

Regione Emilia - Romagna

Comune di Medicina

Città Metropolitana di Bologna

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica

"MEDICINA 1" - "MEDICINA 2"

Loc. Fossatone

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA

Num. Rif. Lista:

-

Codifica Elaborato:

R-GEO

Società di progettazione:



Progettista:

Dott.ssa MICHELA LAVAGNOLI



Incarico professionale ricevuto dalla Chiron Energy Asset Management s.r.l., società facente parte del Gruppo Chiron Energy

Cod. File:

Scala:

Formato:

Codice:

Rev.:

PD

00

Rev.	Data	Descrizione revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
0	10/2023	Prima emissione	Geol. Michela Lavagnoli	Geol. Michela Lavagnoli	Geol. Michela Lavagnoli
1	01/2024	Seconda emissione	Geol. Michela Lavagnoli	Geol. Michela Lavagnoli	Geol. Michela Lavagnoli
2	-				

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>ASPETTI GEOLOGICI GENERALI .....</b>	<b>7</b>
4.1.1	Assetto geologico e litostratigrafico .....	7
4.2	Litologia superficiale e sub-superficiale dell'area in esame .....	10
4.2.1	Assetto geomorfologico.....	11
4.3	Acque superficiali.....	15
4.3.1	Acque sotterranee.....	19
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN SITO.....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE FISICO E MECCANICA DEI TERRENI .....</b>	<b>26</b>
6.1	Caratteristiche litologiche dei terreni .....	26
6.2	Modello geotecnico e valori caratteristici dei parametri geotecnici.....	27
<b>7</b>	<b>SISMICA.....</b>	<b>29</b>
7.1	Pericolosità sismica .....	29
7.2	Valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni .....	34
<b>8</b>	<b>PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI .....</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.....</b>	<b>38</b>
<b>10</b>	<b>CONSIDERAZIONI DI SINTESI.....</b>	<b>39</b>

## ALLEGATI

## 1 PREMESSA

Lo studio svolto è stato finalizzato al riconoscimento delle principali caratteristiche geologiche dei terreni presenti in corrispondenza di un'area di circa 16,2 ha, interessata dal progetto di un impianto fotovoltaico a terra in comune di Medicina, nella città metropolitana di Bologna. L'area di intervento è situata a sud della Zona industriale del Comune di Medicina, risulta pianeggiante e confina a nord con il Canale consortile Prunaro, a ovest con campi agricoli, a sud con la SS253 San Vitale e a est con Via Passo Pecore Cento (Figura 1.1 e Figura 1.2).

Le coordinate geografiche riferite al datum WGS84 del baricentro dell'area di realizzazione del campo fotovoltaico sono: Lat. 44,501493°, Long. 11,557772°.

L'area è compresa nelle sezioni 221072 e 221111 della Carta Tecnica Regionale (Figura 1-3).

Per la caratterizzazione geologica e geotecnica di dettaglio in corrispondenza dell'area di realizzazione dell'impianto fotovoltaico sono state effettuate 5 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU), un'indagine sismica attiva (MASW) e un'indagine sismica passiva (HVSr). In corrispondenza dei fori, ottenuti mediante l'esecuzione delle prove, è stato rilevato il livello di profondità della falda dal piano di campagna.

Sulla base delle informazioni raccolte è stata ricostruita la stratigrafia del sottosuolo ed individuato un modello geologico-geotecnico dei terreni. Facendo riferimento alla normativa sismica vigente, in base alla quale il territorio di Medicina è stato inserito all'interno della zona 2, è stata effettuata la caratterizzazione della pericolosità sismica di base dell'area.



Figura 1.1 - Ubicazione area di intervento





Figura 1.2 - Dettaglio foto aere dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico (Fonte: Google earth)



Figura 1-3 - Ubicazione area di intervento su base CTR, sezioni 221072 e 221111





Figura 1.4 – Panoramica area di intervento da via San Vitale



Figura 1.5 – Panoramica da via Passo Pecore Cento

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in riferimento alla sotto elencata normativa.

Decreto ministeriale 17/01/2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (Nel testo citato come NTC 18).

Circolare applicativa NTC2018 – Circolare Esplicativa con le Istruzioni alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20/03/2003 n. 3274 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

Decreto Presidente Repubblica n. 380 del 6 giugno 2001 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

### 3 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

All'interno dell'impianto fotovoltaico si rende necessaria la realizzazione delle strutture sotto riportate per le quali è previsto il ricorso a fondazioni di tipo superficiale a platea. Si tratta di 6 cabine MT/BT, 2 cabine MT Utente e 1 cabina MT Utente e 1 cabina di Consegna. Le dimensioni delle strutture sono riportate nella seguente tabella.

Edificio / struttura fondazione	Larghezza B (m)	Lunghezza L (m)	Profondità piano di posa (m)
6 Cabine MT/BT	3,2	9,7	0,6
2 Cabina MT utente	2,5	6,5	0,6
1 Cabina di consegna	5,2	9,5	1,0

Tabella 3-1 Dimensioni in pianta delle strutture di fondazione

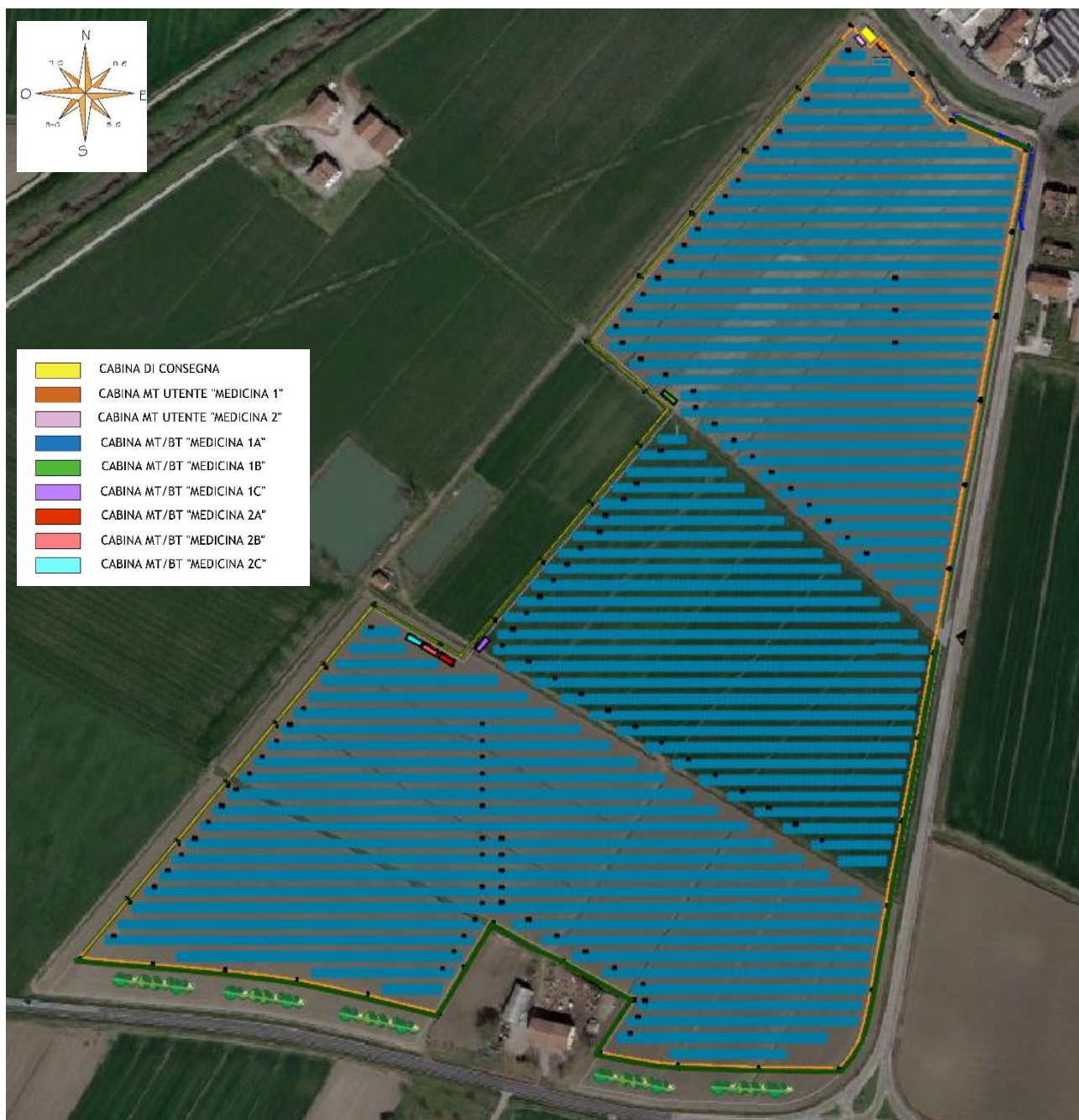


Figura 3-1 - Layout del campo fotovoltaico in progetto



La struttura di ciascuna cabina MT/BT sarà del tipo a pannelli componibili in grado di garantire un alto grado di adattabilità e flessibilità. Gli elementi prefabbricati che costituiranno le cabine saranno trasportati singolarmente ed assemblati in cantiere. È previsto che prima dell'arrivo delle cabine elettriche sia stato eseguito lo scavo e predisposta una platea di appoggio in calcestruzzo.

Le cabine MT utente avranno una struttura monoblocco costruita e assemblata direttamente nello stabilimento di produzione e sarà trasportata e consegnata in opera già allestita con le relative apparecchiature elettromeccaniche. Anche in questo caso è previsto che prima dell'arrivo delle cabine elettriche sia già stato eseguito lo scavo e predisposta una platea di appoggio in calcestruzzo.

La cabina di consegna sarà del tipo a pannelli componibili in grado di garantire un alto grado di adattabilità e flessibilità. Gli elementi prefabbricati che costituiranno la cabina saranno trasportati singolarmente ed assemblati in cantiere. Prima dell'arrivo della cabina elettrica verrà predisposta la platea di appoggio in calcestruzzo.

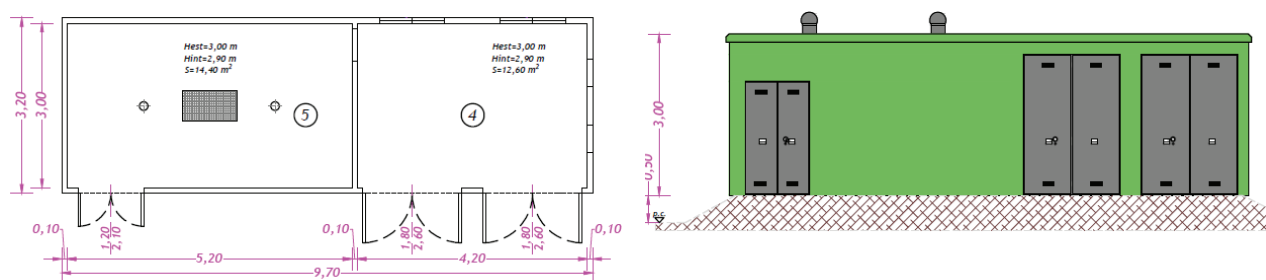


Figura 3-2 – Pianta e profilo delle cabine MT/BT

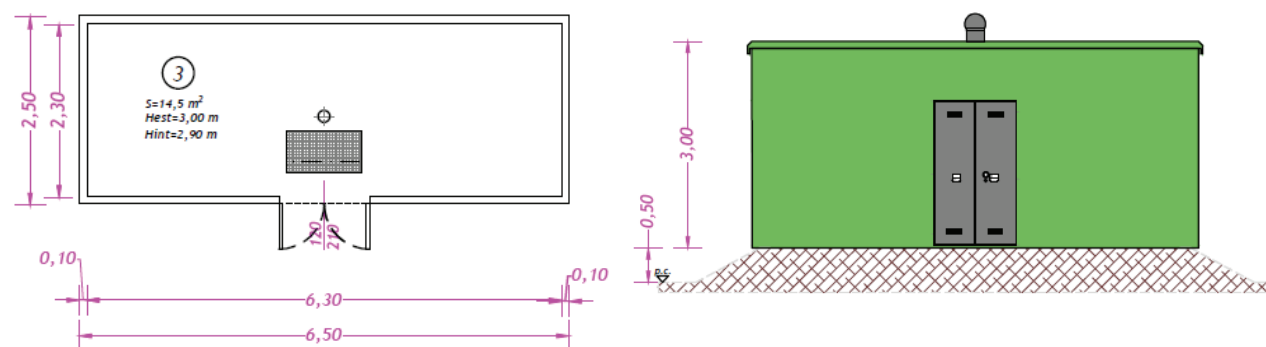


Figura 3-3 – Pianta e profilo delle cabine MT Utente

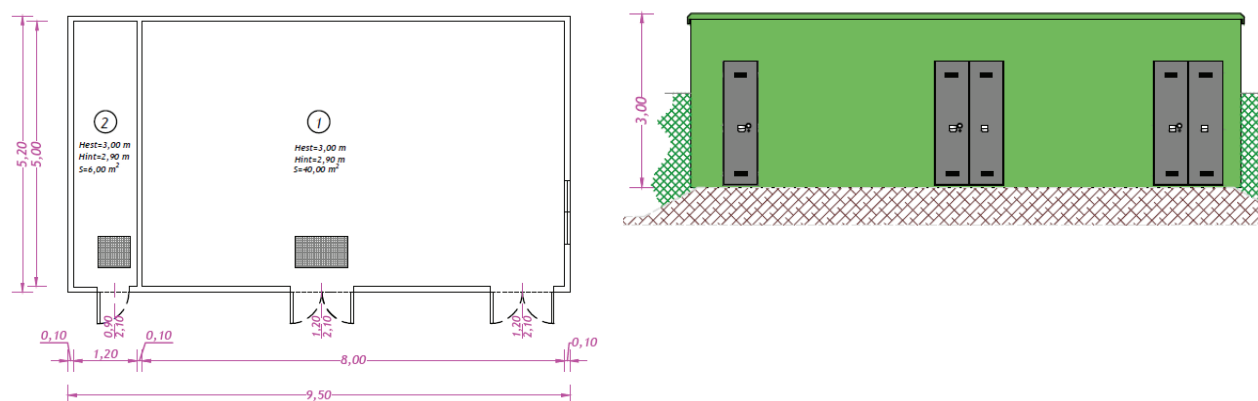


Figura 3-4 – Pianta e profilo della cabina di consegna

## 4 ASPETTI GEOLOGICI GENERALI

### 4.1.1 Assetto geologico e litostratigrafico

I caratteri geologici che definiscono la Pianura Padana traggono principalmente origine dagli studi di sismica a riflessione condotti da AGIP, che hanno evidenziato la presenza di depositi di età plio-quadernaria costituenti il riempimento del bacino di avansfossa compreso tra la catena appenninica a Sud e quella alpina a Nord. Lo spessore complessivo delle unità quadernarie risulta di circa 1.000-1.500 m. L'evoluzione sedimentaria plio-quadernaria del bacino registra una 'tendenza regressiva' da depositi marini di ambiente progressivamente sempre meno profondo fino a depositi continentali. Si identificano quindi due distinti cicli sedimentari, uno marino ('Qm') ed uno continentale ('Qc'); tale tendenza risulta ben riconoscibile al margine appenninico (Ricci Lucchi *et al.*, 1982).

Gli studi condotti dalla Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), basati sui profili sismici integrati da dati stratigrafici di pozzi profondi, hanno permesso di identificare la superficie di discontinuità tra i due cicli sedimentari anche nel sottosuolo della Pianura Padana, in corrispondenza del limite tra il Supersistema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm) e il sovrastante Supersistema Emiliano-romagnolo (ciclo Qc). All'interno di queste due unità sono state riscontrate da vari autori discontinuità minori, che portano alla distinzione di sequenze deposizionali di rango inferiore all'interno dei due cicli sedimentari, come si evidenzia in Figura 4.1, (Regione Emilia-Romagna, 1998).

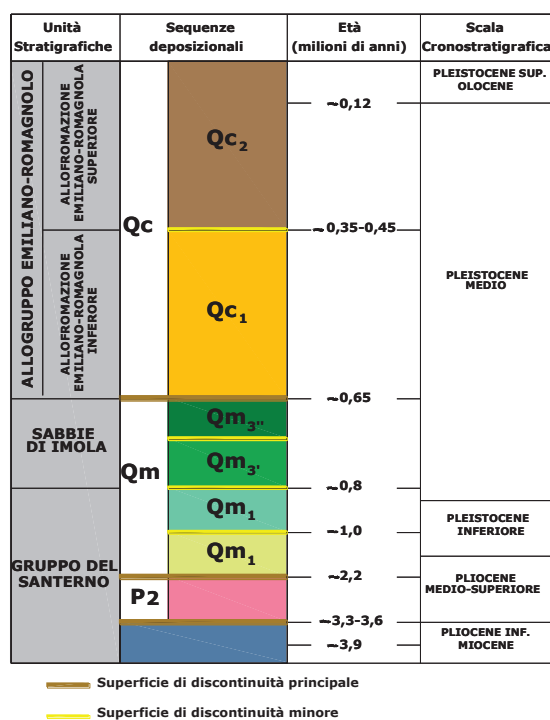


Figura 4.1 – Schema stratigrafico dei depositi plio-quadernari del bacino padano (Fonte: R. Emilia-Romagna & Eni-Agip, 1998)

Facendo riferimento allo studio della Regione Emilia-Romagna & ENI-Agip (1998), si riconoscono nel Supersistema Emiliano-Romagnolo, caratterizzato da uno spessore complessivo di circa 600-700 m, due unità allostratigrafiche definite come Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore e Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore. All'interno di quest'ultima sono presenti unità di rango inferiore (Allomembri) che registrano la ciclicità elementare glacio-eustatica di IV ordine e che per loro natura ciclica costituiscono le unità cartografiche di riferimento.

Il contesto stratigrafico è ben sintetizzato nella sezione geologica della Figura 4.3, che rappresenta uno stralcio della sezione profonda n. 95, pubblicata e consultabile anche on-line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della RER.



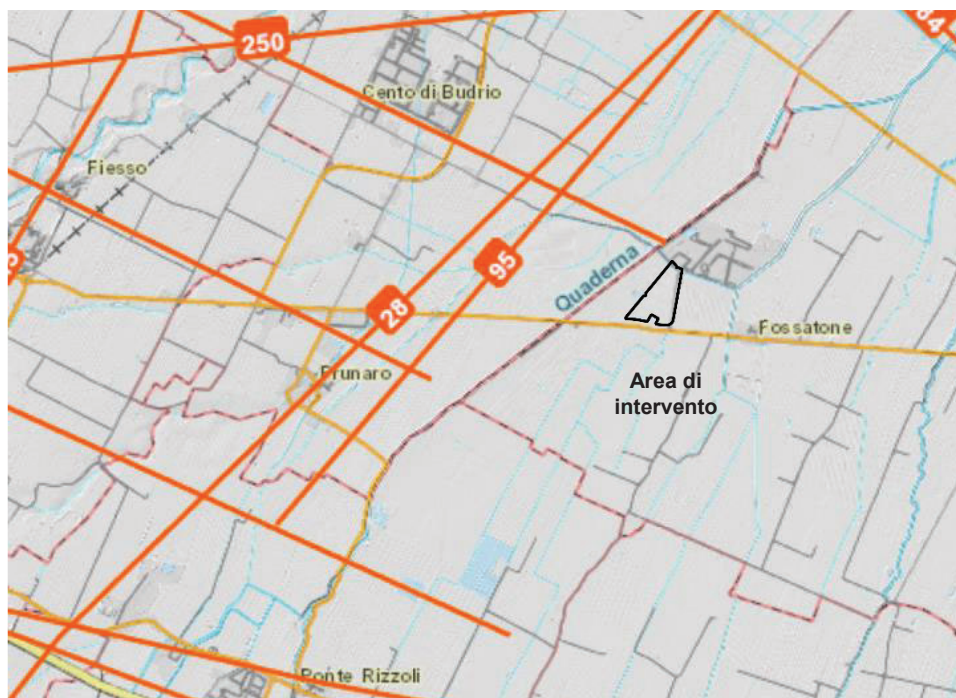


Figura 4.2 – Traccia delle sezioni di riferimento (Banca Dati Servizio Geologico Regione Emilia-Romagna, [https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/pozzi\\_sez](https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/pozzi_sez))

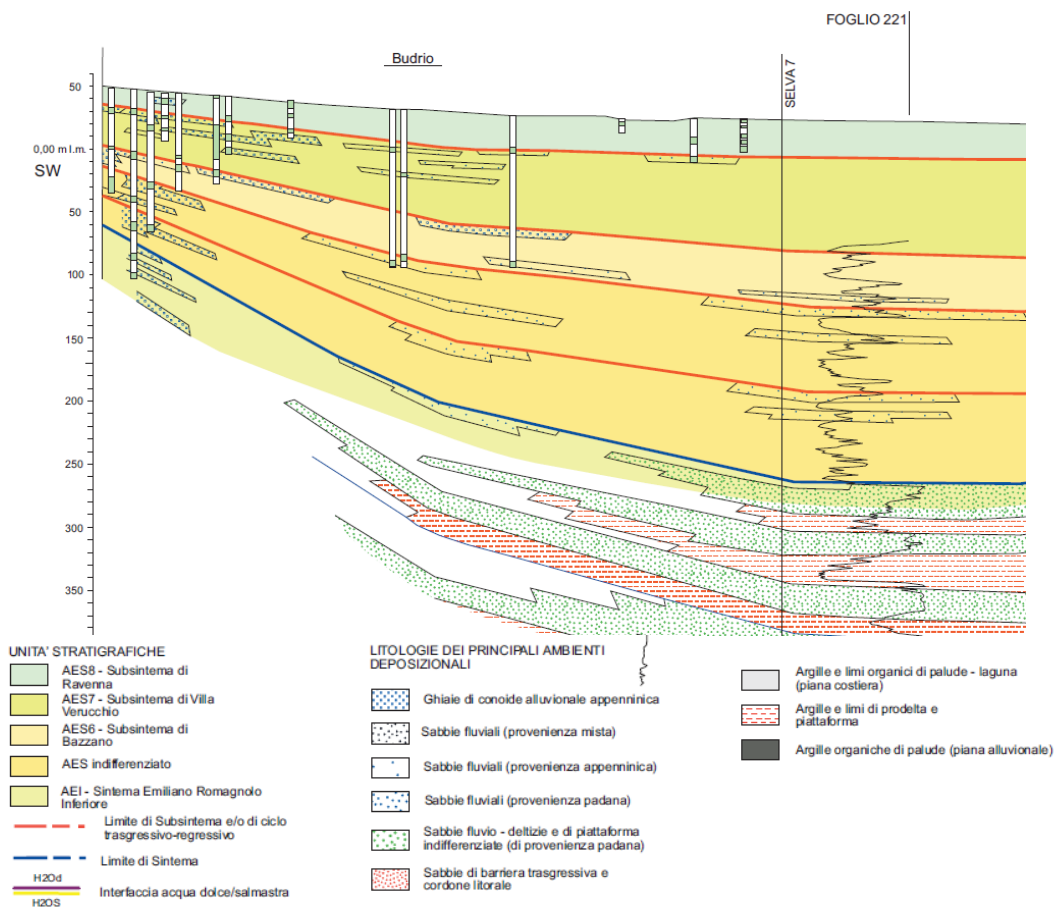


Figura 4.3 – Sezione geologica profonda di riferimento n. 95 (Banca Dati Servizio Geologico Regione Emilia-Romagna)

### **Supersistema Emiliano-Romagnolo**

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi et

al, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nell'area in esame, includono depositi alluvionali che passano verso Est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo non affiora nell'area, ma affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi nell'area a Sud, dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene medio (sabbie di Imola - IMO) e miopliocenici. Il limite superiore coincide col piano topografico. L'età dell'unità è Pleistocene medio – attuale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

### **Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES)**

Costituisce la porzione superiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Nell'area di pianura comprende tutti i depositi continentali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. Nel sottosuolo l'Alloformazione appoggia localmente in discontinuità stratigrafica sull'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inf. ed è suddivisibile in quattro cicli deposizionali. Il limite superiore corrisponde all'attuale superficie topografica. L'età è attribuibile al Pleistocene medio-Olocene.

La porzione più investigata dell'alloformazione è rappresentata dai 120 m sommitali: al di sotto dei sedimenti litorali, localmente affioranti, di età olocenica, attribuibili all'ultimo episodio trasgressivo quaternario (Allomembro di Ravenna), i primi depositi litorali e marini che si incontrano verso il basso stratigrafico sono rappresentati da un corpo tabulare alla profondità di circa -100 m slm, costituito da sabbie litorali e subordinatamente da argille di prodelta e transizione alla piattaforma.

Al di sopra di questi sedimenti marini sono riconoscibili depositi di alcune decine di m prevalentemente argillosi di piana deltizia. La comparsa, intorno a -50÷-70 m slm di corpi sabbiosi nastriformi, interpretati come depositi fluviali di valle incisa, segna il passaggio ai sedimenti alluvionali che costituiscono la porzione dell'alloformazione immediatamente sottostante all'Allomembro di Ravenna. Questo intervallo è caratterizzato da argille e limi di piana inondabile, con subordinate sabbie di canale, (Regione Emilia-Romagna, 1999).

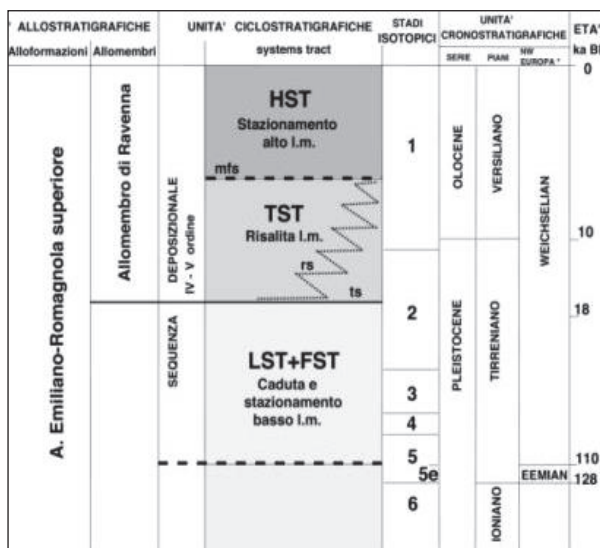


Figura 4.4 - Schema stratigrafico dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Sup. (Fonte: Regione Emilia-Romagna)

### **Allomembro di Ravenna (AES8)**

È caratterizzato da sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale, deltizio e litorale, organizzati in corpi lentiformi, nastriformi e tabulari di vario spessore. Il tetto, che coincide con il piano topografico, presenta suoli con diverso grado di alterazione, i cui orizzonti superiori variano da non calcarei a calcarei. Il limite inferiore è inconforme e marcato da una superficie di discontinuità definita su base radiometrica. Nell'area ravennate l'unità ha uno spessore compreso tra 20 e 28 m.

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 e ad un generale spostamento verso monte dei sistemi deposizionali.

Nella parte sommitale dell'Allomembro di Ravenna viene distinta una unità di rango gerarchico inferiore, l'Unità di Modena (AES8a), la quale contiene i depositi più superficiali (sempre affioranti) e più recenti, compresi quelli attualmente in evoluzione. Nel territorio circostante l'area di intervento affiorano le unità AES8 e AES8a.



AES8a è un'unità pellicolare, di pochi metri di spessore, che raggiunge i 10 m solo localmente, in corrispondenza dei dossi fluviali o della fronte deltizia. Nel settore di alta pianura, la base di AES8a è data da una superficie di erosione fluviale che passa lateralmente ad una scarpata di terrazzo in cui sono confinati i depositi di canale. Nei settori di bassa pianura la base di AES8a è individuata dal contatto, in discontinuità, delle sue tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo o scarsamente calcareo di AES8 che contiene i reperti di epoca romana o più antica in posto.

Il tetto di AES8a è dato da un suolo poco evoluto, calcareo, di pochi decimetri di spessore e generalmente di colore bruno olivastro o bruno grigiastro. Il limite inferiore è datato al periodo post-romano e segna l'instaurarsi di un'importante fase di deterioramento climatico tra il IV e il VI sec. d.C. che determinò un aumento della piovosità, con conseguente modifica della rete idrografica e alluvionamento della pianura.

#### 4.2 Litologia superficiale e sub-superficiale dell'area in esame

I terreni presenti negli strati più superficiali sono il frutto di eventi geologico-deposizionali di tipo alluvionale, succedutisi in epoche recenti. La distribuzione tessiturale di questi sedimenti risulta quindi in stretta connessione con la dinamica tipica degli ambienti sedimentari fluviali di pianura alluvionale.

Le caratteristiche litologiche dei terreni superficiali, riportate in Figura 4.5, sono state desunte dalla cartografia geologica messa a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (Sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna, <http://geo.regione.emilia-romagna.it>).

La carta descrive la distribuzione e le caratteristiche litologiche delle unità stratigrafiche subaffioranti ovvero dei terreni presenti sino ad una profondità media di circa 2÷3 m dal piano campagna. Secondo quanto indicato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna per la realizzazione della carta geologica sono stati utilizzati i dati derivanti dall'interpretazione di foto aeree e da satellite, da indagini geognostiche quali sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche e da trivellate a mano (tra cui i dati messi a disposizione dall'Ufficio Pedologico).

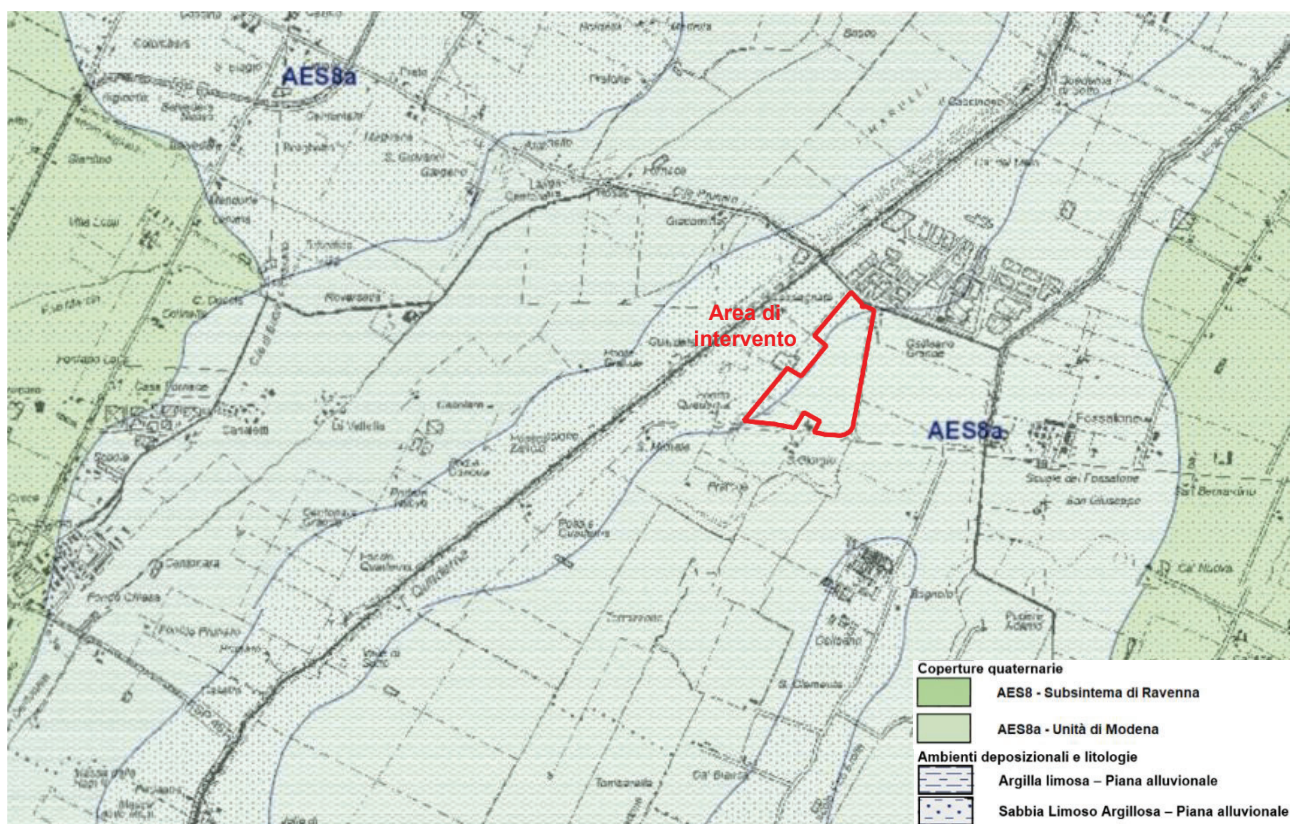


Figura 4.5 – carta geologica, (Fonte: Sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della regione Emilia Romagna, <http://geo.regione.emilia-romagna.it>)

I depositi di superficie si riferiscono interamente al subsistema più recente (Subsistema di Ravenna - AES8) del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) la cui unità cartografica di rango gerarchico inferiore è l'unità di Modena (AES8a) che costituisce la parte sommitale di AES8.

In particolare, nell'area di intervento, sono presenti depositi attribuibili ad ambienti di piana alluvionale costituiti da argille limose.

#### 4.2.1 Assetto geomorfologico

L'area dove verrà realizzato l'impianto è ubicata a nord della via San Vitale e risulta pianeggiante con quote comprese tra circa 24 e 25 m slm (Figura 4.6).



Figura 4.6 – Quote topografiche in prossimità dell'area di intervento tratte dalle CTR 221072 e 221111

L'agente morfogenetico che ha maggiormente contribuito alla genesi ed evoluzione delle forme che caratterizzano il territorio è probabilmente il reticolo delle acque incanalate. L'evoluzione della pianura olocenica è infatti riconducibile ad un modello semplice, nel quale i corsi d'acqua appenninici, a valle delle conoidi pedemontane, poco attive durante l'Olocene (ultimi 15.000 anni), oggi prevalentemente in erosione, tendono a proseguire verso il collettore principale su alvei pensili, formati da sedimenti che il corso d'acqua non è più in grado di portare in carico. Nel caso di rotte e tracimazioni le acque invadono la pianura circostante depositando dapprima i sedimenti più grossolani nelle vicinanze dell'alveo, più lontano i sedimenti più fini (limi sabbiosi e limi) e nelle conche morfologiche, ove le acque possono rimanere a lungo e decantare, si depositano limi argillosi ed anche argille.

L'accrescimento della pianura emiliano-romagnola è avvenuta perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente a causa dei continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione. La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, così come l'assetto morfologico della pianura, sono quindi strettamente legati ai processi strutturali e di sedimentazione e alla loro disposizione nel tempo<sup>1</sup>.

In Figura 4.7 sono riportati gli elementi geomorfologici riconoscibili in prossimità dell'area di studio: le strutture presenti nell'intorno dell'area di intervento sono rappresentate da ventagli di esondazione.

<sup>1</sup> Fonte: PSC Budrio, Quadro Conoscitivo – Sistema naturale e ambientale – Relazione geologica elab AC.2.REL, 2006.



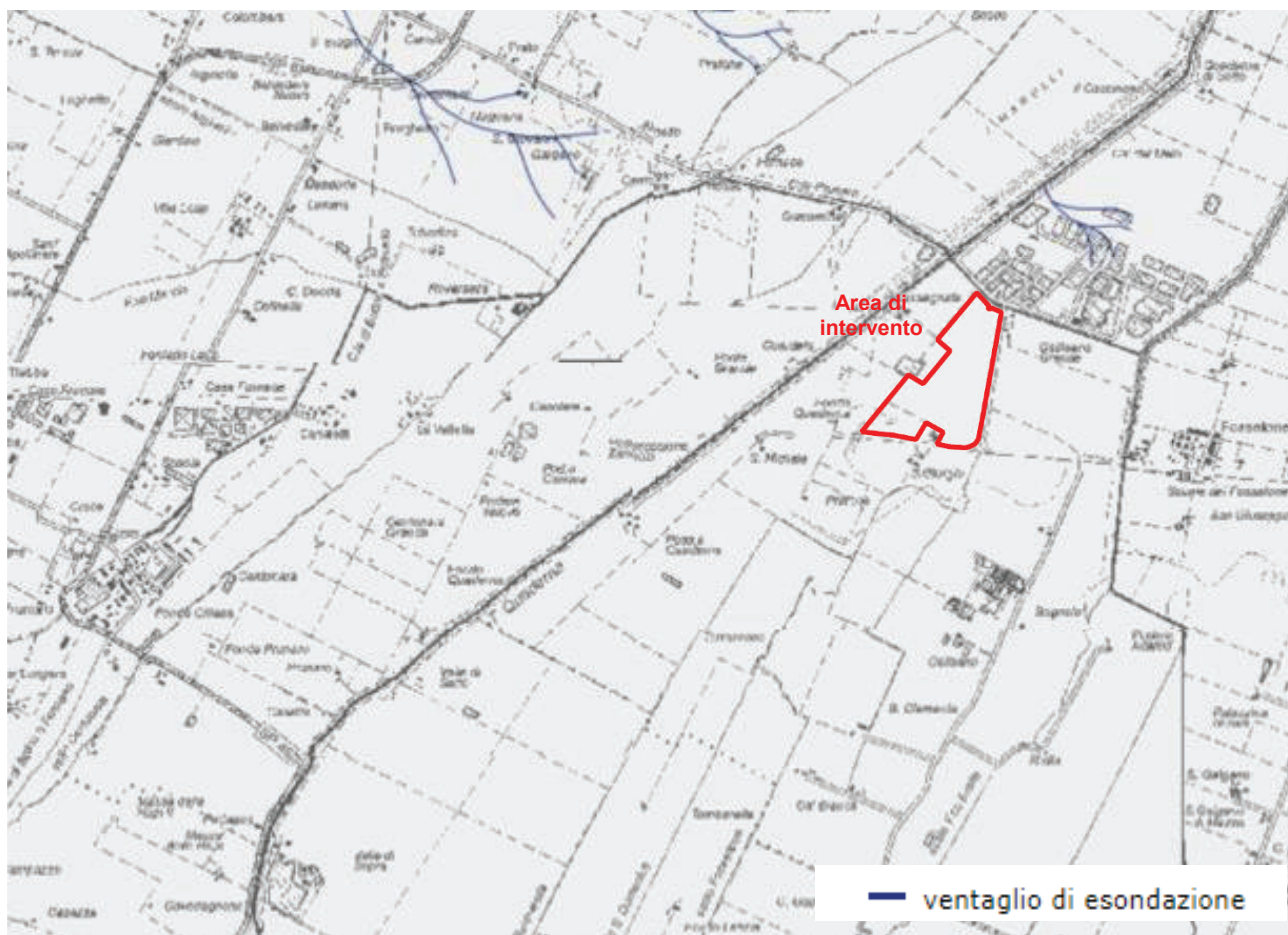


Figura 4.7 – Geomorfologia dell'area di intervento (Fonte: Sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della regione Emilia Romagna, <http://geo.regione.emilia-romagna.it>)

Sull'area di intervento non sono stati riconosciuti elementi morfologici peculiari, come si evince dalle immagini di Figura 4-8, Figura 4-9 e Figura 4-10.



Figura 4-8 – Geomorfologia dell'area, vista da S dalla strada San Vitale





**Figura 4-9 – Geomorfologia dell'area, vista da W dalla via Passo Pecore**



**Figura 4-10 – Geomorfologia dell'area, vista da N dalla via Passo Pecore**

Un elemento caratterizzante l'attuale assetto geomorfologico è rappresentato dalla subsidenza: il graduale abbassamento del suolo trae origine da cause naturali insite nel territorio, quali, principalmente, la tettonica, che coinvolge i sedimenti profondi della pianura, ed il costipamento dei terreni ad opera del carico litostatico; a queste si sommano altre cause legate all'attività dell'uomo, soprattutto in riferimento all'estrazione di fluidi dal sottosuolo. Tra questi, lo sfruttamento delle acque sotterranee è senz'altro uno degli agenti più significativi. Gli studi effettuati sull'evoluzione del fenomeno mostrano chiaramente la correlazione fra interventi dell'uomo e cambiamenti nelle tendenze della subsidenza.

Senza entrare nel dettaglio sulle cause responsabili della subsidenza, date le finalità del presente studio, è comunque possibile eseguire una valutazione di massima sugli abbassamenti del suolo avvenuti negli ultimi anni nell'area di indagine. L'azione di monitoraggio del fenomeno della subsidenza viene attualmente svolto da Arpa: l'attività principale riguarda il rilievo periodico dei movimenti verticali del suolo sull'intero territorio di pianura della regione. Il prodotto finale è la carta delle velocità di movimento verticale del suolo, aggiornata al periodo intercorso tra l'ultimo rilievo e il rilievo precedente. L'aggiornamento viene realizzato con frequenza circa quinquennale, su incarico specifico della Regione Emilia-Romagna, Servizio Tutela e risanamento risorsa acqua. La cartografia prodotta viene utilizzata per i rispettivi compiti d'istituto, in particolare, da Servizi tecnici di bacino della Regione, Province, Autorità di bacino e Comuni.

Nelle figure sottostanti si riporta lo stralcio, relativo all'area di studio, della velocità di movimento verticale del suolo, rappresentata da isocinetiche, misurata rispettivamente nei periodi, 2002÷2006, 2006÷2011 e 2011÷2016.

Le isocinetiche nel periodo 2002÷2006 mostrano che l'area ove verrà realizzato l'impianto fotovoltaico presenta velocità di abbassamento verticale comprese tra 15 e 10 mm/anno, (Figura 4.11). Nel periodo di monitoraggio successivo, quindi tra il 2006 e il 2011, le velocità di abbassamento del suolo presentano una generale diminuzione: in particolare in corrispondenza dell'impianto fotovoltaico di progetto risultano inferiori a 10 mm/anno, (Figura 4.12). Infine tra il 2011 e il 2016 le velocità si riducono ulteriormente su tutto il settore considerato: in prossimità dell'area di impianto le velocità corrispondono a circa 2,5÷5 mm/anno. (Figura 4.13).

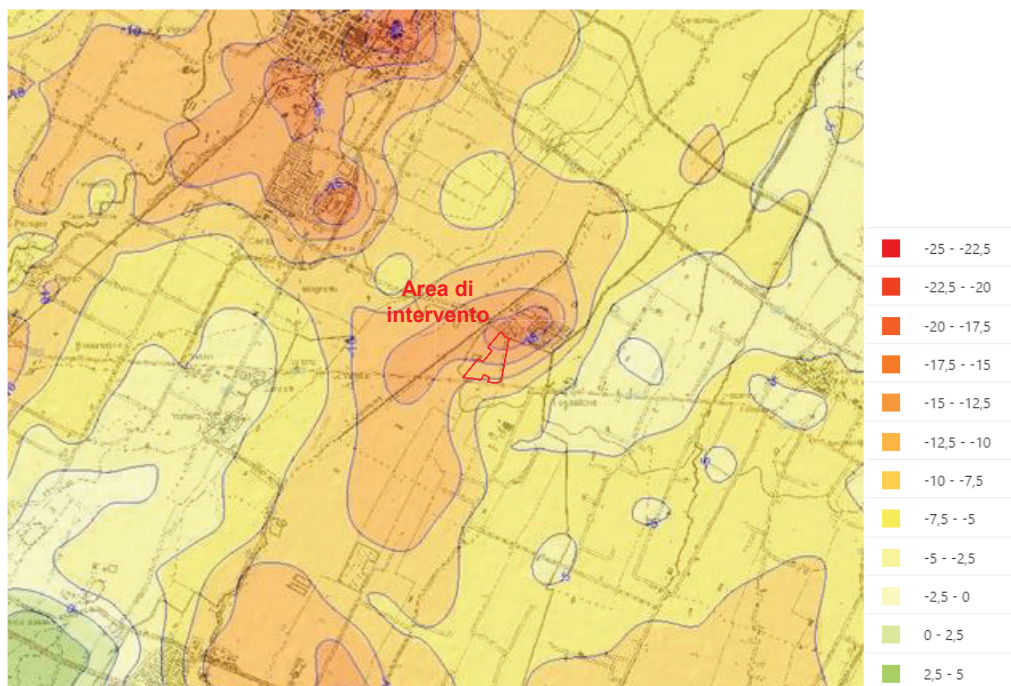


Figura 4.11 – Subsidenza nel periodo 2002÷2006 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

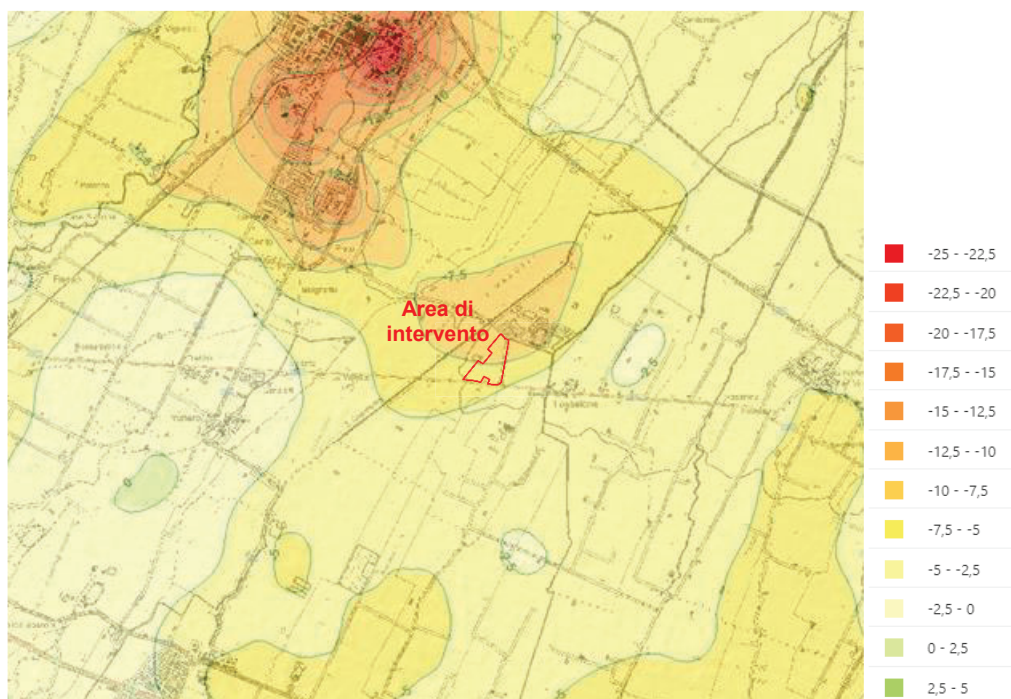


Figura 4.12 – Subsidenza nel periodo 2006÷2011 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)



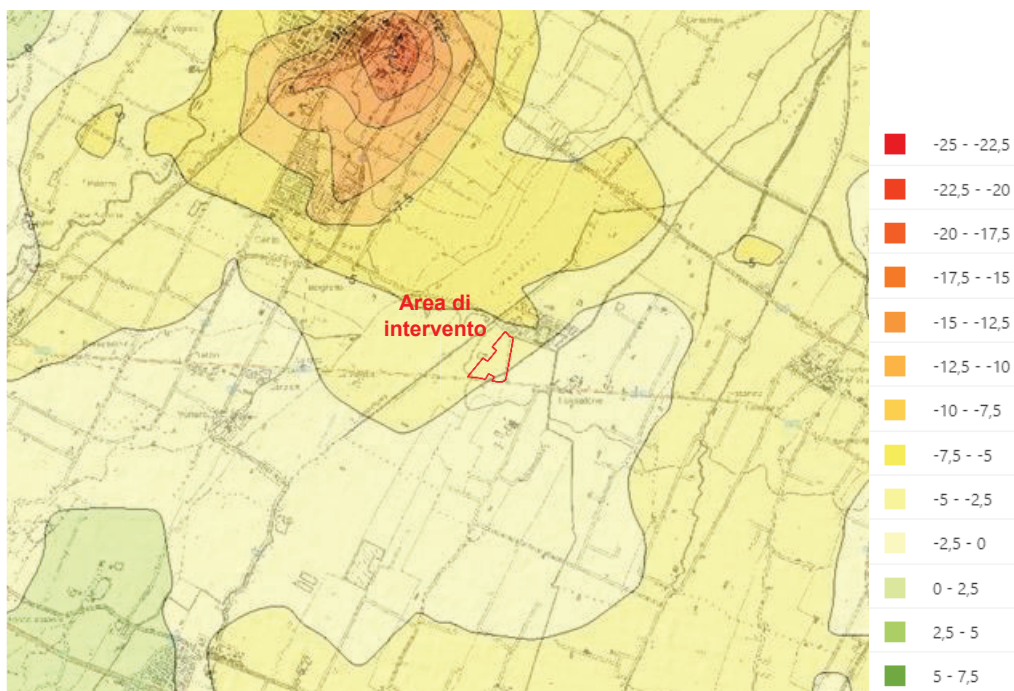


Figura 4.13 – Subsidenza nel periodo 2011+2016 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

### 4.3 Acque superficiali

L'elemento idrografico principale dell'area di intervento è rappresentato dal Torrente Quaderna, che scorre ad ovest dell'area dove verrà realizzato l'impianto fotovoltaico, a circa 200 m (Figura 4.14).



Figura 4.14 – Reticolo idrografico in prossimità dell'area di intervento

Il T. Quaderna nasce col nome di *rio Freddo* nel basso Appennino bolognese, dalle pendici occidentali del Monte Grande (607 m), nel comune di Castel San Pietro Terme. Dopo aver lambito il comune di Ozzano dell'Emilia, giunto in pianura scorre in un alveo artificiale costruitogli in epoca moderna per deviare le sue



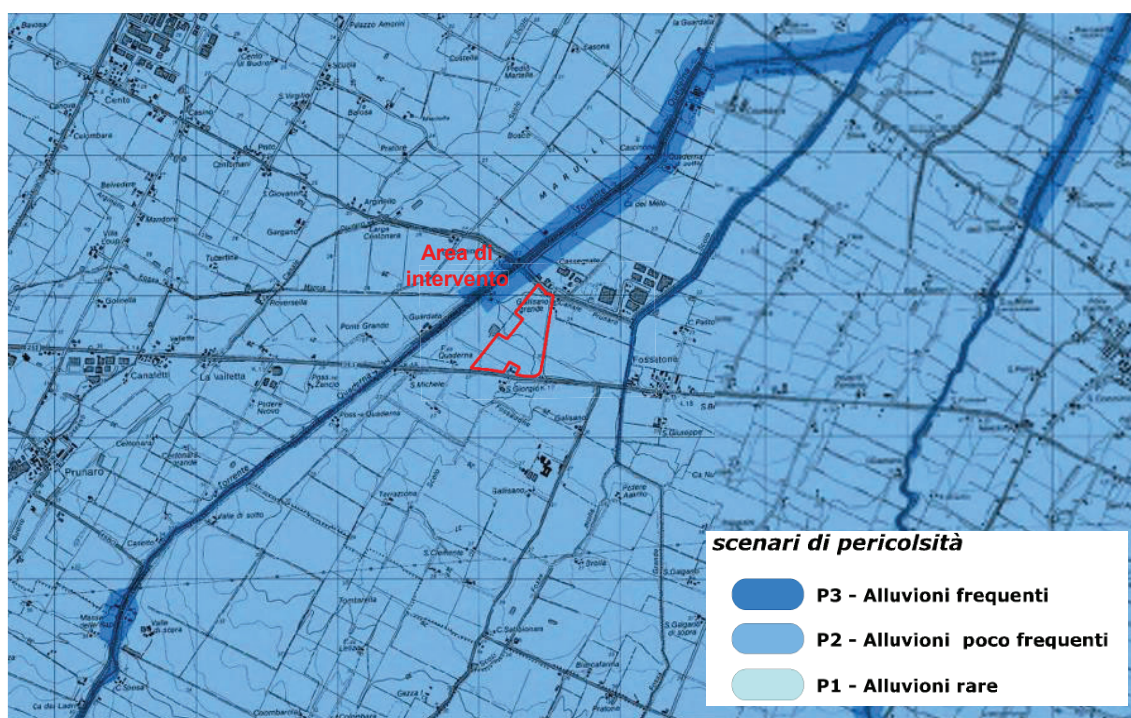
acque nel fiume Reno onde evitare che si impaludassero compromettendo così l'insediamento nella pianura bolognese.

Uscito da Ozzano riceve, nei pressi di Prunaro di Budrio, il rio Centonara, che è il suo più importante affluente di sinistra. Prosegue verso nord, ricevendo da destra l'apporto idrico del canale Fossatone. Dopo aver percorso quattro chilometri riceve da destra le acque del torrente Gaiana, che garantisce gli apporti idrici nel periodo estivo. Entrato nel comune di Medicina, si immette nel torrente Idice poco prima che questo entri nelle Valli di Campotto.

Il corso del Torrente Quaderna è lungo 37 km ma un tempo proseguiva verso est andando a concludersi nel fiume Reno, nei pressi di Argenta; in seguito alla deviazione dell'Idice, quest'ultimo ha occupato l'estrema parte settentrionale del corso del Quaderna, facendolo diventare suo affluente. Prima di queste modifiche a scopi di bonifica è da ricordare che Idice e Quaderna si impaludavano nelle cosiddette *Valli di Marmorta*, a est di Molinella.

L'area di progetto rientra nel bacino del fiume Reno, gestito dall'Autorità di Bacino interregionale del Fiume Reno, confluita nell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

In Figura 4.15 è riportato uno stralcio della *mappa di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni* della Variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA): l'intervento rientra in scenari di pericolosità di alluvioni poco frequenti, ad esclusione del tratto di attraversamento del torrente Quaderna dove sono presenti le fasce fluviali di scenario alluvionale frequente.



**Figura 4.15 – Mappa di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni tav. MP6 (Fonte: Autorità di Bacino del Reno, Variante di coordinamento tra il Piano di Gestione Rischio Alluvioni e i Piani Stralcio di bacino)**

In adempimento alla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita con il D. Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49, la Regione Emilia-Romagna nel dicembre 2013, ha pubblicato una cartografia riguardante le aree che potrebbero essere interessate da inondazioni di corsi d'acqua naturali e artificiali; nelle mappe della pericolosità, cartografate in base agli ambiti (reticolo principale, reticolo secondario collinare-montano, reticolo secondario di pianura, area costiera marina) e ai bacini/distretti idrografici di riferimento, vengono indicati gli scenari:

- ✓ alluvioni frequenti (H) = TR 30 – 50 anni;
- ✓ alluvioni poco frequenti (M) = TR 100 – 200 anni;
- ✓ alluvioni rare (L) = TR fino a 500 anni.



Ad oggi sono disponibili i dati di pericolosità relativi al secondo ciclo di attuazione della Direttiva 2007/60/CE, conclusosi nel dicembre 2021, definitivamente approvati dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po con Decreto Segretariale (DS) n. 43/2022 del 11 aprile 2022. Si tratta delle mappe di pericolosità più aggiornate del PGRA vigente perché accolgono i dati relativi all'ultima fase del percorso di aggiornamento delle mappe (2021-2022), comprensivo del percorso di osservazione e partecipazione.

Sia in riferimento al reticolo idrografico principale che a quello secondario l'intervento ricade in uno scenario di pericolosità P2 – alluvioni poco frequenti, (Figura 4.16 e Figura 4.17).

Il progetto per quanto riguarda il rischio da alluvioni del reticolo principale (Figura 4.18) presenta rischio medio (R2), mentre in riferimento al reticolo secondario il rischio è moderato (R1), Figura 4.19.

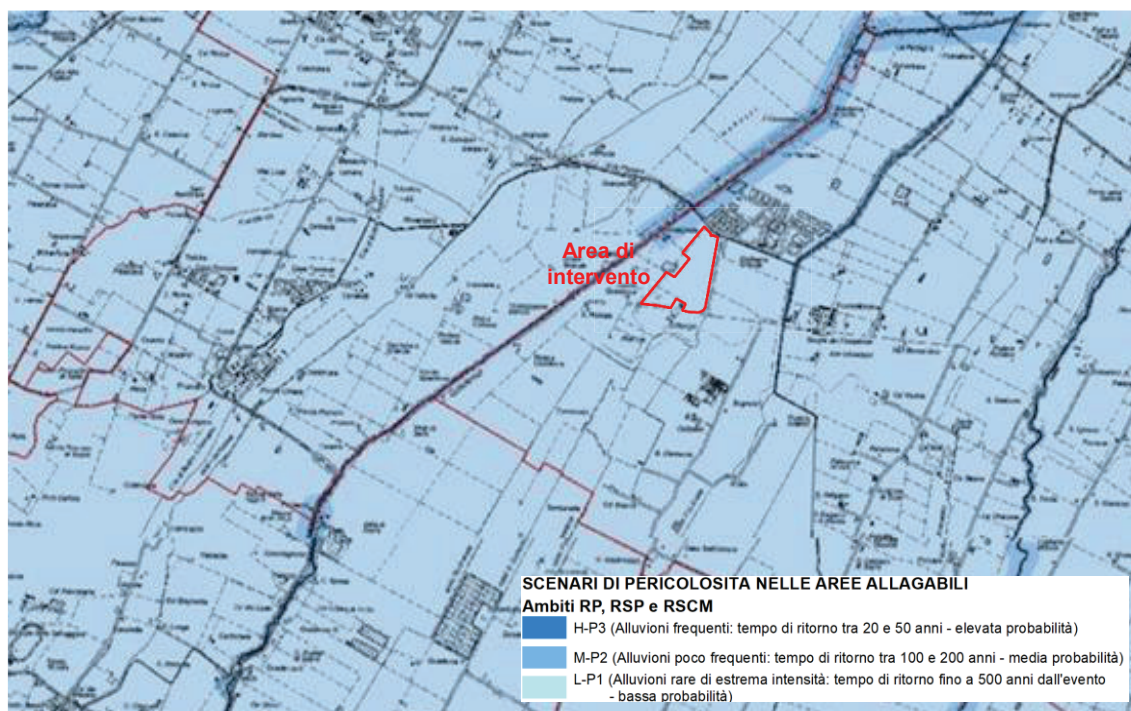


Figura 4.16 - Alluvioni reticolo principale - Stralcio della Mappa di pericolosità (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>))

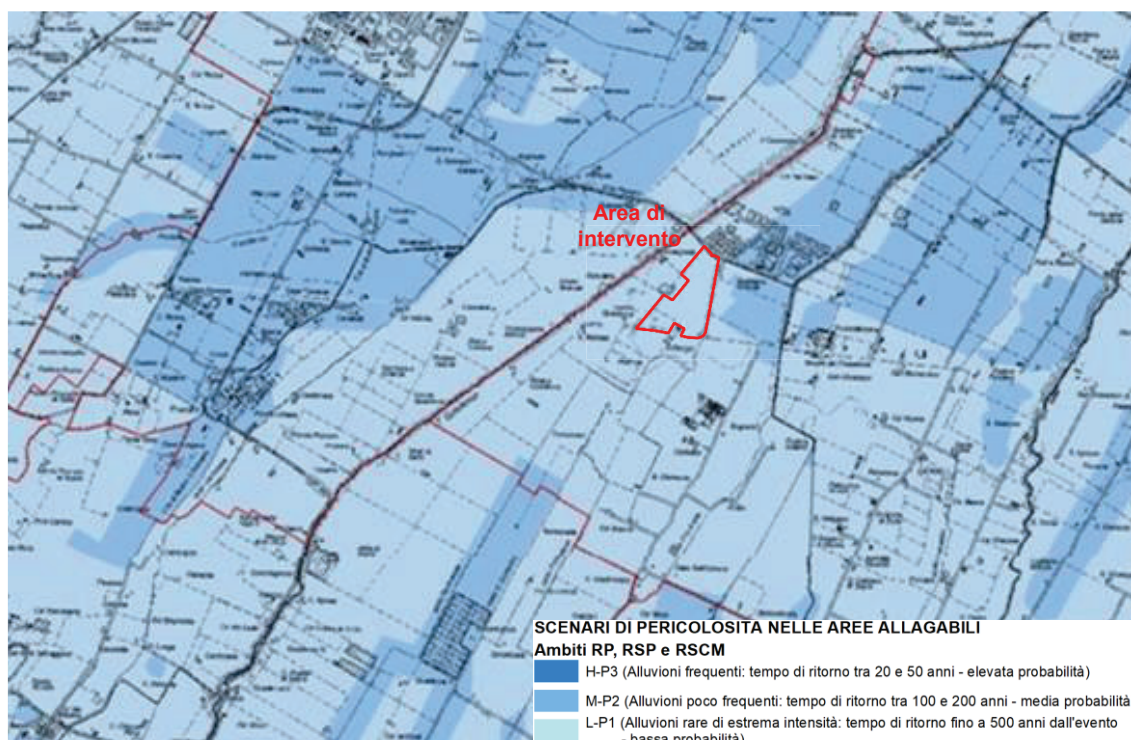




Figura 4.17 - Alluvioni reticolo secondario - Stralcio della Mappa di pericolosità (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)



Figura 4.18 - Alluvioni reticolo principale - Stralcio della Mappa del rischio (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)

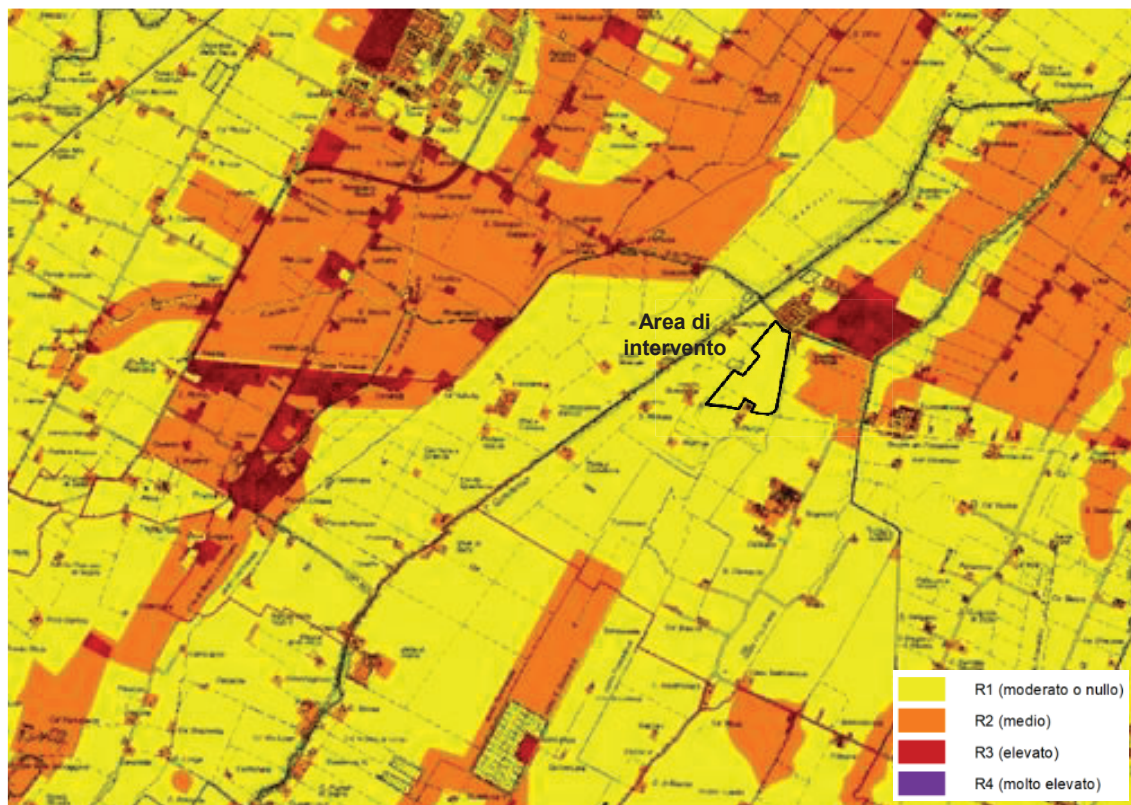


Figura 4.19 - Alluvioni reticolo secondario - Stralcio della Mappa del rischio (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)



L'area di intervento rientra nel comprensorio del Consorzio della Bonifica Renana, che si sviluppa su una superficie complessiva di 341.953 ettari.

Il territorio su cui si estende il comprensorio viene suddiviso in due distretti: il Primo Distretto dei bacini di pianura ed il Secondo Distretto dei bacini montani. La suddivisione tra primo e secondo distretto segue il criterio dell'unitarietà idrografica: i confini corrispondono a linee di spartiacque tra bacini idrografici. Fa parte del Secondo Distretto il territorio ricadente nei bacini dei principali torrenti appenninici: Samoggia, Lavino, Reno, Savena, Idice, Quaderna, Gaiana, Sellustra, e Sillaro. Nel proprio corso verso valle le sponde di questi torrenti si fanno arginate e pensili, precludendo ai terreni circostanti lo scolo al loro interno: viene di fatto a definirsi un areale con una propria unitarietà dal punto di vista della formazione dei deflussi e del loro scolo.

Si definisce invece Primo distretto il territorio le cui acque di pioggia vengono scolate in modo prevalente grazie alla presenza del reticolo artificiale dei canali di scolo, o comunque tramite un reticolo idrografico naturale ma interconnesso con il sistema artificiale di bonifica, per cui la presenza di quest'ultimo è di fatto caratterizzante. L'area al confine nord è limitrofa al canale Prunaro, un canale consortile a scolo naturale di circa 2,9 km e un bacino di 157 ha.

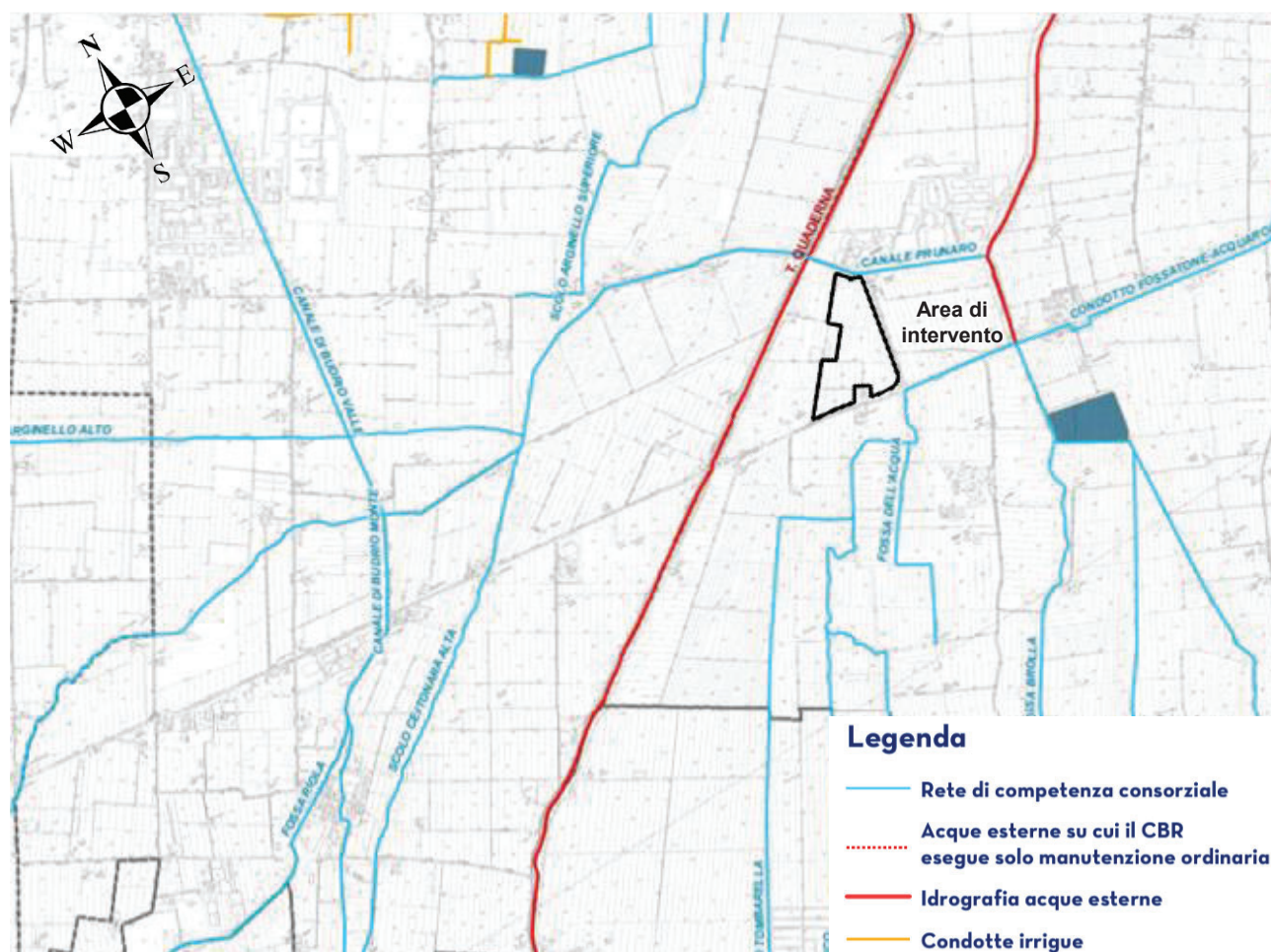


Figura 4.20 – Rete consortile tavola sud-est (Fonte: Consorzio della Bonifica Renana)

### 4.3.1 Acque sotterranee

#### 4.3.1.1 Assetto idrogeologico generale

Le caratteristiche degli acquiferi del territorio in esame vanno inquadrare nel modello evolutivo tridimensionale, sia idrogeologico che stratigrafico, dell'intera Pianura Padana emiliano-romagnola. Secondo i più recenti studi (cfr. Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998) si distinguono, sia in superficie che nel sottosuolo, 3 Unità Idrostratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi Acquiferi. Esse affiorano sul margine meridionale del Bacino Idrogeologico della Pianura per poi immergersi verso nord al di sotto dei sedimenti depositati dal fiume

Po e dai suoi affluenti negli ultimi 20.000 anni, contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale).

Ciascun Gruppo Acquifero risulta idraulicamente separato, almeno per gran parte della sua estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti, grazie a livelli argillosi di spessore plurimetrico sviluppati a scala regionale.

L'Unità Idrostratigrafico-Sequenziale affiorante nell'area in esame e direttamente coinvolta dalle opere di fondazione dell'intervento in progetto è denominata Gruppo Acquifero A, che ricalca il Sintema Emiliano Romagnolo superiore (450.000÷350.000 anni BP). Il Gruppo acquifero A è essenzialmente caratterizzato da:

- ghiaie e sabbie prevalenti nella pianura pedemontana;
- depositi prevalentemente fini argillosi e/o limosi attraversati in senso meridiano da corpi nastriformi di ghiaie e sabbie, nella pianura a crescita verticale;
- presenza di estese bancate sabbiose a sviluppo tabulare, a partire dall'allineamento dei centri frazionali di Paradigna e Bogolese fino all'asse fluviale del Po.

Il gruppo Acquifero A è ulteriormente suddivisibile in 5 Complessi Acquiferi, riferibili ad altrettanti Sequenze Deposizionali Elementari, contrassegnati dal superiore all'inferiore, come di seguito elencato:

- Complesso Acquifero A0;
- Complesso Acquifero A1;
- Complesso Acquifero A2;
- Complessi Acquiferi A3 e A4.

I complessi acquiferi superficiali sono il Complesso Acquifero A0 e il Complesso Acquifero A1. In particolare si distingue una unità pellicolare denominata A0, posta superiormente ad A1; questa unità corrisponde a depositi di età pleistocenica terminale ed olocenica, sedimentatisi dopo l'ultima glaciazione.

L'unità A0 comprende quindi i depositi presenti nel primo sottosuolo della pianura, nonché gran parte di quelli affioranti. Le porzioni grossolane di A0 sono costituite da corpi non molto estesi, volumetricamente poco rilevanti, e, quando non sono amalgamate a depositi permeabili dell'unità A1, costituiscono degli acquiferi sfruttati esclusivamente a fini domestici. Ciò si verifica in un'ampia zona della pianura emiliana, interposta tra le conoidi appenniniche e i complessi acquiferi di pertinenza padana, di ampiezza sempre maggiore spostandosi da ovest verso est (cartografata, cautelativamente, considerando amalgamati anche corpi permeabili separati tra loro da uno spessore di argilla potente sino a due metri circa).

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE											
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO										
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI CLAMATTELLO	UNITÀ DI VILLA DEL BORGIO	UNITÀ DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITÀ DI BORGO PANIGALE	CRIZZONTE DI FOSSOLO	UNITÀ ALLUVIONALE INFERIORE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	0.125	A	A1
													A2				
													A3				
													A4				
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di MOIA p.p.	MILAZZANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di MOIA p.p.	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	SUPERSISTEMA DEL PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE	PIUCCENE MEDIO SUPERIORE	~3.3-3.6	~3.9	PIUCCENE INFERIORE MIOCENE	~0.65	PLEISTOCENE MEDIO	~0.89	B	B1
																	B2
																	B3
																	B4
P <sub>2</sub>	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	SUPERSISTEMA DEL PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE	PIUCCENE MEDIO SUPERIORE	~3.3-3.6	~3.9	PIUCCENE INFERIORE MIOCENE	~0.65	PLEISTOCENE INFERIORE	1.72	C	C1
																	C2
																	C3
																	C4
P <sub>2</sub>	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	SUPERSISTEMA DEL PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE	PIUCCENE MEDIO SUPERIORE	~3.3-3.6	~3.9	PIUCCENE INFERIORE MIOCENE	~0.65	PLEISTOCENE INFERIORE	3.65	C	C5
																	C5
													ACQUIFERO BASALE				

Figura 4-21 - Inquadramento geologico-stratigrafico e idrostratigrafico della Pianura Padana (Fonte: R.E.R., ENI-AGIP 1998)



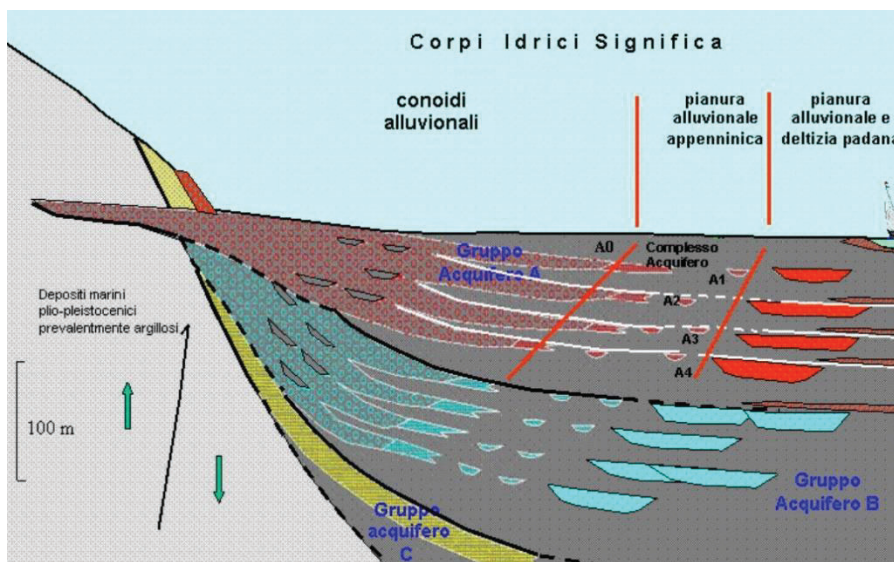


Figura 4-22 - Sezione idrostratigrafica rappresentativa del Bacino Pleistocenico della Pianura Emiliano Romagnola. Figura tratta dagli elaborati conoscitivi a supporto del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia-Romagna.

#### 4.3.1.2 Assetto idrogeologico locale

L'edificio sedimentario alluvionale ospita un sistema acquifero sotterraneo, le cui caratteristiche idrogeologiche sono in stretta relazione con le caratteristiche granulometriche dei depositi: ai depositi argilloso-limosi può essere attribuita una permeabilità bassa ( $k = 10^{-6} \div 10^{-8}$  cm/s), mentre i depositi ghiaiosi presentano una permeabilità elevata ( $k = 10^{-1} \div 10^{-3}$  cm/s), localmente ridotta dalla presenza di significative percentuali di matrice fine.

Ogni unità è separata da quelle adiacenti attraverso livelli scarsamente permeabili o impermeabili arealmente continui, che ne determinano l'isolamento idraulico. Ne consegue che i flussi idrici si propagano principalmente con componente parallela alle superfici di strato e solo secondariamente con componente ortogonale e di conseguenza i flussi possono essere considerati necessariamente confinati all'interno della medesima unità. Il limite della circolazione idrica sotterranea è costituito dall'Acquitardo Basale, rappresentato dalla formazione impermeabile plio-pleistocenica delle Argille Azzurre affiorante nella fascia di margine appenninico.

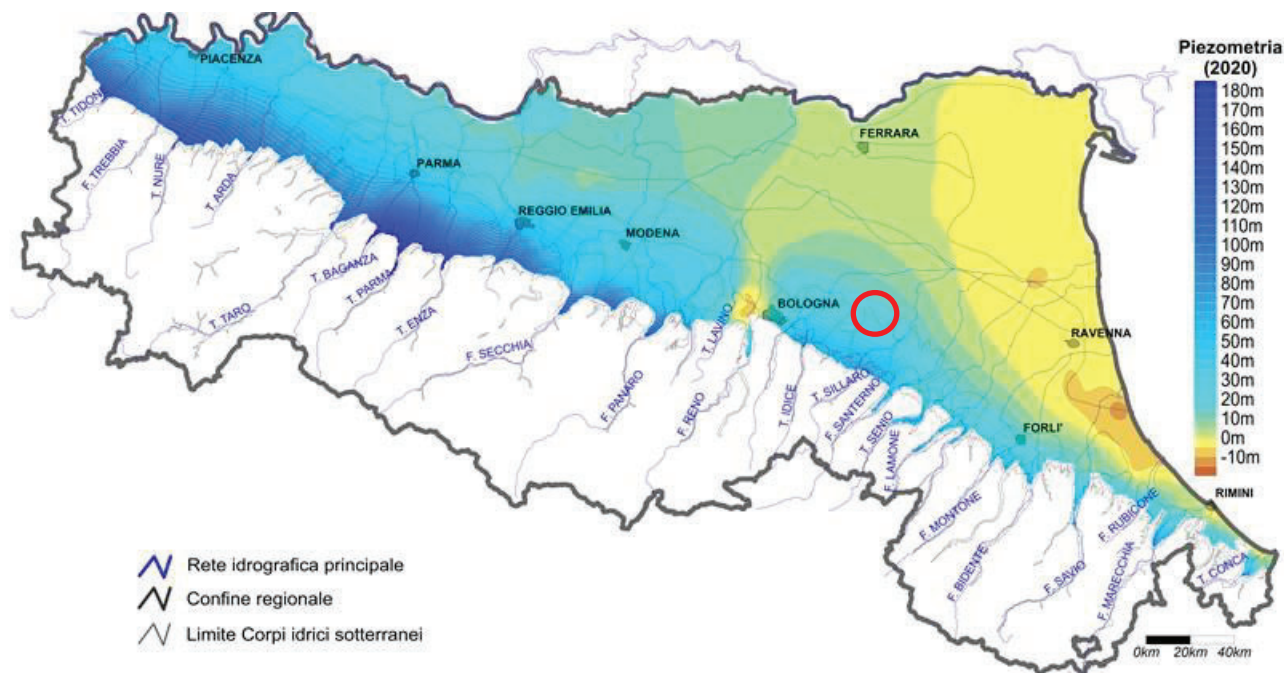


Figura 4.23 – Piezometria media annua nei corpi idrici liberi e confinati superiori (2020). (Fonte: ARPAE)



Il livello delle acque sotterranee dei corpi idrici freatici di pianura dipende, in gran parte, dalle precipitazioni (ricarica diretta), dal rapporto idrogeologico con i corsi d'acqua superficiali (che possono essere alimentanti in alcuni periodi dell'anno e drenanti in altri, in funzione delle quote relative tra alveo e corpo idrico sotterraneo) e, infine, dal regime dei prelievi (anche se su questi corpi idrici non insistono prelievi importanti).

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche per la definizione dei terreni il livello della falda è risultato compreso tra 1,4 e 1,8 m da p.c.

Per acquisire indicazioni riguardanti la vulnerabilità degli acquiferi presenti si può prendere in esame la *Carta regionale della Vulnerabilità*, elaborata dalla Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e Servizio di Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua (2002), riportata in Figura 4-24, ove si evidenzia che l'intervento risulta esterno alle aree vulnerabili.

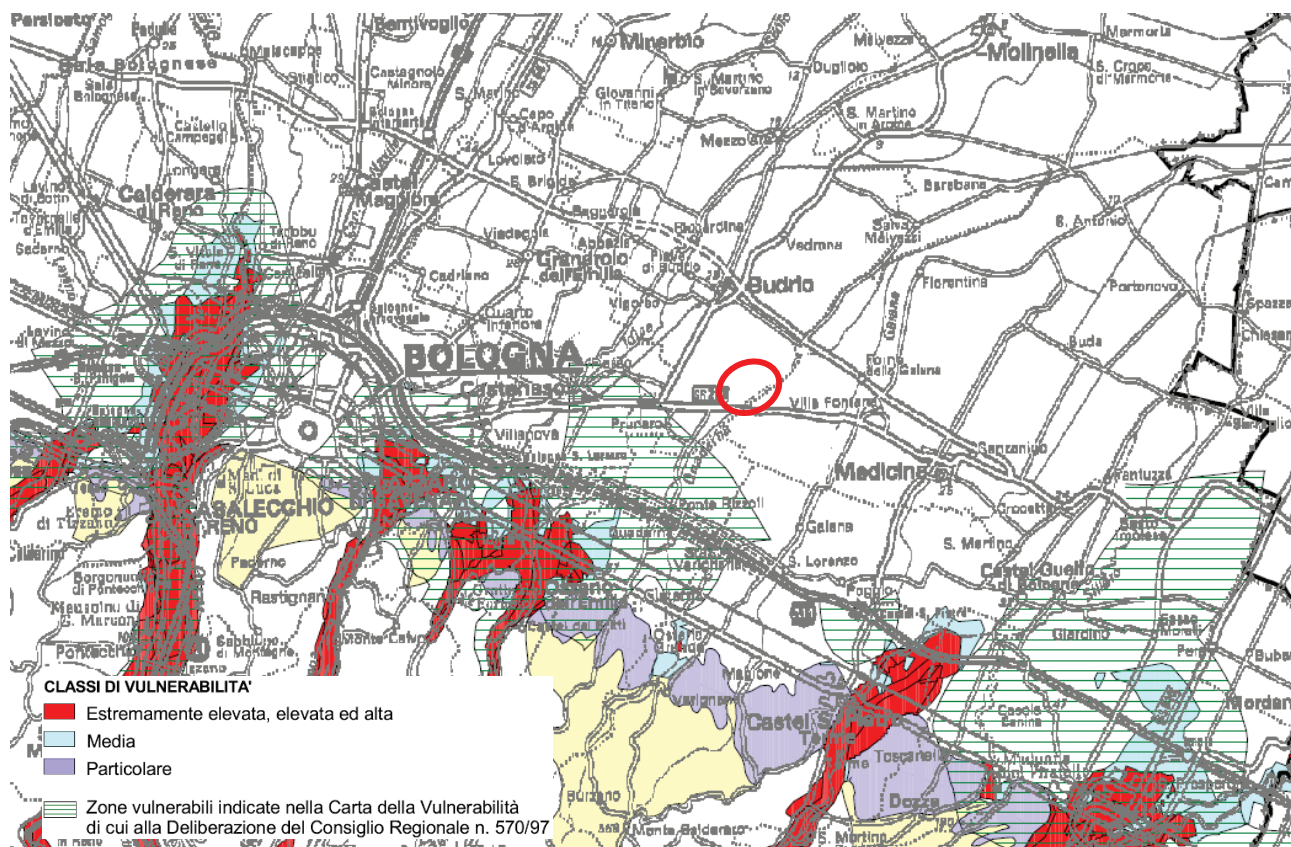


Figura 4-24 – Vulnerabilità degli acquiferi (Fonte: Carta della vulnerabilità degli acquiferi, Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e Servizio di Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua, 2002)

## 5 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN SITO

Per la caratterizzazione litostratigrafica, geomeccanica e sismica dell'area di progetto dell'impianto fotovoltaico, nel giorno 29 settembre 2023 sono state effettuate le seguenti tipologie di indagini geognostiche in sito:

1. N. 5 prove penetrometriche con punta elettrica (CPTU);
2. N. 1 misura sismica attiva (MASW);
3. N. 1 misura dei Microtremori (HVSr) con TROMINO.

In Figura 5-1 è riportata la distribuzione delle indagini in corrispondenza dell'impianto fotovoltaico.



Figura 5-1 - Ubicazione delle indagini geognostiche in corrispondenza dell'impianto fotovoltaico

### **Prova penetrometrica statica con punta elettrica**

Lo strumento utilizzato per le prove CPTU è un penetrometro statico modello olandese che può raggiungere un carico di spinta pari a 30 t, dotato di punta elettrica di tipo "friction jacket cone". La punta collegata ad un sistema di aste viene spinta nel terreno tramite un pistone idraulico ad una velocità costante di 20 mm/s ed è congegnata in modo da permettere la lettura della resistenza alla penetrazione ogni 2 cm di avanzamento delle sue due parti: punta conica (superficie = 10 cm<sup>2</sup>, angolo di incidenza 60°) e manicotto (superficie 150 cm<sup>2</sup>). Le letture che si ottengono sono rispettivamente definite, resistenza alla punta (Qc) e resistenza laterale (Fs). Le prove (Figura 5-2) sono state eseguite da tecnici della società S.G.T. sas di Van Zutphen Albert & C.



Figura 5-2 - Mezzo utilizzato per le prove CPTU



La litologia del terreno è stata ricostruita utilizzando la teoria proposta da Robertson (1990). In allegato 1 è riportato il risultato delle prove sotto forma di grafici che rappresentano l'andamento con la profondità dei valori di resistenza alla punta (curva Qc) e di resistenza laterale (curva Fs). Sempre in forma grafica è riportata l'interpretazione litologica secondo il sopra citato autore.

### TROMINO

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.

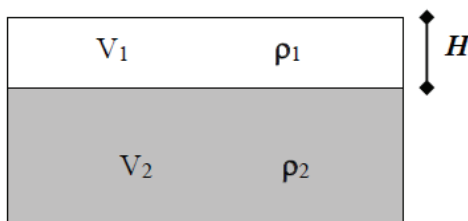
Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito.

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, gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) 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 ( $\lambda$ ) 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:

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

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.



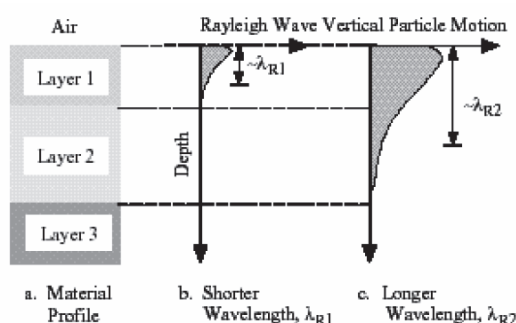
L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale, quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o 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.

## MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980), o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e, quindi, danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e, quindi, interessano gli strati più profondi del suolo. Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo SASW-MASW si mantiene fisso il sensore di misura e si sposta a intervalli regolari il punto di generazione delle onde.



Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz; quindi, dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente circa 8÷15 m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002): (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ . Altrimenti, in maniera alternativa, alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ( $\rho$ ), la densità di massa  $\sigma$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

## Combinazione del metodo HVSR e MASW e risultati

La combinazione tra le misure HVSR e quelle MASW permettono di ottimizzare la ricostruzione del modello di velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Infatti, le MASW permettono di ottenere le misure di velocità di taglio nei primi metri che servono da base per interpretare gli strati più profondi osservabili solo dalle misure HVSR.

In accordo con le NTC2018 e successiva circolare n.7 del 11-02-2019, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

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

$N$  = numero di strati;

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



## 6 CARATTERIZZAZIONE FISICO E MECCANICA DEI TERRENI

### 6.1 Caratteristiche litologiche dei terreni

La natura deposizionale tipicamente alluvionale dei sedimenti presenti nell'area di intervento determina la presenza nel sottosuolo, prevalentemente fine, costituito da argilla e argilla limosa, alternata a livelli ove prevale la componente limosa. Sono presenti livelli lentiformi di sabbia limosa e limo sabbioso, con ridotta continuità laterale.

Dalla correlazione tra l'interpretazione litologica delle prove penetrometriche eseguite (CPTU 1÷5) sono state riconosciute, 4 unità litologiche principali distinte, descritte in Tabella 6-1 e riportate in Figura 6.1.

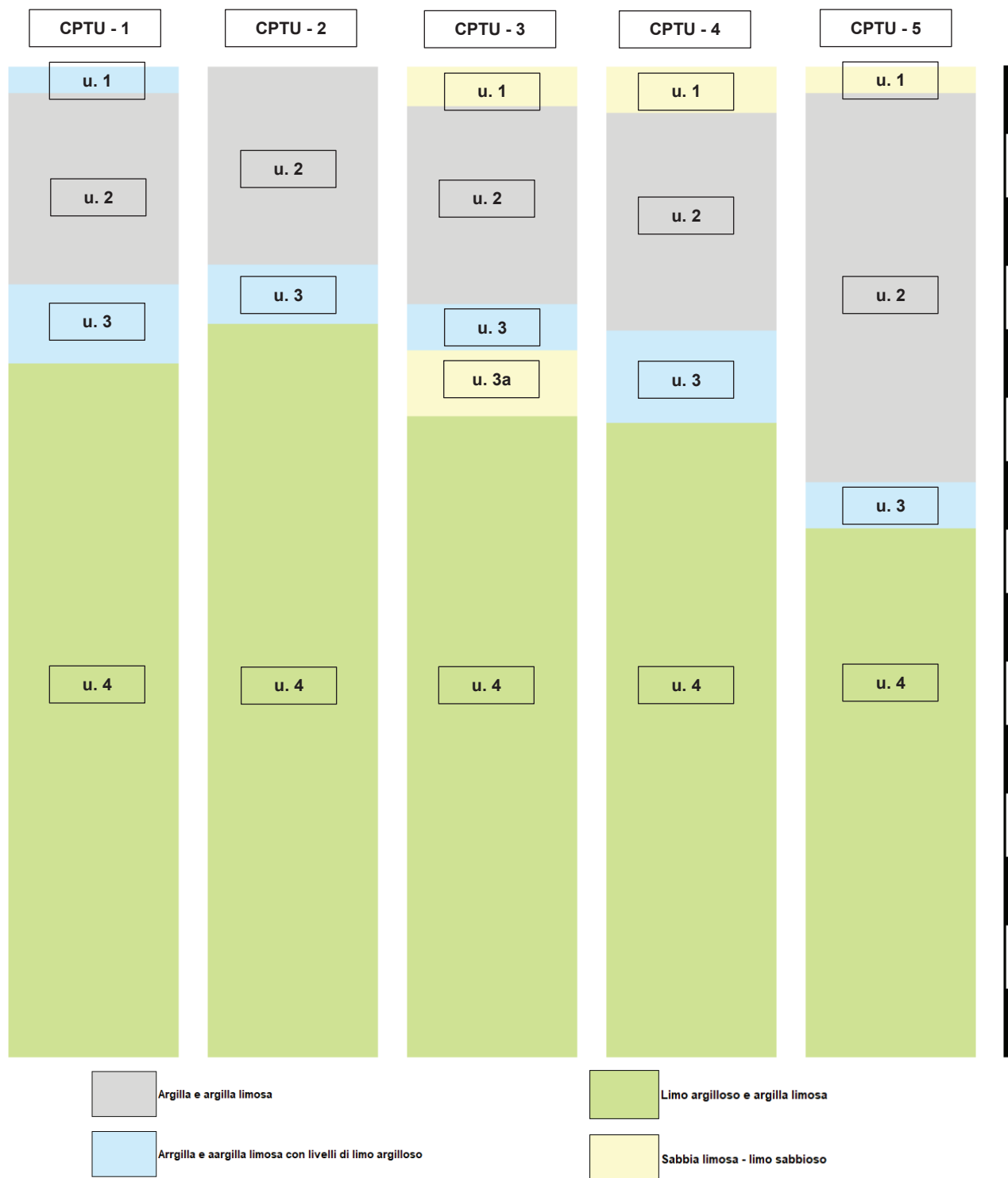


Figura 6.1 – Litologie presenti sull'area di intervento

Unità Litologica	Profondità (m da p.c.)	Descrizione
1	da 0 a circa 0,6	Terreno di copertura limoso argilloso
2	da circa 0,6 a 3,0÷4,0	Argilla e argilla limosa. In corrispondenza della CPTU-5 l'unità si approfondisce a circa 6,3 m da p.c.
3	da 3,0÷4,0 a circa 4,5÷5,4	Limo argilloso e argilla limosa. Il livello è lentiforme..
3a	Da 4,3 a 5,4	Lente di limo sabbioso e sabbia limosa. È presente solo nella CPTU-3
4	da 4,5÷5,4 a 15 m	Argilla e argilla limosa con all'interno livelli di limo argilloso

**Tabella 6-1 - Successione litostratigrafica**

## 6.2 Modello geotecnico e valori caratteristici dei parametri geotecnici

Per le strutture connesse all'impianto (cabine MT/BT, cabine utente e cabina di consegna) è previsto il ricorso a fondazioni di tipo superficiale a platea.

I parametri geotecnici di interesse ai fini delle verifiche geotecniche aderenti al caso in esame sono:

- peso per unità di volume  $\gamma$ ;
- coesione non drenata  $c_u$ ;
- angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ ;
- densità relativa  $D_r$ .
- Per la definizione dei valori caratteristici dei parametri fisici e geomeccanici di interesse, si è proceduto secondo le indicazioni delle NTC 18 all'individuazione del volume significativo di terreno in relazione alle strutture di fondazione previste. Molto cautelativamente dato che si tratta di fondazioni su platea con lato inferiore o prossimo a 3 m si è assunto di considerare valori caratteristici uguali al valore minimo. In Tabella 6-2 sono riportati i parametri caratteristici ( $X_k$ ) corrispondenti alle unità litotecniche individuate.

Unità Litotecnica	Descrizione	$\gamma$ (val. medio) (t/m <sup>3</sup> )	$c_{uk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'_k$ (°)	$D_r$ (val. medio) (%)
1	Terreno di copertura argilloso limoso.	1,7	0,3	---	---
2	Argilla e argilla limosa.	1,8	0,4	---	---
3	Limo argilloso e argilla limosa.	1,9	0,5	---	---
3a	Limo sabbioso e sabbia limosa.	1,7	---	30-32	35
4	Argilla e argilla limosa con all'interno livelli di limo argilloso.	1,9	0,5	---	---

**Tabella 6-2 - Parametri caratteristici**

Nel modello geotecnico individuato la superficie topografica è stata assunta piana e sulla base delle misure delle quote d'acqua effettuate all'interno dei fori ottenuti con le prove penetrometriche e delle ipotizzabili oscillazioni stagionali, la falda è stata considerata cautelativamente alla profondità minima di 1,4 m da p.c., anche se la presenza di litologie fini fa ritenere che non sia presente propriamente un acquifero superficiale.



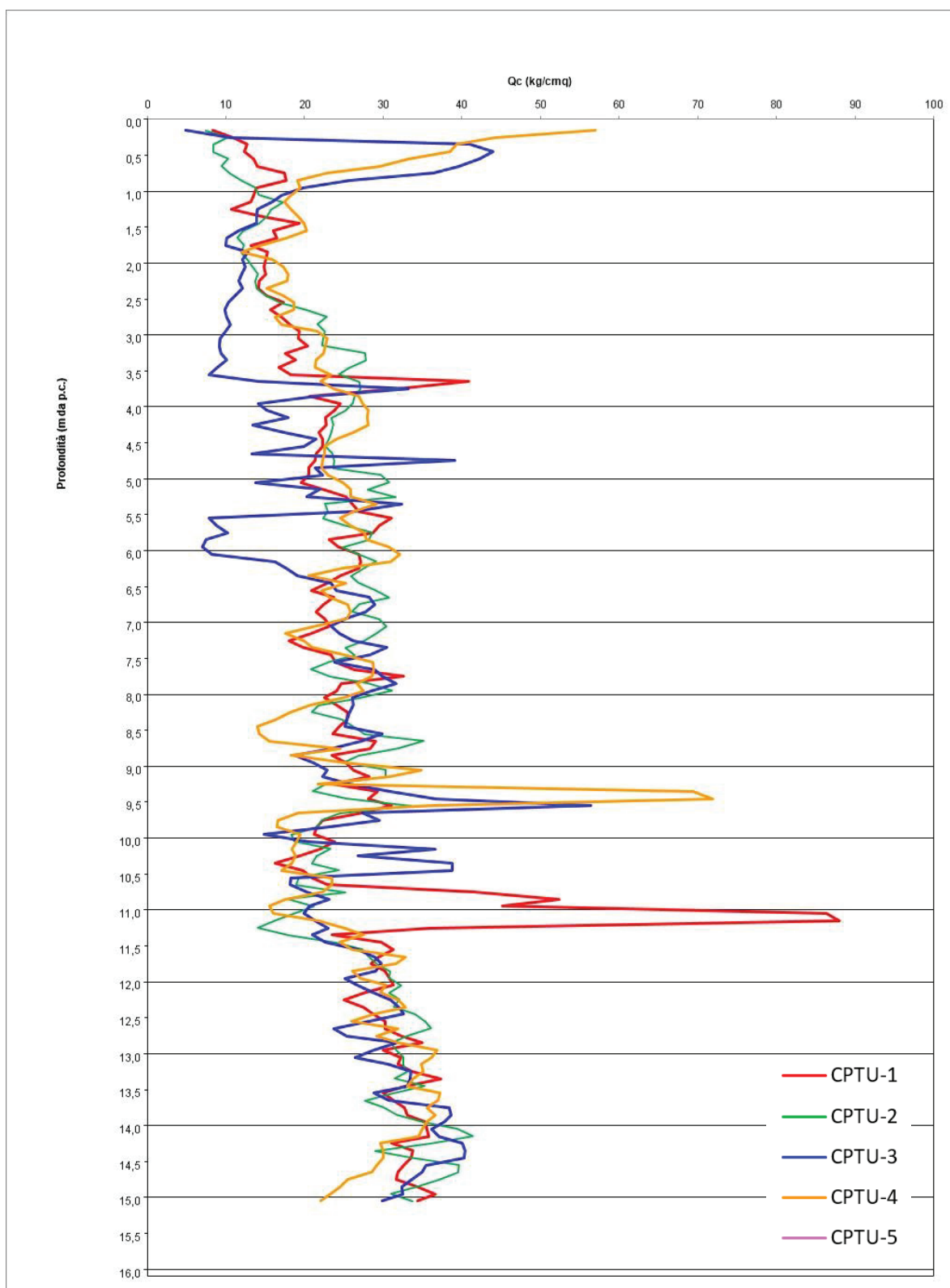


Figura 6-2 - Andamento dei valori di resistenza alla punta  $Q_c$  rispetto alla profondità

## 7 SISMICA

### 7.1 Pericolosità sismica

“La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell’Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese.

Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d’Arda e Bologna, l’arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Fonte: *Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna*, 2004). Gli eventi sismici del maggio 2012 hanno avuto magnitudo ML massima 5,9.

In Figura 7.1 si riporta uno stralcio della mappa della zonazione sismogenetica SZ9 (fonte: <http://zonesismiche.mi.ingv.it> e Gruppo di Lavoro (2004)-Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003, *Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp., + 5 appendici*,) e la distribuzione degli epicentri dei terremoti storici (Fonte: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>). L’area di intervento ricade in corrispondenza della zona sismogenetica 912 Dorsale Ferrarese che è caratterizzata da una magnitudo momento massima pari a 6,14. In Tabella 7-1 sono riportati gli eventi sismici storici riportati nel catalogo DBMI15<sup>2</sup> dell’INGV relativi ai terremoti il cui epicentro ricade in un raggio di circa 30 km dall’area di intervento.

A partire dal 23/10/05 trova attuazione la classificazione sismica stabilita dall’Allegato 1, punto 3 dell’Ordinanza n. 3274 /2003. In base a questa il Comune di Medicina risulta classificato zona sismica 2.

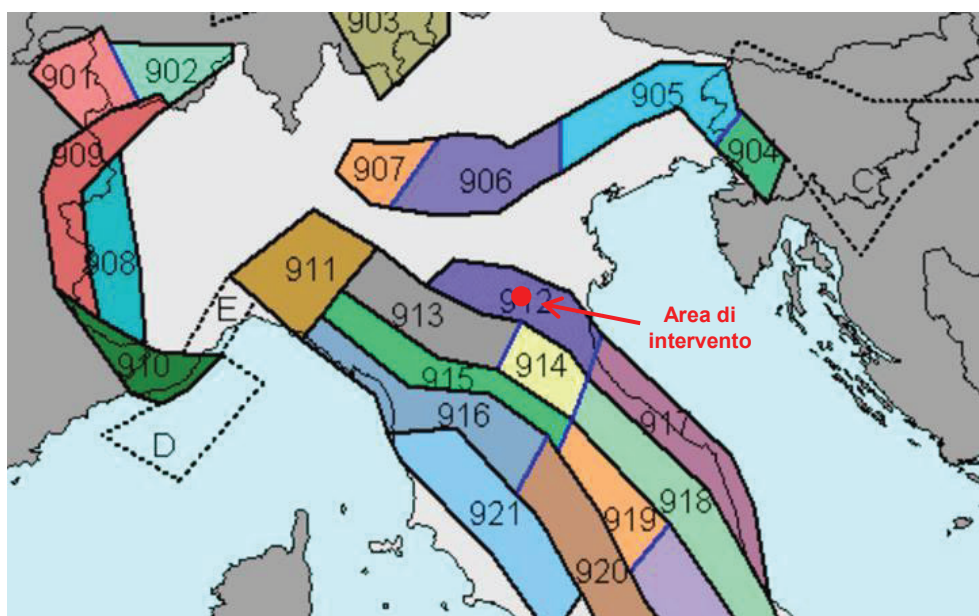


Figura 7.1 - Zone sismogenetiche (INGV) e epicentri dei terremoti storici suddivisi per classi di magnitudo (cpti15)

<sup>2</sup> Database Macrosismico Italiano 2015, Fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.



N evento	Data	Area epicentrale	Lat	Lon	I <sub>max</sub>	I <sub>o</sub>	M <sub>w</sub>
24	17/08/1174	Val Padana	44,494	11,343	5-6	4-5	3,93
104	25/07/1365	Bologna	44,494	11,343	7-8	7-8	5,33
128	29/02/1400	Bologna	44,494	11,343	5	5	4,16
129	03/3/1400	Bologna	44,494	11,343	5	5	4,16
138	03/01/1408	Bologna	44,494	11,343	5	4	3,7
156	04/05/1433	Bologna	44,494	11,343	7	6	4,63
168	20/12/1455	Appennino bolognese	44,494	11,343	6-7	5-6	4,4
246	31/12/1504	Bolognese	44,494	11,343	6-7	6	5,02
247	03/01/1505	Bolognese	44,507	11,23	8	8	5,62
248	20/01/1505	Bolognese	44,494	11,343	6-7	5-6	4,76
249	27/01/1505	Bolognese	44,494	11,343	5-6	5	4,16
250	03/04/1505	Bolognese	44,494	11,343	5-6	5-6	4,4
251	15/05/1505	Bolognese	44,494	11,343	5-6	5-6	4,4
429	19/03/1624	Argenta	44,642	11,848	8-9	7-8	5,43
661	28/01/1726	Appennino bolognese	44,359	11,63	6-7	6-7	4,86
671	04/02/1728	Bolognese	44,398	11,59	6-7	5-6	4,4
714	31/07/1739	Bologna	44,494	11,343	5-6	5-6	4,4
856	04/06/1779	Bolognese	44,443	11,479	7	7	5,22
861	20/08/1779	Bolognese	44,459	11,39	5-6	5	4,16
863	23/11/1779	Bolognese	44,424	11,529	6	5	4,7
867	6/2/1780	Bolognese	44,567	11,31	6-7	6-7	5,06
967	22/10/1796	Emilia orientale	44,614	11,67	7	7	5,45
978	08/10/1801	Bolognese	44,466	11,421	6	6	4,9
1128	04/10/1834	Bolognese	44,479	11,32	D	6	4,71
1236	16/06/1854	Imola	44,353	11,714	6	5	4,57
1406	12/03/1878	Bolognese	44,424	11,543	6	6	4,84
1407	05/04/1878	Bolognese	44,404	11,512	6	6	4,63
1409	04/06/1878	Bolognese	44,276	11,38	5-6	5	4,52
1431	23/07/1880	Imola	44,315	11,719	5	5	4,16
1436	24/01/1881	Bolognese	44,401	11,349	7	7	5,22
1437	25/01/1881	Bolognese	44,411	11,459	SD	5	4,59
1441	14/02/1881	Appennino bolognese	44,405	11,484	D	6	4,77
1546	08/03/1889	Bolognese	44,355	11,314	6	5	4,53
1723	16/01/1898	Romagna settentrionale	44,657	11,821	7	6	4,59
1727	09/03/1898	Romagna settentrionale	44,657	11,821	7	6	4,59
1976	13/01/1909	Emilia Romagna orientale	44,579	11,688	6-7	6-7	5,3
2391	10/04/1929	Bolognese	44,445	11,387	7	6	4,81
2392	11/04/1929	Bolognese	44,312	11,665	4	4	4,01
2393	12/04/1929	Bolognese	44,539	11,478	4	4	3,9
2394	19/04/1929	Bolognese	44,496	11,202	6-7	6-7	5,04
2398	22/04/1929	Bolognese	44,469	11,223	5-6	5-6	4,61
2401	01/05/1929	Imolese	44,424	11,529	4-5	4	3,7
2429	24/10/1930	Appennino tosco-emiliano	44,498	11,209	5	4	3,97
2440	11/04/1931	Faentino	44,28	11,718	5	4-5	4,08
2702	13/02/1953	Mugello	44,363	11,525			
4224	15/09/2003	Appennino bolognese	44,273	11,404			

Nota N = codice dell'elemento di catalogo; I<sub>max</sub> = intensità massima; I<sub>o</sub> = Intensità epicentrale; M<sub>w</sub> = Magnetudo momento.

**Tabella 7-1 – Eventi sismici storici riportati nel catalogo DBMI11 dell'INGV relativi al comune di Ravenna (Fonte:**

<https://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>)

Le azioni sismiche di progetto sono determinate a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Secondo le NTC 18 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s) viene effettuata con un approccio "sito dipendente". Nell'allegato A delle NTC 2008 è presentata la procedura per la stima dei parametri spettrali necessari alla definizione dell'azione sismica di progetto che sono calcolati in funzione del reticolo di riferimento (Allegato B delle NTC 08):

- $a_g$  = accelerazione massima orizzontale del terreno;
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro;
- $T^*_c$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione.

Note le coordinate geografiche, si ubica il sito in esame all'interno del reticolo di riferimento, i parametri spettrali, per un determinato periodo di ritorno ( $T_R$ ), sono calcolati dalla media pesata, rispetto la distanza, dei valori riferiti ai quattro nodi del reticolo.

Il periodo di ritorno è valutato in funzione del periodo di riferimento ( $V_R$ ) che si ricava, per ciascun tipo di costruzione moltiplicando la vita nominale ( $V_N$ ) per il coefficiente d'uso ( $C_U$ ).

Per le opere in progetto nel campo fotovoltaico si è assunto:

$V_N = 50$  anni;

Classe d'uso I -  $C_U = 0,7$ ;

Da cui  $V_R = 35$  anni.

Gli stati limite rispetto ai quali devono essere verificate le prestazioni di un'opera o di una parte di essa che possono verificarsi durante la  $V_N$  in presenza di azioni sismiche sono:

-Stati limite di esercizio

- Stato Limite di Operatività (SLO).
- Stato Limite di Danno (SLD).

-Stati limite ultimi

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

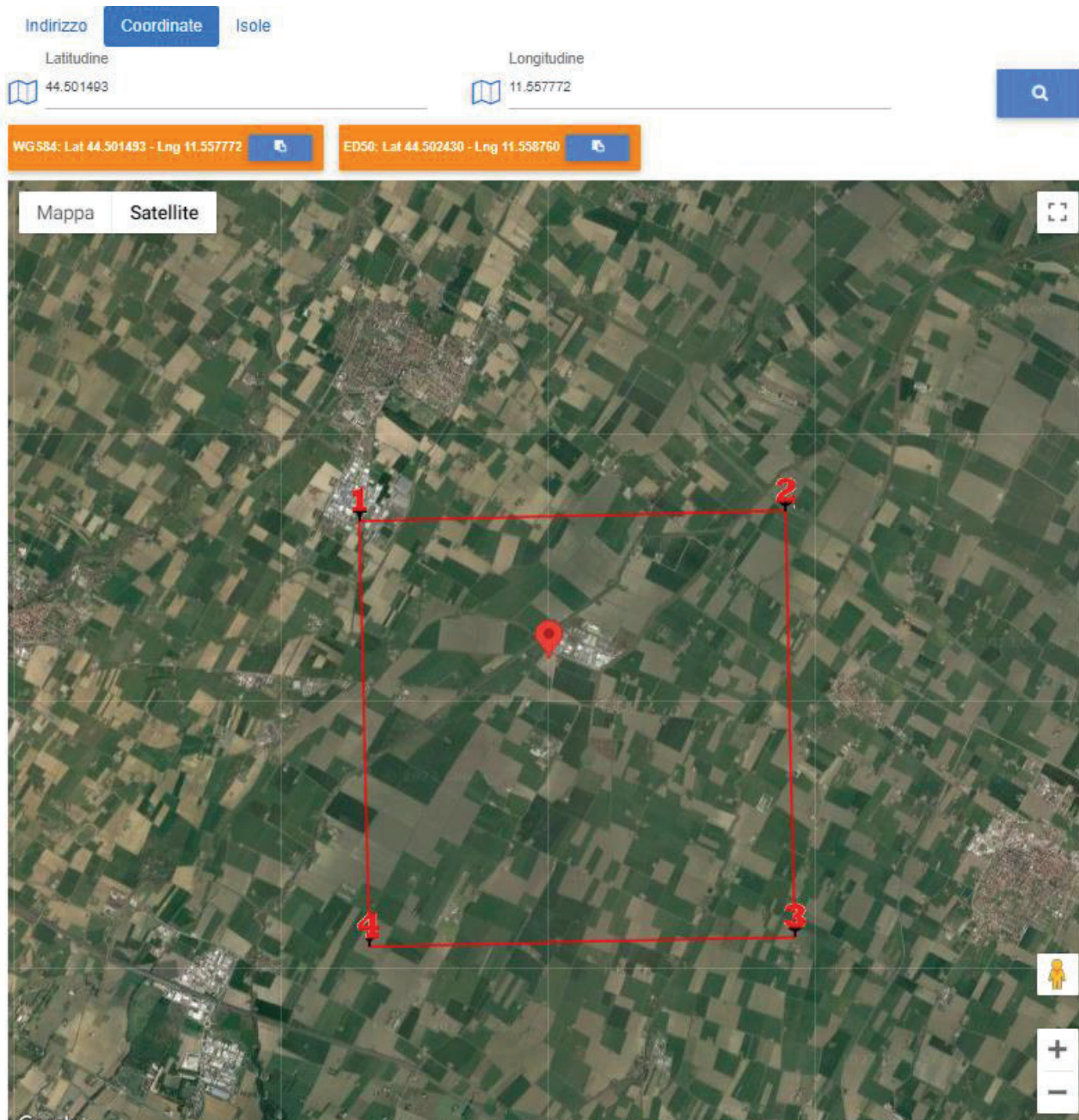
La probabilità di superamento nel periodo di riferimento ( $P_{VR}$ ) a cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati in Tabella 7-2 (Tabella 3.2.1. delle NTC 18).

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 7-2 - Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

In Figura 7-2 è riportata l'ubicazione del sito investigato rispetto ai nodi del reticolo di riferimento che lo circondano e in Tabella 7-3 i rispettivi codici. Le coordinate geografiche considerate rappresentative del sito sono: Lat. 44,501493°, Long. 11,557772°.





**Figura 7-2 - Ubicazione dell'area di intervento rispetto al reticolo di riferimento**

	ID	Lat.	Long.	Distanza dall'area di interesse (m)
1	16733	44,5187	11,5276	3.058
2	16734	44,5198	11,5977	3.639
3	16956	44,4698	11,5993	4.847
4	16955	44,4687	11,5293	4.425

**Tabella 7-3 – Nodi del reticolo di riferimento che circondano il sito di intervento**

I valori dei parametri spettrali ottenuti in questo modo sono relativi ad una situazione geologica assente da fenomeni locali ovvero con substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) affiorante e assetto morfologico pianeggiante. Nel caso in esame, non essendo rispettata la prima condizione ai fini della determinazione dell'azione sismica, occorre valutare, secondo quanto riportato nelle NTC 18, l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, oppure, qualora le caratteristiche stratigrafiche siano chiaramente riconducibili alle categorie di sottosuolo descritte nella tabella 3.2.II delle NTC 18, facendo riferimento ad un approccio semplificato,

basato sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio.

Per la valutazione della  $V_{s,30}$  è stata effettuata una indagine sismica MASW accompagnata da un'indagine sismica passiva HVSR (mediante il TROMINO). I risultati dell'indagine effettuata da tecnici della società SGT sas sono riportati in allegato. In base ai valori di  $V_{s,30}$  misurati i terreni investigati risultano caratterizzabili all'interno della **categoria di sottosuolo C**.

Rispetto le condizioni topografiche il sito risulta classificato nella categoria T1.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  calcolati mediante l'utilizzo dell'applicativo Gesostru-PS (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>) sono riportati in Tabella 7-4.

Stato limite	PvR	T <sub>R</sub> (anni)	a <sub>g</sub> (g)	F <sub>o</sub>	TC*
Operatività	81%	30	0,056	2,460	0,259
Danno	63%	35	0,060	2,456	0,263
<b>Salv. Vita</b>	<b>10%</b>	<b>332</b>	<b>0,158</b>	<b>2,391</b>	<b>0,299</b>
Collasso	5%	682	0,206	2,394	0,310

Tabella 7-4 – Valore dei parametri  $A_g$ ,  $F_o$  e  $T_c$

Stato limite	S <sub>s</sub>	S <sub>T</sub> (anni)	a <sub>max</sub> = a <sub>g</sub> *g*S <sub>s</sub> *S <sub>T</sub>
Operatività (SLO)	1,50	1,00	0,818
Danno (SLD)	1,50	1,00	0,878
<b>Salv. Vita (SLV)</b>	<b>1,47</b>	<b>1,00</b>	<b>2,275</b>
Collasso (SLC)	1,40	1,00	2,834

Tabella 7-5 – Valore di  $a_{max}$  (m/sec<sup>2</sup>) per la categoria di suolo C

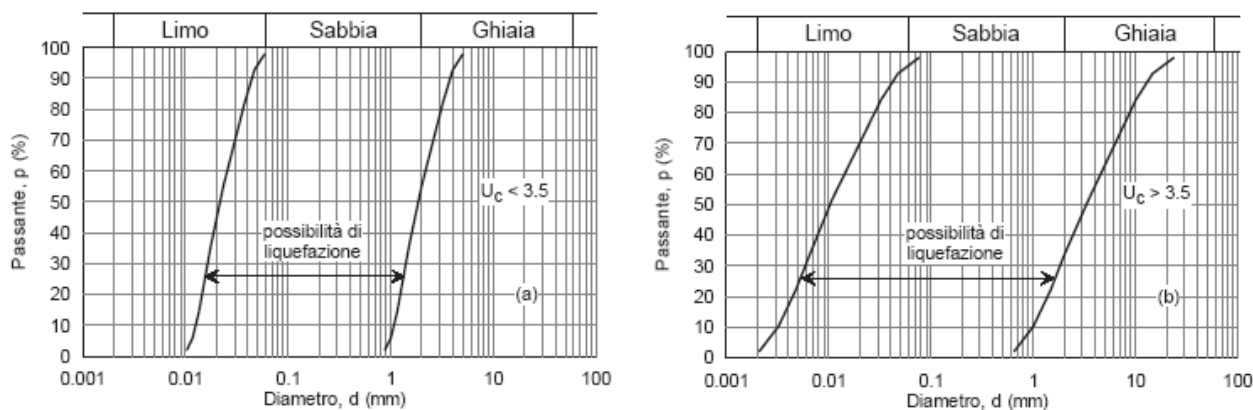
Secondo le indicazioni delle NTC 18 tra gli effetti indotti da un sisma occorre verificare la stabilità dei terreni alla liquefazione che viene così definita *“fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate”*.

Le NTC al riguardo forniscono una lista di circostanze da analizzare per il sito in esame delle quali, se ne risulta verificata almeno una, viene esclusa la necessità di verifica della suscettibilità dei terreni alla liquefazione. Di seguito è riportato testualmente l'elenco, tratto dalle NTC 18, delle circostanze da verificare:

1. *Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$ , dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
4. *Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .*

Le indagini sviluppate in questa fase hanno consentito di valutare che dei primi tre punti in elenco nessuno è verificato; mentre, per decidere se prelevare dei campioni di terreno e valutare il punto 4, è stata effettuata una valutazione della suscettibilità dei terreni alla liquefazione applicando i metodi semplificati basati sulle interpretazioni derivanti dalle CPTU effettuate, che hanno evidenziato la presenza di terreni con caratteristiche tali da comportare la verifica entro i primi 15 m di profondità dal piano campagna.





**Tabella 7-6 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione**

## 7.2 Valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni

I metodi semplificati di valutazione del rischio sismico di liquefazione da prove in sito sono di tipo storico-empirico in quanto utilizzano una base dati, la più ampia possibile, di informazioni sul comportamento osservato di siti sabbiosi in occasione di terremoti storici.

La resistenza che un deposito sabbioso saturo oppone alla liquefazione viene definita attraverso il fattore di sicurezza. Il fattore di sicurezza  $F_s$  è definito dal rapporto tra il parametro che definisce la resistenza alla liquefazione denominato CRR (Cyclic Resistance Ratio), desunto dai risultati di prove in sito e nel caso in esame dalle CPT e il parametro di carico sismico che è la tensione tangenziale sismica CSR (Cyclic Stress Ratio) che è stimato sulla base di considerazioni teoriche ed empiriche, delle caratteristiche del terremoto, magnitudo e accelerazione di picco in superficie.

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Nell'analisi è stato considerato come valore di magnitudo, quello della magnitudo momento massima ( $M_{wMax}$ ) della zona sismogenetica in cui ricade il sito. Il dato è stato tratto da *Gruppo di Lavoro (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.*

I dati utilizzati per la stima del potenziale di liquefazione sono i seguenti:

- ✓ Come zona sismogenetica di riferimento è stata utilizzata la n. 912, con magnitudo  $M_{wMax}$  di 6,14.
- ✓ Come classe d'uso è stata considerata la classe d'uso I;
- ✓ Il valore di  $a_{max}$  per l'area di intervento è pari a 1,642 m/s<sup>2</sup>.
- ✓ La profondità della falda considerata nei calcoli corrisponde alla quota d'acqua rilevata nelle indagini geognostiche.

La stima del CRR è stata effettuata considerando i dati delle prove CPTU effettuate. Per quanto riguarda le analisi sviluppate utilizzando i dati delle prove CPTU, i risultati sono stati espressi in termini di Indice del Potenziale di Liquefazione ( $IP_L$ ) (Iwasaki et al., 1982) che è un indice utilizzato per rappresentare il rischio di liquefazione (Tabella 7-7):

$$IP_L = \int_0^{Z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

$$F(z) = 1 - F_s(z) \quad \text{per } F_s \leq 1,0$$

$$F(z) = 0,0 \quad \text{per } F_s > 1,0$$

$$W(z) = 10 \cdot 10^{-z/Z_{crit}}$$

$Z_{crit} = 20$  m valore della profondità alla quale può escludersi il fenomeno della liquefazione.

Valore di $IP_L$	Rischio di liquefazione
$IP_L = 0$	Molto basso
$0 < IP_L \leq 5$	Basso
$5 < IP_L < 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

**Tabella 7-7 – Valutazione del rischio di liquefazione in funzione del valore di  $IP_L$  (IWASAKI ET AL. 1978)**

I valori di  $IP_L$  stimati sono riportati in Tabella 7-8 e in Allegato 3:

		Profondità raggiunto (m)	Metodo AGI 2005		Metodo Robertson & Cabal 2009		Metodo Boulanger & Idriss 2014	
			Indice del potenziale di liquefazione II	Cedimento atteso (cm)	Indice del potenziale di liquefazione II	Cedimento atteso (cm) granulare / totale	Indice del potenziale di liquefazione II	Cedimento atteso (cm)
CPT 1	senza correzione per strati sottili	15.00	0.1	0.4	0.0	0.4 / 0.7	0.3	1.0
	con correzione per strati sottili		0.0	0.0	0.0	0.1 / 0.3	0.0	0.1
CPT 2	senza correzione per strati sottili	15.02	0.0	0.0	0.0	0.1 / 0.5	0.0	0.0
	con correzione per strati sottili		0.0	0.0	0.0	0.0 / 0.4	0.0	0.0
CPT 3	senza correzione per strati sottili	15.00	3.6	6.5	2.9	7.0 / 7.4	4.3	7.1
	con correzione per strati sottili		1.1	2.9	0.9	2.6 / 3.1	1.1	2.8
CPT 4	senza correzione per strati sottili	15.00	0.6	0.9	0.4	0.9 / 1.2	0.6	0.9
	con correzione per strati sottili		0.1	0.6	0.0	0.3 / 0.5	0.2	0.6
CPT 5	senza correzione per strati sottili	15.00	0.1	0.3	0.1	0.5 / 0.8	0.2	0.4
	con correzione per strati sottili		0.0	0.0	0.0	0.0 / 0.3	0.0	0.0

Tabella 7-8 – valori di  $IP_L$  stimati per un Tr di 332 anni

Sulla base del valore dell'indice  $IP_L$  è possibile indicare che per i terreni investigati il rischio di liquefazione risulta "basso". In base ai valori di  $I_L$  stimati è possibile indicare che gli effetti provocati dalla potenziale liquefazione dei terreni sono non dannosi e pertanto il sito sotto questo aspetto può ritenersi stabile.



## 8 PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

In Tabella 8-1 sono riportati i dati dimensionali delle fondazioni superficiali delle cabine in progetto per le quali viene effettuata una stima della capacità portante; le fondazioni saranno fondazioni superficiali a platea. L'ubicazione delle cabine e delle indagini geognostiche effettuate è riportata in Figura 8-1.

Edificio / struttura fondazione	Larghezza B (m)	Lunghezza L (m)	Profondità piano di posa (m)
6 Cabine MT/BT	3,2	9,7	0,6
2 Cabina MT utente	2,5	6,5	0,6
1 Cabina di consegna	5,2	9,5	1,0

Tabella 8-1 - Dimensioni in pianta delle platee di fondazione

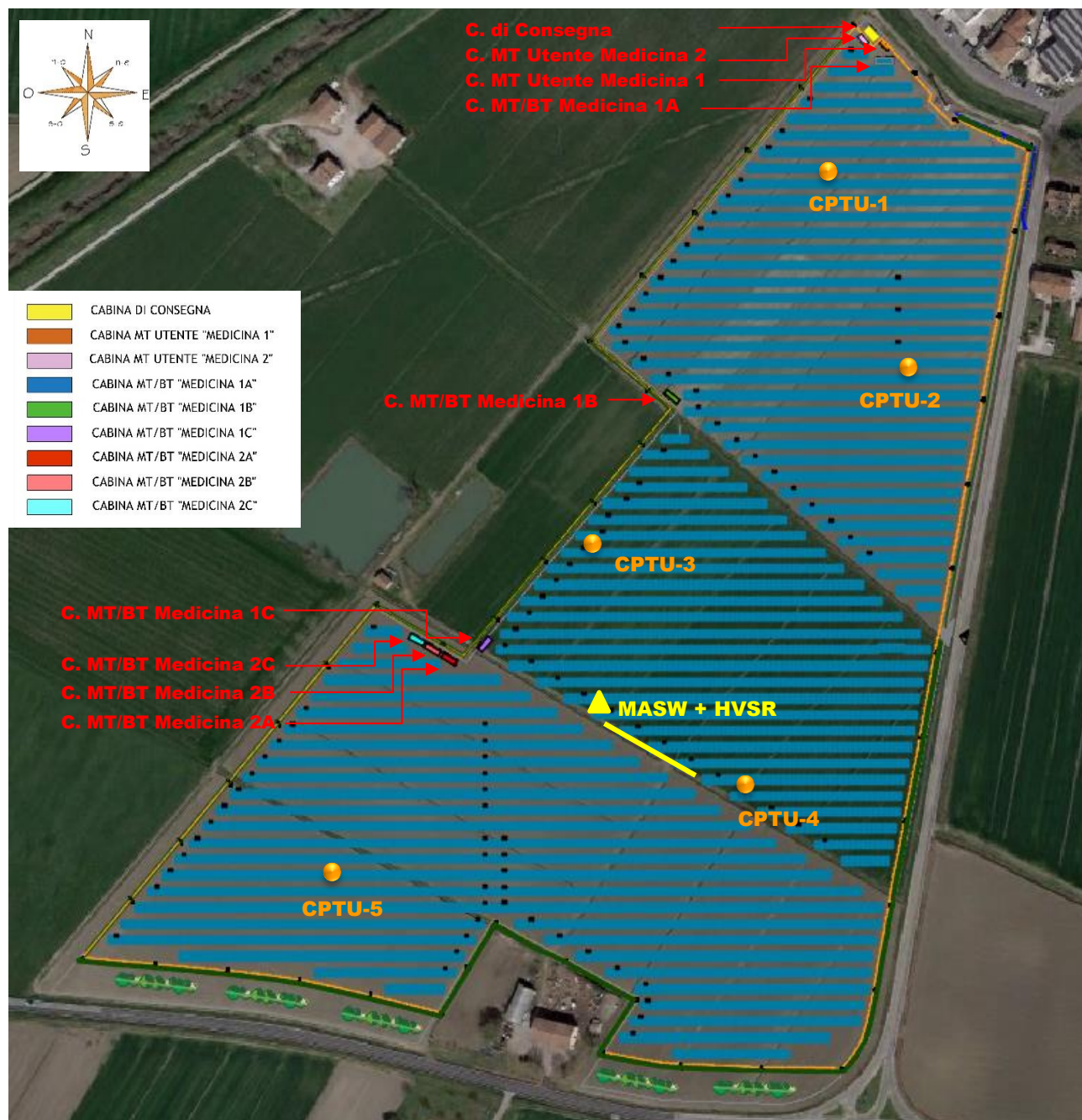


Figura 8-1 - Ubicazione delle cabine e delle indagini geognostiche eseguite

Per il calcolo in condizioni statiche della resistenza del terreno interagente con la fondazione per collasso determinato dal raggiungimento del carico limite (capacità portante) è stata utilizzata l'espressione di Hansen (1970) tratta da Bowles (1991):

$$q_{ult} = CN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma_1 D N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma r_\gamma \quad (7.1)$$

dove:

$N_c, N_q, N_\gamma$  = fattori di portata;

$s_c, s_q, s_\gamma$  = fattori di forma;

$d_c, d_q, d_\gamma$  = fattori di profondità;

$i_c, i_q, i_\gamma$  = fattori di inclinazione del carico;

$g_c, g_q, g_\gamma$  = fattori di inclinazione del terreno;

$b_c, b_q, b_\gamma$  = fattori di inclinazione del piano di posa di fondazione;

$C$  = coesione;

$\gamma_1$  = peso per unità di volume del terreno sopra il piano posa delle fondazioni;

$\gamma_2$  = peso per unità di volume del terreno sotto il piano posa delle fondazioni;

$D$  = profondità delle fondazioni;

$B$  = dimensione delle fondazioni;

$r_\gamma$  = fattore correttivo che dipende dalle dimensioni delle fondazioni.

La resistenza di progetto  $R_d$  in condizioni statiche si ottiene moltiplicando la  $q_{ult}$  per la superficie efficace  $A'$  della fondazione. Considerate le dimensioni e la profondità di posa delle platee, risulta che i terreni interessati dal cuneo di rottura sono quelli di natura prevalentemente coesiva appartenenti all'unità litotecnica I (Caratterizzata dagli stessi valori caratteristici dei parametri geotecnici per entrambi i modelli geotecnici individuati).

Il calcolo viene effettuato adottando l'approccio 2 (A1-M1-R3) nel quale i coefficienti parziali dei parametri geotecnici sono uguali a 1.

Come valori caratteristici dei parametri geotecnici nel caso in esame è stato considerato:

$$c_{ud} \equiv c_{uk} = 0,4 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ in riferimento all'unità litotecnica 2}$$

Seguendo le premesse su esposte in Tabella 8-2, sono riportati i risultati delle verifiche in termini di resistenza dei terreni di fondazione per raggiungimento del carico limite ( $R_d$ ) in condizioni statiche per le cabine previste. Dato che per il calcolo è stato adottato l'approccio 2, il coefficiente parziale  $\gamma_R$  utilizzato è pari a 2,3.

Edificio / struttura fondazione	Lunghezza L (m)	Larghezza B (m)	Profondità piano di posa (m)	Rdstatico (kN)
6 Cabine MT/BT	9,7	3,2	0,6	2.400
2 Cabina MT utente	6,5	2,5	0,6	1.280
1 Cabina di consegna	9,5	5,2	1,0	4.230

Tabella 8-2 - Resistenza di progetto

## 9 CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

Per la stima dei cedimenti del terreno di fondazione è stata utilizzata la teoria della consolidazione utilizzando l'equazione seguente:

$$\Delta H = m_v \cdot \Delta q \cdot H \quad (9.1)$$

nella quale:

$\Delta H$  = cedimento;

$\Delta q$  = variazione media della pressione nello strato con la profondità;

$H$  = spessore dello strato.

$m_v = 1/E$  modulo di compressibilità volumetrica. Si ottiene dalla  $q_c$  mediante la relazione:

$$m_v = 1/(\alpha q_c) \quad (9.2)$$

dove:

$\alpha$  = coefficiente che dipende dalla natura litologica dei terreni esaminati.

$q_c$  = resistenza alla punta.

Il valore caratteristico del modulo di compressibilità volumetrico è stato calcolato utilizzando tutte le letture di resistenza alla punta delle prove poste in prossimità della futura ubicazione delle opere, ovvero considerando un  $\Delta H$  pari a 2 cm. I valori caratteristici corrispondono a quelli di progetto in quanto il coefficiente parziale  $\gamma_M$  da utilizzare è pari a 1. Come pressione trasmessa ai terreni di fondazione è stato considerato un valore ipotetico pari a 0,1 e 0,5 Kg/cm<sup>2</sup>.

I cedimenti sono stati valutati in corrispondenza del centro ( $S_c$ ) di ogni cabina, i valori ottenuti sono riportati in Tabella 9-1.

Fondazione	Cedimenti (cm)		Indagine di riferimento
	Pressione trasmessa ai terreni		
	0,1 kg/cm <sup>2</sup>	0,5 kg/cm <sup>2</sup>	
Cabina MT/BT Medicina 1A	0,5	2,6	CPTU-1
Cabina MT/BT Medicina 1B	0,6	2,9	CPTU-3
Cabina MT/BT Medicina 1C	0,6	2,9	CPTU-3
Cabina MT/BT Medicina 2A	0,6	2,9	CPTU-3
Cabina MT/BT Medicina 2B	0,6	2,9	CPTU-3
Cabina MT/BT Medicina 2C	0,6	2,9	CPTU-3
Cabina MT Utente Medicina 1	0,4	2,0	CPTU-1
Cabina MT Utente Medicina 2	0,4	2,0	CPTU-1
Cabina di consegna	0,6	3,2	CPTU-1

Tabella 9-1 - Cedimenti fondazioni in condizioni statiche



## 10 CONSIDERAZIONI DI SINTESI

Lo studio svolto è stato finalizzato al riconoscimento delle principali caratteristiche geologiche dei terreni presenti in corrispondenza di un'area di circa 16,2 ha, interessata dal progetto di un impianto fotovoltaico ubicato nel comune di Medicina, sul territorio della città metropolitana di Bologna. L'impianto avrà una potenza nominale complessiva di 16.003,26 kW.

Le coordinate geografiche riferite al datum WGS84 del baricentro dell'area di realizzazione del campo fotovoltaico sono: Lat. 44,501493°, Long. 11,557772°. L'area è compresa nelle sezioni 221072 e 221111 della Carta Tecnica Regionale.

All'interno dell'impianto verranno realizzate alcune strutture di servizio per le quali è previsto il ricorso a fondazioni di tipo superficiale a platea. Si tratta di 6 cabine MT/BT, 2 cabina MT Utente, e 1 cabina di consegna. Per la caratterizzazione geologica e geotecnica di dettaglio in corrispondenza dell'area di realizzazione dell'impianto fotovoltaico sono state effettuate 5 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU), un'indagine sismica attiva (MASW) e un'indagine sismica passiva (HVSr).

Di seguito sono sintetizzati gli aspetti principali delle analisi svolte.

L'area dove verrà realizzato l'impianto è ubicata a nord della via San Vitale e risulta pianeggiante con quote comprese tra circa 24 e 25 m slm.

I terreni presenti negli strati più superficiali sono il frutto di eventi geologico-deposizionali di tipo alluvionale, succedutisi in epoche recenti. La distribuzione tessiturale di questi sedimenti risulta quindi in stretta connessione con la dinamica tipica degli ambienti sedimentari fluviali di pianura alluvionale.

Gli elementi geomorfologici riconoscibili in prossimità dell'area di studio sono rappresentati da ventagli di esondazione. In corrispondenza dell'area di intervento non sono presenti strutture morfologiche riconosciute. Il fenomeno della subsidenza, che rappresenta un elemento caratterizzante l'attuale assetto geomorfologico della pianura, indica che le velocità di abbassamento del suolo presentano un trend in diminuzione e nell'ultimo sono comprese tra 2,5 e 5 mm/anno.

La natura deposizionale tipicamente alluvionale dei sedimenti presenti nell'area di intervento determina la presenza nel sottosuolo prevalentemente fine, costituito da argilla e argilla limosa, alternata a livelli ove prevale la componente limosa. Sono presenti livelli lentiformi di sabbia limosa e limo sabbioso, con ridotta continuità laterale.

La rete idrografica in prossimità dell'area di intervento vede come elemento principale il T. Quaderna, che scorre ad ovest a circa 200 m. L'area di progetto rientra nel bacino del fiume Reno che è confluita nell'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po.

In riferimento alla *mappa di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni* della Variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) l'area rientra in scenari di pericolosità di alluvioni poco frequenti sia in riferimento al reticolo idrografico principale che a quello secondario.

L'area per quanto riguarda il rischio da alluvioni del reticolo principale presenta rischio medio (R2), mentre in riferimento al reticolo secondario rischio moderato (R1),

L'area di intervento rientra nel comprensorio del Consorzio della Bonifica Renana.

L'edificio sedimentario alluvionale ospita un sistema acquifero sotterraneo, le cui caratteristiche idrogeologiche sono in stretta relazione con le caratteristiche granulometriche dei depositi: ai depositi argilloso-limosi può essere attribuita una permeabilità bassa, mentre i depositi ghiaiosi presentano una permeabilità elevata, localmente ridotta dalla presenza di significative percentuali di matrice fine.

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche per la definizione dei terreni il livello della falda è risultato tra 1,4 e 1,8 m da p.c.

La successione litostratigrafica ricostruita per l'area di progetto, al di sotto di uno strato di copertura di terreno argilloso limoso di circa 0,6 m, è caratterizzata dalla presenza di uno strato di argilla e argilla limosa sino a circa 3,0÷4,0 m, a cui segue un banco di limo argilloso e argilla limosa sino a circa 4,5÷5,4 m da p.c.; all'interno di questo strato è presente una lente di limo sabbioso e sabbia limosa riconosciuta nel settore più occidentale dell'area. Segue un banco di argilla e argilla limosa con all'interno livelli di limo sino a circa 15 m da p.c.

I terreni sono caratterizzati da un valore di peso per unità di volume  $\gamma$  variabile da 1,7 e 1,9 t/m<sup>3</sup> e da una coesione  $c_u$  di circa 0,3÷0,5 kg/cm<sup>2</sup>. Per la lente a maggiore componente sabbiosa si può stimare un angolo di attrito interno  $\varphi$  di circa 30÷32°.

In riferimento alla pericolosità sismica il comune di Medicina risulta classificato “zona 2”.

La valutazione della  $V_{s,30}$  e dell’amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse è stata effettuata utilizzando i risultati di un’indagine MASW eseguita in accoppiamento con un’indagine sismica passiva HVSR (TROMINO). In base ai valori di  $V_{s,30}$  stimati i terreni investigati risultano caratterizzabili all’interno della categoria di sottosuolo C, rispetto le condizioni topografiche il sito è classificabile all’interno della categoria T1.

E’ stata effettuata una verifica della suscettibilità dei terreni alla liquefazione sulla base delle interpretazioni derivanti dalle CPTU effettuate. L’analisi ha evidenziato che il sito sotto questo aspetto può ritenersi stabile.

Per le cabine in progetto all’interno del campo fotovoltaico è stata effettuata una stima della capacità portante e dei cedimenti dei terreni di fondazione in condizioni statiche, considerando il ricorso a platee di fondazione. Per le cabine MT utente è stata stimata una resistenza di progetto di circa 1.280 kN, mentre per la cabina di consegna il valore è di 4.230 kN; infine per le cabine MT/BT in valore della resistenza è di circa 2.400 kN. Come pressione trasmessa ai terreni di fondazione sono stati considerati valori ipotetici pari a 0,1 e 0,5 Kg/cm<sup>2</sup>. Si ritiene che i cedimenti stimati rispetto alla ipotesi assunte siano in termini assoluti compatibili con le strutture in progetto.

**ALLEGATO 1:  
GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE**



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

Falda

1.40 m

Sigla della Punta

Tecnopenta 100707

Azzeramento

Inizio prova

Ultimo taratura guadagno

12-apr-2023

Ultimo taratura per deriva termica

12-apr-2023



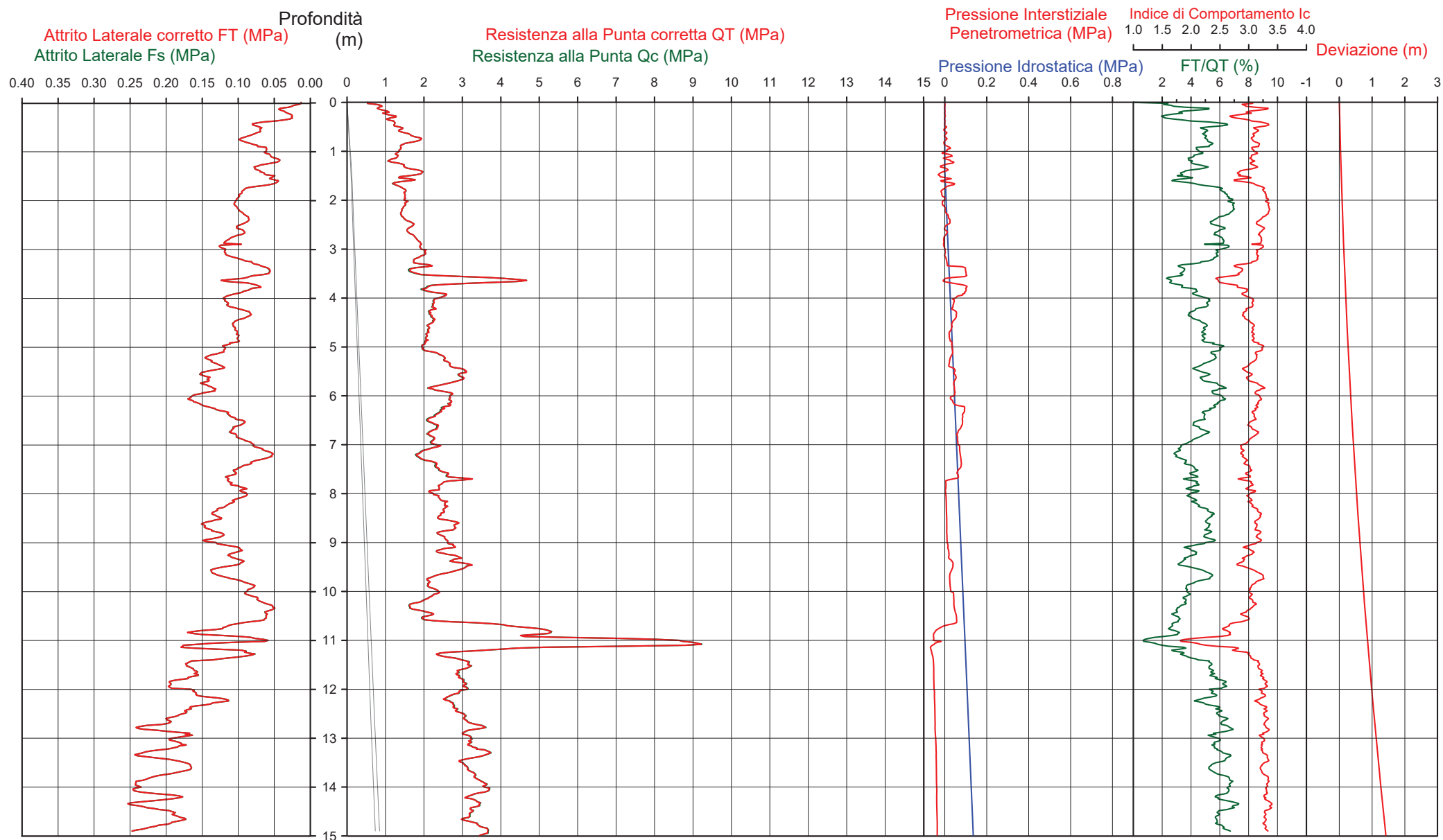
Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

CPTU

1



CPTU

1

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29 settembre 2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.40

1.40



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs15
228

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito $\phi$ Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%		SGT 2004		m				%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	
10.0	16.9	0.32	3.3	2.99	limo argilloso-argilla limosa	0.00			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.65	49.81	58.1	143
						0.40									
15.3	26.0	0.80	5.3	3.15	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.89	24.57	86.9	197
						0.90									
13.9	23.6	0.60	4.4	3.06	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.83	15.13	79.9	177
						1.40									
15.0	25.5	0.84	5.8	3.19	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.88	13.71	84.7	198
						2.40									
18.0	30.6	1.04	6.0	3.17	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	1.00	9.30	101.3	215
						3.30									
22.3	36.0	0.67	3.2	2.76	limo argilloso-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.15	9.46	130.3	182
						3.60									
41.0	59.7	1.06	2.6	2.50	sabbia limosa-limo sabbioso	3.70			Mediamente Addensata	50.0	37.2	.	.	210.4	213
22.6	34.4	0.98	4.5	2.96	limo argilloso-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.16	9.20	129.8	210
						4.50									
20.7	29.9	1.07	5.4	3.12	argilla-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.10	7.73	117.5	222
						5.10									
26.6	34.8	1.43	5.6	3.10	argilla-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.28	7.56	150.8	248
						6.30									
22.5	27.5	0.97	4.6	3.03	argilla-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.15	6.38	129.4	217
						7.10									
19.0	22.5	0.57	3.2	2.90	limo argilloso-argilla limosa	7.30			Plastica	.	.	1.04	4.80	110.8	183
						7.30									
25.8	27.7	1.15	4.8	3.06	argilla-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.25	4.88	147.7	235
						9.70									
21.8	21.4	0.86	4.3	3.08	argilla-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.13	3.98	125.5	216

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29 settembre 2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.40

1.40

Vs15
228

qt	Qc1N <small>Idriss &amp; Boulanger 2004</small>	ft	FT/Qnet	Ic	Litologia SGT 2004  basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda  idrica	Addensamento (Sabbia)  Consistenza (Argilla)	Densità Relativa  Tatsuoka 1990	Angolo Attrito φ  Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu  Benassi	OCR  Marchi / SGT	Modulo Edometrico M  Benassi	Velocità Vs  Robertson & Cabal 2009
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	SGT 2004		m				%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
						10.20	=====								
17.4	16.7	0.56	3.6	3.06	argilla-argilla limosa	10.40	=====		Plastica	.	.	0.98	3.10	100.9	188
26.1	24.9	0.75	3.2	2.87	limo argilloso-argilla limosa	10.70	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.26	3.86	152.7	205
49.7	47.3	1.41	3.0	2.62	limo argilloso-argilla limosa	10.90	=====		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.74	8.54	285.0	252
78.8	75.3	1.02	1.4	2.08	sabbia limosa-limo sabbioso	11.10	=====		Mediamente Addensata	57.7	38.2	.	.	275.6	225
37.2	34.6	1.17	3.5	2.82	limo argilloso-argilla limosa	11.30	=====		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.53	8.17	216.8	238
29.9	26.9	1.65	6.0	3.21	argilla-argilla limosa	12.00	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.36	4.43	168.3	276
27.7	24.1	1.52	6.0	3.24	argilla-argilla limosa	12.50	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.31	4.46	156.1	271
33.0	26.9	2.05	6.7	3.29	argilla-argilla limosa		=====		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.44	4.20	183.3	305



Comune Medicina  
Via Via Passo Pecore Cento  
Localita' Villa Fontana  
Committente Servin  
Data 29-set-23

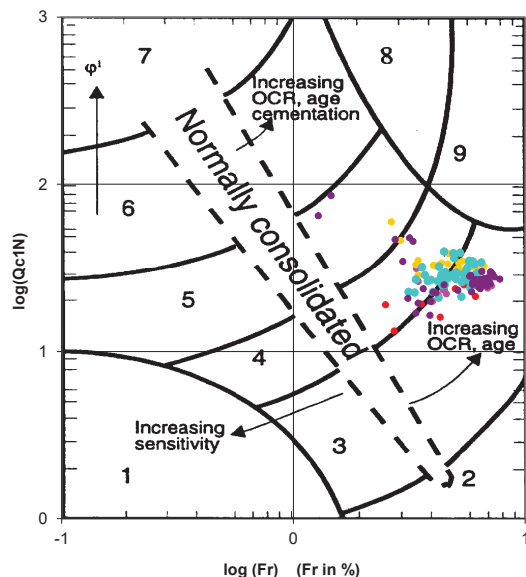
Numero prova 1  
Quota falda 1.40



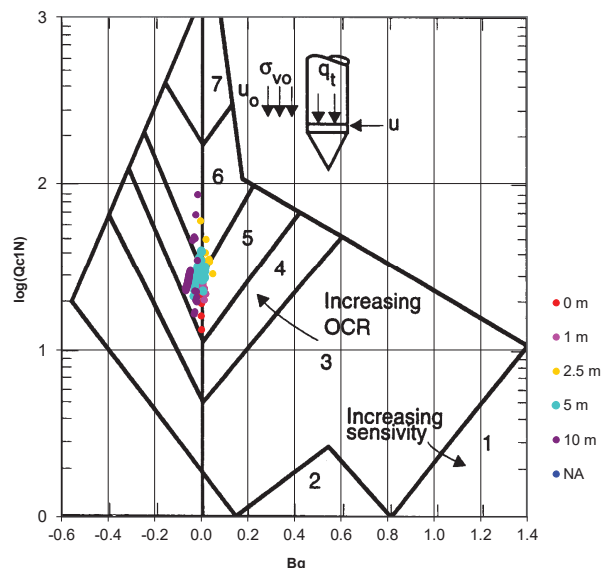
**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

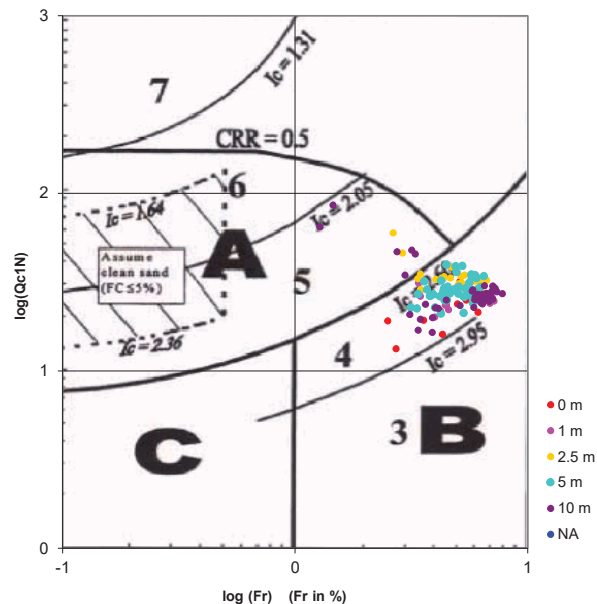
Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)



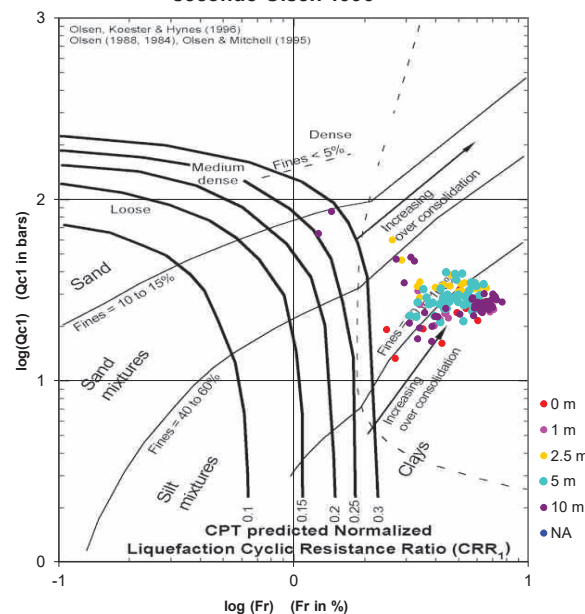
Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilit 

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticit� e sensitivit�, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

Falda	1.80 m
Sigla della Punta	Tecnopenta 100707
Azzeramento	Inizio prova
Ultimo taratura guadagno	12-apr-2023
Ultimo taratura per deriva termica	12-apr-2023

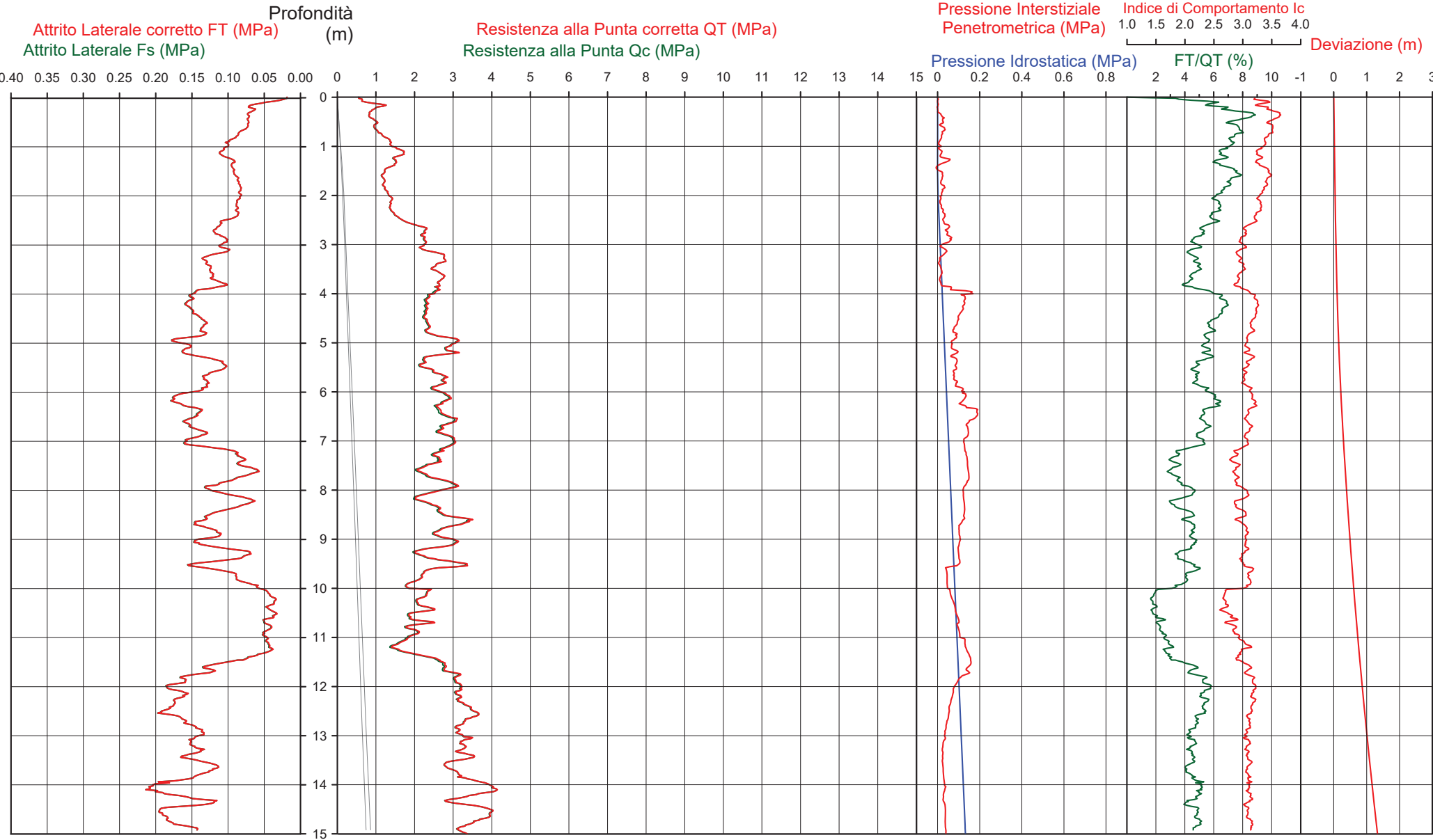


Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
  
www.geo55.com

CPTU

2



## CPTU

2

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29 settembre 2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.80 1.80



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs15
229

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito φ Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	SGT 2004		m				%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
9.0	15.4	0.63	7.0	3.46	argilla-argilla limosa	0.00			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.60	26.62	50.0	183
						0.60									
12.2	20.8	0.90	7.5	3.43	argilla-argilla limosa	1.00			Plastica	.	.	0.76	15.75	66.8	210
						1.40									
15.7	26.7	1.01	6.6	3.28	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.91	16.59	87.3	216
12.6	21.4	0.87	7.1	3.38	argilla-argilla limosa	2.10			Plastica	.	.	0.78	9.07	69.6	206
						2.60									
15.4	26.2	0.93	6.3	3.25	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.90	8.02	86.3	209
22.9	37.2	1.09	4.9	2.99	limo argilloso-argilla limosa	3.20			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.17	11.32	131.2	218
26.6	39.7	1.22	4.7	2.95	limo argilloso-argilla limosa	3.90			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.27	11.95	152.4	228
26.3	33.4	1.44	5.7	3.12	argilla-argilla limosa	7.10			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.27	7.75	148.9	250
25.4	27.4	0.91	3.8	2.93	limo argilloso-argilla limosa	8.50			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.24	6.17	147.2	215
27.8	27.9	1.17	4.5	3.02	argilla-argilla limosa	9.50			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.31	6.28	160.1	238
24.8	24.0	1.10	4.8	3.11	argilla-argilla limosa	9.80			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.22	5.52	142.3	235
19.9	18.3	0.46	2.6	2.86	limo argilloso-argilla limosa				Plastica	.	.	1.07	3.42	102.8	178



2

29 settembre 2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.80 1.80



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

**S.G.T. sas.**  
*di Van Zutphen Albert & C.*

[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

Vs15
229

qt	Qc1N	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004	H	Litologia grafica	Falda	Addensamento (Sabbia)	Densità Relativa	Angolo Attrito $\phi'$	Coesione non drenato Cu	OCR	Modulo Edometrico M	Velocità Vs
	Idriss & Boulanger 2004				basato su Fr vs Qc1N					Tatsuoka 1990	Kulhawy & Mayne 1990	Benassi	Marchi / SGT	Benassi	Robertson & Cabal 2009
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	SGT 2004		m		idrica	Consistenza (Argilla)	%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
						11.30									
24.1	21.3	0.73	3.3	2.93	limo argilloso-argilla limosa	11.50			Solido-plastica (Duro)	-	-	1.20	3.49	140.4	207
33.2	27.1	1.58	5.2	3.12	argilla-argilla limosa				Semi solida (Molto duro)	-	-	1.44	3.91	189.1	274

Comune Medicina  
Via Via Passo Pecore Cento  
Localita' Villa Fontana  
Committente Servin  
Data 29-set-23

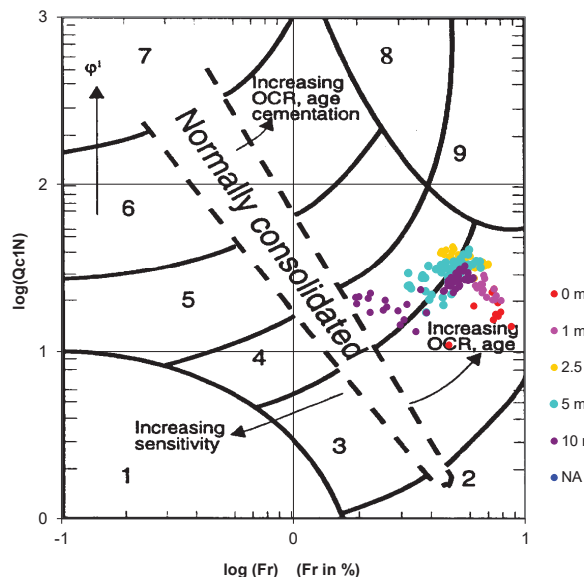
Numero prova 2  
Quota falda 1.80



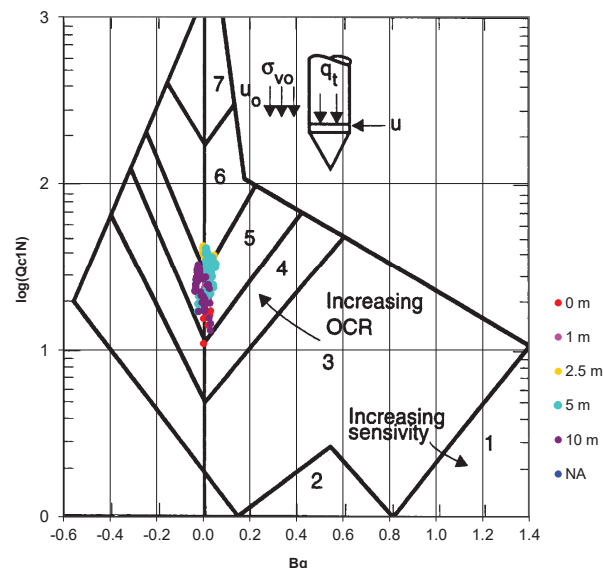
**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

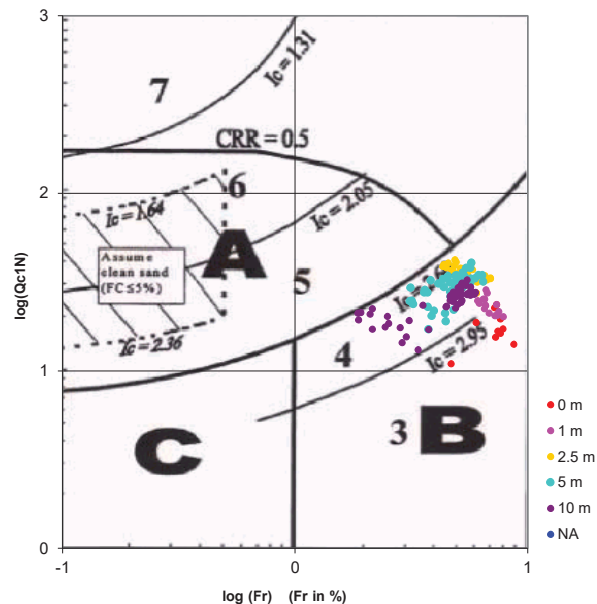
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)**



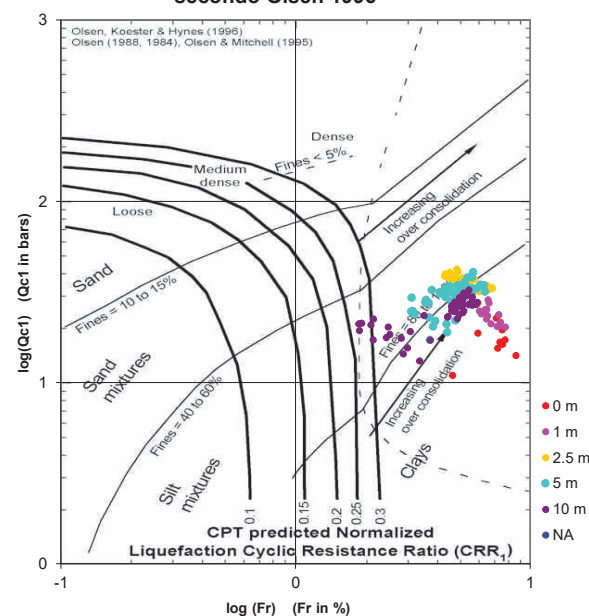
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilit 

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticit� e sensitivit�, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

Falda

1.40 m

Sigla della Punta

Tecnopenta 100707

Azzeramento

Inizio prova

Ultimo taratura guadagno

12-apr-2023

Ultimo taratura per deriva termica

12-apr-2023



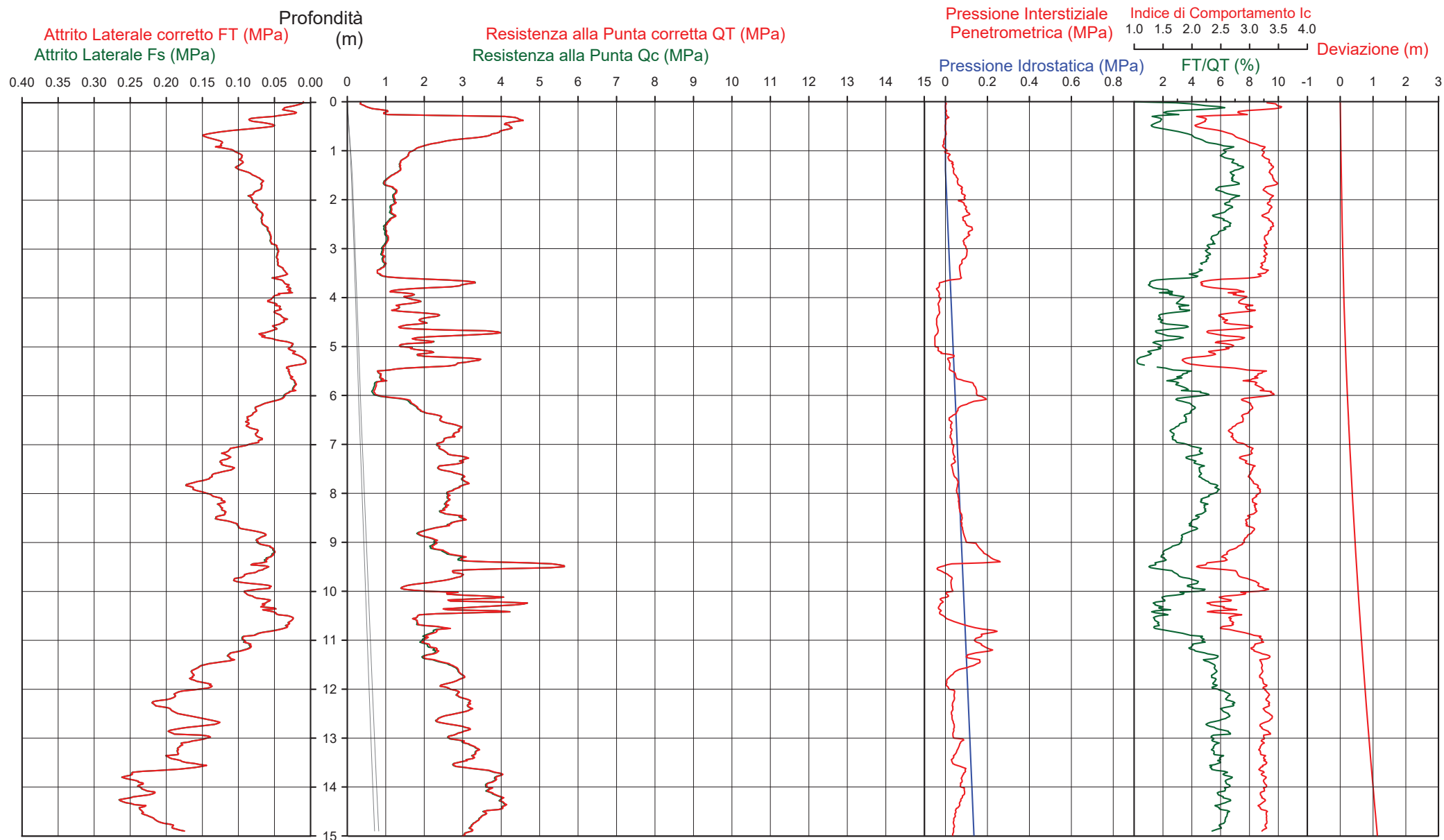
**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

**CPTU**

**3**





## CPTU

3

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29 settembre 2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.40

1.40



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S. G. T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs15  
202

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	Ic	Litologia SGT 2004	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito φ Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	SGT 2004	basato su Fr vs Qc1N	m			Consistenza (Argilla)	%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
10.5	17.9	0.28	3.6	3.08	argilla-argilla limosa	0.00	=====		Plastica	.	.	0.68	34.42	61.2	142
						0.30	=====								
42.6	72.4	0.76	1.8	2.22	sabbia limosa-limo sabbioso	0.60	=====		Mediamente Addensata	56.3	41.5	.	.	165.9	184
30.0	51.0	1.33	4.6	2.87	limo argilloso-argilla limosa	0.90	=====		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.36	62.46	172.3	230
14.8	25.2	0.99	6.8	3.31	argilla-argilla limosa	1.50	=====		Plastica	.	.	0.88	18.35	82.3	215
						1.70	=====								
10.2	17.4	0.69	7.0	3.43	argilla-argilla limosa	2.60	=====		Plastica	.	.	0.66	8.67	56.5	191
11.7	19.9	0.71	6.3	3.33	argilla-argilla limosa	3.60	=====		Plastica	.	.	0.73	8.03	65.3	191
						3.80	=====								
9.7	16.5	0.47	5.1	3.26	argilla-argilla limosa	4.30	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.64	5.29	55.3	164
						4.50	=====								
28.1	43.4	0.36	1.4	2.27	sabbia limosa-limo sabbioso	4.60	=====		Mediamente Addensata	39.4	35.5	.	.	97.9	153
15.0	24.4	0.45	3.2	2.87	limo argilloso-argilla limosa	4.80	=====		Plastica	.	.	0.88	5.68	87.4	159
						5.00	=====								
20.9	31.8	0.39	2.0	2.55	sabbia limosa-limo sabbioso	5.20	=====		Sciolta	29.2	33.8	.	.	86.0	155
16.4	25.2	0.47	3.2	2.84	limo argilloso-argilla limosa	5.40	=====		Plastica	.	.	0.94	6.40	95.7	165
29.0	41.1	0.59	2.3	2.54	sabbia limosa-limo sabbioso	6.00	=====		Mediamente Addensata	37.6	35.2	.	.	133.6	183
17.4	25.8	0.37	2.3	2.67	limo argilloso-argilla limosa	6.30	=====		Plastica	.	.	0.98	7.01	78.7	152
19.2	27.8	0.23	1.3	2.42	sabbia limosa-limo sabbioso	7.00	=====		Sciolta	24.8	33.1	.	.	66.5	137
30.3	41.4	0.11	0.4	1.96	sabbia-sabbia limosa	7.60	=====		Mediamente Addensata	37.9	35.2	.	.	92.0	129
8.9	13.1	0.27	3.6	3.13	argilla-argilla limosa	7.80	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.59	4.43	51.8	138
						8.50	=====								
16.2	22.1	0.59	3.9	3.01	argilla-argilla limosa	9.20	=====		Plastica	.	.	0.93	4.11	94.1	179
25.7	32.6	0.79	3.3	2.79	limo argilloso-argilla limosa	9.60	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.25	6.08	150.0	200
						9.80	=====								
26.7	32.3	1.15	4.6	2.99	limo argilloso-argilla limosa	10.00	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.28	6.32	153.7	231
							=====								
30.5	35.6	1.47	5.0	3.03	argilla-argilla limosa		=====		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.38	7.55	174.2	253
26.8	30.5	1.34	5.3	3.10	argilla-argilla limosa		=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.28	6.98	152.8	247
							=====								
23.5	25.6	0.79	3.6	2.91	limo argilloso-argilla limosa		=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.19	6.39	136.6	203
							=====								
37.3	39.1	0.63	1.9	2.46	sabbia limosa-limo sabbioso		=====		Mediamente Addensata	36.0	35.1	.	.	150.0	193
27.8	28.7	0.96	3.7	2.90	limo argilloso-argilla limosa		=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.31	5.89	161.1	221
17.0	17.4	0.72	4.7	3.20	argilla-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.96	3.51	97.4	204

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29 settembre 2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.40 1.40

Vs15
202

qt	Qc1N <small>Idriss &amp; Boulanger 2004</small>	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004  basato su Fr vs Qc1N	H  m	Litologia grafica	Falda  idrica	Addensamento (Sabbia)  Consistenza (Argilla)	Densità Relativa  Tatsuoka 1990  %	Angolo Attrito φ  Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu  Benassi  daN/cm <sup>2</sup>	OCR  Marchi / SGT	Modulo Edometrico M  Benassi  daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs  Robertson & Cabal 2009  m/sec
	<small>daN/cm<sup>2</sup></small>	<small>daN/cm<sup>2</sup></small>	<small>%</small>	<small>SGT 2004</small>											
29.4	29.8	0.87	3.2	2.81	limo argilloso-argilla limosa	10.10			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.35	5.72	171.8	215
35.4	35.5	0.63	1.9	2.50	sabbia limosa-limo sabbioso	10.40			Sciolta	32.8	34.7	.	.	144.5	194
21.2	20.9	0.34	1.8	2.66	limo argilloso-argilla limosa	10.70			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.11	5.00	82.5	161
24.4	23.9	0.38	1.7	2.58	sabbia limosa-limo sabbioso	10.80			Sciolta	19.7	32.8	.	.	93.5	168
25.2	23.6	1.31	5.6	3.20	argilla-argilla limosa	12.20			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.24	3.79	142.7	249
30.3	26.4	1.78	6.4	3.26	argilla-argilla limosa	13.70			Semi solida (Molto duro)	.	.	1.37	4.84	169.3	287
37.1	30.5	2.29	6.7	3.25	argilla-argilla limosa				Semi solida (Molto duro)	.	.	1.52	5.42	206.1	317

Comune Medicina  
Via Via Passo Pecore Cento  
Localita' Villa Fontana  
Committente Servin  
Data 29-set-23

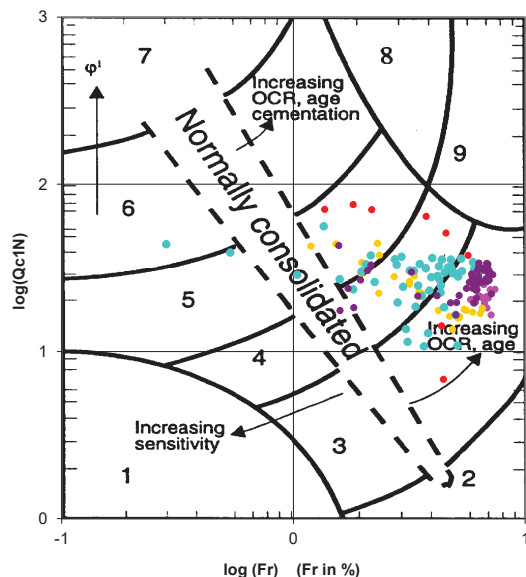
Numero prova 3  
Quota falda 1.40



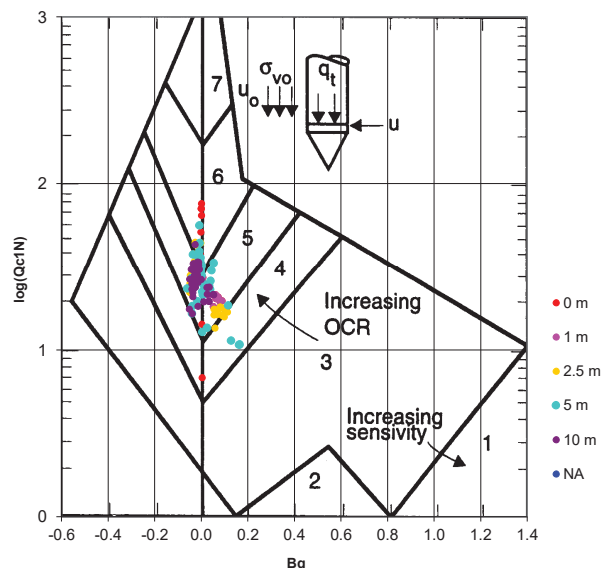
**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

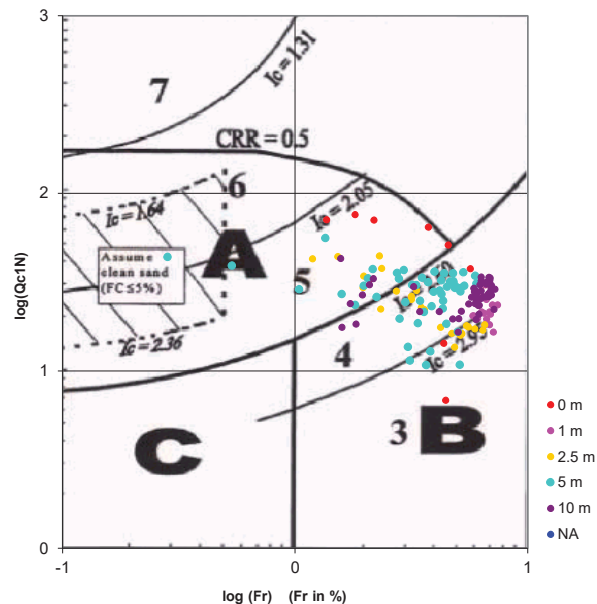
**Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)**



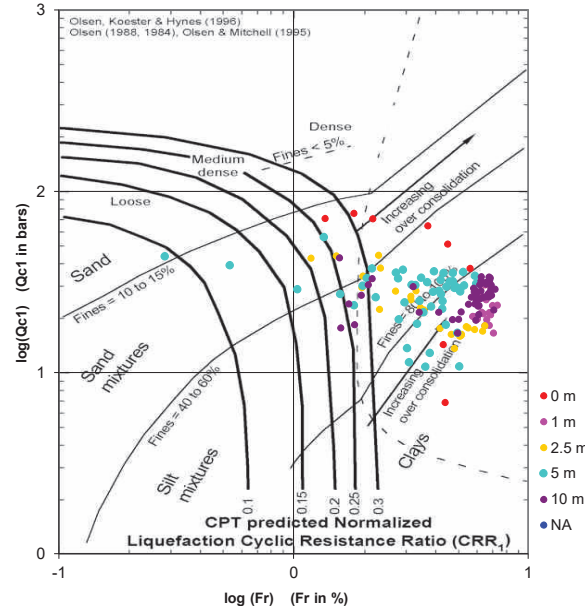
**Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilit 

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticit� e sensitivit�, da ampiezza e tempo del carico ciclico.



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

Falda

1.60 m

Sigla della Punta

Tecnopenta 100707

Azzeramento

Inizio prova

Ultimo taratura guadagno

12-apr-2023

Ultimo taratura per deriva termica

12-apr-2023



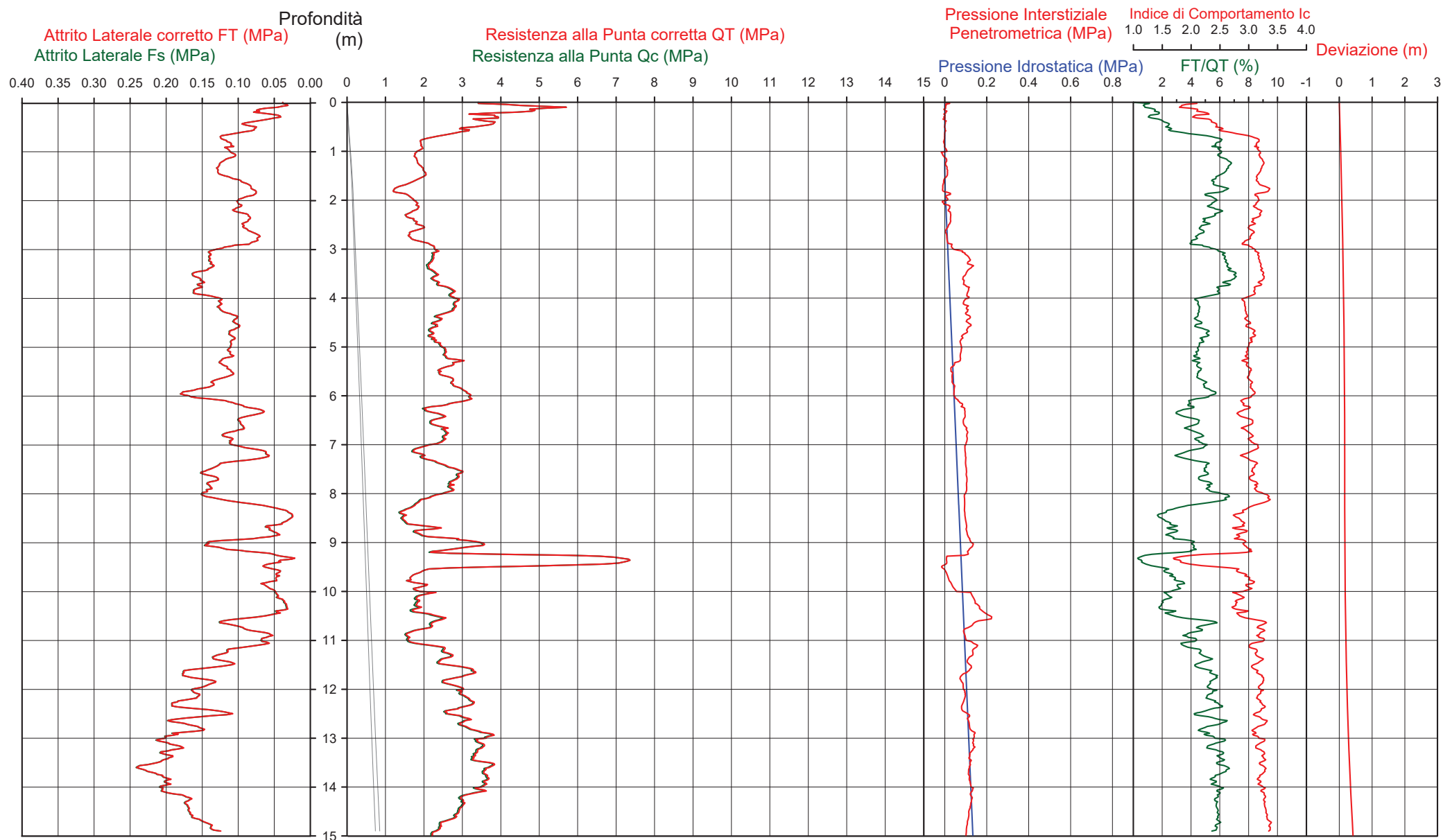
**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

[www.geo55.com](http://www.geo55.com)

## CPTU

4



CPTU

4

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29/09/2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.60

1.60



Società di  
Geologia  
Territoriale

S. G. T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs15
225







qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito $\phi'$ Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009
daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	%	SGT 2004		m				%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
37.0	62.9	0.72	2.2	2.33	sabbia limosa-limo sabbioso	0.00	.....		Mediamente Addensata	51.7	41.3	.	.	161.5	181
						0.70	.....								
18.2	30.9	1.11	6.2	3.20	argilla-argilla limosa		.....		Plastica	.	.	1.01	19.36	102.1	221
						1.80	.....								
15.5	26.4	0.85	5.7	3.18	argilla-argilla limosa	2.00	.....		Plastica	.	.	0.90	9.64	87.9	202
17.8	30.2	0.88	5.1	3.08	argilla-argilla limosa		.....		Plastica	.	.	0.99	10.41	101.4	202
						2.90	.....								
23.7	36.7	1.44	6.3	3.16	argilla-argilla limosa		.....		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.19	10.13	132.8	245
						4.00	.....								
25.2	34.6	1.13	4.7	2.98	limo argilloso-argilla limosa		.....		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.24	10.01	144.8	225
						5.40	.....								
26.8	33.9	1.28	5.0	3.03	argilla-argilla limosa		.....		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.28	7.31	153.1	238
						5.90	.....								
31.8	38.7	1.59	5.2	3.02	argilla-argilla limosa	6.10	.....		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.41	9.00	181.1	258
24.2	28.9	0.97	4.2	2.97	limo argilloso-argilla limosa		.....		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.21	7.13	139.8	217
						7.00	.....								
19.1	22.1	0.72	4.0	3.03	argilla-argilla limosa	7.30	.....		Plastica	.	.	1.04	4.65	110.6	198
26.5	29.2	1.36	5.5	3.13	argilla-argilla limosa		.....		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.27	5.40	150.5	250
						8.10	.....								
17.6	18.6	0.52	3.2	2.94	limo argilloso-argilla limosa		.....		Plastica	.	.	0.99	3.96	102.9	175
						8.90	.....								
30.2	30.7	1.18	4.1	2.94	limo argilloso-argilla limosa	9.20	.....		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.37	6.31	174.7	237
60.2	60.3	0.47	0.9	2.01	sabbia-sabbia limosa	9.50	.....		Mediamente Addensata	50.3	37.2	.	.	193.5	187
18.7	18.1	0.46	2.8	2.89	limo argilloso-argilla limosa		.....		Plastica	.	.	1.03	3.95	99.9	176

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29/09/2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.60

1.60

Vs15
225

qt	Qc1N <small>Idriss &amp; Boulanger 2004</small>	ft	FT/Qnet	Ic	Litologia SGT 2004  basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda  idrica	Addensamento (Sabbia)  Consistenza (Argilla)	Densità Relativa  <small>Tatsuoka 1990</small>	Angolo Attrito $\phi'$  <small>Kulhawy &amp; Mayne 1990</small>	Coesione non drenato Cu  <small>Benassi</small>	OCR  <small>Marchi / SGT</small>	Modulo Edometrico M  <small>Benassi</small>	Velocità Vs  <small>Robertson &amp; Cabal 2009</small>
	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	SGT 2004		m				%		daN/cm <sup>2</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	m/sec
						10.40									
22.0	20.6	0.88	4.4	3.09	argilla-argilla limosa	10.80			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.14	3.69	126.8	217
16.8	15.4	0.62	4.3	3.17	argilla-argilla limosa	11.10			Plastica	.	.	0.96	2.71	97.1	198
25.4	23.0	1.16	5.0	3.14	argilla-argilla limosa	11.50			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.24	4.13	145.2	243
32.6	27.5	1.80	5.9	3.20	argilla-argilla limosa	14.10			Semi solida (Molto duro)	.	.	1.43	4.53	183.7	287
28.1	21.6	1.60	6.3	3.31	argilla-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)	.	.	1.32	4.04	157.2	283



Comune Medicina  
Via Via Passo Pecore Cento  
Localita' Villa Fontana  
Committente Servin  
Data 29/09/2023

Numero prova 4  
Quota falda 1.60

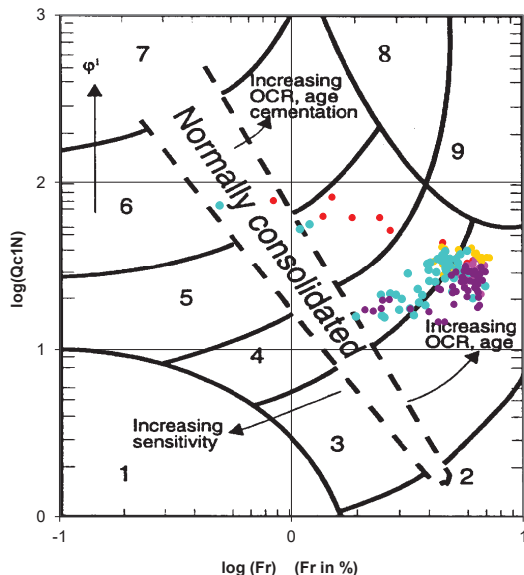


**Società di  
Geologia  
Territoriale**

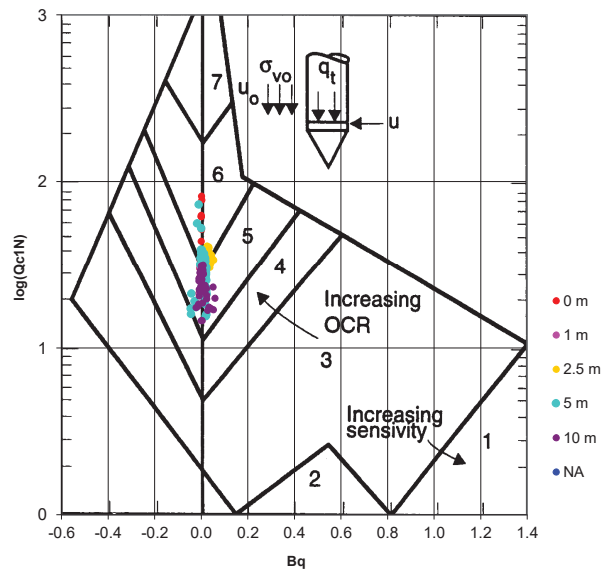
S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

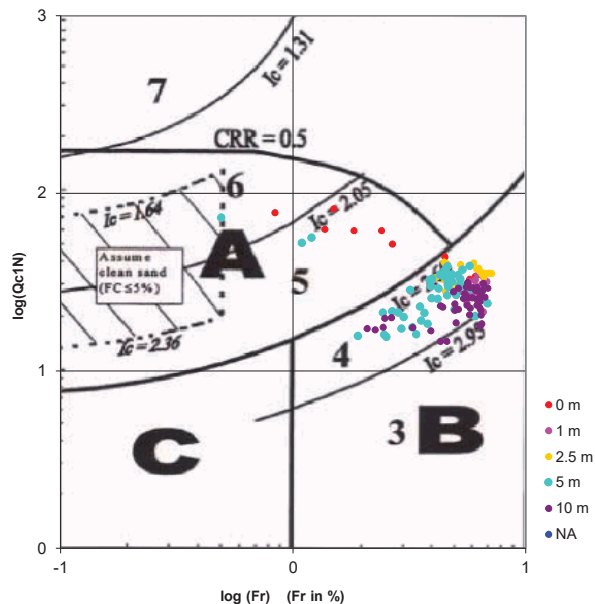
Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)



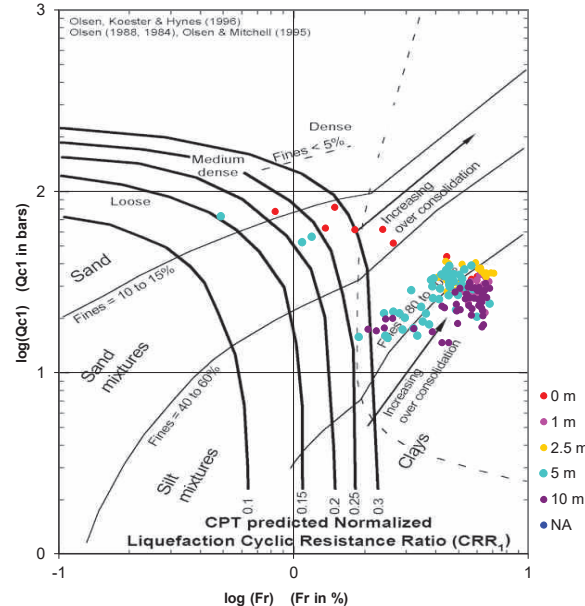
Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilit 

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticit� e sensitivit�, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

Falda

foro chiuso a 1.40m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
12-apr-2023  
12-apr-2023



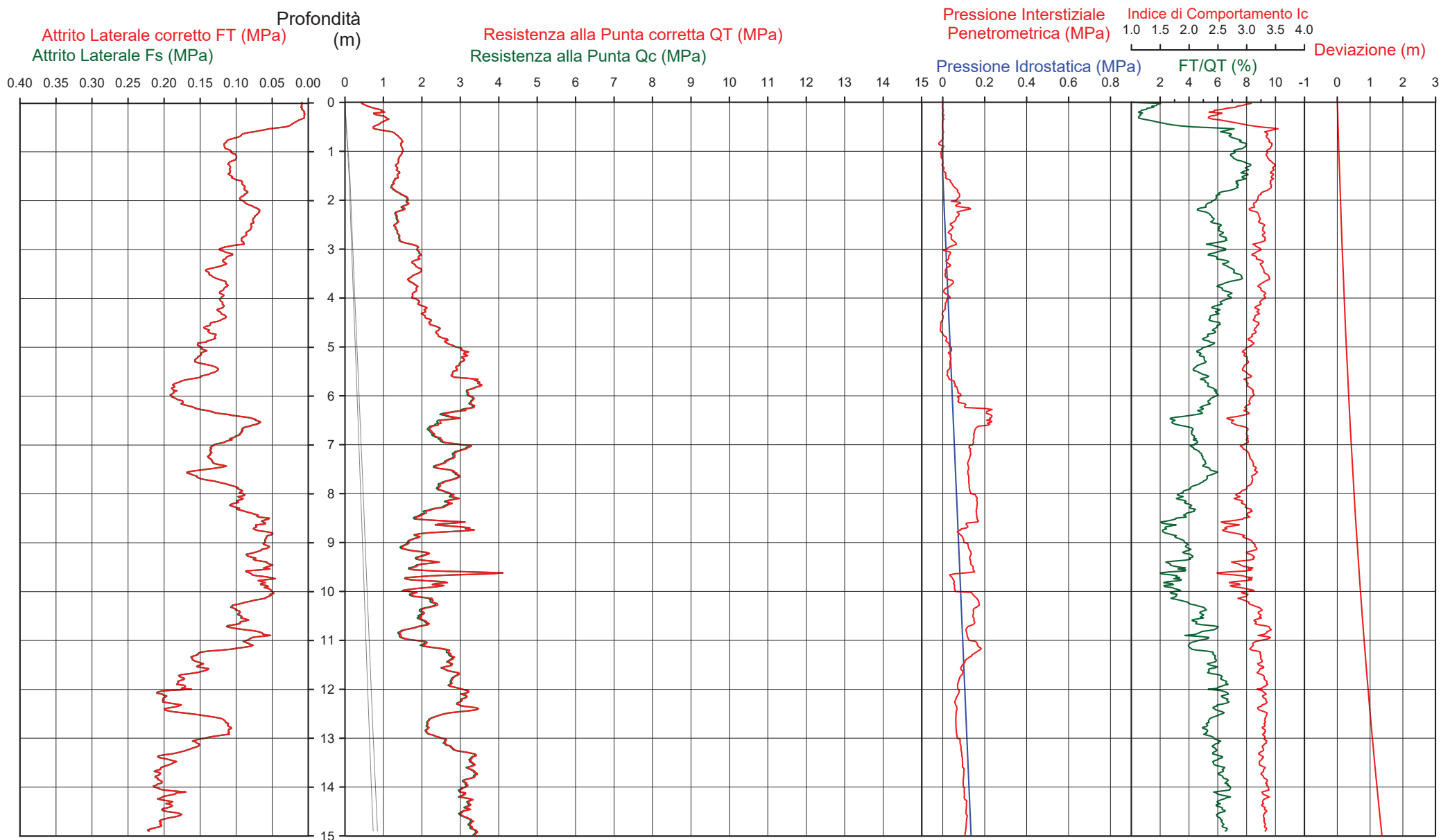
Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

CPTU

5



CPTU

5

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

29/09/2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.50 1.50



Società di  
Geologia  
Territoriale

S. G. T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs15  
226

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	SGT 2004		m									
5.5	9.3	0.09	1.7	2.93	limo argilloso-argilla limosa	0.00			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.40	134.10	20.9	103
9.6	16.2	0.08	0.9	2.49	sabbia limosa-limo sabbioso	0.10			Molto Sciolta	7.0	36.1	.	.	30.4	103
8.8	15.0	0.42	4.8	3.22	argilla-argilla limosa	0.40			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.59	23.52	50.6	155
14.2	24.1	1.00	7.2	3.36	argilla-argilla limosa	0.60			Plastica	.	.	0.85	13.24	77.9	217
13.9	23.6	0.78	5.8	3.23	argilla-argilla limosa	2.10			Plastica	.	.	0.83	9.40	78.3	196
18.5	30.2	1.18	6.6	3.25	argilla-argilla limosa	2.80			Plastica	.	.	1.02	7.16	103.2	228
24.0	34.2	1.34	5.8	3.13	argilla-argilla limosa	4.30			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.20	7.56	135.5	240
30.3	40.1	1.44	4.9	2.97	limo argilloso-argilla limosa	5.00			Semi solida (Molto duro)	.	.	1.37	10.19	173.3	246
32.4	40.6	1.71	5.5	3.04	argilla-argilla limosa	5.50			Semi solida (Molto duro)	.	.	1.42	8.31	184.2	265
25.4	30.9	0.90	3.7	2.87	limo argilloso-argilla limosa	6.30			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.24	7.36	147.6	209
23.7	28.3	0.98	4.4	3.00	argilla-argilla limosa	6.70			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.19	6.00	136.4	219
27.6	31.4	1.32	5.1	3.06	argilla-argilla limosa	6.90			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.30	6.64	157.4	245
27.0	29.4	0.96	3.8	2.90	limo argilloso-argilla limosa	7.90			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.29	5.87	156.9	220
20.5	22.0	0.77	4.1	3.04	argilla-argilla limosa	8.30			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.09	4.68	118.5	205
27.5	28.9	0.65	2.5	2.70	limo argilloso-argilla limosa	8.50			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.30	5.38	136.7	194
17.4	18.0	0.59	3.8	3.06	argilla-argilla limosa	8.80			Plastica	.	.	0.98	3.88	100.8	190
20.9	21.1	0.69	3.6	2.98	limo argilloso-argilla limosa	9.20			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.10	4.07	121.5	200
29.9	29.8	0.73	2.8	2.74	limo argilloso-argilla limosa	9.60			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.36	5.74	161.6	208
19.1	18.9	0.58	3.4	2.99	limo argilloso-argilla limosa	9.70			Plastica	.	.	1.04	3.63	111.1	191
24.6	24.3	0.61	2.7	2.78	limo argilloso-argilla limosa	9.80			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.22	4.64	128.3	192
17.9	17.5	0.52	3.3	2.99	limo argilloso-argilla limosa	9.90			Plastica	.	.	1.00	3.32	104.3	184

5

29/09/2023  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Medicina  
1.50 1.50



Vs15
226

[illegible]



Comune Medicina  
Via Via Passo Pecore Cento  
Localita' Villa Fontana  
Committente Servin  
Data 29/09/2023

Numero prova 5  
Quota falda 1.50

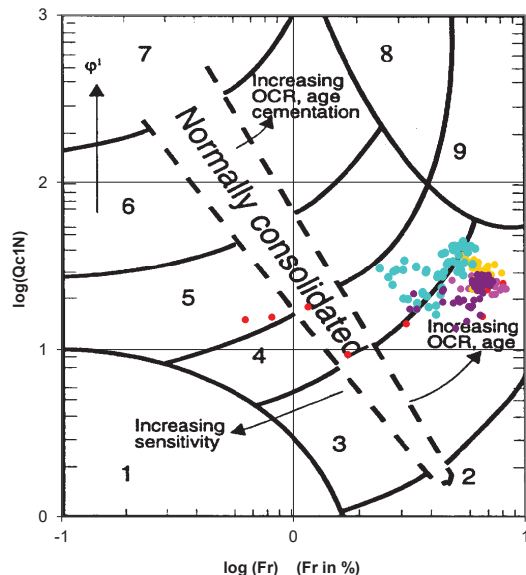


**Società di  
Geologia  
Territoriale**

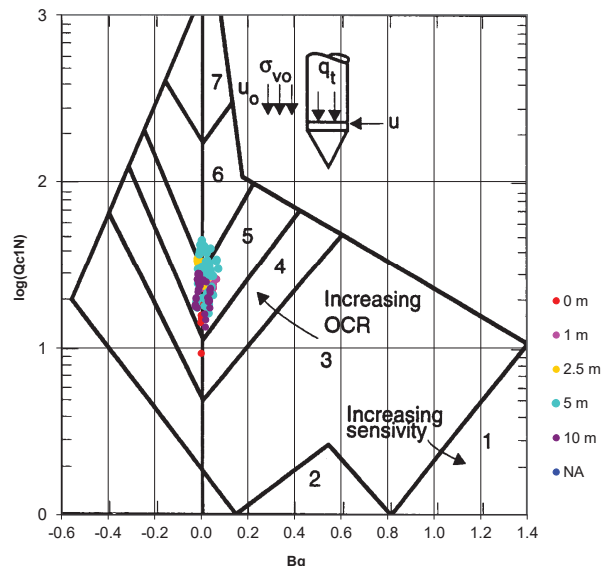
S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

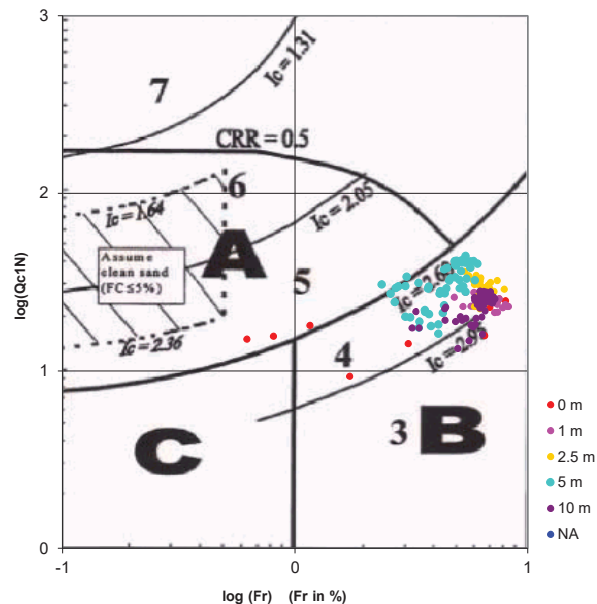
Cross-plot Qc1N verso Fr  
(Robertson 1990)



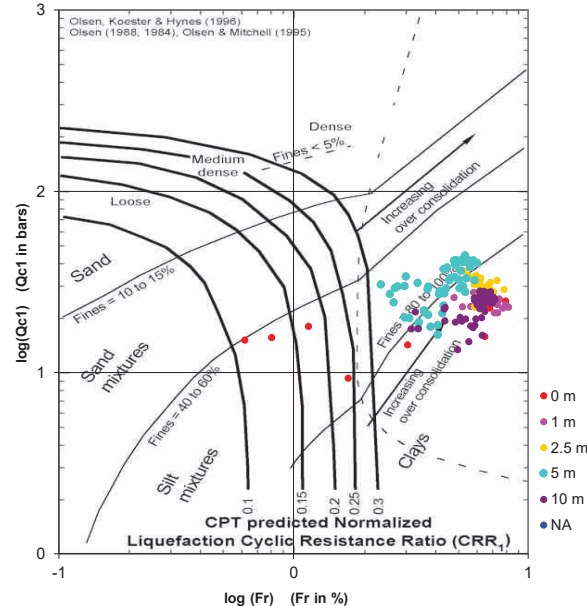
Cross-plot Qc1N verso Bq  
(Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
per la verifica della liquefazione  
secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefacibilit 

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticit� e sensitivit�, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

**ALLEGATO 2:  
INDAGINE SISMICA**

# COMUNE di MEDICINA

(Provincia di Bologna)

## MASW (Multichannel Analysis Surface Waves) E MISURA DIGITALE DEL RUMORE SISMICO

### IMPIANTO FOTOVOLTAICO VIA PASSO PECORE CENTO



Committente: SERVIN

Ottobre, 2023



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)



# 1 Misure MASW attiva e HVSR

Per la valutazione della  $V_{seq}$  e dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse si è provveduto a realizzare uno stendimento SASW-MASW in combinazione con una misura HVSR. Le misure sono state realizzate utilizzando il "Tromino engineering", uno strumento in grado di misurare sia i microtremori sia le onde attivate da una sorgente sismica artificiale.

## 1.1 Metodo dei microtremori HVSR

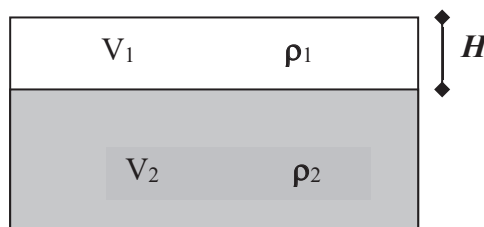
Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è 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 ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) 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 ( $\lambda$ ) 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

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

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.

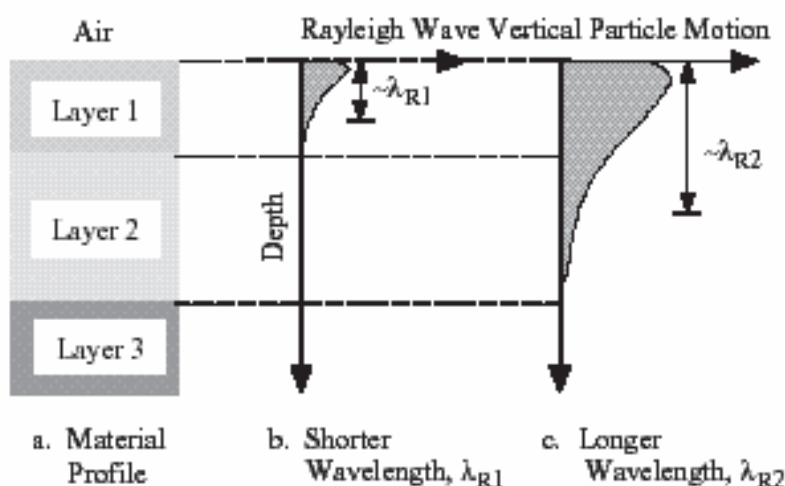


Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore.

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.

## 1.2 Metodo MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.



Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo SASW-MASW si mantiene fisso il sensore di misura e si sposta a intervalli regolari il punto di generazione delle onde.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente circa 8÷15 m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002): (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\mu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva

di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

### 1.3 Combinazione del metodo HVSR e MASW e risultati.

La combinazione tra le misure HVSR e quelle MASW permettono di ottimizzare la ricostruzione del modello di velocità delle onde di taglio Vs30.

Infatti, le MASW permettono di ottenere le misure di velocità di taglio nei primi metri che servono da base per interpretare gli strati più profondi osservabili solo dalle misure HVSR.

Inoltre, si è provveduto ad eseguire anche la calibrazione delle misure HVSR e MASW in base alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine.

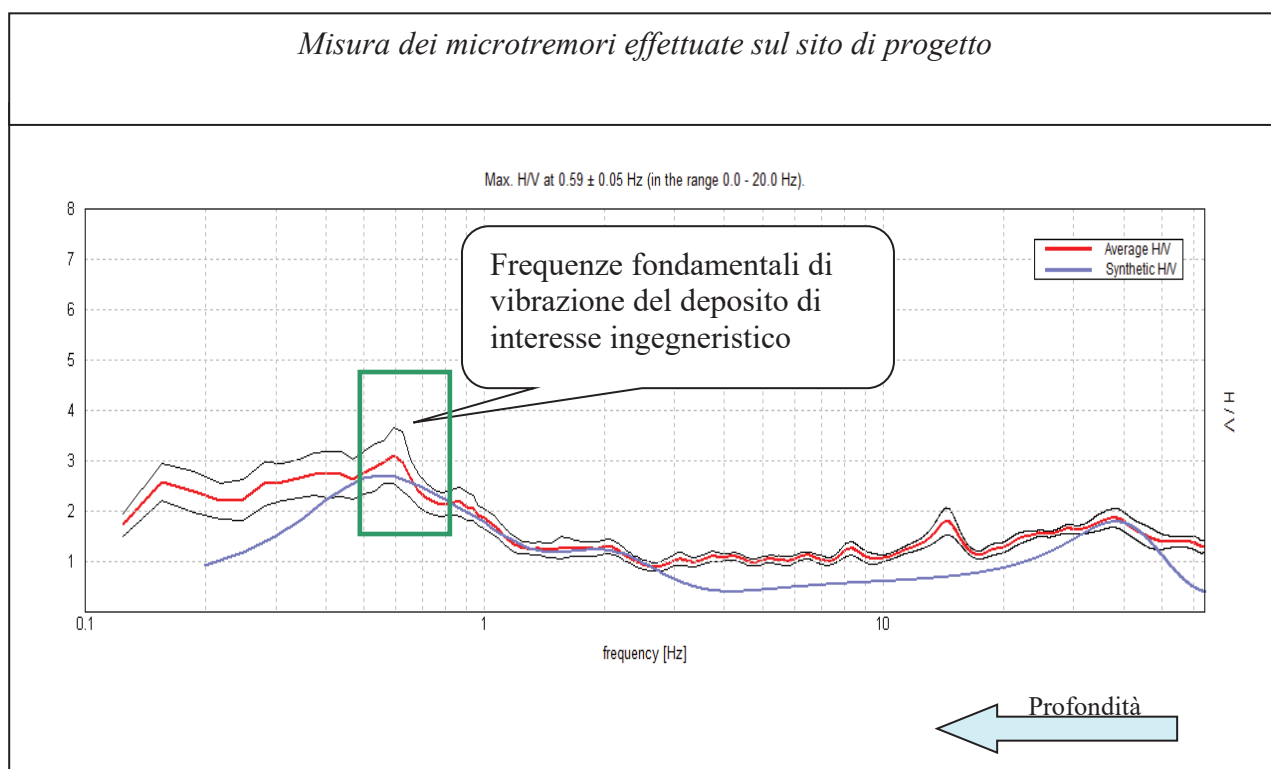
La prova eseguita impiegando la suddetta metodologia dei microtremori, combinata con la MASW, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), ha evidenziato una **Vs\_eq(0.0-30.0)=212 m/s**.

L'analisi delle frequenze fondamentali di amplificazione del sito evidenzia l'amplificazione di risonanza tipica del terreno e, di conseguenza, l'altezza critica degli edifici che in caso di sisma possono entrare in risonanza con il terreno.

Nel caso specifico è possibile individuare, in prima analisi, la sottostante frequenza fondamentale per il deposito esaminato.

<b>Frequenze fondamentali di vibrazione del deposito</b>	
Frequenza - f (Hz)	Periodo - T (sec)
0.54÷0.64	1.85÷1.56

Le verifiche del modello sismico delle opere in esame potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.



## 2 VALORI DELLE $V_{S,eq}$ CARATTERISTICHE DEL SITO: CATEGORIA DEL SUOLO

Il D.M. 17-01-2018, Norme tecniche per le costruzioni, stabilisce delle categorie del suolo ai fini di valutare l'amplificazione sismica del sito in esame.

Considerando la geologia della zona, osservando che il substrato sismico si trova a profondità superiore a 30 m, facendo quindi riferimento alla velocità nei primi trenta metri di profondità del substrato indagato come richiesto dalle NTC2018 per il metodo semplificato, visto che dalle misure geofisiche risulta una  $V_{S,30} = 212 \text{ m/s}$ , si può affermare che il sottosuolo del sito di interesse appartiene alla categoria **C**.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
<b>D</b>	<i>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 <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s.</i>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente a quelle definite per le categorie C o D, con spessore del substrato non superiore a 30 m.</i>

I valori di  $V_S$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

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

N = numero di strati;

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

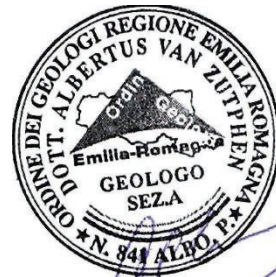
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

---

Ottobre, 2023





**ALLEGATI**





U 501 G

CPTU 1

CPTU 2

CPTU 3

MASW + Tromino

CPTU 4

CPTU 5

Via S. Vitale Ovest

Via Passo Pecore Cento

Via Leonardo da Vinci

Via C. Galilei

Via Vitale

SP253

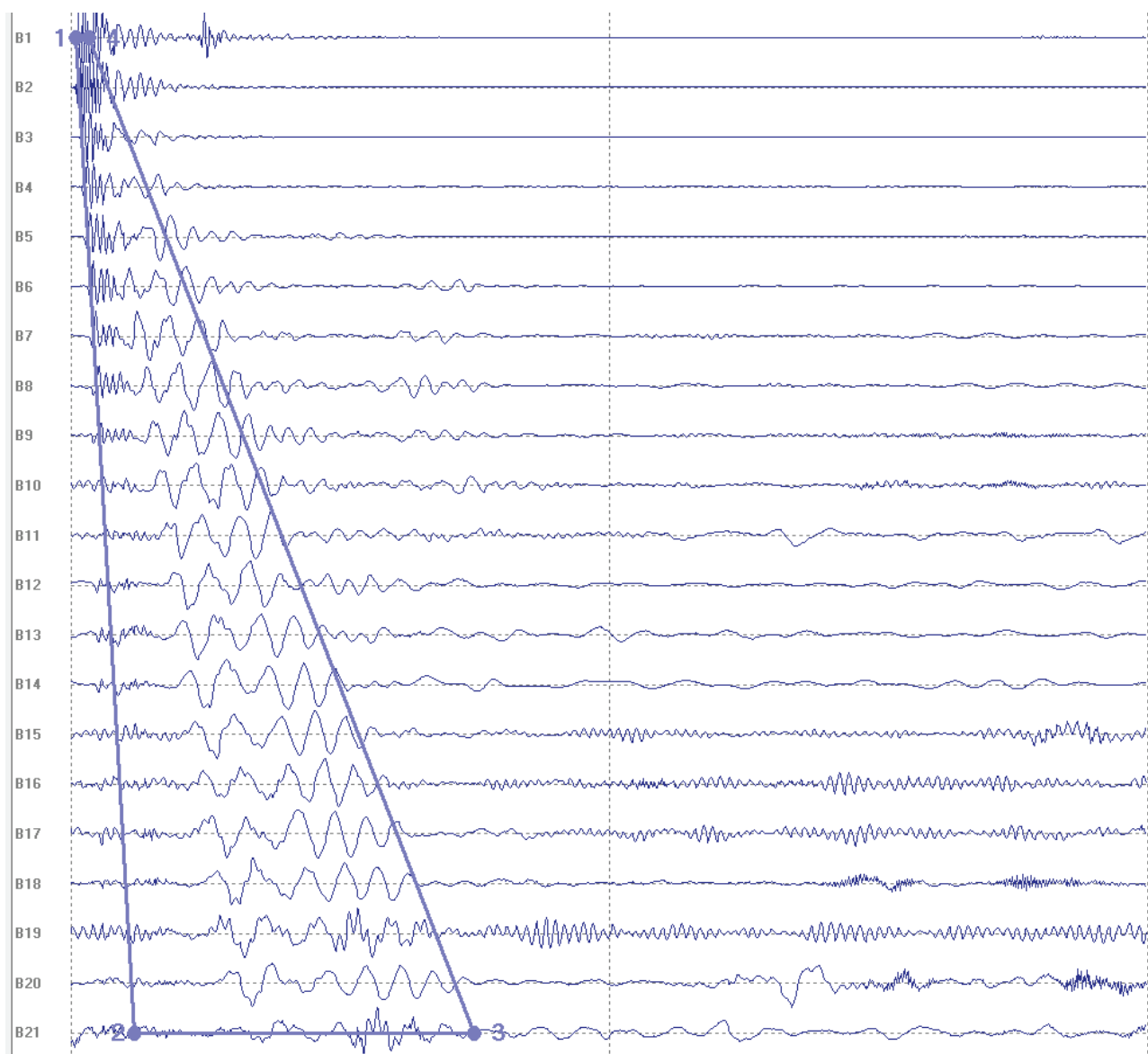


## MEDICINA VILLAFONTANA VIA PASSO PECORE, SERVIN 0002

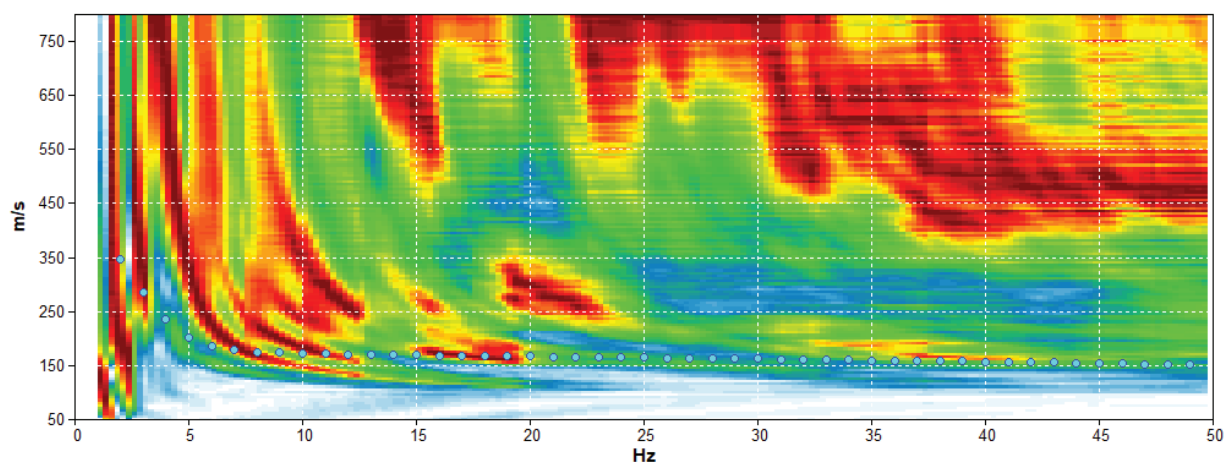
Start recording: 13/10/2023 14:20:54    End recording: 13/10/2023 14:39:54  
Trace length: 0h19'00".    Analyzed 74% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; TRG + TRG -

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 36.0 39.0 42.0 45.0 48.0 51.0  
54.0 57.0 60.0 m.

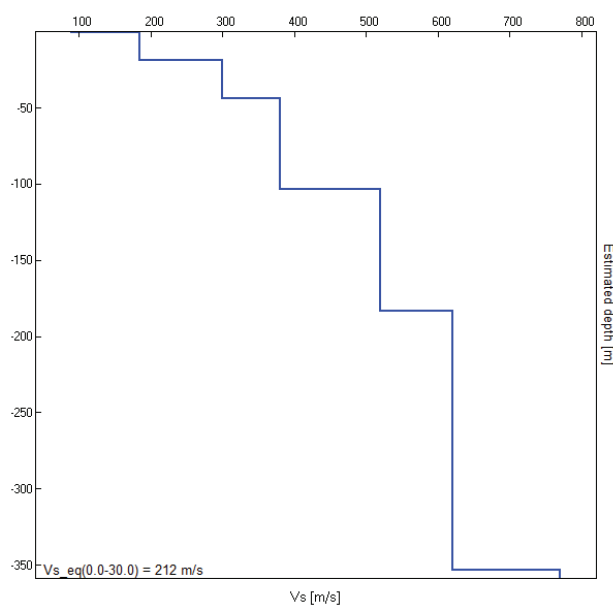


# MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.55	0.55	90	0.35
18.55	18.00	185	0.45
43.55	25.00	300	0.45
103.55	60.00	380	0.45
183.55	80.00	520	0.45
353.55	170.00	620	0.45
inf.	inf.	770	0.45

$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 212 \text{ m/s}$





## MEDICINA VILLAFONTANA VIA PASSO PECORE, SERVIN 0002

Instrument: TEB-0704/01-22

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 89

Start recording: 13/10/2023 14:20:54 End recording: 13/10/2023 14:39:54

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; TRG + TRG -

GPS data not available

Trace length: 0h19'00". Analyzed 74% trace (manual window selection)

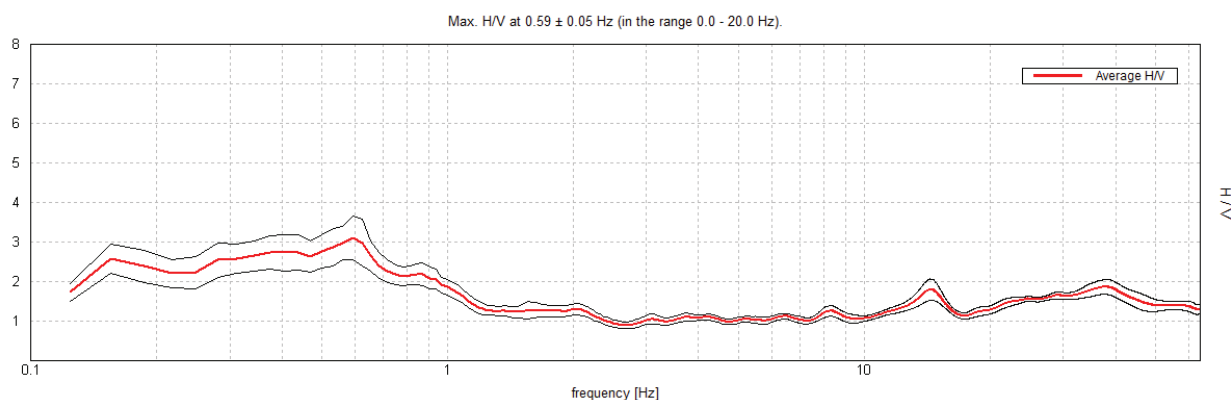
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

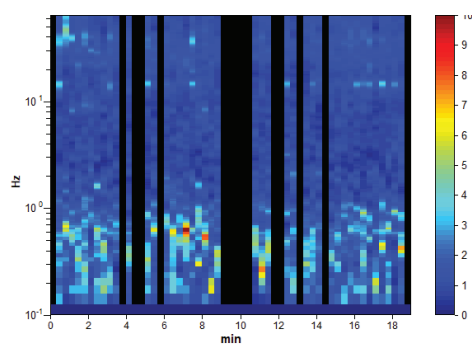
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

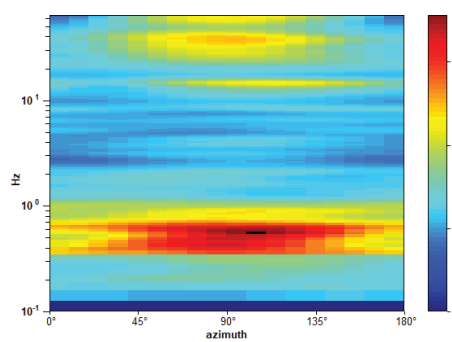
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



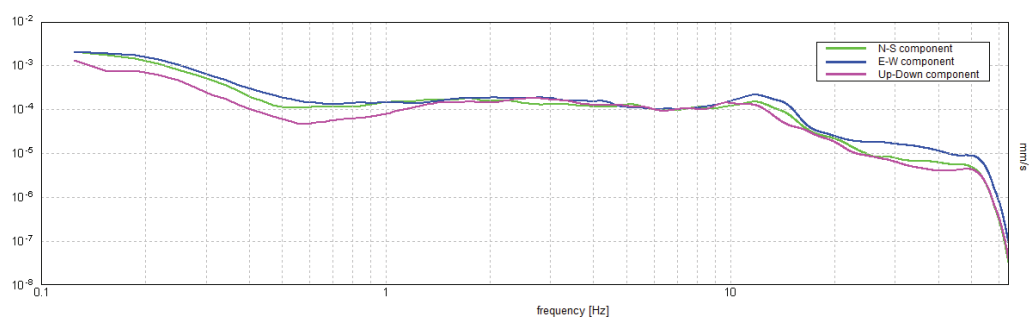
### H/V TIME HISTORY



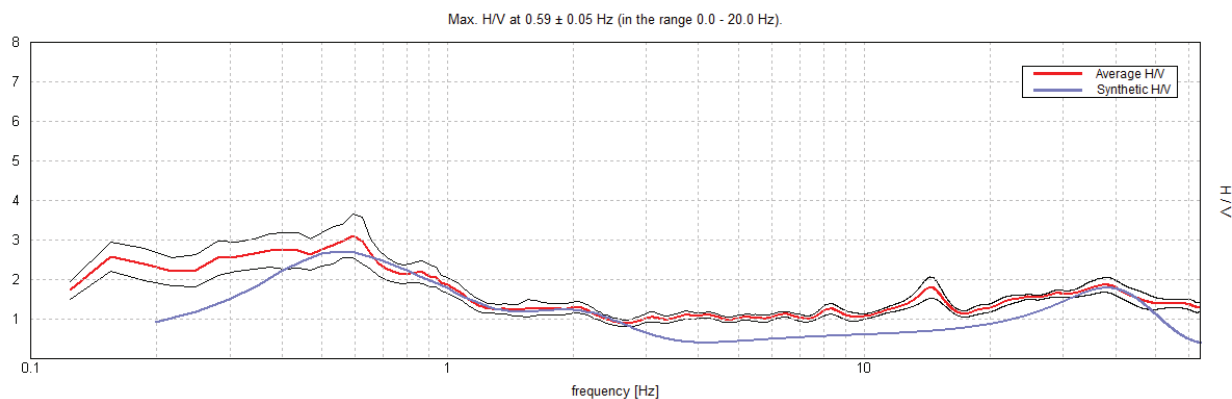
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

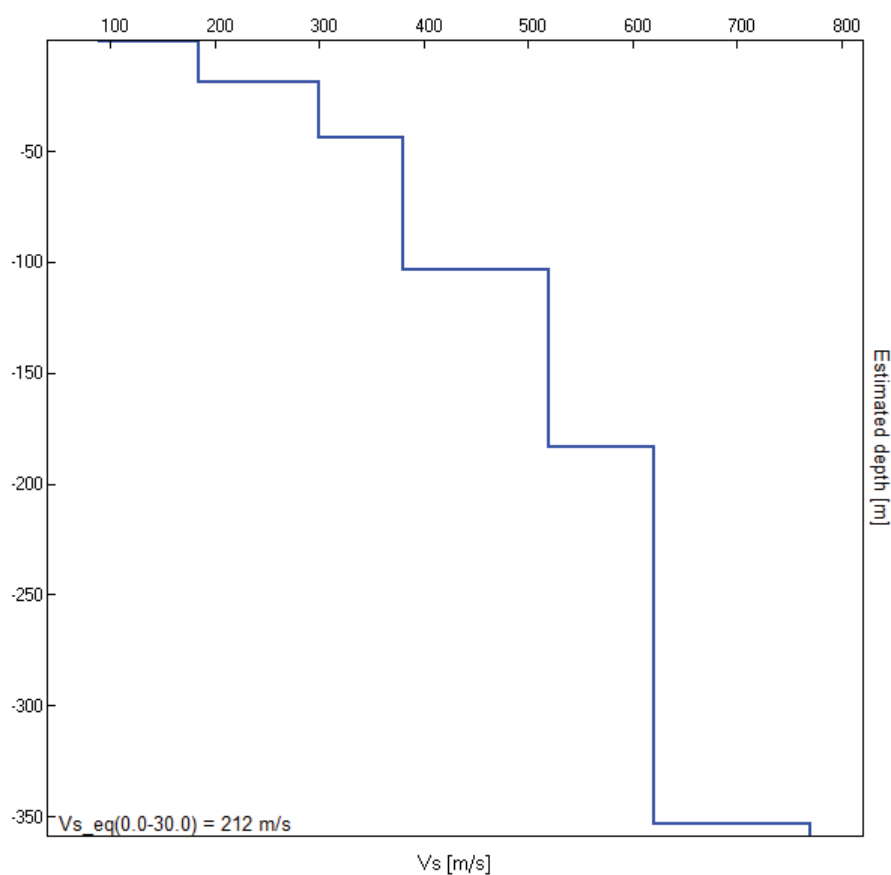


## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.55	0.55	90	0.35
18.55	18.00	185	0.45
43.55	25.00	300	0.45
103.55	60.00	380	0.45
183.55	80.00	520	0.45
353.55	170.00	620	0.45
inf.	inf.	770	0.45

$$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 212 \text{ m/s}$$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $0.59 \pm 0.05$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.59 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$498.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 29 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.11 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09116  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05413 < 0.08906$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5461 < 2.0$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**ALLEGATO 3:  
VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI  
LIQUEFAZIONE DEI TERRENI**



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

CPT 1  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579
tipo di suolo	fattore amplificazione
C	1.469
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude
	6.140

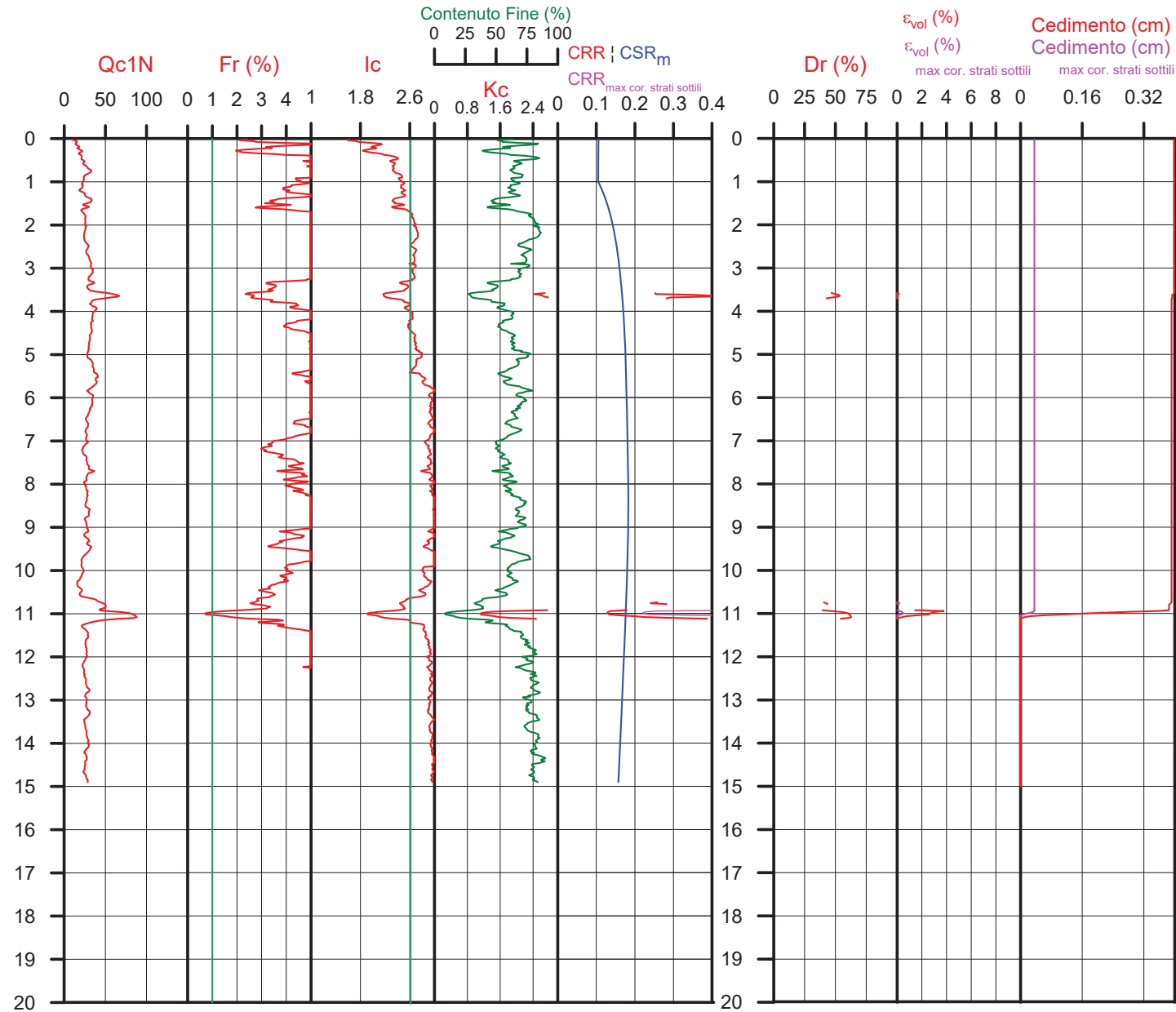
DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.815
Suolo di riferimento	fattore amplificazione
Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	3.085
	magnitude
	6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato con MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
Cedimento totale	0.4	7.0
Cedimento totale considerando strati sottili	0.0	0.1

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.1	0.0	IL <= 5	BASSO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.1	0.0	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		GUIDIZIO DI PERICOLISITA'	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
1	0	PPbi <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbi <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbi <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbi <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbi > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

CPT 2  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579
tipo di suolo	fattore amplificazione
C	1.469
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude
	6.140

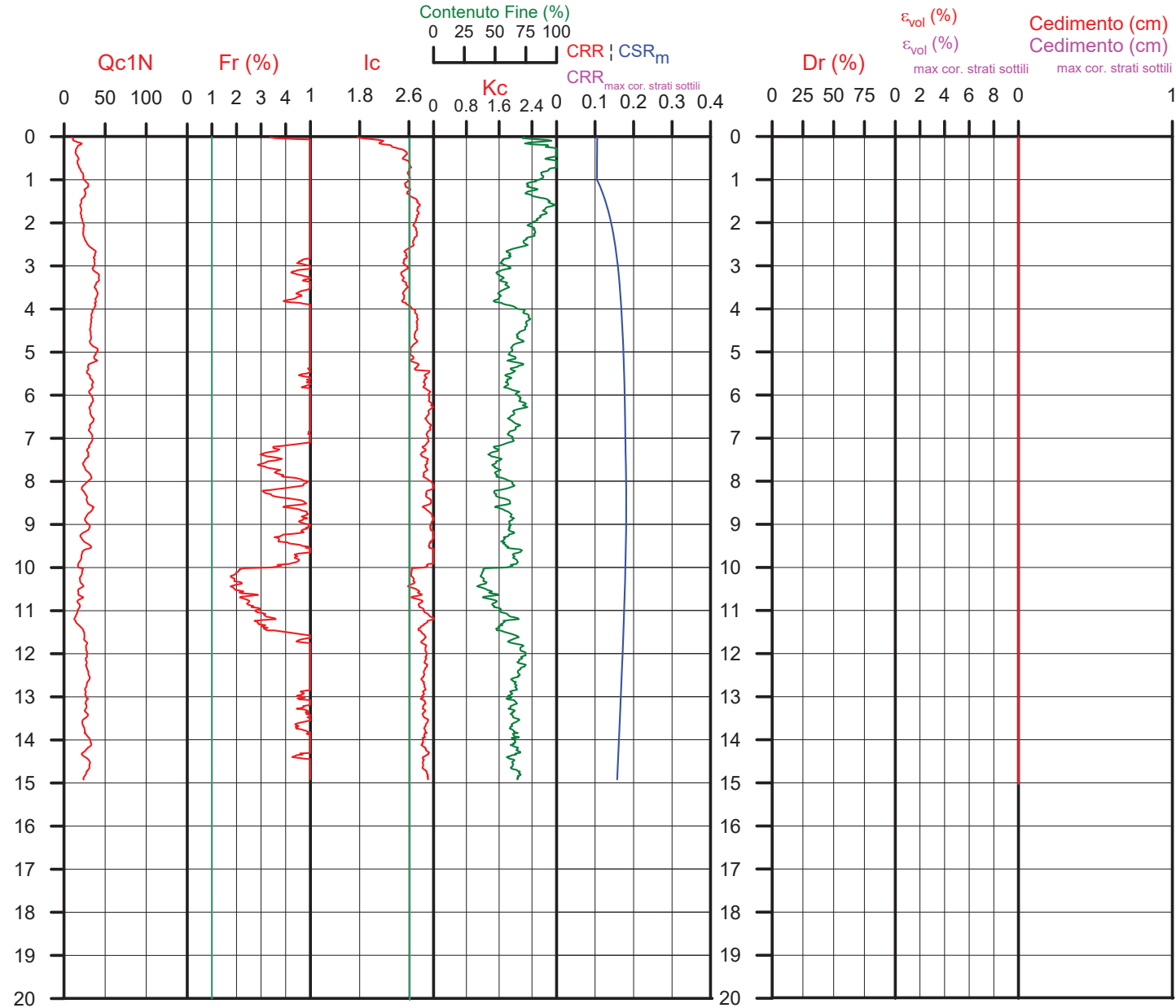
DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.815
Suolo di riferimento	fattore amplificazione
Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	3.085
	magnitude
	6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato con MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fsl<sub>iq</sub> = CRR 7.5 / CSR 6.14

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
Cedimento totale	0.0	0.0
Cedimento totale considerando strati sottili	0.0	0.0

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>iq</sub> e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	IL <= 5	BASSO
0.0	0.0	5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>iq</sub> e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	IL <= 2	BASSA
0.0	0.0	2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		GUIDIZIO DI PERICOLISITA'	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
0	0	PPbi <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbi <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbi <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbi <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbi > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

CPT  
3  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine	44.501493°	amax substrato (m/sec2)	1.579
longitudine	11.557772°		
tipo di suolo	C	fattore amplificazione	1.469
amplificazione topografica	1.000	amax al p.c. (m/sec2)	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA		magnitude	6.140

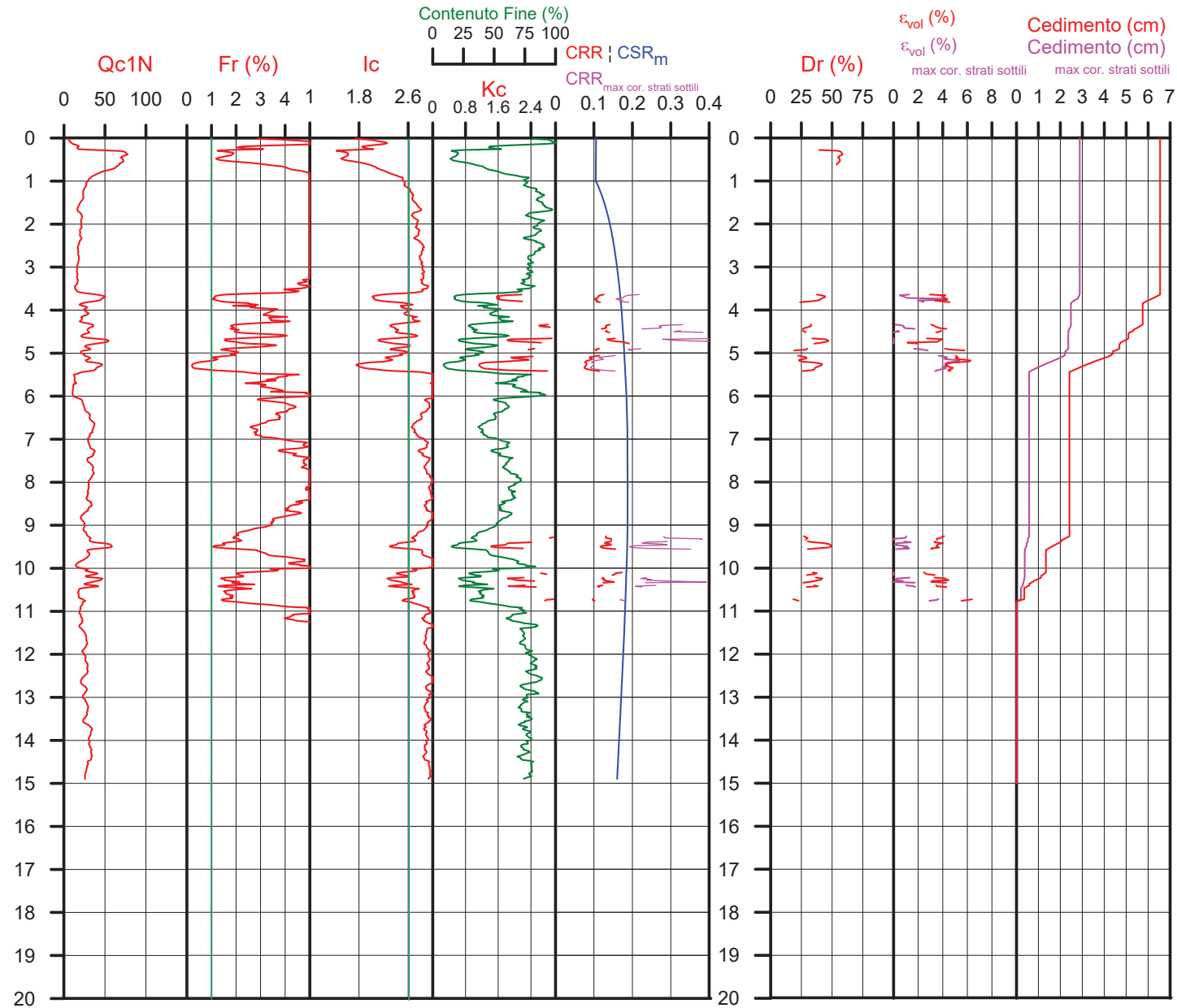
DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine	44.501493°	amax substrato (m/sec2)	1.815
longitudine	11.557772°		
Suolo di riferimento	Pianura 2	fattore amplificazione	1.700
amplificazione topografica	1.000	amax al p.c. (m/sec2)	3.085
		magnitude	6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005 PER  $TR = 332$  ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato con MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
Cedimento totale	6.5	50.7
Cedimento totale considerando strati sottili	2.9	13.7

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982)

(Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su  $F_{slq}$  e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
3.6	1.1	IL <= 5	BASSO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su  $F_{slq}$  e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
	1.1	IL <= 2	BASSA
3.6		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		GUIDIZIO DI PERICOLISITA'	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
8	4	PPBI <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPBI <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPBI <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPBI <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPBI > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

CPT  
4  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine	44.501493°	amax substrato (m/sec2)	
longitudine	11.557772°		1.579
tipo di suolo	C	fattore amplificazione	1.469
amplificazione topografica	1.000	amax al p.c. (m/sec2)	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA		magnitude	6.140

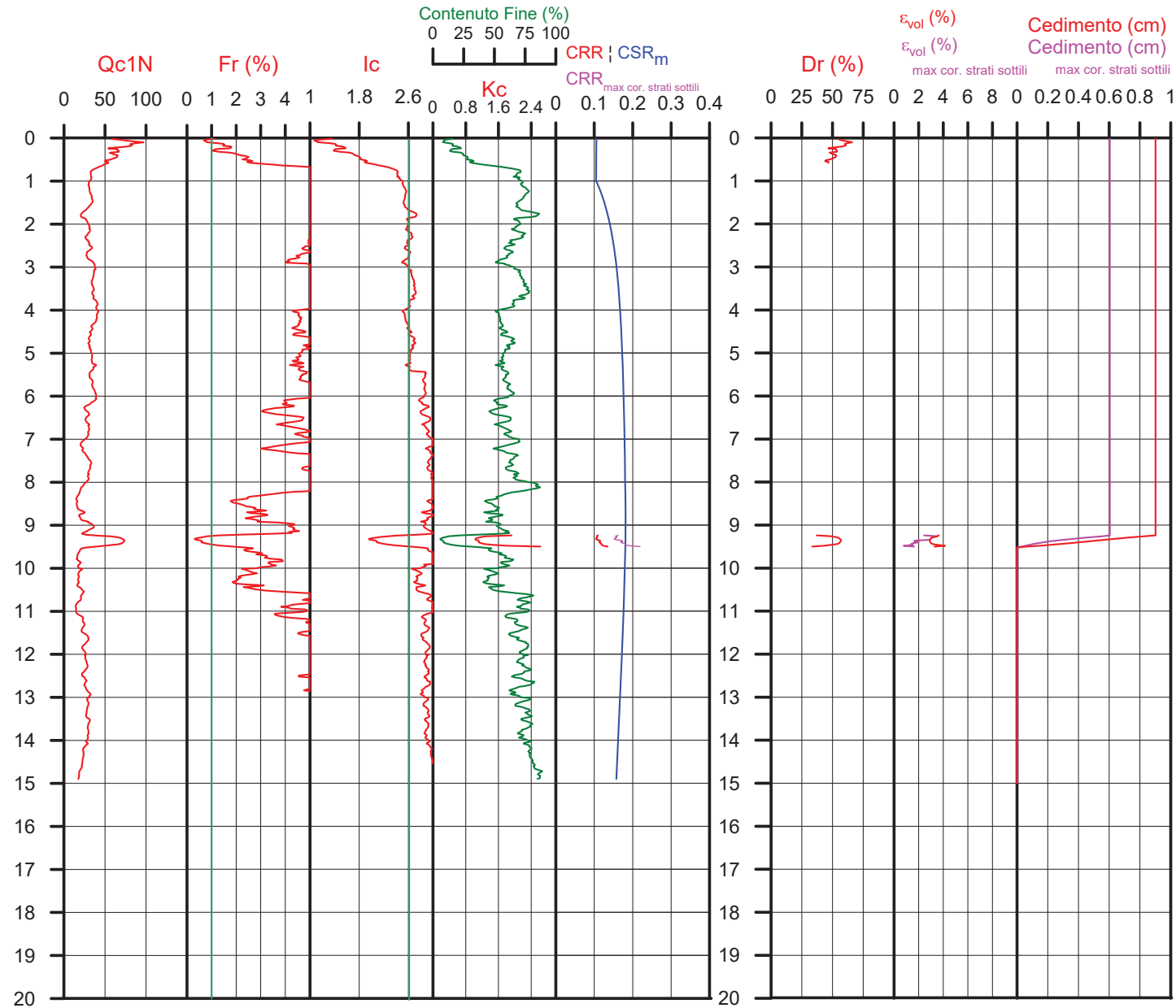
DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine	44.501493°	amax substrato (m/sec2)	
longitudine	11.557772°		1.815
Suolo di riferimento	Pianura 2	fattore amplificazione	1.700
amplificazione topografica	1.000	amax al p.c. (m/sec2)	3.085
		magnitude	6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato con MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	0.9	24.2
Cedimento totale considerando strati sottili	0.6	3.8

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005	POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili
0.6	0.1
	IL <= 5
	5 < IL <= 15
	IL > 15
	BASSO
	ELEVATO
	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili
0.6	0.1
	IL <= 2
	2 < IL <= 5
	5 < IL <= 15
	IL > 15
	BASSA
	MODERATA
	ELEVATA
	MOLTO ALTA

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili
1	1
	%
	PPbi <= 15
	15 < PPbi <= 35
	35 < PPbi <= 65
	65 < PPbi <= 85
	PPbi > 85
	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

CPT 5  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579
tipo di suolo	fattore amplificazione
C	1.469
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude
	6.140

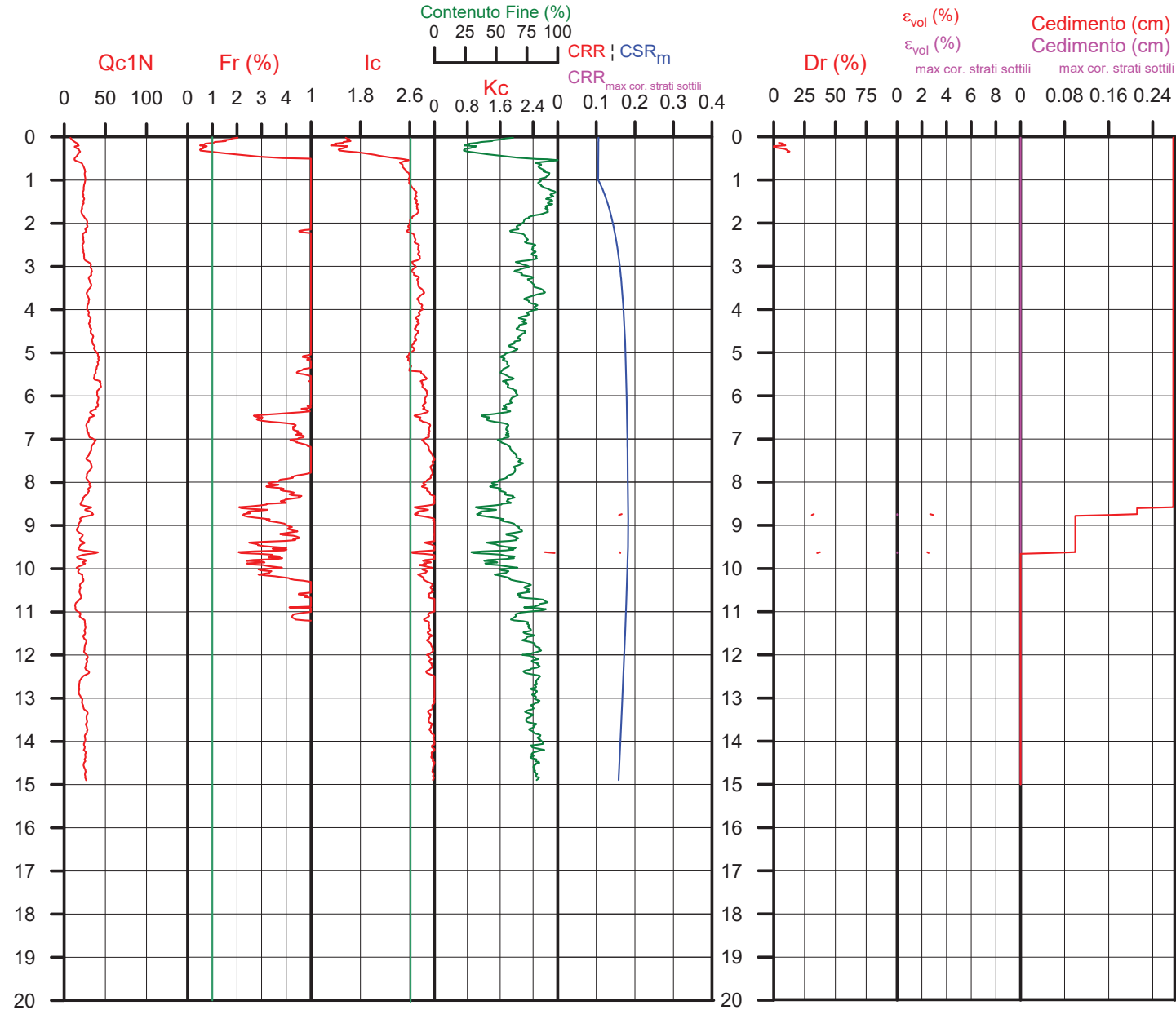
DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.815
Suolo di riferimento	fattore amplificazione
Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	3.085
	magnitude
	6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato con MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	0.3	0.4
Cedimento totale considerando strati sottili	0.0	0.0

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005	POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili
0.1	0.0
	IL <= 5
	5 < IL <= 15
	IL > 15
	BASSO
	ELEVATO
	ESTREMAMENTE ELEVATO

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbi (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità,

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili
0.1	0.0
	IL <= 2
	2 < IL <= 5
	5 < IL <= 15
	IL > 15
	BASSA
	MODERATA
	ELEVATA
	MOLTO ALTA

INDICE PPbi DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili
0	0
	%
	PPbi <= 15
	15 < PPbi <= 35
	35 < PPbi <= 65
	65 < PPbi <= 85
	PPbi > 85
	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

CPT 1

Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)	1.579
longitudine 11.557772°		
tipo di suolo	fattore amplificazione	1.469
	C	
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)	2.320
1.000		
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude	6.140

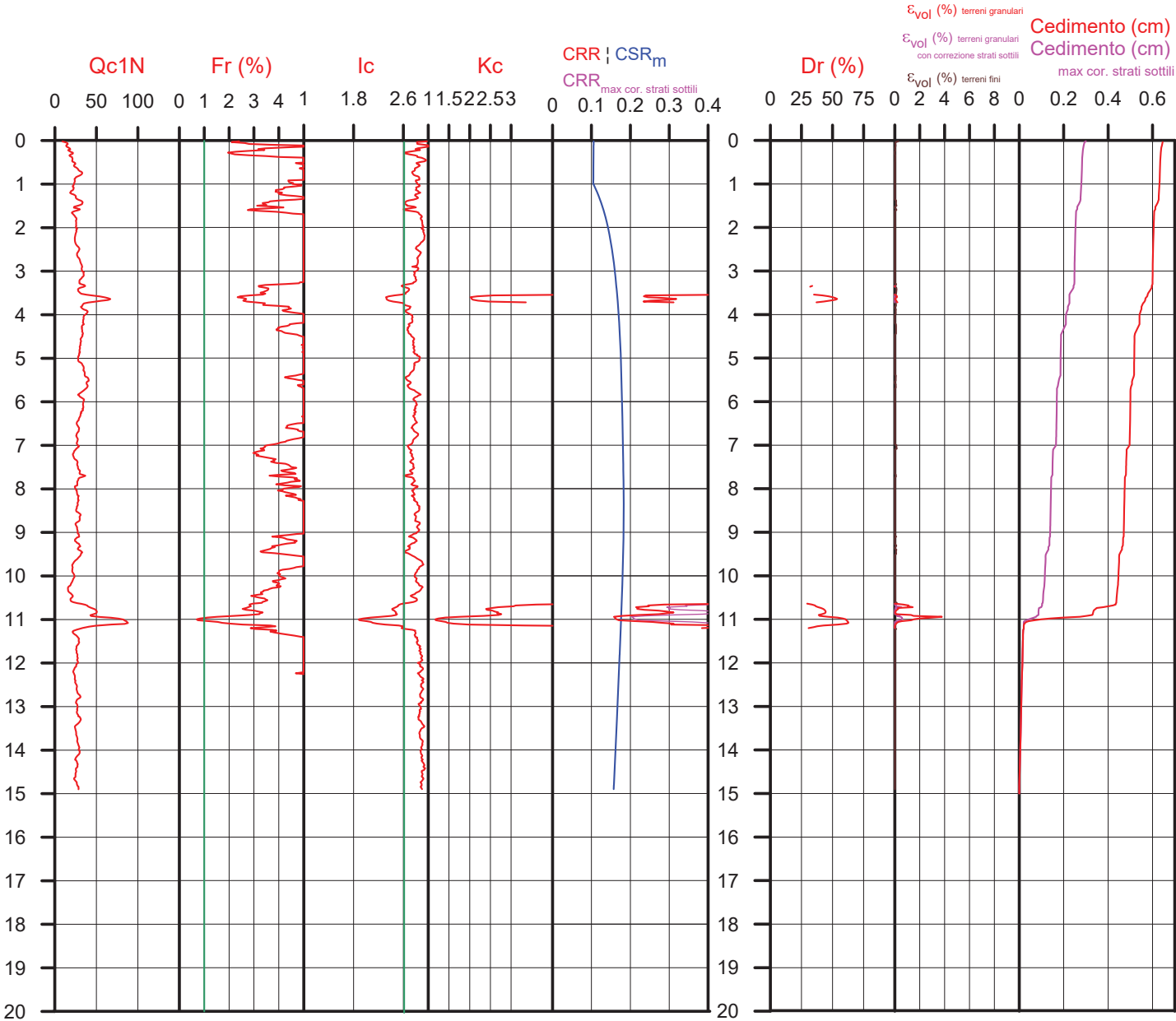
DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)	1.815
longitudine 11.557772°		
Suolo di riferimento	fattore amplificazione	1.700
Pianura 2		
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)	3.085
1.000		
	magnitude	6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009 PER TR = 332 ANN

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento	0.4	2.8
Cedimento considerando strati sottili	0.1	0.2

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento dei terreni fini calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	0.2	0.7
Cedimento considerando strati sottili	0.2	0.3

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su  $F_{slq}$  e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.0	0.0	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

**CPT 2**

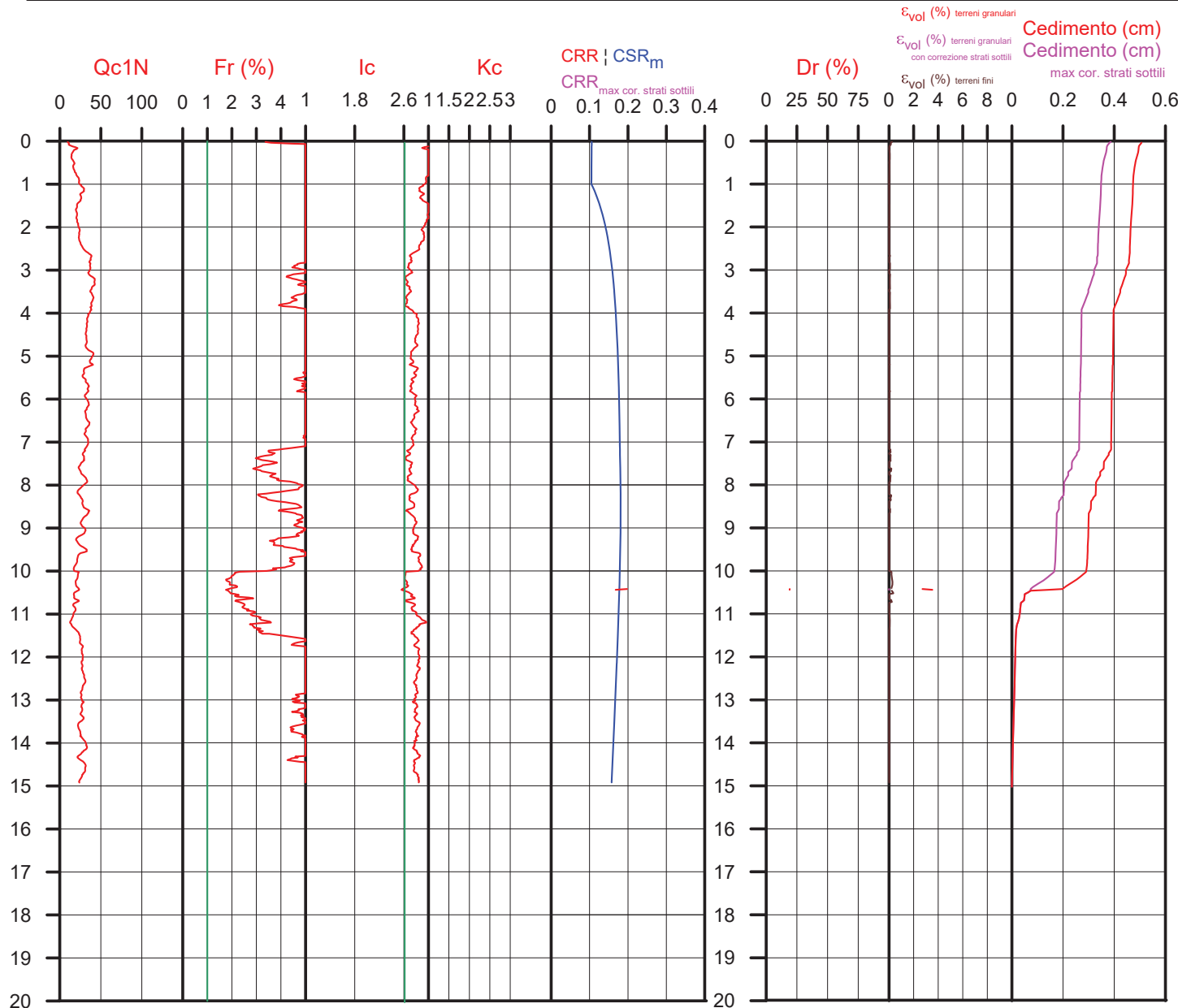
Falda presunta 1 metri

NTC 2018		DGR Emilia-Romagna 476 / 2021	
latitudine 44.501493*	amax substrato (m/sec2)	latitudine 44.501493*	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772*	1.579	longitudine 11.557772*	1.8
tipo di suolo	fattore amplificazione	Suolo di riferimento	fattore amplificazione
C	1.469	Pianura 2	1.70
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)	amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320	1.000	3.00
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude		magnitude
	6.140		6.1



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)



VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERSTON & CABAL 2009 PER TR = 332 ANN

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14$

## Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990  
\* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
<b>Cedimento</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
Cedimento considerando strati sottili	0.0	0.0

## Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento dei terreni fini calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento terreni fini  (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
<b>Cedimento</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>
Cedimento considerando strati sottili	0.4	0.4

(IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su  $F_{slq}$  e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.0	0.0	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

CPT 3

Falda presunta 1 metri

NTC 2018

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579
tipo di suolo	fattore amplificazione
C	1.469
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine
	6.140

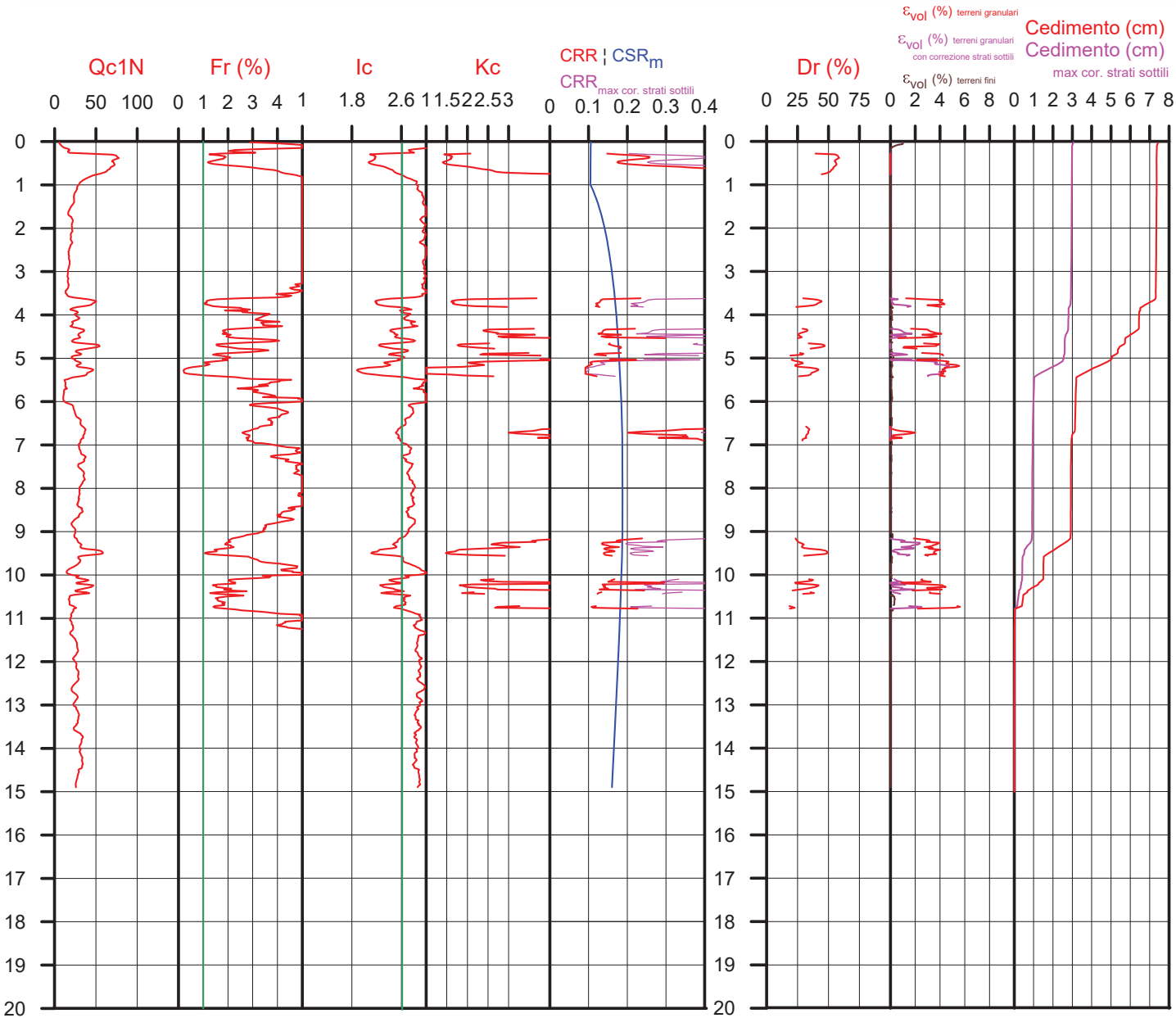
DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.815
Suolo di riferimento	fattore amplificazione
Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	3.085
	magnitudine
	6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009 PER TR = 332 ANN

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento	7.0	49.5
Cedimento considerando strati sottili	2.6	11.2

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento dei terreni fini calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	0.5	7.4
Cedimento considerando strati sottili	0.5	3.1

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su  $F_{slq}$  e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE			POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
	0.9	IL <= 2	BASSO
2.9		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

CPT 4

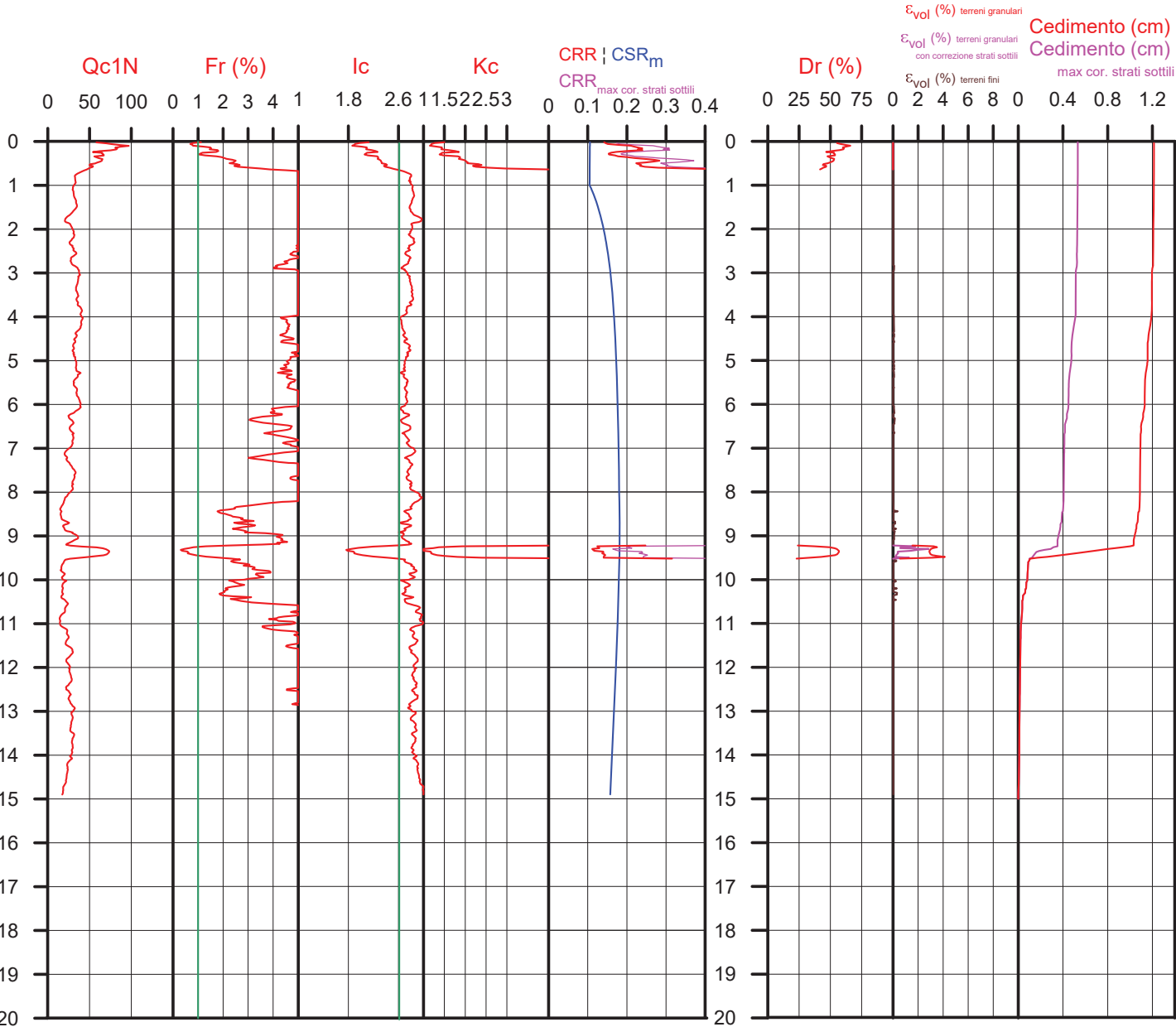
Falda presunta 1 metri

NTC 2018		DGR Emilia-Romagna 476 / 2021	
latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)	latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579	longitudine 11.557772°	1.815
tipo di suolo	fattore amplificazione	Suolo di riferimento	fattore amplificazione
C	1.469	Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)	amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320	1.000	3.085
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine		magnitudine
	6.140		6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009 PER TR = 332 ANN

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento	0.9	30.5
Cedimento considerando strati sottili	0.3	0.6

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento dei terreni fini calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	0.3	1.2
Cedimento considerando strati sottili	0.3	0.5

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.4	0.0	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

CPT 5

Falda presunta 1 metri

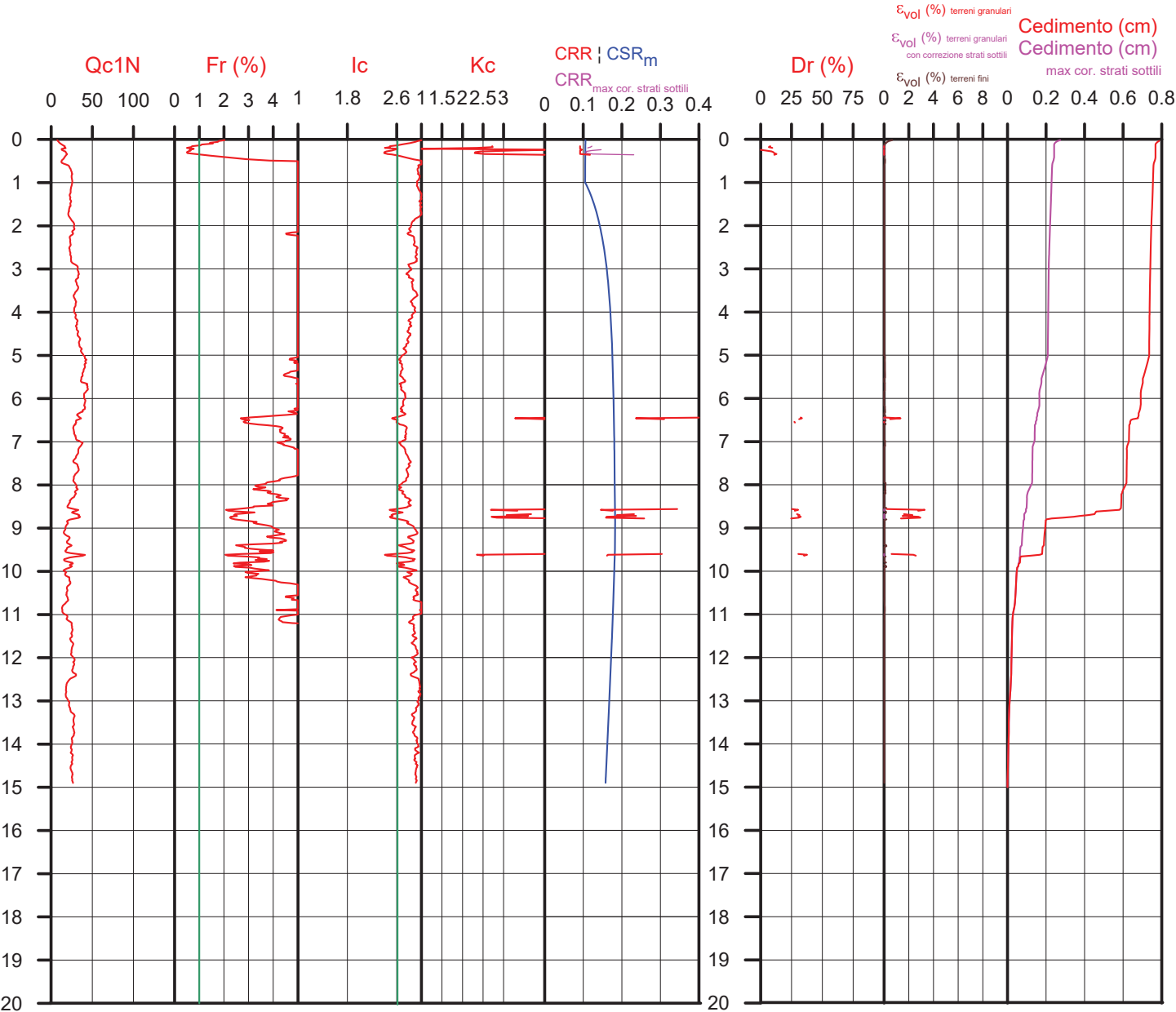
NTC 2018	
latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2) 1.579
longitudine 11.557772°	
tipo di suolo C	fattore amplificazione 1.469
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitudine 6.140

DGR Emilia-Romagna 476 / 2021	
latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2) 1.815
longitudine 11.557772°	
Suolo di riferimento Pianura 2	fattore amplificazione 1.700
amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.085
	magnitudine 6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009 PER TR = 332 ANN

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR 7.5 / CSR 6.14$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento	0.5	0.8
Cedimento considerando strati sottili	0.0	0.0

### CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- \* Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento dei terreni fini calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale finì + granulari (cm)
Cedimento	0.3	0.8
Cedimento considerando strati sottili	0.3	0.3

### VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su  $F_{slq}$  e la profondità,

- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- \* Profondità

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.1	0.0	IL <= 2	BASSO
		2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

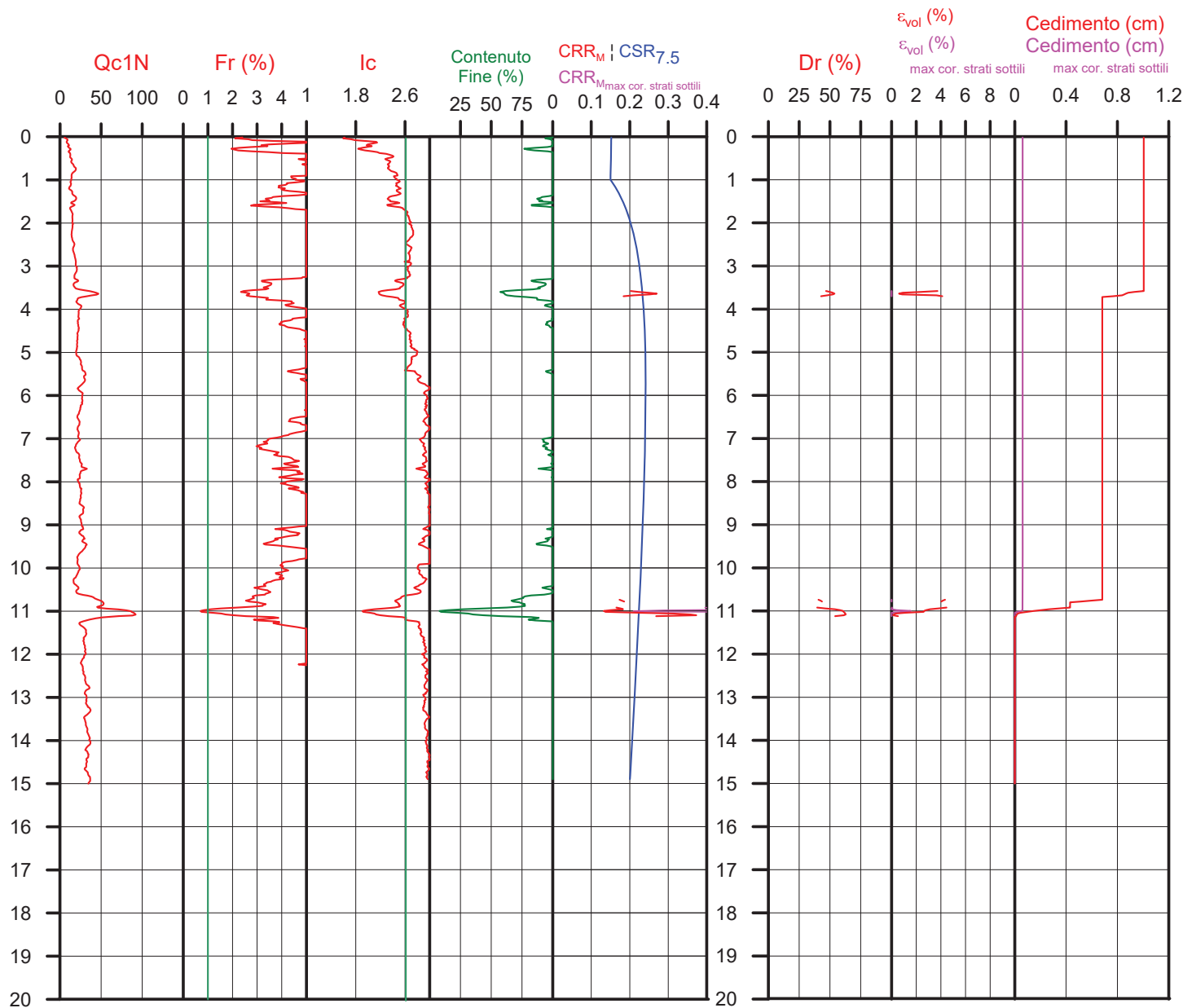
CPT 1  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018		DGR Emilia-Romagna 476 / 2021	
latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)	latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579	longitudine 11.557772°	1.815
tipo di suolo	fattore amplificazione	Suolo di riferimento	fattore amplificazione
C	1.469	Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)	amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320	1.000	3.085
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude		magnitude
	6.140		6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO BOULANGER & IDRIS 2014 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR secondo Boulanger & Idriss 2014 (Cyclic Stress Ratio per magnitudine 7.5)
- \* CRR<sub>M</sub> (Cyclic Resistance Ratio corretto per magnitudine 6.14) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Contenuto di fine secondo Boulanger & Idriss 2014
  - Correzione di Qc1N a Qc1N<sub>cs</sub> basato su contenuto di fine e Qc1N
  - MSF (Magnitude Scaling Factor secondo Boulanger & Idriss 2014"
- \* Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di correzione per tensione efficace K<sub>G</sub> secondo Boulanger & Idriss 2014.
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:  
Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta.
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: F<sub>sliq</sub> = CRR<sub>6.14</sub> \* K<sub>s</sub> / CSR<sub>7.5</sub>

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	1.0	24.4
Cedimento totale correzione strati sottili	0.1	0.2

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SONMEZ 2003)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su F<sub>sliq</sub> e la profondità.

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Sonmez 2005)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.3	0.0	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

### PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
1	0	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

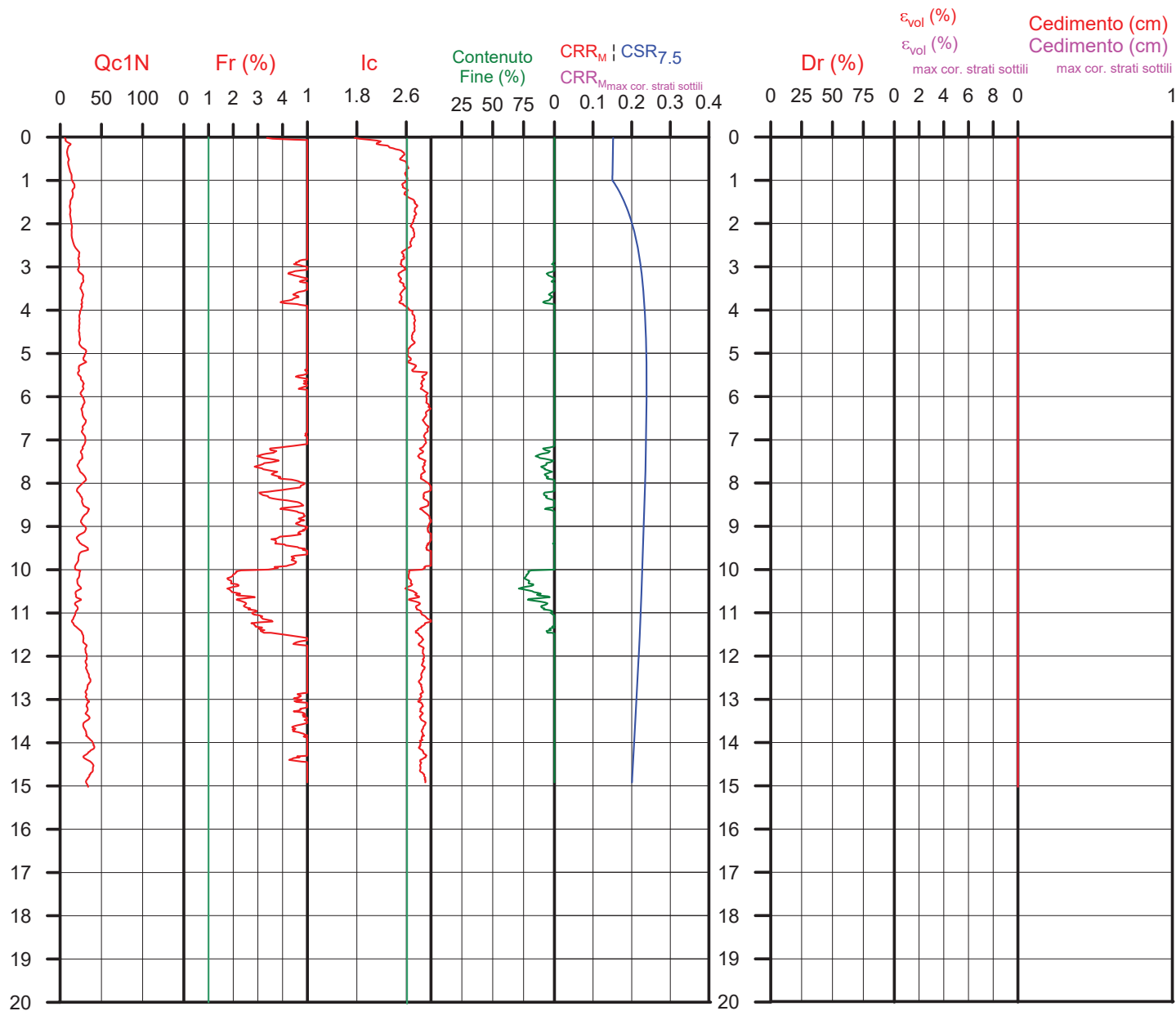
CPT 2  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018		DGR Emilia-Romagna 476 / 2021	
latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)	latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579	longitudine 11.557772°	1.815
tipo di suolo	fattore amplificazione	Suolo di riferimento	fattore amplificazione
	C	Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)	amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320	1.000	3.085
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude		magnitude
	6.140		6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO BOULANGER & IDRIS 2014 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR secondo Boulanger & Idriss 2014 (Cyclic Stress Ratio per magnitudine 7.5)
- \* CRR<sub>M</sub> (Cyclic Resistance Ratio corretto per magnitudine 6.14) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Contenuto di fine secondo Boulanger & Idriss 2014
  - Correzione di Qc1N a Qc1N<sub>cs</sub> basato su contenuto di fine e Qc1N
  - MSF (Magnitude Scaling Factor secondo Boulanger & Idriss 2014)
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di correzione per tensione efficace K<sub>G</sub> secondo Boulanger & Idriss 2014.
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:  
Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta.
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fsl<sub>iq</sub> = CRR<sub>6.14</sub> \* K<sub>s</sub> / CSR<sub>7.5</sub>

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento	Indice di spostamento laterale LDI
	(cm)	(cm)
Cedimento totale	0.0	0.0
Cedimento totale correzione strati sottili	0.0	0.0

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SONMEZ 2003)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fsl<sub>iq</sub> e la profondità.

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Sonmez 2005)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.0	0.0	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

### PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
0	0	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA



Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29-set-23

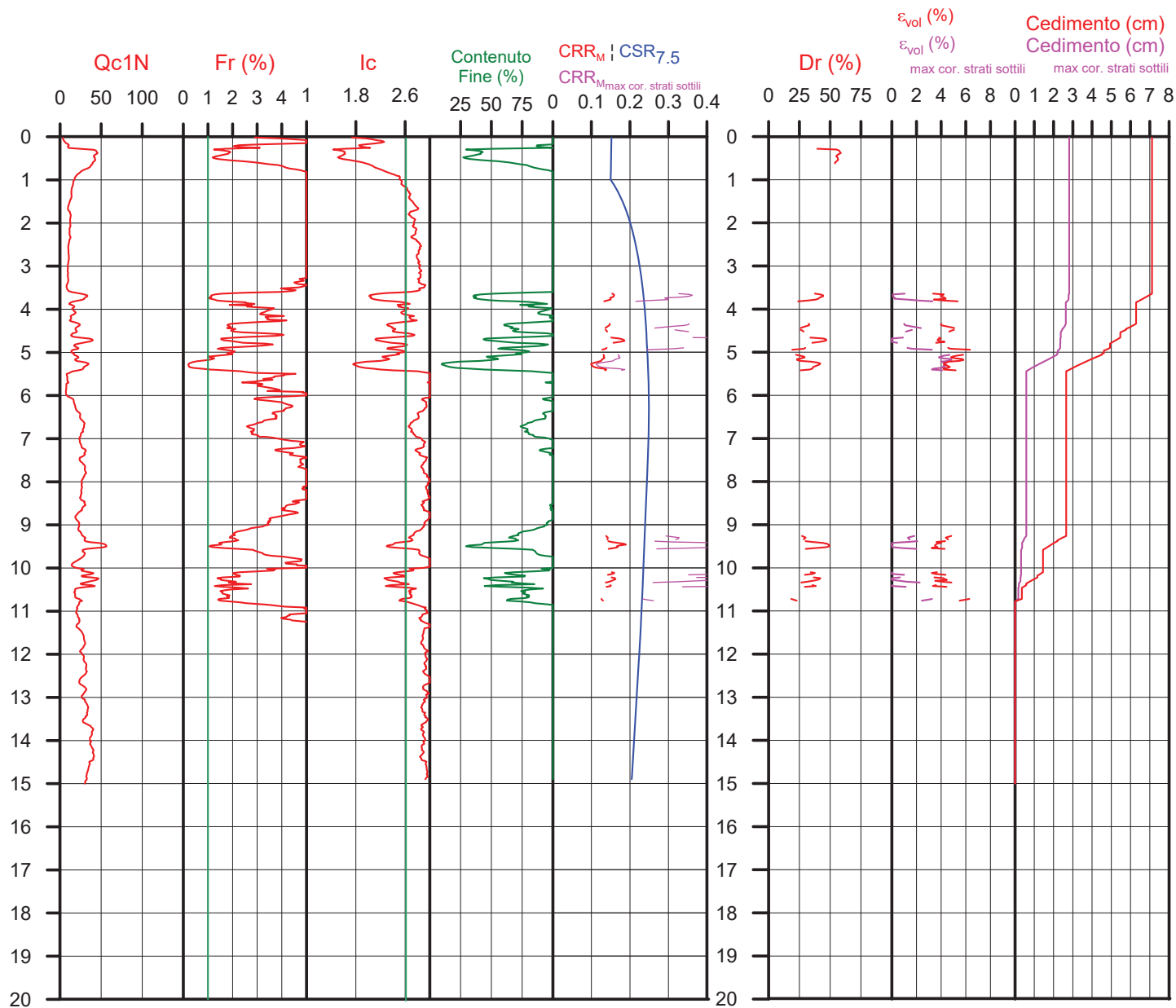
CPT 3  
Falda presunta 1 metri

NTC 2018		DGR Emilia-Romagna 476 / 2021	
latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)	latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579	longitudine 11.557772°	1.815
tipo di suolo	fattore amplificazione	Suolo di riferimento	fattore amplificazione
C	1.469	Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)	amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320	1.000	3.085
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude		magnitude
	6.140		6.140



Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO BOULANGER & IDRIS 2014 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR secondo Boulanger & Idriss 2014 (Cyclic Stress Ratio per magnitudine 7.5)
- \* CRR<sub>m</sub> (Cyclic Resistance Ratio corretto per magnitudine 6.14) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Contenuto di fine secondo Boulanger & Idriss 2014
  - Correzione di Qc1N a Qc1N<sub>s</sub> basato su contenuto di fine e Qc1N
  - MSF (Magnitude Scaling Factor secondo Boulanger & Idriss 2014)
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>s</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di correzione per tensione efficace K<sub>G</sub> secondo Boulanger & Idriss 2014.
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta.
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: F<sub>slq</sub> = CRR<sub>6.14</sub> \* K<sub>s</sub> / CSR<sub>7.5</sub>

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	7.1	55.3
Cedimento totale correzione strati sottili	2.8	11.4

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SONMEZ 2003)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su F<sub>slq</sub> e la profondità.

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Sonmez 2005)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
	1.1	IL <= 2	BASSA
4.3		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

### PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
9	4	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

CPT 4

Falda presunta 1 metri

#### NTC 2018

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579
tipo di suolo	fattore amplificazione
C	1.469
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude
	6.140

#### DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.815
Suolo di riferimento	fattore amplificazione
Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	3.085
	magnitude
	6.140

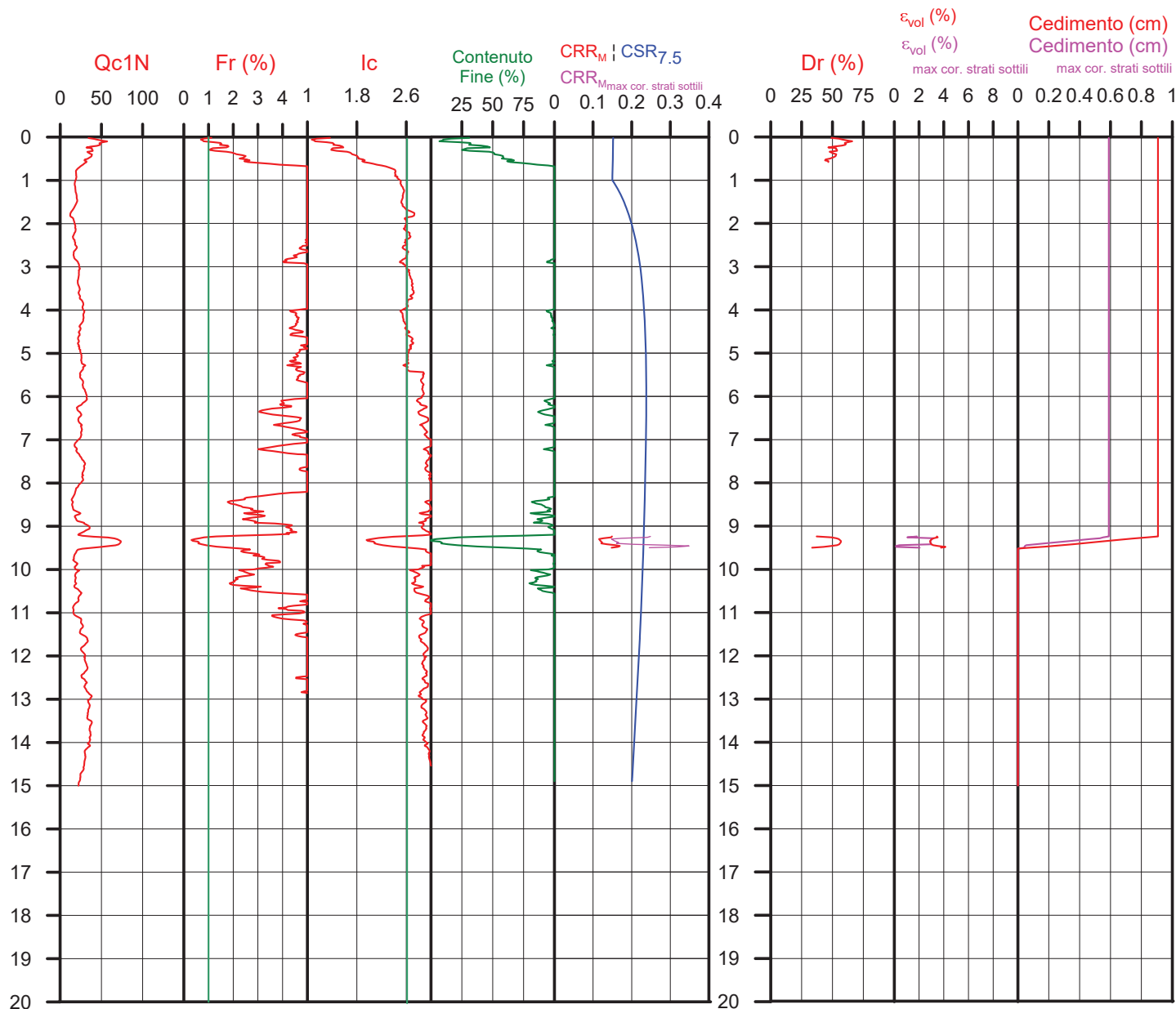


Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO BOULANGER & IDRIS 2014 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR secondo Boulanger & Idriss 2014 (Cyclic Stress Ratio per magnitudine 7.5)
- \* CRR<sub>M</sub> (Cyclic Resistance Ratio corretto per magnitudine 6.14) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Contenuto di fine secondo Boulanger & Idriss 2014
  - Correzione di Qc1N a Qc1N<sub>cs</sub> basato su contenuto di fine e Qc1N
  - MSF (Magnitude Scaling Factor secondo Boulanger & Idriss 2014)
- \* Fattore Kh per la correzione di Qc1N<sub>cs</sub> per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di correzione per tensione efficace K<sub>G</sub> secondo Boulanger & Idriss 2014.
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:  
Ic > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta.
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: F<sub>slq</sub> = CRR<sub>6.14</sub> \* K<sub>s</sub> / CSR<sub>7.5</sub>

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	0.9	24.2
Cedimento totale correzione strati sottili	0.6	14.4

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I<sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SONMEZ 2003)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su F<sub>slq</sub> e la profondità.

INDICE I <sub>L</sub> DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Sonmez 2005)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.6	0.2	IL <= 2	BASSA
		2 < IL <= 5	MODERATA
		5 < IL <= 15	ELEVATA
		IL > 15	MOLTO ALTA

### PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
1	1	PPbl <= 15	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPbl <= 35	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPbl <= 65	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		65 < PPbl <= 85	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl > 85	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Medicina  
Via Passo Pecore Cento  
Villa Fontana  
Servin  
29/09/2023

CPT 5  
Falda presunta 1 metri

#### NTC 2018

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.579
tipo di suolo	fattore amplificazione
C	1.469
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	2.320
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	magnitude
	6.140

#### DGR Emilia-Romagna 476 / 2021

latitudine 44.501493°	amax substrato (m/sec2)
longitudine 11.557772°	1.815
Suolo di riferimento	fattore amplificazione
Pianura 2	1.700
amplificazione topografica	amax al p.c. (m/sec2)
1.000	3.085
	magnitude
	6.140

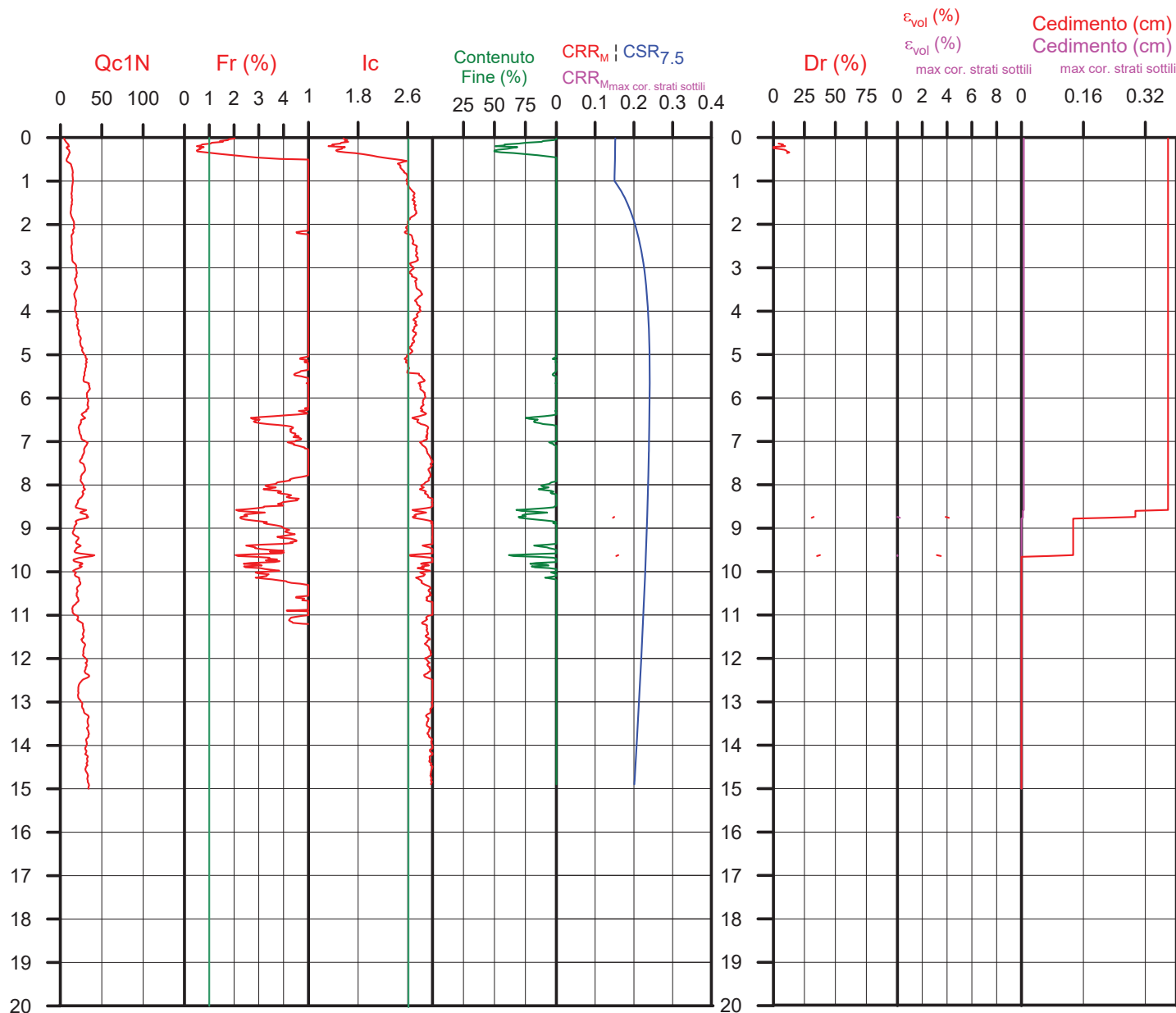


Società di  
Geologia  
Territoriale

S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com



## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO BOULANGER & IDRIS 2014 PER TR = 332 ANNI

- \* amax e fattore di amplificazione secondo NTC 2018
- \* CSR secondo Boulanger & Idriss 2014 (Cyclic Stress Ratio per magnitudine 7.5)
- \* CRR<sub>M</sub> (Cyclic Resistance Ratio corretto per magnitudine 6.14) calcolato con
  - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
  - Contenuto di fine secondo Boulanger & Idriss 2014
  - Correzione di Qc1N a Qc1Ncs basata su contenuto di fine e Qc1N
  - MSF (Magnitude Scaling Factor secondo Boulanger & Idriss 2014)
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di correzione per tensione efficace  $K_{\sigma}$  secondo Boulanger & Idriss 2014.
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:  $I_c > 2.60$  e  $Fr > 1\%$  e spessori sopra falda presunta.
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione:  $F_{slq} = CRR_{6.14} * K_{\sigma} / CSR_{7.5}$

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	0.4	0.6
Cedimento totale correzione strati sottili	0.0	0.0

### VALUTAZIONE DELL' INDICE $I_L$ DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (SONMEZ 2003)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su  $F_{slq}$  e la profondità.

INDICE $I_L$ DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Sonmez 2005)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili		
0.2	0.0	$IL \leq 2$	BASSA
		$2 < IL \leq 5$	MODERATA
		$5 < IL \leq 15$	ELEVATA
		$IL > 15$	MOLTO ALTA

### PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPbl (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

INDICE PPbl DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)			GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	%	
0	0	PPbl $\leq 15$	NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		$15 < PPbl \leq 35$	LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		$35 < PPbl \leq 65$	LIQUEFAZIONE E NON LIQUEFAZIONE UGUALMENTE PROBABILE
		$65 < PPbl \leq 85$	LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPbl $> 85$	LIQUEFAZIONE QUASI CERTA