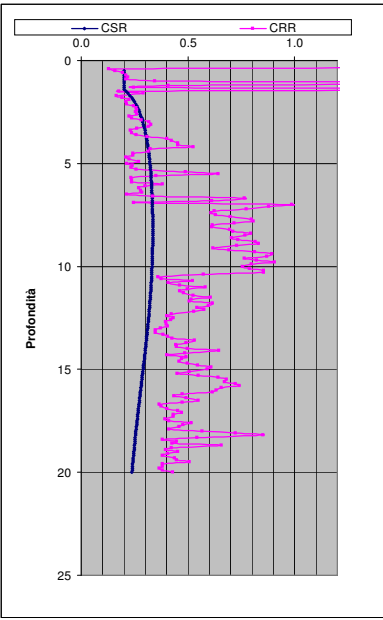
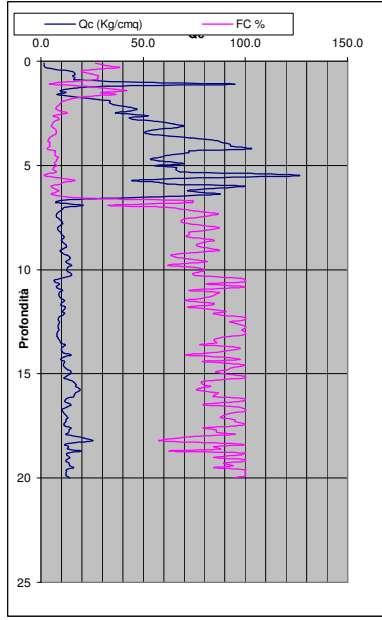
Probability	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_G$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_G \leq 0.9$	high
$0.3 < P_G \leq 0.7$	medium
$0.1 < P_G \leq 0.3$	low
$P_G \leq 0.1$	extremely low to none

Depth (m)	qcN bar - Kg/cm²	Fsn bar - Kg/cm²	svC (kPa)	o'vc (kPa)	Qi	Qtn	F	lc	lcN2	N1(60) Robertson	n	Kc	Layer	Flag "Unreliable"	FC fines content (%) Robertson 2009	SPESORGE (mm) 2009	Kh Thin layer factor	Interpreted qcN	qc1N	Qtn-cs	Rd Stress reduct. coeff.	CSR	Kσ for sand NISEER 1997 - BOUL. 2004	ξ	Kα	CRR for M=7.5 & v=5 atm	CRR	Factor of Safety FS	MSF SAND & CLAY Youd '01 Robertson	Limiting shear strain γlim%	Parameter Fa	Maximum stress Ymax % ZHANG 2004	ΔHI (m)	ΔLDI (m)	ev Vertical recons. Strain	ΔSi (m)	Funct. PL	PL JUANGO 2011 FS1 FS2 FS3 FS4 FS5 FS6 FS7 FS8 FS9 FS10 FS11 FS12 FS13 FS14 FS15 FS16 FS17 FS18 FS19 FS20 FS21 FS22 FS23 FS24 FS25 FS26 FS27 FS28 FS29 FS30 FS31 FS32 FS33 FS34 FS35 FS36 FS37 FS38 FS39 FS40 FS41 FS42 FS43 FS44 FS45 FS46 FS47 FS48 FS49 FS50 FS51 FS52 FS53 FS54 FS55 FS56 FS57 FS58 FS59 FS60 FS61 FS62 FS63 FS64 FS65 FS66 FS67 FS68 FS69 FS70 FS71 FS72 FS73 FS74 FS75 FS76 FS77 FS78 FS79 FS80 FS81 FS82 FS83 FS84 FS85 FS86 FS87 FS88 FS89 FS90 FS91 FS92 FS93 FS94 FS95 FS96 FS97 FS98 FS99 FS100	F	IPL	Δσ'v	Δσ'v	Ru	Δσ'v	Dr	σ'v	Rac	Su/σ'vc	OCR	qc1Ncs	Sr	Sr/σ'vc	Su/r	Ls severity index
10.2	14.6	0.98	202	111.75	11.0	10.99	7.74	3.22	3.22	6.61	1.00	n.a.	L	Clay	74.3	2.00	1.00	11.00	n.a.	n.a.	0.90	0.329	0.98	n.a.	1.00	0.504	0.854	2.00	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.881	0.002	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	0.00	0.57	2.69	0.0	0.00	0.49	0.02	
10.3	14.8	1.05	204	112.77	11.01	11.01	8.21	3.23	3.23	6.70	1.00	n.a.	L	Clay	75.6	2.00	1.00	11.02	n.a.	n.a.	0.90	0.329	0.97	n.a.	1.00	0.504	0.856	2.00	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.881	0.002	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	0.00	0.57	2.69	0.0	0.00	0.49	0.02	
10.4	9.9	1.00	206	113.79	6.7	6.69	11.48	3.49	3.49	4.81	1.00	n.a.	C	Clay	98.1	2.00	1.00	6.70	n.a.	n.a.	0.90	0.328	0.97	n.a.	1.00	0.339	0.574	1.75	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.398	0.008	0.0	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	n.a.	n.a.	0.00	0.45	1.99	0.0	0.00	0.38	0.03	
10.5	6.5	0.79	208	114.81	3.7	3.72	16.15	3.78	3.78	3.23	1.00	n.a.	C	Clay	100.0	2.00	1.00	3.72	n.a.	n.a.	0.89	0.328	0.97	n.a.	1.00	0.211	0.359	1.10	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.696	0.242	0.0	0.00	0.49	0.49	0.49	0.49	n.a.	n.a.	0.00	0.35	1.43	0.0	0.00	0.29	0.17	
10.6	6.8	0.44	210	115.82	3.9	3.93	8.41	3.59	3.59	3.01	1.00	n.a.	C	Clay	100.0	2.00	1.00	3.94	n.a.	n.a.	0.89	0.327	0.97	n.a.	1.00	0.221	0.375	1.15	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.870	0.192	0.0	0.00	0.43	0.43	0.43	0.43	n.a.	n.a.	0.00	0.35	1.47	0.0	0.00	0.30	0.15	
10.7	9.2	0.37	212	116.84	5.9	5.92	4.73	3.30	3.30	3.75	1.00	n.a.	C	Clay	80.8	2.00	1.00	5.92	n.a.	n.a.	0.89	0.326	0.96	n.a.	1.00	0.307	0.521	1.59	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.061	0.020	0.0	0.00	0.14	0.14	0.14	0.14	n.a.	n.a.	0.00	0.43	1.86	0.0	0.00	0.36	0.04	
10.8	7.4	0.50	214	117.86	4.4	4.37	8.53	3.55	3.55	3.27	1.00	n.a.	C	Clay	100.0	2.00	1.00	4.37	n.a.	n.a.	0.89	0.326	0.96	n.a.	1.00	0.241	0.408	1.25	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	1.186	0.118	0.0	0.00	0.35	0.35	0.35	0.35	n.a.	n.a.	0.00	0.37	1.56	0.0	0.00	0.31	0.11	
10.9	8.4	0.39	216	118.88	5.1	5.10	5.62	3.39	3.39	3.44	1.00	n.a.	C	Clay	89.0	2.00	1.00	5.11	n.a.	n.a.	0.89	0.325	0.96	n.a.	1.00	0.272	0.462	1.25	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	1.645	0.050	0.0	0.00	0.23	0.23	0.23	0.23	n.a.	n.a.	0.00	0.40	1.70	0.0	0.00	0.34	0.07	
11.0	10.5	0.35	218	119.90	6.8	6.80	3.77	3.19	3.19	4.02	1.00	n.a.	C	Clay	72.3	2.00	1.00	6.81	n.a.	n.a.	0.88	0.324	0.96	n.a.	1.00	0.243	0.582	1.79	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.485	0.006	0.0	0.00	0.06	0.06	0.06	0.06	n.a.	n.a.	0.00	0.46	2.01	0.0	0.00	0.29	0.03	
11.1	9.1	0.45	220	120.92	5.6	5.59	5.85	3.37	3.37	3.72	1.00	n.a.	C	Clay	87.1	2.00	1.00	5.60	n.a.	n.a.	0.88	0.324	0.96	n.a.	1.00	0.283	0.498	1.54	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	1.927	0.027	0.0	0.00	0.17	0.17	0.17	0.17	n.a.	n.a.	0.00	0.42	1.80	0.0	0.00	0.35	0.05	
11.2	8.6	0.33	222	121.94	5.1	5.11	4.65	3.34	3.34	3.34	1.00	n.a.	C	Clay	84.9	2.00	1.00	5.12	n.a.	n.a.	0.88	0.323	0.95	n.a.	1.00	0.273	0.463	1.43	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	1.674	0.047	0.0	0.00	0.22	0.22	0.22	0.22	n.a.	n.a.	0.00	0.40	1.71	0.0	0.00	0.34	0.06	
11.3	9.0	0.34	224	122.96	5.3	5.34	4.46	3.32	3.32	3.43	1.00	n.a.	C	Clay	82.7	2.00	1.00	5.34	n.a.	n.a.	0.88	0.322	0.95	n.a.	1.00	0.283	0.479	1.49	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	1.808	0.035	0.0	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	n.a.	n.a.	0.00	0.41	1.75	0.0	0.00	0.34	0.05	
11.4	9.0	0.36	226	123.98	6.0	5.98	4.19	3.26	3.26	3.71	1.00	n.a.	C	Clay	78.0	2.00	1.00	5.99	n.a.	n.a.	0.87	0.322	0.95	n.a.	1.00	0.309	0.525	1.63	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.145	0.016	0.0	0.00	0.13	0.13	0.13	0.13	n.a.	n.a.	0.00	0.43	1.87	0.0	0.00	0.36	0.04	
11.5	11.5	0.38	228	125.00	7.2	7.15	3.71	3.17	3.17	4.17	1.00	n.a.	C	Clay	70.6	2.00	1.00	7.16	n.a.	n.a.	0.87	0.321	0.95	n.a.	1.00	0.357	0.606	1.89	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.673	0.004	0.0	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	n.a.	n.a.	0.00	0.47	2.08	0.0	0.00	0.39	0.02	
11.6	9.9	0.47	230	126.01	5.9	5.85	5.56	3.34	3.34	3.82	1.00	n.a.	C	Clay	84.6	2.00	1.00	5.86	n.a.	n.a.	0.87	0.320	0.95	n.a.	1.00	0.304	0.516	1.61	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.099	0.018	0.0	0.00	0.13	0.13	0.13	0.13	n.a.	n.a.	0.00	0.42	1.85	0.0	0.00	0.36	0.04	
11.7	9.8	0.43	232	127.03	5.7	5.74	5.20	3.33	3.33	3.72	1.00	n.a.	C	Clay	83.7	2.00	1.00	5.75	n.a.	n.a.	0.86	0.319	0.94	n.a.	1.00	0.300	0.508	1.59	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.053	0.020	0.0	0.00	0.14	0.14	0.14	0.14	n.a.	n.a.	0.00	0.42	1.83	0.0	0.00	0.36	0.04	
11.8	11.9	0.43	234	128.05	7.3	7.29	4.06	3.18	3.18	4.29	1.00	n.a.	C	Clay	71.8	2.00	1.00	7.29	n.a.	n.a.	0.86	0.318	0.94	n.a.	1.00	0.362	0.615	1.99	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.754	0.003	0.0	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	n.a.	n.a.	0.00	0.47	2.10	0.0	0.00	0.40	0.02	
11.9	11.4	0.64	236	129.07	7.0	7.03	6.15	3.30	3.30	4.48	1.00	n.a.	C	Clay	82.0	2.00	1.00	7.03	n.a.	n.a.	0.86	0.318	0.94	n.a.	1.00	0.352	0.597	1.88	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.659	0.004	0.0	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	n.a.	n.a.	0.00	0.46	2.00	0.0	0.00	0.39	0.02	
12.0	10.7	0.73	238	130.09	6.2	6.24	6.82	3.41	3.41	4.26	1.00	n.a.	C	Clay	80.6	2.00	1.00	6.25	n.a.	n.a.	0.86	0.317	0.94	n.a.	1.00	0.320	0.543	1.72	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.325	0.010	0.0	0.00	0.09	0.09	0.09	0.09	n.a.	n.a.	0.00	0.44	1.92	0.0	0.00	0.37	0.02	
12.1	11.5	0.67	240	131.11	6.7	6.74	6.62	3.34	3.34	4.38	1.00	n.a.	C	Clay	84.3	2.00	1.00	6.74	n.a.	n.a.	0.85	0.316	0.94	n.a.	1.00	0.340	0.577	1.83	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.555	0.005	0.0	0.00	0.06	0.06	0.06	0.06	n.a.	n.a.	0.00	0.45	2.00	0.0	0.00	0.38	0.02	
12.2	10.6	0.63	242	132.13	6.0	6.02	6.89	3.39	3.39	4.05	1.00	n.a.	C	Clay	88.6	2.00	1.00	6.02	n.a.	n.a.	0.85	0.315	0.94	n.a.	1.00	0.311	0.528	1.68	1.70	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000	2.239	0.013	0.0	0.00	0.11	0.11	0.11	0.11	n.a.	n.a.	0.00	0.43	1.88	0.0				

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W., 2009

PROVA CPTu 3

"Riproduzione Cartacea di documento Firmato Digitalmente ai sensi artt 20 e 22 Dl 82/2005"
 Protocollo N.032204/2018 del 26/11/2018
 Class. 010.000000
 Firmato da: Alessandro Ravaglioli
 Documento Principale 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00



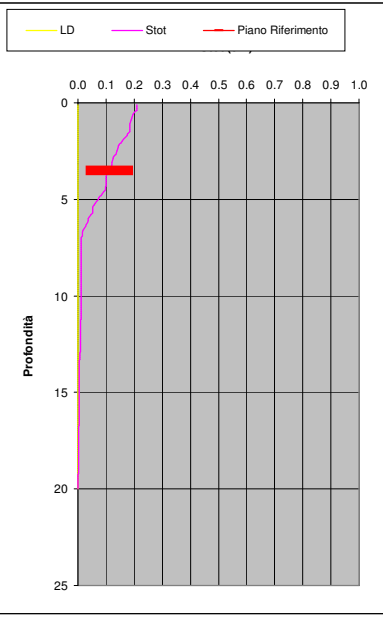
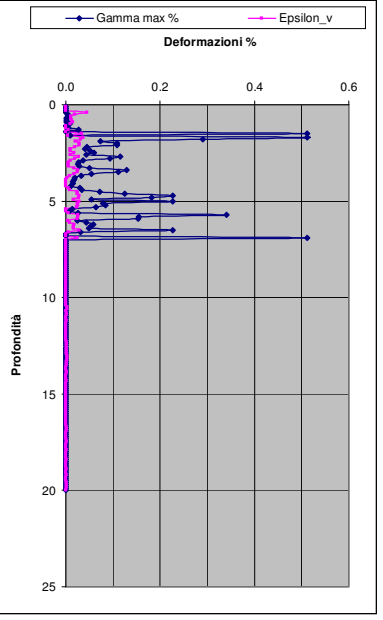
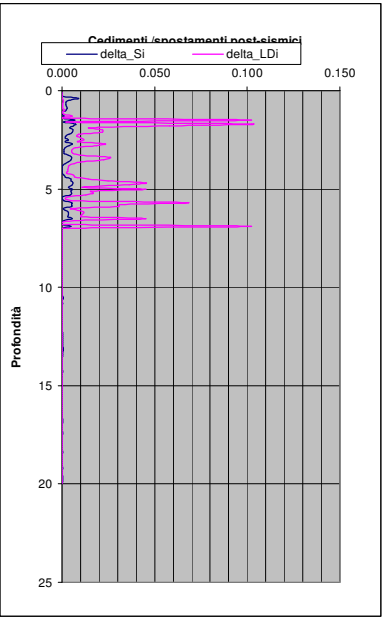
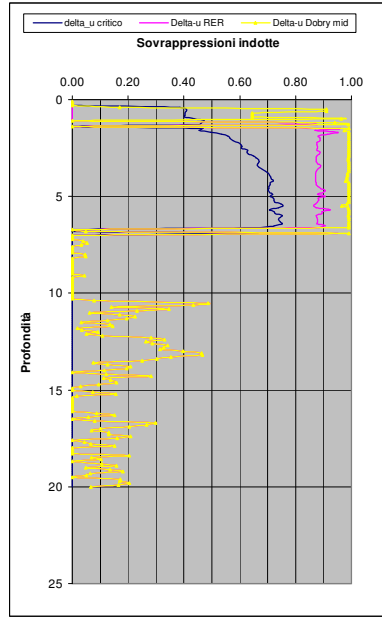
Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I_p < 3.60$
Silt Mixtures	4	$2.60 < I_p < 2.95$
Sand Mixtures	5	$2.05 < I_p < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I_p < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.31$

After Robertson and Wride (1998).
 *Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

Soil Classification	Zone No.*	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.22$
Clays	3	$2.82 < I_p < 3.22$
Silt Mixtures	4	$2.54 < I_p < 2.82$
Sand Mixtures	5	$1.90 < I_p < 2.54$
Sands	6	$1.25 < I_p < 1.90$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.25$

LEGENDA

- Argille - terreni organici
- Argille - argilla/argilla limosa
- Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
- Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
- Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
- sabbie ghiaiose / sabbie dense



- LEGENDA**
- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
 - FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
 - F_{sN} = Attrito laterale (Kg/cmq)
 - F = rapporto di frizione
 - Q_{tn} = parametro di resist. alla punta normal.
 - lcn = Soil behaviour index normalized (ad)
 - qc1N-cs = Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
 - ξ = parametro di stato
 - KH = fatt. correttivo per spessore strato (ad)
 - Rd = stress reduction coefficient (ad)
 - CN = fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
 - K_σ = fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
 - K_σ = fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
 - MSF = magnitudo scaling factor (ad)
 - F.S. = Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
 - CSR = Cyclic Stress ratio (ad)
 - CRR = Cyclic Resistance Ratio (ad)
 - P.L. = Probabilità di liquefazione (ad)
 - IPL = indice del potenziale di liquefazione (ad)
 - γ_{max} = deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
 - ε_v = vertical reconsolidation strain
 - Δs_i = cedimento i-esimo dello strato (mt)
 - S_u = S_u / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
 - S_{ur} = S_{ur} / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
 - qc1N-sr = Resist. alla pentrez. corretta all'FC e normalizzata
 - S_r = S_r / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
 - Ruc = Δu/σ'vc critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
 - Δu RER = Δu/σ'vc sovrappressioni circ. 112/2007 - tabella 2 R.E.R.
 - Δu Dobry M. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Δu Dobry L. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Δu Dobry U. = Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "Upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Stot = Cedimento post-sismico totale (mt)
 - LDI = Lateral Displacement Index (mt)
 - Dr = Densità relativa (ad)
 - Ø = angolo di attrito interno (deg)
 - OCR = rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
 - St = coefficiente di sensibilità delle argille (ad)

Probability	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_G$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_G \leq 0.9$	high
$0.3 < P_G \leq 0.7$	medium
$0.1 < P_G \leq 0.3$	low
$P_G \leq 0.1$	extremely low to none

LDI = 1.113 Stot = 0.111

IPL = 3.65

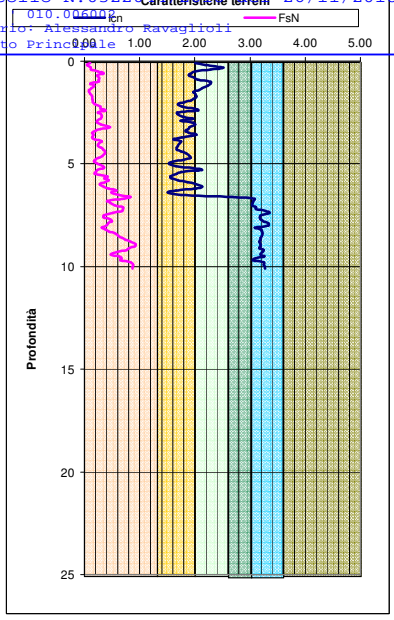
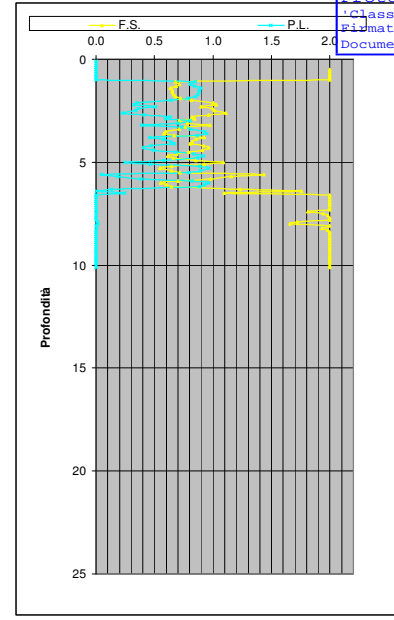
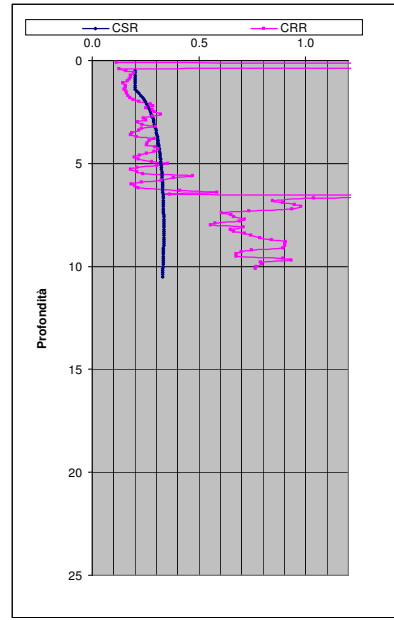
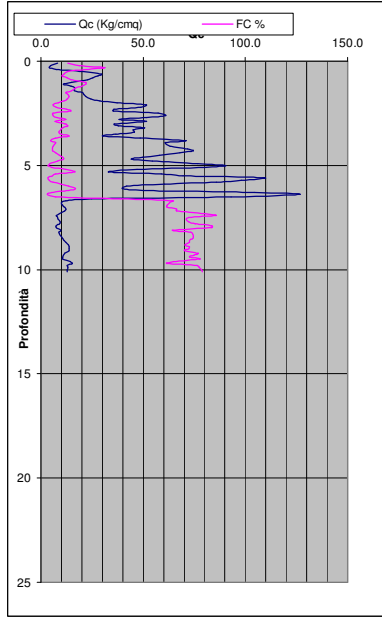
LD = 0.00

PG = 0.11

DIAGRAMMI DI RIFERIMENTO VERIFICA LIQUEFAZIONE - METODO R. & W., 2009

PROVA CPTe 3

"Riproduzione Cartacea di documento Firmato Digitalmente ai sensi artt 20 e 22 Dl 82/2005"
 Protocollo N.032204/2018 del 26/11/2018
 Classificazione: D10.000000
 Firmatario: Alessandro Ravaglioli
 Documento Principale 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00

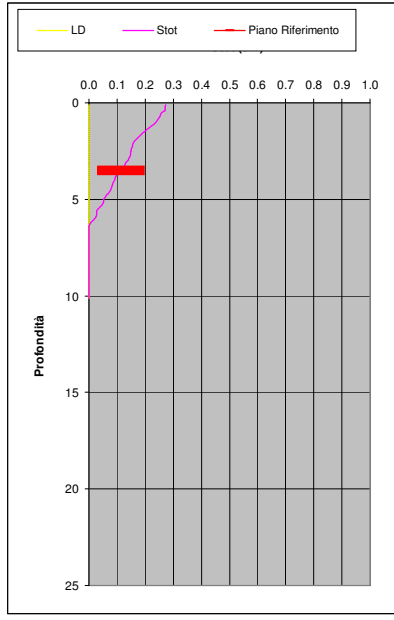
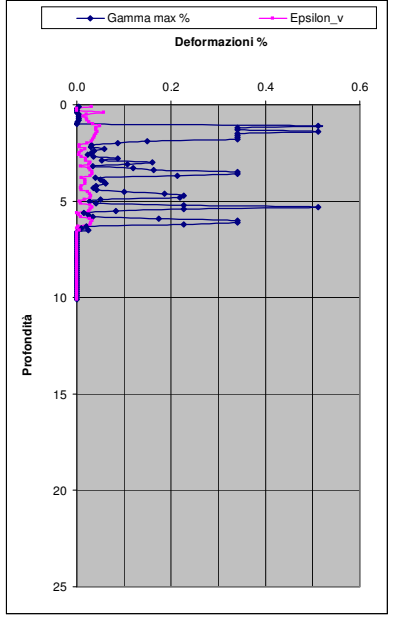
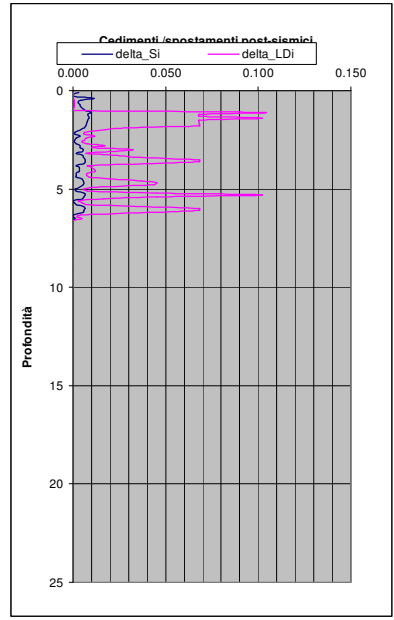
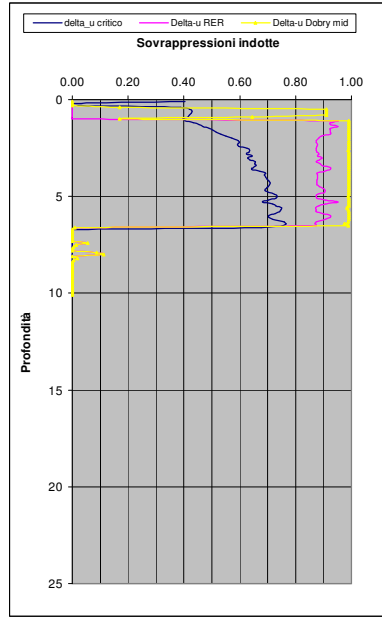


Soil Classification	Zone No. #	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.60$
Clays	3	$2.95 < I_p < 3.60$
Silt Mixtures	4	$2.60 < I_p < 2.95$
Sand Mixtures	5	$2.05 < I_p < 2.60$
Sands	6	$1.31 < I_p < 2.05$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.31$

After Robertson and Wride (1998).
 *Note: Zone number per Robertson SBT (1990).

- LEGENDA**
- Argille - terreni organici
 - Argille - argilla/argilla limosa
 - Miscela di limi - limo argilloso/argilla limosa
 - Miscela di sabbie - sabbia limosa/limo sabbioso
 - Sabbie - sabbie pulite/sabbie limose
 - sabbie ghiaiose / sabbie dense

Soil Classification	Zone No. #	Range of CPT Index I_p Values
Organic Clay Soils	2	$I_p > 3.22$
Clays	3	$2.82 < I_p < 3.22$
Silt Mixtures	4	$2.54 < I_p < 2.82$
Sand Mixtures	5	$1.90 < I_p < 2.54$
Sands	6	$1.25 < I_p < 1.90$
Gravelly Sands	7	$I_p < 1.25$



- LEGENDA**
- Qc = Res. alla penetraz. (Kg/cmq)
 - FC = Fine content - passante 0.074 mm (%)
 - FsN= Attrito laterale (Kg/cmq)
 - F = rapporto di frizione
 - Qtn= parametro di resist. alla punta normal.
 - Icn= Soil behaviour index normalized (ad)
 - qc1N-cs= Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
 - ξ= parametro di stato
 - KH= fatt. correttivo per spessore strato (ad)
 - Rd= stress reduction coefficient (ad)
 - CN= fattore di normalizzazione per carico litostatico (ad)
 - Kσ= fatt. correttivo per sovraccarico-profondità (ad)
 - Kσc= fatt. correttivo per sforzi di taglio (ad)
 - MSF= magnitudo scaling factor (ad)
 - F.S.= Fattore di sicurezza (CRR/CSR con correzioni) (ad)
 - CSR= Cyclic Stress ratio (ad)
 - CRR= Cyclic Resistance Ratio (ad)
 - P.L.= Probabilità di liquefazione (ad)
 - IPL= indice del potenziale di liquefazione (ad)
 - ymax= deformazione di taglio massima indotta dal sisma (%)
 - εv = vertical reconsolidation strain
 - Δsi= cedimento i-esimo dello strato (mt)
 - Su = Su / σ'vc resistenza totale non drenata - strati coesivi (ad)
 - Sur = Sur / σ'vc resistenza totale residua non drenata - strati coesivi (ad)
 - qc1N-sr= Resist. alla penetraz. corretta all'FC e normalizzata
 - Sr = Sr / σ'vc resistenza residua - strati incoerenti (ad)
 - Ruc = Δu/σ'vc critico - stima sogliadi innesco fenomeni di instabilità/liquefazione
 - Δu RER Δu/σ'vc sovrappressioni circ. 112/2007 - tabella 2 R.E.R.
 - Δu Dobry M. Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "mean" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Δu Dobry L. Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "lower bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Δu Dobry U. Δu/σ'vc Dobry et al. 1984 "Upper bound" x sabbie-Robertson '09 x argille
 - Stot= Cedimento post-sismico totale (mt)
 - LDI= Lateral Displacement Index (mt)
 - Dr= Densità relativa (ad)
 - Ø= angolo di attrito interno (deg)
 - OCR= rapporto di sovraconsolidazione (sabbie e argille) (ad)
 - St= coefficiente di sensitività delle argille (ad)

Probability	Description of the risk of liquefaction-induced ground failure
$0.9 < P_G$	extremely high to absolutely certain
$0.7 < P_G \leq 0.9$	high
$0.3 < P_G \leq 0.7$	medium
$0.1 < P_G \leq 0.3$	low
$P_G \leq 0.1$	extremely low to none

LDI = 1.726 Stot = 0.115

IPL = 4.84

LD = 0.00

PG = 0.22

LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI- METODO DI ROBERTSON & WRIDE, agg. 2009

I metodi semplificati di calcolo della liquefaccibilità richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento. Essi permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza (F_s), dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (R) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (T). Quest'ultimo viene ricavato dalla relazione:

$$T = 0.65 \cdot A \cdot \sigma_{v0} / \sigma_{v0}' \cdot r_d$$

dove:

A = accelerazione sismica massima = A_g / g

g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;

σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

σ_{v0}' = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile e consigliato secondo le seguenti relazioni:

NCEER (Idriss): $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m

NCEER (Blake):

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.5729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)}$$

Idriss-Golesorkhi:

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo attesa del sisma ($M \leq 7.5$), ricavabile e consigliato con le rel.:

	<i>Sand:</i>	<i>Clay:</i>
	$MSF = 6.9 \exp\left(-\frac{M_w}{4}\right) - 0.058$	$MSF = 1.12 \exp\left(-\frac{M_w}{4}\right) + 0.828$
NCEER Idriss: $MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$	Idriss-Boulangier 2007: $MSF \leq 1.8$	$MSF \leq 1.13$

Seed-Idriss, 1982: $(-0.24 * M_w) + 2.7533$

ANDRUS, 1997: $(M_w / 7.5)^{-3.3}$

Il metodo di Robertson e Wride adottato permette di correlare la resistenza al taglio mobilata nel terreno ($CRR_{7.5}$), sia per terreni incoerenti che coerenti, con i risultati della prova penetrometrica statica (CPT-CPTU). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

- **sabbie:**

$$CRR_{7.5} = 0.883 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50$$

$$CRR_{7.5} = 93 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160$$

- **argille:**

Indice di Comportamento del suolo $I_c > 2.60$: $CRR_{7.5} = 0.074 (Q_{tn})^{0.8}$ (Robertson 2008) o analogamente: $0.8 * Su / \sigma_{v0}'$ (Idriss-Boulangier 2007)

La grandezza $(q_{c1n})_{cs}$ rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente. Il calcolo di $(q_{c1n})_{cs}$ avviene attraverso i seguenti passaggi.

- Si calcola la resistenza alla punta e l'attrito laterale specificamente normalizzati con le relazioni:

$$Q = (q_c - \sigma_{v0}') / \sigma_{v0}' \quad F = 100 f_s / (q_c - \sigma_{v0}') \times 100$$

$$Q_{tn} = [(q_t - \sigma_v) / p_a] (p_a / \sigma_{v0}')^n \quad (\text{Zhang, 2002 Robertson, 2008})$$

n = stress exponent that varies with SBTn

$$p_a = \text{atmospheric pressure in same units as } q_t \text{ and } \sigma_v \quad n = 0.381 (I_c) + 0.05 (\sigma_{v0}' / p_a) - 0.15 \quad \text{con } n \leq 1.0$$

dove:

q_c / q_t (kg/cmq) = resistenza alla punta misurata (q_t corretta da u_2 per le CPTu);

f_s (kg/cmq) = attrito laterale specifico misurato;

σ_{v0} (kg/cmq) = pressione verticale totale;

σ_{v0}' (kg/cmq) = pressione verticale efficace.

- Si calcola l'indice di tipo del terreno con la formula:

$$I_e = [(3.47 - \log Q_{tn})^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$$

- L'esponente n viene valutato inizialmente $n=1$ e dopo iterativamente si sostituisce in.

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_{vc}'} \right)^n$$

e si ricalcola I_c con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log_{10} F + 1.22)^2 + (3.47 - \log_{10} Q)^2}$$

- se $q_{c1n} > 2q_c$ si pone $q_{c1n} = 2q_c$.

- si applica un fattore correttivo che $K_H = 1.0 + 0.25[(H/d_c)/17 - 1.77]^2$

$q_c^* = K_H (q_c)_{thin}$

- Si applica una correzione che tenga conto dell'approfondimento della prova e della pressione di confinamento:

$q_{c1n} = C_N q_c$ dove è consigliato: Liao 1987 $C_N = \left(\frac{1}{\sigma'_{v0}}\right)^n \leq 1.7$ oppure Idriss Boulanger 2004:

$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}}\right)^{1.338 - 0.249(q_{c1N})^{0.264}} \leq 1.7$

- Si introduce la correzione dovuta alla presenza di fine nel livello sabbioso:

$(q_{c1n})_{cs} = K_c q_{c1n}$,

dove K_c è uguale a 1, se $I_c \leq 1.64$, in caso contrario è fornito dalla relazione:

$K_c = -0.403 I_c^4 + 5.581 I_c^3 - 21.63 I_c^2 + 33.75 I_c - 17.88$

Il fattore di sicurezza finale rapportato alla magnitudo stimata è quindi: **FS = CRReq/CSR = CRR7.5*MSF* Kσ* Kα/CSR** ove:

CRReq = valore di CRR rapportato alla magnitudo attesa ed ai relativi fattori correttivi

Kσ = $(\sigma'_v/P_a)^{-0.25} \leq 1.0$ (fatt. correttivo per sovraccarichi e carico litostatico)

oppure (Boulanger, 2004)

$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_{vc}}{P_a}\right) \leq 1.1$ $C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1N})^{0.264}} \leq 0.3$

Kα = (fatt. correttivo per sforzi di taglio) e ξ_R = parametro di stato - sabbie

$K_\alpha = a + b \cdot \exp\left(\frac{-\xi_R}{c}\right)$

$a = 1267 + 636\alpha^2 - 634 \exp(\alpha) - 632 \cdot \exp(-\alpha)$

$b = \exp(-1.11 + 12.3\alpha^2 + 1.31 \cdot \ln(\alpha + 0.0001))$

$c = 0.138 + 0.126\alpha + 2.52\alpha^3$

$\alpha = \frac{\tau_s}{\sigma'_{vc}}$

$\xi_R = \frac{1}{Q - \ln\left(\frac{100(1 + 2K_\alpha)\sigma'_{vc}}{3P_a}\right)}$

con $-\left(0.478(q_{c1N})^{0.264} - 1.063\right) e^{-0.6 \leq \xi_R \leq 0.1}$ $\alpha \leq 0.35$

-argille

$K_\alpha = 1.344 - \frac{0.344}{\left(1 - \frac{\alpha}{0.22 \cdot OCR^{0.8}}\right)^{0.638}}$

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia $F_s > 1$, con la possibilità di valutare il F_s solo nei materiali incoerenti (soil behaviour "S") oppure anche nei coerenti (opzione "SC").

Inoltre tramite l'opzione "Fs limite" può essere definito un fattore di sicurezza di riferimento eventualmente diverso da 1.

Allo scopo di definire il "potenziale di liquefazione" per la verticale indagata viene considerato il coefficiente LPI come inizialmente proposto da Iwasaki, 1982 e di seguito modificato da Somnez, 2003:

$LPI = \int_0^{20m} Fw(z) dz$ dove $FS \leq 1$ for $F = 1 - FS$ $w(z) = 10 - 0.5z$

$W(z) = 0$ for $z > 20m$ $F(z) = 0$ for $F_L \geq 1.2$
 $= 2 \times 10^6 e^{-18.427 F_L}$ for $1.2 > F_L > 0.95$
 $F(z) = 1 - F_L$ for $F_L < 0.95$

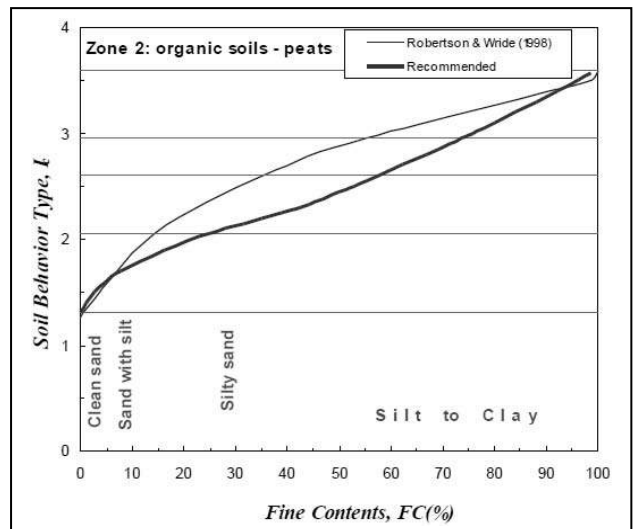
La "suscettibilità alla liquefazione" viene definita tramite una stima percentuale del potenziale innesco desumibile per ciascuno strato con la relazione probabilistica di Juang, 2011, tarata sullo specifico metodo di Robertson, secondo cui:

$P_L = 1 - \Phi\left[\frac{0.102 + \ln(F_s)}{0.276}\right] = 1 - \Phi\left[\frac{0.102 + \ln(CRR) - \ln(CSR)}{0.276}\right]$

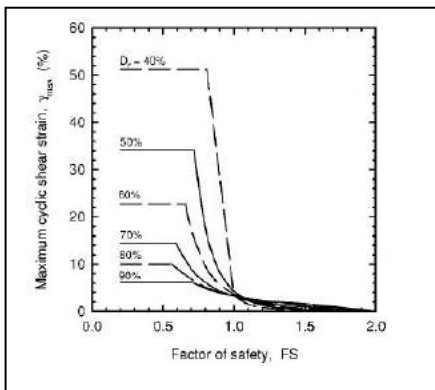
considerando che per $F_s=1$ $PL=0.356$ e $F_s=1.2$ $PL=0.15$

Una stima del contenuto in fine (FC%) per depositi incoerenti e, quindi, della relativa suscettibilità alla liquefazione, può essere ottenuta sulla base delle relazioni di Robertson (1998) e Fred Yi (2009) ritenute idonee rispettivamente per depositi costieri e depositi alluvionali secondo le seguenti curve di riferimento:

Sulla base di esperienze locali in sito ed in laboratorio, in depositi alluvionali (Enviroment: "Plain") il comportamento "Clay-like" viene definito oltre che dall'indice I_c anche dalla stima del contenuto in fini generalmente $FC > 45\%$ tramite la relazione di Yi, 2009.



La stima degli spostamenti attesi (LD) per siti in pendio debole (Gently) e/o prossimi a scarpate naturali/antropiche (free face) viene sviluppata secondo la stima dell'LDI (lateral displacement index - Zhang, 2004) secondo una stima delle deformazioni di taglio determinata con le relazioni del medesimo autore, 2004:



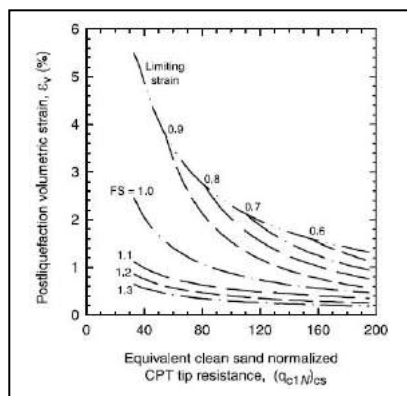
$$LDI = \int_0^{z_{max}} \gamma_{max} \cdot dz$$

“G” Gently sloping $\frac{LD}{LDI} = S + 0.2$ (for $0.2\% < S < 3.5\%$)

“F” Free face $\frac{LD}{LDI} = 6 \cdot \left(\frac{L}{H}\right)^{-0.8}$ (for $4 < L/H < 40$)

“GFF” gently sloping with a free face $\bar{LD} = \left((S + 0.2) + 6(L/H)^{-0.8} \right) \sum \Delta LD$

La determinazione dei cedimenti post - sismici compressivi attesi per la verticale indagata viene definita integrando le deformazioni volumetriche di ciascuno strato per la profondità sondate sulla base delle seguenti relazioni: Zhang 2002 per sabbie sature, direttiva R.E.R. 2007 tab. 7 per sabbie asciutte, Robertson 2009 per argille.



$$S_{v-1D} = \int_0^{z_{max}} \epsilon_v \cdot dz$$

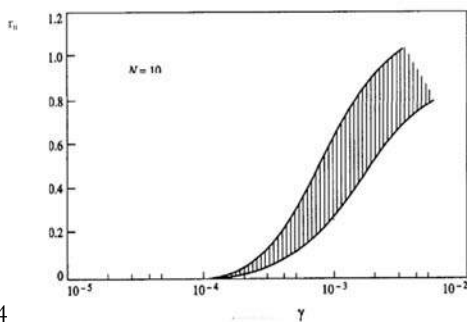
Zhang, 2002 – sabbie sature:

Robertson, 2009 – argille $\epsilon_{vol} = [0.8 - 2.66 \log (FS)] / [0.33 A (Q_m)^3]$

a _{max} [g]	ϵ_v		
	(N ₁) ₆₀ = 10	(N ₁) ₆₀ = 20	(N ₁) ₆₀ = 40
0.05	0.02	0.01	-
0.10	0.03	0.015	-
0.15	0.05	0.02	-
0.20	0.07	0.03	0.005
0.25	0.12	0.04	0.007
0.30	0.15	0.05	0.010
0.35	0.18	0.06	0.015
0.40	0.23	0.075	0.02

Tab. 7 – RER 2007 – sabbie asciutte:

La valutazione delle sovrappressioni indotte dal sisma può essere stimata per le sabbie sia tramite la tab. 2 della direttiva R.E.R. 2007 che tramite le curve di Upper bound – Mean – Lower bound proposte da Dobry et Al, 1984; per le argille viene utilizzata la relazione proposta da Robertson, 2009:



Dobry et Al. 1984

tab. 2 RER, 2007

γ_{max} [%]	r_u
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

Robertson, 2009 $r_u = [0.8 - 2.66 \log (FS)] / OCR$ where: $r_u \leq 1.0$, when $FS = 0.84$

Viene individuata anche una soglia critica di Ru (Ruc) di potenziale instabilità/innesco liquefazione dei materiali incoerenti tramite la relazione proposta da Igwe et Al. 2005 secondo cui: $(\sigma^* \tan(\theta) / 1 + \tan(\theta)) / \sigma^* v$

Infine viene definita una stima delle resistenze residue attese per ciascuno strato incoerente e coerente a seguito del rispettivo potenziale fenomeno di liquefazione e/o degradazione ciclica:

- Idriss - Boulanger 2008 (sabbie):

$$\frac{S_r}{\sigma'_{vo}} = \exp \left(\frac{q_{c1Ncs} - S_r}{24.5} - \left(\frac{q_{c1Ncs} - S_r}{61.7} \right)^2 + \left(\frac{q_{c1Ncs} - S_r}{106} \right)^3 - 4.42 \right) \times \left(1 + \exp \left(\frac{q_{c1Ncs} - S_r}{11.1} - 9.82 \right) \right) \leq \tan \phi' \quad (83)$$

Fines content (% passing No. 200 sieve)	Δq_{c1N-Sr}
10	10
25	25
50	45
75	55

in cui $q_{c1Ncs-Sr}$ viene determinato tramite la correzione proposta da Seed, 1987

Δq_{c1N-Sr} Seed, 1987

- Robertson 2008 (argille): $s_{ur}/\sigma'_{vo} = f_s/\sigma'_{vo} = (F_r \cdot Q_{tn}) / 100$

Altri parametri complementari

OCR sabbie (Mayne, 2005):
$$OCR = \left[\frac{0.192}{1 - \sin \phi'} \left(2.092 \left(\frac{D_s}{100} \right) + 2.224 \right)^{0.833} \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.22} \right]^{1/(n_{sk} - 0.27)} \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right) \leq 2.89$$

OCR argille (Mayne e Mitchell, 1988):

$(3.55) * (((qc - \sigma'_{v0}) / Nk) / \sigma'_{v0})^{0.66}$

Su (Ladd, 1991-Lunne 1997): $0.26 * OCR^{0.8}$

Dr (Robertson 2009): $(Q_{tn} / K_{dr})^{0.5}$ con $K_{dr} = 350$

ϕ' (Kulhawy-Mayne 1990): $\phi' = 17.6^\circ + 11.0^\circ \cdot \log(q_{n1}) - (9.33Dr^3 - 5.122Dr^2 + 3.753Dr - 0.013)$ (correz: Chen - Juang)

n.b.: In caso di utilizzo di dati derivati da prove CPT meccaniche, sulla base di verifiche di raffronto con prove CPTU e CPTE eseguite in terreni analoghi in sito e/o in aree vicine, appartenenti al medesimo contesto deposizionale e caratterizzati da valori di resistenza alla punta e distribuzione granulometrica comparabili, i valori di resistenza laterale di ciascuna lettura (denominati "FsN" - colonna C del foglio di calcolo) possono essere ragguagliati secondo adeguati e cautelativi coefficienti riduttivi riscontrati sperimentalmente.

**GEOLOGIA
E
AMBIENTE**

Studio di Geologia
via del marinaio, 32 - Rimini 47900
tel. 0541/722574
339/1361620

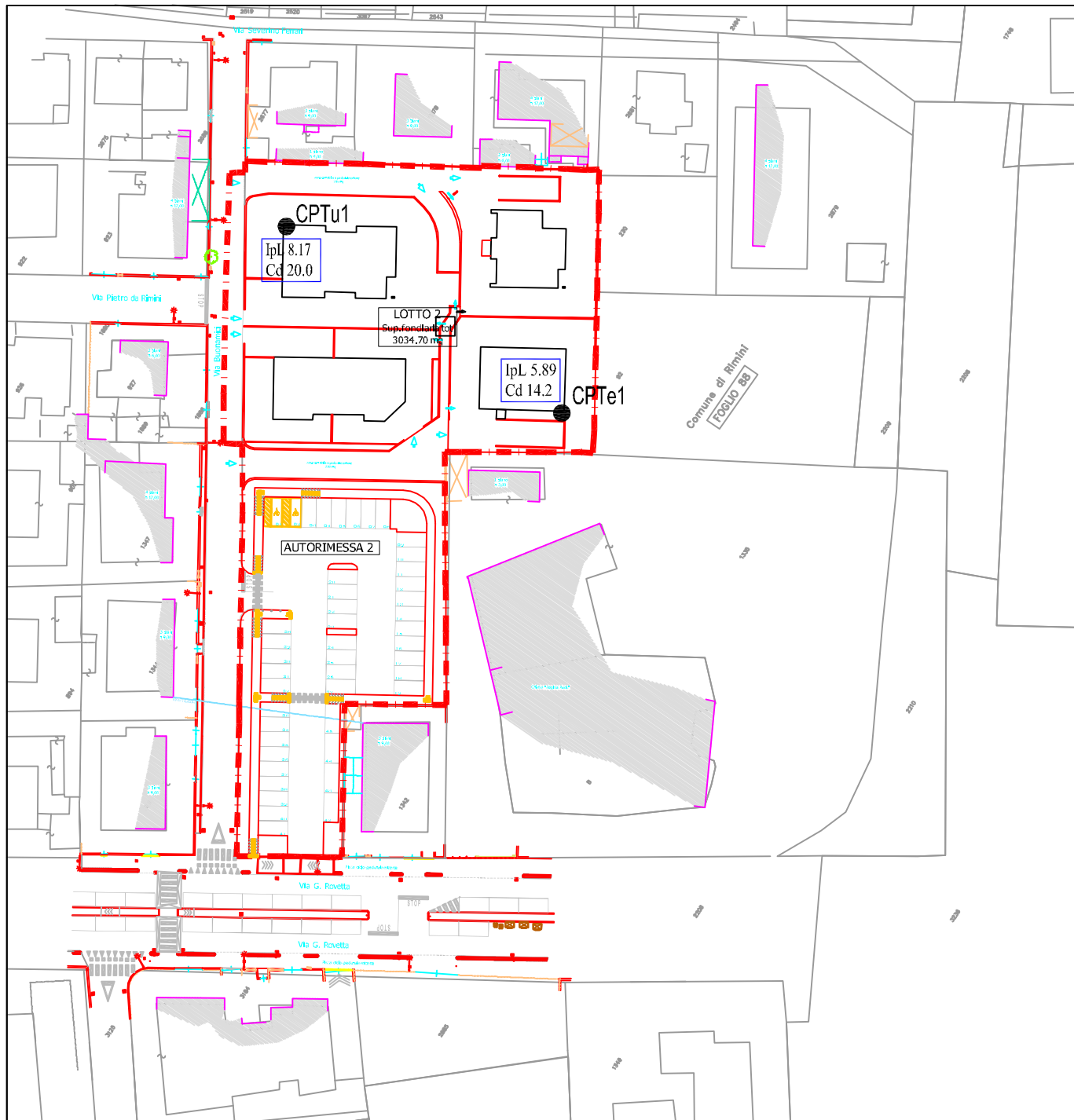
Allegato n. 11

Rif. 2044

Scala 1 : 1000

marzo 2013

CARTA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E DEI CEDIMENTI SISMICI ATTESI



CPTu1

● Prova CPTu - 2013

CPTe1

● Prova CPTe - 2013

IpL 3.56

Cd 6.5

IpL = potenziale di liquefazione
Cd = cedim. post sismico atteso (cm)

--- Area di Piano Part.

**GEOLOGIA
E
AMBIENTE**

Studio di Geologia
via del marinaio, 32 - Rimini 47900
tel. 0541/722574
339/1361620

Allegato n. 1

Rif. 2044

Scala 1 : 1000

marzo 2013

CARTA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E DEI CEDIMENTI SISMICI ATTESI

LEGENDA

CPTu1

● Prova CPTu - 2013

CPTe1

● Prova CPTe - 2013

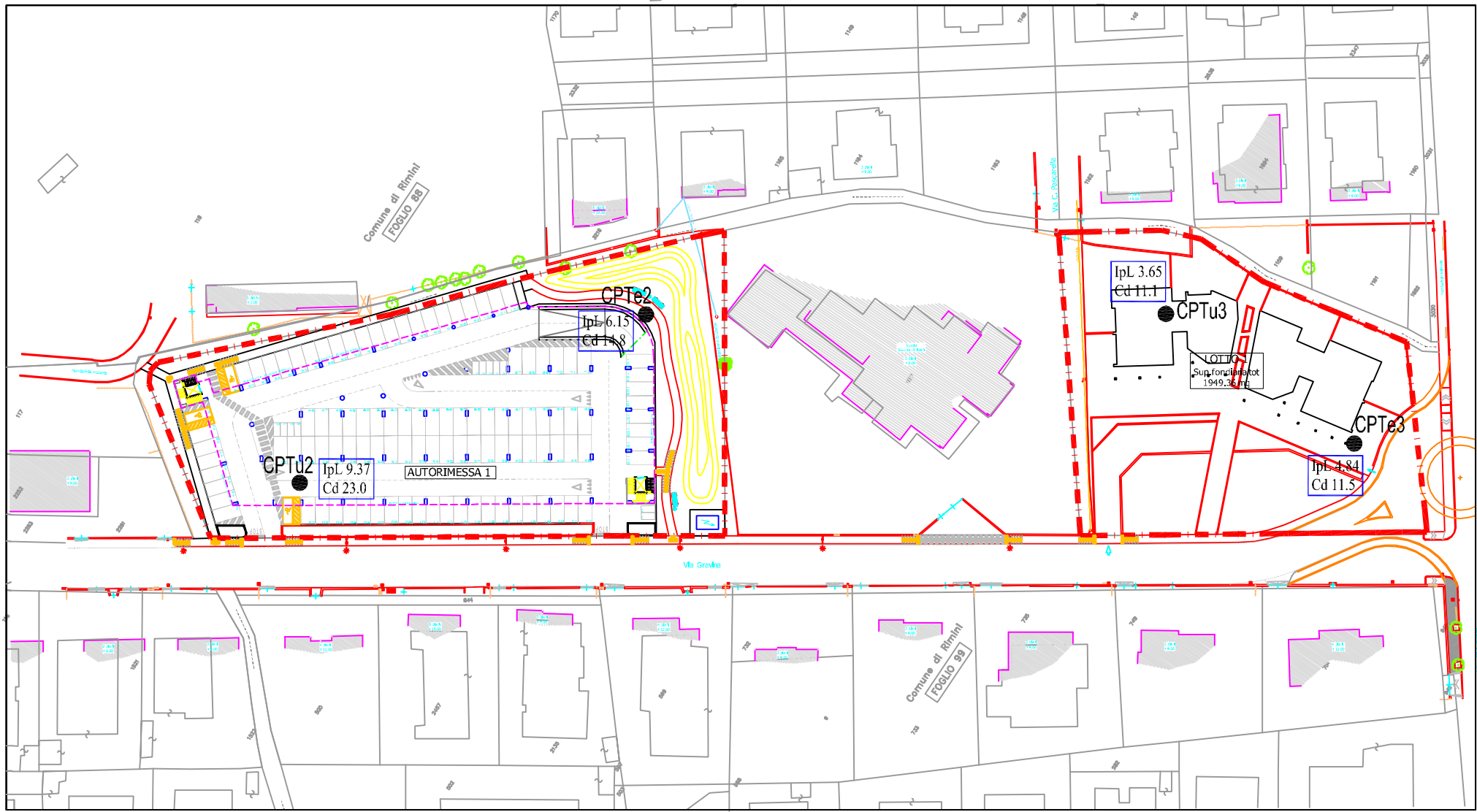
IpL 3.56

Cd 6.5

IpL = potenziale di liquefazione

Cd = cedim. post sismico atteso (cm)

--- Area di Piano Part.

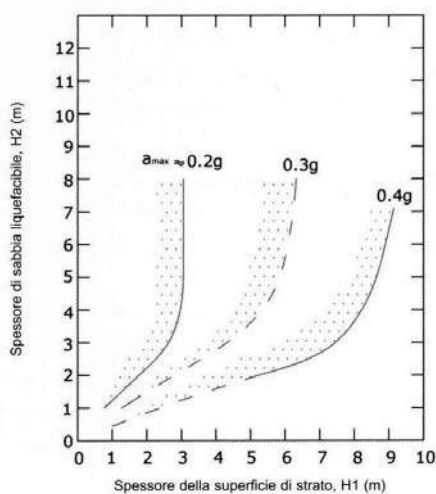


ALLEGATO N. 12

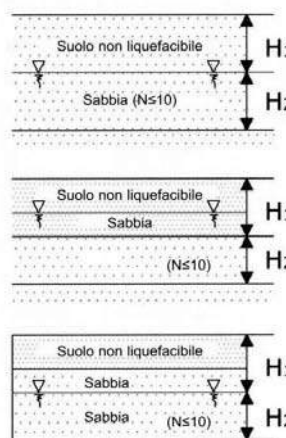
MANIFESTAZIONI SUPERFICIALI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Valutazione delle manifestazioni superficiali in funzione del rapporto fra lo spessore dello strato superficiale non liquefacibile e quello sottostante liquefacibile

Accelerazione [gal] 1 gal = 1 cm/s ²	Condizione	Propagazione della liquefazione verso l'alto	Manifestazioni superficiali
200	$h_1 \geq 3 \text{ m e } h_2 < 3 \text{ m}$	IMPEDITA	NO
	$h_1 \leq 3 \text{ m e } h_2 > 3 \text{ m}$	NON IMPEDITA	SI
300	$h_1 < 5 \text{ m e } h_2 > 4 \text{ m}$	NON IMPEDITA	SI
	$h_1 > 5 \text{ m e } h_2 < 4 \text{ m}$	IMPEDITA	NO
400 - 500	$h_1 < 7 \text{ m e } h_2 > 3 \text{ m}$	NON IMPEDITA	SI
	$h_1 > 7 \text{ m e } h_2 < 3 \text{ m}$	IMPEDITA	NO

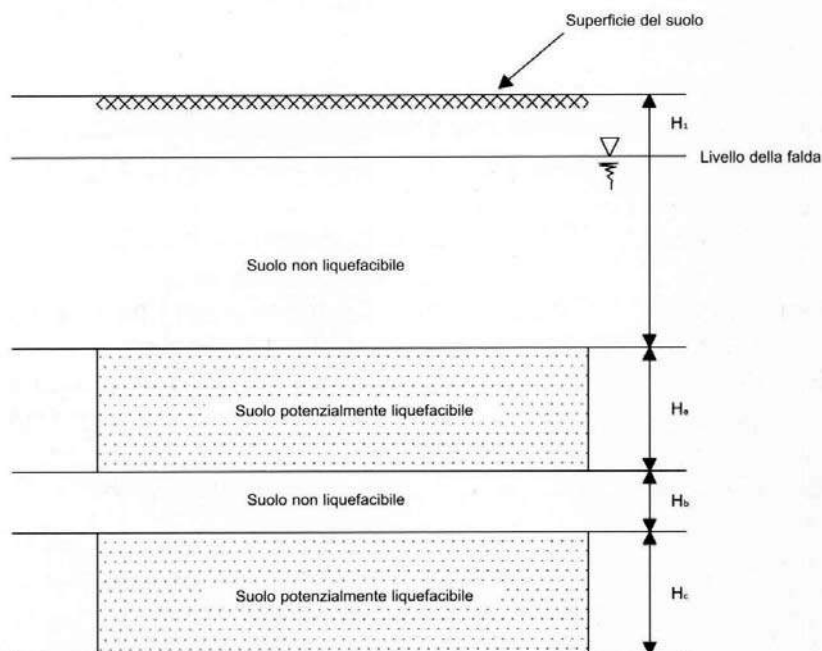


(a)



(a)

Relazione fra lo spessore dello strato liquefacibile e lo spessore dello strato sovrapposto (Ishihara, 1985)



se $h_b \leq h_c$ $h_2 = h_a + h_b + h_c$

se $h_b > h_c$ $h_2 = h_a$

Diagramma schematico per la determinazione di h_1 e h_2