

PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI RUSSI

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI INSEDIAMENTO
INDUSTRIALE CON LA COSTRUZIONE DI FABBRICATO PER LA
LAVORAZIONE DI CARPENTERIA METALLICA E RELATIVA
MODIFICA ALLA DESTINAZIONE URBANISTICA DELL'AREA
PREVISTA DELL'INTERVENTO.

RELAZIONE GEOLOGICA-TECNICA

(CON PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA)

COMMITTENTE:	OFFICINA GRAZIANI S.R.L - VIA 4 NOVEMBRE 80 - 48026 RUSSI (RA) -
PROPRIETA':	SOC. EMAS S.A.S DI SILVAGNI GABRIELE VIA AMMONITE N.46/A - SANTERNO

REDATTO:

Dott. Geol.Oberdan Drapelli

N°938 ORDINE DEI GEOLOGI DELL'EMILIA ROMAGNA

REV.	0	EMISSIONE NOVEMBRE 2015		
	1			
	2			

DRAPELLI DR. OBERDAN -GEOLOGO-
STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
48121 RAVENNA, VIA CERCHIO, 57
TEL E FAX 0544-202700 CELL. 338 8439633
E-MAIL oberdandrapelli@alice.it
C.F. DRP BDN 68T22 H199Z P.IVA 01442260392

INDICE:

1: GENERALITA'	2
1.1: RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI	3
2: MODELLO GEOLOGICO.....	8
2.1: GEOLOGIA LOCALE.....	11
2.2. SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)	13
2.3. - SUBSINTEMA DI RAVENNA (AES8)	15
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	18
4. IDROGEOLOGIA LOCALE.....	19
5: EVENTUALI ESECUZIONI DI CASSE DI LAMINAZIONE.....	21
6: ALTIMETRIA.....	21
7: VINCOLI DEL PIANO DI BACINO	22
8: VINCOLI DEL P.T.C.P.....	23
9: INDAGINI ESEGUITE SUL TERRENO	28
9.1: STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO	29
10: MODELLO GEOTECNICO	31
10.1: CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI E MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	31
10.2: VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI.....	32
10.3: SCELTA DELL'APPROCCIO DI PROGETTO	33
10.4: DETERMINAZIONE DEL VALORE DI PROGETTO DELLE AZIONI "ED"	34
10.4. STATO LIMITE ULTIMO-STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLU-SLE)	35
10.5: PREVISIONE DEGLI ASSESTAMENTI	38
11: SISMICITA' DELL'AREA.....	39
11.1. MISURE DIGITALI DEL RUMORE SISMICO ESEGUITE CON IL "TROMINO" – SASW-MASW	39
11.2: STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	45
12: CONCLUSIONI	47

1: GENERALITA'

La presente relazione, a corredo degli adempimenti amministrativi, viene redatta per la richiesta di progetto per la realizzazione di insediamento industriale con la costruzione di fabbricato per la lavorazione di carpenteria metallica e relativa modifica alla destinazione urbanistica dell'area prevista dell'intervento da realizzarsi nel Comune di Russi nella Frazione di Borgo Zampartino un un area compresa tra via Godo Vecchia, via Renzi e Via Gallignani. Il terreno in esame si trova nella porzione di pianura romagnola compresa tra i fiumi Lamone e Montone. Il presente studio inteso a verificare l'idoneità dell'area da un punto di vista geologico agli usi proposti, è basato sull'analisi estesa ad un adeguato intorno degli aspetti geomorfologici, litologici, e idrologici in modo da caratterizzare l'area nel suo insieme in quanto rivestono particolare importanza ai fini della futura edificazione. Una volta definiti gli obiettivi dell'indagine, si e' proceduto alla raccolta dei dati esistenti in bibliografia ed ai sopralluoghi di campagna. Per meglio caratterizzare la natura dei terreni si sono realizzate n° 2 prove penetrometriche statiche eseguite con punta meccanica (cpt) spinte fino alla profondità di -15/20 m ciascuna dal piano di campagna originario in modo da acquisire i parametri litologici e geotecnici necessari a verificare l'edificabilità di massima. inoltre per determinare il parametro Vs 30 si è eseguita una indagine geofisica mediante masw abbinata al tromino digitale. Tale indagine è stata realizzata dal dott. Geol. Strocchi Stefano.

1.1: RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

- A.G.I. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini Giugno 1977
- UNI Ente Nazionale Italiano di unificazione
- D.M. 11.03.88
- Circ. LL.PP. 24.09.88 n. 30483
- D.M. 09.01.96 circ. n°218/24/3
- Circ. ministero LL.PP.del 10/04/97 di cui al DM 16/01/96 norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- DPR 380/01 – Testo unico dell'edilizia
- L.R. n°20/2000 - Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio
- L.R. n°31/2002 Disciplina generale dell'edilizia
- O.P.C.M. n°3274 del 20/03/2003 normative tecniche per le costruzioni in zona sismica e successive modifiche.
- D.M. del 14.09.2005 “Norme Tecniche per le Costruzioni” e successive modifiche
- D.M. del 14.01.2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” e successive modifiche.

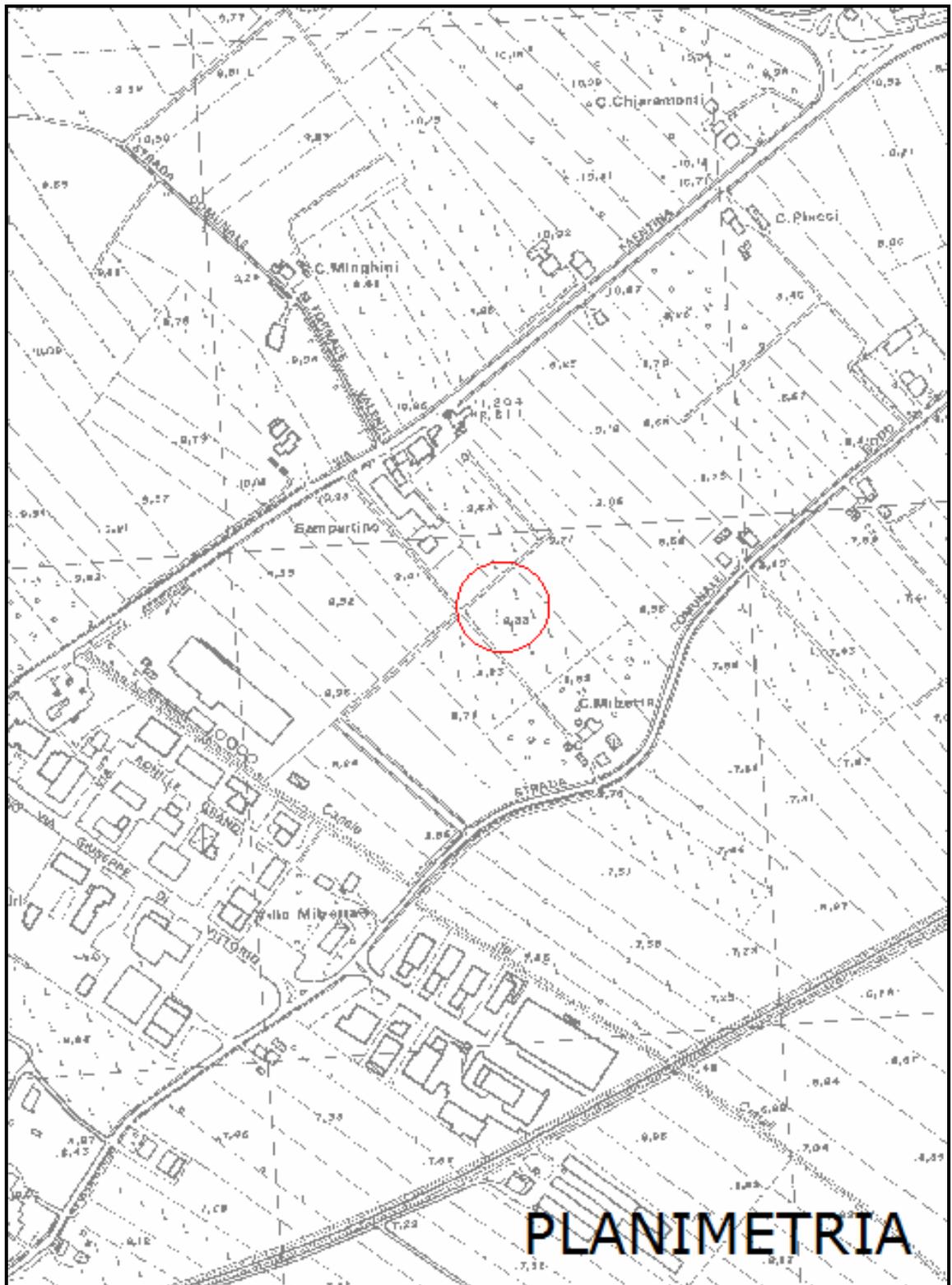


Figura 1: planimetria (base ctr)

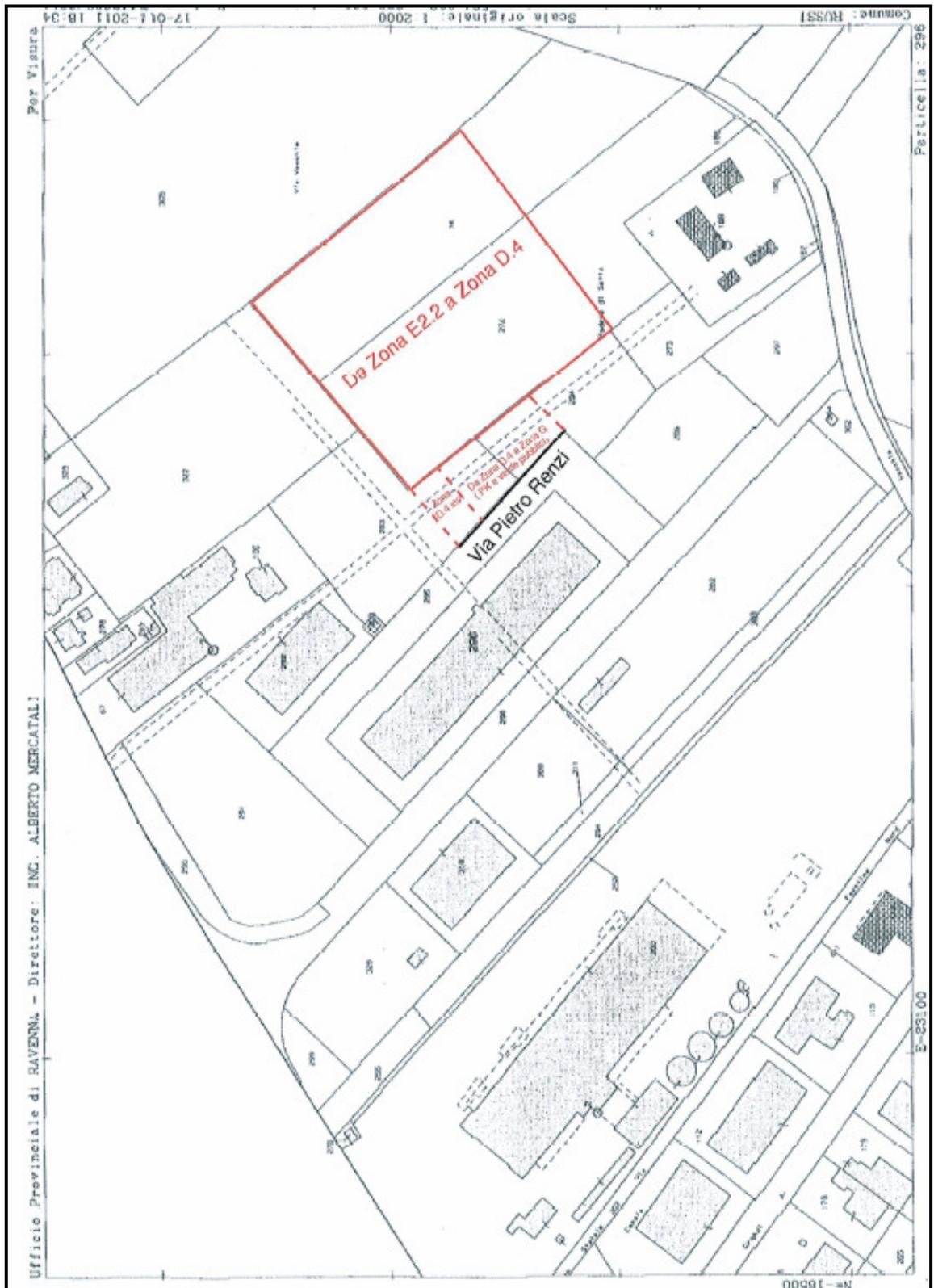


Figura 2: planimetria CATASTALE

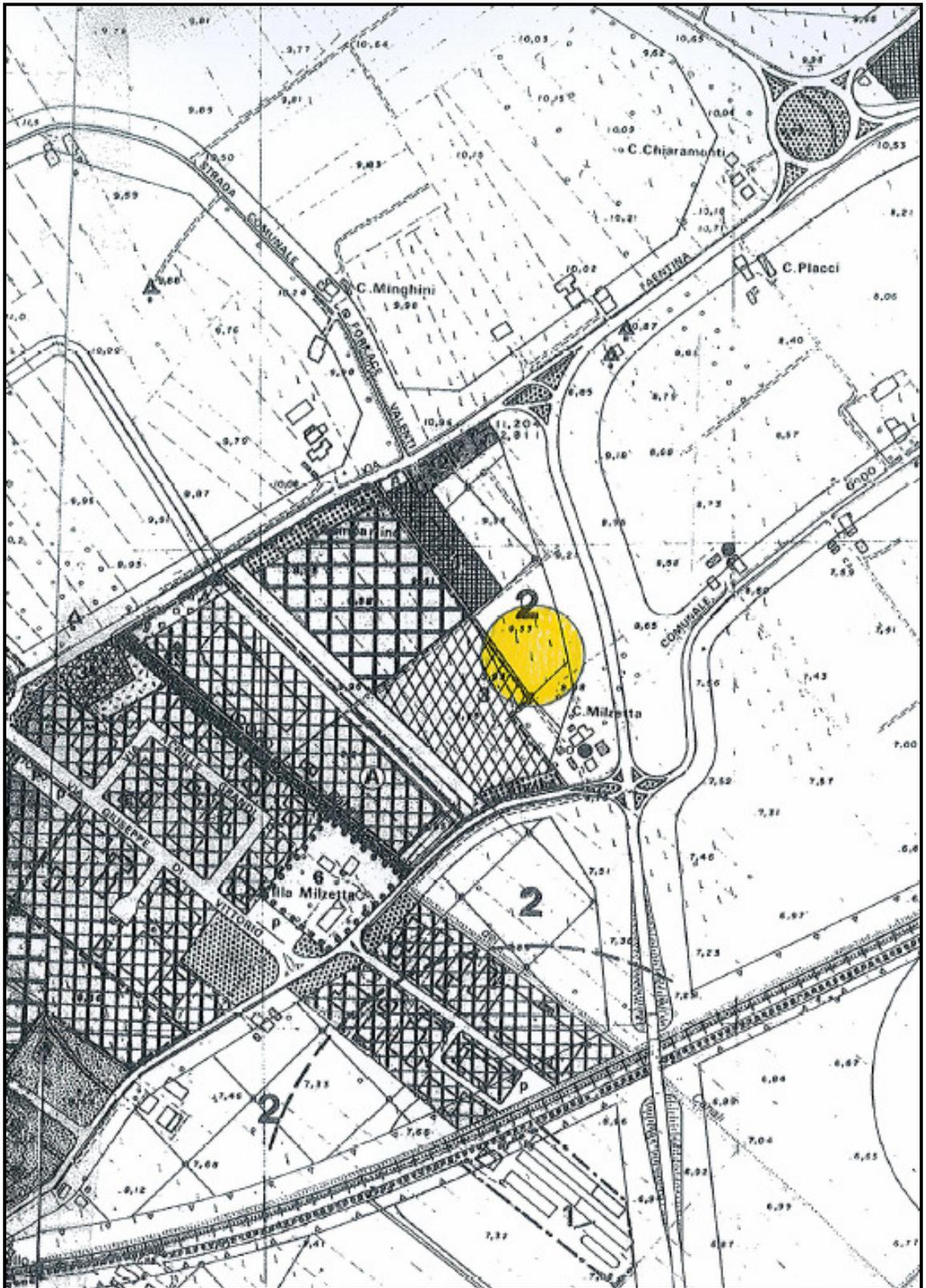


Figura 3: planimetria; stralcio p.r.g.

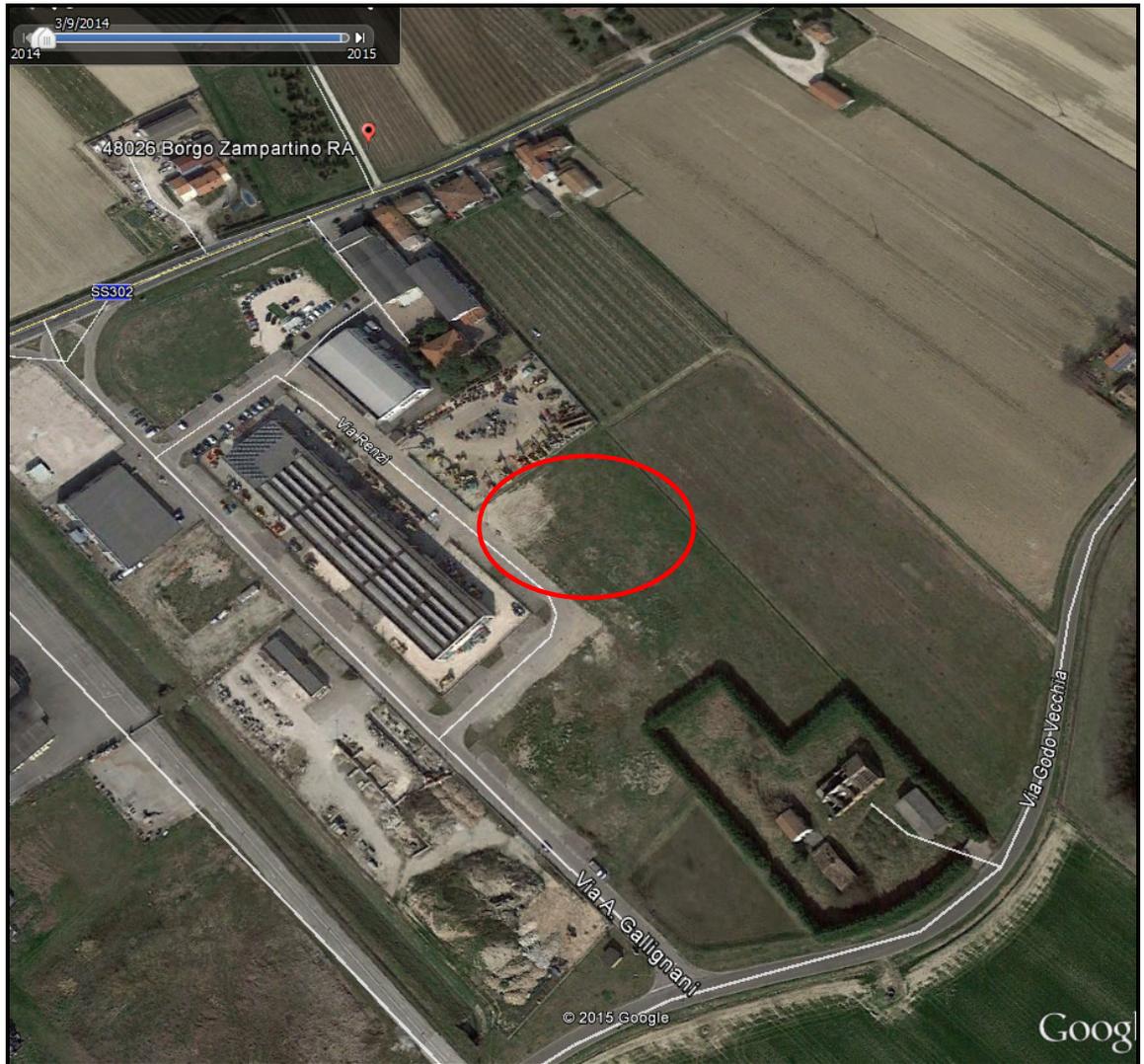


Figura 4: planimetria (base google)

2: MODELLO GEOLOGICO

Il territorio del Comune di Russi, è inserito nel settore romagnolo dell'ampio bacino sedimentario padano; nel sottosuolo sono presenti successioni di depositi marini, deltizi, lagunari, palustri ed alluvionali di età pliocenico-quadernaria che poggiano su un substrato caratterizzato da una complessa configurazione a pieghe e pieghe-faglie. Gli elementi tettonici profondi, rilevati principalmente tramite prospezioni geofisiche effettuate dall'AGIP per la ricerca di idrocarburi, fanno parte delle pieghe adriatiche con asse parallelo ai principali lineamenti strutturali appenninici NO - SE e sono procedendo da nord verso sud:

- anticlinale di Argenta, Alfonsine
- sinclinale di Miravalle, Conselice
- anticlinale di Minerbio, Villa Serraglio
- sinclinale di Budrio, Bubano

Su questo substrato, caratterizzato da pieghe e faglie, si sono deposte le prime formazioni marine del Pliocene superiore e del Quaternario marino caratterizzati da frequenti variazioni litologiche con corpi sabbiosi isolati intercalati da livelli argillosi sabbiosi e limo argillosi. In seguito col Quaternario continentale si sono avuti depositi clastici di varia natura e dimensioni, messi in posto dalle alluvioni dei fiumi appenninici.

Il Comune di Russi è inserito nel Foglio 240 della Carta geologica d'Italia al 50.000. L'analisi del Foglio 240 è stata affrontata con l'obiettivo di ricostruire l'assetto tridimensionale dei depositi della pianura e di rappresentarlo tramite la carta geologica di superficie (Carta Geologica *sensu stricto*), la carta di sottosuolo e numerose sezioni geologiche realizzate con diversi gradi di dettaglio (Foglio Allegato alla Carta Geologica - Geologia di Sottosuolo). Per questo motivo il rilevamento

geologico del Foglio è stato condotto attraverso l'analisi integrata di dati di superficie e di sottosuolo e, nell'ambito della Carta Geologica d'Italia, proprio la cartografia di sottosuolo qui prodotta costituisce un elemento di novità che viene considerato dai realizzatori del Foglio un importante strumento propedeutico per le analisi geologiche delle aree di pianura. Questo lavoro è stato realizzato grazie alla disponibilità di un archivio di dati stratigrafici: la banca dati geognostici, realizzata dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. La banca dati, inoltre, è stata arricchita di nuove prove geognostiche, quali sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche e trivellate manuali, eseguite ad hoc durante il rilevamento del Foglio. I Fogli 240 e 241 (Fig. 1) si estendono dalle città di Forlì e Russi (rispettivamente a SO e NO del Foglio 240) fino al tratto di costa del Mare Adriatico compreso fra Cesenatico ed il Lido di Dante (Ravenna). Tutta l'area in esame è occupata dai depositi tardo-quadernari della Pianura Padana mentre i depositi pedecollinari del margine appenninico affiorano poco più a sud, nell'area di interesse del Foglio 255 Cesena. Le quote topografiche più elevate sono intorno a 45-50 m s.l.m. e si hanno nell'angolo di SO, presso Forlì. Il piano topografico scende progressivamente verso NE fino a raggiungere il livello del mare nella zona costiera. L'unica area topograficamente depressa al di sotto del livello del mare ha un'estensione relativamente limitata ed è presente nella pianura costiera a ridosso di Fosso Ghiaia (Valle Standiana). Anche a SO di Cervia è presente un'area relativamente depressa, sebbene non raggiunga quote inferiori al livello del mare, che è occupata da un'ampia salina (le saline di Cervia). Nell'area in esame è presente un fitto reticolo di corsi d'acqua. I fiumi principali, che scorrono da SO verso NE, seguendo il

gradiente topografico regionale, sono (da O verso E) il F. Lamone, presente solo marginalmente nello spigolo di NO, il F. Montone (compresa la sua confluenza con il F. Rabbi, presente nello spigolo SO presso Forlì), il F. Ronco ed il F. Savio. I fiumi Montone e Ronco confluiscono insieme immediatamente a sud di Ravenna e formano i Fiumi Uniti. I corsi d'acqua secondari sono dati da una fitta rete di torrenti, fossi, scoli e canali di bonifica che drenano, in gran parte, la bassa pianura nord orientale. Il settore orientale del Foglio 240 e l'intera porzione emersa del Foglio 241 sono occupati dalla pianura costiera, che si assottiglia progressivamente verso SE e si caratterizza per la presenza di estesi cordoni dunari, localmente solcati dai corsi d'acqua che raggiungono il Mare Adriatico. Sia i Fiumi Uniti che il F. Savio hanno la loro foce in questo settore del litorale adriatico. L'area marina, è caratterizzata da una fascia interna sabbiosa, corrispondente alla spiaggia sommersa, che si estende fino all'isobata -6 m e da una esterna con fondale a basso gradiente e prevalentemente fangoso.

L'assetto strutturale dei depositi quaternari riflette in parte l'andamento delle strutture che interessano la base del Pliocene sopra descritte. Esso è illustrato nella sezione 6 di REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) che parte dal margine appenninico a ridosso di Forlì e prosegue fino a Ravenna. Da questo lavoro è possibile apprezzare il significativo controllo strutturale sulle geometrie dei depositi quaternari. In particolare si segnala: 1) la marcata espansione stratigrafica dei depositi pleistocenici medio superiori dal margine appenninico verso la pianura aperta con spessori che variano da 0 a c.a. 600 m; 2) la segmentazione di questo settore del bacino padano in due aree depocentrali presenti una a NO fra gli alti strutturali di Ravenna e Forlì e l'altra fra l'alto di Forlì

ed il margine appenninico (quest'ultima è stata ulteriormente enfatizzata nell'interpretazione di sottosuolo presentata in questa edizione della Carta Geologica).

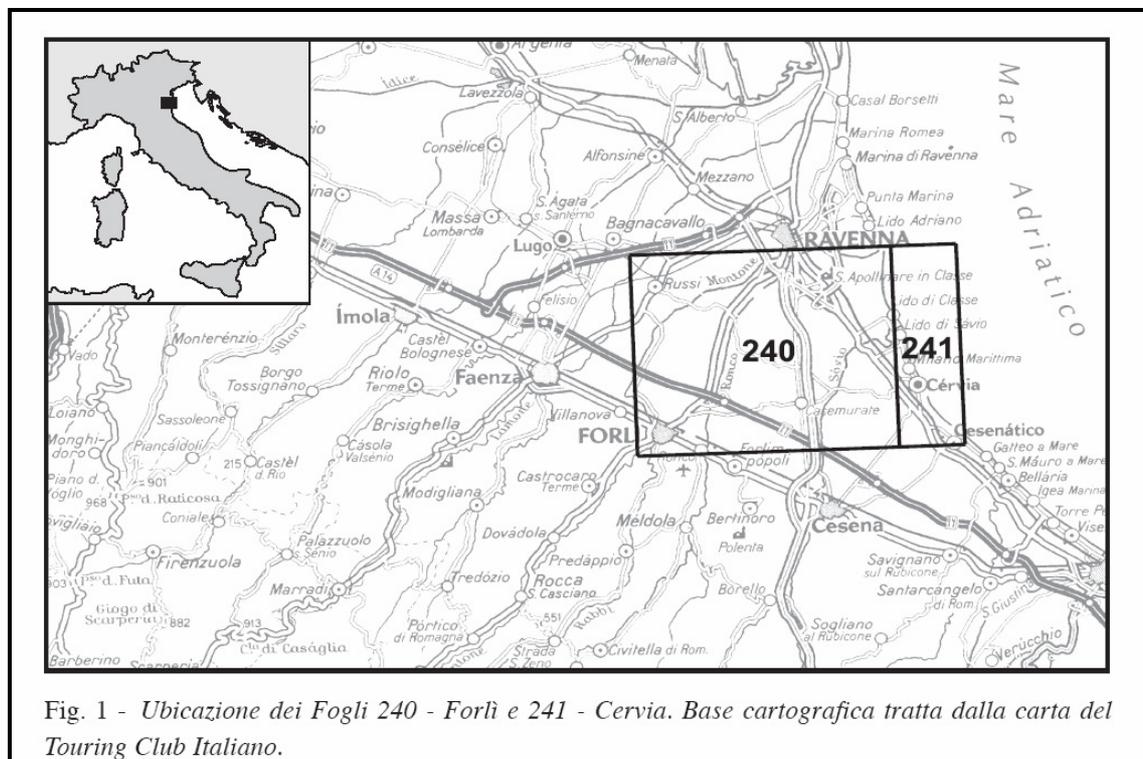


Fig. 1 - Ubicazione dei Fogli 240 - Forlì e 241 - Cervia. Base cartografica tratta dalla carta del Touring Club Italiano.

Figura 5: ubicazione del foglio 240/241

2.1: GEOLOGIA LOCALE

Questo territorio della pianura, dista circa 20 chilometri dal margine collinare, dove affiorano le successioni sedimentarie marine che nella zona di Voltana si trovano a grandissima profondità (circa un migliaio di metri) sotto la superficie topografica. Dalla parte opposta troviamo il mare ad una distanza di circa 20-25 chilometri, dall'attuale linea di costa. Nel sottosuolo i sedimenti Pliocenici e Quaternari ricoprono un substrato di età Miocenica, il quale risulta essere fortemente ripiegato e tettonizzato con strutture e successioni stratigrafiche molto simili a quelle rinvenibili nell'Appennino; il territorio comunale a tal proposito è situato sul fianco SO della "sinclinale romagnola", la quale è delimitata a SO dalla sinclinale di Cotignola e a NE dalla sinclinale di Alfonsine-Ravenna. Il substrato Miocenico è caratterizzato da una successione di pieghe

anticlinali e sinclinali con vergenza NE ed andamento appenninico; è situato a profondità crescenti da un minimo di 1500 m ad un massimo di 4000 m. Al substrato miocenico si sovrappongono in giacitura trasgressiva e discordante le argille del Pliocene inferiore con intercalati frequenti livelli di sabbia. Questi terreni hanno spessore molto variabile essendo ridotti od addirittura mancanti al culmine delle anticlinali, mentre sono di spessore notevole nelle sinclinali. Ciò è conseguenza sia di emersione ed erosione nelle zone di anticlinale alla fine del Miocene e nel Pliocene inferiore, sia della subsidenza differenziata fra zone di anticlinali e di sinclinali. Gli strati del Pliocene inferiore sono ed interessati da fenomeni disgiuntivi simili a quelli che interessano il substrato miocenico, ma di minore intensità. Le formazioni più recenti, a partire dal Pliocene medio superiore, sono caratterizzate da deformazioni meno intense. I sedimenti del Pliocene medio superiore (argille marnose con intercalazioni di sabbie) sono trasgressivi sul Pliocene inferiore; lo spessore di questi sedimenti è condizionato dalla tettonica con uno spessore modesto (circa 100 m) sulle anticlinali ed uno spessore più rilevante nelle sinclinali (anche e oltre 1000 m).. L'influenza della tettonica si riduce e si attenua nel Quaternario; ai sedimenti del Pliocene superiore seguono con una certa continuità di sedimentazione le argille e argille limoso sabbiose tipiche del Calabriano, a sua volta seguite da sedimenti di ambiente marino litorale e salmastro consistenti in intercalazione di sabbie e di argille con banchi ricchi di macrofossili attribuibili al periodo post Calabriano (Emiliano, Siciliano e Milazziano). Seguono terreni prevalentemente di ambiente continentale (alluvioni argilloso limose con lenti sabbioso limose) a cui si intercalano livelli marini con depositi di ambiente litorale (sabbie di spiaggia e duna) legate alle fasi interglaciali pleistoceniche, terminate le quali ha inizio il depositarsi di sedimenti continentali depositate durante la glaciazione Wurmiana. Il territorio del Comune, non è stato raggiunto dal mare durante la trasgressione dell'Olocene; la linea di massima avanzata del mare, databile a circa 5000 anni fa, coincide circa con la S.S16 Adriatica che collega Ravenna

a Ferrara. I sedimenti Olocenici nel territorio, sono rappresentati superficialmente da alluvioni argilloso limose con lenti sabbioso limose a cui si intercalano episodi lagunari argilloso limosi molli (circa normalconsolidati), a cui seguono strati sabbiosi, che rappresentano depositi di spiaggia o duna, alternati a livelli argilloso limosi molli fino a oltre i 20 metri di profondità. Nell'area in esame le quote rispetto al livello medio del mare, sono di circa 4-5 metri più alti rispetto a questo livello (dati dedotti dalla ctr). Il livello della falda nella zona è superficiale ed in certi periodi dell'anno può essere prossimo alla superficie topografica.

2.2. SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo. Nel Foglio 240 comprende tutti i depositi continentali affioranti. In affioramento AES è costituito da depositi di pianura alluvionale ed, in parte, di piana deltizia. Nel sottosuolo sono più abbondanti i depositi di piana costiera. Il limite inferiore del sintema non affiora nel Foglio 240: nei Fogli immediatamente a sud è dato da un contatto erosivo e fortemente discordante sui depositi marini mio-pliocenici dell'Appennino e su IMO e corrisponde a quello dell'intero supersintema. Nel sottosuolo il limite inferiore è chiaramente espresso nel settore meridionale dove è dato da un contatto erosivo e discordante delle ghiaie di conoide alluvionale (AES) su depositi limosi, sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi fluviali e fluvio-deltizi (AEI; si veda in particolare Fig. 18). Verso NE tale limite si fa via via meno marcato da un punto di vista litologico, poiché mette a contatto i depositi fluvio-deltizi padani di AES con quelli di AEI ed è riconoscibile solo come superficie di avanzamento verso NE a scala regionale dei sistemi deposizionali più prossimali. Il limite superiore corrisponde all'attuale superficie topografica. La ciclicità sedimentaria.

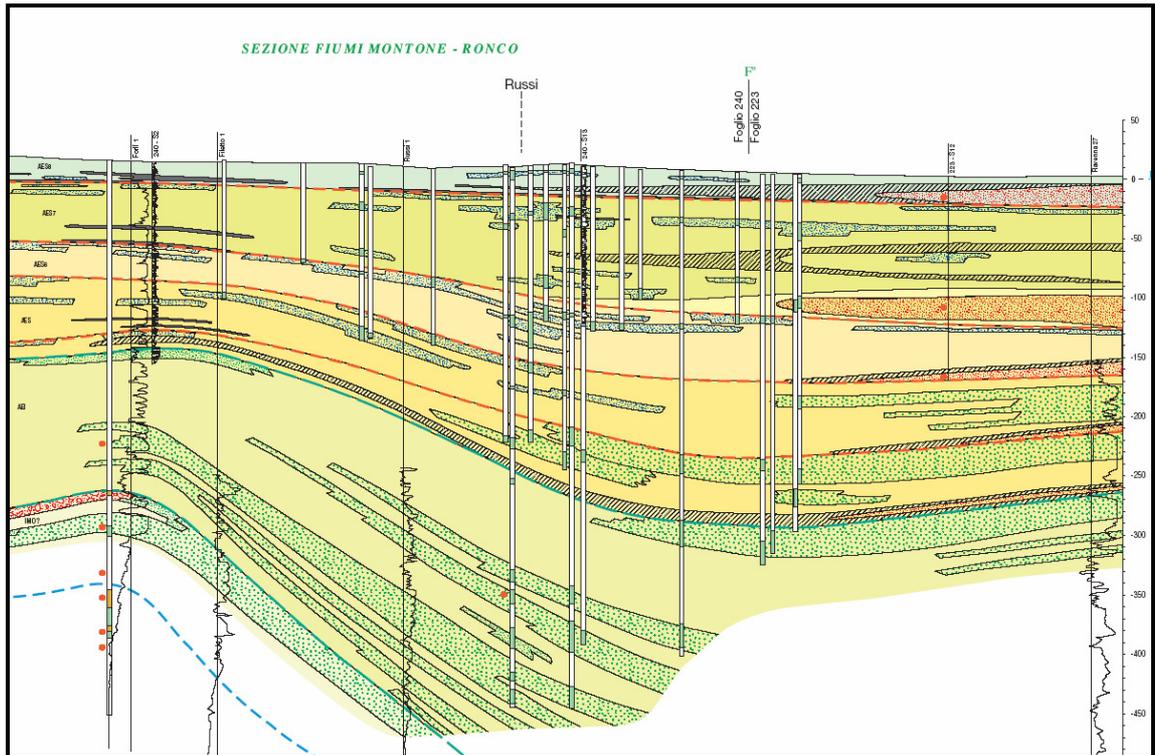
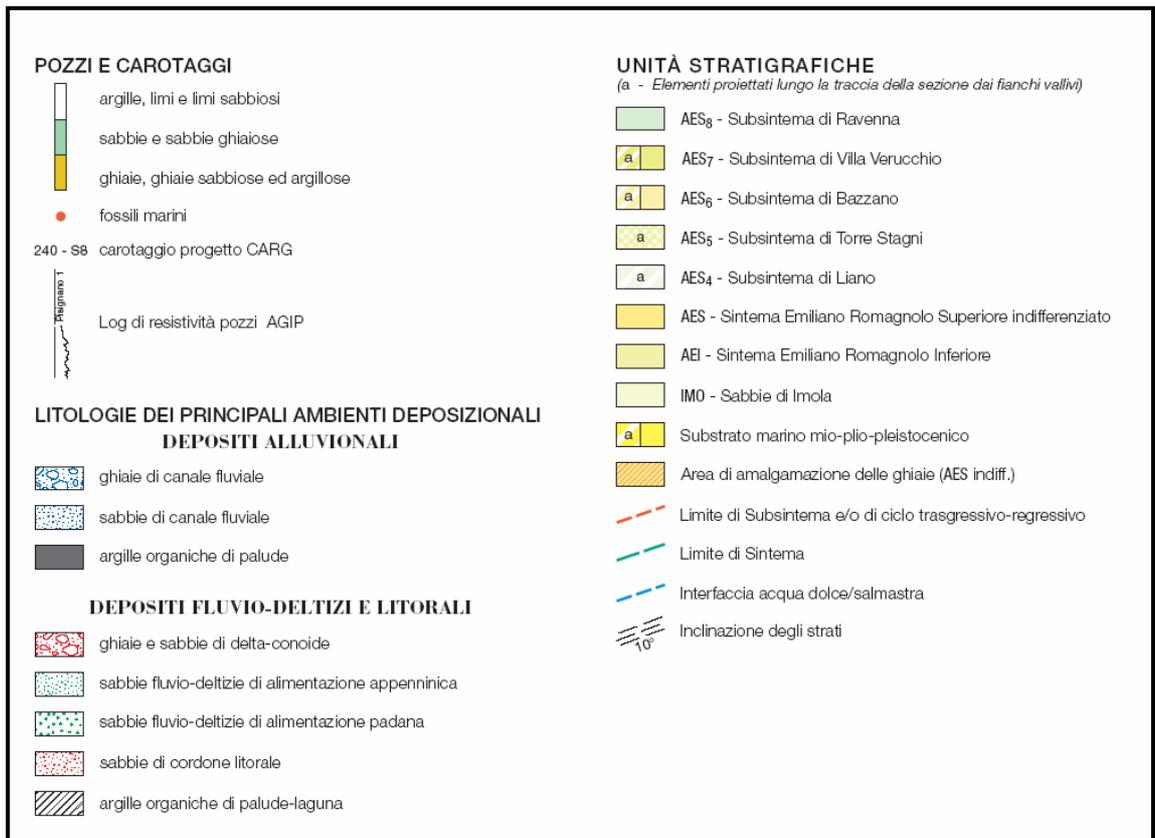


fig. 6: sezione geologica



2.3. - SUBSINTEMA DI RAVENNA (AES8)

Tutti i depositi quaternari affioranti nel Foglio 240 sono stati attribuiti a questo subsintema. Esso è attraversato per intero dalla gran parte delle indagini geognostiche della banca dati geologici trattandosi dell'unità affiorante e di spessore inferiore ad una trentina di metri, ed è pertanto l'unità meglio caratterizzata fra i depositi quaternari della pianura, per quanto riguarda sia la superficie sia il sottosuolo. La continuità fisica dei suoi depositi e delle superfici che la definiscono lungo tutta la pianura emiliano-romagnola orientale, la posizione stratigrafica e l'età hanno consentito di correlare questa unità con quella affiorante nell'area tipo (CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:50.000, Foglio 223 Ravenna, 2002). Nel margine NE del Foglio questi depositi alluvionali passano ai depositi limoso-sabbiosi ed argillosi più meridionali dell'apparato deltizio del fiume Po. Il tetto del subsintema, che coincide con il piano topografico, presenta suoli con diverso grado di alterazione, i cui orizzonti superiori variano da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei, affiorano prevalentemente nel margine meridionale del Foglio. Essi hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro (Hue 10YR-2.5Y, Value 3-5, Chroma 2-4) ed uno spessore degli orizzonti decarbonatati da 0,5 ad 1 m. Al di sotto dell'orizzonte decarbonatato si sviluppano orizzonti ad accumulo di carbonato di calcio sotto forma di concrezioni o concentrazioni soffici (profilo A-Bw-Bk: Inceptisuolo).

Sulla base di quanto detto si possono riassumere i 2 principali elementi caratterizzanti AES8 in tutta l'area del Foglio:

1) il limite inferiore è ben definito come contrasto di facies nel settore di alta pianura dove i primi depositi di AES8 sono caratterizzati da facies di piana alluvionale non drenata e palude e poggiano direttamente sui depositi di conoide alluvionale di AES7 e nel settore di pianura costiera dove i primi depositi di AES8 sono costituiti da depositi lagunari e marini e poggiano sui depositi fluviali di AES7. Nella porzione intermedia (settore centrale della pianura) il limite è espresso in modo meno marcato, non

corrisponde ad un netto cambio di ambiente, ed è riconoscibile solo per una generale tendenza al prevalere dei depositi fini di piana non drenata e palude sui depositi relativamente più grossolani di piana alluvionale sottostanti.

2) La porzione basale di AES8 è caratterizzata dalla frequente presenza di sedimenti ricchi di sostanza organica palustri e/o lagunari di natura trasgressiva che si accompagnano ad una generale disattivazione dei sistemi fluviali del ciclo sottostante ed ad un generale spostamento verso monte dei sistemi deposizionali.

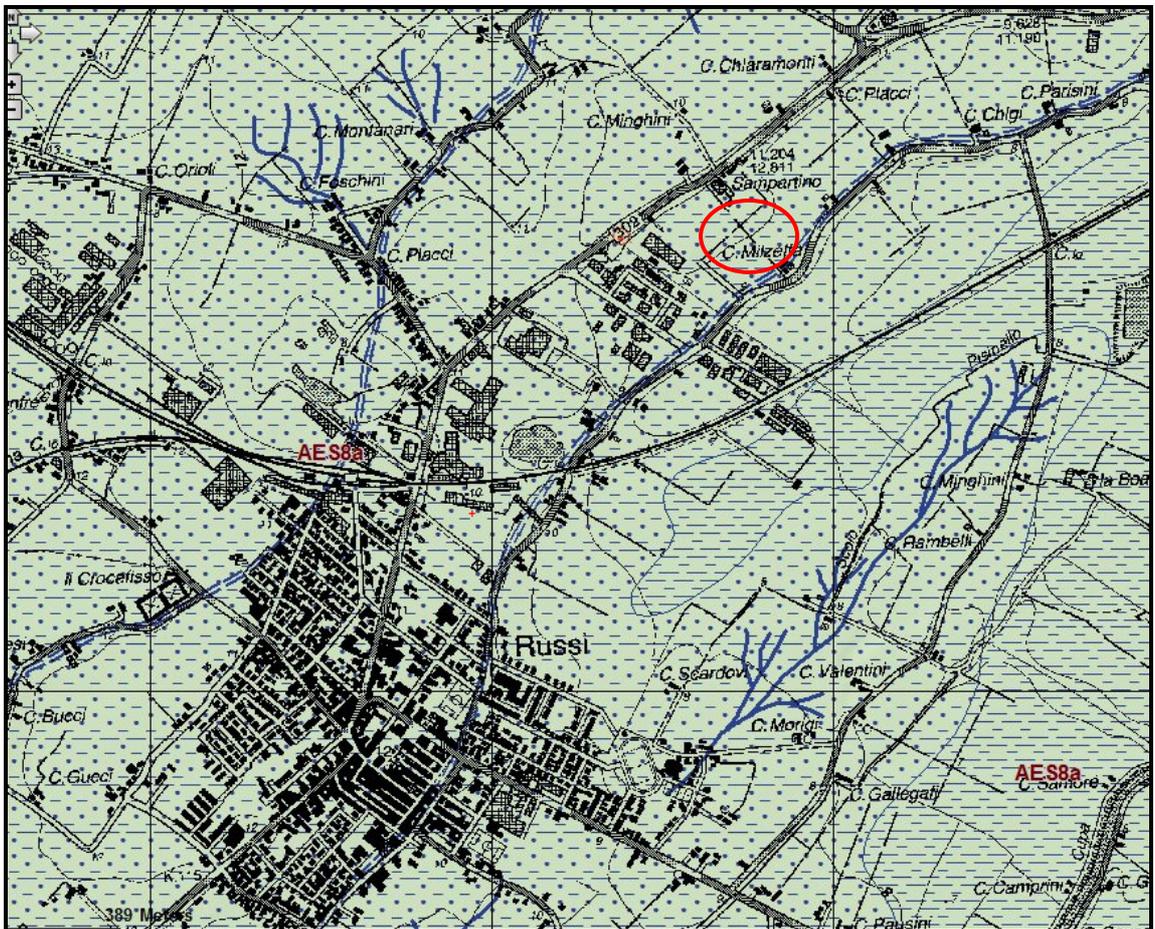


fig. 7: carta geologica

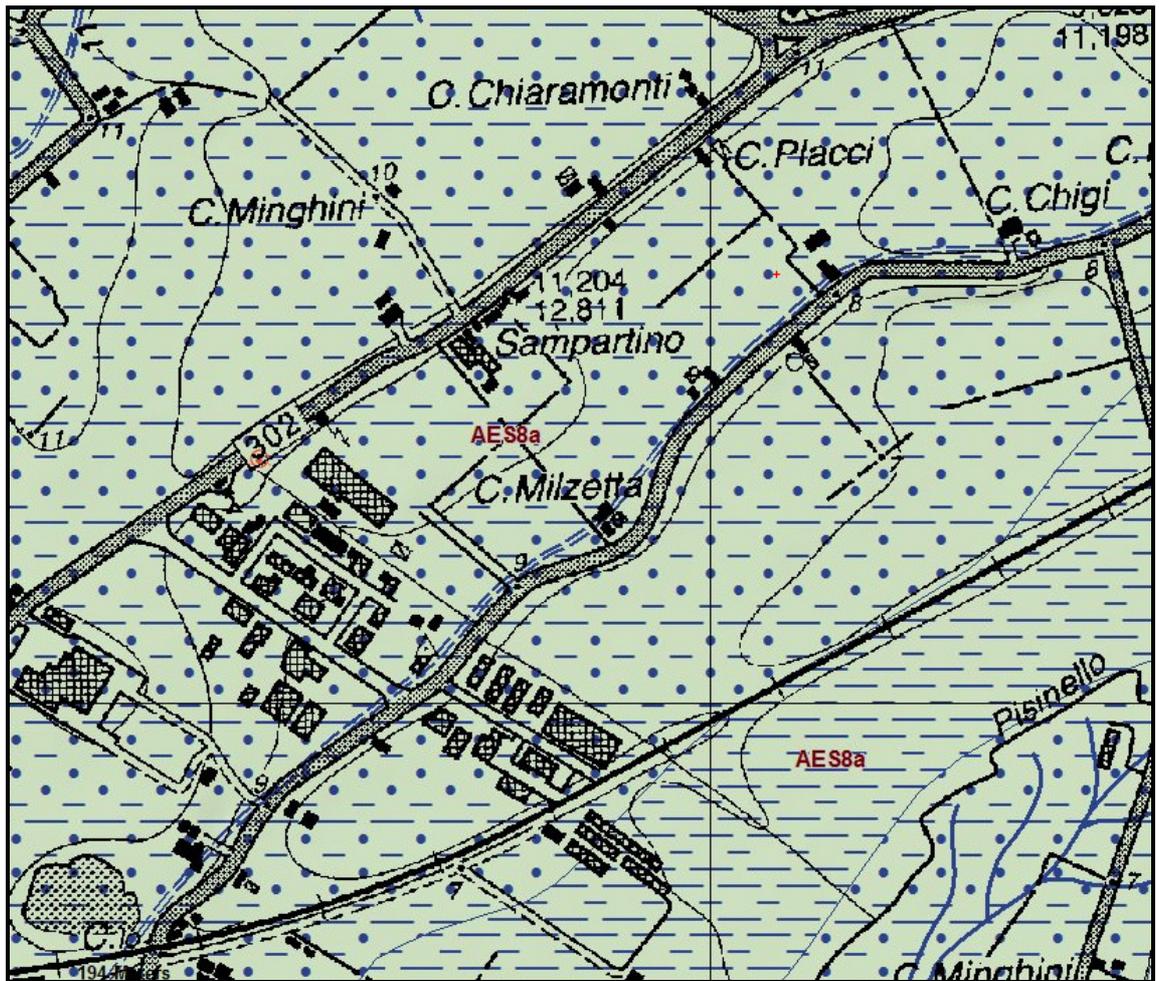
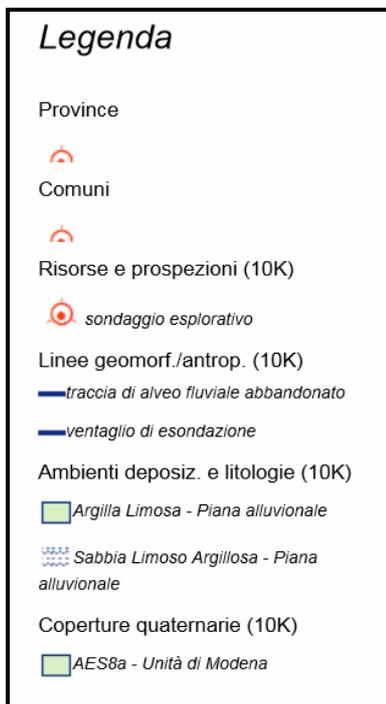


fig. 7 bis: carta geologica



3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'attuale configurazione morfologica dell'area compresa nel foglio Forlì/Cervia, è il risultato della complessa interazione dei processi fluviali, marini costieri che hanno caratterizzato la dinamica de posizionale tardo-olocenica. I Fogli 240 e 241 (di cui il comune di Russi fa parte) si estendono dalle città di Forlì e Russi (rispettivamente a SO e NO del Foglio 240) fino al tratto di costa del Mare Adriatico compreso fra Cesenatico ed il Lido di Dante (Ravenna). Tutta l'area in esame è occupata dai depositi tardo-quadernari della Pianura Padana mentre i depositi pedecollinari del margine appenninico affiorano poco più a sud, nell'area di interesse del Foglio 255 Cesena. Le quote topografiche più elevate sono intorno a 45-50 m s.l.m. e si hanno nell'angolo di SO, presso Forlì. Il piano topografico scende progressivamente verso NE fino a raggiungere il livello del mare nella zona costiera. Anche a SO di Cervia è presente un'area relativamente depressa, sebbene non raggiunga quote inferiori al livello del mare, che è occupata da un'ampia salina (le saline di Cervia). Nell'area in esame è presente un fitto reticolo di corsi d'acqua. I fiumi principali, che scorrono da SO verso NE, seguendo il gradiente topografico regionale, sono (da O verso E) il F. Lamone, presente solo marginalmente nello spigolo di NO, il F. Montone (compresa la sua confluenza con il F. Rabbi, presente nello spigolo SO presso Forlì), il F. Ronco ed il F. Savio. I fiumi Montone e Ronco confluiscono insieme immediatamente a sud di Ravenna e formano i Fiumi Uniti. Il bacino idrografico complessivo del settore montano dei fiumi Montone-Rabbi è di c.a. 470 km², quello del Ronco è di c.a. 500 km² e quello del F. Savio è di c.a. 630 km². Nel settore di SO i Fiumi Montone, Rabbi e Ronco sono incisi nei depositi della pianura, lungo scarpate di terrazzo di pochi metri. Nell'area restante i fiumi sono confinati tramite argini, in gran parte artificiali, che diventano particolarmente elevati nel settore della bassa pianura nord orientale.

4. IDROGEOLOGIA LOCALE

Le caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche delle acque sotterranee dei Fogli 240 e 241 sono illustrate in vari lavori di carattere regionale (la sintesi più recente è in REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2000; si veda anche VENTURINI *et alii*, 1990). Altri lavori riguardano invece più specificamente la conoide del F. Ronco (DJOKIC *et alii*, 1999) e la conoide del F. Savio che è presente solo in modo marginale nel foglio (AMGA, 1988). A questi lavori si rimanda per ogni approfondimento. Il principale contributo fornito dagli elaborati della Carta Geologica, del Foglio allegato e delle presenti note alla risoluzione dei problemi di tipo idrogeologico è sicuramente lo schema stratigrafico e geometrico tridimensionale dei corpi geologici di sottosuolo. Questo schema, illustrato nelle sezioni e nelle carte geologiche di sottosuolo del Foglio allegato, propone una chiave per prevedere la distribuzione nel sottosuolo dei principali acquiferi ed acquitardi. La natura degli acquiferi di sottosuolo presenti nei Fogli 240 e 241 è abbastanza complessa. Nei settori più meridionali del Foglio 240 sono presenti depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi riferibili alle propaggini più settentrionali delle conoidi dei fiumi appenninici (Montone, Rabbi, Ronco e Savio); più a nord si individuano depositi alluvionali sabbiosi di origine padana, variamente interdigitati con depositi sabbiosi costieri. Le porzioni più a monte illustrano la situazione delle conoidi alluvionali dei fiumi Montone e Rabbi rispettivamente. Queste conoidi sono costituite da una zona apicale in cui le ghiaie sono amalgamate tra loro e formano un acquifero freatico monostrato, compreso tra la superficie topografica ed il substrato marino prevalentemente argilloso. La zona di amalgamazione delle ghiaie è quella in cui si ha la ricarica diretta di tutta la conoide, sia dalle infiltrazioni efficaci, sia dagli alvei; essa quindi costituisce l'areale in cui prestare la massima attenzione ai fini della protezione idrogeologica. A valle della zona di amalgamazione i diversi lobi di conoide si separano e tra essi si interpongono dei depositi fini di spessore crescente procedendo verso nord. I diversi acquiferi sono quindi disconnessi dalla

superficie e acquisiscono tutti le caratteristiche di acquiferi confinati. Più a valle, come ben illustrato nella sezione di Figura 10b, sono presenti depositi alluvionali sabbiosi di origine padana, variamente interdigitati con depositi sabbiosi costieri. Essi non sono connessi fisicamente con i sistemi alluvionali appenninici e quindi contengono acque di provenienza padana o, più in generale, alpina come anche indicato in REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) e in VENTURINI *et alii* (1990). Tutta l'area si inserisce in un insieme già parzialmente lottizzato e quindi risulta molto difficile trovare dei pozzi nelle immediate vicinanze, ed è profondamente influenzato dal canale delle saline che lambisce il lotto in esame. Allo scopo di determinare la profondità del pelo libero e dell'andamento della falda, si è attinto a dati da bibliografia si sono misurati i livelli freaticometrici della zona mediante il ritrovamento e la relativa misurazione di alcuni pozzi rinvenuti nonché misurando il livello della falda nel foro rimasto aperto della prova penetrometrica eseguita. Sulla base dei valori misurati, riportati nella sottostante tabella sono state elaborate le carte tematiche. La carta delle isofreatiche costruita per interpolazione grafica fra i punti di misura, i valori non si discostano in modo sostanziale da quelli registrati in occasione del massimo di precipitazioni avutosi nel periodo aprile '95 maggio '96. Sono state inoltre tracciate per interpolazione grafica le isobate, cioè le curve che uniscono i punti in cui la superficie freatica ha uguale profondità dalla superficie topografica. Questa direzione, abbastanza simile alla pendenza del terreno, fa supporre una situazione idrogeologica normale così dell'alimentazione come del deflusso, ed in ultima analisi, ad una sostanziale omogeneità delle caratteristiche fisiche del terreno; è comunque da segnalare che tale posizione è regolamentata dalla rete fognaria cittadina; la direzione risulta comunque essere NORD OVEST/SUD EST. Pur tenendo conto che il livello della falda freatica subisce inevitabili oscillazioni in rapporto alle mutevoli condizioni climatiche stagionali ed annuali, tuttavia, il modello strutturale della falda sembra ben delineato nei suoi principali aspetti.

5: EVENTUALI ESECUZIONI DI CASSE DI LAMINAZIONE

Il Piano di bacino dei Fiumi Romagnoli di cui il territorio fa parte, prevede per le zone soggette ad intervento urbanistico preventivo, la realizzazione di sistemi di raccolta delle acque meteoriche. In fase di eventuale progettazione urbanistica occorrerà comunque valutare con precisione sia il punto preciso per la cassa di laminazione sia eseguire un maggiore numero di indagini atte ad una migliore caratterizzazione dei terreni; data la situazione si potrebbe optare per una vasca di laminazione interrata (in c.a.). si ricorda che le prove penetrometriche e le analisi di laboratorio hanno identificato un terreno prevalentemente sabbioso con una buona permeabilità e quindi la vasca dovrà essere costituita da materiale tale da non mettere in contatto la vasca con la falda freatica. Si deve inoltre sottolineare che tutta la lottizzazione dovrà essere considerata come un sistema chiuso per quanto riguarda la regimentazione delle acque meteoriche, per cui tutti gli scarichi dovranno essere convogliati all'unico collettore sul canale consorziale. Eventuali fossi che dovessero insistere sul terreno da lottizzare dovranno essere lasciati comunque funzionanti mediante accorgimenti progettuali.

6: ALTIMETRIA

I processi morfogenetici che hanno operato nell'area in esame sono principalmente di origine fluviale e antropica. Tutta l'area comunale negli ultimi secoli e' stata interessata da un intenso rimodellamento antropico che ha modificato gran parte del reticolo idrografico naturale e dalle bonifiche effettuate dall'uomo. Trattandosi di un'area pianeggiante le emergenze geomorfologiche risultano difficilmente individuabili direttamente sul terreno in quanto determinano dislivelli di pochi metri, mentre sono evidenti osservando le quote topografiche riportate sulle carte. Il riconoscimento e la classificazione delle principali unità geomorfologiche sono, a loro volta, importanti per la ricostruzione sia delle carte geopedologiche, litologiche e altimetriche.

7: VINCOLI DEL PIANO DI BACINO

La Regione Emilia Romagna, nell'ottobre 1990, redigeva uno *Schema programmatico* finalizzato alla costituzione dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, istituiti successivamente con Legge Regionale. Il documento, conteneva al suo interno una serie di elementi di riferimento dimostratisi poi indispensabili per l'avvio dell'attività dell'Ente. In particolare lo schema individuava, tra gli altri, una serie di interventi considerati di assoluta priorità:

- l'identificazione certa sul territorio dei confini del demanio fluviale;
- la necessità di avviare lo studio degli ambiti fluviali con specifico riferimento alle qualità ambientali (naturalità, rarità, diversità, etc.) del territorio;
- l'esigenza di una rinaturalizzazione diffusa, da attuarsi attraverso interventi di restauro e di ricostruzione ambientale, l'eliminazione delle attività incompatibili con gli equilibri territoriali, la ricostruzione degli ambienti umidi, l'eliminazione delle discariche.

Il documento regionale dell'ottobre 1990 ipotizzava la costruzione, di un quadro conoscitivo dell'ambiente che potesse definire lo stato di fatto relativo all'assetto del territorio, agli insediamenti, all'uso reale del suolo, al dissesto ed al rischio idraulico, alle condizioni qualitative e quantitative delle risorse idriche, alle fonti inquinanti, alle infrastrutture di trattamento, di riduzione e di eliminazione degli agenti inquinanti. Lo schema previsionale regionale del 1990 indicava con estrema precisione le priorità di intervento da perseguirsi nel rispetto dei criteri di "urgenza" così come definiti all'art. 31 della Legge 183/89:

1. dissesto idrogeologico;
2. dissesto della rete idrografica superficiale;
3. attività estrattive;
4. subsidenza ed erosione delle coste;
5. inquinamento delle acque e del suolo;
6. razionalizzazione dell'uso delle risorse idriche.

L'AREA NON RISULTA ESSERE INSERITA TRA QUELLA A RISCHIO IDROGEOLOGICO

8: VINCOLI DEL P.T.C.P.

La Provincia di Ravenna disponeva già di un Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di recente elaborazione, adottato il 29.06.1999 ed approvato dalla Regione il 01.02.2000 ai sensi della L.R. 6/1995. Il PTCP è stato poi modificato con variante adottata il 10.10.2000 ed approvata dalla Regione il 03.12.2001. La Provincia disponeva, quindi, di uno strumento di pianificazione del proprio territorio alquanto recente ed aggiornato che, fra l'altro, aveva già recepito e sviluppato compiutamente i contenuti del Piano Territoriale Paesistico Regionale (P.T.P.R.). D'altronde, l'esperienza provinciale in materia di pianificazione territoriale risale al decennio precedente, ed ha seguito passo passo l'evoluzione normativa nazionale e regionale; ma soprattutto ha vissuto, fin dall'inizio, nel suo evolversi, l'esperienza regionale di pianificazione territoriale. La L.R. 20/2000, al comma secondo dell'art. 43, prevede che le Province già dotate di un PTCP prodotto ai sensi della previgente L.R. 6/1995, provvedano all'adeguamento dello strumento entro tre anni dall'entrata in vigore della medesima L.R. 20/2000, ossia entro il 24.03.2003. Termine ovviamente non perentorio, specie per le Province con un Piano di recente elaborazione. La Provincia di Ravenna ha quindi deliberato di procedere ad una operazione di "adeguamento del PTCP alla nuova legge urbanistica regionale 20/2000, alla luce dell'aggiornamento del quadro di riferimento socio-economico", come recita la delibera del Consiglio Provinciale n. 150 del 6.12.2001. L'operazione di adeguamento non riguarda quindi in modo uniforme tutte le tematiche che interessano il territorio provinciale e tutti i contenuti del PTCP. L'impostazione del Piano non è mutata; si sono invece arricchiti di contenuti sia gli elementi di visione e impostazione strategica sia l'insieme degli indirizzi e delle impostazioni che dovranno riguardare la definizione vera e propria delle politiche. Anche il quadro conoscitivo vero e proprio è stato aggiornato, con nuove informazioni e studi. Per quanto riguarda le nuove funzioni assegnate al PTCP con

l'entrata in vigore della L.R. 20/2000, esse sono di grande rilievo e comportano effetti significativi sulla stessa natura e forma del Piano.

Giova ricordare in primo luogo la definizione generale di queste funzioni, espressa nell'art. 26 della Legge Regionale:

1. *Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) considera la totalità del territorio provinciale ed è lo strumento di pianificazione che definisce l'assetto del territorio con riferimento agli interessi sovracomunali, articolando sul territorio le linee di azione della programmazione regionale.*

2. *Il PTCP è sede di raccordo e verifica delle politiche settoriali della Provincia e strumento di indirizzo e coordinamento per la pianificazione urbanistica comunale. A tal fine il piano:*

a) *recepisce gli interventi definiti a livello nazionale e regionale, relativamente al sistema infrastrutturale primario e alle opere rilevanti per estensione e natura;*

b) *individua, anche in attuazione degli obiettivi della pianificazione regionale, ipotesi di sviluppo dell'area provinciale, prospettando le conseguenti linee di assetto e di utilizzazione del territorio;*

c) *definisce i criteri per la localizzazione e il dimensionamento di strutture e servizi di interesse provinciale e sovracomunale;*

d) *definisce le caratteristiche di vulnerabilità, criticità e potenzialità delle singole parti e dei sistemi naturali ed antropici del territorio e le conseguenti tutele paesaggistico ambientali;*

e) *definisce i bilanci delle risorse territoriali e ambientali, i criteri e le soglie del loro uso, stabilendo le condizioni e i limiti di sostenibilità territoriale e ambientale delle previsioni urbanistiche comunali che comportano rilevanti effetti che esulano dai confini amministrativi di ciascun ente.*

3. *Il PTCP specifica ed articola la disciplina delle dotazioni territoriali di cui al Capo A-V dell'Allegato, indicando a tal fine i diversi ruoli dei centri abitati nel sistema insediativo.*

4. Per coordinare un'efficace attuazione delle proprie previsioni, il PTCP definisce con i Comuni modalità e termini per l'adeguamento dei piani comunali. Il PTCP coordina l'attuazione delle previsioni dei piani urbanistici vigenti con la realizzazione delle infrastrutture, opere e servizi di rilievo sovracomunale, da inserire prioritariamente nel programma triennale delle opere pubbliche della Provincia.

Rispetto alla precedente formulazione contenuta nella L.R. n.6/95, va segnalato il rilievo nuovo che viene assegnato ai temi della *sostenibilità* e del governo delle *esternalità* delle previsioni urbanistiche dei comuni: al PTCP è attribuito il compito di definire le condizioni e i limiti della sostenibilità delle previsioni comunali, ogni qualvolta queste comportino effetti ambientali o territoriali significativi che travalicano i confini dei singoli comuni. In un territorio fortemente interrelato come quello emiliano-romagnolo, sono particolarmente dense ed intense le esternalità determinate dalle previsioni urbanistiche comunali, sia dal punto di vista degli effetti territoriali, sia, ancora di più da quelli ambientali; ciò richiede alla pianificazione di area vasta di coordinare e concertare un ampio ventaglio di tematiche controllandone la complessiva sostenibilità nel tempo e nello spazio. In questa sede si sono analizzati quindi tutti i vincoli e le prescrizioni che questo piano da ai fini della pianificazione tenendo presente verificando che la nostra area in oggetto di studio non ricadesse all'interno delle prescrizioni e qualora ricada all'interno di qualche vincolo o prescrizione si da informazione di che tipo di vincolo esiste.

L'AREA NON RISULTA ESSERE INSERITA TRA QUELLA SOTTO VINCOLO PAESAGGISTICO E NATURISTICO.

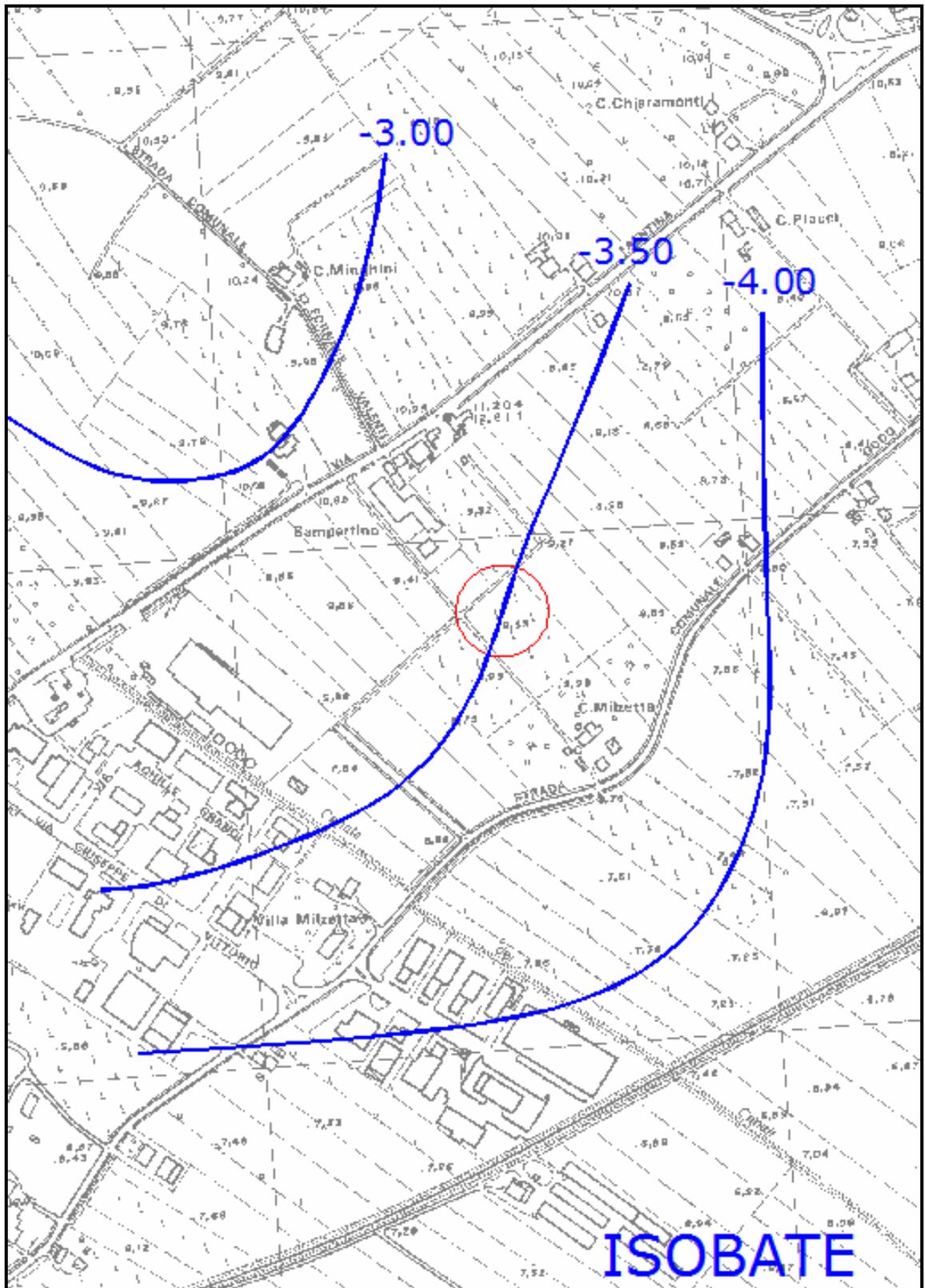


fig. 8: carta delle isobate della falda

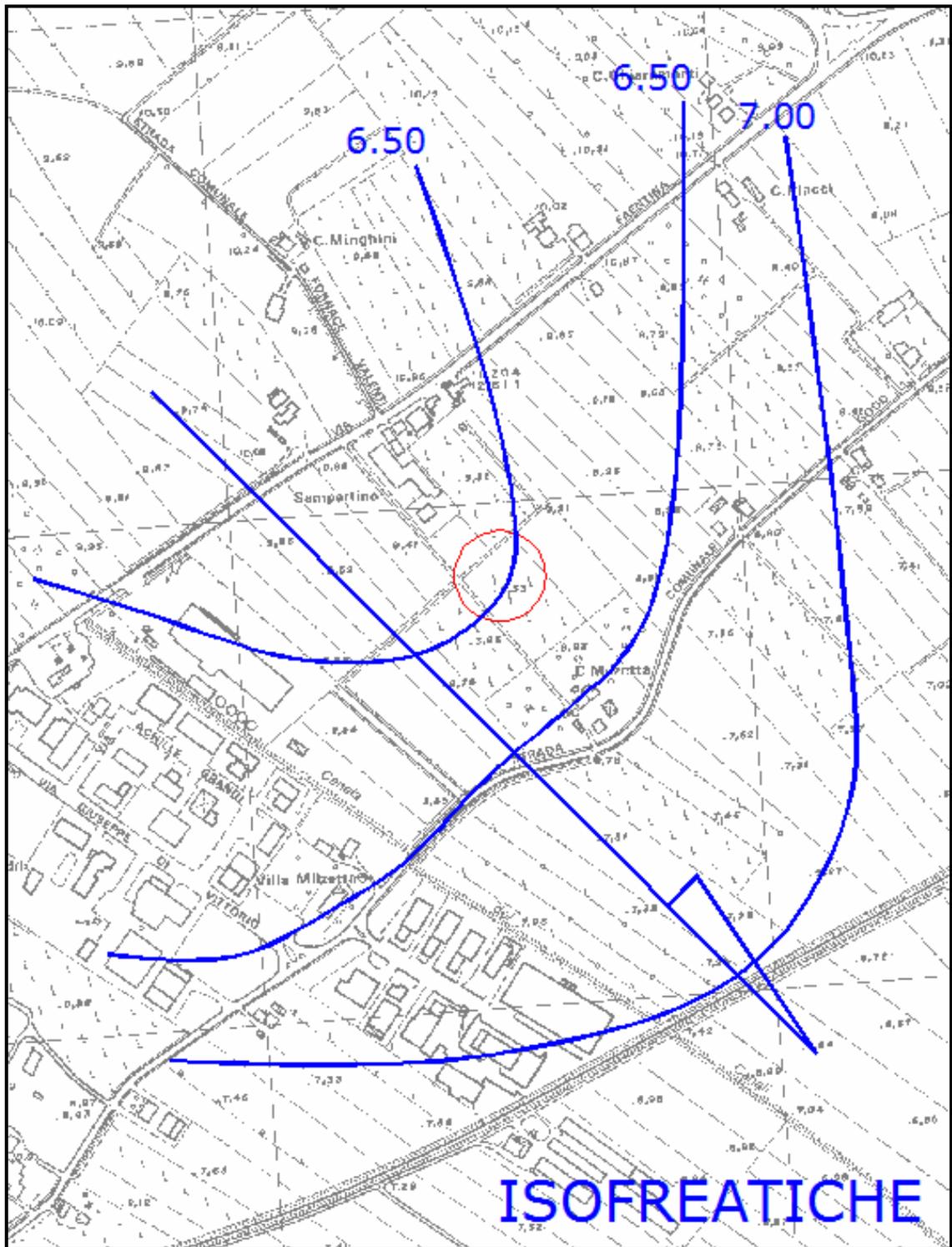


fig. 9: carta delle isofreatiche della falda

9: INDAGINI ESEGUITE SUL TERRENO

Per la realizzazione e la stesura della relazione si è reso opportuno eseguire due prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità di 15/20.00 metri. Le prove sono state eseguite al piano campagna originario che risulta essere coincidente con il piano delle strade circostanti. Le prove sono state eseguite con attrezzo Pagani da 20 tonnellate di spinta massima con punta meccanica (tipo Begemann). Si sono eseguite misure, ogni 20 cm di avanzamento, di resistenza alla punta locale (R_p) e misure di resistenza all'attrito laterale locale (R_f). Si è inoltre calcolato il rapporto R_p/R_f utile alla interpretazione stratigrafica. La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$). La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica. La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale (punta / manicotto tipo "Begemann").

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono $\emptyset = 35,7 \text{ mm}$
- area di punta conica..... $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono..... $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto... $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

Nei diagrammi e tabelle allegate sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture dei manometri, durante l'infissione dello strumento):

- **qc** (kg/cm²) = resistenza alla punta (conica)
- **fs** (kg/cm²) = resistenza laterale (manicotto)
- **Rt** (kg) = resistenza totale (aste esterne)

Oltre all'elaborazione dei **valori di resistenza** del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati, in base al rapporto Q_c / F_s fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di Q_c e del rapporto $FR = (F_s / Q_c) \%$ (Esperienze di Schmertmann 1978).

Il livello della falda è variabile e si attesta ad una profondità di circa - 3.50/3.60 m ed è soggetto a variazioni stagionali. I diagrammi delle prove eseguite e l'ubicazione sono in calce allegate.

9.1: STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Le prove penetrometriche eseguite nell'area in esame, sono risultate sostanzialmente omogenee e la stratigrafia ad esse correlata, viene di seguito riportata.

1. 0.00 m a – 2.00 m circa: ARGILLA LIMOSA SOVRACONSOLIDATA.
2. -2.00 m a – 4.00 m circa: ARGILLA LIMOSA DI MEDIA CONSISTENZA.
3. -4.00 m a – 10.80 m circa: LIMO ARGILLOSO/ARGILLA LIMOSA.
4. -10.80 m a – 12.00 m circa: LIMO ARGILLOSO SABBIOSO.
5. -12.00 m a – 15.20 m circa: LIMO ARGILLOSO MOLLE.
6. -15.20 m a – 16.00 m circa: SABBIA LIMOSA.
7. -16.00 m a – 20.00 m circa: ARGILLA LIMOSA.

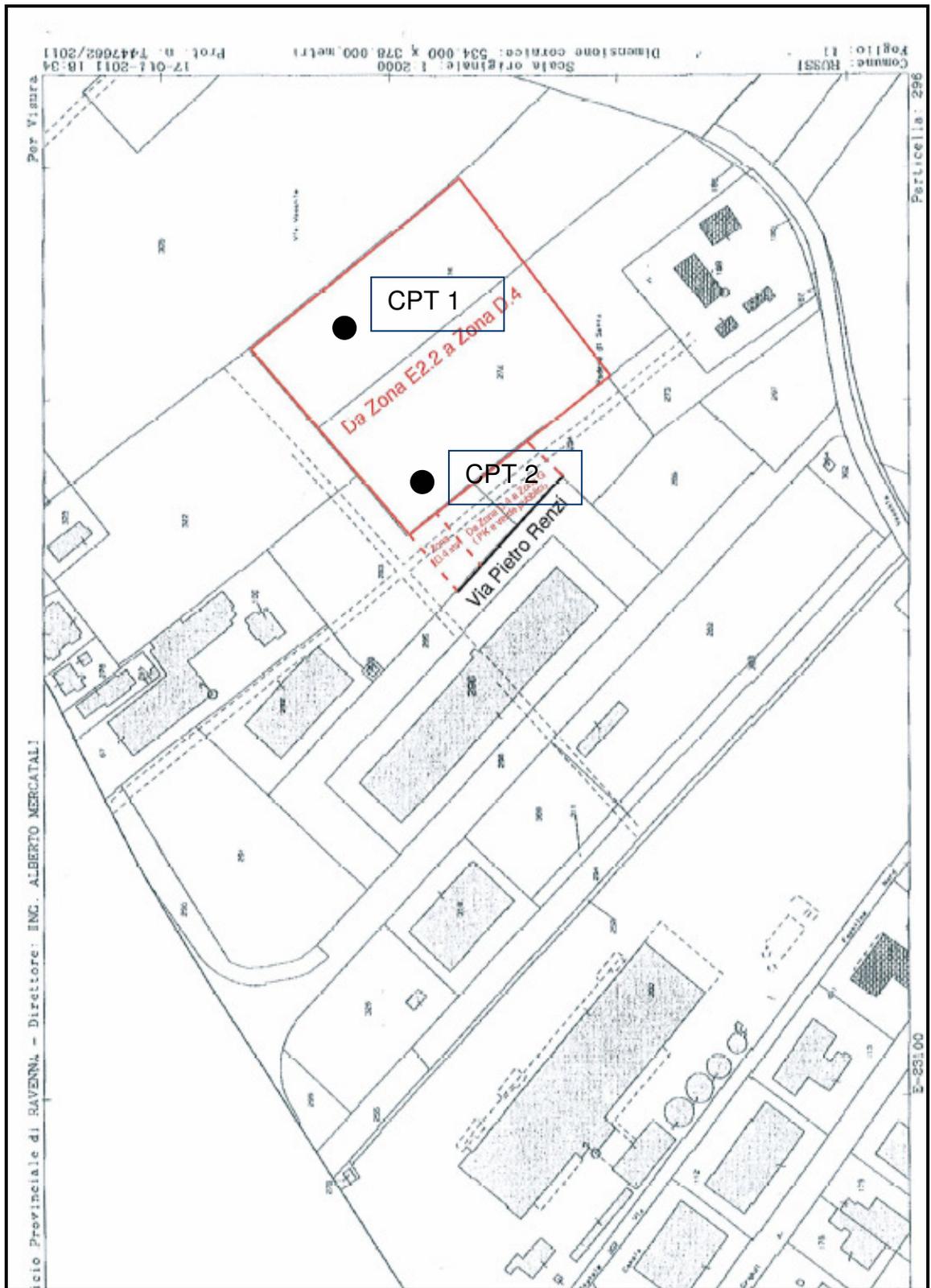


fig. 10: ubicazione delle prove penetrometriche

10: MODELLO GEOTECNICO

10.1: CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI E MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Sono stati calcolati i valori caratteristici **X_k** dei parametri del terreno, acquisiti attraverso le indagini geognostiche e alle conoscenze dell'area in esame. I valori caratteristici **X_k** si definiscono calcolando il 5° percentile della distribuzione media della serie di dati ottenuti dalle prove CPT. Tale stima cautelativa indica un valore al di sotto del quale ci si può attendere che si collochi non più del 5% dei risultati ottenibili da una serie illimitata di prove, ossia al di sopra del quale troviamo il 95% dei valori della distribuzione media della serie di dati (coesione non drenata C_u e angolo d'attrito \varnothing).

Successivamente applicando il fattore riduttivo **Y_m**, sono stati calcolati i valori di progetto della resistenza del terreno **X_d**.

I valori caratteristici sono:

- la coesione non drenata **C_{uk}** (per i terreni di natura coesiva)
- l'angolo di attrito interno efficace (per i terreni di natura granulare)
∅_k

mentre i corrispondenti valori di progetto sono:

- la coesione non drenata **C_{ud}** (per i terreni di natura coesiva)
- l'angolo di attrito interno efficace (per i terreni di natura granulare)
∅_d

MODELLO GEOTECNICO E VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Di seguito è riportato il modello stratigrafico ed i valori caratteristici dei litotecnici individuati.

Prof.da m a m.	qc	qc/fs	$\gamma(t/mc)$	γ (t/mc)	$\emptyset m$	$\emptyset k$	Cum (kpa)	Cuk (kpa)	Ed Kg/cm ^q	Ey Kg/cm ^q	Ni
0.00-2.00	28.28	26.17	1.92	1.95	28	26	55	52	80	90	0.35
2.00-4.00	15.23	22.77	1.90	1.95	23	21	59	55	75	46	0.40
4.00-10.80	10.05	19.10	1.90	1.95	23	21	52	49	65	45	0.40
10.80-12.00	19.21	18.25	1.95	1.99	24	22	88	86	85	69	0.40
12.00-15.20	7.11	16.12	1.90	1.95	20	18	48	45	35	45	0.35
15.20-16.00	38.21	41.25	1.90	1.95	29	27	--	--	85	90	0.35
16.00-20.00	12.02	19.36	1.90	1.96	24	22	55	53	75	45	0.40

In questa fase si danno indicazioni in riferimento a quanto descritto nel D.M. del 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive modifiche all'approccio 1 combinazione 2. in questo caso si fornisce il fattore di sicurezza (o fattore riduttivo) γ_M utilizzato nei calcoli è quello relativo all'**approccio 1 combinazione 2** (in questa quindi si usano i valori della colonna (M2)):

$\gamma_{\phi'} = 1,25$ per i terreni granulari e $\gamma_{cu} = 1,4$ per i terreni coesivi

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

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

10.2: VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative agli stati limite di esercizio (SLE), devono essere effettuate secondo le procedure illustrate nel D.M. del 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive modifiche. Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, mentre R_d è il valore di progetto della resistenza del terreno o del sistema geotecnico.

Il valore E_d si ricava dalla funzione

$$E_d = E \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad \text{ovvero} \quad E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

dove:

E_k = valore caratteristico dell'azione

F_k = azione caratteristica di progetto

X_k = parametro geotecnico caratteristico di progetto

a_d = geometria di progetto

γ_F = coefficiente parziale per le azioni

γ_E = coefficiente parziale per l'effetto delle azioni

γ_M = coefficiente parziale per il parametro geotecnico (coeff. di sicurezza)

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = E_k \cdot \gamma_E$.

Il valore R_d si ricava dalla funzione

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

10.3: SCELTA DELL'APPROCCIO DI PROGETTO

La verifica della suddetta condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi. Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono

previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nella scelta dell'approccio di progetto bisogna tener conto che le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite (SLU di tipo geotecnico):

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale

Tabella 6.4.1 (dell' NTC 2008) - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli SLU di fondazioni superficiali.

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

10.4: DETERMINAZIONE DEL VALORE DI PROGETTO DELLE AZIONI “ED”

Il comune di Russi (RA) ricade in Zona 2, ai sensi del OPCM 3274 del 20 marzo 2003 e successive variazioni, quindi la combinazione delle azioni da impiegare per la verifica agli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E è la seguente (v. § 2.5.3 dell' NTC 2008):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (\text{v. § 2.5.5 dell' NTC 2008})$$

Dove:

- E sono le azioni derivanti da terremoti;
- G sono le azioni permanenti quali il peso proprio degli elementi strutturali e non, eventuali forze indotte dal terreno e forze risultanti dalla pressione dell'acqua;
- P è la pretensione o precompressione (se permanenti)
- Q azioni variabili nel tempo

ψ rappresenta la durata percentuale relativa ai livelli di intensità dell'azione variabile (quasi permanente, frequente, raro).

Quanto detto fin ora dovrà essere usato per il calcolo e la verifica dello stato limite ultimo ed applicato ai valori di E_d fornito dal progettista assieme agli altri fattori riferiti alla struttura vera e propria (carichi tipo di fondazione ecc.) e decidendo quale tipo di approccio si intende intraprendere.

10.4. STATO LIMITE ULTIMO-STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLU-SLE)

A titolo di primo orientamento si danno indicazioni sulla verifica allo stato limite ultimo per un plinto di dimensioni 2 x 2 m impostato a -1.50 m dal piano di campagna. Per la determinazione della R_d si utilizzata la formula di Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8). Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza: $E_d \leq R_d$

Dove E_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici. Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

IL CARICO LIMITE IN CONDIZIONI NON DRENATE E' CALCOLATO COME SEGUE:

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$s_c = 1 + 0,2 (B'/L')$ per fondazioni rettangolari

$s_c = 1,2$ Per fondazioni quadrate o circolari.

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico

H. $i_c = 0,5(1 + \sqrt{1 - H/A'c_u})$

Fattori di forma

$s_q = 1 + (B'/L') \text{sen}\phi'$ per forma rettangolare

$s_q = 1 + \text{sen}\phi'$ per forma quadrata o circolare

$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L')$ per forma rettangolare

$s_\gamma = 0,7$ per forma quadrata o circolare

$s_c = (s_q \cdot N_q - 1)/(N_q - 1)$ per forma rettangolare, quadrata o circolare.

Il calcolo della stato limite ultimo viene effettuato sia in condizioni statiche (senza sisma) sia in condizioni dinamiche (con sisma)

Per modificare quanto sopra descritto con i parametri sismici, occorre inserire nella forma precedente i fattori correttivi .

FATTORI CORRETTIVI SISMICI

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del qlim vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_o}{\text{tg}\phi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_o$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove k_o è il coefficiente sismico orizzontale.

Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti k_o e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_o = a_{\max}/g$$

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

Dove:

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$a_{max} = S S S T a g$

$S S$ (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S s \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S T$ (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendii.

Il valore di $S T$ varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

T1 ($S T = 1.0$) T2 ($S T = 1.20$) T3($S T = 1.20$) T4($S T = 1.40$).

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$T R = -V R / \ln(1 - P V R)$

Con $V R$ vita di riferimento della costruzione e $P V R$ probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso $V R$ dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Si è fatto il calcolo ipotizzando una fondazione su plinti di dimensioni 2 x 2 m impostate a - 1.50 m da piano campagna.

1: CONDIZIONI STATICHE/DINAMICHE

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)
 Pressione limite 2.09/2.41 Kg/cm²

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 1.75/1.82 Kg/cm³

(si ricorda che questi valori vanno divisi per il coefficiente parziale R3 che per l'approccio 2 vale 2.3 come indicato Tabella 6.4.I (dell' NTC 2008)

10.5: PREVISIONE DEGLI ASSESTAMENTI

Si assumono come sovraccarichi applicati al terreno i valori di pressione ammissibile media sopra calcolati. Definendo i seguenti parametri [ΔP_n = incremento di carico dello strato n; m_{vn} = indice di compressibilità volumetrica dello strato n, dedotto da correlazioni empiriche con R_p (resistenza alla punta misurata con il penetrometro), dedotte da tabella ; H_n = spessore dello strato n; ΔS_n = cedimento dello strato n; $STOT$ = cedimento totale] ed applicandoli alla formula $\Delta S_n = \Delta P_n \times m_v \times H_n$ si sono ottenuti i seguenti cedimenti.

TERRENI COESIVI		TORBOSI MOLTO COMPRIMIBILI		TERRENI GRANULARI	
Rp(kg/cm ²)	$\alpha=Mo/Rp$	umidità W %	$\alpha = Mo/Rp$	Rp(kg/cm ²)	$\alpha=Mo/Rp$
≤5	5.0	≤ %05	3.0	≤5	3
10	4.0	100%	1.5	100	3
15	3.3	200%	1.0	200	3

Applicando come sovraccarico al terreno di appoggio una fondazione su plinti, impostati a -1.50 m che scarica una **pressione di esercizio** (secondo SLE) media di circa 0.80 kg/cm² si sono ottenuti i seguenti cedimenti:

$STOT=2.89/3.01$ cm.

11: SISMICITA' DELL'AREA

La sismicità dell'area di costruzione viene regolata dal Decreto ministeriale 14 settembre 2005, recante "Norme tecniche per le costruzioni" – di seguito denominato "Decreto ministeriale" – entra in vigore il 23 ottobre 2005, trenta giorni dopo la sua pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale, avvenuta il giorno 23 settembre 2005.**2.** Il Decreto ministeriale detta la normativa tecnica nazionale per le costruzioni, di cui all'art. 54 del D.Lgs. n. 112/1998 e alle altre leggi citate nell'art. 1 dello stesso Decreto ministeriale. Questa prima classificazione costituiva il riferimento necessario per l'applicazione della normativa tecnica prevista dalla medesima Ordinanza. Quindi anche il comune di Russi è entrato a far parte delle aree definite a "rischio sismico" e inserita in zona 2; la nuova classificazione sismica mette il territorio del comune di Russi in zona sismica 2 con accelerazione pari **a 0.25 g secondo la normativa nazionale**. La Regione Emilia Romagna ha emanato "L'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". In queste linee di indirizzo si danno i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della regione.

Per Russi si è data una accelerazione di 0.184.

11.1. MISURE DIGITALI DEL RUMORE SISMICO ESEGUITE CON IL "TROMINO" – SASW-MASW

Dall'integrazione delle misure sismiche passive (Tromino) e attive (Masw) è possibile giungere alla valutazione dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse e della V_{s30} . Il Tromino è uno strumento in grado di misurare i microtremori. Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S

che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4 \times H}$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e

quindi dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore. Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici. La misurazione attiva delle SASW/MASW, permettono la misurazione della velocità delle onde di Rayleigh, comparabili con la velocità delle onde V_s , attraverso l'esecuzione di sismica attiva. Si utilizza il Tromino come acquisitore e a distanza prefissata lungo uno stendimento lineare si posiziona un Trigger e si energizza il punto. Nel caso specifico è stato realizzato stendimento secondo uno schema X-X con campionature ogni 3 m. Stendimento X (m) = 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51. La calibrazione delle misure dei microtremori e delle misure Masw è stata eseguita in base alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine. La prova eseguita impiegando la suddetta metodologia dei microtremori ha evidenziato, combinata con la MASW, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), correlata ed integrata con le misure attive MASW, una $V_{s30} = 171$ m/s. Nel caso specifico è possibile individuare, in prima analisi, la sottostante frequenza fondamentale per il deposito esaminato, anche se non ben evidenziata dalla curva H/V.

La progettazione e le verifiche del modello sismico delle opere in progetto potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.

Anche se lo spettro nei ns terreni risulta alquanto complesso da identificare in quanto non è presente un picco ben definibile, dalla esperienza si è potuto notare che la frequenza caratteristica del deposito risulta essere (almeno nelle ns pianure) attorno a circa 0.9/1.0 hz.

Frequenza fondamentale di vibrazione del deposito	
Frequenza f (hz)	Periodo T(sec)
0.90	1.11

Per quanto riguarda la categoria del suolo di fondazione, secondo la nuova normativa di legge, e in assenza di indagini profonde, il sottosuolo presenta caratteristiche tipiche della categoria "D" aventi una $V_{s30} < 180$ m/s che corrisponde ad un valore di $N_{spt} < 15$ $cu < 70$ kPa

Questo valore viene calcolato mediante la restituzione dell'indagine geofisica che ha dato un valore di V_{s30} di circa **171 m/sec**. Il report della MASW viene in calce allegato.

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 44,3856668287167

longitudine: 12,0481768655641

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 17406 Lat: 44,3758 Lon: 12,0217 Distanza: 2375,976

Sito 2 ID: 17407 Lat: 44,3766 Lon: 12,0916 Distanza: 3593,765

Sito 3 ID: 17185 Lat: 44,4266 Lon: 12,0905 Distanza: 5658,997

Sito 4 ID: 17184 Lat: 44,4258 Lon: 12,0205 Distanza: 4970,406

 Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	D
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1
Operatività (SLO):	
Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,054 g
Fo:	2,449
Tc*:	0,261 [s]
Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,067 g
Fo:	2,450
Tc*:	0,276 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):	
Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	475 [anni]
ag:	0,178 g
Fo:	2,439
Tc*:	0,296 [s]
Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	975 [anni]
ag:	0,233 g
Fo:	2,422
Tc*:	0,300 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,800

Cc: 2,450
St: 1,000
Kh: 0,019
Kv: 0,010
Amax: 0,949
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,800
Cc: 2,380
St: 1,000
Kh: 0,024
Kv: 0,012
Amax: 1,191
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,750
Cc: 2,300
St: 1,000
Kh: 0,075
Kv: 0,037
Amax: 3,053
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,550
Cc: 2,280
St: 1,000
Kh: 0,101
Kv: 0,051
Amax: 3,540
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

[Geostru software - www.geostru.com](http://www.geostru.com).

11.2: STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Essendo gli strati sabbiosi saturi presenti nei primi 15/20 metri di profondità quelli potenzialmente liquefacibili, occorre valutare tale potenzialità di liquefazione per gli eventuali strati granulari di potenza superiore al metro, riscontrati nel corso della prova CPT

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Dall'analisi dei fattori che predispongono un terreno alla liquefazione, tra i quali la granulometria, la profondità del livello potenzialmente liquefacibile, il grado di addensamento dei depositi, in linea generale si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti costituiti da sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile dallo 0 al 25%, si trovano sotto falda, sono da poco a mediamente addensati e si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori a 15/20 metri). Per la presenza di depositi granulari/incoerenti con spessori > 1,00 m e saturi d'acqua, si ritiene necessario eseguire la verifica a liquefazione.

Per la verifica a liquefazione si è utilizzata la procedura semplificata originariamente sviluppata da Seed & Idriss (1971), basata sulla correlazione della capacità di resistenza del terreno alla liquefazione CRR ed un parametro definito domanda di resistenza ciclica indotta dal sisma CSR. La valutazione della resistenza alla liquefazione CRR è stata eseguita sulla base dei valori di resistenza alla punta q_c ottenuti dalle prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, opportunamente trasformati in N° colpi prova SPT attraverso la metodologia proposta da Jefferies & Davies (1993):

$$N_{SPT} = q_c / \{0,85[1 - (I_c/4,75)]\}$$

dove q_c è espresso in MPa e I_c è l'indice di comportamento di terreno calcolato in accordo a Jefferies ($2,05 < I_c < 2,60$ da sabbie limose a limi sabbiosi).

Il potenziale di liquefazione si ottiene eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FS_L , definito dal rapporto CRR su CSR.

Il valore di CRR ottenuto si riferisce ad eventi sismici di magnitudo M pari a 7,5; diversi studi hanno permesso di definire un fattore di scala per la magnitudo sismica di riferimento, denominato MSF.

Nelle verifiche è stato adottato un fattore di scala modificato secondo il metodo NCEER (Seed R. B. et al; 1997, 2003)

La liquefazione è in relazione al fattore di sicurezza nel seguente modo:

- $FS_L > 1,25$ **liquefazione assente**
- $1,0 < FS_L < 1,25$ **liquefazione possibile**
- $FS_L < 1,00$ **liquefazione molto probabile**

Secondo la normativa i livelli di sabbia presenti alla varie profondità potrebbero avere problematica secondo questa problematica ma tale livello risulta essere troppo sottile per poter essere preso in considerazione per tale pericolo. E' necessario considerare che, secondo alcuni autori (Sherif-Ishibashi, 1978), occorre che i depositi siano costituiti da sabbie o sabbie limose con frazione fine inferiore al 25% che si trovino sotto il livello statico di falda e che siano sovrastati da livelli non liquefacibili con spessore inferiore a 3 metri. I valori dei fattori di sicurezza ottenuti dalle verifiche, comunque superiori all'unità, uniti alla presenza di depositi coesivi dello spessore di almeno 10 metri al di sopra degli strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili portano a concludere che i rischi in tal senso nell'area interessata dall'intervento edilizio si possono considerare estremamente ridotti. Si segnala comunque che, nel caso specifico, alcuni livelli degli strati considerati presentano fattori di sicurezza inferiore a 1; pertanto, per maggiore dettaglio, si è proceduto alla Valutazione dell'indice del potenziale di liquefazione I_L secondo quanto riportato nell'Allegato A3 della Delibera dell'Assemblea legislativa n. 112 – Oggetto n. 2131 del 2 Maggio 2007. Il rischio di liquefazione in base ai valori di tale indice risulta essere:

$0 < I_L \leq 5 \rightarrow$ **RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "BASSO"**

$5 < I_L \leq 15 \rightarrow$ **RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "ELEVATO"**

$I_L > 15 \rightarrow$ **RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "ESTREMAMENTE ELEVATO"**

L'indice del potenziale di liquefazione, I_L è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$; ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale:

$F = 1 - FL$ se $FL \leq 1.0$

$F = 0$ se $FL > 1.0$

dove FL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Dallo sviluppo dei calcoli attraverso il software CLIQ, si ottiene un valore di $I_L = 2.29$ per la cpt 1 che consente, nel caso specifico, di attribuire al sito in questione un **rischio di liquefazione basso**.

Discorso analogo è stato fatto per la cpt 2 che ha dato un valore di $I_p=0$

12: CONCLUSIONI

- La falda freatica e' presente nell'area alla profondità di circa – 3.50/3.60 m dal piano di esecuzione delle prove.
- la nuova classificazione sismica mette il territorio del comune di RUSSI in zona sismica 2 con accelerazione pari a 0.25 g.
- *Per quanto riguarda la categoria del suolo di fondazione, secondo la nuova normativa di legge, e in assenza di indagini profonde, il sottosuolo presenta caratteristiche tipiche della categoria "D" aventi una $V_{s30} < 180$ m/s che corrisponde ad un valore di $N_{spt} < 15$ $c_u < 70$ kPa*

Questo valore viene calcolato mediante la restituzione dell'indagine geofisica che ha dato un valore di V_{s30} di circa **171 m/sec**. Il report della MASW viene in calce allegato.

- In base agli aspetti geomorfologici e idrogeologici dell'area l'edificazione può essere messa in atto senza particolari limitazioni se non quelle previste dalla legge.

- La stratigrafia desunta dalla C.P.T. indica una improbabilità di liquefazione del terreno in caso di evento sismico nell'area interessata e nell'immediato intorno in quanto in prevalenza coerente; i livelli debolmente sabbiosi hanno un contenuto elevato di limo.
- Essendo gli strati sabbiosi saturi presenti nei primi 15/20 metri di profondità quelli potenzialmente liquefacibili, occorre valutare tale potenzialità di liquefazione per gli eventuali strati granulari di potenza superiore al metro, riscontrati nel corso della prova CPT. Si è proceduto alla Valutazione dell'indice del potenziale di liquefazione I_L secondo quanto riportato nell'Allegato A3 della Delibera dell'Assemblea legislativa n. 112 – Oggetto n. 2131 del 2 Maggio 2007. Il rischio di liquefazione in base ai valori di tale indice risulta essere:

$0 < I_L \leq 5$ → RISCHIO DI LIQUEFAZIONE “BASSO”

$5 < I_L \leq 15$ → RISCHIO DI LIQUEFAZIONE “ELEVATO”

$I_L > 15$ → RISCHIO DI LIQUEFAZIONE “ESTREMAMENTE ELEVATO”

Dallo sviluppo dei calcoli attraverso il software CLIQ, si ottiene un valore di $I_L = 2.29$ per la cpt 1 che consente, nel caso specifico, di attribuire al sito in questione un **rischio di liquefazione basso**.

Discorso analogo è stato fatto per la cpt 2 che ha dato un valore di $I_p=0$.

- La verifica allo SLU della fondazione nella condizione $\Phi = 0$ e $c_u > 0$ (condizioni non drenate) sono le seguenti :

1: CONDIZIONI STATICHE

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Pressione limite 2.09/2.41 Kg/cm²

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 1.75/1.82 Kg/cm³

(si ricorda che questi valori vanno divisi per il coefficiente parziale R_3 che per l'approccio 2 vale 2.3 come indicato Tabella 6.4.1 (dell' NTC 2008).

- Applicando come sovraccarico al terreno di appoggio una fondazione su plinti, che scarica una pressione di esercizio (SLE) di circa 0.80 kg/cmq si sono ottenuti i seguenti cedimenti:

$$S_{TOT} = 2.89/3.01 \text{ cm}$$

Come previsto ci si può attendere cedimenti apprezzabili ma usuali per la tipologia del terreno e per la tipologia di intervento edilizio, rimanendo pur sempre entro limiti accettabili. Questo valore calcolato è però riferito ad una fondazione di quel tipo impostata sul terreno naturale.

RAVENNA NOVEMBRE 2015

REDATTO:

DOTT. GEOLOGO OBERDAN DRAPELLI

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

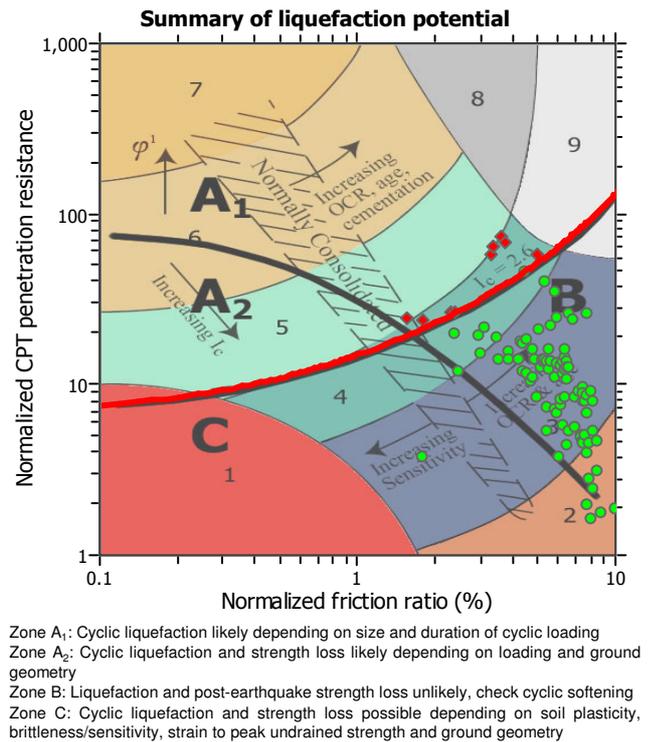
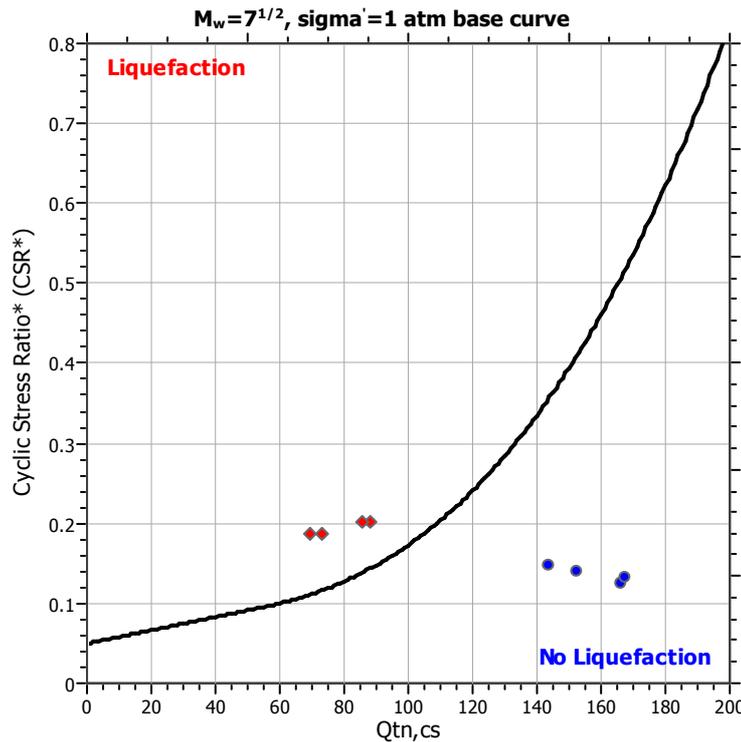
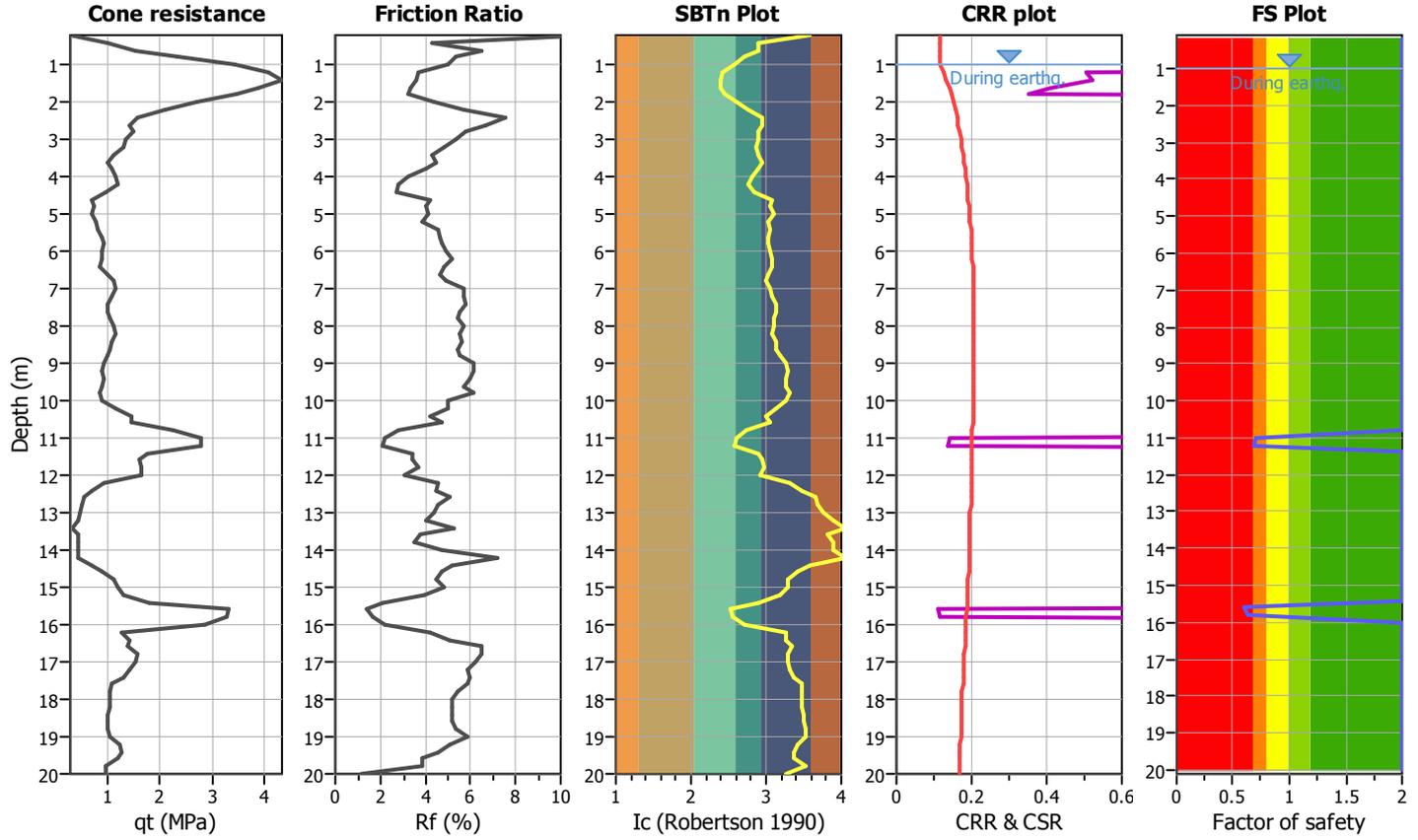
Project title : VERIFICA LIQUEFAZIONE

Location : BORGO ZAMPARTINO - RUSSI (RA)

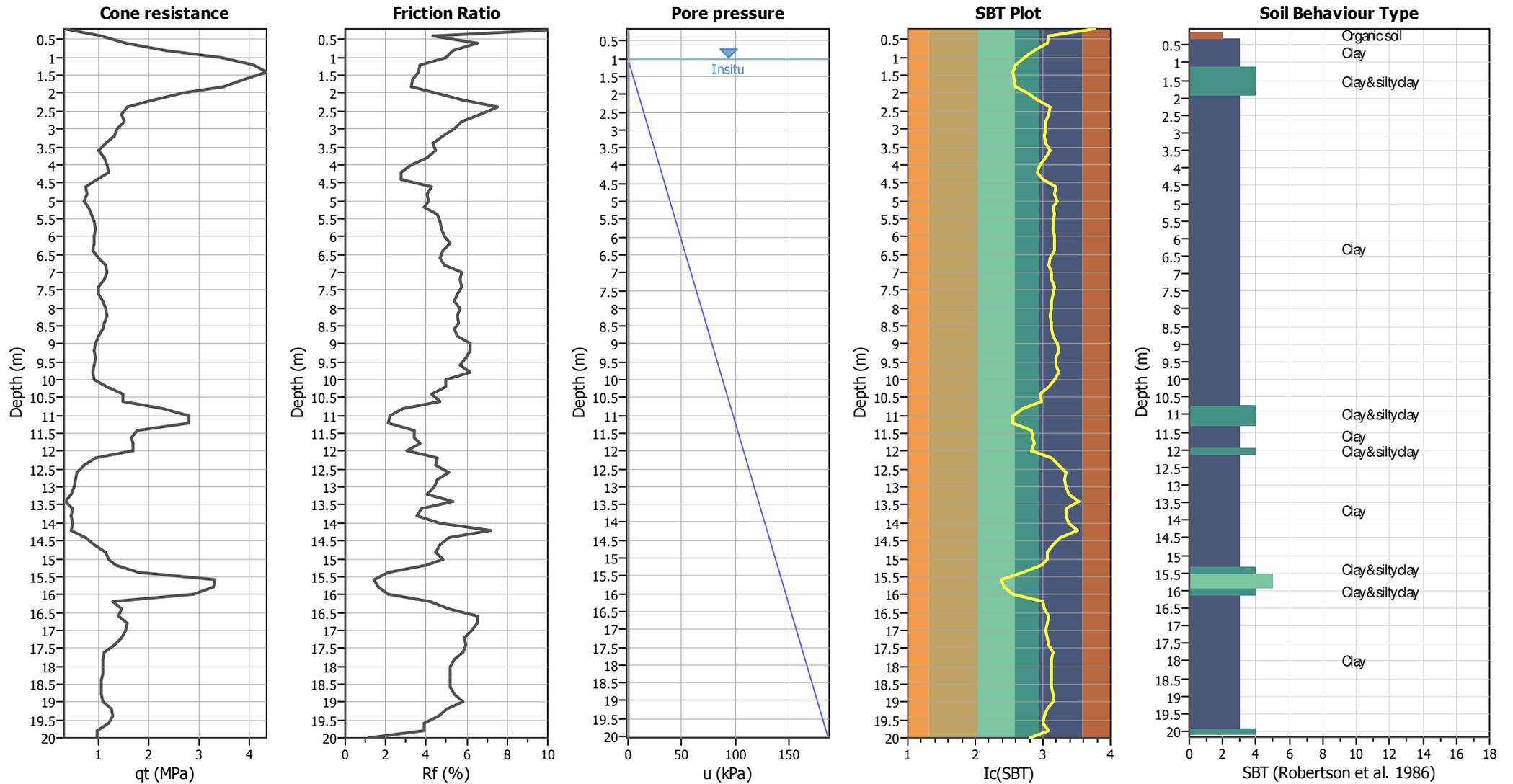
CPT file : CPT1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.31	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



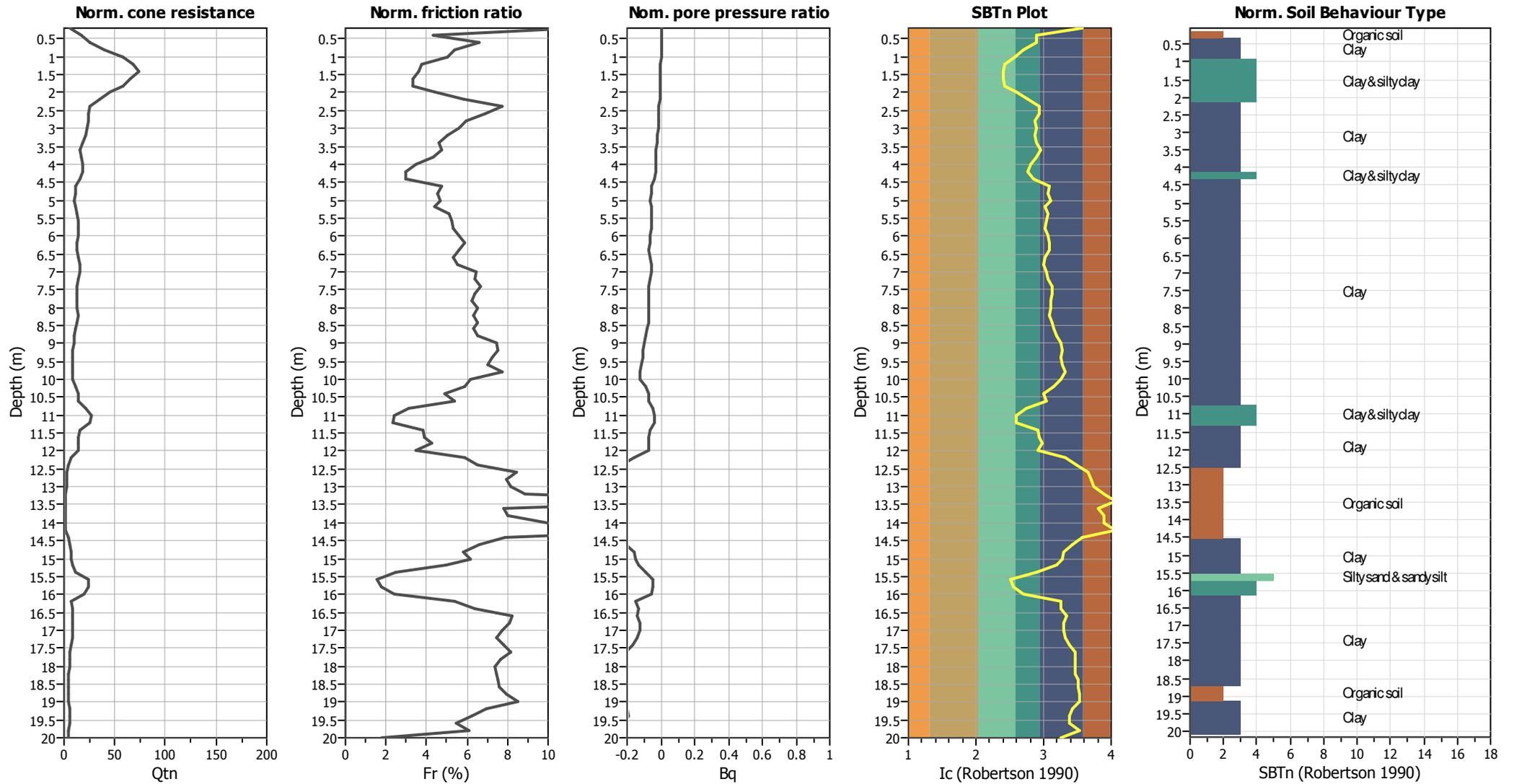
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

CPT basic interpretation plots (normalized)



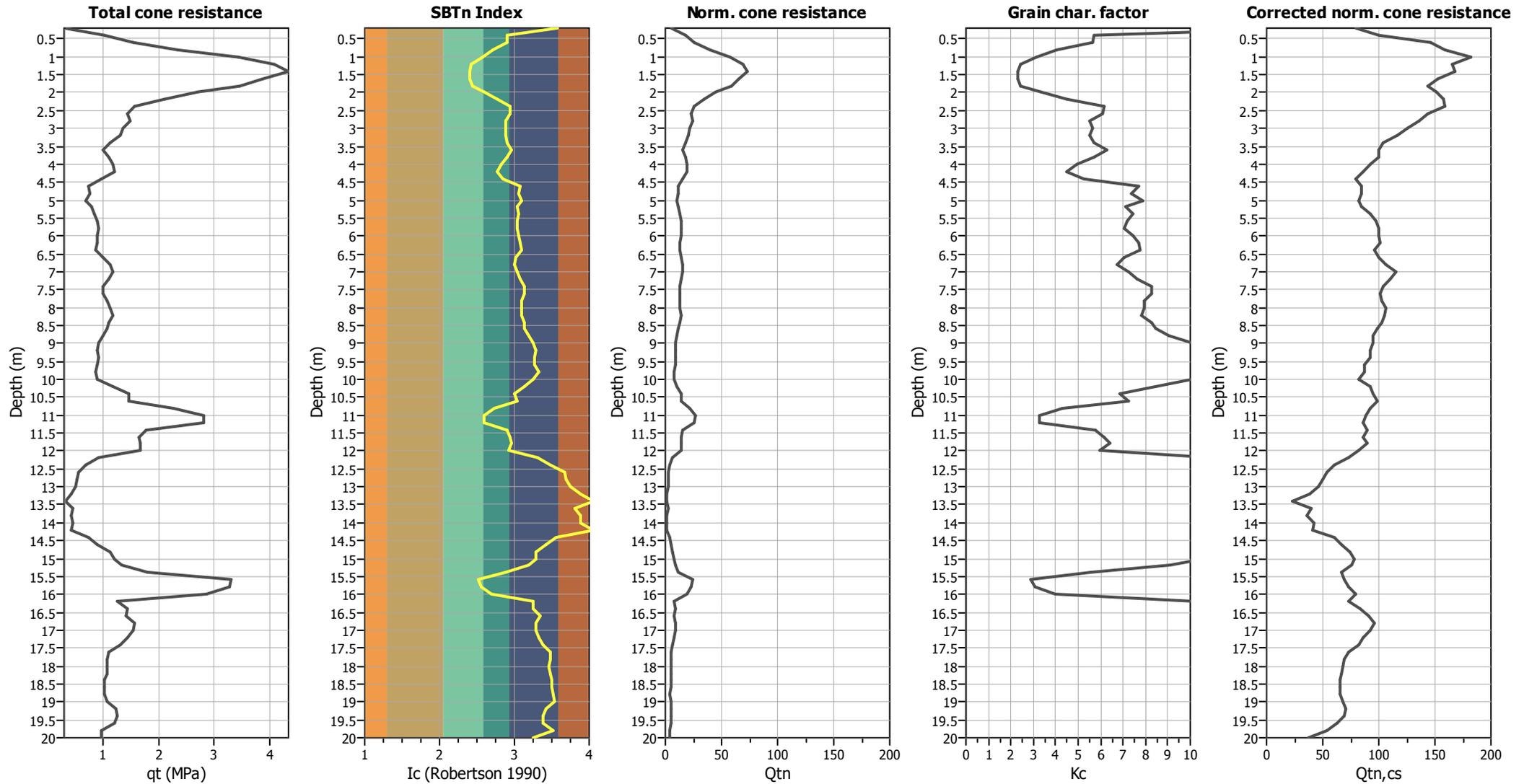
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

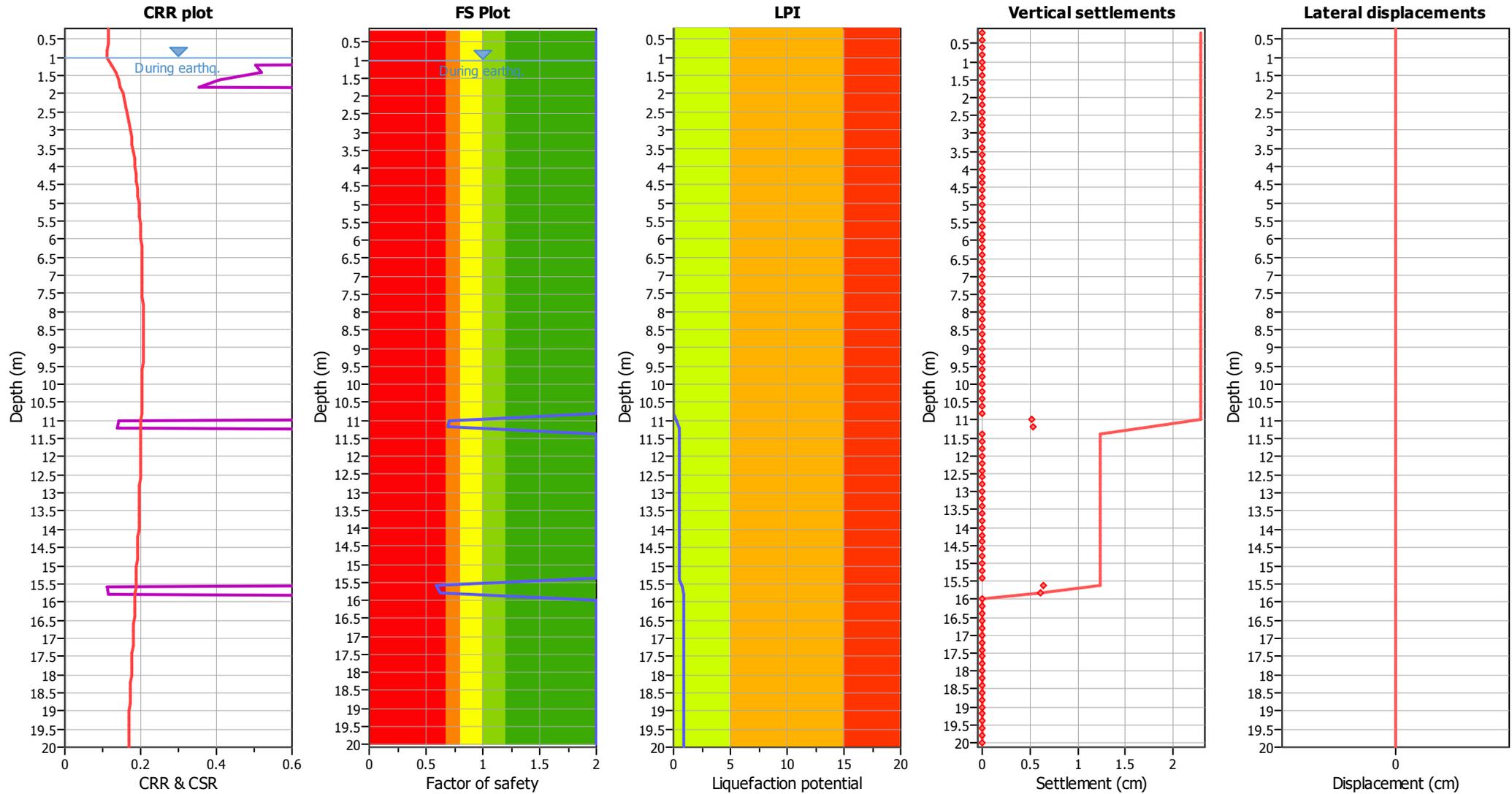
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _{cs} applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

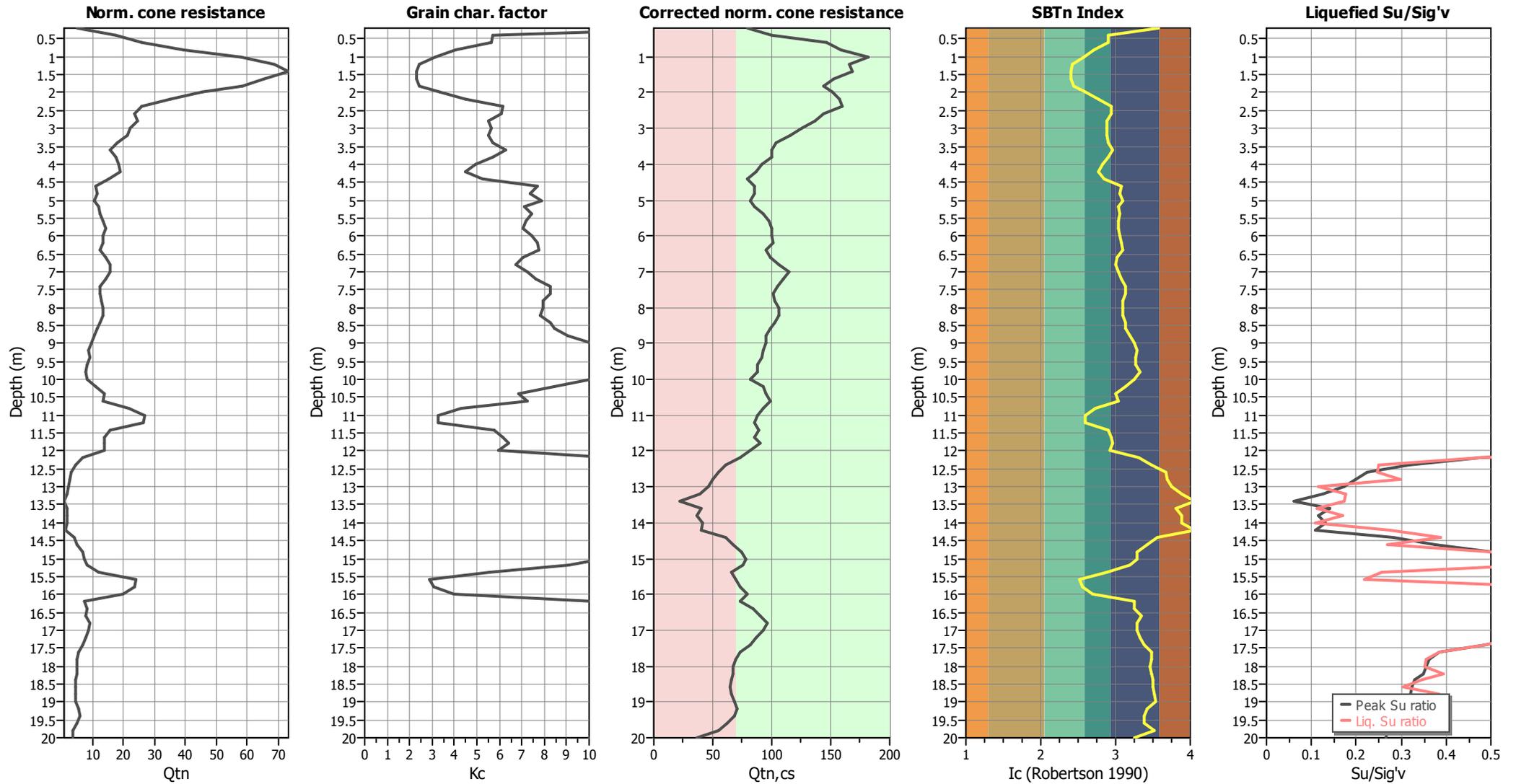
F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	2.00	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	2.00	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	0.71	0.29	4.50	0.20	0.26	11.20	0.69	0.31	4.40	0.20	0.27
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	0.59	0.41	2.20	0.20	0.18
15.80	0.62	0.38	2.10	0.20	0.16	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	2.00	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	2.00	0.00	1.00	0.20	0.00
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	2.00	0.00	0.80	0.20	0.00
18.60	2.00	0.00	0.70	0.20	0.00	18.80	2.00	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	0.00

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
19.40	2.00	0.00	0.30	0.20	0.00	19.60	2.00	0.00	0.20	0.20	0.00
19.80	2.00	0.00	0.10	0.20	0.00	20.00	2.00	0.00	0.00	0.20	0.00

Overall liquefaction potential: 0.87

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point

F_L: 1 - FS

w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth

d_z: Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction ::											
Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
1.00	182.16	2.00	0.00	1.00	0.00	1.20	166.00	2.00	0.00	1.00	0.00
1.40	167.78	2.00	0.00	1.00	0.00	1.60	152.37	2.00	0.00	1.00	0.00
1.80	143.46	2.00	0.00	1.00	0.00	2.00	151.41	2.00	0.00	1.00	0.00
2.20	157.88	2.00	0.00	1.00	0.00	2.40	159.58	2.00	0.00	1.00	0.00
2.60	143.60	2.00	0.00	1.00	0.00	2.80	136.14	2.00	0.00	1.00	0.00
3.00	125.67	2.00	0.00	1.00	0.00	3.20	116.14	2.00	0.00	1.00	0.00
3.40	104.03	2.00	0.00	1.00	0.00	3.60	100.08	2.00	0.00	1.00	0.00
3.80	99.69	2.00	0.00	1.00	0.00	4.00	91.91	2.00	0.00	1.00	0.00
4.20	86.13	2.00	0.00	1.00	0.00	4.40	79.09	2.00	0.00	1.00	0.00
4.60	84.99	2.00	0.00	1.00	0.00	4.80	85.08	2.00	0.00	1.00	0.00
5.00	82.05	2.00	0.00	1.00	0.00	5.20	85.11	2.00	0.00	1.00	0.00
5.40	92.74	2.00	0.00	1.00	0.00	5.60	97.45	2.00	0.00	1.00	0.00
5.80	99.88	2.00	0.00	1.00	0.00	6.00	99.84	2.00	0.00	1.00	0.00
6.20	101.54	2.00	0.00	1.00	0.00	6.40	95.67	2.00	0.00	1.00	0.00
6.60	99.39	2.00	0.00	1.00	0.00	6.80	106.53	2.00	0.00	1.00	0.00
7.00	114.85	2.00	0.00	1.00	0.00	7.20	109.71	2.00	0.00	1.00	0.00
7.40	104.38	2.00	0.00	1.00	0.00	7.60	101.37	2.00	0.00	1.00	0.00
7.80	102.43	2.00	0.00	1.00	0.00	8.00	106.67	2.00	0.00	1.00	0.00
8.20	105.67	2.00	0.00	1.00	0.00	8.40	102.63	2.00	0.00	1.00	0.00
8.60	98.27	2.00	0.00	1.00	0.00	8.80	95.16	2.00	0.00	1.00	0.00
9.00	95.16	2.00	0.00	1.00	0.00	9.20	92.19	2.00	0.00	1.00	0.00
9.40	91.72	2.00	0.00	1.00	0.00	9.60	87.49	2.00	0.00	1.00	0.00
9.80	87.67	2.00	0.00	1.00	0.00	10.00	81.49	2.00	0.00	1.00	0.00
10.20	92.16	2.00	0.00	1.00	0.00	10.40	94.96	2.00	0.00	1.00	0.00
10.60	98.63	2.00	0.00	1.00	0.00	10.80	92.25	2.00	0.00	1.00	0.00
11.00	87.90	0.71	2.60	1.00	0.52	11.20	85.82	0.69	2.65	1.00	0.53
11.40	89.49	2.00	0.00	1.00	0.00	11.60	85.97	2.00	0.00	1.00	0.00
11.80	89.84	2.00	0.00	1.00	0.00	12.00	81.79	2.00	0.00	1.00	0.00
12.20	72.83	2.00	0.00	1.00	0.00	12.40	60.82	2.00	0.00	1.00	0.00
12.60	54.37	2.00	0.00	1.00	0.00	12.80	49.64	2.00	0.00	1.00	0.00
13.00	46.11	2.00	0.00	1.00	0.00	13.20	39.10	2.00	0.00	1.00	0.00
13.40	22.45	2.00	0.00	1.00	0.00	13.60	40.30	2.00	0.00	1.00	0.00
13.80	36.35	2.00	0.00	1.00	0.00	14.00	41.77	2.00	0.00	1.00	0.00
14.20	40.82	2.00	0.00	1.00	0.00	14.40	60.75	2.00	0.00	1.00	0.00
14.60	66.70	2.00	0.00	1.00	0.00	14.80	74.25	2.00	0.00	1.00	0.00
15.00	77.97	2.00	0.00	1.00	0.00	15.20	75.95	2.00	0.00	1.00	0.00
15.40	66.28	2.00	0.00	1.00	0.00	15.60	69.11	0.59	3.16	1.00	0.63
15.80	73.13	0.62	3.02	1.00	0.60	16.00	79.01	2.00	0.00	1.00	0.00
16.20	73.19	2.00	0.00	1.00	0.00	16.40	83.76	2.00	0.00	1.00	0.00
16.60	90.42	2.00	0.00	1.00	0.00	16.80	95.79	2.00	0.00	1.00	0.00
17.00	92.32	2.00	0.00	1.00	0.00	17.20	86.35	2.00	0.00	1.00	0.00
17.40	81.64	2.00	0.00	1.00	0.00	17.60	72.79	2.00	0.00	1.00	0.00
17.80	69.00	2.00	0.00	1.00	0.00	18.00	67.58	2.00	0.00	1.00	0.00
18.20	67.14	2.00	0.00	1.00	0.00	18.40	65.25	2.00	0.00	1.00	0.00
18.60	64.82	2.00	0.00	1.00	0.00	18.80	65.33	2.00	0.00	1.00	0.00
19.00	68.10	2.00	0.00	1.00	0.00	19.20	70.48	2.00	0.00	1.00	0.00
19.40	68.71	2.00	0.00	1.00	0.00	19.60	62.52	2.00	0.00	1.00	0.00
19.80	54.44	2.00	0.00	1.00	0.00	20.00	37.14	2.00	0.00	1.00	0.00

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
--------------	-------------	----	-----------	----	--------------------	--------------	-------------	----	-----------	----	--------------------

Total estimated settlement: 2.29**Abbreviations**

$Q_{tn,cs}$: Equivalent clean sand normalized cone resistance
FS: Factor of safety against liquefaction
 e_v (%): Post-liquefaction volumetric strain
DF: e_v depth weighting factor
Settlement: Calculated settlement

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

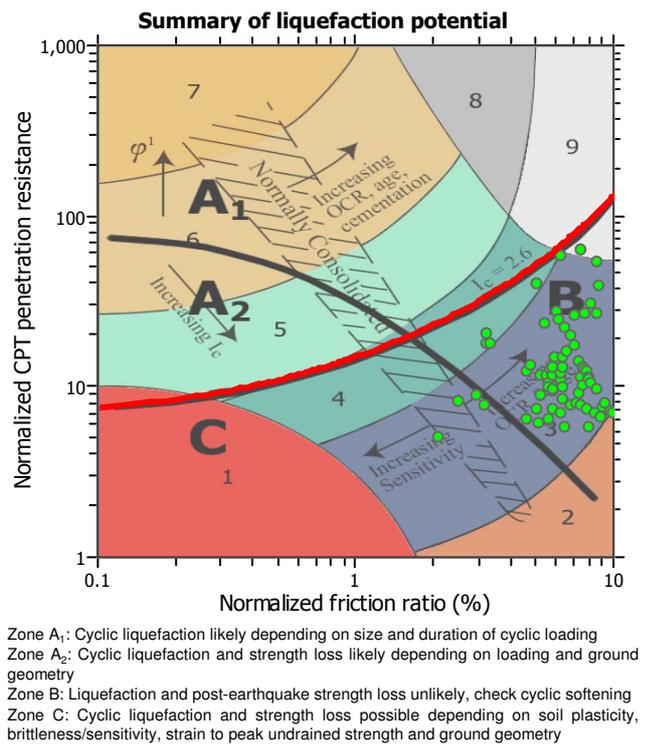
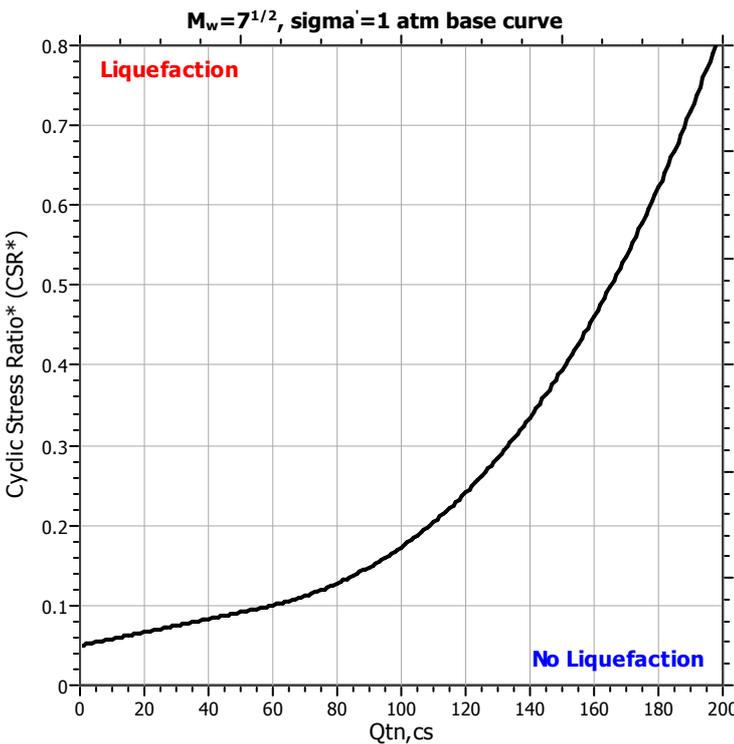
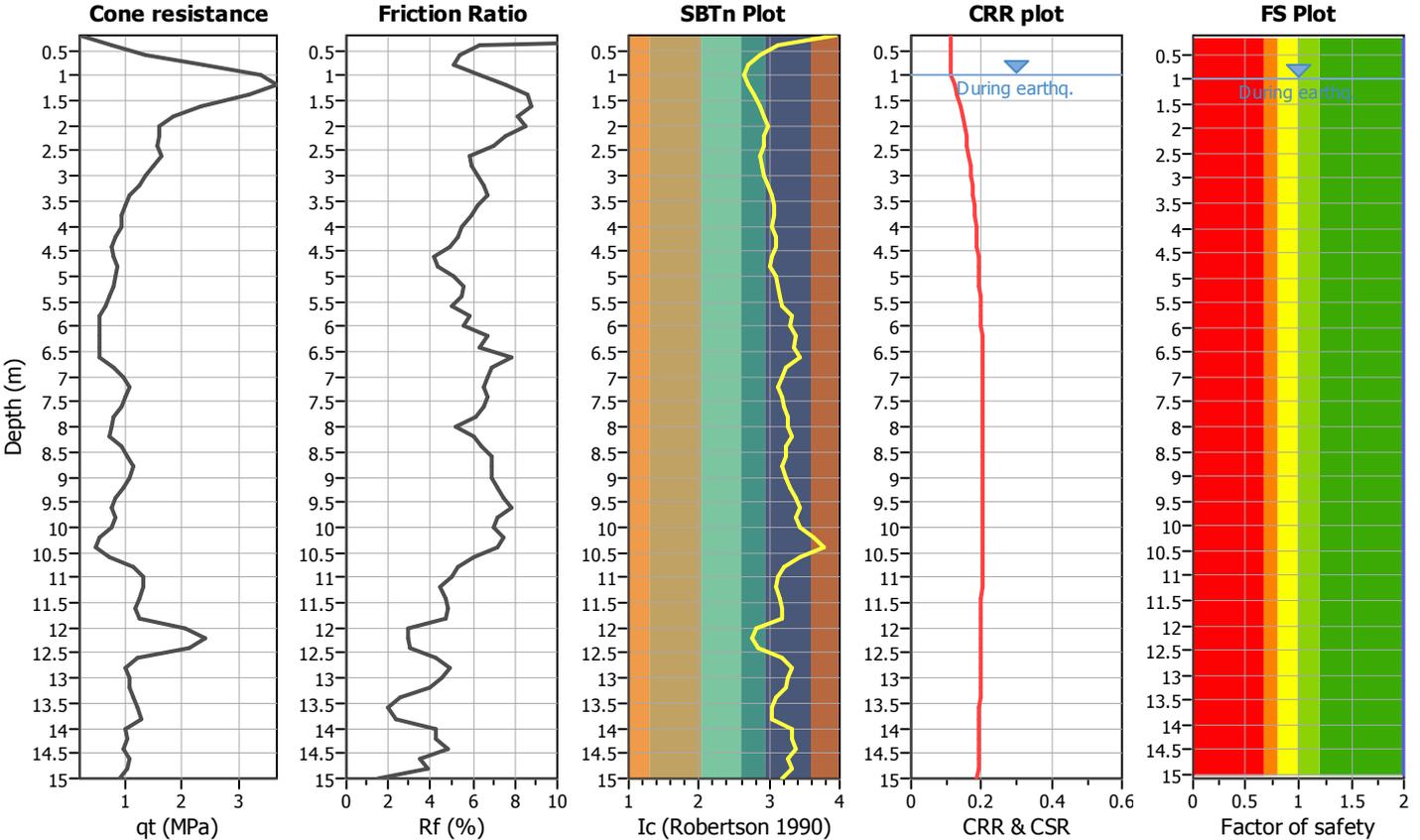
Project title : VERIFICA LIQUEFAZIONE

Location : BORGO ZAMPARTINO - RUSSI (RA)

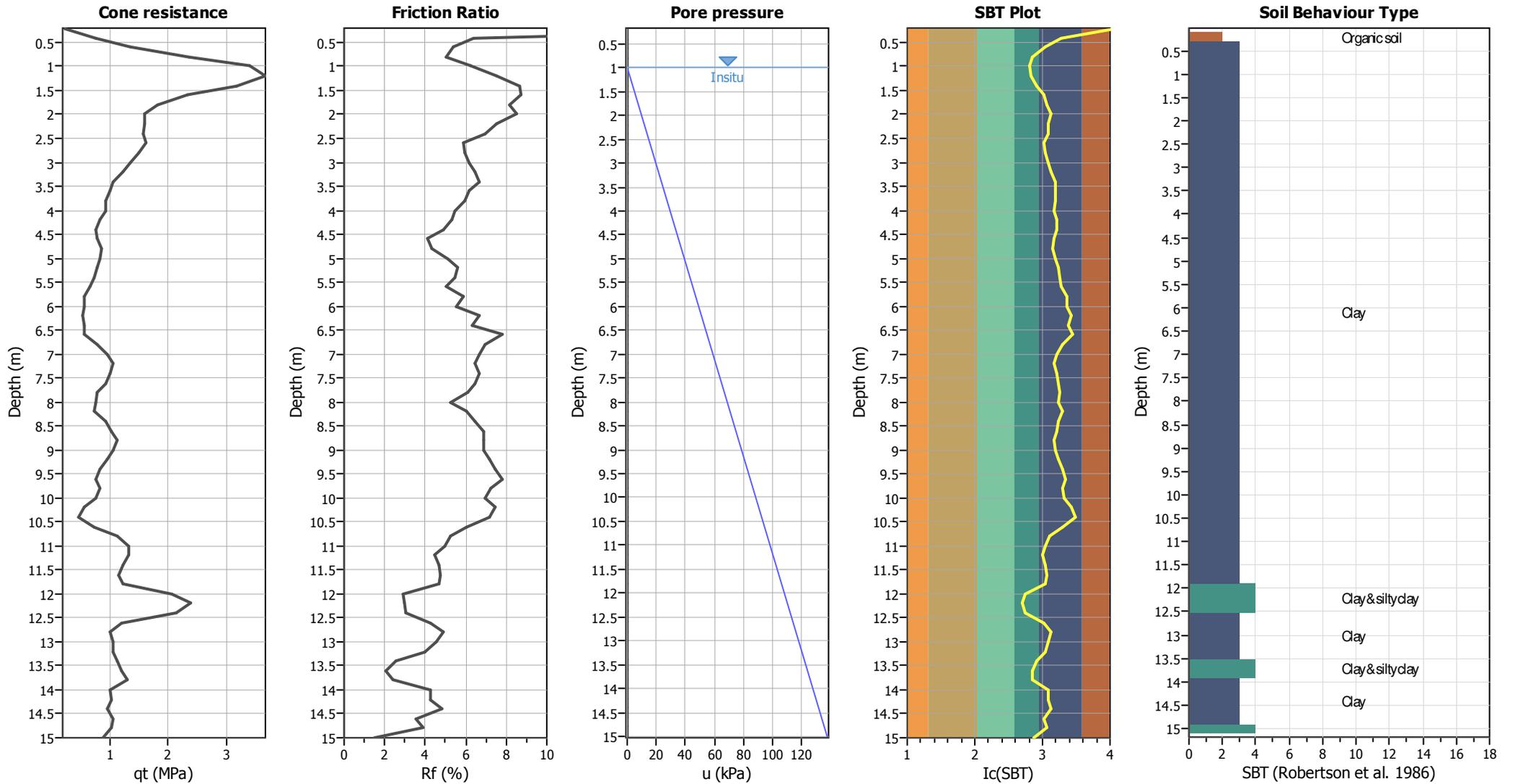
CPT file : CPT2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.31	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



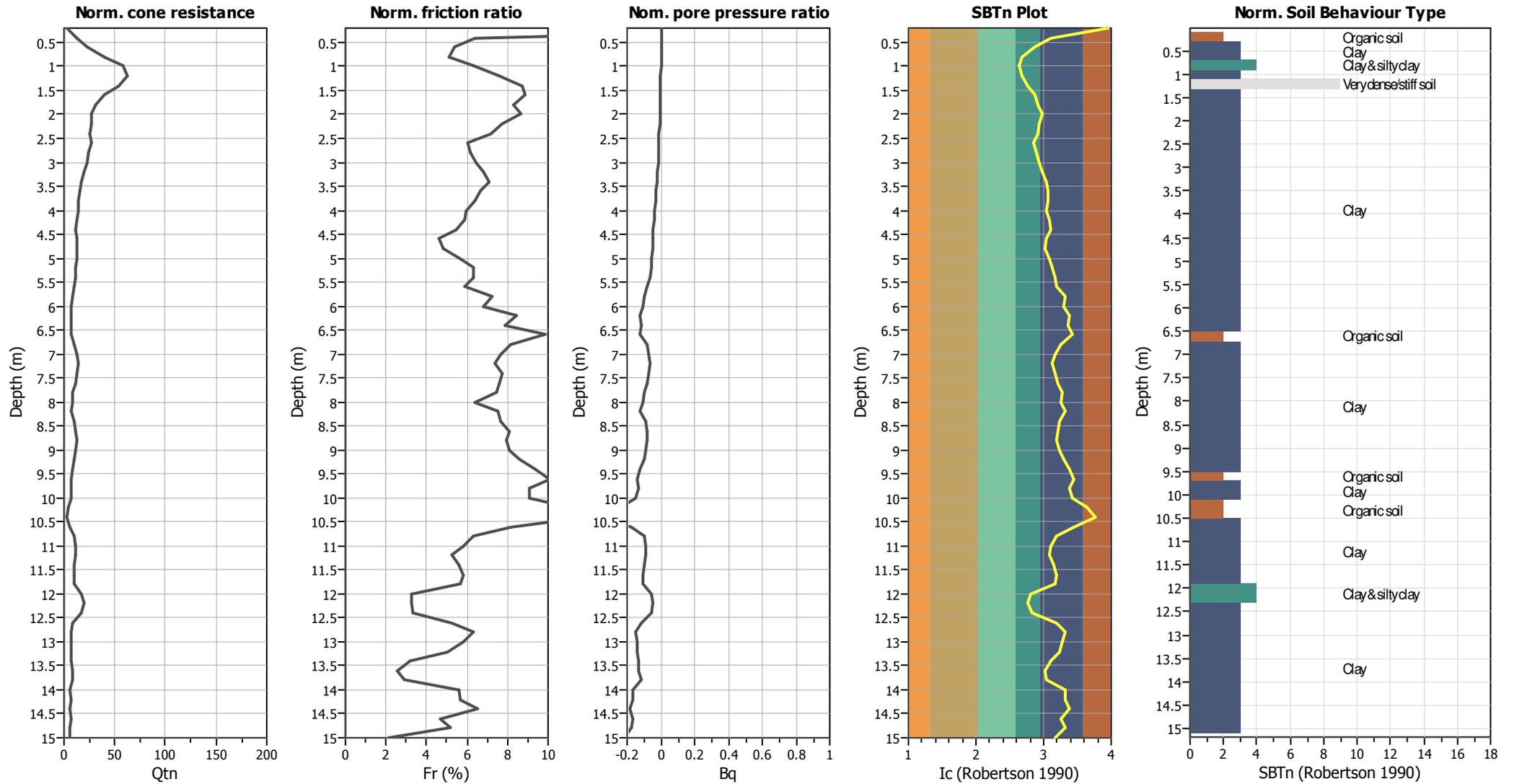
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

CPT basic interpretation plots (normalized)



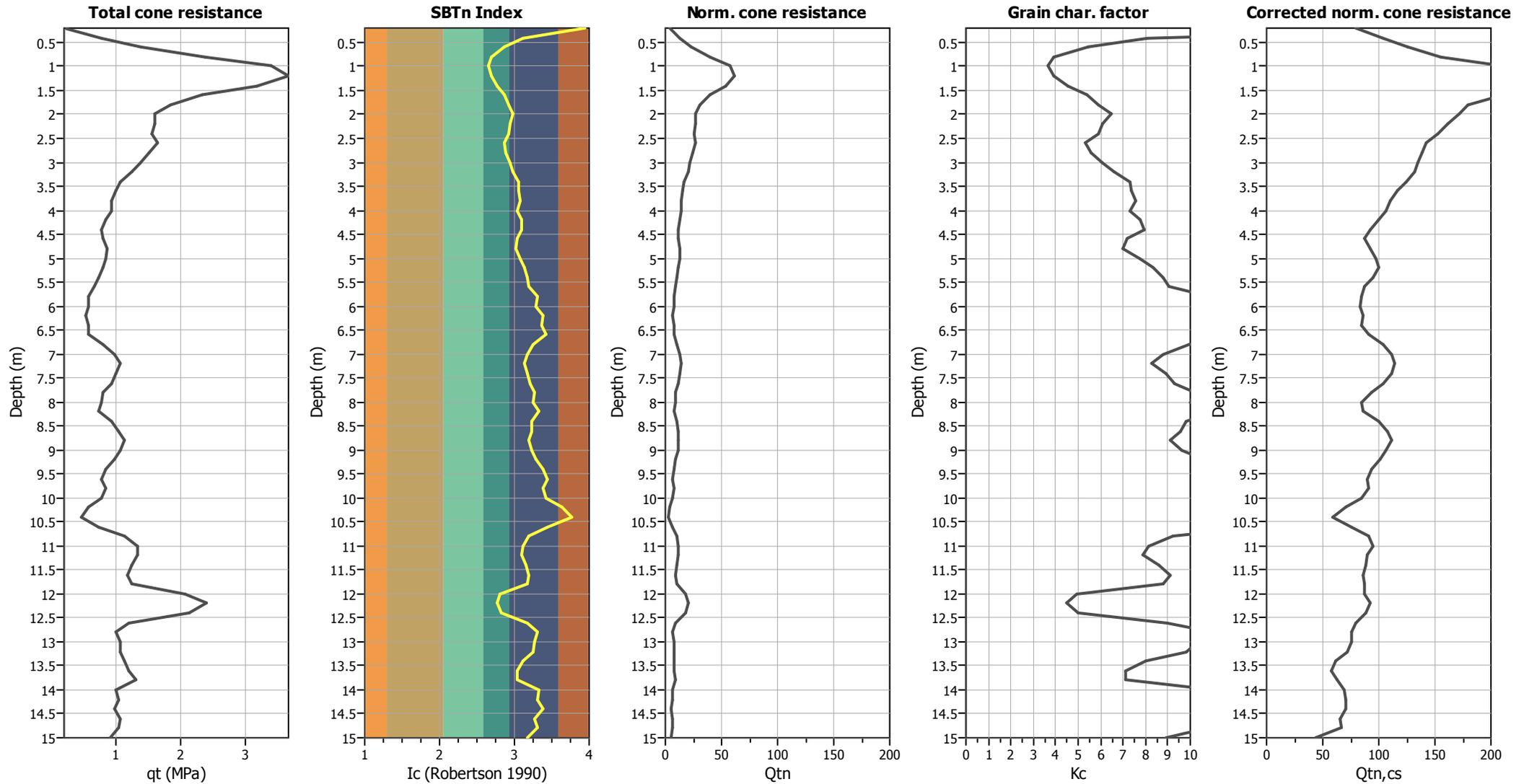
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

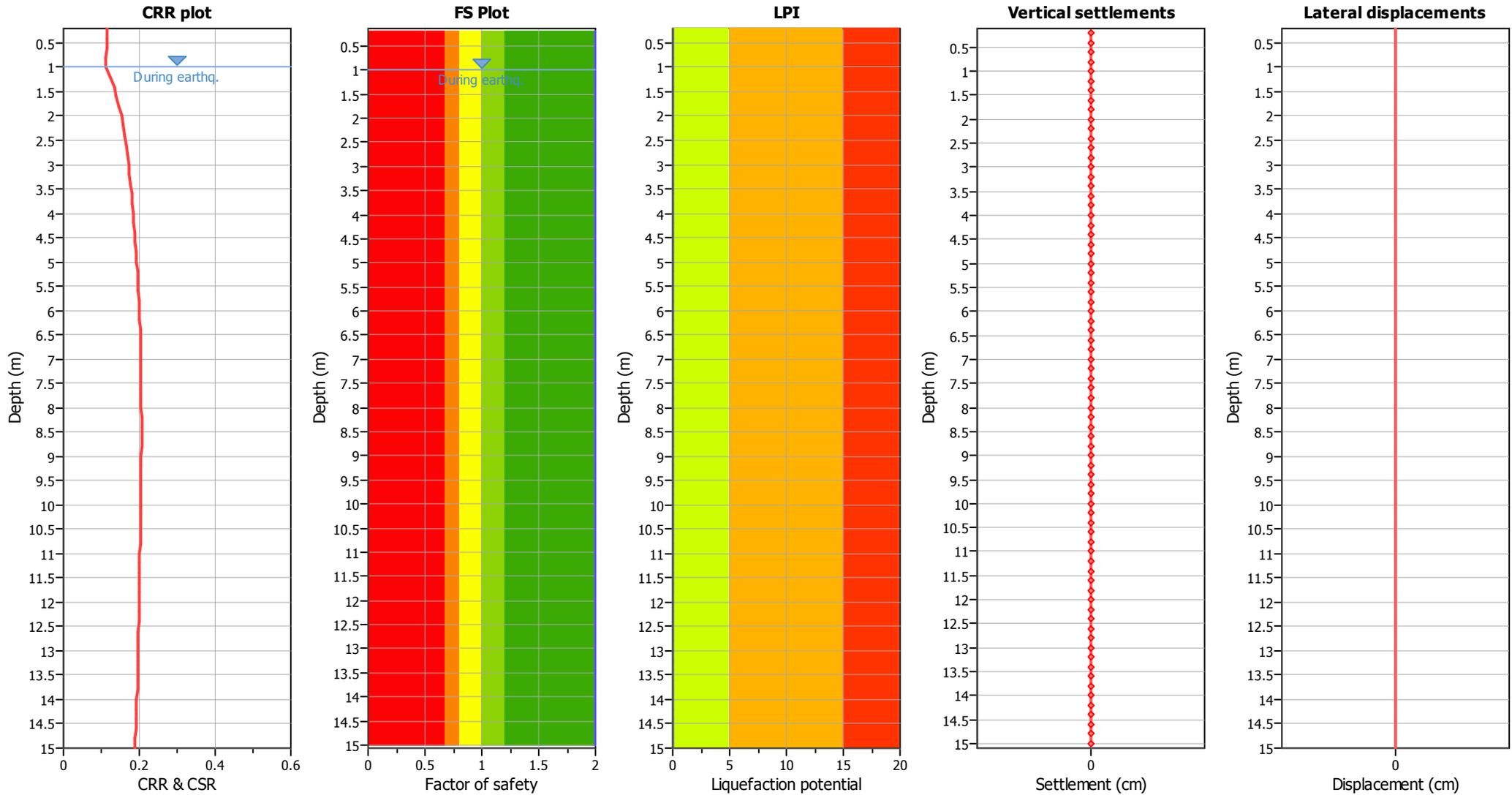
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{cs} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

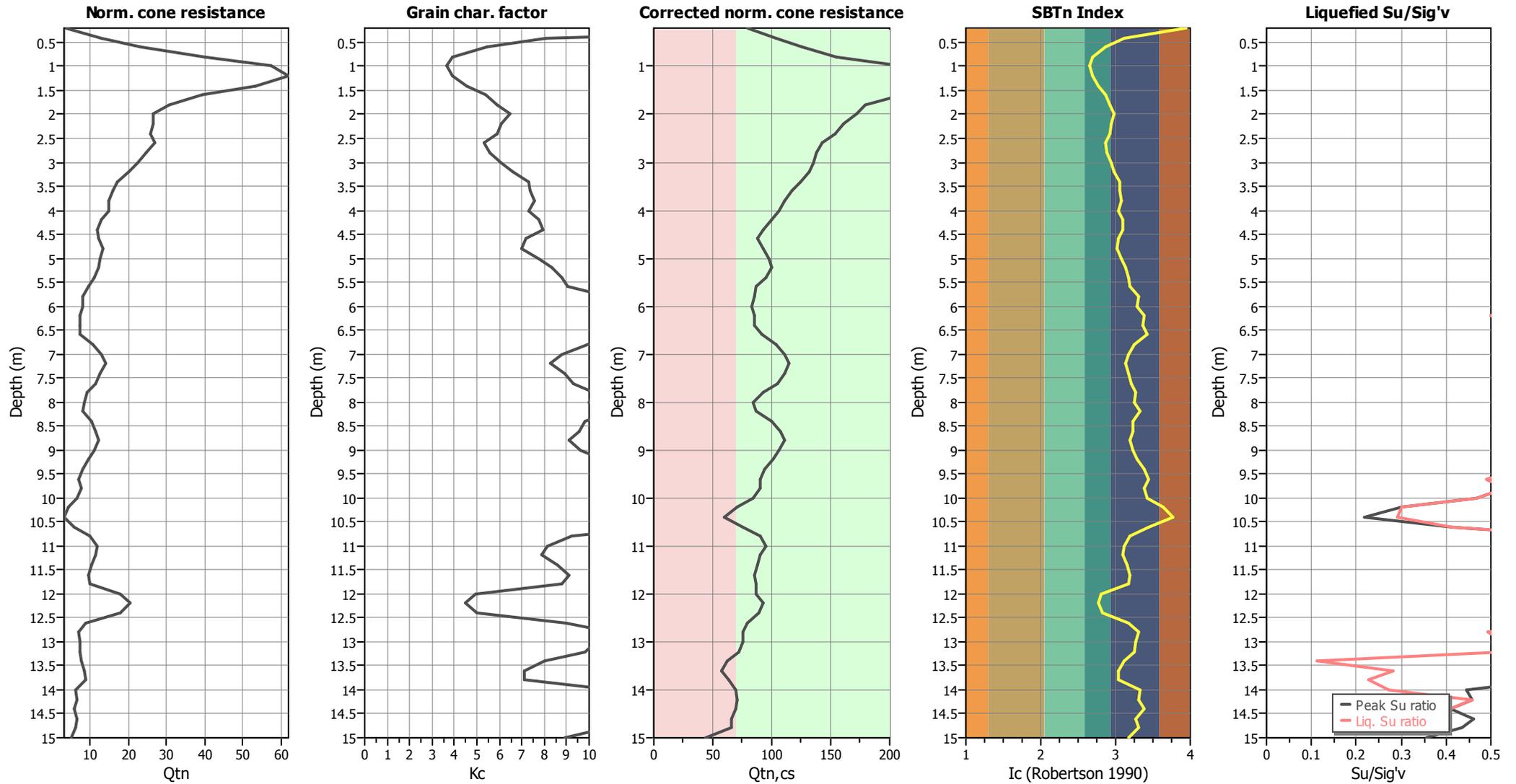
F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	2.00	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	2.00	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	2.00	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	2.00	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	2.00	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	2.00	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	2.00	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	2.00	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	2.00	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	2.00	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	2.00	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	2.00	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	2.00	0.00	6.20	0.20	0.00
7.80	2.00	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	2.00	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	2.00	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	2.00	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	2.00	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	2.00	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00						

Overall liquefaction potential: 0.00

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
 F_L: 1 - FS
 w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
 d_z: Layer thickness (m)
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction ::											
Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
1.00	208.44	2.00	0.00	1.00	0.00	1.20	241.62	2.00	0.00	1.00	0.00
1.40	244.30	2.00	0.00	1.00	0.00	1.60	211.03	2.00	0.00	1.00	0.00
1.80	179.48	2.00	0.00	1.00	0.00	2.00	171.58	2.00	0.00	1.00	0.00
2.20	161.08	2.00	0.00	1.00	0.00	2.40	153.07	2.00	0.00	1.00	0.00
2.60	142.53	2.00	0.00	1.00	0.00	2.80	138.03	2.00	0.00	1.00	0.00
3.00	135.20	2.00	0.00	1.00	0.00	3.20	131.83	2.00	0.00	1.00	0.00
3.40	124.51	2.00	0.00	1.00	0.00	3.60	116.71	2.00	0.00	1.00	0.00
3.80	110.58	2.00	0.00	1.00	0.00	4.00	106.51	2.00	0.00	1.00	0.00
4.20	99.74	2.00	0.00	1.00	0.00	4.40	92.57	2.00	0.00	1.00	0.00
4.60	87.47	2.00	0.00	1.00	0.00	4.80	92.79	2.00	0.00	1.00	0.00
5.00	97.67	2.00	0.00	1.00	0.00	5.20	99.81	2.00	0.00	1.00	0.00
5.40	94.64	2.00	0.00	1.00	0.00	5.60	86.99	2.00	0.00	1.00	0.00
5.80	85.26	2.00	0.00	1.00	0.00	6.00	83.15	2.00	0.00	1.00	0.00
6.20	85.32	2.00	0.00	1.00	0.00	6.40	85.16	2.00	0.00	1.00	0.00
6.60	91.23	2.00	0.00	1.00	0.00	6.80	104.09	2.00	0.00	1.00	0.00
7.00	111.58	2.00	0.00	1.00	0.00	7.20	114.40	2.00	0.00	1.00	0.00
7.40	111.13	2.00	0.00	1.00	0.00	7.60	104.36	2.00	0.00	1.00	0.00
7.80	93.04	2.00	0.00	1.00	0.00	8.00	84.38	2.00	0.00	1.00	0.00
8.20	86.36	2.00	0.00	1.00	0.00	8.40	99.74	2.00	0.00	1.00	0.00
8.60	107.06	2.00	0.00	1.00	0.00	8.80	111.03	2.00	0.00	1.00	0.00
9.00	106.57	2.00	0.00	1.00	0.00	9.20	101.58	2.00	0.00	1.00	0.00
9.40	94.15	2.00	0.00	1.00	0.00	9.60	90.16	2.00	0.00	1.00	0.00
9.80	90.83	2.00	0.00	1.00	0.00	10.00	84.45	2.00	0.00	1.00	0.00
10.20	70.38	2.00	0.00	1.00	0.00	10.40	59.24	2.00	0.00	1.00	0.00
10.60	75.88	2.00	0.00	1.00	0.00	10.80	90.67	2.00	0.00	1.00	0.00
11.00	95.14	2.00	0.00	1.00	0.00	11.20	90.17	2.00	0.00	1.00	0.00
11.40	87.83	2.00	0.00	1.00	0.00	11.60	85.51	2.00	0.00	1.00	0.00
11.80	86.71	2.00	0.00	1.00	0.00	12.00	87.06	2.00	0.00	1.00	0.00
12.20	92.55	2.00	0.00	1.00	0.00	12.40	88.70	2.00	0.00	1.00	0.00
12.60	79.64	2.00	0.00	1.00	0.00	12.80	75.83	2.00	0.00	1.00	0.00
13.00	76.04	2.00	0.00	1.00	0.00	13.20	71.38	2.00	0.00	1.00	0.00
13.40	61.71	2.00	0.00	1.00	0.00	13.60	57.85	2.00	0.00	1.00	0.00
13.80	63.33	2.00	0.00	1.00	0.00	14.00	69.04	2.00	0.00	1.00	0.00
14.20	70.15	2.00	0.00	1.00	0.00	14.40	70.04	2.00	0.00	1.00	0.00
14.60	65.55	2.00	0.00	1.00	0.00	14.80	66.24	2.00	0.00	1.00	0.00
15.00	44.17	2.00	0.00	1.00	0.00						

Total estimated settlement: 0.00

Abbreviations

$Q_{tn,cs}$: Equivalent clean sand normalized cone resistance
 FS: Factor of safety against liquefaction
 e_v (%): Post-liquefaction volumetric strain
 DF: e_v depth weighting factor
 Settlement: Calculated settlement

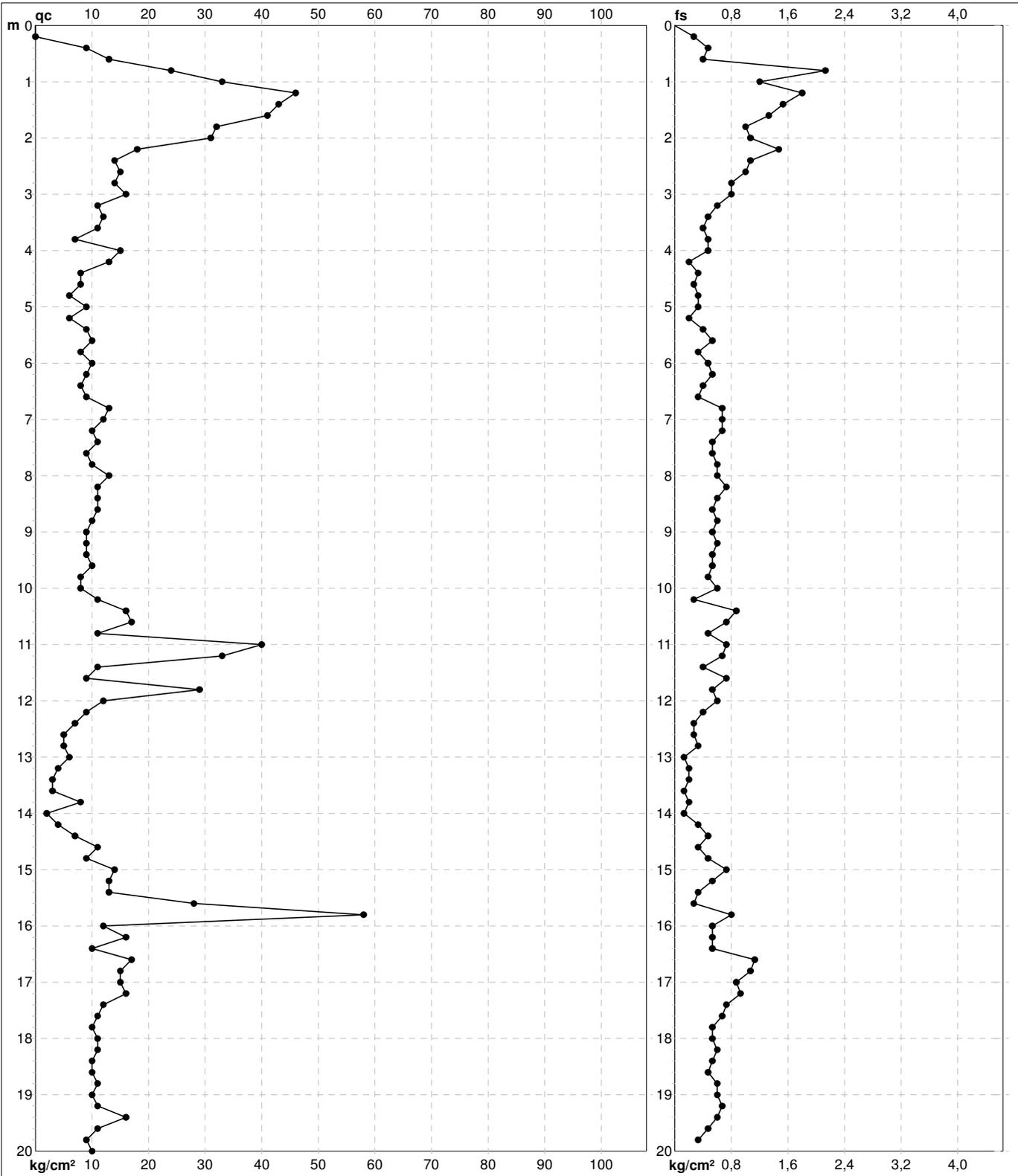
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	1
riferimento	153-2015
certificato n°	CPT0

Committente: **geom. ricciotti**
 Cantiere: **capannone**
 Località: **BORGO ZAMPARTINO - RUSSI (RA)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec.: 02/11/2015
 Scala: 1:100 Data certificato: 13/11/2015
 Pagina: 1 Quota inizio: Piano Campagna
 Elaborato: Falda: Non rilevata



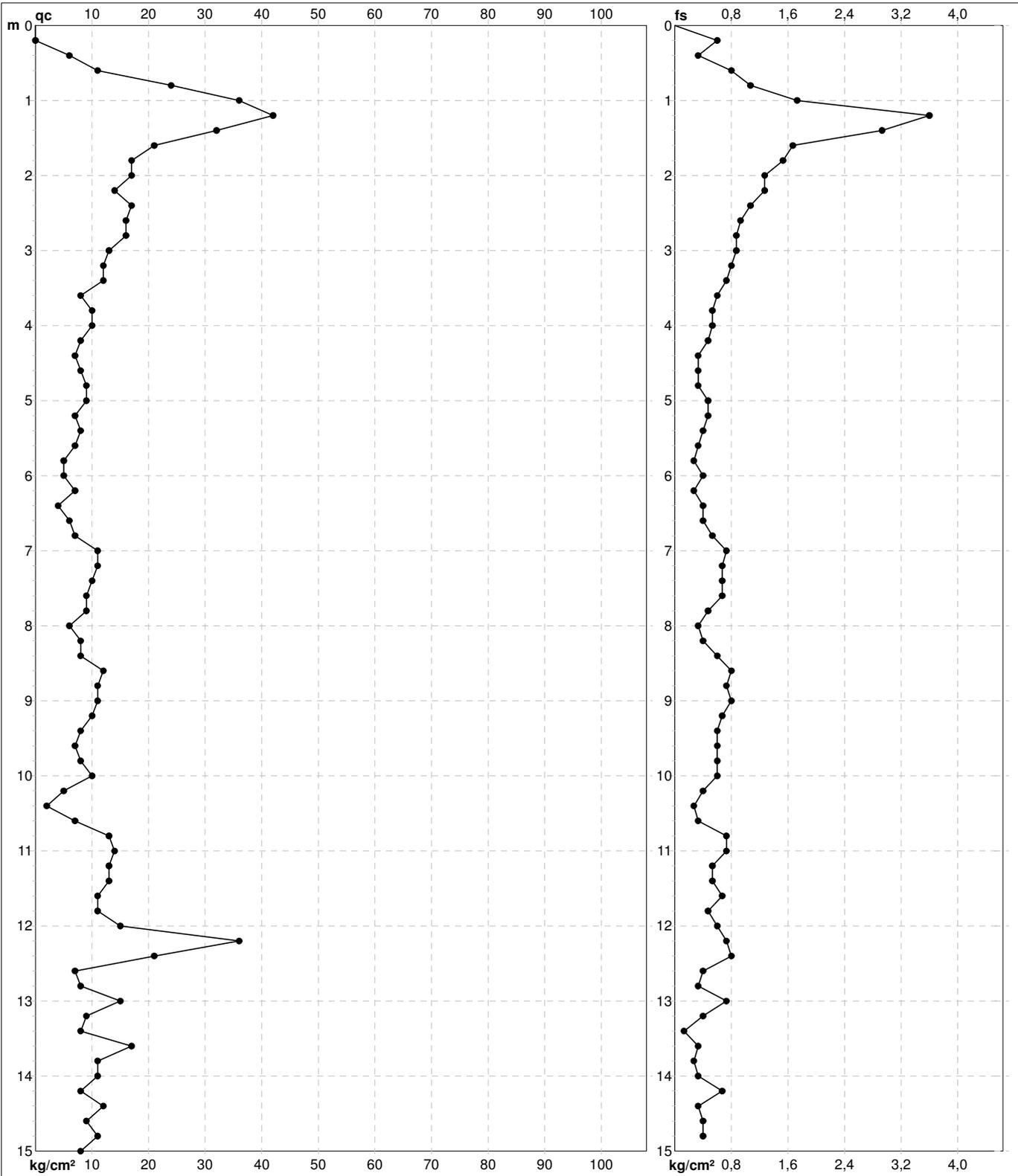
Penetrometro: TG63-200	Preforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod. punta:

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

CPT	2
riferimento	153-2015
certificato n°	

Committente:
Cantiere:
Località: **BORGO ZAMPARTINO - RUSSI (RA)**

U.M.: **kg/cm²** Data exec.: 02/11/2015
Scala: 1:75 Data certificato: 13/11/2015
Pagina: 1 Quota inizio: Piano Campagna
Elaborato: Falda: Non rilevata



Penetrometro: TG63-200	Preforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod. punta:

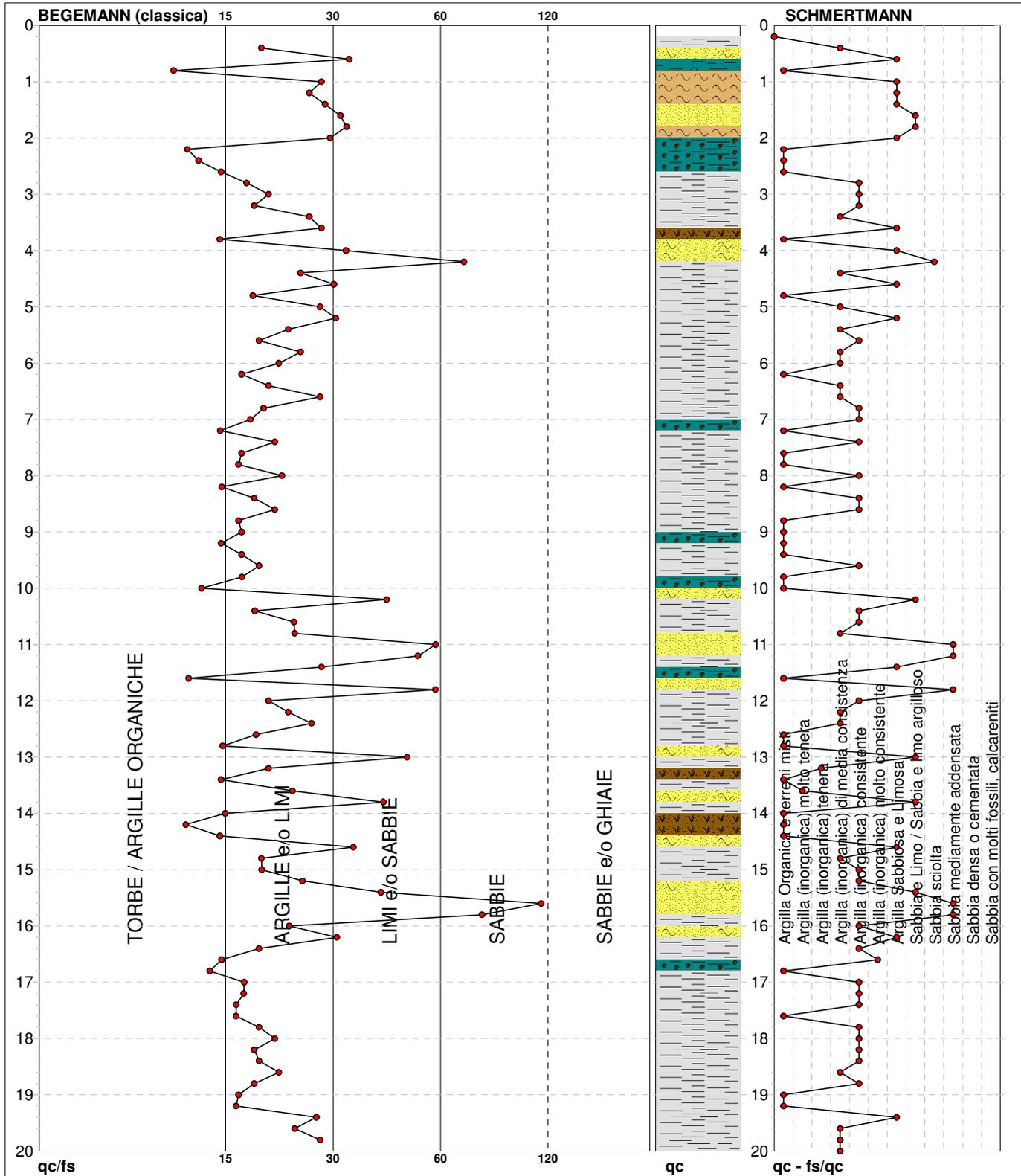
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	153-2015
certificato n°	CPT0

Committente: **geom. ricciotti**
 Cantiere: **capannone**
 Località: **BORGO ZAMPARTINO - RUSSI (RA)**

U.M.: **kg/cm²** Data exec.: 02/11/2015
 Scala: 1:100 Data certificato: 13/11/2015
 Pagina: 1
 Elaborato: Falda: Non rilevata



Torbe / Argille org. :	14 punti, 14,14%	Argilla Organica e terreni misti:	28 punti, 28,28%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	13 punti, 13,13%
Argille e/o Limi :	69 punti, 69,70%	Argilla (inorganica) molto tenera:	1 punti, 1,01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 6,06%
Limi e/o Sabbie :	13 punti, 13,13%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punti, 1,01%	Sabbia sciolta:	1 punti, 1,01%
Sabbie:	3 punti, 3,03%	Argilla (inorganica) media consist.:	16 punti, 16,16%	Sabbia mediamente addensata:	5 punti, 5,05%
		Argilla (inorganica) consistente:	26 punti, 26,26%		
		Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punti, 1,01%		

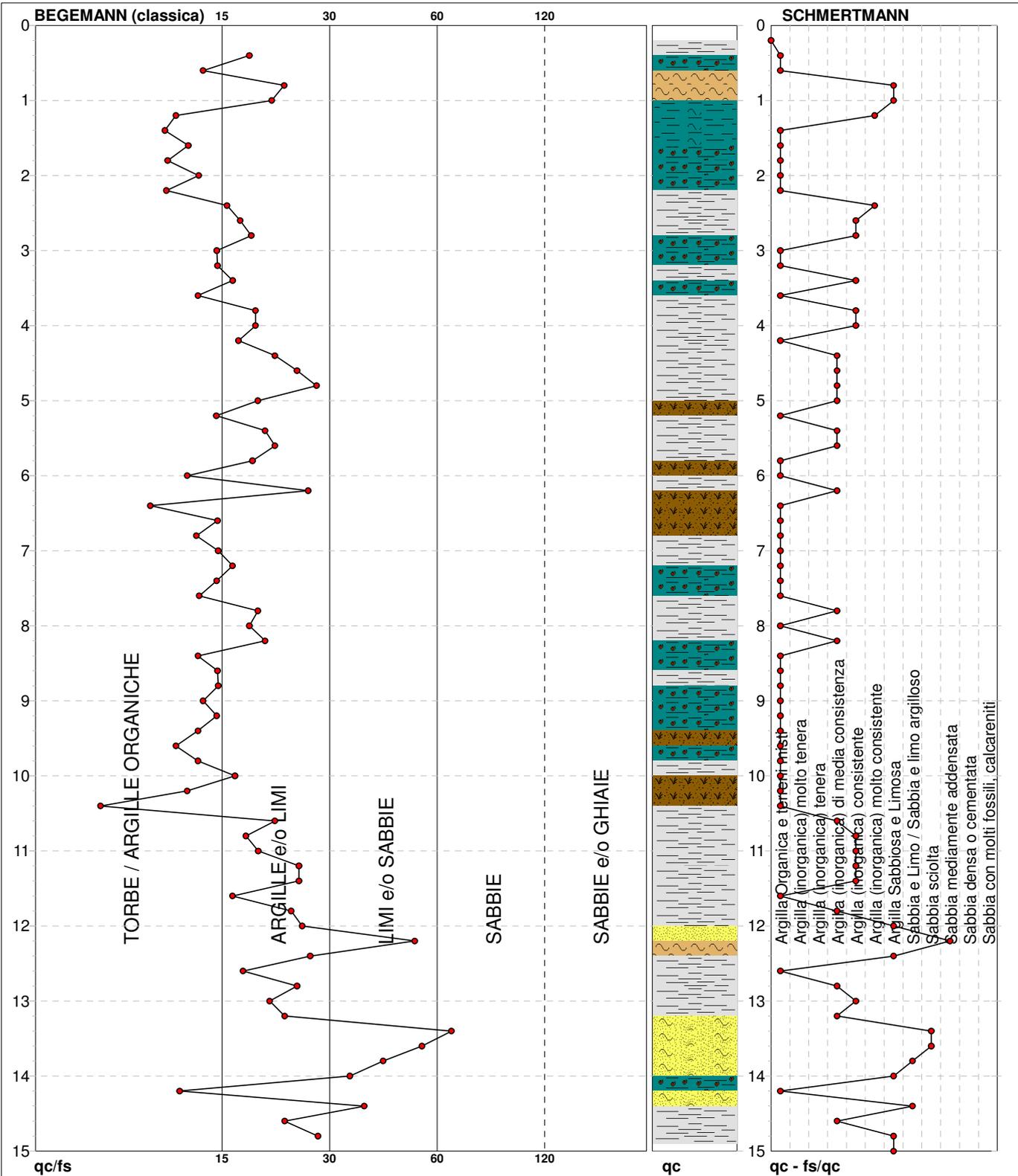
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	2
riferimento	153-2015
certificato n°	

Committente:
 Cantiere:
 Località: **BORGIO ZAMPARTINO - RUSSI (RA)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: 02/11/2015
 Scala: 1:75 Data certificato: 13/11/2015
 Pagina: 1
 Elaborato: Falda: Non rilevata



Torbe / Argille org. :	28 punti, 37,84%	Argilla Organica e terreni misti:	36 punti, 48,65%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	6 punti, 8,11%
Argille e/o Limi :	40 punti, 54,05%	Argilla (inorganica) media consist.:	14 punti, 18,92%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	2 punti, 2,70%
Limi e/o Sabbie :	5 punti, 6,76%	Argilla (inorganica) consistente:	10 punti, 13,51%	Sabbia sciolta:	2 punti, 2,70%
Sabbie:	1 punti, 1,35%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 2,70%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1,35%



PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI RUSSI

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVO CAPANNONE ARTIGIANALE A BORGO ZAMPARTINO

RELAZIONE GEOFISICA

INDAGINE INTEGRATA MASW + HVSR PER LA STIMA DEL PARAMETRO VS30

(ai sensi D.M. 14 Gennaio 2008 – D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328)

Committente: **GEOLOG s.r.l.** Via della Lirica 15 - 48100 Ravenna

Novembre 2015

Dr. Geol. Stefano Strocchi



INDICE

1 - PREMESSA.....	Pag. 2
2 - REFERIMENTI NORMATIVI.....	Pag. 2
3 - STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA.....	Pag. 3
3.1 Premessa.....	Pag. 3
3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico.....	Pag. 3
3.3 Indagine geofisica MASW.....	Pag. 6
4 - INTERPRETAZIONI DELLE MISURE ESEGUITE.....	Pag. 8
5 - CONCLUSIONI.....	Pag. 13
ALLEGATI.....	Pag. 14

1. PREMESSA

La presente relazione geofisica finalizzata alla stima del parametro V_{s30} è stata redatta su incarico della Società Geolog s.r.l. a supporto del progetto per la realizzazione di un nuovo capannone artigianale in località Borgo Zampartino, nel territorio comunale di Russi (RA).

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, D.M. 14.01.2008 e relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009.

Per la classificazione dei terreni di fondazione è stata eseguita una misura a stazione singola del microtremore sismico, mediante una strumentazione quale il tomografo digitale portatile denominato TROMINO ENGY che permette la misura della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, a supporto di un'indagine MASW sempre mediante il suddetto tomografo digitale equipaggiato con trigger wireless per stimare in maniera rapida la sismostratigrafia superficiale, per la definizione delle V_{s30} e della categoria sismica del sottosuolo, come richiesto dalle normative vigenti.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La realizzazione del presente studio è stata eseguita in ottemperanza alle indicazioni fornite dalla normativa vigente con particolare riferimento alle seguenti norme:

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

“Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Punto 7.11.3 – Risposta sismica e stabilità del sito

CIRCOLARE 2 FEBBRAIO 2009, N. 617

“Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

“Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”.

D.P.R. 5 GIUGNO 2001, N. 328

Articolo 41 – Attività professionali

“punto c) le indagini geognostiche e l'esplorazione del sottosuolo anche con metodi geofisici; le indagini e consulenze geologiche ai fini della relazione geologica per le opere di ingegneria civile mediante la costruzione del modello geologico-tecnico; la programmazione e progettazione degli interventi geologici e la direzione dei lavori relativi, finalizzati alla redazione della relazione geologica...”.

ASSEMBLEA LEGISLATIVA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA DAL D.A.L. N. 112/2007

Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi **dell'art. 16 comma 1 della LR 20/2000** “disciplina generale sulla tutela ed uso del territorio”, in merito a “indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”

3. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA

3.1 Premessa

Ai fini del presente studio sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche;

- **n. 1 analisi del microtremore passiva con TROMINO** al fine di valutare l'intervallo all'interno del quale risuona il terreno fornendo un intervallo di frequenza di risonanza (f_r), l'andamento delle velocità V_s con la profondità; il tipo di stratigrafia si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*.
- **n. 1 stendimento sismico attivo (MASW)** (Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park et alii, 1999) al fine di valutare la risposta del terreno all'azione sismica, mediante la valutazione della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (V_{s30}).

3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Verticale Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario, per affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 metri di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Il principio su cui si basa la presente tecnica in termini di stratigrafia del sottosuolo è rappresentato dalla definizione di strato inteso come una unità distinta da quella sopra e sottostante per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
2. dal percorso dell'onda sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
3. dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale è generato da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello *Tromino* che rappresenta la nuova generazione di strumenti leggeri e compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz.

I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

I dati ottenuti sono stati convertiti in file ASCII mediante software "*Grilla*", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti);
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali tra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

1. i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
2. gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
3. la misura non contenga errori sistematici (per esempio dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e

Ben-Menahem e Singh (1981).

Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati, in qualsiasi intervallo di frequenze e in qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita; successivamente, tramite specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale.

In questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde VS.

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V) con quello effettivamente misurato in superficie.

Considerando due strati con differente impedenza acustica, la **frequenza di risonanza (fr)** è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio Vs del primo strato dalla seguente relazione:

$$fr = V_{s1} / 4 h_1$$

V_{s1} = velocità delle onde S del primo strato;

h_1 = spessore primo strato.

Nakamura (1989) ha inoltre dimostrato che i massimi dei rapporti spettrali H/V consentono di individuare correttamente la frequenza e quindi il periodo fondamentale di risonanza per le onde S.

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site Effects Assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array.

Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

La registrazione è avvenuta impostando i seguenti parametri strumentali:

- Frequenza di campionamento 128 Hz;
- Durata 20 minuti;
- Orientamento strumento nord-sud.

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro Vs30 è stato utilizzato un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz.

3.3 Indagine geofisica MASW

Il metodo geofisico utilizzato in questa sede per la caratterizzazione della categoria di sottosuolo in base al valore delle Vs è la sismica a rifrazione attiva elaborata mediante metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves): essa permette di modellare il sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (Park et alii, 1999).

Il metodo consente di stimare la velocità delle onde di taglio (Vs) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità μ dei terreni tramite la formula:

$$\mu = \rho V_s^2 \text{ (dove } \rho = \text{ densità)}$$

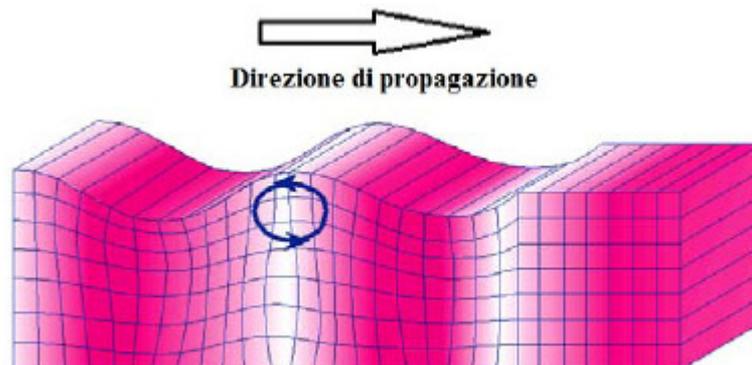
Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di Vs sono i primi indicatori della rigidità di un terreno.

Le onde Rayleigh sono onde di superficie e sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza (no dispersione).

Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. L'ampiezza dello spostamento decresce con legge esponenziale; per questo diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

La propagazione di queste onde non è influenzata dalle caratteristiche del mezzo al di sotto di una profondità pari a λ . Esse possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate: una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità.

Il vantaggio di utilizzare il metodo MASW sta nel fatto che non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità in profondità; ha una buona risoluzione e poi perché la propagazione delle onde Rayleigh è funzione soprattutto delle Vs (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito).



Esso è particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo ed isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (quindi frequenza) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di circa $\lambda/2$. Tale velocità delle onde di Rayleigh (V_r) è pari a circa il 90% delle onde di taglio V_s .

Per le indagini è stato utilizzato un tromografo digitale portatile TROMINO, prodotto da Micromed S.p.A., nella versione Engineering, combinato con un trigger wireless equipaggiato di puntale, con frequenza propria di 4,5 Hz. Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le tre componenti spaziali (N-S, EW e Up-Down), che consentono di acquisizione digitale in alta definizione delle vibrazioni del terreno (ampiezze d'onda inferiori a 10 μ m), nel campo delle frequenze 0 – 200 Hz.

Nel caso specifico si prende in considerazione la componente verticale dell'onda di Rayleigh registrata dal velocimetro orientato secondo la direzione verticale (Up-Down).

In seguito ad una registrazione di un determinato tempo t , tale segnale digitalizzato viene elaborato tramite un software dedicato, Grilla, il quale esegue un'elaborazione per ognuna delle componenti del moto e ne fornisce i grafici relativi. L'abbinamento tra Tromino Engy e il trigger wireless consente di effettuare stendimenti sismici senza limitazioni di estensione.

La presenza di un unico geofono, detto starter in quanto registra i primi arrivi delle onde sismiche, impone il suo spostamento continuo secondo le posizioni dello schema prestabilito.

Lo stendimento aveva una lunghezza di 48 m con il primo geofono a distanza di 4,0 m dal Tromino mentre l'interdistanza tra le altre posizioni del geofono era di 2,0 metri; l'energizzazione, ottenuta tramite un salto effettuato dall'operatore, è avvenuta a breve distanza dallo starter lungo l'asse geofono-Tromino.

Da tale stendimento viene elaborato un sismogramma definito "virtuale" in quanto non deriva dalla registrazione simultanea di più geofoni, ma i segnali di ogni energizzazione vengono composti in un unico sismogramma tramite software dedicati.

L'elaborazione del segnale registrato si compone dei seguenti passaggi:

1. picking dei primi arrivi sulla traccia di registrazione del geofono;
2. ricostruzione del sismogramma delle tracce registrate dal sismografo (Tromino) tramite software Grilla;
3. selezione per ogni traccia delle finestre temporali contenenti onde superficiali di Rayleigh;
4. calcolo della curva di dispersione sperimentale tramite software dedicato.

La curva di dispersione fornisce con una scala cromatica l'intensità della risonanza delle onde di Rayleigh alle varie frequenze (asse delle ascisse) e la relativa velocità delle onde (asse delle ordinate).

4. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

Interpretazione indagine HVSR

L'inversione della curva H/V, per ottenere un profilo delle onde di taglio S, è stata modellata, anche sulla base di una prova CPT fornita dalla Committenza, a supporto dell'indagine MASW per una maggiore affidabilità della stima della Vs30.

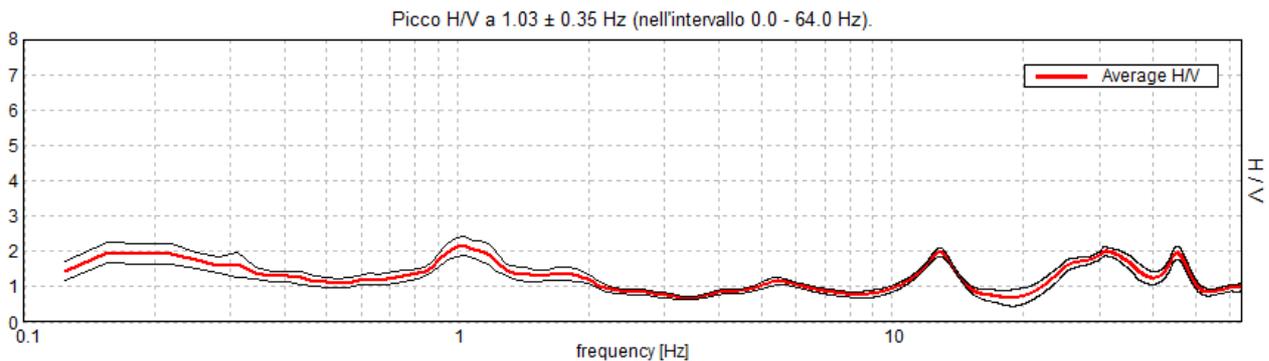
L'interpretazione dei dati ottenuti dal rilievo del rumore sismico consente sia di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato litoide inteso come bedrock sismico sia di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del moto fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore della frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco di frequenza corrisponde una profondità (metri) dell'orizzonte che genera il contrasto di impedenza si è potuto estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

L'ampio range di frequenze acquisite dallo strumento utilizzato (0.1 ÷ 128 Hz) non ha evidenziato contrasti di impedenza attribuibili alla presenza di rifrattori sismici.

Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 54 metri, corrispondente al riflettore individuato alla frequenza di circa 1,03 Hz con valore del rapporto H/V pari a circa 2 (contrasto di impedenza medio-basso); essa rappresenta la frequenza caratteristica di risonanza di sito, generata dal contrasto sismico più elevato.



Si ritiene importante, vista l'ampiezza e la frequenza dei picchi spettrali registrati, considerare l'intervallo frequenziale di circa $1,00 \div 1,10$ Hz come range di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico – strutturale.

E' oramai consolidata l'ipotesi che le costruzioni subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale dei terreni investiti da un'onda sismica e quella naturale della struttura.

Dal punto di vista analitico, la vibrazione di un edificio è governata soprattutto dalla sua altezza ed esiste una relazione empirica che lega la frequenza di vibrazione di un edificio e la sua altezza ($f = 10-12/n$).

piani); pertanto, la frequenza individuata potrebbe indurre deboli effetti di “doppia risonanza” in edifici con oltre 9-10 piani.

Interpretazione prova MASW

E' stata eseguita una prova geofisica mediante il metodo MASW attivo, consistita in uno stendimento sismico, finalizzata alla determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore V_{S30} .

La prospezione sismica ha consentito la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_S , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, utilizzando la proprietà dispersiva delle onde superficiali.

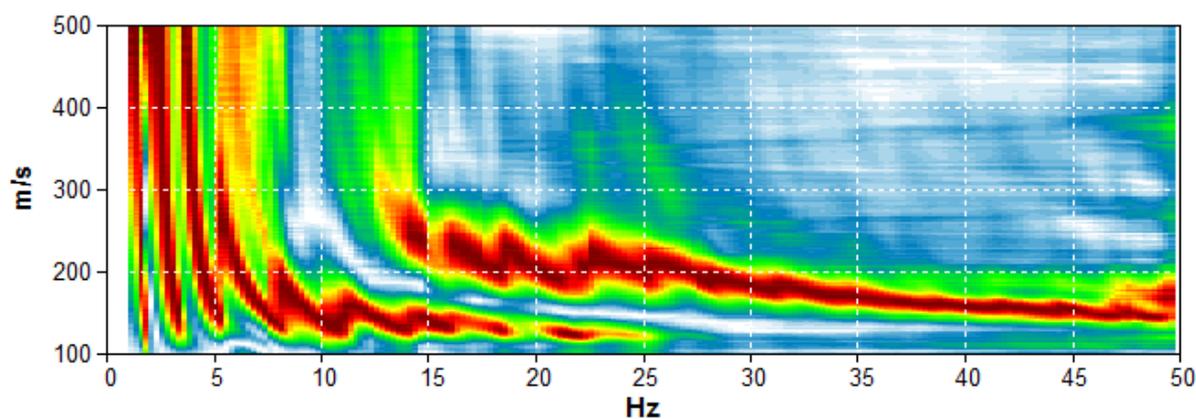
La dispersione è la proprietà delle onde superficiali, per cui, ciascuna frequenza dell'onda ha una diversa velocità di propagazione nel terreno, chiamata velocità di base, che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga.

L'intero processo di prospezione comprende tre fasi successive rappresentate dall'acquisizione delle onde superficiali, la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_S .

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento per la modellazione diretta.

Per ottenere il profilo verticale delle V_S dalla curva di dispersione è necessario fornire valori relativi al rapporto di Poisson e la densità dei materiali presenti.

La curva di dispersione ottenuta fornisce con una scala cromatica l'intensità della risonanza delle onde di Rayleigh alle varie frequenze (asse delle ascisse) e la relativa velocità delle onde (asse delle ordinate).



Il grafico risultante dalla misura consente lo studio e l'elaborazione dei dati relativi al primo modo di vibrare del terreno, individuato come la curva definita dai colori caldi con velocità e frequenza minore.

Nel grafico è possibile riconoscere gran parte della curva di dispersione fondamentale, con tratti ben visibili compresi tra 25 e circa 5 Hz, frequenza alla quale la curva tende a V_S infinite, indicando il limite strumentale della misura.

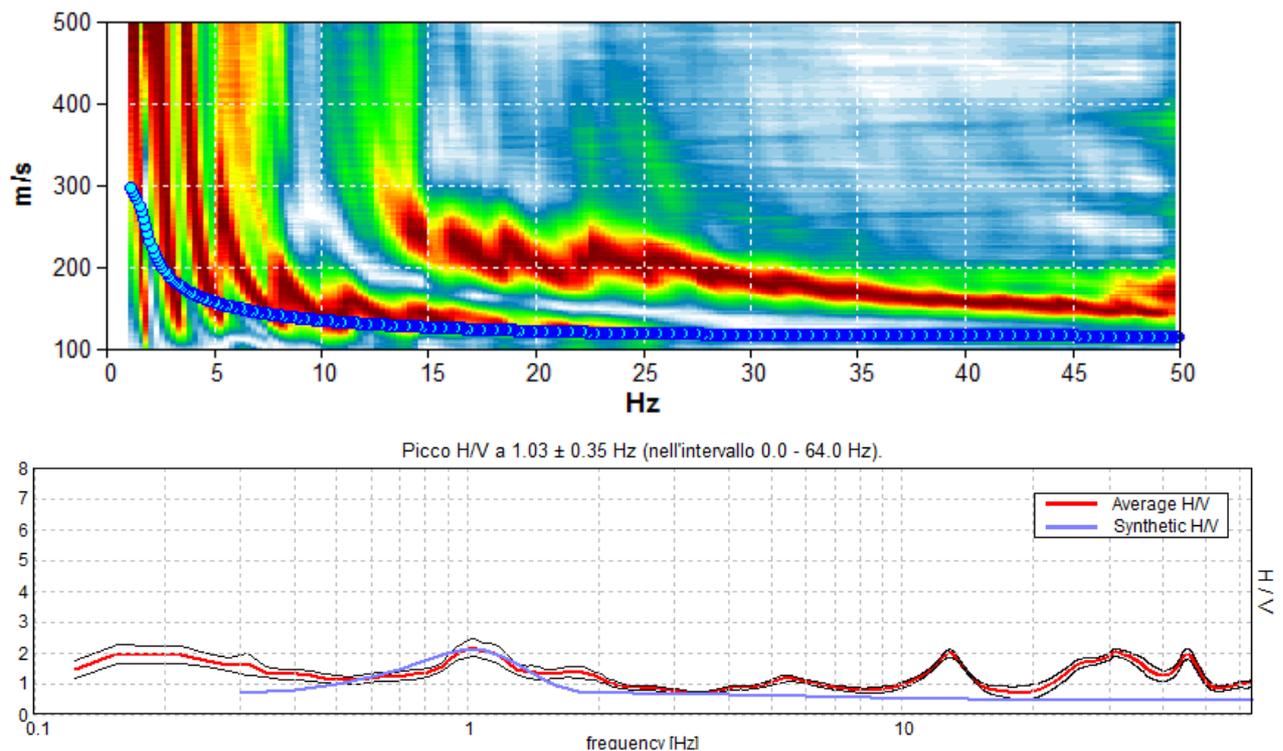
Molto evidente anche lo spettro di dispersione corrispondente al primo modo superiore.

Dal grafico è possibile ricostruire la successione sismo-stratigrafica, individuando i cambi di pendenza della curva di dispersione del modo fondamentale.

Interpretazione combinata delle misure sismiche

Per ovviare alla limitata profondità di indagine della prova MASW si è proceduto con l'interpretazione della misura tomografica effettuata nello stesso ambito, utilizzando come vincolo il modello creato a partire dallo stendimento. Nella ricostruzione del modello, infatti, si è cercato di dare maggiore importanza all'indagine MASW per ciò che concerne le alte frequenze (> 10 Hz), mentre a maggiori profondità ci si è affidati in maniera preponderante alla porzione di curva H/V relative alle basse frequenze (< 10 Hz).

L'elaborazione delle misure, mediante ricostruzione della curva sintetica H/V e della curva di dispersione, ha fornito una buona concordanza tra i due modelli, fornendo il profilo sismico del sito.



Curva di dispersione e curva H/V del sito e rispettivi fit per la costruzione del modello sintetico

La ricostruzione del modello di inversione congiunto, presentato nella seguente tabella, evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo, in buon accordo anche con la stratigrafia desunta dalle indagini CPT eseguite nel sito in oggetto.

MODELLO DI INVERSIONE CONGIUNTO

Profondità (bottom layer) [m]	Spessore sismostrati [m]	Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
2.50	2.50	123	Copertura soffice
3.50	1.00	132	Copertura soffice
6.50	3.00	145	Copertura soffice
10.00	3.50	152	Copertura soffice
24.00	14.00	180	Copertura soffice
54.00	30.00	233	Copertura mediamente rigida
>54.00	inf.	350	Copertura rigida

La ricostruzione dei profili sismo-stratigrafici ha evidenziato la presenza di materiali soffici e poco consistenti nei primi 24 metri di profondità, caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde S compresa tra 123 e 180 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità del sottosuolo diventa gradualmente elevato, con valori di Vs compresi tra 233 e 350 m/s.

La stima del parametro V_{s30} è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 14 Gennaio 2008 per l'assegnazione della categoria di sottosuolo.

Dall'indagine sismica effettuata e dai modelli sismici ricavati è stato possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 metri dal piano campagna tramite la seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{si}}$$

in cui h_i e V_{si} indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione, la velocità delle onde Vs a 30 metri dal piano campagna (V_{s30}) come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

Analisi congiunta MASW + HVSr

V_{s30} (0.00-30.00) = 171 m/s

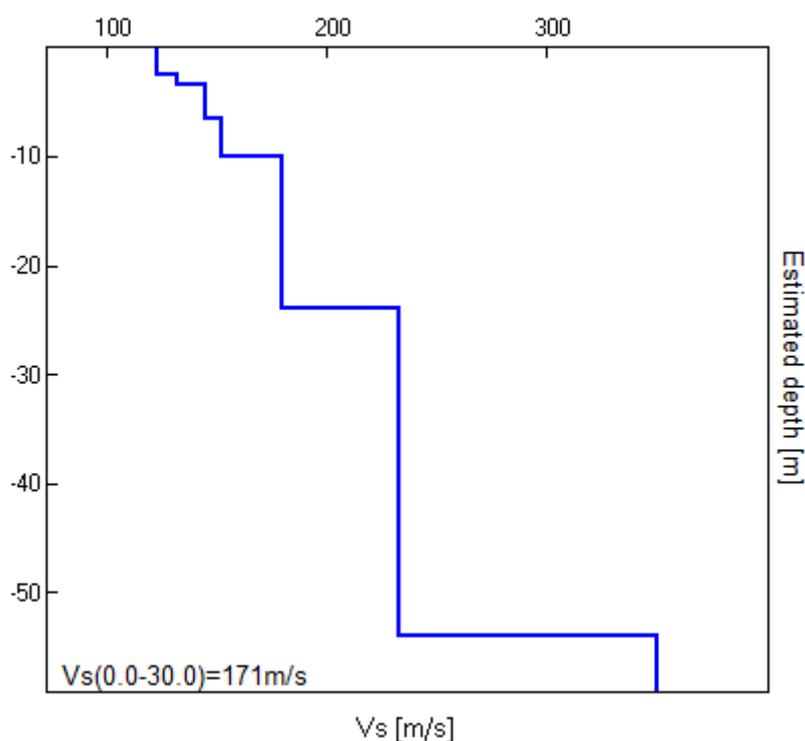
CLASSIFICAZIONE DEL TIPO DI SUOLO SECONDO LA NUOVA NORMATIVA SISMICA ITALIANA O.P.C.M. N. 3274/2003 – NTC 14/01/2008		
Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m	>800
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360÷800
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180÷360
D	Depositi granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti	<180
E	Strati superficiali allentati (5 – 20 m) tipo C e D soprastanti substrato tipo A	
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (IP>40) e contenuto d'acqua	<100
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC:

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, secondo la classificazione indicata nelle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M 14/01/2008), in base ai risultati dell'indagine geofisica il suolo di fondazione va classificato all'interno della seguente categoria di sottosuolo:

Categoria D:

“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)”.



5. CONCLUSIONI

Si riepiloga quanto esposto nella presente relazione riguardante le indagini geofisiche per la definizione del modello sismico del sottosuolo a supporto del progetto per la realizzazione di un nuovo capannone artigianale in località Borgo Zampartino, nel territorio comunale di Russi (RA).

Dal punto di vista della risposta sismica, il rilievo dei microtrempi con il metodo di Nakamura ha posto in luce, nell'intero sito, la presenza di un intervallo frequenziale di circa $1,00 \div 1,10$ Hz (periodo $0,9 \div 1,0$ secondi), d'interesse ingegneristico – strutturale, nel quale è possibile l'insorgere di fenomeni di doppia risonanza struttura-terreno.

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal seguente studio, sulla base di un'indagine MASW associata a una indagine HVSR, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria D**: *“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)”*.

Si sottolinea che il suolo, se alla verifica alla liquefazione o per notizie storiche, dovesse risultare liquefacibile, passerebbe dalla categoria D alla categoria S2. L'indicazione della categoria di suolo si riferisce al solo valore di $V_s 30$ misurata e la classificazione è valida una volta che si sia esclusa l'appartenenza a suoli di tipo S2.

Infine, il geologo incaricato, sulla base della conoscenza stratigrafica dell'area derivata dalla sua esperienza professionale e dalle indagini geognostiche condotte nel sito in oggetto, nonché considerando le caratteristiche dell'opera in progetto e la tipologia di fondazioni, è tenuto a validare l'attribuzione alla suddetta categoria o considerare, ai sensi del DM 14/01/2008, un approfondimento mediante uno studio di risposta sismica locale.

GEOLOGO

STEFANO STROCCHI



ALLEGATI

Ubicazione indagini in sito



⊘ INDAGINE GEOFISICA PASSIVA HVSR

↔ INDAGINE GEOFISICA MASW



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA: UBICAZIONE INDAGINE MASW E HVSR

ALLEGATI

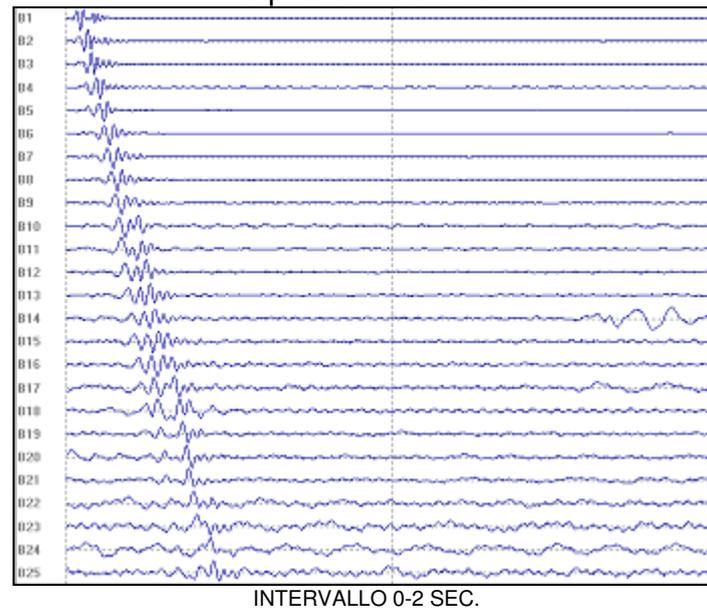
Report Indagine Geofisica MASW + HVSR

BORGO ZAMPARTINO, RUSSI (RA) - INDAGINE MASW

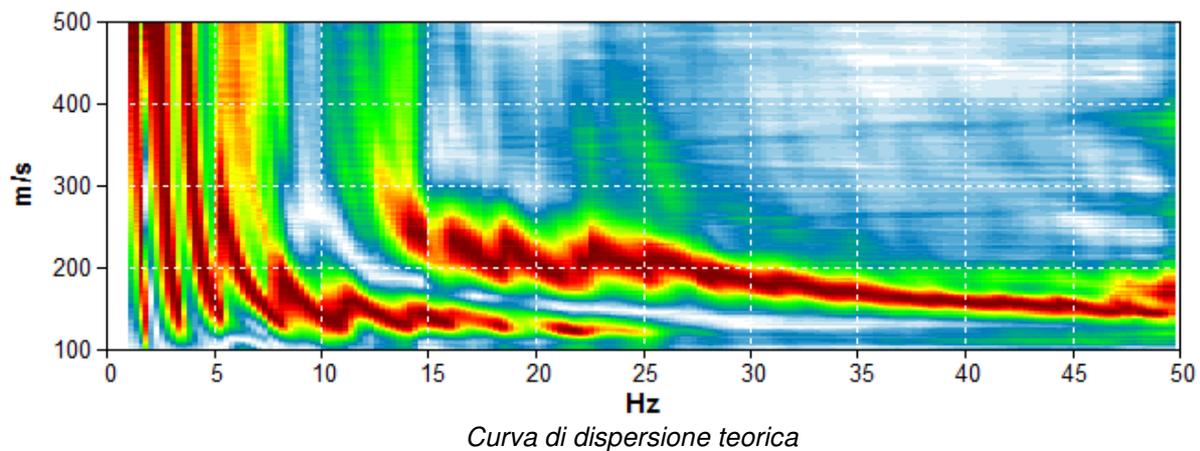
Inizio registrazione: 02/11/15 13:21:43 Fine registrazione: 02/11/15 13:36:08
Durata registrazione: 0h00'02".
Freq. campionamento: 512 Hz

Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0
36.0 38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 48.0 m.

RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE ATTIVA Componente verticale Z



RAPPRESENTAZIONE DELLO SPETTRO DI DISPERSIONE DELLE VELOCITA' DELLE ONDE DI RAYLEIGH

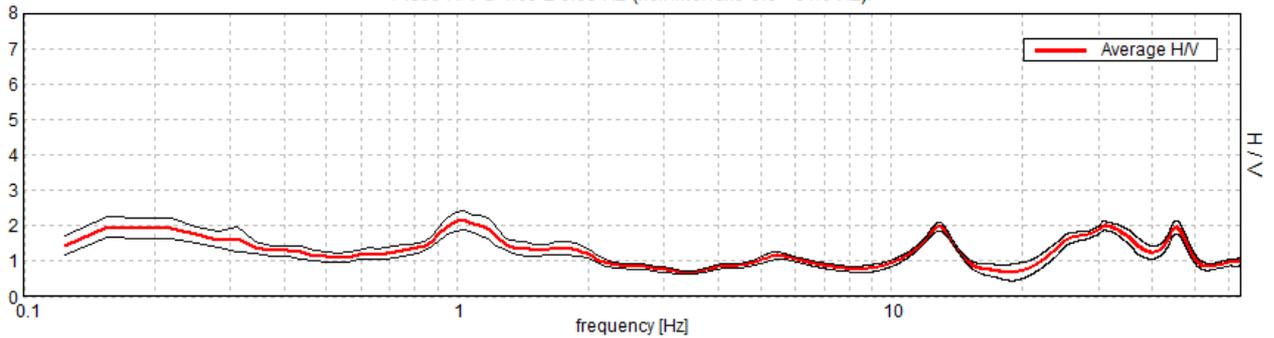


BORGIO ZAMPARTINO, RUSSI (RA) - INDAGINE HVSR

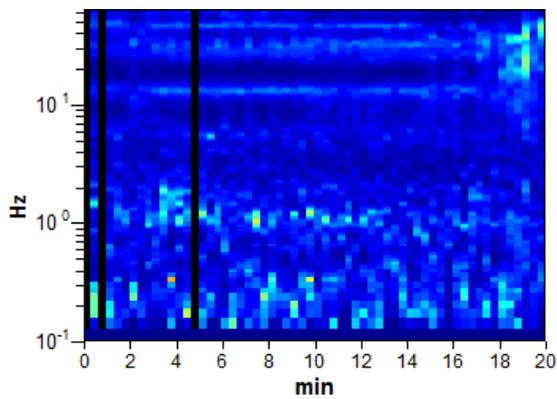
Strumento: TE3-0085/01-14
Formato dati: 32 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 02/11/15 12:46:20 Fine registrazione: 02/11/15 13:06:21
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

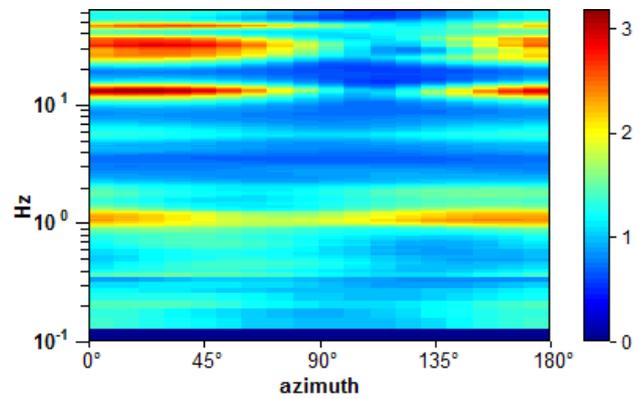
Picco H/V a 1.03 ± 0.35 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



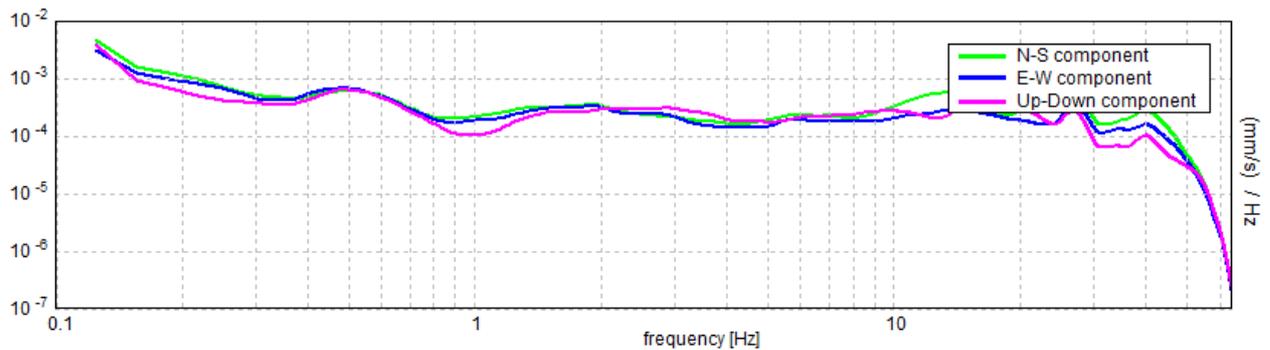
SERIE TEMPORALE H/V



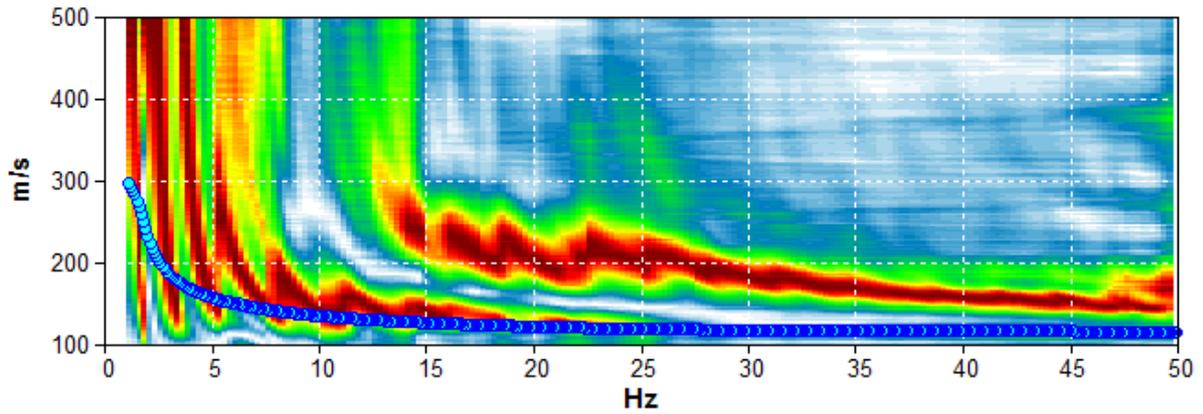
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

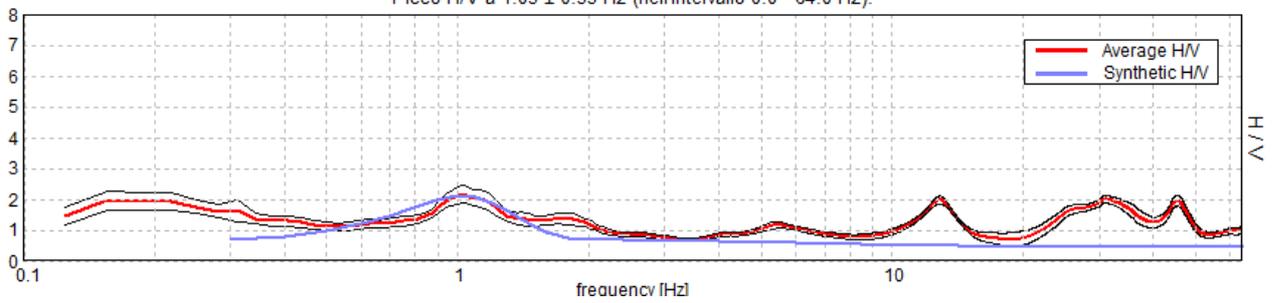


MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO CONGIUNTO MASW + HVSR



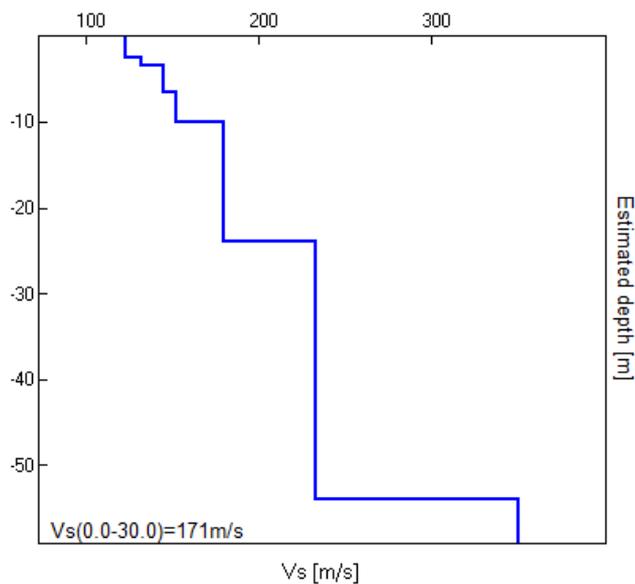
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 1.03 ± 0.35 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.50	2.50	123	0.42
3.50	1.00	132	0.42
6.50	3.00	145	0.42
10.00	3.50	152	0.42
24.00	14.00	180	0.42
54.00	30.00	233	0.42
inf.	inf.	350	0.42

$V_s(0.0-30.0)=171\text{m/s}$



$V_s(0.0-30.0)=171\text{m/s}$