COMUNE DI SALA BOLOGNESE

AMBITO ARS_SB.II - PARTE NORD

VARIANTE AL POC
CON VALENZA DI PUA

AI SENSI DELLA DELIBERA DEL CONSIGLIO COMUNALE N. 57 DEL 30/09/2021

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO TECNICO

Proprietà:

Eros Marangoni
Silvia Marangoni
Gilberto Tabarini
Silvana Vignoli
Gianfranco Gualandi
Giorgio Gualandi
Reno srl

Progettista e D.L.

Ing. Mirco FANTONI

STUDIO DI INGEGNERIA CIVILE

Ing. Mirco FANTONI — Ing. GIOVANNI MATTIOLI

Via Due Ponti, 11 - Argelato (Bo) - tel. 051/6637230 - E-mail studio@fantonimattioli.it - Pec mirco.fantoni@ingpec.eu

TAVOLA	RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA QUALITA' DEI SUOLI		COLLABORATORI:
DATA 10/11/2021	AGG.		

COMUNE DI SALA BOLOGNESE

Città Metropolitana di Bologna

VARIANTE AL POC CON VALENZA DI PUA DELL'AMBITO ARS_SB.II

RELAZIONE GEOLOGICA E SULLA QUALITA' DEI SUOLI

Committenti

Eros Marangoni
Silvia Marangoni
Gilberto Tabarini
Silvana Vignoli
Gianfranco Gualandi
Giorgio Gualandi
Reno s.r.l.

Consulente incaricato

Dott. Geol. LUCA GRILLINI

Novembre 2021

Dott. Geol. Luca Grillini
GEOLOGIA–GEOTECNICA–STUDI DI IMPATTO AMBIENTALE–PROGETTI PER IL TERRITORIO
Via Stoppato,16–40128 Bologna–tel. e fax 051.322400 e–mail: lucagrillini@libero.it

INDICE

1.	Introduzione	Pag. 2
2.	Ubicazione dell'area	Pag. 2
3.	Inquadramento progettuale	Pag. 6
4.	Inquadramento geologico	Pag. 9
5.	Geomorfologia	Pag. 12
6.	Schematizzazione litostratigrafica	Pag. 16
7.	Caratterizzazione geotecnica	Pag. 20
7.1.	Determinazione dei valori caratteristici e di progetto	Pag. 20
7.2.	Schematizzazione geotecnica	Pag. 23
8.	Subsidenza	Pag. 30
9.	Caratterizzazione sismica	Pag. 33
10.	Analisi sismica di III° Livello	Pag. 45
11.	Potenzialità di liquefazione e stima dei cedimenti post-sismici	Pag. 73
11.1	Stima della potenzialità di liquefazione	Pag. 73
11.2	Stima dei cedimenti post-sismici	Pag. 80
12.	Acque superficiali	Pag. 84
13	Acque sotterranee	Pag. 86
14.	Analisi della qualità dei suoli	Pag. 95
14.1.	Ricostruzione storica dell'area	Pag. 95
14.2.	Indagine sulla qualità dei suoli	Pag. 101
15.	Gestione delle terre di scavo	Pag. 107
16.	Conclusioni	Pag. 108

ELENCO DEGLI ALLEGATI

All. 1 : Tabulati delle prove penetrometriche statiche

All. 2 : Tabulati delle elaborazioni statistiche dei dati delle prove penetrometriche

All. 3 : Stima della velocità di propagazione delle onde di taglio S e misura delle principali frequenze di risonanza dei terreni

All. 4 : Documentazione inerente le prove geognostiche di archivio

All. 5 : Tabulati inerenti la stima del fenomeno della liquefazione

All. 6 : Tabulati inerenti la stima dei cedimenti post-sismici

All. 7 : Documentazione inerente le trincee di esplorazione

All. 8 : Certificati di analisi dei campioni di suolo

1. INTRODUZIONE

La presente relazione viene svolta in accordo con i contenuti del Decreto Ministeriale 17/01/2018 (G.U. n° 8 del 20/02/2018, Suppl. ord. n° 42) “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
L’oggetto della relazione consiste nella determinazione del Modello Geologico di un’area ad uso residenziale in località Padulle in Comune di Sala Bolognese, oggetto di una Variante al P.O.C. con valenza di P.U.A. e corrispondente alla porzione settentrionale dell’Ambito denominato ARS_SB.II.

La relazione viene eseguita sulla base di una metodologia di indagine avente lo scopo di raccogliere tutti i dati qualitativi e quantitativi necessari, secondo il seguente schema :

- definizione dell’inquadramento geologico e geomorfologico;
- individuazione delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche locali;
- stima della subsidenza e del rischio sismico;
- determinazione delle caratteristiche dell’idrologia superficiale e sotterranea.

2. UBICAZIONE DELL’AREA

L’area in esame (si veda la fig. 1) è situata in località Padulle in Comune di Sala Bolognese. Essa è compresa nell’elemento n° 202164 “Padulle” della Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia Romagna (si veda la fig. 2).
Nella fig. 3 viene fornita la delimitazione del sito sulla base della foto aerea del 2018, tratta dal Geoportale della Regione Emilia-Romagna.

L’area dell’intervento corrisponde catastalmente ai terreni censiti al Catasto Terreni del Comune di Sala Bolognese al Foglio 26, mappali 63, 72, 76, 80, 109 parte, 460, 463, 472, 488 e 526 (si veda la fig. 4).
All’interno del perimetro dell’Ambito sono comprese una cabina elettrica di proprietà di E-Distribuzione S.p.A. (mappale 262) e lo Scolo Caprara, di area demaniale, ai cui lati sono presenti due aree di proprietà demaniale e con usufrutto del Consorzio della Bonifica Renana (mappali 81 e 82).

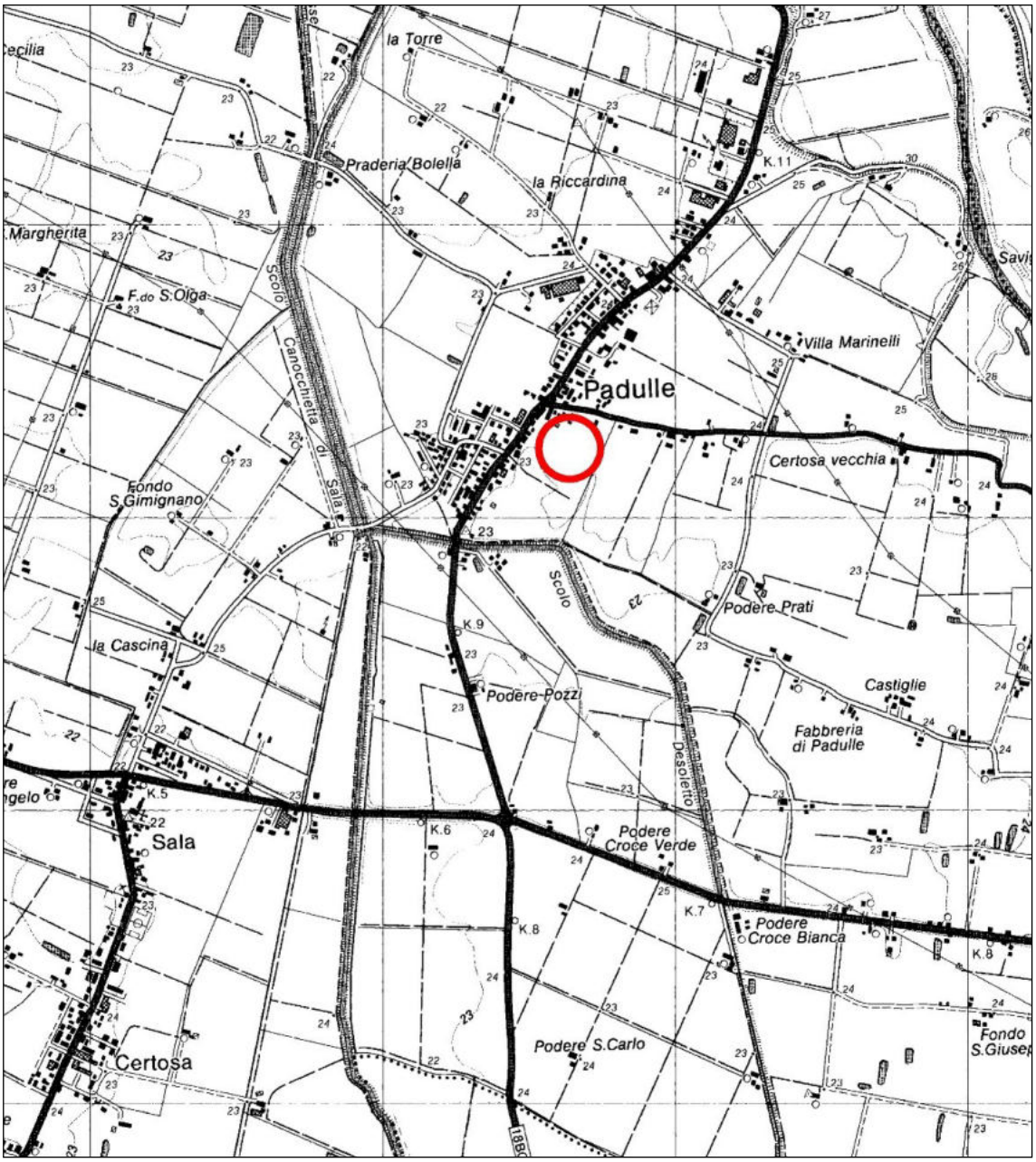


Fig. 1 : Corografia

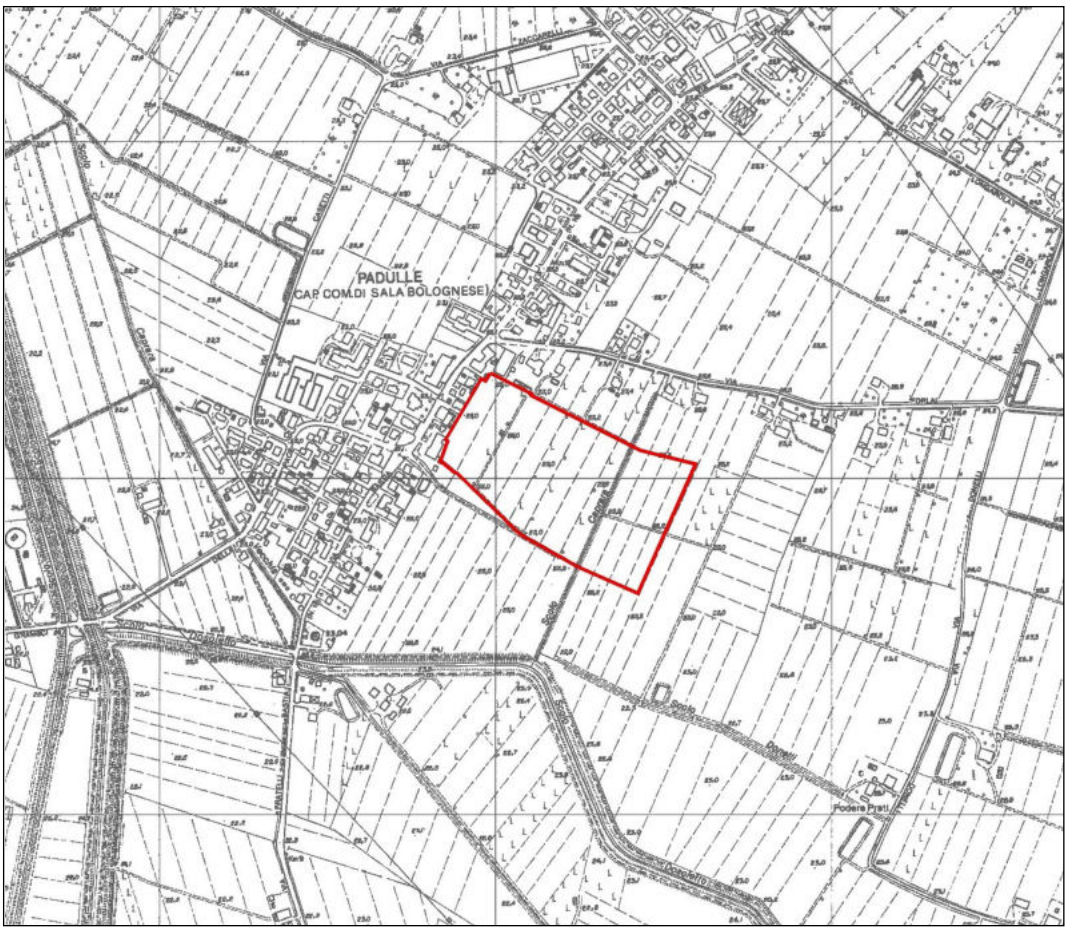


Fig. 2 : Ubicazione dell'area di intervento sulla Carta Tecnica Regionale

Fig. 3 : Foto aerea del 2018 (tratta dal Geoportale della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 4 : Planimetria catastale (tratta dal WebSIT del Comune di Sala Bolognese)

3. INQUADRAMENTO PROGETTUALE

Il progetto in esame corrisponde all'attuazione di una porzione dell'ambito ARS_SB.II, individuato dal P.S.C. e dal R.U.E. del Comune di Sala Bolognese (si veda la fig. 5).

Tutti i lotti di intervento avranno una destinazione residenziale, integrata con le funzioni compatibili con la residenza, ed è prevista anche la realizzazione di un grande parco urbano dell'estensione di circa 25.000 mq, unitamente ad altre aree verdi, situate in corrispondenza delle fasce di rispetto dello Scolo Caprara e della S.P. n° 18 "Padullese".

Il progetto (si veda la fig. 6) prevede la realizzazione di 24 lotti edificabili ed i fabbricati presentano dimensioni ed altezze differenziate, variando da due a tre piani fuori terra. Il numero di alloggi previsto è pari a 114.

I parametri urbanistici ed edilizi sono riassunti di seguito.

Superficie territoriale ST	**63.200 mq**
Superficie utile SU	8000 mq
Verde pubblico	24.965 mq
Parcheggi pubblici	3.214 mq
Superficie strade	5.530 mq
Superficie marciapiedi e percorsi ciclopedonali	2.909 mq
Aree lotti	26.582 mq

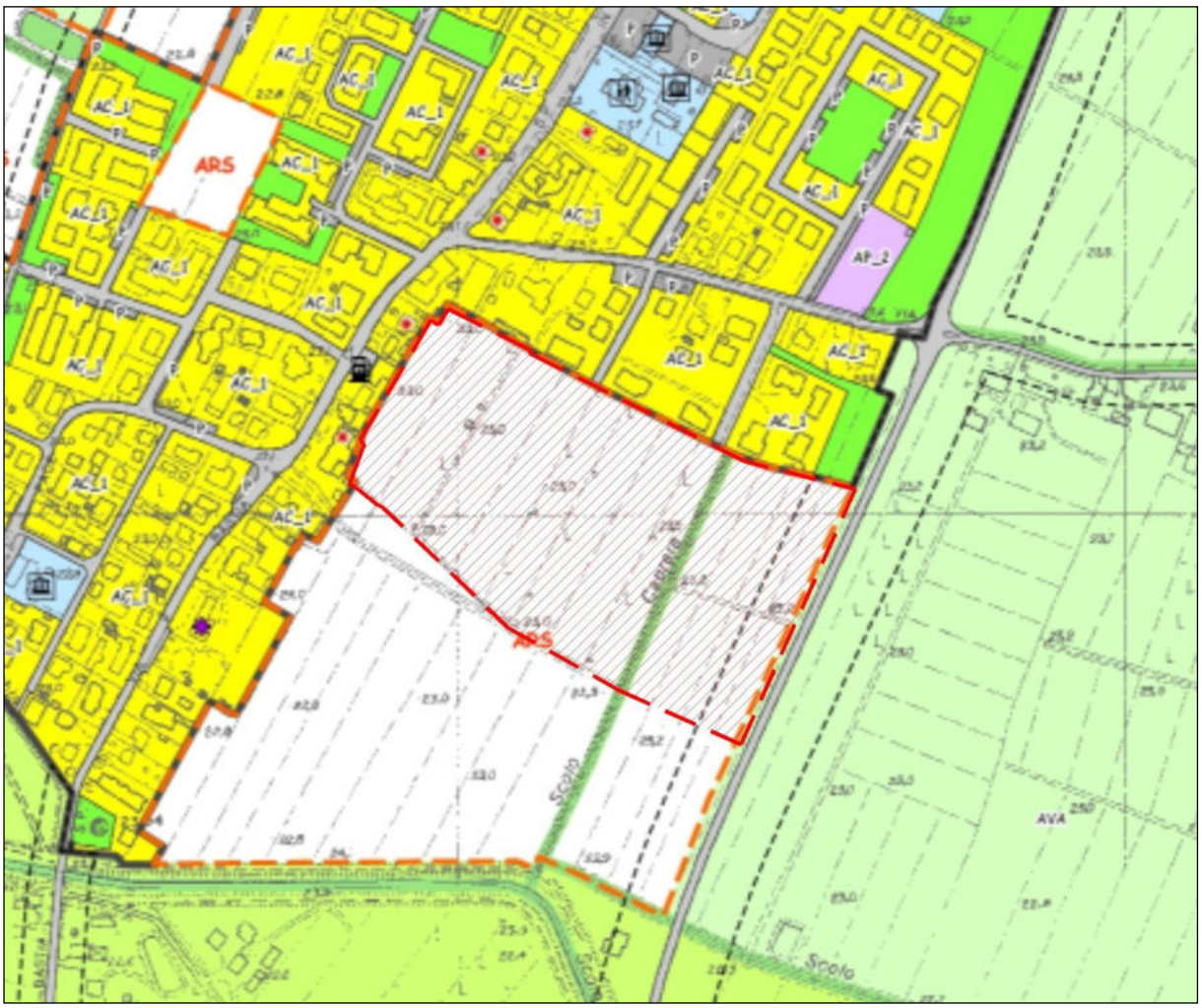


Fig. 5 : Stralcio della tavola RUE.SB/Tb "Classificazione del territorio urbanizzato e del territorio rurale" (dal R.U.E. dell'Associazione Terre d'Acqua)

Fig. 6 : Planimetria proposta dell'intervento

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La formazione della pianura bolognese, nella quale è situato il territorio in esame, è legata all'evoluzione tettonico-sedimentaria del bacino padano.

Le prospezioni geofisiche ed i sondaggi effettuati dall'Agip per la ricerca di idrocarburi hanno individuato nel sottosuolo padano strutture profonde (si veda la fig. 7), sviluppatesi in un lasso di tempo compreso tra il Miocene superiore ed il Pleistocene, geneticamente connesse alla tettonica di embricazione che ha caratterizzato l'evoluzione strutturale dell'Appennino. I fronti dei sovrascorrimenti sepolti, che interessano le stesse unità litologiche per lo più di origine marina che è possibile osservare in affioramento nel margine collinare, sono marcati da pronunciate pieghe anticlinaliche asimmetriche, vergenti a N-NE, con asse orientato mediamente NW-SE, fra le quali si segnalano le pieghe della cosiddetta Dorsale Ferrarese.

L'indagine geofisica ha inoltre evidenziato la presenza di un importante sistema di faglie che esplica tuttora la sua attività a carattere compressivo, noto in letteratura come "sovrascorrimento pedeappenninico": esso costituisce l'elemento morfo-strutturale di separazione tra la fascia collinare in sollevamento e l'antistante pianura interessata dalla subsidenza. Il significato cinematico attribuito a tale lineamento concorda con il generale sovrascorrimento degli elementi appenninici al di sopra di quelli padani summenzionati.

La pianura bolognese è quindi compresa tra il sistema tettonico del "sovrascorrimento pedeappenninico" ed il fianco meridionale delle pieghe della Dorsale Ferrarese.

Il colmamento del bacino bolognese si è realizzato principalmente in seguito all'attività sedimentaria dei corsi d'acqua appenninici: procedendo dal basso verso l'alto si rinvengono dapprima sedimenti di origine marina, successivamente sedimenti transizionali (lagunari e costieri) ed infine depositi di origine francamente continentale che costituiscono le alluvioni quaternarie. Le variazioni di spessore e dei caratteri deposizionali, registrate dalla successione litostratigrafica, sono riconducibili a fenomeni tettonici e glacio-eustatici che hanno controllato la sedimentazione all'interno del bacino e hanno condizionato la potenzialità deposizionale dei vari corsi d'acqua. Il riempimento del bacino marino ed il successivo passaggio alla sedimentazione continentale non si sono verificati in maniera continua e progressiva, ma sono stati il risultato di eventi tettonico-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Facendo riferimento alla sezione di fig. 8 ed alla successione geologico-stratigrafica riportata nella pubblicazione da cui è tratta, lo schema di riferimento per la pianura bolognese è costituito dalla successione di tre diverse sequenze deposizionali:

- Supersintema del Pliocene medio-superiore: costituisce la base dei gruppi acquiferi del bolognese (età da 3,6 a 2,2 milioni di anni) (in rosa nella sezione)
- Supersintema del Quaternario marino: caratterizzato dalla presenza di 4 complessi acquiferi, depositatisi nel periodo compreso tra 2,2 e 0,65 milioni di anni (in verde e blu nella sezione)
- Supersintema Emiliano-Romagnolo, che rappresenta la *successione quaternaria continentale* (in arancio nella sezione). Questa è litologicamente caratterizzata da ghiaie con scarse sabbie e peliti. In particolare è possibile riconoscere la presenza di due orizzonti pelitici di spessore

significativo (superiore ai 20 metri), che consentono di effettuare una distinzione in 3 megasequenze ghiaiose all'interno della successione in esame; i livelli pelitici sono i seguenti:

- orizzonte inferiore: segnalato alla profondità di 280 m dal p.c., con spessore di 20÷25 m;
- orizzonte superiore : denominato Unità di Fossolo, è situato ad una profondità di circa 120÷140 m dal p.c., con spessori variabili tra 20 m e 30 m (identificato con la lettera G nella sezione di fig. 8).

Allo stato attuale la scarsità dei dati relativi all'orizzonte inferiore suggerisce di utilizzare solamente il livello superiore come *marker* stratigrafico; è così possibile distinguere due unità principali (si veda la fig. 9):

- ***Unità Alluvionale Inferiore***, posta al di sotto dell'Unità di Fossolo e spessa oltre 200 m in corrispondenza del F. Reno;
- ***Unità di Borgo Panigale***, posta al di sopra dell'orizzonte pelitico e caratterizzata da un tenore in ghiaie più elevato di quello dell'unità inferiore.

L'Unità di Borgo Panigale può essere a sua volta suddivisa in 4 cicli di 30-40 m di spessore, nei quali le ghiaie sono separate da orizzonti limosi ed argillosi dello spessore di 5-10 metri. I cicli sono indicati dal basso verso l'alto come Unità BP1, BP2, BP3 e BP4; il ciclo più recente (BP4) è definito come *Unità di Castenaso (UC)*.

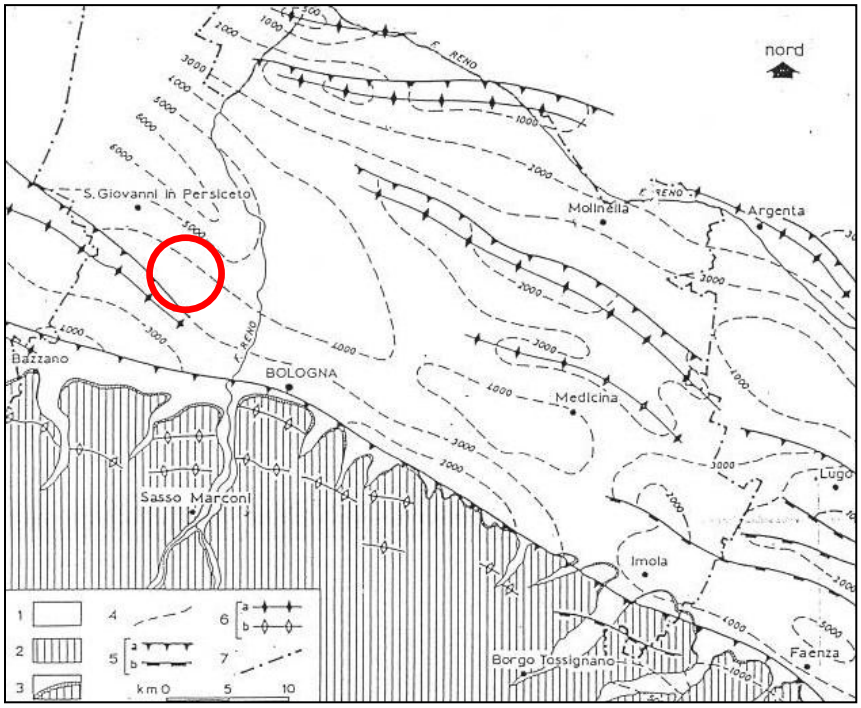


Fig. 7 : Schema morfo-strutturale della pianura bolognese (da Pieri e Groppi, 1981, modif.)

1. zona di pianura : depositi di conoide ed alluvioni fluviali (Olocene-Pleistocene)
2. zona collinare : depositi eterogenei di età dal Miocene al Pleistocene
3. margine della zona collinare
4. isoipse della base del Pliocene
5. faglie dirette sepolte (a) e faglie inverse sepolte (b)
6. assi di anticlinali sepolte (a) e affioranti (b)
7. confine di provincia

ubicazione dell'area

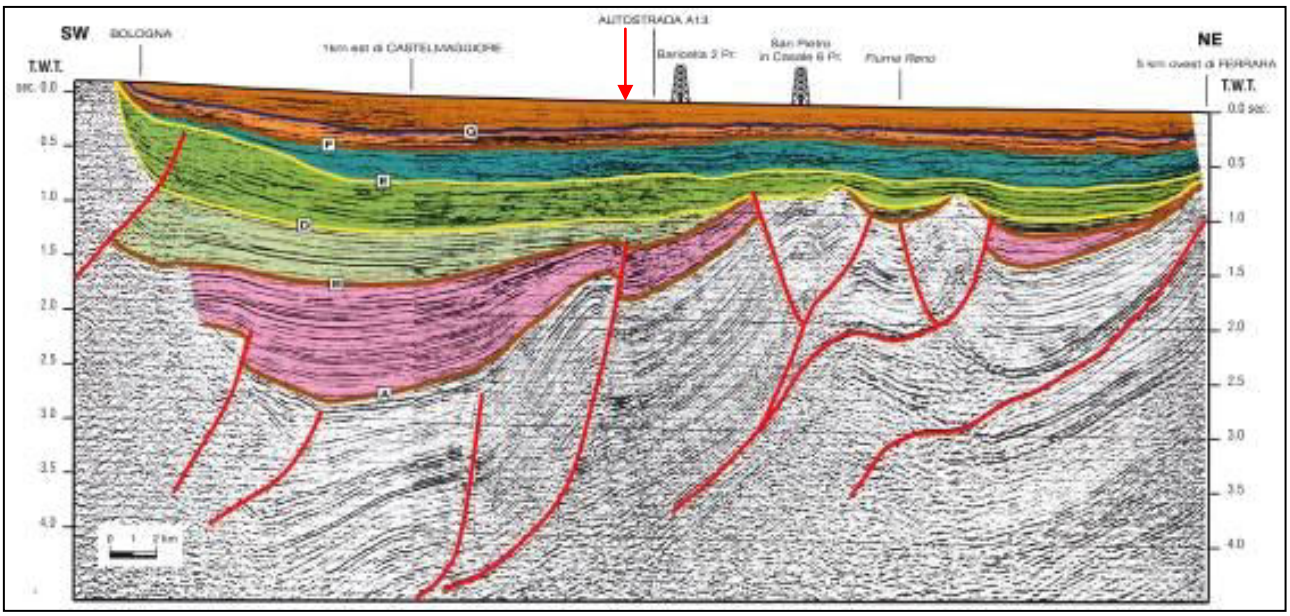


Fig. 8 : Profilo sismico interpretato (cortesia AGIP, tratto da Regione Emilia Romagna – ENI – AGIP, 1998 : Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna, a cura di G. Di Dio)

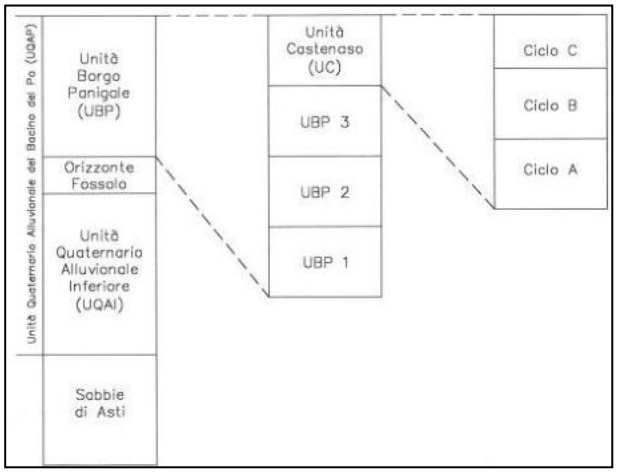


Fig. 9 : Successione geologico-stratigrafica del Quaternario continentale *(da* Amorosi A. e Farina M. : *"Stratigrafia della successione quaternaria continentale della pianura bolognese mediante correlazioni di dati di pozzo"*, in Atti del 1° Congresso Europeo di cartografia geologica regionale - Bologna, giugno 1994 - Vol. 5)

L'orizzonte pelitico che corrisponde alla porzione superiore dell'Unità BP3, su cui poggia l'Unità UC "di Castenaso", è posto alla profondità di circa 40 m dal p.c. e mostra uno spessore variabile tra 12 e 20 m. L'Unità di Castenaso è suddivisibile a sua volta in 3 cicli (dal basso: A, B e C). I singoli cicli presentano una base netta, spesso erosiva sui depositi sottostanti, caratterizzata dal passaggio rapido dai sedimenti fini (argille e limi), che costituiscono la porzione sommitale del ciclo sottostante, ai depositi prevalentemente grossolani (ghiaie e sabbie), che rappresentano la porzione basale del ciclo superiore.

L'alternanza di livelli grossolani e fini all'interno dell'Unità di Castenaso riflette lo sviluppo delle fasi di progradazione e di arretramento dei sistemi di conoide alluvionale in cui sono stati depositati tali materiali.

L'esame della fig. 10 evidenzia il risultato delle diverse fasi sedimentarie, le quali comportano la

deposizione di materiali grossolani o fini a seconda della diversa energia deposizionale: nelle zone prossime alla fascia collinare si sviluppano prevalentemente i depositi grossolani (ghiaie e sabbie) delle conoidi pedeappenniniche, mentre proseguendo verso nord le lenti grossolane si trovano immerse in una massa prevalentemente costituita da sedimenti fini (argille e limi).

L'area di studio (la cui posizione indicativa è stata identificata con una freccia rossa nella fig. 10) è posta in corrispondenza di una zona caratterizzata dalla presenza di rilevanti spessori di materiali sedimentari di origine continentale, costituita dai depositi prevalentemente limoso-argillosi della zona di piana alluvionale.

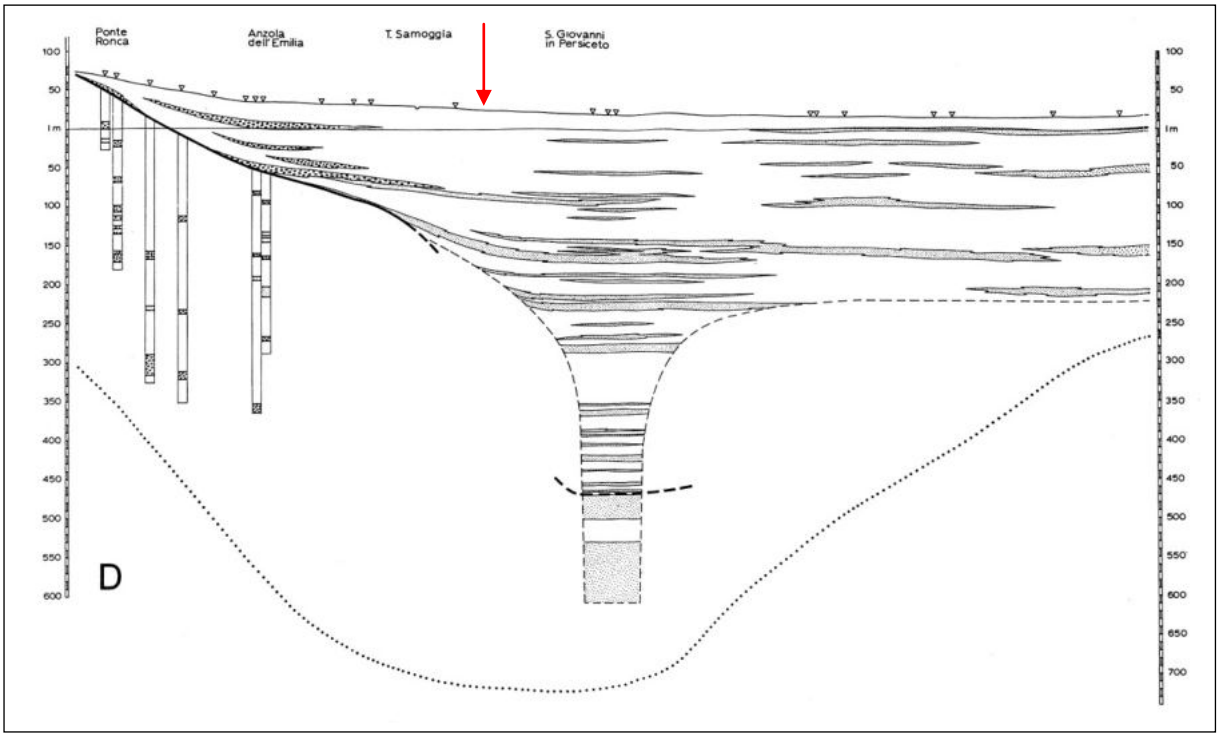


Fig. 10 : Sezione geologica longitudinale (sud-nord) da F. Francavilla et alii : *"Caratteri idrogeologici, strutturali e paleoecologico-stratigrafici del conoide del fiume Reno (Bologna)"* IRSA-CNR, 1980

5. GEOMORFOLOGIA

Osservando la distribuzione dei depositi quaternari, sulla base delle loro differenti caratteristiche sedimentologiche, morfologiche e tessiturali è possibile suddividere la pianura bolognese in tre fasce (alta, media e bassa), procedendo da sud verso nord.

La brusca variazione dei parametri idrodinamici, al passaggio tra la fascia collinare e quella di pianura, costringe i corsi d'acqua ad adattarsi a nuove condizioni di equilibrio; queste vengono raggiunte mediante il rilascio dei clasti causato dalla minor capacità di trasporto della corrente. Le modalità di questo processo si riflettono sulla distribuzione granulometrica dei sedimenti depositati: i primi a venire rilasciati sono i più grossolani, mentre quelli a tessitura fine vengono trasportati in zone più a valle.

In maniera del tutto analoga a quanto avviene attualmente, nelle aree di alta pianura, situate immediatamente a ridosso degli sbocchi vallivi in pianura, si verificava quindi l'accumulo di

materiali detritici grossolani (sabbie e ghiaie), sotto forma di corpi lenticolari, sovrapposti e giustapposti, costituenti le conoidi alluvionali pedecollinari. Le intercalazioni di depositi argillosi e limosi, sempre presenti, sono riconducibili a riempimenti delle aree di interconoide da parte di correnti fluviali a bassa energia di trasporto. Le modalità deposizionali potevano essere complicate da migrazioni laterali del corso d'acqua che determinavano lo spostamento della porzione attiva della conoide; in altri casi un aumento della capacità erosiva poteva provocare l'asportazione di materiale già deposto con conseguente formazione di incisioni all'interno della conoide.
La media e la bassa pianura sono invece caratterizzate dalla presenza dei dossi fluviali: strutture sviluppate in senso longitudinale, anche per distanze di parecchi chilometri, che si dipartono dalle porzioni distali delle conoidi e che si sono originate in seguito alla deposizione di sedimenti all'interno del canale fluviale.
I dossi corrispondono a momenti della vita del fiume caratterizzati da condizioni di energia di trasporto medio-elevata e rappresentano dei corpi prismatici allungati costituiti da materiali generalmente a tessitura sabbiosa o sabbioso limosa.
In occasione di un eccessivo accrescimento in altezza del dosso e/o di momenti di piena fluviale, potevano verificarsi rotte e diversioni del corso d'acqua, con abbandono del precedente alveo fluviale ed impostazione di una nuova direttrice di scorrimento in aree topograficamente più favorevoli. La formazione dei canali di rotta, essendo legata a momenti di elevata energia di trasporto della corrente, determinava generalmente la deposizione di materiali a tessitura media o medio-fine.
Gli spazi tra i dossi venivano progressivamente colmati mediante tracimazioni periodiche del corso d'acqua dalla struttura sopraelevata del dosso, con conseguente deposizione di materiali a tessitura fine (limi e argille), corrispondenti alle caratteristiche di energia bassa o bassissima della corrente di trasporto fluviale. Le aree di pianura alluvionale venivano così interessate dalla presenza di vaste zone paludose, che fungevano da punto di recapito delle acque della rete idrica superficiale. Le acque si accumulavano in tali zone poiché non trovavano una ulteriore via di sfogo, sia in senso verticale, a causa della presenza di livelli superficiali impermeabili (argille e limi), che in senso orizzontale, in quanto esse corrispondevano alle aree topograficamente meno elevate. L'ampiezza delle aree paludose non era fissa, ma variava in funzione delle portate di afflusso idrico e dell'evaporazione.
A partire dall'epoca romana i fenomeni descritti hanno subito delle modificazioni dovute alla realizzazione di opere di regimazione dei corsi d'acqua e di bonifica delle aree depresse. I corsi d'acqua artificiali hanno dato luogo a strutture morfologiche simili a quelle originatesi in seguito alla libera diversione dei fiumi, ma di dimensioni inferiori, mentre la morfologia degli alvei precedentemente attivi si è generalmente ben conservata.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di intervento è situata nella bassa pianura; in particolare l'esame della fig. 11 consente di osservare come essa si trovi in corrispondenza di una conoide di rotta del F. Reno.

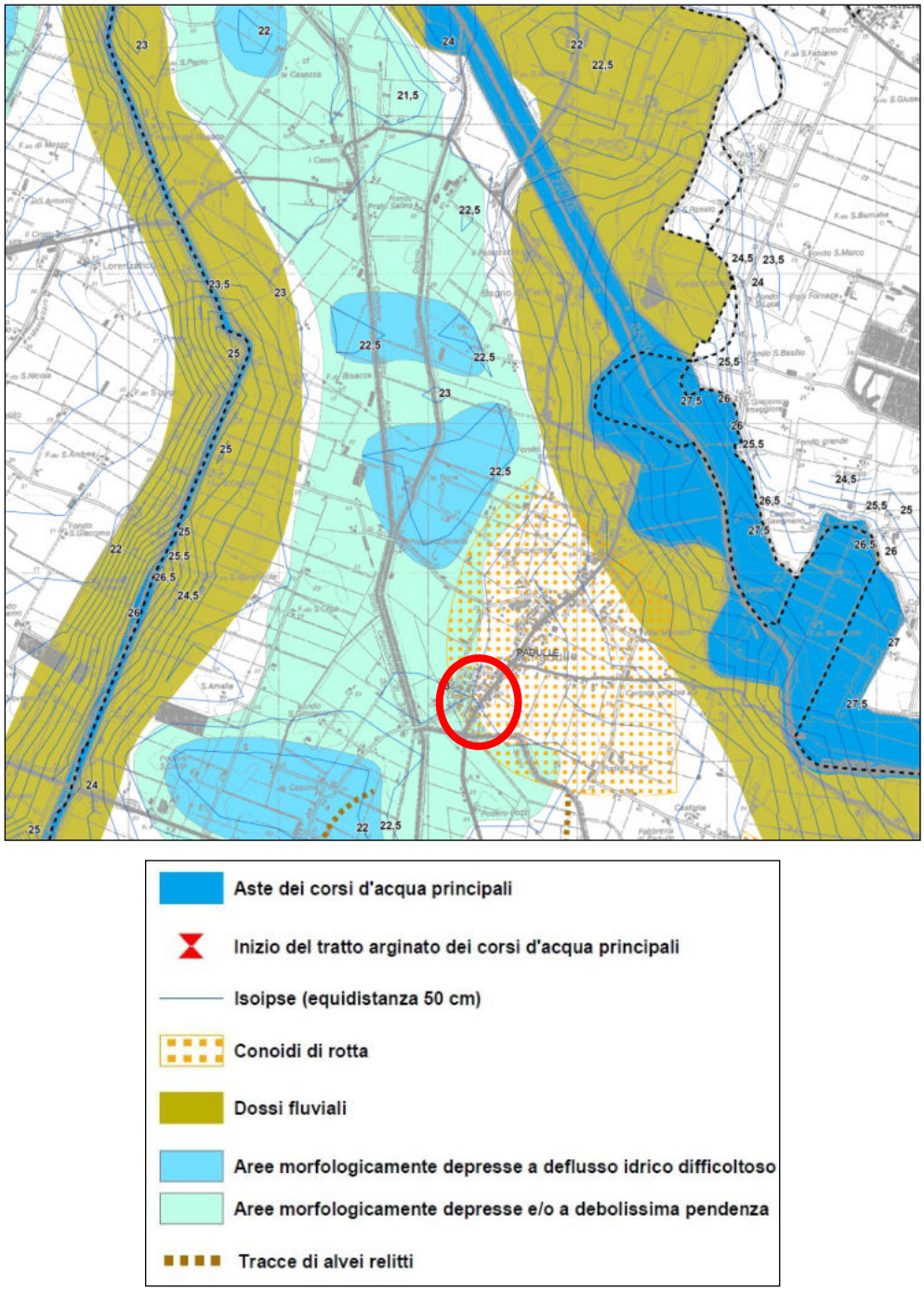


Fig. 11 : Geomorfologia (tratta dalla Tav. QC6.t2 del P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua)

L'analisi geomorfologica storica del F. Reno ha consentito di individuarne diversi tracciati, più o meno importanti, più o meno stabili nel tempo. Nella fig. 12 sono state riportate le principali variazioni del reticolo idrografico principale individuate nella zona della pianura bolognese.

In particolare uno dei più antichi tracciati del F. Reno conosciuti è quello più orientale che da Casalecchio costeggiava Bologna verso est, di età genericamente ***pre-romana*** (Primo conoide di Reno in fig. 12), per poi scorrere verso le terre basse di Minerbio e Baricella ed innestarsi in un alveo antico del Po a sud di Ferrara (denominato in seguito Po di Primaro).

Il corso attivo invece nell'***età romana classica*** (Secondo conoide di Reno in fig. 12) è quello ormai ben conosciuto che da Borgo Panigale passava da Pescarola e Corticella, dove riceveva in destra il T. Savena, toccava Castel Maggiore, Stiatico, S. Giorgio di Piano, S. Pietro in Casale, S. Vincenzo, Poggio Renatico e Coronella, confluendo in Po tra Cassana e Ferrara se e quando riusciva ad arrivarci poiché di frequente le sue acque ristagnavano in una vasta area valliva posta tra il bolognese ed il ferrarese. Tale corso del Reno cessò l'attività tra il ***IV ed il VI secolo d.C.***; in questo periodo il tracciato subì una diversione, utilizzando un nuovo percorso passante per Trebbo, Castel d'Argile e Poggetto, che restò attivo per tutto l'alto medioevo, fino almeno alla fine del X secolo. Verso la ***metà del secolo XI***, il fiume iniziò a fluire più a ovest, a sinistra del percorso altomedievale, in direzione di Cento (Terzo conoide di Reno in fig. 12).
Da allora, la storia del Reno è puntellata di episodi di rotte catastrofiche e di variazioni di percorsi, sia naturali che di origine antropica. Il Reno continuò fino a tutto l'Ottocento a procurare disastri alle coltivazioni ed alle popolazioni, con continue piene e sfondamenti degli argini, i quali erano soggetti a continui rialzi, fino a giungere ad altezza di oltre 13 m in corrispondenza di Beccaria Nuova, contro i 3 m originari previsti dal progetto.

L'esame di fig. 12 evidenzia come l'area di studio sia situata ad occidente della zona della 3ª Conoide del F. Reno.

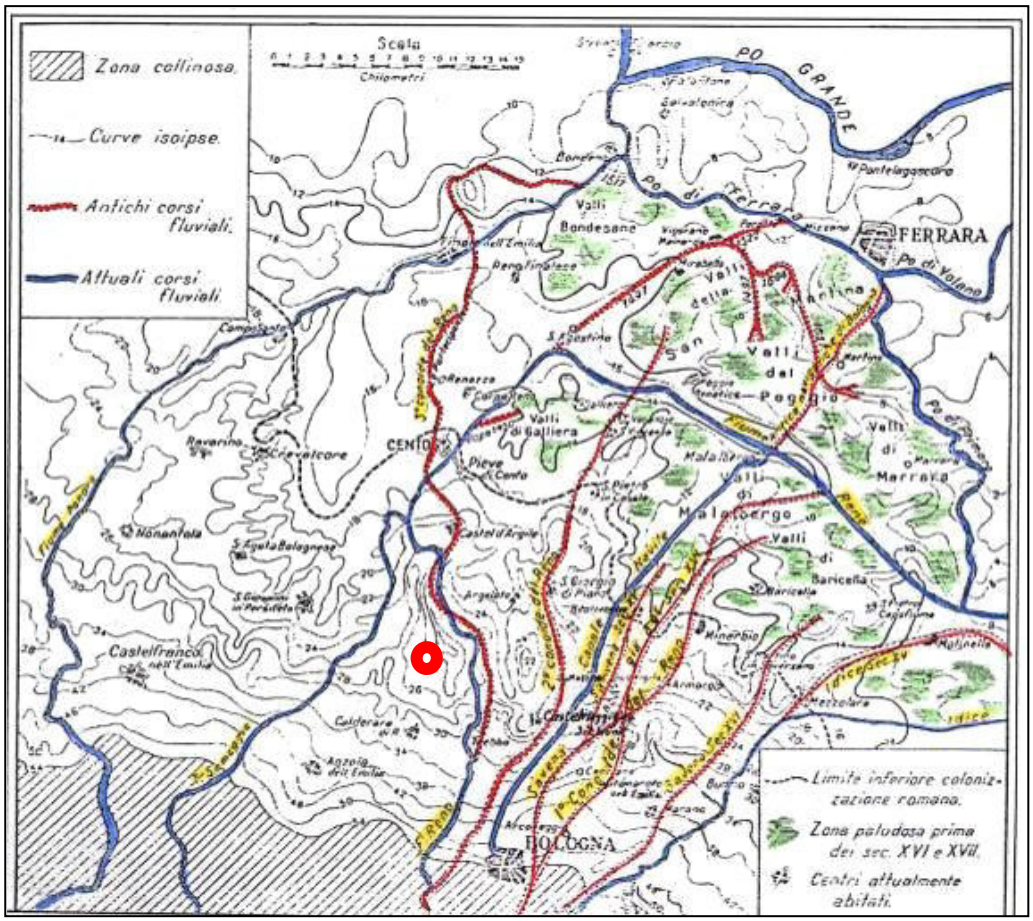


Fig. 12 : Variazioni idrografiche della pianura bolognese fra il Panaro e l'Idice durante i secoli XII÷XVIII *(estratto di A.M. Belli da Lorenzo Cremonini : Castel Maggiore, com'era, com'è)*

6. SCHEMATIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA

Le caratteristiche litostratigrafiche locali sono state individuate mediante l'esecuzione di un'indagine geognostica effettuata appositamente nel sito, la quale è consistita nella realizzazione di 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU1 e 2), spinte fino alla massima profondità di 15 m dal p.c..
L'ubicazione delle prove è riportata nella fig. 13. I tabulati dei dati derivati dall'esecuzione delle prove penetrometriche sono forniti in all. 1.

La schematizzazione litostratigrafica delle prove CPTU 1 e 2 è stata ottenuta mediante l'interpretazione delle prove, svolta applicando il metodo di Robertson et alii (1986, 1990, 2010 e 2016), il quale individua diverse tipologie di comportamento del terreno (Soil Behaviour Type) in funzione della resistenza alla penetrazione della punta del penetrometro e della pressione dei pori.
Nelle figg. 14 e 15 sono riportate le colonne stratigrafiche delle prove CPTU eseguite nel sito, desunte dall'interpretazione applicata.
L'esame di tali elaborati consente di sottolineare la presenza di una sostanziale uniformità litostratigrafica nel sito:

- nella prova CPTU 1 si evidenzia la presenza di un livello superficiale dello spessore di circa 1 m costituito da depositi limoso sabbiosi, inferiormente al quale si incontrano livelli costituiti prevalentemente da argille ed argille limose, con intercalazioni di livelli di limo argilloso;
- nella prova CPTU 2 si osserva la presenza di un livello superficiale di limo sabbioso/sabbia limosa fino a -1,2 m, che passa ai livelli di argilla e limo argilloso segnalati in precedenza. A differenza della prova CPTU 1, in questa prova è stato incontrato un livello di sabbia e sabbia limosa tra 8,5 m e 10,8 m di profondità..

In conclusione si può affermare che i terreni presenti sono costituiti da una tessitura prevalentemente fine (argille e limi argillosi), con la presenza di uno strato sabbioso alla profondità di 8,5/10,8 m nella zona occidentale del comparto.

Nel corso delle prove è stata individuata la presenza di un livello di falda a profondità di 2 m dal p.c..

Fig. 13 : Ubicazione delle prove geognostiche

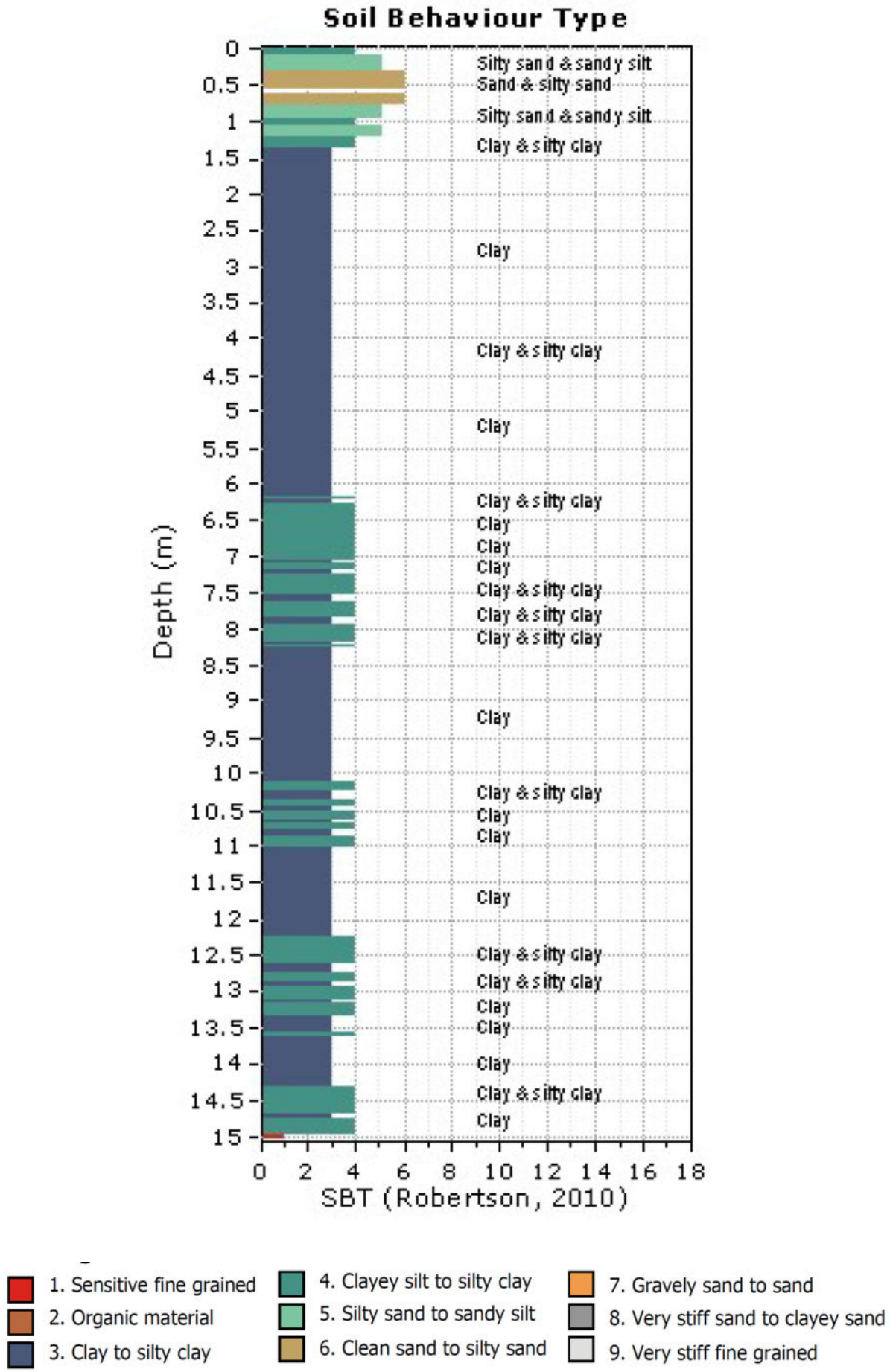


Fig. 14 : Schematizzazione litostratigrafica della prova CPTU 1

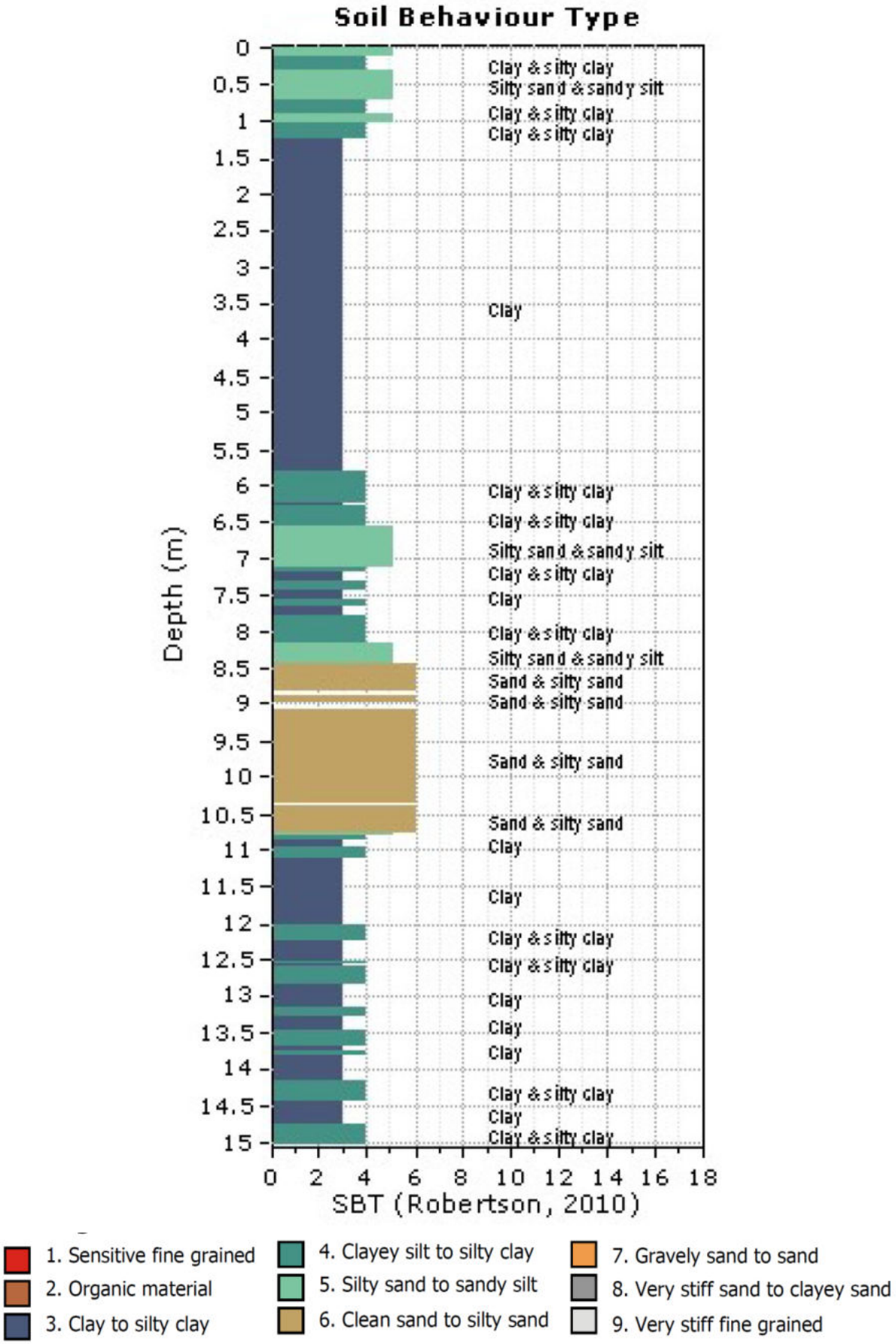


Fig. 15 : Schematizzazione litostratigrafica della prova CPTU 2

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1. Determinazione dei valori caratteristici e di progetto

La determinazione dei valori dei parametri geotecnici è stata sviluppata secondo le indicazioni introdotte dal D.M. 17/01/2018 (G.U. n° 8 del 20/02/2018, Suppl. ord. n° 42) *"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"*. In particolare, per la stima del valore caratteristico e di progetto dei parametri geotecnici di cui al punto 6.2.2. del D.M. 17/01/2018 si è proceduto come segue:

- interpretazione dei dati derivanti dall'indagine geognostica, allo scopo di determinare i valori nominali dei parametri di resistenza al taglio e di deformabilità dei terreni di fondazione;
- i valori così ottenuti sono stati elaborati statisticamente utilizzando i fogli di calcolo *Val_car.xls* e *Val_car2(pochi dati).xls* (forniti dal Dott. Geol. Luca Nori nel Corso di Aggiornamento Professionale del 27/03/2009 organizzato dall'Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna), allo scopo di determinare il **valore caratteristico** dei diversi parametrici geotecnici;
- mediante gli stessi fogli di calcolo ed applicando i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno indicati nella tab. 6.2.II del D.M. sono stati ottenuti i **valori di progetto** dei diversi parametri.

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Per quanto concerne le **modalità di determinazione del valore caratteristico**, si è fatto riferimento ai contenuti del D.M. 17/01/2018 e dell'Eurocodice 7 (*"Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules, Final draft pr EN 1997-1, 2004, CEN"*), che costituisce la normativa che ha introdotto il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

In particolare, al punto 2.4.5.2 (2)P, l'Eurocodice 7 specifica che *"...Il valore caratteristico di un parametro di un terreno o di una roccia deve essere scelto in base ad una valutazione cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite..."*.

Al punto 2.4.5.2 (11) viene stabilito che *"...Qualora si adottino metodi statistici, il valore caratteristico dovrebbe essere ricavato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite in esame, non sia maggiore del 5%. A tal riguardo, una stima cautelativa del valore medio è costituita dalla selezione del valore medio dell'insieme limitato dei valori dei parametri geotecnici, con un livello di confidenza del 95%; nel caso sia prevista la rottura locale, una stima cautelativa del valore minimo corrisponde al 5° percentile..."*.

Il D.M. 17/01/2018 recepisce genericamente tale indicazione, indicando al punto 6.2.2. che *"...per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato..."*.

In merito alla definizione di valore medio si è fatto riferimento alla pubblicazione di R. Carbone e C.M. Tucci *"D.M. 14 gennaio 2008, Eurocodice 7 : una metodologia per la scelta dei parametri geotecnici caratteristici"*, nella quale si citano 3 tipologie di valori medi : il valore medio statistico (che costituisce la media dei valori), il valore medio spaziale (media dei valori di un determinato parametro relativamente ad un determinato volume di terreno) ed il valore medio probabilistico (valore, scelto in un campo di incertezza, tale per cui per lo stato limite da analizzare si ha una probabilità stabilita, per esempio il 5%, che il valore più adeguato alla situazione che si sta analizzando sia inferiore a tale valore probabilistico medio). Utilizzando un metodo statistico per la determinazione del valore caratteristico si considera pertanto il valore medio probabilistico.

I fogli di calcolo utilizzati nel presente lavoro sono stati elaborati dal Dott. Nori applicando le relazioni statistiche per la determinazione della media, distinguendo tra il caso di disponibilità di un set limitato di dati od al contrario di dati più numerosi. Il Dott. Nori (in *"Introduzione operativa al concetto dei valori caratteristici secondo l'Eurocodice 7 (norma europea prEN1997-1"*, 2009) considera un numero di dati inferiore a 5 come un dataset limitato.

Nell'all. 2 sono riportati i tabulati dei fogli di calcolo Val_car.xls e Val_car2(pochi dati).xls utilizzati per la determinazione dei valori caratteristici e di progetto della coesione non drenata.

Le procedure di calcolo utilizzate nei fogli di calcolo sono sintetizzate di seguito.

Foglio di calcolo		**Val_car.xls**
Numerosità dei dati		**Molti dati (n > 6)**
Tipo di rottura	**Grande**	**Metodologia di calcolo**
Valore	**Medio**	Distribuzione di Student (t di Student) (W.S. Gosset, 1908)
Parametro	**Angolo di attrito interno** **Coesione**	$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95}\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right)$ **X_k** = valore caratteristico desiderato **X** = valore medio della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione **t** = valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità u = 95% (vale a dire 1-α = 0,95 o alternativamente, α = 0,05) **S** = deviazione standard del campione **n** = numero di dati
Tipo di rottura	**Piccola**	**Metodologia di calcolo**
Valore	**Minimo**	
Parametro	**Angolo di attrito interno** (distribuzione normale)	**X_k = X - 1,645 * S** in EXCEL : INV.NORM (0,05 ; X ; S)
	Coesione (distribuzione lognormale)	in EXCEL : INV.LOGNORM (0,05 ; X ; S)

Foglio di calcolo		Val_car2(pochidati).xls
Numerosità dei dati		**Pochi dati (n ≤ 5)**
Tipo di rottura	**Grande**	**Metodologia di calcolo**
Valore	**Medio**	
Parametro	**Angolo di attrito interno** (distribuzione normale)	$x_k = \bar{x} - 1.645\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$ **σ =** coefficiente di variazione (per sabbie e ghiaie = 10)
	Coesione (distribuzione lognormale)	Metodo di Cox $L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$ **Y =** valore medio del dataset con distribuzione lognormale **z =** distribuzione normale standardizzata **t =** valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà
Tipo di rottura	**Piccola**	**Metodologia di calcolo**
Valore	**Minimo**	
Parametro	**Angolo di attrito interno** (distribuzione normale)	**X_k = X - 1,645 * σ** in EXCEL : INV.NORM (0,05 ; X ; σ)
	Coesione (distribuzione lognormale)	**X_k = X - 1,645 * S** in EXCEL : INV.LOGNORM (0,05 ; X ; S)

Di seguito vengono riassunte le metodologie applicate nell'**interpretazione dei dati derivanti dalle prove geognostiche** al fine di determinare i valori dei parametri geotecnici inerenti i terreni segnalati nel sito.

A partire dai dati di resistenza alla punta del penetrometro statico q_c sono stati ottenuti i valori di coesione non drenata Cu, applicando la seguente relazione, derivata dalla teoria della capacità portante proposta da Terzaghi (1943) :

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_K}$$

dove :

Cu = coesione non drenata

q_c = resistenza alla punta del penetrometro statico

σ_{v0} = tensione verticale efficace alla profondità della misura di q_c

N_k = coefficiente del penetrometro, che nel caso del penetrometro meccanico è pari a 20 (si veda Dott. Ing. Facciorusso, Corso di geotecnica per Ingegneri Edili dell'Università degli Studi di Firenze, 2012-2013). Si tenga conto che in letteratura (Lunne & Kleven, 1981 e Jamiolkoski et alii, 1982) per argille da poco a mediamente consistenti vengono riportati valori del coefficiente N_k compresi tra 9 e 26, mentre per argille consolidate fessurate Terzaghi et alii (1996) indicano valori compresi tra 11 e 30. Mayne & Kemper (1988), sulla base di correlazioni con risultati di prove di compressioni triassiali, indicano un valore compreso tra 6 e 30.

Per ottenere i valori indicativi dei moduli di deformazione edometrica E_{ed} sono segnalate in letteratura molte relazioni in funzione del valore di q_c (resistenza alla punta del penetrometro statico) a partire da quella di Buisman (1940); la più utilizzata è quella proposta da Mitchell &

Gardner (1975), che si basa sulla seguente espressione :

$$E_{ed} = 1 / m_v = \alpha_m * q_c$$

dove :

m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica

α_m = coefficiente per la determinazione del modulo edometrico

Nel presente lavoro sono stati utilizzati i seguenti valori di α_m :

- per valori di q_c inferiori a 15 kg/cm^2 : $\alpha_m = 3$
- per valori di q_c compresi tra 16 e 24 kg/cm^2 : $\alpha_m = 2,5$
- per valori di q_c superiori a 25 kg/cm^2 : $\alpha_m = 2$

Dal valore del Modulo Edometrico E_{ed} è stato ottenuto il Modulo Elastico E' applicando un coefficiente ricavato dalla seguente relazione, basata sul valore del coefficiente di Poisson ν :

Modulo Edometrico E_{ed} =	$E' * (1 - \nu) / (1 - \nu - 2\nu^2)$
Considerando ν =	0,30
Modulo Edometrico E' =	E_{ed} / 1,605

7.2. Schematizzazione geotecnica

I valori dei principali parametri geotecnici in condizioni non drenate dei terreni presenti in corrispondenza dell'area di intervento sono stati ricavati applicando le metodologie precedentemente illustrate e riferite ai dati desunti dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU.

Allo scopo di esaminare la situazione esistente nel sito, sono stati innanzi tutto messi a confronto i valori di resistenza alla punta q_c ottenuti nelle prove CPTU; nel grafico di fig. 16 è riportato l'inviluppo di tali valori, dal cui esame è possibile individuare il seguente andamento in profondità dei valori di q_c:

- dalla superficie fino alla profondità di circa 1 m in ambedue le prove si registrano valori relativamente elevati, dell'ordine di 30-60 kg/cm^2 che in seguito decrescono fino a circa 10 kg/cm^2;
- nella prova CPTU 1 si riscontrano valori omogenei di circa 10 kg/cm^2, con due livelli leggermente più resistenti (circa 20-25 kg/cm^2) alle profondità di 8 e 14,5 m;
- nella prova CPTU 2 fino a 6 m di profondità si segnala una uniformità con i dati della CPTU 1, ma a profondità comprese tra 6 e 11 m si segnala la presenza di due strati a più elevata resistenza (fino a circa 80 kg/cm^2); dagli 11 m fino alla massima profondità indagata le prove evidenziano valori simili di circa 10 kg/cm^2.

In conclusione, si può affermare che le due prove hanno evidenziato una distribuzione dei valori sostanzialmente simile, con la differenza della presenza tra 6 m e 11 m di significativi livelli di alta consistenza, rilevati solamente nella prova CPTU 2.

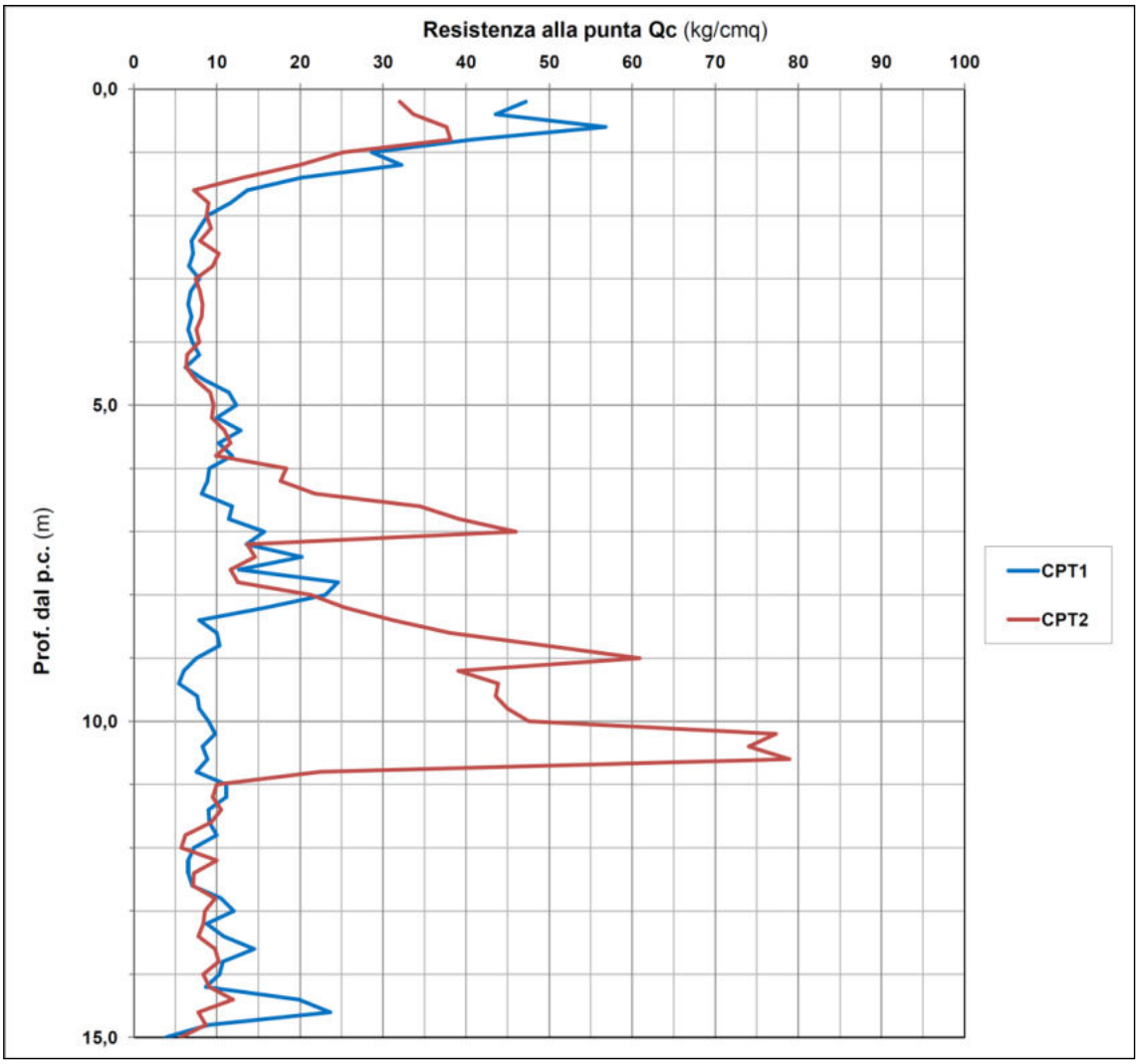


Fig. 16 : Inviluppo dei valori di resistenza alla punta q_c delle prove CPTU

Sulla base della distribuzione dei valori dei parametri geotecnici ricavati dall'interpretazione delle prove geotecniche svolte nel sito in esame, è stato possibile individuare la presenza di **3 Unità Geotecniche**, le cui principali caratteristiche sono riassunte nella tabella di fig. 17.

Tali Unità sono state distinte in gruppi aventi diversi range dei valori di resistenza alla punta del penetrometro statico q_c, a cui corrispondono diversi gruppi di valori di coesione non drenata c_u e del modulo edometrico E_{ed}.

In sostanza, tutte le Unità sono riconducibili a terre aventi tessitura prevalentemente fine (argille e limi).

Nella fig. 19 vengono forniti i tabulati riassuntivi dei valori dei parametri caratteristici e di progetto ottenuti per le due prove, con l'indicazione della Unità Geotecnica di riferimento.

Nella tabella di fig. 18 si riporta la legenda dei simboli utilizzati nella fig. 19.

Nella fig. 20 si riporta la distribuzione verticale delle diverse Unità Geotecniche nelle prove CPTU prese in considerazione.

L'esame di tale elaborato sottolinea la sostanziale uniformità tra le due prove analizzate.

Unità Geotecniche : parametri geotecnici						
N°	γ_k / γ_d	Cu_k	Cu_d	Qc_m	$E_{k/d}$	$E'_{k/d}$
1	1,85	0,30 ÷ 0,40	0,20 ÷ 0,30	< 10	10 ÷ 30	< 20
2	1,85	0,40 ÷ 0,80	0,30 ÷ 0,50	10 ÷ 20	30 ÷ 50	20 ÷ 30
3	1,85	1,00 ÷ 2,00	0,75 ÷ 1,40	30 ÷ 50	60 ÷ 100	30 ÷ 60

Legenda Parametri geotecnici	
N°	N° Unità Geotecnica
$\gamma_{k/d}$	Peso dell'unità di volume (valore caratteristico e di progetto) (t/mq)
Cu_k	Coesione non drenata (valore caratteristico) (kg/cmq)
Cu_d	Coesione non drenata (valore di progetto) (kg/cmq)
Qc_m	Valore medio della resistenza alla punta del penetrometro statico (kg/cmq)
$E_{k/d}$	Modulo di deformazione (valore caratteristico e di progetto) (kg/cmq)
$E'_{k/d}$	Modulo elastico (valore caratteristico e di progetto) (kg/cmq)

Fig. 17 : Tabella delle caratteristiche delle Unità Geotecniche

Legenda CPT	
Qc	Resistenza alla punta del penetrometro statico (kg/cmq)
σ_v	Tensione verticale (kg/cmq)
Cu	Coesione non drenata (valore puntuale) (kg/cmq)
Legenda Parametri geotecnici	
N°	N° Unità Geotecnica
$\gamma_{k/d}$	Peso dell'unità di volume (valore caratteristico e di progetto) (t/mq)
Cu_k	Coesione non drenata (valore caratteristico) (kg/cmq)
Cu_d	Coesione non drenata (valore di progetto) (kg/cmq)
Qc_m	Valore medio della resistenza alla punta del penetrometro statico (kg/cmq)
$E_{k/d}$	Modulo di deformazione (valore caratteristico e di progetto) (kg/cmq)
$E'_{k/d}$	Modulo elastico (valore caratteristico e di progetto) (kg/cmq)

Fig. 18 : Legenda dei simboli utilizzati nelle tabelle di fig. 19

N°	Prof. (m)	CPT 1-2021			Parametri geotecnici						Unità' Geotecnica
		Qc	σ_v	Cu	$\gamma_{k/d}$	Cu_k	Cu_d	Qc_m	$E_{k/d}$	$E'_{k/d}$	
1	0,2	47	0,04	2,36	1,85	1,61	1,15	42	83	52	3
	0,4	44	0,07	2,18							
	0,6	57	0,11	2,84							
	0,8	41	0,15	2,03							
	1,0	29	0,19	1,43							
	1,2	32	0,22	1,61							
2	1,4	20	0,26	1,01	1,85	0,57	0,41	15	45	28	2
	1,6	14	0,30	0,68							
	1,8	12	0,33	0,58							
3	2,0	9	0,37	0,44	1,85	0,34	0,24	7	22	14	1
	2,2	8	0,41	0,39							
	2,4	7	0,44	0,34							
	2,6	7	0,48	0,35							
	2,8	7	0,52	0,33							
	3,0	8	0,56	0,39							
	3,2	7	0,59	0,34							
	3,4	7	0,63	0,32							
	3,6	7	0,67	0,34							
	3,8	7	0,70	0,32							
	4,0	7	0,74	0,35							
	4,2	8	0,78	0,39							
	4,4	6	0,81	0,31							
	4,6	8	0,85	0,42							
4	4,8	11	0,89	0,57	1,85	0,49	0,35	11	32	20	2
	5,0	12	0,93	0,61							
	5,2	10	0,96	0,49							
	5,4	13	1,00	0,64							
	5,6	10	1,04	0,50							
	5,8	12	1,07	0,59							
	6,0	9	1,11	0,45							
	6,2	9	1,15	0,44							
	6,4	8	1,18	0,40							
	6,6	12	1,22	0,59							
	6,8	11	1,26	0,56							
5	7,0	16	1,30	0,78	1,85	0,70	0,50	18	45	28	
	7,2	14	1,33	0,67							
	7,4	20	1,37	1,00							
	7,6	13	1,41	0,63							
	7,8	25	1,44	1,22							
	8,0	23	1,48	1,14							
	8,2	16	1,52	0,79							
6	8,4	8	1,55	0,38	1,85	0,38	0,27	8	25	16	1
	8,6	10	1,59	0,49							
	8,8	10	1,63	0,51							
	9,0	8	1,67	0,37							
	9,2	6	1,70	0,29							
	9,4	5	1,74	0,26							
	9,6	8	1,78	0,37							
	9,8	8	1,81	0,38							
	10,0	9	1,85	0,44							
	10,2	10	1,89	0,48							
	10,4	8	1,92	0,40							
	10,6	9	1,96	0,43							
	10,8	8	2,00	0,37							
	11,0	11	2,04	0,55							
	11,2	11	2,07	0,55							
	11,4	9	2,11	0,44							
	11,6	9	2,15	0,44							
	11,8	10	2,18	0,49							
	12,0	7	2,22	0,35							
	12,2	7	2,26	0,32							
	12,4	7	2,29	0,31							
	12,6	7	2,33	0,34							
7	12,8	11	2,37	0,51	1,85	0,44	0,31	12	36	22	2
	13,0	12	2,41	0,59							
	13,2	9	2,44	0,43							
	13,4	11	2,48	0,53							
	13,6	14	2,52	0,71							
	13,8	11	2,55	0,52							
	14,0	10	2,59	0,50							
	14,2	9	2,63	0,42							
	14,4	20	2,66	0,98							
	14,6	24	2,70	1,17							
	14,8	9	2,74	0,43							
	15,0	4	2,78	0,18							

Fig. 19 : Tabella riassuntiva della schematizzazione geotecnica delle prove CPTU

Nº	Prof. (m)	CPT 2-2021			Parametri geotecnici						Unità' Geotecnica
		Qc	σ_v	Cu	$\gamma_{k/d}$	Cu_k	Cu_d	Qc_m	$E_{k/d}$	$E'_{k/d}$	
1	0,2	32	0,04	1,60	1,85	1,05	0,75	29	57	36	3
	0,4	34	0,07	1,68							
	0,6	38	0,11	1,88							
	0,8	38	0,15	1,91							
	1,0	25	0,19	1,26							
	1,2	20	0,22	1,00							
	1,4	13	0,26	0,66							
2	1,6	7	0,30	0,36	1,85	0,40	0,29	9	26	16	1
	1,8	9	0,33	0,45							
	2,0	9	0,37	0,44							
	2,2	9	0,41	0,46							
	2,4	8	0,44	0,40							
	2,6	10	0,48	0,51							
	2,8	9	0,52	0,47							
	3,0	7	0,56	0,37							
	3,2	8	0,59	0,39							
	3,4	8	0,63	0,41							
	3,6	8	0,67	0,40							
	3,8	8	0,70	0,37							
	4,0	8	0,74	0,39							
	4,2	6	0,78	0,32							
	4,4	6	0,81	0,31							
	4,6	7	0,85	0,37							
	4,8	9	0,89	0,45							
	5,0	10	0,93	0,47							
	5,2	9	0,96	0,46							
	5,4	11	1,00	0,54							
	5,6	12	1,04	0,58							
	5,8	10	1,07	0,49							
3	6,0	18	1,11	0,91	1,85	0,72	0,51	19	48	30	2
	6,2	18	1,15	0,88							
	6,4	22	1,18	1,09							
4	6,6	34	1,22	1,72	1,85	1,49	1,06	40	80	50	3
	6,8	39	1,26	1,95							
	7,0	46	1,30	2,29							
5	7,2	14	1,33	0,68	1,85	0,51	0,36	13	39	24	2
	7,4	15	1,37	0,72							
	7,6	12	1,41	0,57							
	7,8	13	1,44	0,62							
6	8,0	21	1,48	1,06	1,85	1,87	1,34	47	93	58	3
	8,2	25	1,52	1,26							
	8,4	31	1,55	1,55							
	8,6	38	1,59	1,89							
	8,8	50	1,63	2,47							
	9,0	61	1,67	3,04							
	9,2	39	1,70	1,94							
	9,4	44	1,74	2,18							
	9,6	44	1,78	2,17							
	9,8	45	1,81	2,24							
	10,0	48	1,85	2,37							
	10,2	77	1,89	3,86							
	10,4	74	1,92	3,69							
	10,6	79	1,96	3,94							
	10,8	22	2,00	1,11							
7	11,0	10	2,04	0,49	1,85	0,39	0,28	9	26	16	1
	11,2	9	2,07	0,46							
	11,4	11	2,11	0,51							
	11,6	9	2,15	0,45							
	11,8	6	2,18	0,30							
	12,0	6	2,22	0,27							
	12,2	10	2,26	0,49							
	12,4	7	2,29	0,35							
	12,6	7	2,33	0,35							
	12,8	10	2,37	0,48							
	13,0	9	2,41	0,42							
	13,2	8	2,44	0,41							
	13,4	8	2,48	0,38							
	13,6	10	2,52	0,48							
	13,8	10	2,55	0,50							
	14,0	8	2,59	0,41							
	14,2	9	2,63	0,44							
	14,4	12	2,66	0,58							
	14,6	8	2,70	0,37							
	14,8	9	2,74	0,42							
	15,0	6	2,78	0,27							

Fig. 19 (continua) : Tabella riassuntiva della schematizzazione geotecnica delle prove CPTU

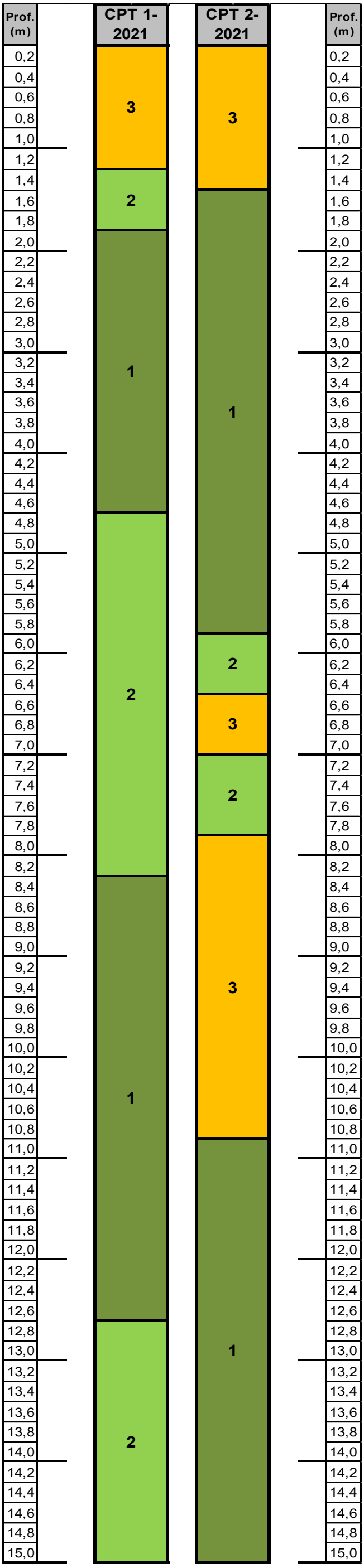


Fig. 20 : Confronto tra le colonne geotecniche delle prove CPTU

8. SUBSIDENZA

La zona del bolognese è interessata da un accentuato fenomeno di subsidenza, l'origine del quale è legata a due cause principali, i cui effetti si sovrappongono:

- cause naturali, da connettere all'evoluzione geologica del territorio in senso geodinamico;
- interventi antropici, da mettere soprattutto in relazione all'estrazione di fluidi dal sottosuolo.

Per la pianura bolognese è stato calcolato un tasso di subsidenza per cause naturali dell'ordine di 1-2 mm/anno, mentre dal 1950 ai giorni nostri sono stati misurati abbassamenti del piano campagna superiori al metro e mezzo.

La situazione della Bassa bolognese è assai meno preoccupante, in quanto vengono segnalati valori di abbassamento dell'ordine di 3-4 mm/anno, ampiamente compatibili con quelli relativi alle sole cause naturali.

Fanno eccezione le zone poste in corrispondenza dell'asse della dorsale del Fiume Reno; le livellazioni topografiche svolte negli ultimi 25 anni dall'ex Ufficio Speciale del Genio Civile per il Reno, dal Comune di Bologna e dall'Autorità di Bacino forniscono dati significativi:

- il punto di maggior abbassamento è situato in corrispondenza del Ponte di Bonconvento ed è pari a 2,6 m in 25 anni (circa 10 cm/anno);
- nel tratto compreso tra Trebbo di Reno e Bagno di Piano si sono manifestati gli abbassamenti più rilevanti, pari ad oltre 1 m (circa 4 cm/anno);
- nel periodo precedente (1953-1971) l'abbassamento medio annuo del territorio era stato di circa 3 cm/anno (55 cm in 20 anni).

L'esame delle cartografie riportate nel sito di ARPAE evidenzia come il fenomeno della subsidenza nell'area in esame sia sostanzialmente in diminuzione; in particolare si fa riferimento ai risultati dei monitoraggi svolti nel periodo 1992-2000, 2002-2006, 2006-2011 e 2011-2016 (si vedano le figg. 21÷24).

L'esame di tali cartografie evidenzia come nell'area di studio si passi da valori di abbassamento medio di 30/35 mm/anno nel periodo 1992-2000 a valori in leggera diminuzione nel periodo successivo (con dati di 25 mm/anno nel periodo 2002-2006 e di 30 mm negli anni 2006-2011), fino ad annullarsi quasi completamente nel periodo 2011-2016, con valori di 10 mm/anno.

Il fenomeno della subsidenza, pur essendo particolarmente rilevante nella zona del bolognese, appare quindi in costante diminuzione; si sottolinea comunque che tale fenomeno, proprio per la sua dimensione "regionale", non incide negativamente sull'intervento di progetto.

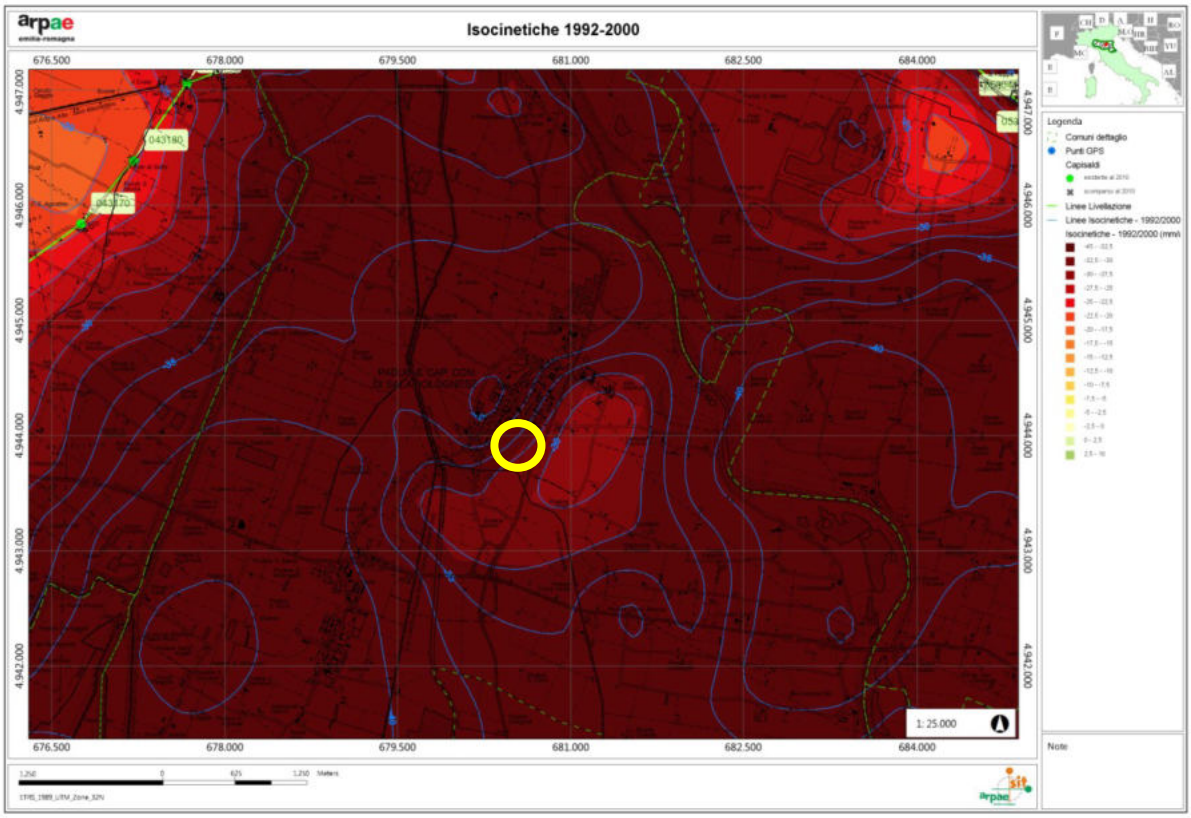


Fig. 21 : Carta delle isocinetiche – periodo 1992-2000 (mm/anno) (dal sito ARPAE)

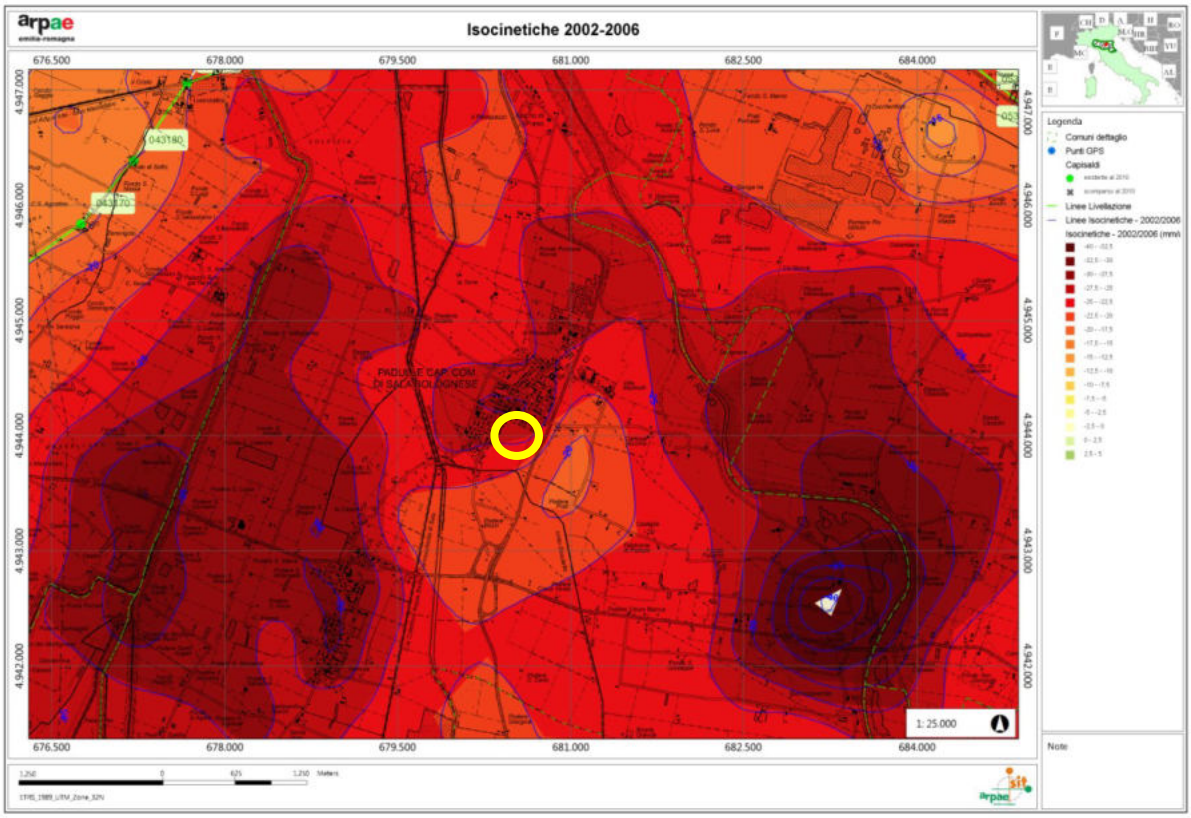


Fig. 22 : Carta delle isocinetiche – periodo 2002-2006 (mm/anno) (dal sito ARPAE)

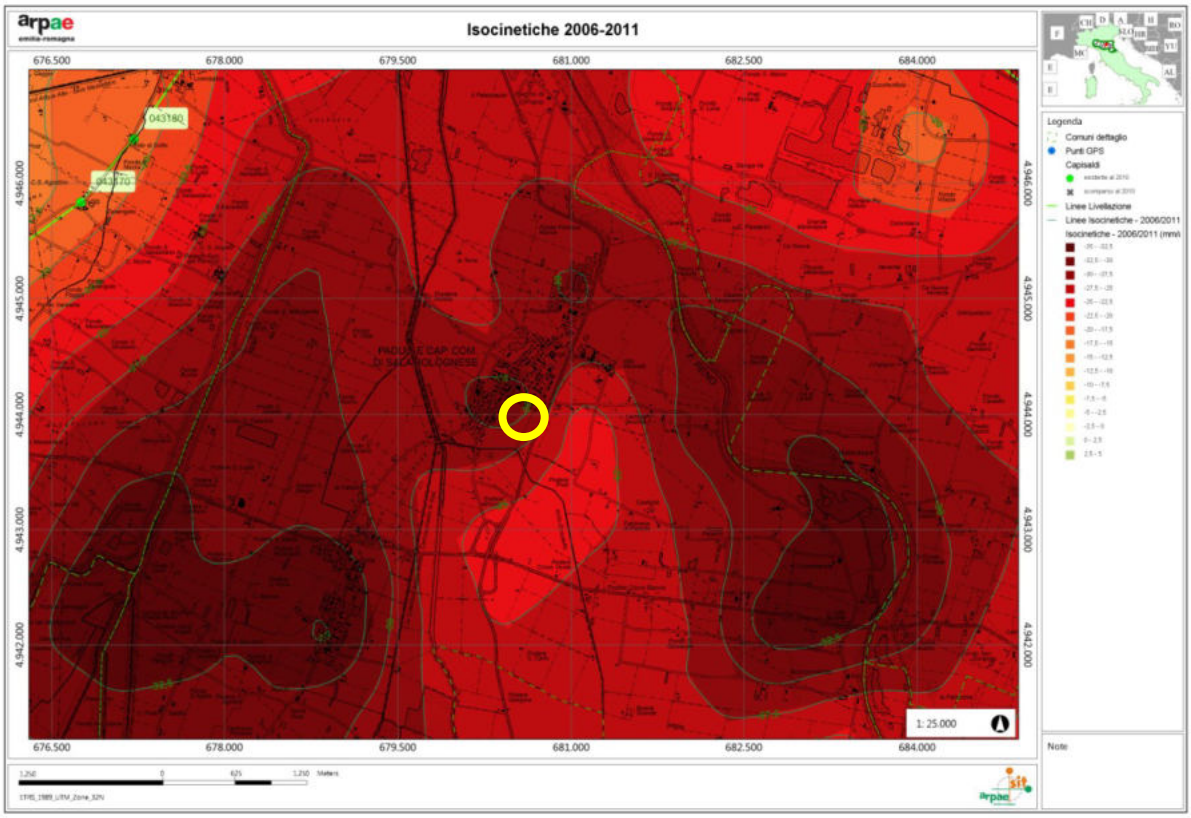


Fig. 23 : Carta delle isocinetiche – periodo 2006-2011 (mm/anno) (dal sito ARPAE)

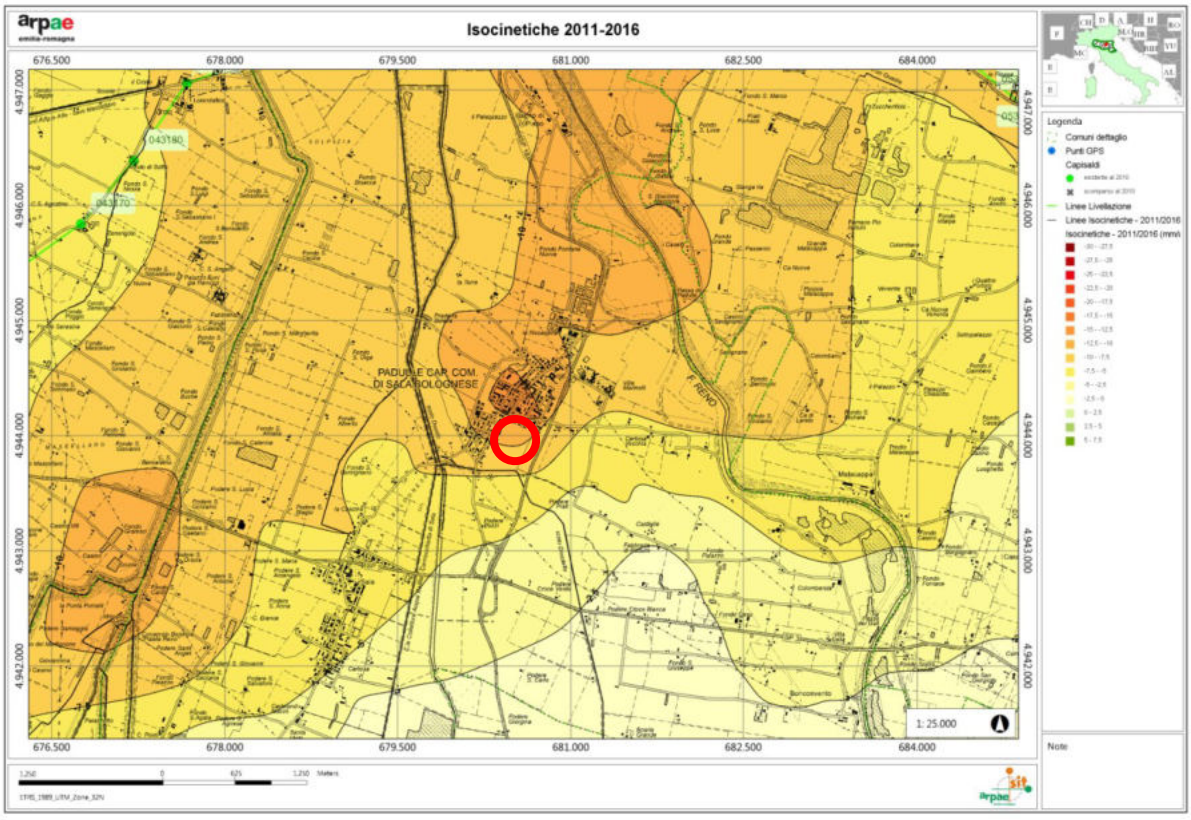


Fig. 24 : Carta delle isocinetiche – periodo 2011-2016 (mm/anno) (dal sito ARPAE)

9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Sulla base della normativa vigente in materia fino a poco tempo fa (L. 2/2/1974, n° 64; D.M. 3/3/1975; Del. Reg. del 24/3/1983), il Comune di Sala Bolognese non compariva nell'elenco delle località sismiche di I^a e di II^a categoria (si veda la fig. 25).

L'esame della carta degli epicentri, distinti per classi di magnitudo, verificatisi nel territorio emiliano-romagnolo a partire dal 1000 (si veda la fig. 26) evidenzia infatti la sostanziale mancanza di fenomeni sismici di una particolare gravità nell'area del bolognese.
Al contrario, in ampi settori della regione si sono verificati terremoti di Magnitudo $M_w \geq 5,5$ che hanno causato effetti di intensità $I_{MCS} \geq$ VIII grado (MCS = scala Mercalli-Cancagni-Sieberg).
In particolare, la Romagna è il settore più interessato dal verificarsi di forti terremoti, ma anche il crinale appenninico tosco-emiliano tra le province di Parma e Modena, il margine appenninico tra Parma e Bologna e la pianura tra Reggio Emilia, Ferrara e Ravenna (zona delle Pieghe Ferraresi) sono stati più volte interessati da eventi di Magnitudo $M_w \geq 5,5$, che hanno provocato effetti $I_{MCS} \geq$ VIII. Rispetto alla realtà nazionale, la sismicità di queste aree può essere considerata di medio grado. L'Emilia-Romagna ha risentito anche di forti terremoti di aree sismogenetiche extra-regionali, capaci di generare terremoti $M_W > 6$ (si veda la tabella in fig. 27), come il margine sud-alpino, la Garfagnana e il Mugello.
La maggior parte dei terremoti emiliano-romagnoli sembra generarsi mediamente a una profondità compresa tra 10 e 35 km. I terremoti a profondità maggiore di 35 km sono rari e, in genere, causa di effetti minori in superficie, probabilmente proprio per l'elevata profondità. I terremoti a profondità minore di 10 km, sebbene poco frequenti e generalmente di magnitudo non elevata, possono causare localmente effetti dannosi, come nel caso del terremoto dell'Appennino forlivese del 26 gennaio 2003, proprio a causa della scarsa profondità.

Nell'ambito del Rapporto Conclusivo per la redazione della mappa di pericolosità sismica, redatto dall'Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia (INGV, 2004) è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9, che tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale, e nella quale le zone sorgenti sono state ridisegnate rispetto alle precedenti zonazioni in relazione alle sorgenti sismogenetiche, derivanti dallo studio della sismicità storica e strumentale, ricomprendendo cautelativamente le aree circostanti sulle quali si possono sviluppare effetti di propagazione della pericolosità sismica. Il territorio nazionale risulta suddiviso in 42 zone-sorgente (si veda la fig. 28) ed il territorio comunale di Sala Bolognese (si veda la fig. 29) ricade all'interno della Zona sismogenetica 912, denominata "Dorsale Ferrarese", che rappresenta la fascia più esterna della zona in compressione dell'arco appenninico settentrionale, con la presenza di alcune importanti linee sismotettoniche ed all'interno della quale, al di sotto di spesse coltri di sedimenti alluvionali, sono presenti imponenti strutture compressive. Nella tabella di fig. 30 vengono riportati i valori di magnitudo massima calcolati per le varie zone presenti nella Città Metropolitana di Bologna.

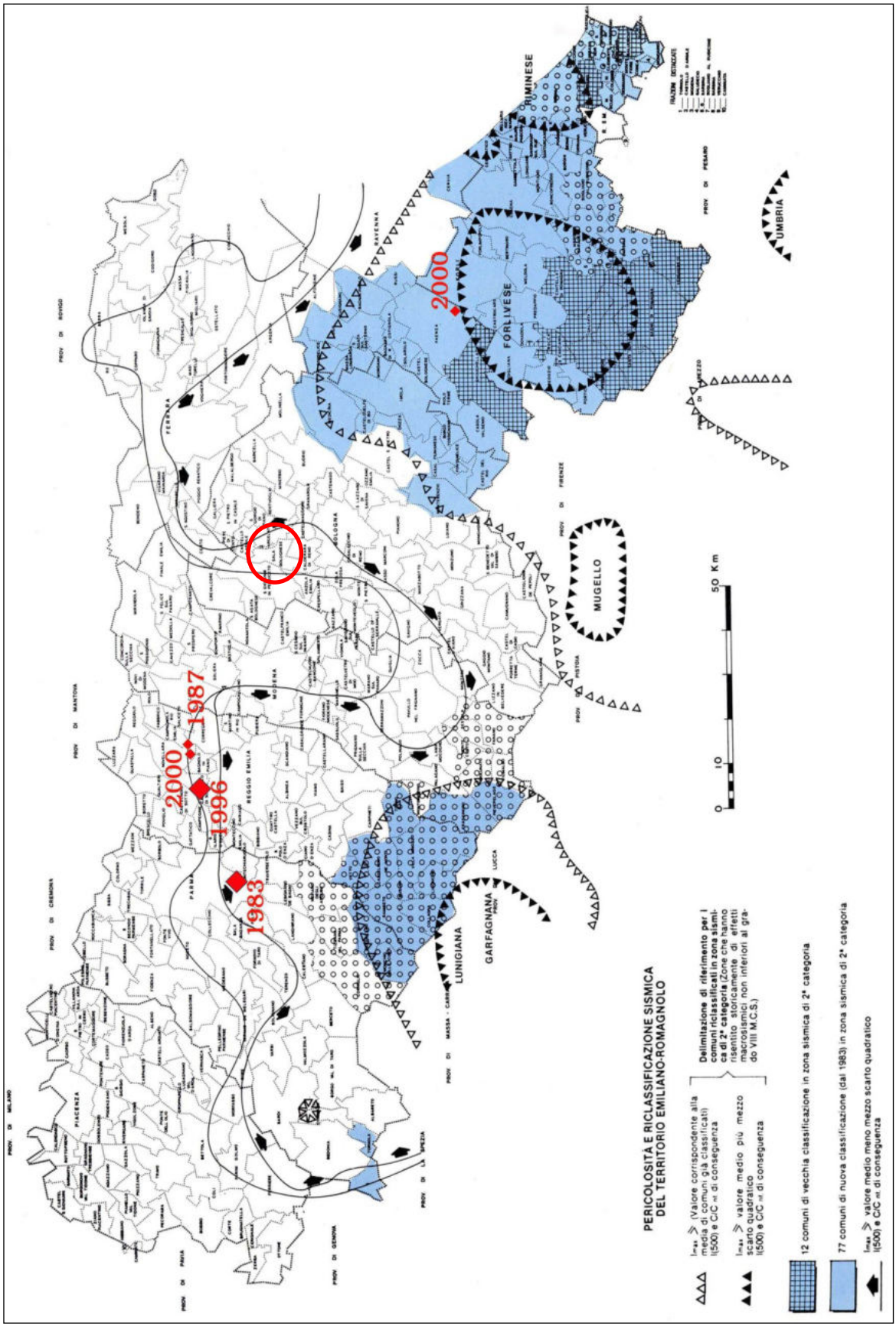


Fig. 25 : Pericolosità e riclassificazione sismica del territorio emiliano-romagnolo

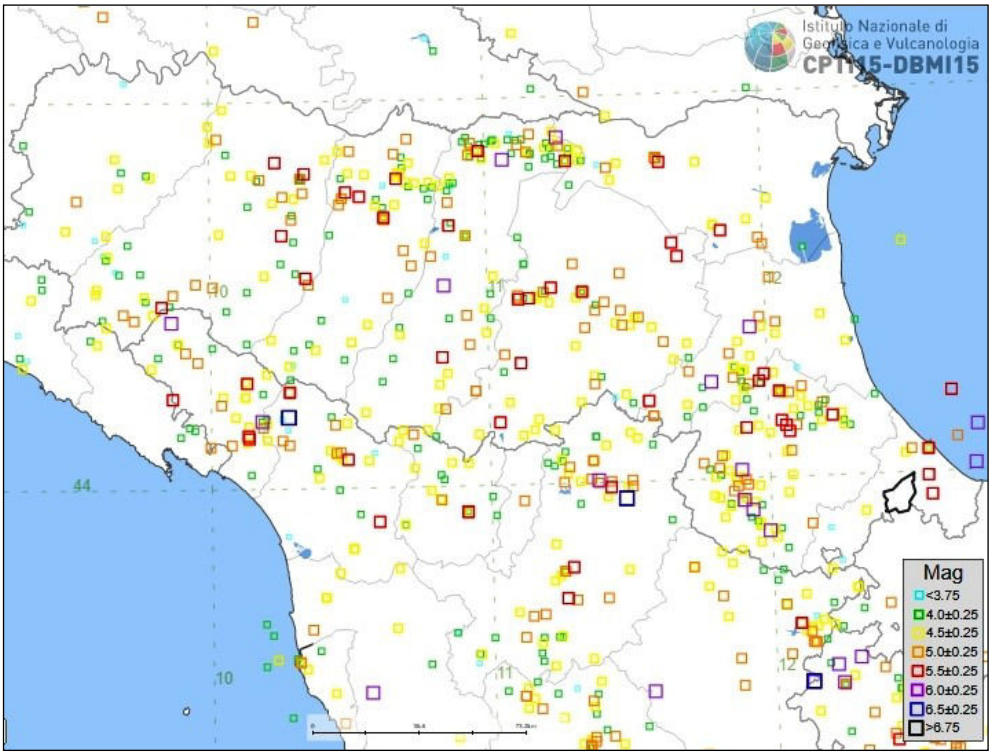


Fig. 26 : Mappa degli epicentri e relativa magnitudo dei principali terremoti della Regione Emilia-Romagna dal Catalogo CPTI15 (da Rovida A. et alii, The italian earthquake catalogue CPTI15, 2020 e Italian parametric earthquake catalogue CPTI15, 2021)

I principali terremoti, intensità massima risentita≥ VIII (scala MSC) e/o magnitudo momento MW ≥5.5, che hanno interessato l'Emilia-Romagna; tratto, con modifiche, da DBMI11 (Locati et al., 2011) e da Galli et al. (2012)

Anno	Mese	Giorno	Zona epicentrale*	Magnitudo (Mw)	Intensità max in Emilia-Romagna	Intensità epicentrale** (Io)
1117	1	3	Pianura veronese	6.7	8	9
1222	12	25	Basso bresciano	5.8	6	8-9
1279	4	30	Rocca San Casciano (FC)	5.6	7-8	7-8
1428	7	3	Predappio (FC)	5.5	8	8
1438	6	11	Pianura parmense	5.6	8	8
1483	8	11	Romagna meridionale (pianura FC)	5.7	8-9	8
1501	6	5	Margine appenninico modenese	6	9	9
1505	1	3	Margine appenninico bolognese	5.6	8	8
1542	6	13	Mugello	5.9	6	9
1570	11	17	Ferrara	5.5	8	7-8
1584	9	10	Appennino romagnolo (FC)	5.8	9	9
1624	3	19	Argenta (FE)	5.5	8-9	7-8
1661	3	22	Appennino romagnolo (FC)	6.1	10	9
1672	4	14	Colline riminesi	5.6	8	8
1688	4	11	Romagna (pianura RA)	5.8	9	8-9
1695	2	25	Asolano	6.5	6-7	10
1725	10	29	Appennino romagnolo (RA)	5.4	8	8
1768	10	19	Appennino romagnolo (FC)	5.9	9	9
1781	4	4	Margine appenninico faentino	5.9	9-10	9-10
1781	7	17	Pianura romagnola (FC-RA)	5.6	8	8
1786	12	25	Colline riminesi	5.6	8	8
1796	10	22	Pianura bolognese orientale	5.6	7	7
1831	9	11	Pianura reggiana	5.5	7-8	7-8
1832	3	13	Pianura reggiana	5.5	7-8	7-8
1834	2	14	Alta Lunigiana	5.8	8	9
1870	10	30	Margine appenninico romagnolo (FC)	5.6	8	8
1875	3	17	Alto Adriatico (Rimini-Cesenatico)	5.9	8	-
1909	1	13	Pianura bolognese orientale	5.5	6-7	6-7
1916	5	17	Alto Adriatico (riminese)	6.0	8	-
1916	8	16	Alto Adriatico (riminese)	6.1	8	-
1918	11	10	Appennino romagnolo (FC)	5.9	9	9
1919	6	29	Mugello	6.3	9	10
1920	9	7	Garfagnana	6.5	9	10
1971	7	15	Margine appenninico parmense	5.6	8	8
2012	5	20	Finale E.-Mirandola (MO)	6.1 (M_L=5.9)	7-8	7-8
2012	5	29	Medolla (MO)	6.0 (M_L=5.8)		

Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Dipartimento della Protezione Civile, Regione Emilia-Romagna

Note:

* Zona epicentrale = area situata nell'intorno dell'epicentro (punto della superficie terrestre situato sulla verticale dell'ipocentro, che è, invece, il punto delle crosta terrestre in cui si è verificata la rottura che ha generato le onde sismiche)

** Intensità epicentrale = stima degli effetti del terremoto osservata in corrispondenza dell'epicentro

Fig. 27

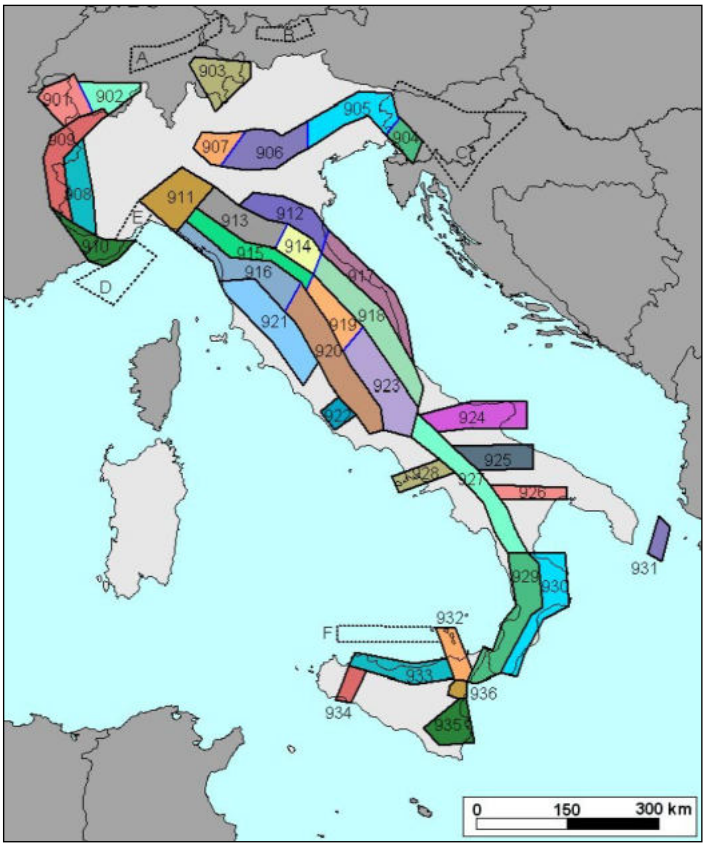


Fig. 28 : Zonazione sismogenetica ZS9 (da INGV, 2004)

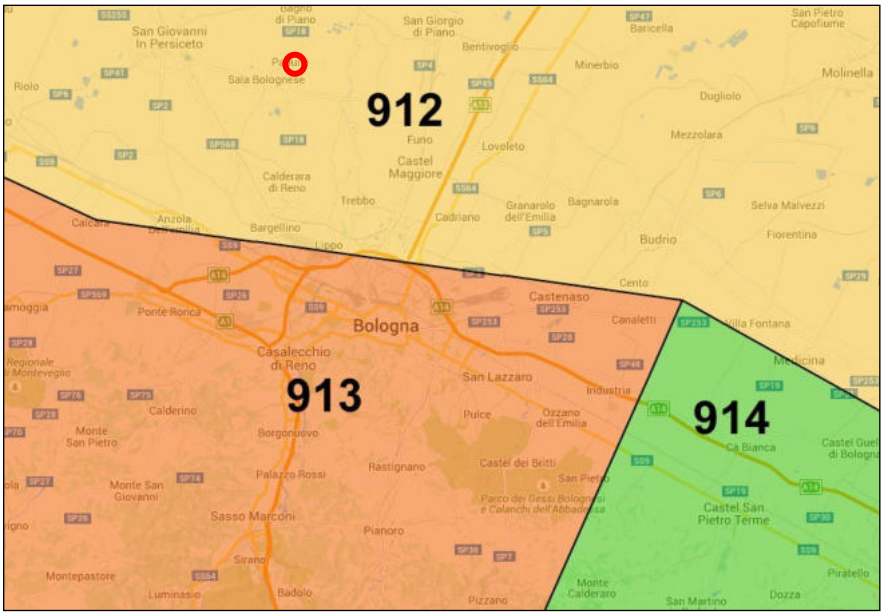


Fig. 29 : Dettaglio della zonizzazione sismogenetica

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14

Fig. 30 : Valori di magnitudo massima (M_wMax) in colonna 8 (da INGV, 2004)

Con O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006 venne definita una nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale, riportata nella fig. 31, espressa in termini di accelerazione massima al suolo a_{max} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (Vs_{30}>800 m/sec; cat. A), nella quale viene adottata una suddivisione con intervalli di accelerazione più dettagliati, pari a 0,025.
In corrispondenza del Comune di Sala Bolognese è segnalato un valore di accelerazione massima al suolo a_{max} compreso tra 0,150 g e 0,175g.

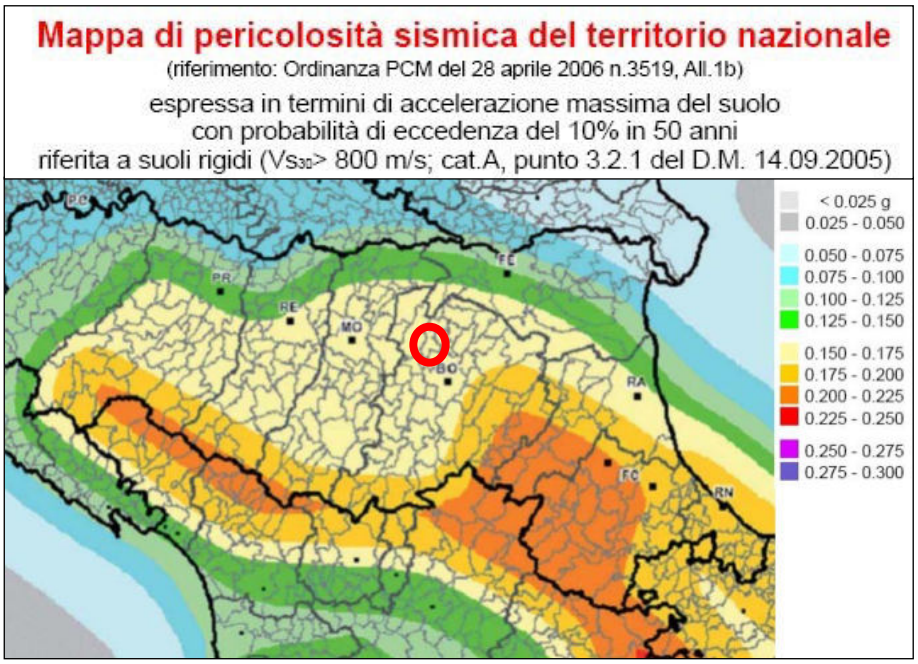


Fig. 31 : Mappa di pericolosità sismica (stralcio da INGV)

L'OPCM 3274/2003 stabilisce all'art. 2 che *"…le regioni provvedono, ai sensi dell'art. 94, comma 2, lettera a), del decreto legislativo n° 112 del 1998, e sulla base dei criteri generali di cui all'allegato 1, all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche. In zona 4 e' lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica…"*.
Con Delibera di Giunta Regionale n° 1164 del 23/07/2018 *"Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna"*, ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna; secondo tale normativa, il Comune di Sala Bolognese rientra in zona 3 (si veda la fig. 32).

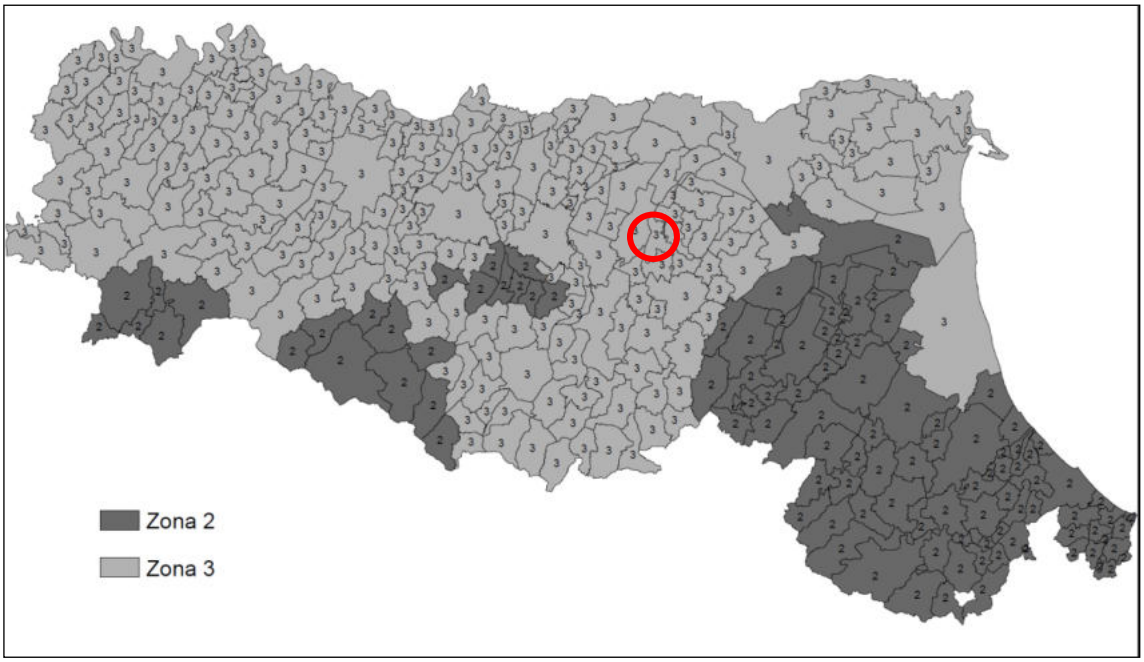


Fig. 32 : Nuova classificazione dei comuni sismici

Ai fini della definizione dell'**azione sismica di progetto**, si rende necessario valutare la categoria di sottosuolo di riferimento, la quale è riportata nella tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018.

Nel caso in esame è stata eseguita presso l'area interessata un'indagine geofisica a cura della società Geotea s.r.l., la quale è stata costituita dall'esecuzione di una prova in array con tecnica *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves)* e di una misura a stazione singola con tecnica *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* (si veda la documentazione in all. 3).

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti, il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è riportato nella fig. 33, mentre nella fig. 34 viene fornito il modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW e tecnica H/V.

L'analisi congiunta MASW-HVSR ha pertanto permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame che di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo; il valore di Vs_{30} è risultato pari a **185 m/s**.

Pertanto, unicamente in riferimento ai valori riportati nelle tabelle ed al valore di V_{s30} ottenuto, ai sensi della tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018 è possibile collocare il sottosuolo dell'area investigata in **classe C**, nella quale rientrano i *"depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
2.00	2.00	130
8.00	6.00	155
12.00	4.00	230
27.00	15.00	190
62.00	35.00	260
inf.	inf.	400

Fig. 33 : Modello di sottosuolo proposto per il sito

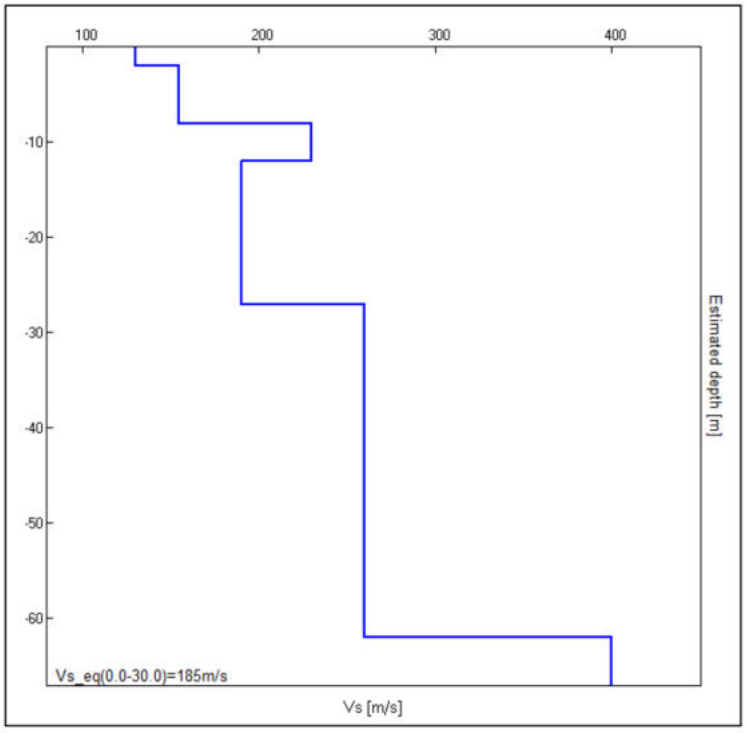


Fig. 34 : Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW e tecnica H/V

Ai fini della definizione dell'azione sismica è inoltre necessario definire il valore dei seguenti parametri :

- Vita nominale di progetto V_N : definita come *"..il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali…"*. Nel caso in esame, in accordo con le indicazioni della tab. 2.4.I del D.M. 17/01/2018, l'opera rientra tra le *"Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari"*, alle quali corrisponde un valore minimo di V_N pari a 50 anni;
- Classe d'uso : facendo riferimento al paragrafo 2.4.2. del D.M., l'opera rientra nella Classe II, alla quale appartengono "*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di*

emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti";

- Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R : tale parametro si ricava moltiplicando la Vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U, indicato nella tab. 2.4.II in funzione della diversa Classe d'uso. Nel caso in esame, considerando un valore di C_U pari a 1,0 (corrispondente alla Classe II) il valore di V_R risulta pari a 50 anni.

E' inoltre necessario valutare le condizioni topografiche esistenti, le quali sono riassunte nella Tab. 3.2.III del D.M.. Nel caso in esame si è in presenza di una superficie assimilabile a quella pianeggiante (Categoria T1), a cui corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1 (si veda la Tab. 3.2.V del D.M.).
Per quanto concerne l'amplificazione stratigrafica, per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_o e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV del D.M..
L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione :

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove :

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui alle tab. 3.2.IV e 3.2.V

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale). Nell'analisi pseudo-statica, modellando l'azione sismica attraverso la sola componente orizzontale, tali effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati K_{hi} (effetto inerziale) e K_{hk} (effetto cinematico), il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

La normativa specifica che il valore del coefficiente sismico cinematico K_{hk} può essere valutato facendo riferimento ai valori del coefficiente K_h specificato per i pendii; in particolare si ha :

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h .$$

dove :

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; tali valori sono riportati nella tab. 7.11.I.

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità

Tab. 7.11.I – *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g\,(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g\,(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g\,(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel caso in esame si ha :

Verifiche SLU

K_h = 0,24 x 2,290/9,81 =0,056

K_v = 0,056/2 = 0,028

Verifiche SLD

K_h = 0,20 x 0,868/9,81 =0,018

K_v = 0,018/2 = 0,009

Nelle verifiche delle fondazioni superficiali, l'effetto inerziale produce variazioni dei **coefficienti di capacità portante** del carico limite delle fondazioni superficiali in funzione del coefficiente sismico K_h e viene portato in conto impiegando la relazione di Paolucci & Pecker (1997) :

Verifiche SLU

$z_c = 1\text{-}0,32\ k_h = 1\text{-}0,32 \times 0,056 = 0,982$

Verifiche SLD

$z_c = 1\text{-}0,32\ k_h = 1\text{-}0,32 \times 0,018 = 0,994$

Nel Corso di Aggiornamento Professionale del 27/03/2009 organizzato dall'Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna il Dott. Geol. Luca Nori ha fornito il foglio di calcolo "Spettri elastici_DM2008_v04_8". Tale software fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. Mediante questo programma è possibile, inserendo le coordinate e le caratteristiche progettuali del sito, visualizzare e stampare grafici e tabelle relativi al computo dell'azione sismica di progetto. Applicando i valori dei coefficienti e dei parametri calcolati in precedenza, sono stati ottenuti gli andamenti degli spettri elastici normalizzati orizzontali e verticali, dai quali si ottiene il valore di a_g per i diversi stati limiti esaminati.

Nelle figg. 36 e 37 vengono fornite le videate del suddetto software.

Dall'esame degli spettri e dei dati ottenuti applicando le diverse relazioni descritte in normativa, sono stati ottenuti i dati riportati nella tabella di fig. 35 relativi agli Stati Limiti Ultimi e di Danno (SLU e SLD) e da applicare nelle verifiche delle opere di progetto in condizioni sismiche.

Parametri sismici generali		
Categoria sottosuolo	C	
Categoria topografica	T1	
Vita Nominale V_N	≥50 anni	
Classe d'uso	II	
Coefficiente d'uso CU	1,0	
Periodo di riferimento V_R	50 anni	
Parametri sismici di dettaglio	**Stato limite SLV**	**Stato limite SLD**
Probabilità di superamento P_{VR}	10%	63%
Tr	475 anni	50 anni
a_g	0,161g	0,059g
F_0	2,56	2,52
T_c*	0,28	0,27
S_S	1,45	1,50
C_C	1,60	1,62
S_T	1,00	1,00
a_{max}	2,290	0,868
K_h	0,056	0,018
K_v	0,028	0,009
z_c	0,982	0,994

Fig. 35 : Parametri sismici (Procedura semplificata)

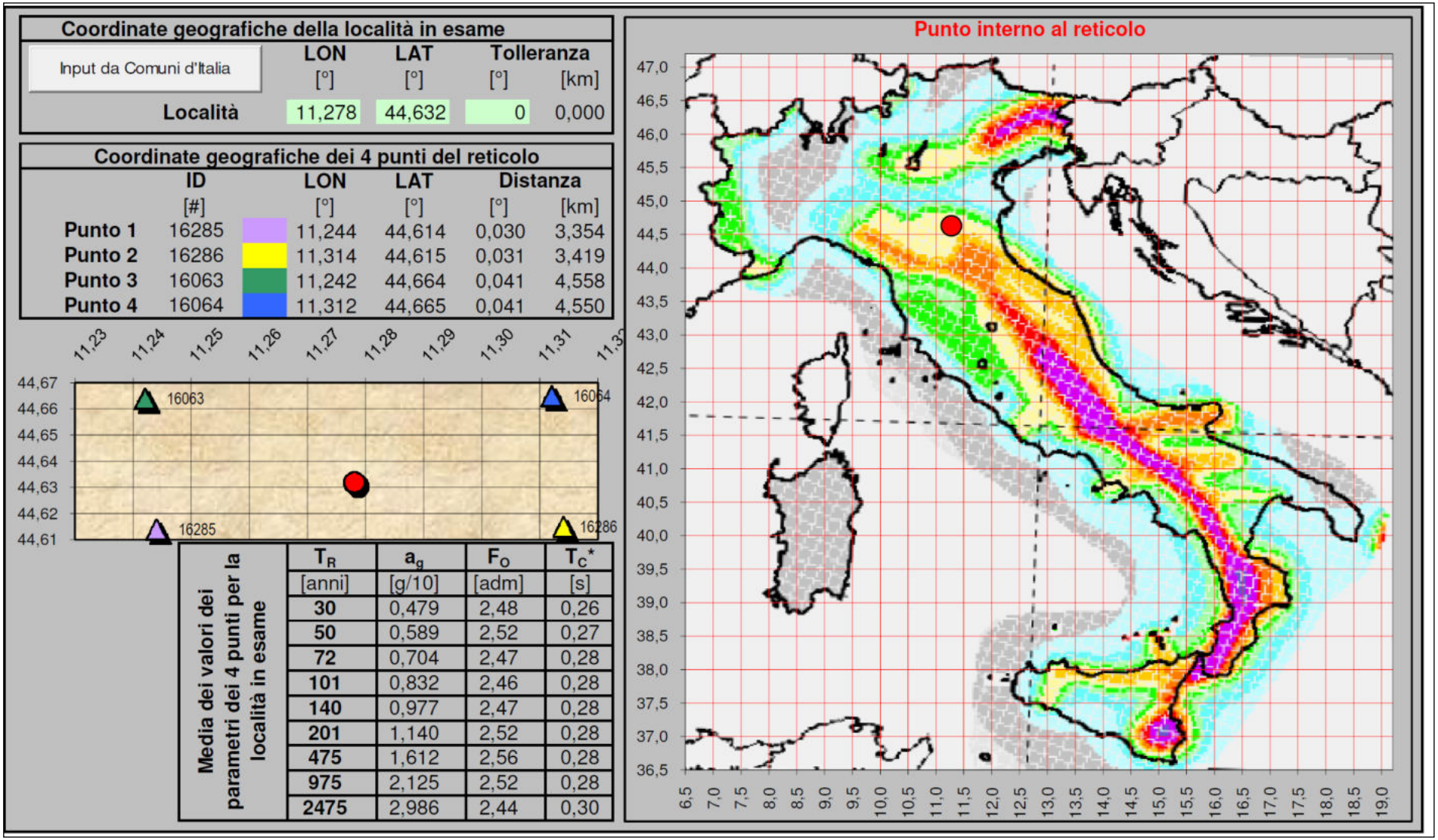


Fig. 36 : Videata tratta dal software "Spettri elastici_DM2008_v04_8"

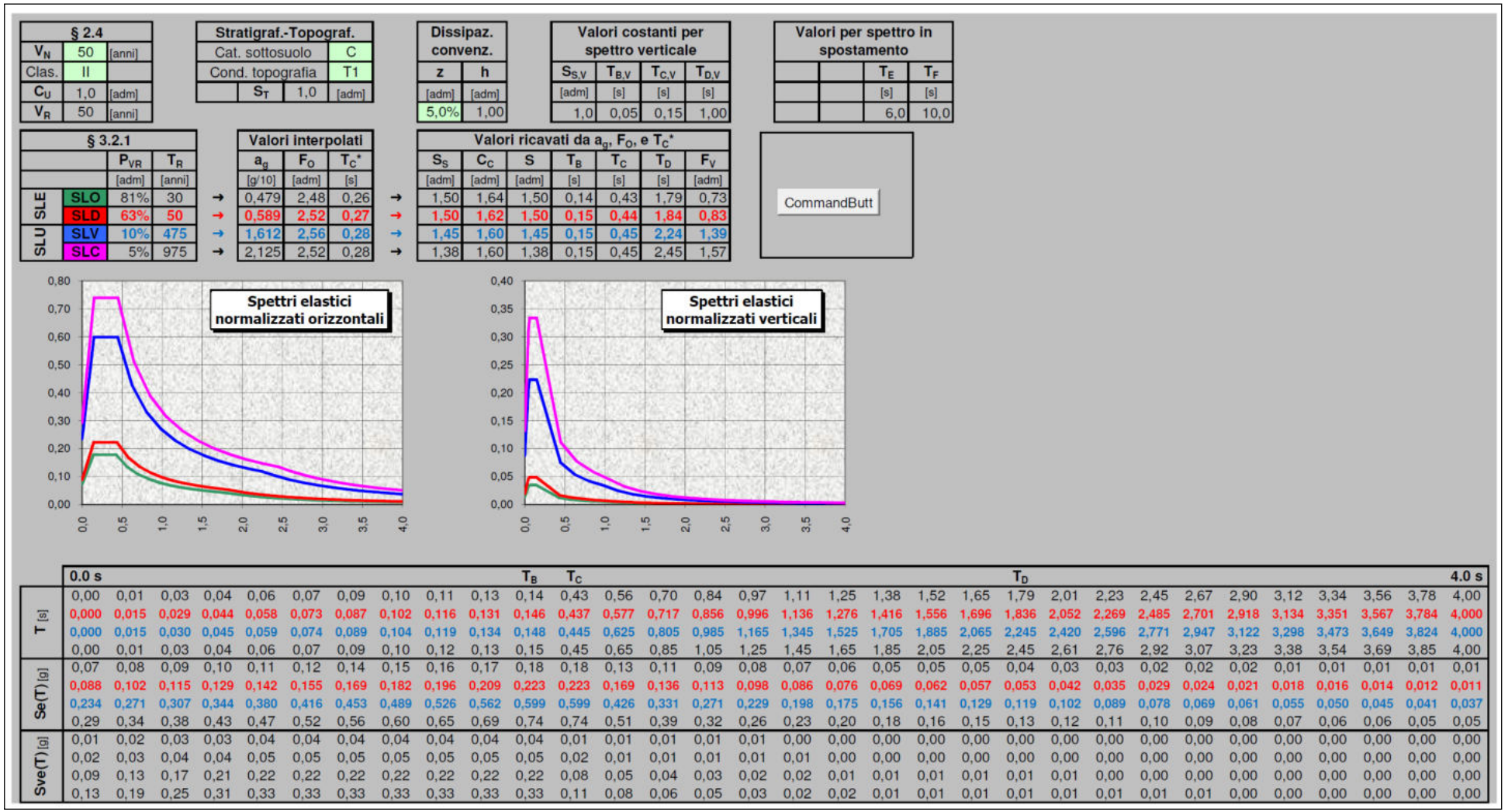


Fig. 37 : Videata tratta dal software "Spettri elastici_DM2008_v04_8"

10. ANALISI SISMICA DI III° LIVELLO

Nell'ambito del Piano Territoriale Metropolitano (P.T.M.), approvato con Delibera del Consiglio della Città Metropolitana di Bologna n° 16 del 12/05/2021, è stata elaborata la Tav. 4 "Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali" (si veda la fig. 38), che in corrispondenza dell'area in esame individua la presenza di una zona *"L - Zona di attenzione per instabilità da liquefazione/densificazione*", per la quale il P.T.M. prescrive che *"…per gli interventi ammessi in relazione a tali aree dovranno essere effettuati studi di terzo livello, con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, verifica della presenza di caratteri predisponenti la liquefazione e/o la densificazione e relativa stima del potenziale di liquefazione/densificazione e dei cedimenti attesi.*

La normativa prevede pertanto l'esecuzione di approfondimenti di III° Livello, le cui modalità di svolgimento sono descritte nella recente D.G.R. n° 564/2021, nella quale si specifica che *"…le aree da indagare con un'analisi più approfondita (terzo livello di approfondimento) sono riferite agli ambiti (individuati sempre dalla cartografia della pericolosità sismica locale di area vasta di prima fase) che presentano le seguenti situazioni:*
c) 1. aree suscettibili di liquefazione o densificazione;
c) 2. aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
c) 3. aree con rapide variazioni della profondità del bedrock sismico, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali;
c) 4. aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).

In accordo con l'art. 4.2.1. dell'all. A della citata Delibera, nell'ambito della verifica di III° Livello è necessario produrre gli spettri di risposta, per un periodo di ritorno T_R = 475 anni con smorzamento ζ = 5% e le mappe di amplificazione in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2, SI3 e dello scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi 0,1s≤T≤0,5 (HSM), 0,4s≤T≤0,8s (H_{0408}), 0,7s≤T≤1,1s (H_{0711}) e 0,5s≤T≤1,5s (H_{0515}).

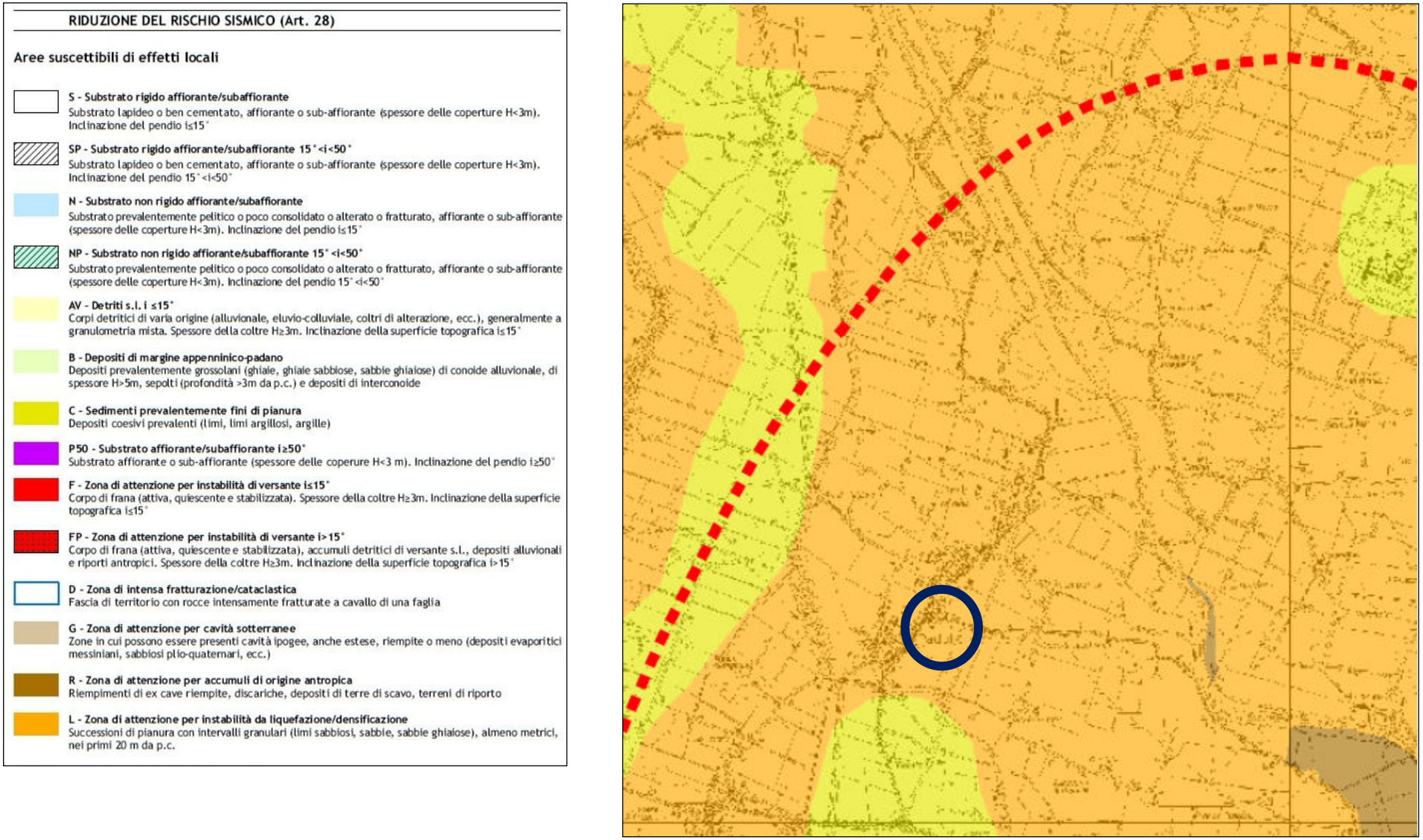


Fig. 38 : Stralcio della tav. 4 “Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali” del P.T.M.

Risposta Sismica Locale

La Risposta Sismica Locale (RSL) può essere definita come la modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito. La RSL si può quantificare determinando il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione locale.

La valutazione degli effetti sismici locali di un'area si articola fondamentalmente in tre fasi:

- individuazione delle condizioni locali e determinazione dei parametri geotecnici da utilizzare nelle analisi di RSL; a tale scopo sono stati utilizzati i dati bibliografici e quelli derivanti dall'indagine geognostica condotta nel sito, costituita dalla esecuzione di prove penetrometriche statiche (CPT), sondaggi meccanici e dell'indagine sismica;
- determinazione del moto sismico di riferimento su roccia da utilizzare nelle analisi di RSL; in particolare sono stati utilizzati gli accelerogrammi di riferimento validi per il Comune di Sala Bolognese reperiti presso il sito *www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica*;
- definizione del modello da impiegare nelle analisi; la scelta del modello è da rapportare alla complessità della situazione specifica, alla precisione e affidabilità richiesta, ai risultati e alle risorse economiche. Nel caso in esame è stato utilizzato il codice di calcolo EERA, prodotto dal Department of Civil Engineering della University of Southern California.

Il software EERA rientra nei modelli monodimensionali (1-D), i quali rappresentano i modelli più semplici e comunemente utilizzati; essi si basano su una serie di ipotesi e di semplificazioni introdotte nella caratterizzazione geometrica e meccanica del deposito e nelle leggi di propagazione delle onde sismiche e di comportamento dei terreni. In particolare si assume che:

- il bedrock sia orizzontale e indefinitamente esteso;
- il deposito sia omogeneo o al più stratificato orizzontalmente;
- la sollecitazione sismica sia costituita da sole onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (*SH*) incidenti il bedrock con direzione di propagazione verticale.

I programmi di calcolo 1-D sono validi per modellare situazioni piano-parallele ad uno o più strati, considerando una colonna verticale monodimensionale ed ipotizzando lateralmente omogenea la stratigrafia presente ai lati della verticale di analisi. Per tali situazioni è lecito pertanto considerare la sola dimensione della profondità, trascurando le altre due dimensioni. Le situazioni riconducibili ad uno schema monodimensionale, potrebbero essere costituite dalle aree centrali di estese valli alluvionali superficiali (con rapporto $H/L<0,25$ ove H è la profondità massima ed L è la distanza dal centro ad uno dei due bordi, nell'ipotesi di valle simmetrica). Si ritiene quindi che il caso in esame possa essere assimilato a tale tipologia e pertanto sia ragionevole utilizzare un modello monodimensionale.

EERA (Bardet et alii, 2000) è l'acronimo per Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis. Esso rappresenta una moderna applicazione dei concetti di analisi lineare equivalente della risposta di sito, i quali furono implementati per la prima volta in un codice di calcolo da Schnabel et alii nel 1972, mediante la creazione del codice SHAKE; tale codice ha subito aggiornamenti nel tempo fino a giungere alla versione SHAKE91, realizzata da Idriss e Sun nel 1992.

L'analisi lineare equivalente consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete con aggiornamento successivo dei parametri di rigidezza e smorzamento, che dipendono dallo stato di deformazione del terreno, fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza.

Dati di input

I dati di input necessari per il corretto funzionamento del software EERA sono i seguenti:

- definizione del moto di ingresso (Foglio Earthquake) : a tale scopo è necessario inserire i dati degli accelerogrammi di riferimento. In particolare sono stati utilizzati i seguenti file:
  - 000046xa_037050SalaBolognese.xy (si veda la fig. 39)
  - 000126xa_037050SalaBolognese.xy (si veda la fig. 40)
  - 000354xa_037050SalaBolognese.xy (si veda la fig. 41)

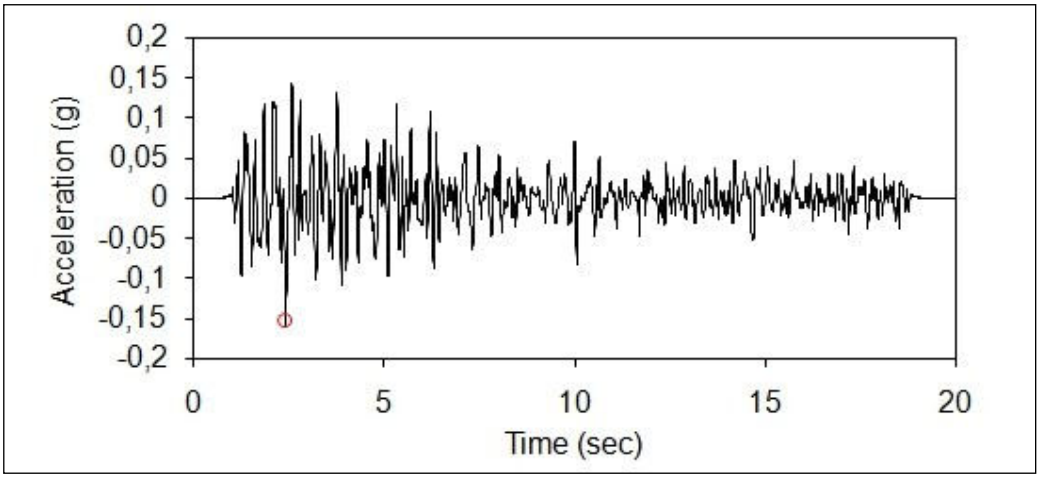


Fig. 39 : Accelerogramma tratto dal file 000046xa_037050SalaBolognese.xy

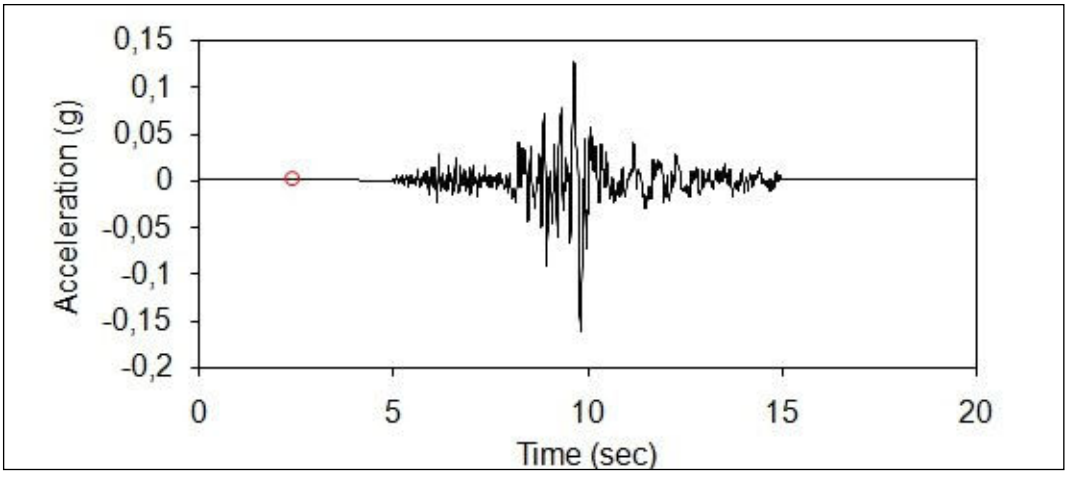


Fig. 40 : Accelerogramma tratto dal file 000126xa_037050SalaBolognese.xy

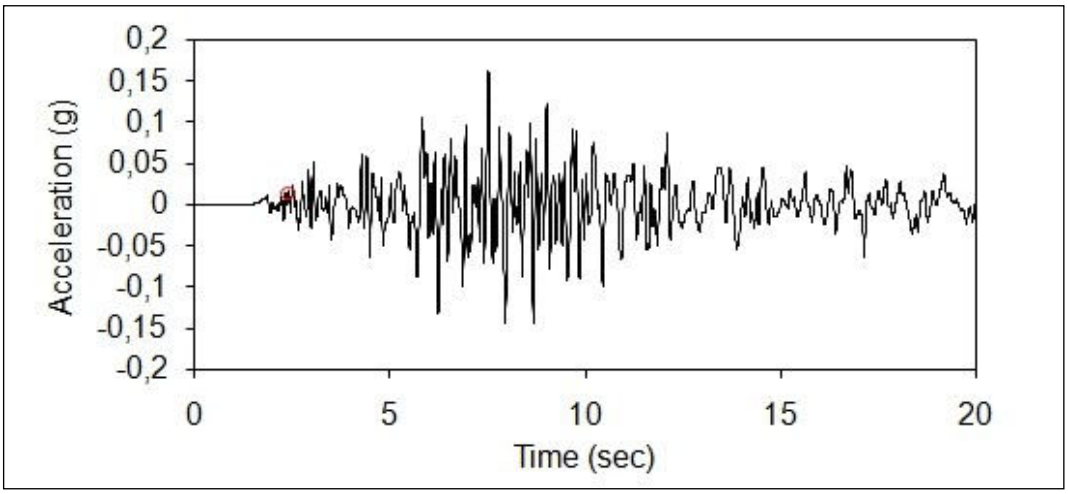


Fig. 41 : Accelerogramma tratto dal file 000354xa_037050SalaBolognese.xy

- Definizione del profilo stratigrafico e delle proprietà geotecniche e sismiche dei diversi strati (Foglio Profil). In particolare è necessario fornire i dati relativi ai seguenti elementi : N° e spessore degli strati, Litologia (argilla, sabbia e ghiaia), Densità totale, Velocità delle onde Vs.

  Per quanto concerne la definizione litostratigrafica e sismica dei terreni si è proceduto applicando il seguente schema metodologico:

  - sono state esaminate le sezioni geologiche e di sondaggi tratti dai siti cartografici del Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna (si vedano le figg. 42÷45 e le stratigrafie in all. 4), unitamente ai tabulati delle prove penetrometriche eseguite nel sito (si veda l'all. 1);
  - è stato considerato il profilo sismico ottenuto mediante tecnologica MASW e Re.Mi. (si veda l'all. 3); tali prove hanno consentito di determinare l'andamento dei valori di Vs in corrispondenza dell'area di intervento (si veda la fig. 34);
  - é stato ricostruito l'andamento delle onde Vs fino al bedrock-like, sulla base della metodologia indicata al punto 4.1.2 della D.G.R. n° 564/2021; in fig. 46 è riportato il grafico ottenuto, unitamente alla stratigrafia di riferimento.

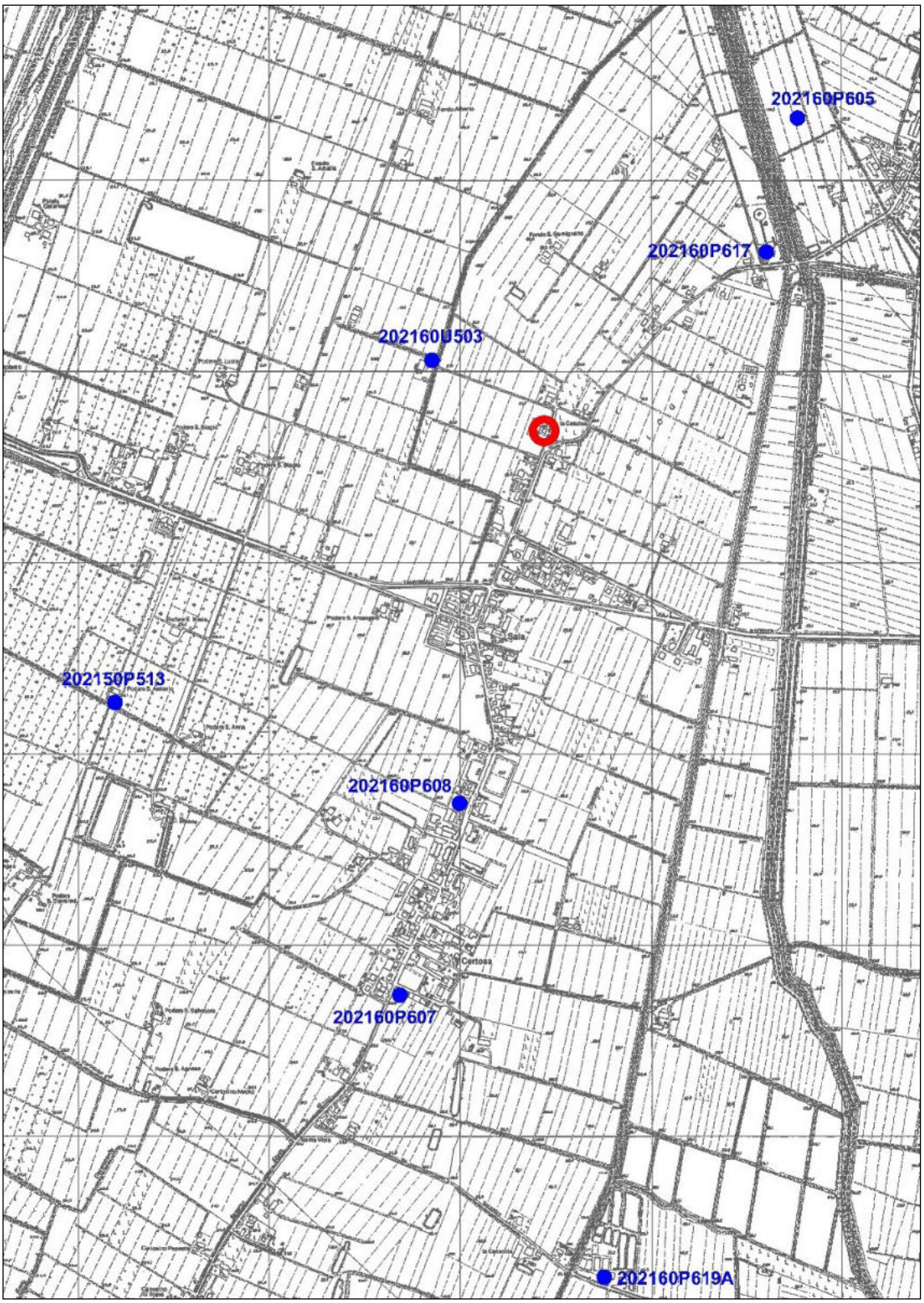


Fig. 42 : Ubicazione delle prove geognostiche tratte dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

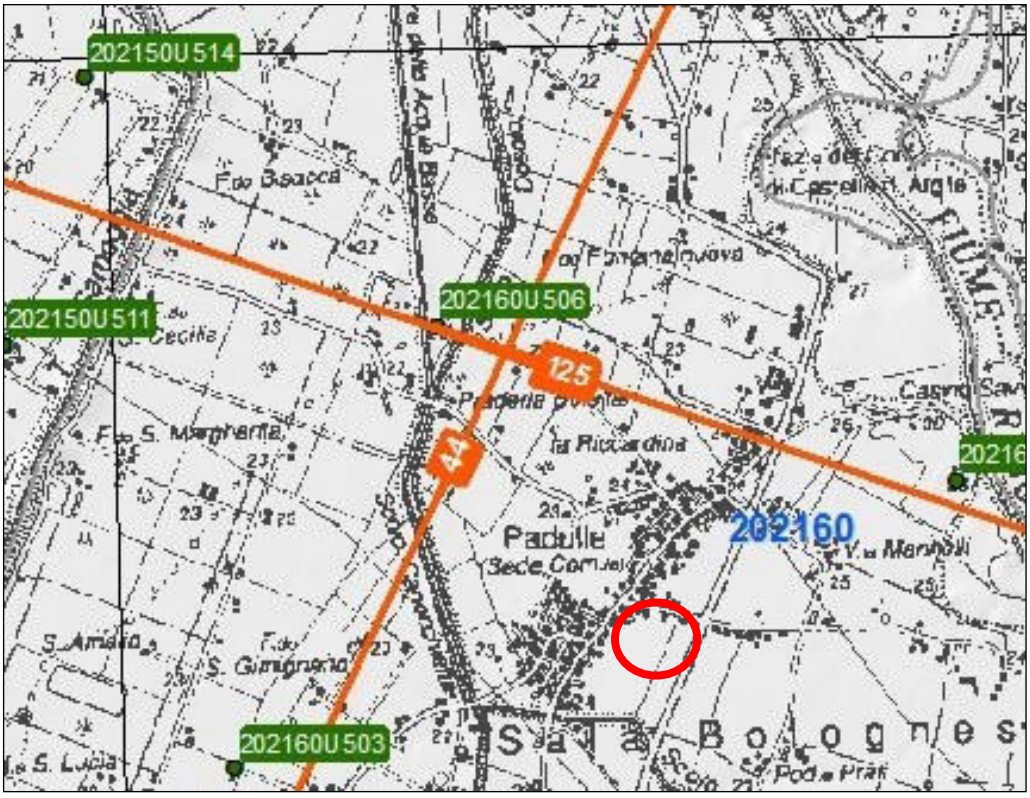


Fig. 43 : Tracce delle sezioni geologiche (dal sito Cartografia geologica del Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna)

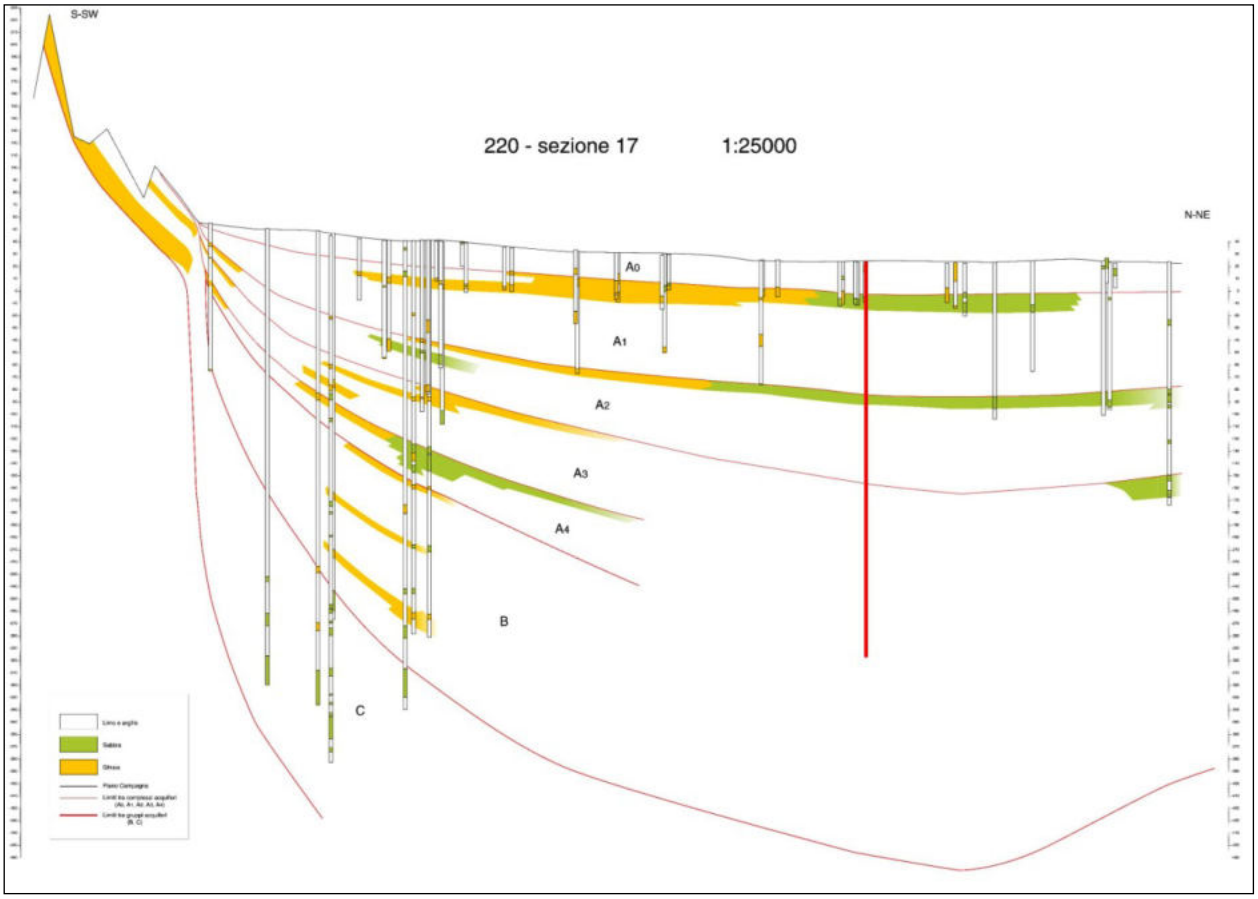


Fig. 44 : Sezione 44 (L17) (dal sito Cartografia geologica del Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna)

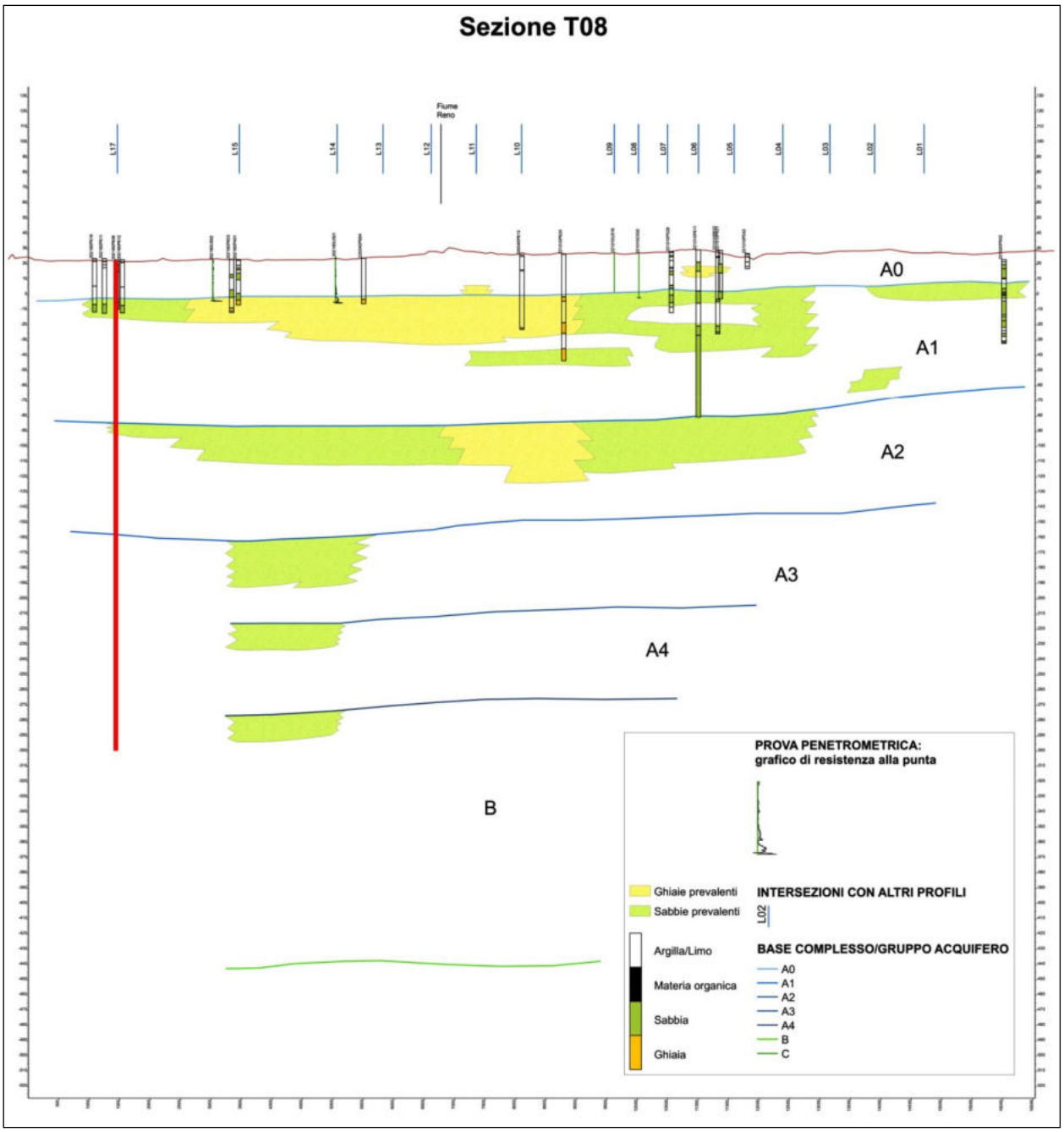


Fig. 45 : Sezione 122 (T08) (dal sito Cartografia geologica del Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna)

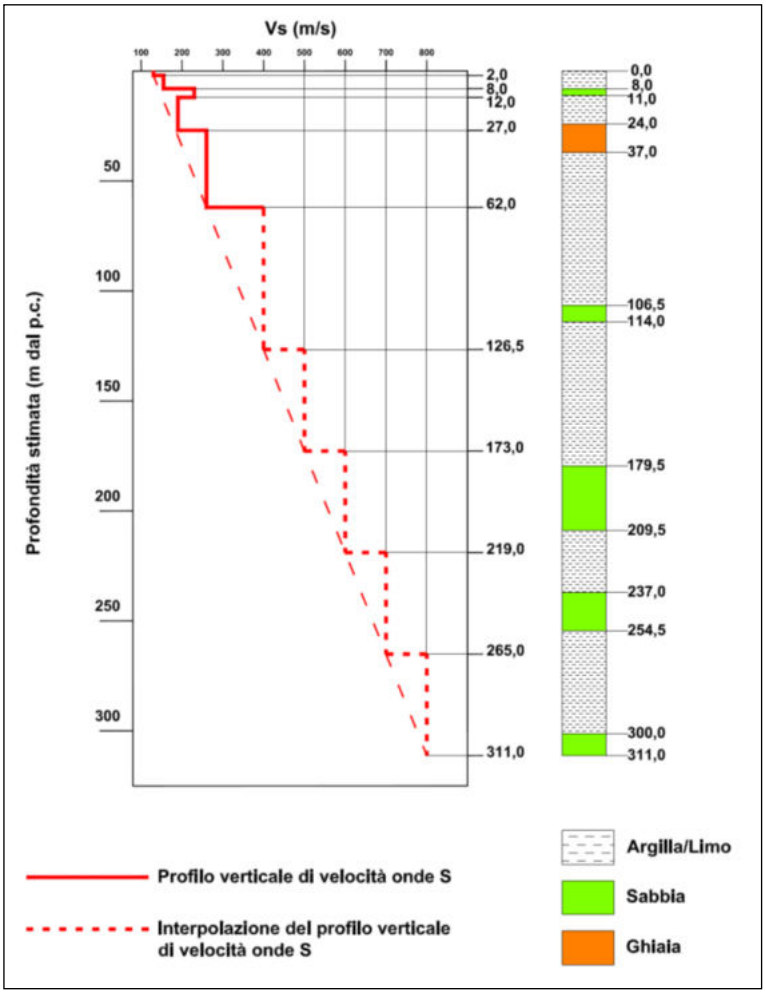


Fig. 46 : Diagramma di interpolazione delle V_s e stratigrafia di riferimento

Nella fig. 47 è riportata la videata della scheda Profil del software EERA, la quale riporta i dati inerenti la schematizzazione litostratigrafica e geotecnico-sismica dei terreni presenti nella zona esaminata. Nelle figg. 48÷50 sono forniti i grafici relativi ai moduli di taglio ed al fattore di smorzamento in funzione della deformazione tangenziale utilizzati per le diverse litologie presenti.

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table
Surface	1	1	1	2,0	32,11		18,64	130		W
	2	1	1	6,0	45,65		18,64	155		
	3	2	1	4,0	105,75		19,61	230		
	4	1	3	15,0	68,59		18,64	190		
	5	3	2	10,0	148,64		21,57	260		
	6	1	5	25,0	128,45		18,64	260		
	7	1	9	44,5	304,02		18,64	400		
	8	2	2	7,5	319,84		19,61	400		
	9	1	2	12,5	304,02		18,64	400		
	10	1	9	46,5	475,03		18,64	500		
	11	2	7	37,0	719,632996		19,61	600		
	12	1	2	9,0	684,04		18,64	600		
	13	1	4	18,0	931,05		18,64	700		
	14	2	4	18,0	979,50		19,61	700		
	15	1	2	10,0	931,05		18,64	700		
	16	1	7	35,0	1216,07		18,64	800		
Bedrock	17	2	2	11,0	1279,35		19,61	800	Outcrop	

Fig. 47 : Videata della scheda Profil

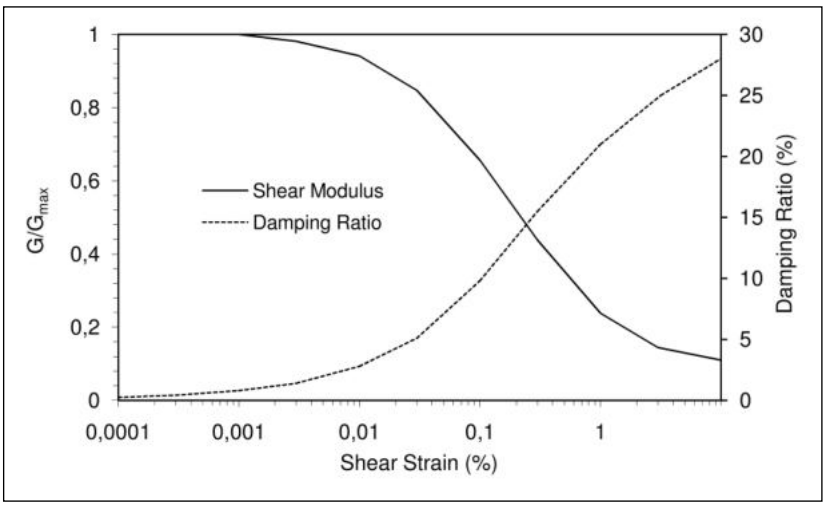


Fig. 48 : Diagramma valido per le argille

Andamento del Modulo di taglio G/G_{max} : da Seed & Sun (1989)
Andamento del Fattore di Smorzamento (Damping Ratio) : da Idriss (1990)

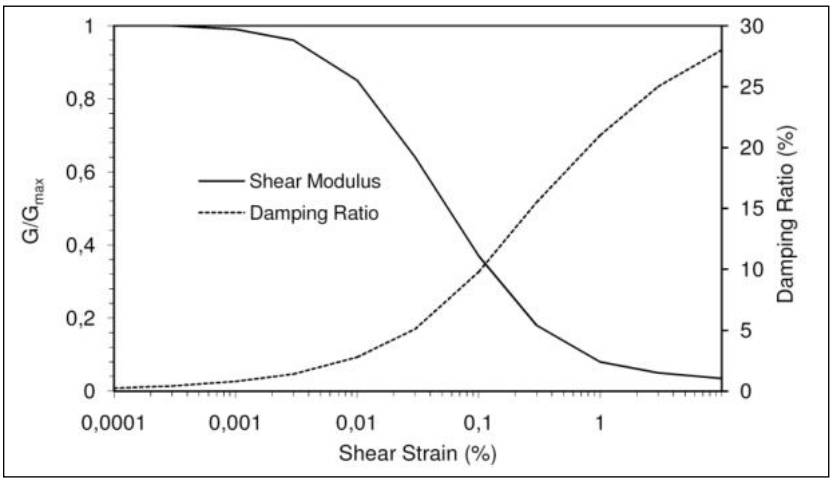


Fig. 49 : Diagramma valido per le sabbie

Andamento del Modulo di taglio G/Gmax : da Seed & Idriss (1970)
Andamento del Fattore di Smorzamento (Damping Ratio) : da Idriss (1990)

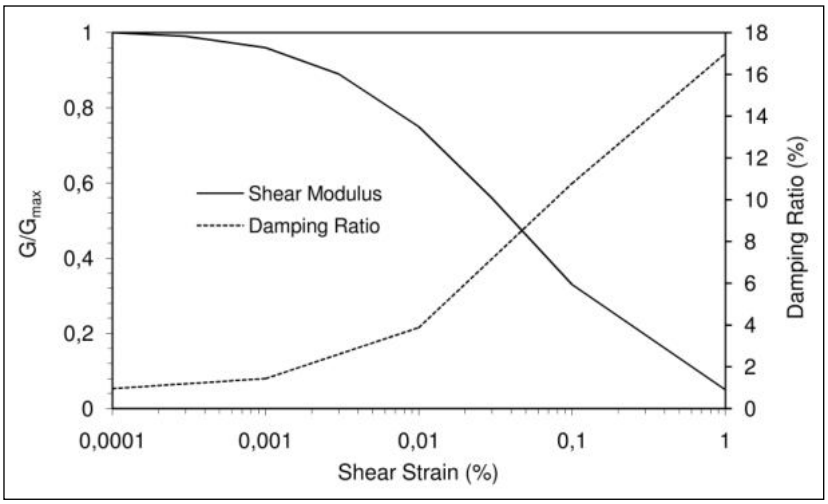


Fig. 50 : Diagramma valido per le ghiaie

Andamento del Modulo di taglio G/Gmax : da Rollins et alii (1998)
Andamento del Fattore di Smorzamento (Damping Ratio) : da Rollins et alii (1998)

Risultati

Lo svolgimento delle verifiche di Risposta Sismica Locale mediante l'uso del software EERA ha consentito di ottenere per i due Stati Limite esaminati (SLV e SLD) i valori di accelerazione massima al suolo riportati nella seguente tabella, nella quale sono forniti i valori riferiti ai 3 accelerogrammi di riferimento ed al valore medio ottenuto.

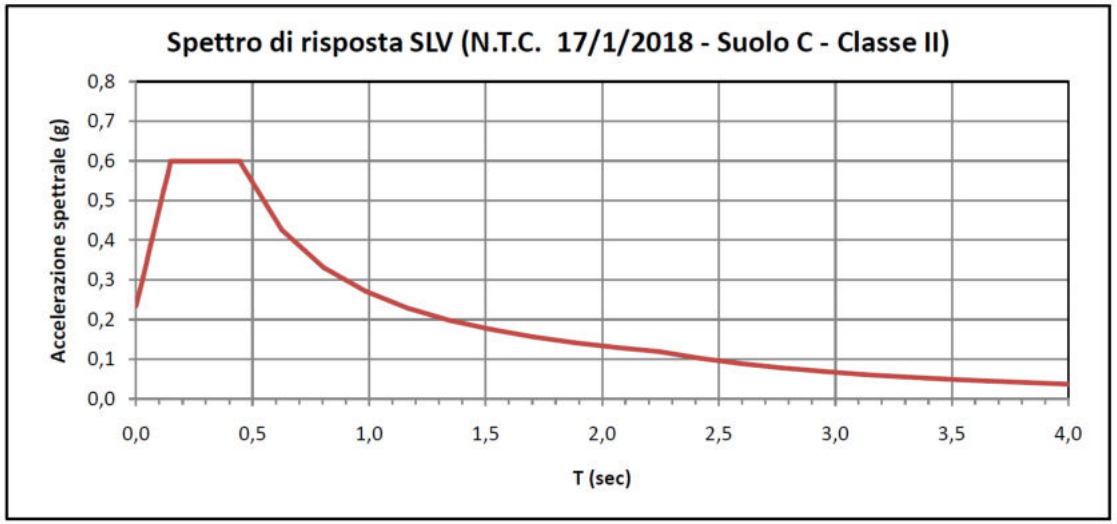
Stato Limite	**Accel. 046** *(g)*	**Accel. 126** *(g)*	**Accel. 354** *(g)*	**Valore medio** *(g)*
SLV	0,198	0,219	0,228	**0,215**
SLD	0,087	0,097	0,106	**0,097**

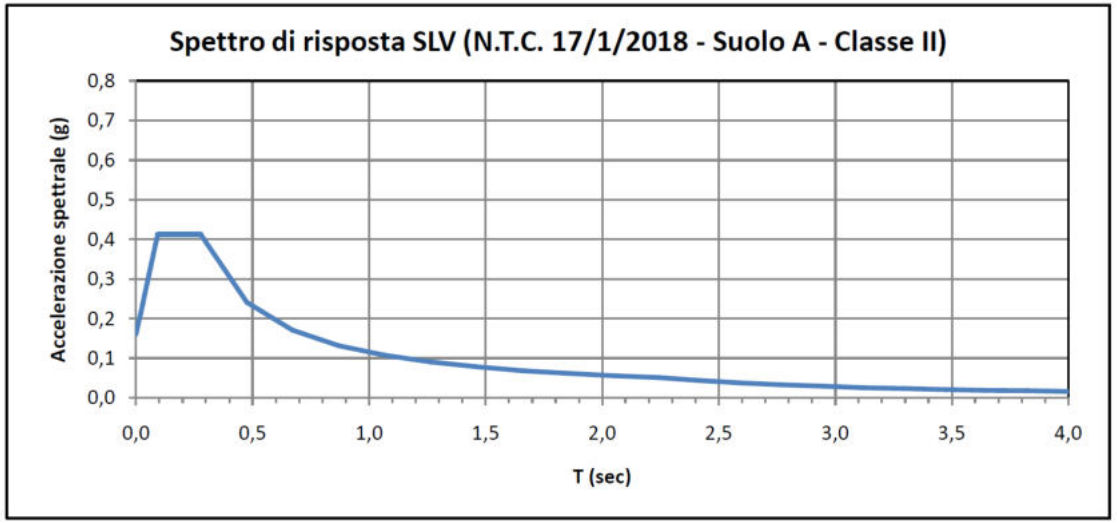
Di seguito vengono forniti i grafici degli spettri di risposta ottenuti nelle elaborazioni svolte per i due Stati Limite Ultimi esaminati (SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita e SLD = Stato Limite di Danno).

In particolare sono riportati :

- Spettri di risposta per i suoli A e C, applicando l'approccio semplificato. Nella fig. 51 sono forniti gli spettri SLV e nella fig. 55 quelli SLD;
- Spettri di risposta ottenuti con EERA, unitamente allo spettro medio da essi risultante. Nella fig. 52 è riportato il grafico per gli spettri SLV ed in fig. 56 quello degli spettri SLD;
- Spettri medi ottenuti con EERA normalizzati applicando la metodologia descritta nell'Appendice 1 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n° 55/2018, messi a confronto con gli spettri derivanti dalla NTC per il suolo di tipo C e con la media degli spettri di riferimento utilizzati. Nella fig. 53 è riportato il grafico riferito agli spettri SLV ed in fig. 57 quello degli spettri SLD;
- Tabulati dei dati dei diversi spettri di risposta ottenuti; nella fig. 54 è fornito quello degli spettri SLV ed in fig. 58 quello degli spettri SLD.

SUOLO C	
T (s)	Se(T) (g)
0,000	0,234
0,015	0,271
0,030	0,307
0,045	0,344
0,059	0,380
0,074	0,416
0,089	0,453
0,104	0,489
0,119	0,526
0,134	0,562
0,148	**0,599**
0,445	**0,599**
0,625	0,426
0,805	0,331
0,985	0,271
1,165	0,229
1,345	0,198
1,525	0,175
1,705	0,156
1,885	0,141
2,065	0,129
2,245	0,119
2,420	0,102
2,596	0,089
2,771	0,078
2,947	0,069
3,122	0,061
3,298	0,055
3,473	0,050
3,649	0,045
3,824	0,041
4,000	0,037





SUOLO A	
T (s)	Se(T) (g)
0,000	0,161
0,009	0,186
0,019	0,211
0,028	0,236
0,037	0,262
0,046	0,287
0,056	0,312
0,065	0,337
0,074	0,362
0,083	0,387
0,093	**0,412**
0,278	**0,412**
0,475	0,241
0,671	0,171
0,868	0,132
1,065	0,108
1,261	0,091
1,458	0,079
1,655	0,069
1,851	0,062
2,048	0,056
2,245	0,051
2,420	0,044
2,596	0,038
2,771	0,033
2,947	0,030
3,122	0,026
3,298	0,024
3,473	0,021
3,649	0,019
3,824	0,018
4,000	0,016

Fig. 51 : Spettri di risposta SLV per i suoli A e C da approccio semplificato

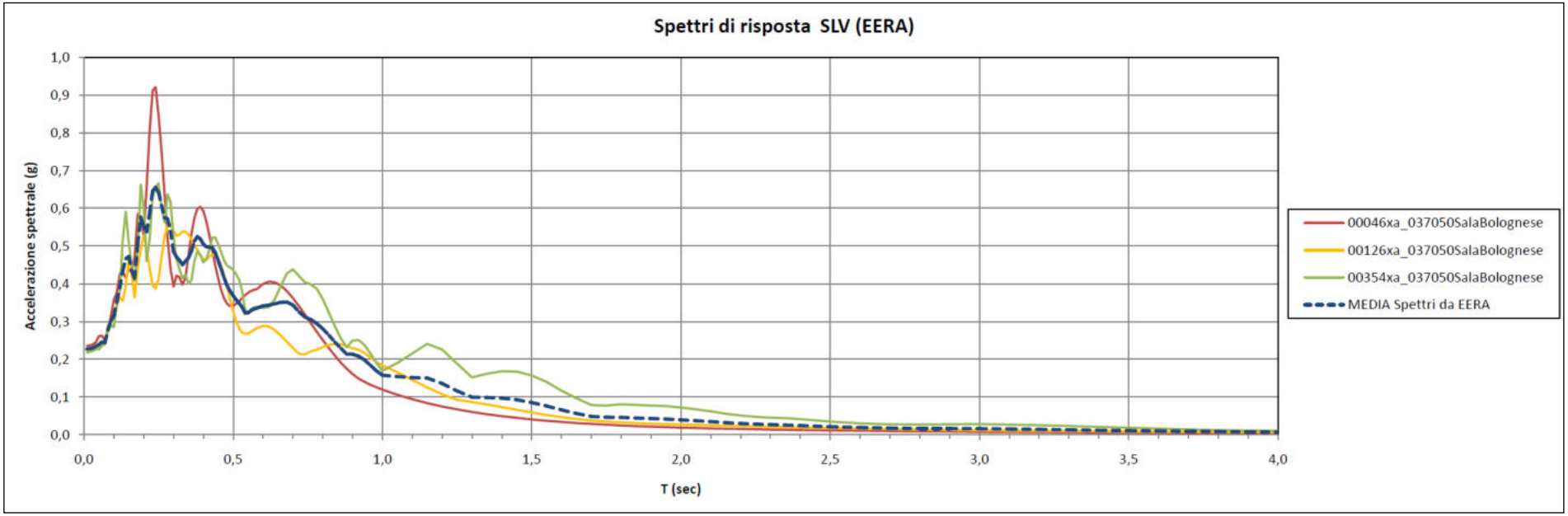


Fig. 52 : Spettri di risposta SLV ottenuti mediante l'uso del software EERA

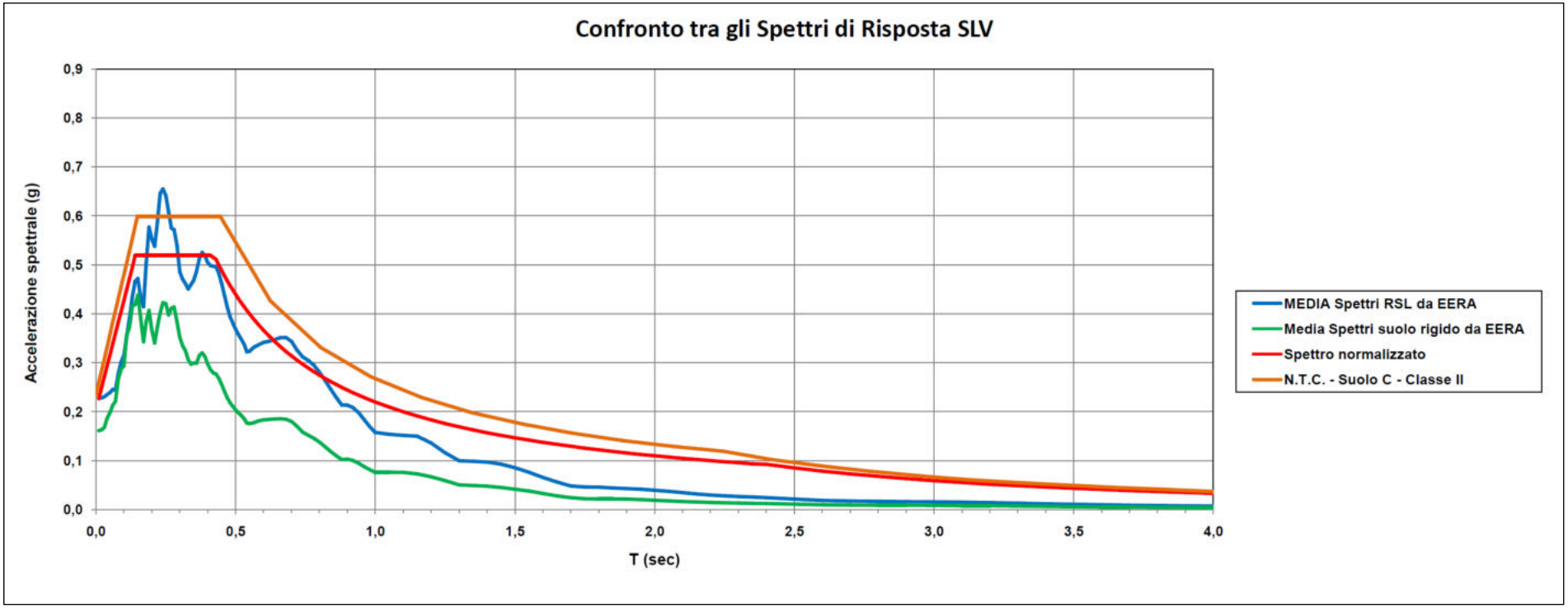


Fig. 53 : Confronto tra gli spettri di risposta SLV

da elaborazione EERA : foglio SPECTRA - absolute acc.	
Periodo (sec)	00046xa_037050SalaBolognese
0,01	0,235
0,02	0,237
0,03	0,239
0,04	0,245
0,05	0,261
0,06	0,263
0,07	0,251
0,08	0,272
0,09	0,314
0,10	0,357
0,11	0,376
0,12	0,427
0,13	0,431
0,14	0,416
0,15	0,439
0,16	0,434
0,17	0,471
0,18	0,584
0,19	0,574
0,20	0,530
0,21	0,656
0,22	0,803
0,23	0,912
0,24	0,921
0,25	0,846
0,26	0,753
0,27	0,637
0,28	0,522
0,29	0,441
0,30	0,393
0,31	0,422
0,32	0,417
0,33	0,398
0,34	0,416
0,35	0,474
0,36	0,532
0,37	0,575
0,38	0,599
0,39	0,604
0,40	0,593
0,41	0,564
0,42	0,529
0,43	0,489
0,44	0,449
0,45	0,413
0,46	0,382
0,47	0,360
0,48	0,346
0,49	0,341
0,50	0,341
0,51	0,347
0,52	0,354
0,53	0,362
0,54	0,370
0,55	0,376
0,56	0,381
0,57	0,384
0,58	0,386
0,60	0,400
0,62	0,406
0,64	0,404
0,66	0,395
0,68	0,381
0,70	0,362
0,72	0,341
0,74	0,319
0,76	0,296
0,78	0,273
0,80	0,251
0,82	0,230
0,84	0,210
0,86	0,192
0,88	0,175
0,90	0,161
0,92	0,149
0,94	0,140
0,96	0,132
0,98	0,126
1,00	0,120
1,05	0,106
1,10	0,094
1,15	0,084
1,20	0,075
1,25	0,067
1,30	0,060
1,35	0,054
1,40	0,049
1,45	0,045
1,50	0,040
1,55	0,037
1,60	0,034
1,65	0,031
1,70	0,029
1,75	0,026
1,80	0,025
1,85	0,023
1,90	0,021
1,95	0,020
2,00	0,019
2,05	0,018
2,10	0,017
2,15	0,016
2,20	0,015
2,25	0,014
2,30	0,014
2,35	0,013
2,40	0,012
2,50	0,011
2,60	0,010
2,70	0,010
2,80	0,009
2,90	0,008
3,00	0,008
3,10	0,007
3,20	0,007
3,30	0,006
3,40	0,006
3,50	0,006
3,60	0,005
3,70	0,005
3,80	0,005
3,90	0,005
4,00	0,004
4,10	0,004
4,20	0,004
4,30	0,004
4,40	0,004
4,50	0,003
4,60	0,003
4,70	0,003
4,80	0,003
4,90	0,003
5,00	0,003
5,10	0,003
5,20	0,003
5,40	0,003
5,60	0,002
5,80	0,002
6,00	0,002
6,20	0,002
6,40	0,002
6,60	0,002
6,80	0,002
7,00	0,002
7,20	0,002
7,40	0,002
7,60	0,001
7,80	0,001
8,00	0,001
8,50	0,001
9,00	0,001
9,50	0,001
10,00	0,001

da elaborazione EERA : foglio SPECTRA - absolute acc.	
Periodo (sec)	00126xa_037050SalaBolognese
0,01	0,227
0,02	0,228
0,03	0,229
0,04	0,232
0,05	0,230
0,06	0,237
0,07	0,241
0,08	0,288
0,09	0,300
0,10	0,304
0,11	0,340
0,12	0,364
0,13	0,354
0,14	0,393
0,15	0,465
0,16	0,422
0,17	0,364
0,18	0,439
0,19	0,494
0,20	0,528
0,21	0,497
0,22	0,442
0,23	0,396
0,24	0,387
0,25	0,412
0,26	0,469
0,27	0,525
0,28	0,556
0,29	0,558
0,30	0,540
0,31	0,527
0,32	0,531
0,33	0,538
0,34	0,538
0,35	0,530
0,36	0,518
0,37	0,504
0,38	0,489
0,39	0,476
0,40	0,465
0,41	0,463
0,42	0,472
0,43	0,477
0,44	0,476
0,45	0,466
0,46	0,448
0,47	0,421
0,48	0,390
0,49	0,357
0,50	0,326
0,51	0,300
0,52	0,281
0,53	0,271
0,54	0,267
0,55	0,269
0,56	0,273
0,57	0,278
0,58	0,283
0,60	0,289
0,62	0,287
0,64	0,277
0,66	0,262
0,68	0,246
0,70	0,230
0,72	0,215
0,74	0,213
0,76	0,221
0,78	0,225
0,80	0,232
0,82	0,238
0,84	0,241
0,86	0,240
0,88	0,234
0,90	0,229
0,92	0,225
0,94	0,217
0,96	0,204
0,98	0,192
1,00	0,184
1,05	0,166
1,10	0,145
1,15	0,125
1,20	0,108
1,25	0,092
1,30	0,087
1,35	0,080
1,40	0,073
1,45	0,066
1,50	0,059
1,55	0,052
1,60	0,046
1,65	0,042
1,70	0,038
1,75	0,035
1,80	0,032
1,85	0,031
1,90	0,029
1,95	0,028
2,00	0,027
2,05	0,026
2,10	0,025
2,15	0,024
2,20	0,023
2,25	0,022
2,30	0,021
2,35	0,020
2,40	0,019
2,50	0,017
2,60	0,016
2,70	0,015
2,80	0,014
2,90	0,013
3,00	0,012
3,10	0,011
3,20	0,010
3,30	0,010
3,40	0,009
3,50	0,009
3,60	0,008
3,70	0,008
3,80	0,007
3,90	0,007
4,00	0,006
4,10	0,006
4,20	0,006
4,30	0,005
4,40	0,005
4,50	0,005
4,60	0,005
4,70	0,004
4,80	0,004
4,90	0,004
5,00	0,004
5,10	0,004
5,20	0,004
5,40	0,003
5,60	0,003
5,80	0,003
6,00	0,003
6,20	0,003
6,40	0,003
6,60	0,002
6,80	0,002
7,00	0,002
7,20	0,002
7,40	0,002
7,60	0,002
7,80	0,002
8,00	0,002
8,50	0,002
9,00	0,002
9,50	0,001
10,00	0,001

da elaborazione EERA : foglio SPECTRA - absolute acc.	
Periodo (sec)	00354xa_037050SalaBolognese
0,01	0,218
0,02	0,220
0,03	0,222
0,04	0,227
0,05	0,226
0,06	0,236
0,07	0,239
0,08	0,272
0,09	0,290
0,10	0,285
0,11	0,344
0,12	0,379
0,13	0,518
0,14	0,591
0,15	0,512
0,16	0,446
0,17	0,409
0,18	0,492
0,19	0,663
0,20	0,602
0,21	0,460
0,22	0,518
0,23	0,630
0,24	0,657
0,25	0,666
0,26	0,602
0,27	0,563
0,28	0,637
0,29	0,617
0,30	0,524
0,31	0,464
0,32	0,439
0,33	0,415
0,34	0,424
0,35	0,400
0,36	0,409
0,37	0,461
0,38	0,487
0,39	0,476
0,40	0,457
0,41	0,466
0,42	0,490
0,43	0,522
0,44	0,523
0,45	0,504
0,46	0,483
0,47	0,461
0,48	0,447
0,49	0,443
0,50	0,437
0,51	0,426
0,52	0,410
0,53	0,380
0,54	0,330
0,55	0,324
0,56	0,333
0,57	0,338
0,58	0,339
0,60	0,336
0,62	0,339
0,64	0,360
0,66	0,396
0,68	0,427
0,70	0,438
0,72	0,421
0,74	0,404
0,76	0,398
0,78	0,386
0,80	0,359
0,82	0,324
0,84	0,289
0,86	0,256
0,88	0,232
0,90	0,250
0,92	0,251
0,94	0,238
0,96	0,215
0,98	0,190
1,00	0,169
1,05	0,190
1,10	0,215
1,15	0,241
1,20	0,226
1,25	0,189
1,30	0,152
1,35	0,162
1,40	0,168
1,45	0,167
1,50	0,157
1,55	0,140
1,60	0,117
1,65	0,097
1,70	0,078
1,75	0,077
1,80	0,081
1,85	0,079
1,90	0,077
1,95	0,076
2,00	0,072
2,05	0,067
2,10	0,062
2,15	0,055
2,20	0,051
2,25	0,047
2,30	0,045
2,35	0,044
2,40	0,041
2,50	0,035
2,60	0,030
2,70	0,028
2,80	0,027
2,90	0,028
3,00	0,028
3,10	0,027
3,20	0,025
3,30	0,023
3,40	0,021
3,50	0,018
3,60	0,016
3,70	0,014
3,80	0,012
3,90	0,011
4,00	0,011
4,10	0,010
4,20	0,010
4,30	0,009
4,40	0,009
4,50	0,009
4,60	0,008
4,70	0,008
4,80	0,007
4,90	0,007
5,00	0,007
5,10	0,006
5,20	0,006
5,40	0,005
5,60	0,005
5,80	0,004
6,00	0,004
6,20	0,004
6,40	0,003
6,60	0,003
6,80	0,003
7,00	0,003
7,20	0,003
7,40	0,003
7,60	0,002
7,80	0,002
8,00	0,002
8,50	0,002
9,00	0,002
9,50	0,002
10,00	0,001

Media Spettri RSL da EERA				
Periodo (sec)	MEDIA Spettri RSL da EERA			
0,01	0,227			
0,02	0,228			
0,03	0,230			
0,04	0,235			
0,05	0,239			
0,06	0,245			
0,07	0,244			
0,08	0,277			
0,09	0,301			
0,10	0,315			
0,11	0,353			
0,12	0,390	0,5TA	Media	SAm
0,13	0,434		0,00412	
0,14	0,466		0,00450	
0,15	0,472		0,00469	
0,16	0,434		0,00453	
0,17	0,415		0,00424	
0,18	0,505		0,00460	
0,19	0,577		0,00541	
0,20	0,553		0,00565	
0,21	0,538		0,00545	
0,22	0,588		0,00563	
0,23	0,646		0,00617	
0,24	0,655	TA	0,00651	0,519
0,25	0,641		0,00648	
0,26	0,608		0,00625	
0,27	0,575		0,00591	
0,28	0,572		0,00573	
0,29	0,539		0,00555	
0,30	0,486		0,00512	
0,31	0,471		0,00478	
0,32	0,462		0,00467	
0,33	0,451		0,00456	
0,34	0,459		0,00455	
0,35	0,468		0,00464	
0,36	0,486	1,5TA	0,00477	
0,37	0,513			
0,38	0,525			
0,39	0,519			
0,40	0,505			
0,41	0,498			
0,42	0,497			
0,43	0,496			
0,44	0,483			
0,45	0,461			
0,46	0,438			
0,47	0,414			
0,48	0,394			
0,49	0,380			
0,50	0,368			
0,51	0,358			
0,52	0,349			
0,53	0,338			
0,54	0,322			
0,55	0,323			
0,56	0,329			
0,57	0,333			
0,58	0,336			
0,60	0,341			
0,62	0,344			
0,64	0,347			
0,66	0,351			
0,68	0,351			
0,70	0,343			
0,72	0,326			
0,74	0,312			
0,76	0,305			
0,78	0,295			
0,80	0,281			
0,82	0,264			
0,84	0,246			
0,86	0,229			
0,88	0,214			
0,90	0,213			
0,92	0,208			
0,94	0,198			
0,96	0,184			
0,98	0,169			
1,00	0,158			
1,05	0,154			
1,10	0,152			
1,15	0,150			
1,20	0,136			
1,25	0,116			
1,30	0,100			
1,35	0,099			
1,40	0,097			
1,45	0,093			
1,50	0,085			
1,55	0,076			
1,60	0,066			
1,65	0,056			
1,70	0,048			
1,75	0,046			
1,80	0,046			
1,85	0,044			
1,90	0,043			
1,95	0,041			
2,00	0,039			
2,05	0,037			
2,10	0,035			
2,15	0,032			
2,20	0,030			
2,25	0,028			
2,30	0,027			
2,35	0,026			
2,40	0,024			
2,50	0,021			
2,60	0,019			
2,70	0,017			
2,80	0,017			
2,90	0,016			
3,00	0,016			
3,10	0,015			
3,20	0,014			
3,30	0,013			
3,40	0,012			
3,50	0,011			
3,60	0,010			
3,70	0,009			
3,80	0,008			
3,90	0,007			
4,00	0,007			
4,10	0,007			
4,20	0,006			
4,30	0,006			
4,40	0,006			
4,50	0,006			
4,60	0,005			
4,70	0,005			
4,80	0,005			
4,90	0,005			
5,00	0,004			
5,10	0,004			
5,20	0,004			
5,40	0,004			
5,60	0,003			
5,80	0,003			
6,00	0,003			
6,20	0,003			
6,40	0,003			
6,60	0,002			
6,80	0,002			
7,00	0,002			
7,20	0,002			
7,40	0,002			
7,60	0,002			
7,80	0,002			
8,00	0,002			
8,50	0,002			
9,00	0,001			
9,50	0,001			
10,00	0,001			

Spettro pseudo-velocità SV	
Periodo (sec)	SV = SA(T)*(T/2π)
0,01	0,000
0,02	0,001
0,03	0,001
0,04	0,001
0,05	0,002
0,06	0,002
0,07	0,003
0,08	0,004
0,09	0,004
0,10	0,005
0,11	0,006
0,12	0,007
0,13	0,009
0,14	0,010
0,15	0,011
0,16	0,011
0,17	0,011
0,18	0,014
0,19	0,017
0,20	0,018
0,21	0,018
0,22	0,021
0,23	0,024
0,24	0,025
0,25	0,026
0,26	0,025
0,27	0,025
0,28	0,025
0,29	0,025
0,30	0,023
0,31	0,023
0,32	0,024
0,33	0,024
0,34	0,025
0,35	0,026
0,36	0,028
0,37	0,030
0,38	0,032
0,39	0,032
0,40	0,032
0,41	0,033
0,42	0,033
0,43	0,034
0,44	0,034
0,45	0,033
0,46	0,032
0,47	0,031
0,48	0,030
0,49	0,030
0,50	0,029
0,51	0,029
0,52	0,029
0,53	0,029
0,54	0,028
0,55	0,028
0,56	0,029
0,57	0,030
0,58	0,031
0,60	0,033
0,62	0,034
0,64	0,035
0,66	0,037
0,68	0,038
0,70	0,038
0,72	0,037
0,74	0,037
0,76	0,037
0,78	0,037
0,80	0,036
0,82	0,034
0,84	0,033
0,86	0,031
0,88	0,030
0,90	0,031
0,92	0,031
0,94	0,030
0,96	0,028
0,98	0,026
1,00	0,025
1,05	0,026
1,10	0,027
1,15	0,027
1,20	0,026
1,25	0,023
1,30	0,021
1,35	0,021
1,40	0,022
1,45	0,021
1,50	0,020
1,55	0,019
1,60	0,017
1,65	0,015
1,70	0,013
1,75	0,013
1,80	0,013
1,85	0,013
1,90	0,013
1,95	0,013
2,00	0,013
2,05	0,012
2,10	0,012
2,15	0,011
2,20	0,010
2,25	0,010
2,30	0,010
2,35	0,010
2,40	0,009
2,50	0,008
2,60	0,008
2,70	0,007
2,80	0,007
2,90	0,007
3,00	0,008
3,10	0,007
3,20	0,007
3,30	0,007
3,40	0,006
3,50	0,006
3,60	0,006
3,70	0,005
3,80	0,005
3,90	0,005
4,00	0,004
4,10	0,004
4,20	0,004
4,30	0,004
4,40	0,004
4,50	0,004
4,60	0,004
4,70	0,004
4,80	0,004
4,90	0,004
5,00	0,004
5,10	0,003
5,20	0,003
5,40	0,003
5,60	0,003
5,80	0,003
6,00	0,003
6,20	0,003
6,40	0,003
6,60	0,003
6,80	0,003
7,00	0,002
7,20	0,002
7,40	0,002
7,60	0,002
7,80	0,002
8,00	0,002
8,50	0,002
9,00	0,002
9,50	0,002
10,00	0,002

Parametri sismici per la definizione dello spettro normalizzato				
T_C	$2\pi \times (SV_m/SA_m)$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	0,42	
T_B	$T_C / 3$	N.T.C. 2018 : 3.2.6	0,14	
T_D	$4,0 \times (a_{max}/g) + 1,6$	N.T.C. 2018 : 3.2.7	2,42	
a_{max}	$(Se/SA_m - 0,01/T_B) \times (SA_m/1-(0,01/T_B))$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	0,204	
a_g	Se (t=0,01s)		0,227	
F_o	SA_m/a_{max}	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	2,538	2,538
SA_m	$\frac{1}{TA}\int_{0,5*TA}^{1,5*TA} SA(T)dT$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	0,519	
SV_m	$\frac{1}{0,4*TV}\int_{0,8*TV}^{1,2*TV} SV(T)dT$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	0,035	
S_S	Coeff. amplificazione stratigrafica	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	1,00	
S_T	Coeff. amplificazione topografica	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	1,00	
η	Fattore per Coeff. smorzamento	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	1,00	

Determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico Se (N.T.C. 2018 - 3.2.2.)

$0 \le T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \le T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

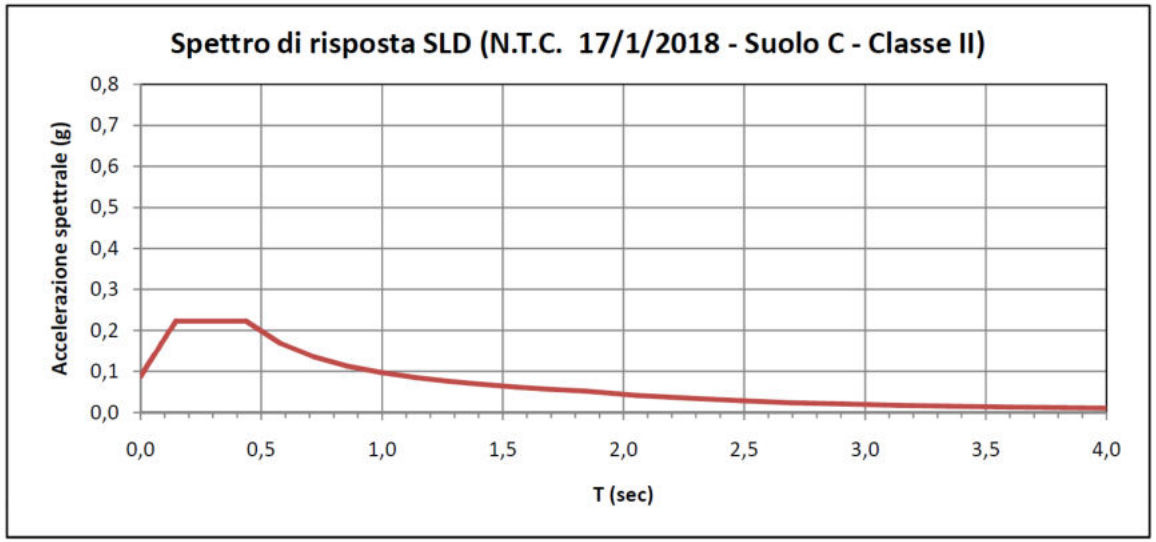
$T_C \le T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

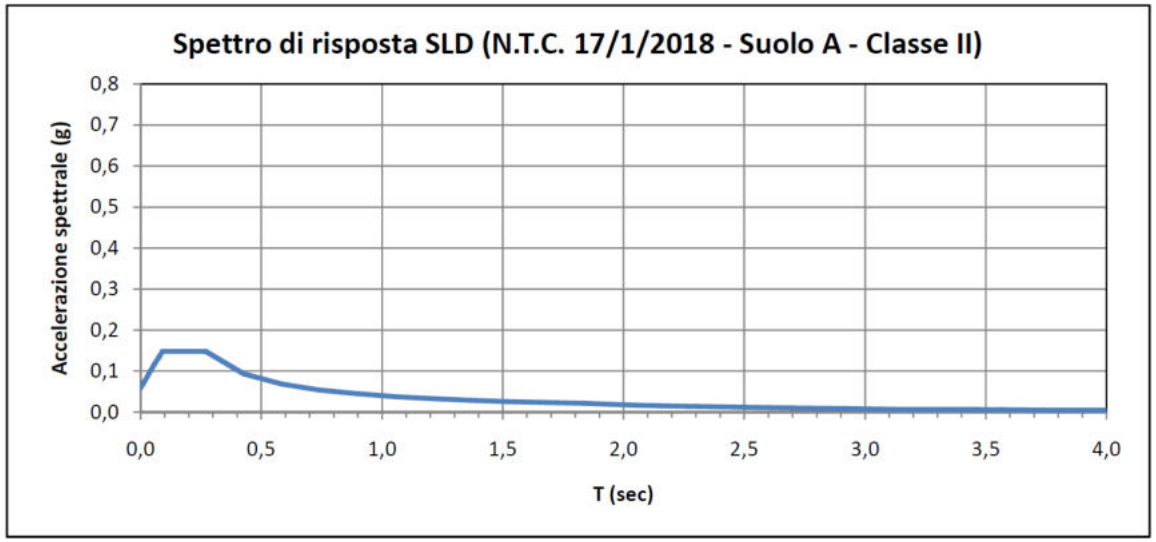
$T_D \le T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right)$

Spettro Normalizzato da Ord. 55/2016		
	Periodo (sec)	Spettro normalizzato
T_A	0,01	0,227
	0,02	0,249
	0,03	0,271
	0,04	0,294
	0,05	0,316
	0,06	0,338
	0,07	0,360
	0,08	0,383
	0,09	0,405
	0,10	0,427
	0,11	0,449
	0,12	0,472
	0,13	0,494
T_B	0,14	0,519
	0,15	0,519
	0,16	0,519
	0,17	0,519
	0,18	0,519
	0,19	0,519
	0,20	0,519
	0,21	0,519
	0,22	0,519
	0,23	0,519
	0,24	0,519
	0,25	0,519
	0,26	0,519
	0,27	0,519
	0,28	0,519
	0,29	0,519
	0,30	0,519
	0,31	0,519
	0,32	0,519
	0,33	0,519
	0,34	0,519
	0,35	0,519
	0,36	0,519
	0,37	0,519
	0,38	0,519
	0,39	0,519
	0,40	0,519
	0,41	0,519
T_C	0,42	0,515
	0,43	0,511
	0,44	0,499
	0,45	0,488
	0,46	0,478
	0,47	0,468
	0,48	0,458
	0,49	0,448
	0,50	0,439
	0,51	0,431
	0,52	0,423
	0,53	0,415
	0,54	0,407
	0,55	0,400
	0,56	0,392
	0,57	0,385
	0,58	0,379
	0,60	0,366
	0,62	0,354
	0,64	0,343
	0,66	0,333
	0,68	0,323
	0,70	0,314
	0,72	0,305
	0,74	0,297
	0,76	0,289
	0,78	0,282
	0,80	0,275
	0,82	0,268
	0,84	0,262
	0,86	0,256
	0,88	0,250
	0,90	0,244
	0,92	0,239
	0,94	0,234
	0,96	0,229
	0,98	0,224
	1,00	0,220
	1,05	0,209
	1,10	0,200
	1,15	0,191
	1,20	0,183
	1,25	0,176
	1,30	0,169
	1,35	0,163
	1,40	0,157
	1,45	0,152
	1,50	0,146
	1,55	0,142
	1,60	0,137
	1,65	0,133
	1,70	0,129
	1,75	0,126
	1,80	0,122
	1,85	0,119
	1,90	0,116
	1,95	0,113
	2,00	0,110
	2,05	0,107
	2,10	0,105
	2,15	0,102
	2,20	0,100
	2,25	0,098
	2,30	0,096
	2,35	0,094
T_D	2,40	0,092
	2,50	0,085
	2,60	0,079
	2,70	0,073
	2,80	0,068
	2,90	0,063
	3,00	0,059
	3,10	0,055
	3,20	0,052
	3,30	0,049
	3,40	0,046
	3,50	0,043
	3,60	0,041
	3,70	0,039
	3,80	0,037
	3,90	0,035
	4,00	0,033
	4,10	0,032
	4,20	0,030
	4,30	0,029
	4,40	0,027
	4,50	0,026
	4,60	0,025
	4,70	0,024
	4,80	0,023
	4,90	0,022
	5,00	0,021
	5,10	0,020
	5,20	0,020
	5,40	0,018
	5,60	0,017
	5,80	0,016
	6,00	0,015
	6,20	0,014
	6,40	0,013
	6,60	0,012
	6,80	0,011
	7,00	0,011
	7,20	0,010
	7,40	0,010
	7,60	0,009
	7,80	0,009
	8,00	0,008
	8,50	0,007
	9,00	0,007
	9,50	0,006
	10,00	0,005

Fig. 54 : Tabelle dei dati inerenti gli spettri di risposta SLV

SUOLO C	
T (s)	Se(T) (g)
0,000	0,088
0,015	0,102
0,029	0,115
0,044	0,129
0,058	0,142
0,073	0,155
0,087	0,169
0,102	0,182
0,116	0,196
0,131	0,209
0,146	**0,223**
0,437	**0,223**
0,577	0,169
0,717	0,136
0,856	0,113
0,996	0,098
1,136	0,086
1,276	0,076
1,416	0,069
1,556	0,062
1,696	0,057
1,836	0,053
2,052	0,042
2,269	0,035
2,485	0,029
2,701	0,024
2,918	0,021
3,134	0,018
3,351	0,016
3,567	0,014
3,784	0,012
4,000	0,011





SUOLO A	
T (s)	Se(T) (g)
0,000	0,059
0,009	0,068
0,018	0,077
0,027	0,086
0,036	0,095
0,045	0,104
0,054	0,113
0,063	0,122
0,072	0,130
0,081	0,139
0,090	**0,148**
0,270	**0,148**
0,427	0,094
0,583	0,069
0,740	0,054
0,896	0,045
1,053	0,038
1,209	0,033
1,366	0,029
1,523	0,026
1,679	0,024
1,836	0,022
2,052	0,017
2,269	0,014
2,485	0,012
2,701	0,010
2,918	0,009
3,134	0,007
3,351	0,007
3,567	0,006
3,784	0,005
4,000	0,005

Fig. 55 : Spettri di risposta SLD per i suoli A e C da approccio semplificato

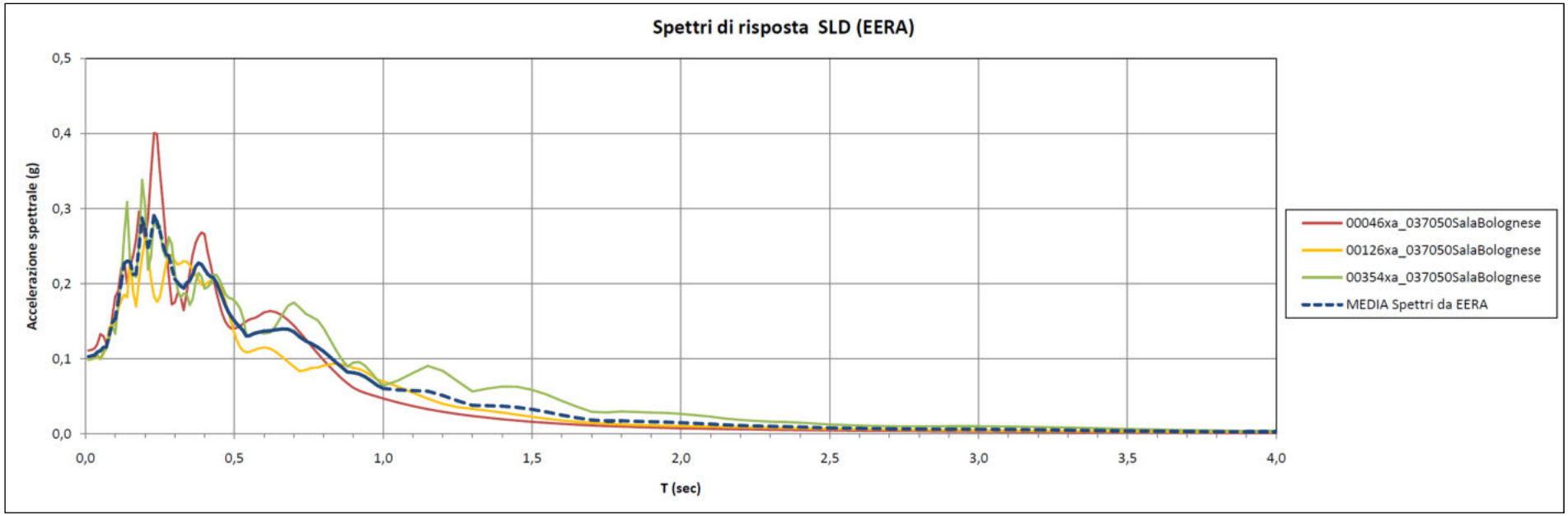


Fig. 56 : Spettri di risposta SLD ottenuti mediante l'uso del software EERA

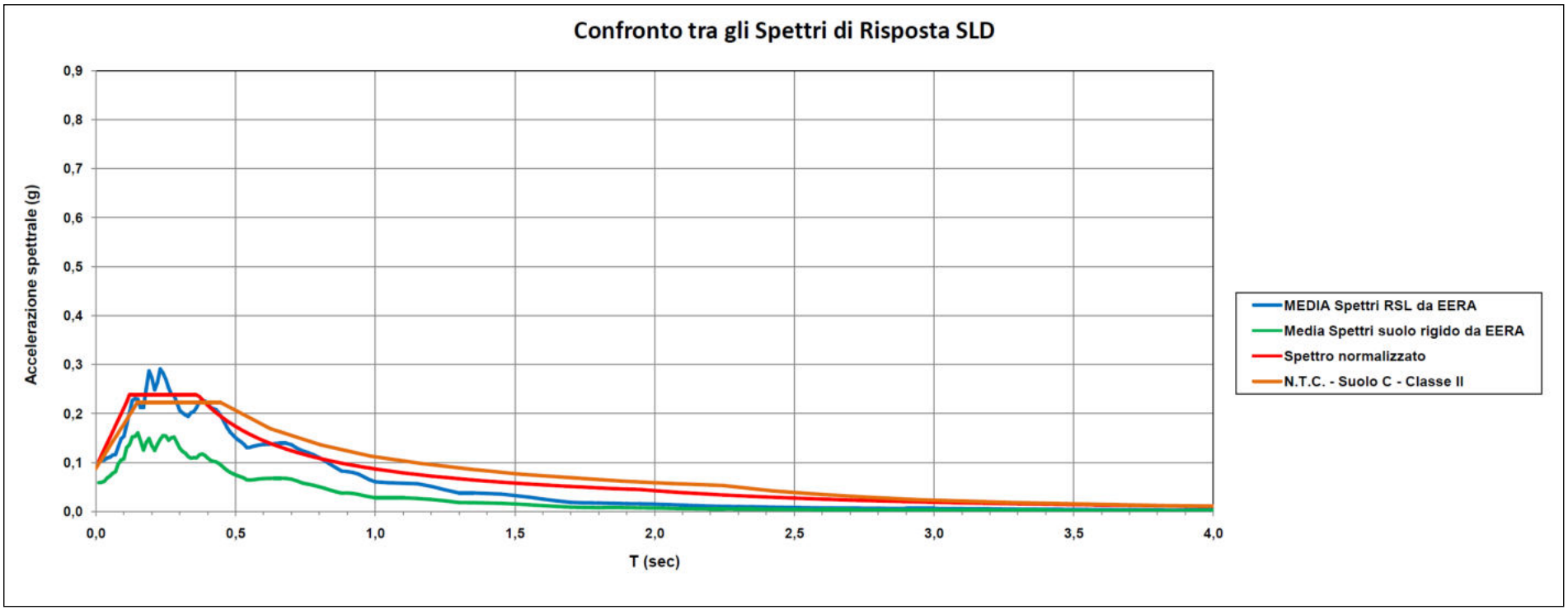


Fig. 57 : Confronto tra gli spettri di risposta SLD

da elaborazione EERA : foglio SPECTRA - absolute acc.	
Periodo (sec)	00046xa_037050SalaBolognese
0,01	0,111
0,02	0,112
0,03	0,114
0,04	0,120
0,05	0,133
0,06	0,130
0,07	0,121
0,08	0,126
0,09	0,156
0,10	0,183
0,11	0,191
0,12	0,221
0,13	0,229
0,14	0,201
0,15	0,223
0,16	0,238
0,17	0,259
0,18	0,296
0,19	0,286
0,20	0,257
0,21	0,287
0,22	0,346
0,23	0,401
0,24	0,399
0,25	0,350
0,26	0,307
0,27	0,258
0,28	0,210
0,29	0,173
0,30	0,175
0,31	0,188
0,32	0,182
0,33	0,165
0,34	0,189
0,35	0,215
0,36	0,238
0,37	0,255
0,38	0,263
0,39	0,269
0,40	0,266
0,41	0,242
0,42	0,225
0,43	0,207
0,44	0,189
0,45	0,173
0,46	0,159
0,47	0,150
0,48	0,143
0,49	0,140
0,50	0,140
0,51	0,142
0,52	0,144
0,53	0,147
0,54	0,150
0,55	0,152
0,56	0,154
0,57	0,155
0,58	0,157
0,60	0,162
0,62	0,164
0,64	0,162
0,66	0,158
0,68	0,152
0,70	0,144
0,72	0,135
0,74	0,126
0,76	0,116
0,78	0,107
0,80	0,098
0,82	0,090
0,84	0,082
0,86	0,074
0,88	0,067
0,90	0,062
0,92	0,057
0,94	0,055
0,96	0,052
0,98	0,050
1,00	0,047
1,05	0,042
1,10	0,037
1,15	0,033
1,20	0,029
1,25	0,026
1,30	0,024
1,35	0,022
1,40	0,020
1,45	0,018
1,50	0,016
1,55	0,015
1,60	0,013
1,65	0,012
1,70	0,011
1,75	0,011
1,80	0,010
1,85	0,009
1,90	0,009
1,95	0,008
2,00	0,008
2,05	0,007
2,10	0,007
2,15	0,006
2,20	0,006
2,25	0,006
2,30	0,006
2,35	0,005
2,40	0,005
2,50	0,005
2,60	0,004
2,70	0,004
2,80	0,004
2,90	0,003
3,00	0,003
3,10	0,003
3,20	0,003
3,30	0,003
3,40	0,002
3,50	0,002
3,60	0,002
3,70	0,002
3,80	0,002
3,90	0,002
4,00	0,002
4,10	0,002
4,20	0,002
4,30	0,001
4,40	0,001
4,50	0,001
4,60	0,001
4,70	0,001
4,80	0,001
4,90	0,001
5,00	0,001
5,10	0,001
5,20	0,001
5,40	0,001
5,60	0,001
5,80	0,001
6,00	0,001
6,20	0,001
6,40	0,001
6,60	0,001
6,80	0,001
7,00	0,001
7,20	0,001
7,40	0,001
7,60	0,001
7,80	0,001
8,00	0,001
8,50	0,001
9,00	0,000
9,50	0,000
10,00	0,000

da elaborazione EERA : foglio SPECTRA - absolute acc.	
Periodo (sec)	00126xa_037050SalaBolognese
0,01	0,099
0,02	0,100
0,03	0,101
0,04	0,102
0,05	0,099
0,06	0,106
0,07	0,114
0,08	0,142
0,09	0,145
0,10	0,145
0,11	0,167
0,12	0,178
0,13	0,186
0,14	0,182
0,15	0,236
0,16	0,188
0,17	0,170
0,18	0,205
0,19	0,236
0,20	0,260
0,21	0,239
0,22	0,207
0,23	0,183
0,24	0,176
0,25	0,182
0,26	0,203
0,27	0,226
0,28	0,239
0,29	0,238
0,30	0,230
0,31	0,225
0,32	0,227
0,33	0,230
0,34	0,229
0,35	0,225
0,36	0,219
0,37	0,212
0,38	0,205
0,39	0,199
0,40	0,198
0,41	0,201
0,42	0,204
0,43	0,205
0,44	0,203
0,45	0,198
0,46	0,189
0,47	0,176
0,48	0,162
0,49	0,148
0,50	0,134
0,51	0,123
0,52	0,115
0,53	0,111
0,54	0,109
0,55	0,109
0,56	0,111
0,57	0,112
0,58	0,114
0,60	0,115
0,62	0,114
0,64	0,109
0,66	0,103
0,68	0,096
0,70	0,090
0,72	0,084
0,74	0,085
0,76	0,088
0,78	0,088
0,80	0,091
0,82	0,093
0,84	0,094
0,86	0,093
0,88	0,090
0,90	0,088
0,92	0,086
0,94	0,083
0,96	0,078
0,98	0,072
1,00	0,070
1,05	0,063
1,10	0,055
1,15	0,047
1,20	0,040
1,25	0,036
1,30	0,033
1,35	0,031
1,40	0,028
1,45	0,026
1,50	0,023
1,55	0,020
1,60	0,018
1,65	0,016
1,70	0,015
1,75	0,014
1,80	0,013
1,85	0,012
1,90	0,011
1,95	0,011
2,00	0,011
2,05	0,010
2,10	0,010
2,15	0,009
2,20	0,009
2,25	0,009
2,30	0,008
2,35	0,008
2,40	0,007
2,50	0,007
2,60	0,006
2,70	0,006
2,80	0,005
2,90	0,005
3,00	0,005
3,10	0,004
3,20	0,004
3,30	0,004
3,40	0,004
3,50	0,003
3,60	0,003
3,70	0,003
3,80	0,003
3,90	0,003
4,00	0,002
4,10	0,002
4,20	0,002
4,30	0,002
4,40	0,002
4,50	0,002
4,60	0,002
4,70	0,002
4,80	0,002
4,90	0,002
5,00	0,002
5,10	0,001
5,20	0,001
5,40	0,001
5,60	0,001
5,80	0,001
6,00	0,001
6,20	0,001
6,40	0,001
6,60	0,001
6,80	0,001
7,00	0,001
7,20	0,001
7,40	0,001
7,60	0,001
7,80	0,001
8,00	0,001
8,50	0,001
9,00	0,001
9,50	0,001
10,00	0,001

da elaborazione EERA : foglio SPECTRA - absolute acc.	
Periodo (sec)	00354xa_037050SalaBolognese
0,01	0,099
0,02	0,099
0,03	0,101
0,04	0,105
0,05	0,100
0,06	0,109
0,07	0,113
0,08	0,128
0,09	0,144
0,10	0,133
0,11	0,174
0,12	0,206
0,13	0,265
0,14	0,309
0,15	0,229
0,16	0,212
0,17	0,209
0,18	0,251
0,19	0,338
0,20	0,304
0,21	0,219
0,22	0,236
0,23	0,288
0,24	0,274
0,25	0,277
0,26	0,246
0,27	0,235
0,28	0,262
0,29	0,252
0,30	0,214
0,31	0,191
0,32	0,181
0,33	0,188
0,34	0,186
0,35	0,172
0,36	0,179
0,37	0,203
0,38	0,214
0,39	0,209
0,40	0,193
0,41	0,195
0,42	0,200
0,43	0,212
0,44	0,212
0,45	0,205
0,46	0,196
0,47	0,187
0,48	0,182
0,49	0,180
0,50	0,178
0,51	0,173
0,52	0,166
0,53	0,154
0,54	0,133
0,55	0,130
0,56	0,134
0,57	0,135
0,58	0,136
0,60	0,134
0,62	0,135
0,64	0,144
0,66	0,158
0,68	0,171
0,70	0,175
0,72	0,168
0,74	0,160
0,76	0,156
0,78	0,151
0,80	0,140
0,82	0,127
0,84	0,113
0,86	0,100
0,88	0,090
0,90	0,095
0,92	0,096
0,94	0,091
0,96	0,082
0,98	0,072
1,00	0,064
1,05	0,071
1,10	0,081
1,15	0,090
1,20	0,084
1,25	0,070
1,30	0,057
1,35	0,061
1,40	0,063
1,45	0,063
1,50	0,059
1,55	0,053
1,60	0,044
1,65	0,037
1,70	0,030
1,75	0,029
1,80	0,030
1,85	0,029
1,90	0,029
1,95	0,028
2,00	0,027
2,05	0,025
2,10	0,023
2,15	0,021
2,20	0,019
2,25	0,017
2,30	0,016
2,35	0,016
2,40	0,015
2,50	0,013
2,60	0,011
2,70	0,010
2,80	0,010
2,90	0,010
3,00	0,010
3,10	0,010
3,20	0,009
3,30	0,008
3,40	0,008
3,50	0,007
3,60	0,006
3,70	0,005
3,80	0,005
3,90	0,004
4,00	0,004
4,10	0,004
4,20	0,004
4,30	0,003
4,40	0,003
4,50	0,003
4,60	0,003
4,70	0,003
4,80	0,003
4,90	0,003
5,00	0,002
5,10	0,002
5,20	0,002
5,40	0,002
5,60	0,002
5,80	0,002
6,00	0,002
6,20	0,001
6,40	0,001
6,60	0,001
6,80	0,001
7,00	0,001
7,20	0,001
7,40	0,001
7,60	0,001
7,80	0,001
8,00	0,001
8,50	0,001
9,00	0,001
9,50	0,001
10,00	0,001

Media Spettri RSL da EERA				
Periodo (sec)	MEDIA Spettri RSL da EERA			
0,01	0,103			
0,02	0,104			
0,03	0,105			
0,04	0,109			
0,05	0,111			
0,06	0,115			
0,07	0,116			
0,08	0,132			
0,09	0,148			
0,10	0,154			
0,11	0,177			
0,12	**0,201**	**0,5TA**	**Media**	**SAm**
0,13	0,227		0,00214	
0,14	0,230		0,00228	
0,15	0,229		0,00230	
0,16	0,212		0,00221	
0,17	0,213		0,00213	
0,18	0,251		0,00232	
0,19	0,287		0,00269	
0,20	0,273		0,00280	
0,21	0,248		0,00261	
0,22	0,263		0,00256	
0,23	**0,291**	**TA**	0,00277	**0,238**
0,24	0,283		0,00287	
0,25	0,270		0,00276	
0,26	0,252		0,00261	
0,27	0,239		0,00246	
0,28	0,237		0,00238	
0,29	0,221		0,00229	
0,30	0,206		0,00214	
0,31	0,202		0,00204	
0,32	0,197		0,00199	
0,33	0,194		0,00196	
0,34	**0,201**	**1,5TA**	0,00198	
0,35	0,204			
0,36	0,212			
0,37	0,223			
0,38	0,228			
0,39	0,225			
0,40	0,219			
0,41	0,213			
0,42	0,210			
0,43	0,208			
0,44	0,201			
0,45	0,192			
0,46	0,181			
0,47	0,171			
0,48	0,162			
0,49	0,156			
0,50	0,151			
0,51	0,146			
0,52	0,142			
0,53	0,137			
0,54	0,130			
0,55	0,131			
0,56	0,133			
0,57	0,134			
0,58	0,135			
0,60	0,137			
0,62	0,137			
0,64	0,139			
0,66	0,140			
0,68	0,140			
0,70	0,136			
0,72	0,129			
0,74	0,124			
0,76	0,120			
0,78	0,116			
0,80	0,110			
0,82	0,103			
0,84	0,096			
0,86	0,089			
0,88	0,083			
0,90	0,082			
0,92	0,080			
0,94	0,076			
0,96	0,071			
0,98	0,065			
1,00	0,061			
1,05	0,059			
1,10	0,058			
1,15	0,057			
1,20	0,051			
1,25	0,044			
1,30	0,038			
1,35	0,038			
1,40	0,037			
1,45	0,035			
1,50	0,033			
1,55	0,029			
1,60	0,025			
1,65	0,022			
1,70	0,019			
1,75	0,018			
1,80	0,017			
1,85	0,017			
1,90	0,016			
1,95	0,016			
2,00	0,015			
2,05	0,014			
2,10	0,013			
2,15	0,012			
2,20	0,011			
2,25	0,011			
2,30	0,010			
2,35	0,010			
2,40	0,009			
2,50	0,008			
2,60	0,007			
2,70	0,007			
2,80	0,006			
2,90	0,006			
3,00	0,006			
3,10	0,006			
3,20	0,005			
3,30	0,005			
3,40	0,005			
3,50	0,004			
3,60	0,004			
3,70	0,003			
3,80	0,003			
3,90	0,003			
4,00	0,003			
4,10	0,003			
4,20	0,002			
4,30	0,002			
4,40	0,002			
4,50	0,002			
4,60	0,002			
4,70	0,002			
4,80	0,002			
4,90	0,002			
5,00	0,002			
5,10	0,002			
5,20	0,002			
5,40	0,001			
5,60	0,001			
5,80	0,001			
6,00	0,001			
6,20	0,001			
6,40	0,001			
6,60	0,001			
6,80	0,001			
7,00	0,001			
7,20	0,001			
7,40	0,001			
7,60	0,001			
7,80	0,001			
8,00	0,001			
8,50	0,001			
9,00	0,001			
9,50	0,001			
10,00	0,001			

Spettro pseudo-velocità SV	
Periodo (sec)	SV = SA(T)*(T/2π)
0,01	0,000
0,02	0,000
0,03	0,001
0,04	0,001
0,05	0,001
0,06	0,001
0,07	0,001
0,08	0,002
0,09	0,002
0,10	0,002
0,11	0,003
0,12	0,004
0,13	0,005
0,14	0,005
0,15	0,005
0,16	0,005
0,17	0,006
0,18	0,007
0,19	0,009
0,20	0,009
0,21	0,008
0,22	0,009
0,23	0,011
0,24	0,011
0,25	0,011
0,26	0,010
0,27	0,010
0,28	0,011
0,29	0,010
0,30	0,010
0,31	0,010
0,32	0,010
0,33	0,010
0,34	0,011
0,35	0,011
0,36	0,012
0,37	0,013
0,38	0,014
0,39	0,014
0,40	0,014
0,41	0,014
0,42	0,014
0,43	0,014
0,44	0,014
0,45	0,014
0,46	0,013
0,47	0,013
0,48	0,012
0,49	0,012
0,50	0,012
0,51	0,012
0,52	0,012
0,53	**0,012**
0,54	0,011
0,55	0,011
0,56	0,012
0,57	0,012
0,58	0,012
0,60	0,013
0,62	0,014
0,64	0,014
0,66	**0,015**
0,68	0,015
0,70	0,015
0,72	0,015
0,74	0,015
0,76	0,015
0,78	0,014
0,80	**0,014**
0,82	0,013
0,84	0,013
0,86	0,012
0,88	0,012
0,90	0,012
0,92	0,012
0,94	0,011
0,96	0,011
0,98	0,010
1,00	0,010
1,05	0,010
1,10	0,010
1,15	0,010
1,20	0,010
1,25	0,009
1,30	0,008
1,35	0,008
1,40	0,008
1,45	0,008
1,50	0,008
1,55	0,007
1,60	0,006
1,65	0,006
1,70	0,005
1,75	0,005
1,80	0,005
1,85	0,005
1,90	0,005
1,95	0,005
2,00	0,005
2,05	0,005
2,10	0,004
2,15	0,004
2,20	0,004
2,25	0,004
2,30	0,004
2,35	0,004
2,40	0,004
2,50	0,003
2,60	0,003
2,70	0,003
2,80	0,003
2,90	0,003
3,00	0,003
3,10	0,003
3,20	0,003
3,30	0,003
3,40	0,002
3,50	0,002
3,60	0,002
3,70	0,002
3,80	0,002
3,90	0,002
4,00	0,002
4,10	0,002
4,20	0,002
4,30	0,002
4,40	0,002
4,50	0,002
4,60	0,002
4,70	0,001
4,80	0,001
4,90	0,001
5,00	0,001
5,10	0,001
5,20	0,001
5,40	0,001
5,60	0,001
5,80	0,001
6,00	0,001
6,20	0,001
6,40	0,001
6,60	0,001
6,80	0,001
7,00	0,001
7,20	0,001
7,40	0,001
7,60	0,001
7,80	0,001
8,00	0,001
8,50	0,001
9,00	0,001
9,50	0,001
10,00	0,001

0,53	**0,012**	**0,8TV**	**Media**	**SVm**
0,54	0,011		0,00011	
0,55	0,011		0,00011	
0,56	0,012		0,00012	
0,57	0,012		0,00012	
0,58	0,012		0,00012	
0,60	0,013		0,00026	
0,62	0,014		0,00027	
0,64	0,014		0,00028	**0,014**
0,66	**0,015**	**TV**	0,00029	
0,68	0,015		0,00030	
0,70	0,015		0,00030	
0,72	0,015		0,00030	
0,74	0,015		0,00029	
0,76	0,015		0,00029	
0,78	0,014		0,00029	
0,80	**0,014**	**1,2TV**	0,00028	

Parametri sismici per la definizione dello spettro normalizzato				
T_C	$2\pi \times (SV_m/SA_m)$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**0,37**	
T_B	$T_C / 3$	N.T.C. 2018 : 3.2.6	**0,12**	
T_D	$4,0 \times (a_{max}/g) + 1,6$	N.T.C. 2018 : 3.2.7	**1,96**	
a_{max}	$(Se/SA_m - 0,01/T_B) \times (SA_m/1-(0,01/T_B))$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**0,091**	
a_g	Se (t=0,01s)		**0,103**	
F_0	SA_m/a_{max}	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**2,611**	**2,611**
SA_m	$\frac{1}{TA}\int_{0.5*TA}^{1.5*TA} SA(T)dT$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**0,238**	
SV_m	$\frac{1}{0.4*TV}\int_{0.8*TV}^{1.2*TV} SV(T)dT$	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**0,014**	
S_S	Coeff. amplificazione stratigrafica	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**1,00**	
S_T	Coeff. amplificazione topografica	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**1,00**	
η	Fattore per Coeff. smorzamento	All. 1 App. 1 Ord. 55/2016	**1,00**	

Determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico Se (N.T.C. 2018 - 3.2.2.)

$0 \le T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \le T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \le T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$T_D \le T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right)$

Spettro Normalizzato da Ord. 55/2016		
	Periodo (sec)	Spettro normalizzato
T_A	**0,01**	**0,103**
	0,02	0,115
	0,03	0,127
	0,04	0,139
	0,05	0,151
	0,06	0,163
	0,07	0,175
	0,08	0,187
	0,09	0,199
	0,10	0,211
	0,11	0,223
T_B	**0,12**	**0,238**
	0,13	0,238
	0,14	0,238
	0,15	0,238
	0,16	0,238
	0,17	0,238
	0,18	0,238
	0,19	0,238
	0,20	0,238
	0,21	0,238
	0,22	0,238
	0,23	0,238
	0,24	0,238
	0,25	0,238
	0,26	0,238
	0,27	0,238
	0,28	0,238
	0,29	0,238
	0,30	0,238
	0,31	0,238
	0,32	0,238
	0,33	0,238
	0,34	0,238
	0,35	0,238
	0,36	0,238
T_C	**0,37**	**0,235**
	0,38	0,228
	0,39	0,223
	0,40	0,217
	0,41	0,212
	0,42	0,207
	0,43	0,202
	0,44	0,197
	0,45	0,193
	0,46	0,189
	0,47	0,185
	0,48	0,181
	0,49	0,177
	0,50	0,174
	0,51	0,170
	0,52	0,167
	0,53	0,164
	0,54	0,161
	0,55	0,158
	0,56	0,155
	0,57	0,152
	0,58	0,150
	0,60	0,145
	0,62	0,140
	0,64	0,136
	0,66	0,132
	0,68	0,128
	0,70	0,124
	0,72	0,121
	0,74	0,117
	0,76	0,114
	0,78	0,111
	0,80	0,109
	0,82	0,106
	0,84	0,103
	0,86	0,101
	0,88	0,099
	0,90	0,096
	0,92	0,094
	0,94	0,092
	0,96	0,090
	0,98	0,089
	1,00	0,087
	1,05	0,083
	1,10	0,079
	1,15	0,075
	1,20	0,072
	1,25	0,069
	1,30	0,067
	1,35	0,064
	1,40	0,062
	1,45	0,060
	1,50	0,058
	1,55	0,056
	1,60	0,054
	1,65	0,053
	1,70	0,051
	1,75	0,050
	1,80	0,048
	1,85	0,047
	1,90	0,046
T_D	**1,95**	**0,045**
	2,00	0,043
	2,05	0,041
	2,10	0,039
	2,15	0,037
	2,20	0,035
	2,25	0,034
	2,30	0,032
	2,35	0,031
	2,40	0,030
	2,50	0,027
	2,60	0,025
	2,70	0,023
	2,80	0,022
	2,90	0,020
	3,00	0,019
	3,10	0,018
	3,20	0,017
	3,30	0,016
	3,40	0,015
	3,50	0,014
	3,60	0,013
	3,70	0,012
	3,80	0,012
	3,90	0,011
	4,00	0,011
	4,10	0,010
	4,20	0,010
	4,30	0,009
	4,40	0,009
	4,50	0,008
	4,60	0,008
	4,70	0,008
	4,80	0,007
	4,90	0,007
	5,00	0,007
	5,10	0,007
	5,20	0,006
	5,40	0,006
	5,60	0,005
	5,80	0,005
	6,00	0,005
	6,20	0,004
	6,40	0,004
	6,60	0,004
	6,80	0,004
	7,00	0,003
	7,20	0,003
	7,40	0,003
	7,60	0,003
	7,80	0,003
	8,00	0,003
	8,50	0,002
	9,00	0,002
	9,50	0,002
	10,00	0,002

Fig. 58 : Tabelle dei dati inerenti gli spettri di risposta SLD

Parametri sismici da Analisi III° Livello

Nella fig. 59 si forniscono i valori dei parametri sismici da utilizzare nelle verifiche geotecniche, ottenuti applicando i risultati dell'Analisi di III° Livello.

Parametri sismici generali		
Categoria sottosuolo	C	
Categoria topografica	T1	
Vita Nominale V_N	≥50 anni	
Classe d'uso	II	
Coefficiente d'uso CU	1,0	
Periodo di riferimento V_R	50 anni	
Parametri sismici di dettaglio	**Stato limite SLV**	**Stato limite SLD**
Probabilità di superamento P_{VR}	10%	63%
Tr	475 anni	50 anni
a_g	0,227g	0,103g
F_0	2,29	2,31
S_S	1,39	1,56
S_T	1,00	1,00
a_{max}	3,095	1,576
K_h	0,088	0,038
K_v	0,044	0,019
z_c	0,972	0,988

Fig. 59 : Parametri sismici (da Analisi sismica di III° Livello)

In accordo con l'art. 4.2.1. dell'allegato A della D.G.R. n° 564/2021, vengono illustrate le modalità di determinazione dei seguenti parametri, considerando un periodo di ritorno T_R = 475 anni con smorzamento ζ = 5%:

- Fattore di amplificazione **F_{PGA}**, rappresentato dal rapporto tra **PGA** (accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 alla superficie del sito) e **PGA_0** (accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 al suolo di riferimento);
  Facendo riferimento ai valori di accelerazione massima definiti per il Comune di Pianoro negli SLV e SLD, si ottengono i seguenti valori del **Fattore di Amplificazione della PGA F_{PGA}**:

Condizione	PGA	PGA_0	FA_{PGA}
SLV	0,227	0,161	**1,410**
SLD	0,103	0,059	**1,746**

- Fattore di amplificazione **FA**, dato dal rapporto tra **SA** (integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: SA1 per 0,1s≤T≤0,5s, SA2 per 0,4s≤T≤0,8s, SA3 per 0,7s≤T≤1,1s, SA4 per 0,5s≤T≤1,5s) e **SA_0** (integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento). Nella fig. 60 è riportata la tabella inerente gli spettri di risposta in accelerazione al suolo alla superficie del suolo (SA) ed al suolo di riferimento (SA_0), mentre nelle figg. 61÷64 sono forniti i grafici riferiti ai diversi intervalli di periodi considerati e nelle figg. 65 e 66 i valori del Fattore di amplificazione FA;
- Fattore di amplificazione **FH**, espresso dal rapporto tra **SI** (integrale dello spettro di risposta in velocità o corrispondente grandezza di Intensità di Housner alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: SI1 per 0,1s≤T≤0,5s, SI2 per 0,5s≤T≤1,0s, SI3 per 0,5s≤T≤1,5s) e **SI_0** (integrale dello spettro di risposta in velocità -Intensità di Housner- al suolo di riferimento). Nella fig. 67 è riportata la tabella inerente gli spettri di risposta in velocità alla superficie del sito (SI) ed al suolo di riferimento (SI_0), mentre nelle figg. 68÷70 sono forniti i grafici riferiti ai diversi intervalli di periodi considerati e nelle figg. 71 e 72 i valori del Fattore di amplificazione FH;
- Scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi 0,1s≤T≤0,5s, 0,4s≤T≤0,8s, 0,7s≤T≤1,1s e 0,5s≤T≤1,5s (H_{SM} e H_{0408}, H_{0711}, H_{0515}).

Period (sec)	Pseudo Absolute Acceleration (cm/s)			Spettro mediato del terremoto atteso sul sito (1 outcrop)	SA
	1 OUTCROP 046	1 OUTCROP 126	1 OUTCROP 354		
0,01	0,24	0,23	0,22	0,23	0,0023
0,02	0,24	0,23	0,22	0,23	0,0023
0,03	0,24	0,23	0,22	0,23	0,0023
0,04	0,25	0,23	0,23	0,23	0,0023
0,05	0,26	0,23	0,23	0,24	0,0024
0,06	0,26	0,24	0,24	0,25	0,0025
0,07	0,25	0,24	0,24	0,24	0,0024
0,08	0,27	0,29	0,27	0,28	0,0028
0,09	0,31	0,30	0,29	0,30	0,0030
0,10	0,36	0,30	0,28	0,31	0,0031
0,11	0,37	0,34	0,34	0,35	0,0035
0,12	0,43	0,36	0,38	0,39	0,0039
0,13	0,43	0,35	0,52	0,43	0,0043
0,14	0,41	0,39	0,59	0,47	0,0047
0,15	0,44	0,47	0,51	0,47	0,0047
0,16	0,43	0,42	0,44	0,43	0,0043
0,17	0,47	0,36	0,41	0,41	0,0041
0,18	0,58	0,44	0,49	0,50	0,0050
0,19	0,57	0,49	0,66	0,57	0,0057
0,20	0,53	0,53	0,60	0,55	0,0055
0,21	0,65	0,50	0,46	0,54	0,0054
0,22	0,80	0,44	0,52	0,59	0,0059
0,23	0,91	0,39	0,63	0,64	0,0064
0,24	0,92	0,39	0,65	0,65	0,0065
0,25	0,84	0,41	0,66	0,64	0,0064
0,26	0,75	0,47	0,60	0,60	0,0060
0,27	0,63	0,52	0,56	0,57	0,0057
0,28	0,52	0,55	0,63	0,57	0,0057
0,29	0,44	0,56	0,61	0,54	0,0054
0,30	0,39	0,54	0,52	0,48	0,0048
0,31	0,42	0,52	0,46	0,47	0,0047
0,32	0,42	0,53	0,44	0,46	0,0046
0,33	0,40	0,54	0,41	0,45	0,0045
0,34	0,41	0,54	0,42	0,46	0,0046
0,35	0,47	0,53	0,40	0,47	0,0047
0,36	0,53	0,52	0,41	0,48	0,0048
0,37	0,57	0,50	0,46	0,51	0,0051
0,38	0,60	0,49	0,48	0,52	0,0052
0,39	0,60	0,47	0,47	0,52	0,0052
0,40	0,59	0,46	0,45	0,50	0,0050
0,41	0,56	0,46	0,46	0,50	0,0050
0,42	0,53	0,47	0,49	0,49	0,0049
0,43	0,49	0,48	0,52	0,49	0,0049
0,44	0,45	0,47	0,52	0,48	0,0048
0,45	0,41	0,46	0,50	0,46	0,0046
0,46	0,38	0,45	0,48	0,44	0,0044
0,47	0,36	0,42	0,46	0,41	0,0041
0,48	0,34	0,39	0,44	0,39	0,0039
0,49	0,34	0,36	0,44	0,38	0,0038
0,50	0,34	0,32	0,43	0,37	0,0037
0,51	0,34	0,30	0,42	0,36	0,0036
0,52	0,35	0,28	0,41	0,35	0,0035
0,53	0,36	0,27	0,38	0,34	0,0034
0,54	0,37	0,27	0,33	0,32	0,0032
0,55	0,37	0,27	0,32	0,32	0,0032
0,56	0,38	0,27	0,33	0,33	0,0033
0,57	0,38	0,28	0,34	0,33	0,0033
0,58	0,38	0,28	0,34	0,33	0,0033
0,60	0,40	0,29	0,33	0,34	0,0068
0,62	0,40	0,28	0,34	0,34	0,0068
0,64	0,40	0,28	0,36	0,35	0,0069
0,66	0,39	0,26	0,39	0,35	0,0070
0,68	0,38	0,24	0,43	0,35	0,0070
0,70	0,36	0,23	0,44	0,34	0,0068
0,72	0,34	0,21	0,42	0,32	0,0065
0,74	0,32	0,21	0,40	0,31	0,0062
0,76	0,29	0,22	0,40	0,30	0,0061
0,78	0,27	0,22	0,38	0,29	0,0059
0,80	0,25	0,23	0,36	0,28	0,0056
0,82	0,23	0,24	0,32	0,26	0,0052
0,84	0,21	0,24	0,29	0,25	0,0049
0,86	0,19	0,24	0,26	0,23	0,0046
0,88	0,17	0,23	0,23	0,21	0,0043
0,90	0,16	0,23	0,25	0,21	0,0042
0,92	0,15	0,22	0,25	0,21	0,0041
0,94	0,14	0,22	0,24	0,20	0,0039
0,96	0,13	0,20	0,21	0,18	0,0037
0,98	0,12	0,19	0,19	0,17	0,0034
1,00	0,12	0,18	0,17	0,16	0,0031
1,05	0,10	0,16	0,19	0,15	0,0076
1,10	0,09	0,14	0,21	0,15	0,0075
1,15	0,08	0,12	0,24	0,15	0,0074
1,20	0,07	0,11	0,22	0,14	0,0068
1,25	0,07	0,09	0,19	0,12	0,0058
1,30	0,06	0,09	0,15	0,10	0,0049
1,35	0,05	0,08	0,16	0,10	0,0049
1,40	0,05	0,07	0,17	0,10	0,0048
1,45	0,04	0,06	0,17	0,09	0,0046
1,50	0,04	0,06	0,16	0,08	0,0042

SA
0,1-0,5
0,1996

SA
0,4-0,8
0,1473

SA
0,7-1,1
0,0784

SA
0,5 - 1,5
0,1982

Period (sec)	Pseudo Absolute Acceleration (cm/s)			Spettro mediato del terremoto su suolo di tipo A (63 outcrop)	SA_0
	63 OUTCROP 046	63 OUTCROP 126	63 OUTCROP 354		
0,01	0,16	0,16	0,16	0,16	0,0016
0,02	0,16	0,16	0,16	0,16	0,0016
0,03	0,17	0,16	0,17	0,17	0,0017
0,04	0,20	0,17	0,19	0,19	0,0019
0,05	0,25	0,17	0,17	0,20	0,0020
0,06	0,22	0,20	0,21	0,21	0,0021
0,07	0,27	0,18	0,21	0,22	0,0022
0,08	0,29	0,26	0,24	0,27	0,0027
0,09	0,30	0,26	0,30	0,29	0,0029
0,10	0,33	0,26	0,29	0,29	0,0029
0,11	0,37	0,32	0,37	0,35	0,0035
0,12	0,39	0,35	0,38	0,37	0,0037
0,13	0,41	0,34	0,49	0,41	0,0041
0,14	0,37	0,34	0,55	0,42	0,0042
0,15	0,45	0,39	0,47	0,44	0,0044
0,16	0,41	0,37	0,39	0,39	0,0039
0,17	0,38	0,29	0,34	0,34	0,0034
0,18	0,43	0,34	0,38	0,38	0,0038
0,19	0,40	0,33	0,48	0,40	0,0040
0,20	0,33	0,34	0,43	0,37	0,0037
0,21	0,38	0,33	0,31	0,34	0,0034
0,22	0,48	0,31	0,33	0,37	0,0037
0,23	0,54	0,28	0,38	0,40	0,0040
0,24	0,56	0,28	0,43	0,42	0,0042
0,25	0,53	0,30	0,43	0,42	0,0042
0,26	0,47	0,34	0,38	0,40	0,0040
0,27	0,39	0,37	0,46	0,41	0,0041
0,28	0,33	0,39	0,51	0,41	0,0041
0,29	0,28	0,38	0,48	0,38	0,0038
0,30	0,29	0,36	0,40	0,35	0,0035
0,31	0,31	0,35	0,34	0,33	0,0033
0,32	0,30	0,35	0,33	0,32	0,0032
0,33	0,27	0,35	0,30	0,30	0,0030
0,34	0,26	0,35	0,28	0,30	0,0030
0,35	0,30	0,34	0,26	0,30	0,0030
0,36	0,32	0,33	0,24	0,30	0,0030
0,37	0,34	0,32	0,28	0,31	0,0031
0,38	0,36	0,31	0,29	0,32	0,0032
0,39	0,36	0,30	0,28	0,31	0,0031
0,40	0,35	0,29	0,26	0,30	0,0030
0,41	0,33	0,28	0,25	0,28	0,0028
0,42	0,30	0,27	0,26	0,28	0,0028
0,43	0,28	0,26	0,28	0,28	0,0028
0,44	0,26	0,26	0,29	0,27	0,0027
0,45	0,23	0,25	0,28	0,25	0,0025
0,46	0,22	0,24	0,27	0,24	0,0024
0,47	0,20	0,22	0,26	0,23	0,0023
0,48	0,19	0,20	0,25	0,22	0,0022
0,49	0,19	0,19	0,25	0,21	0,0021
0,50	0,19	0,17	0,25	0,20	0,0020
0,51	0,19	0,15	0,24	0,20	0,0020
0,52	0,20	0,14	0,23	0,19	0,0019
0,53	0,20	0,14	0,21	0,18	0,0018
0,54	0,20	0,14	0,19	0,18	0,0018
0,55	0,21	0,14	0,18	0,17	0,0017
0,56	0,21	0,14	0,18	0,18	0,0018
0,57	0,21	0,14	0,18	0,18	0,0018
0,58	0,21	0,15	0,18	0,18	0,0018
0,60	0,22	0,15	0,18	0,18	0,0036
0,62	0,22	0,15	0,18	0,18	0,0037
0,64	0,22	0,14	0,19	0,18	0,0037
0,66	0,21	0,14	0,21	0,18	0,0037
0,68	0,20	0,13	0,22	0,18	0,0037
0,70	0,19	0,12	0,23	0,18	0,0036
0,72	0,18	0,11	0,22	0,17	0,0034
0,74	0,16	0,10	0,20	0,16	0,0031
0,76	0,15	0,11	0,19	0,15	0,0030
0,78	0,14	0,11	0,19	0,14	0,0029
0,80	0,13	0,11	0,18	0,14	0,0027
0,82	0,11	0,11	0,16	0,13	0,0026
0,84	0,10	0,11	0,14	0,12	0,0024
0,86	0,09	0,11	0,12	0,11	0,0022
0,88	0,09	0,11	0,11	0,10	0,0020
0,90	0,08	0,11	0,12	0,10	0,0020
0,92	0,08	0,10	0,12	0,10	0,0020
0,94	0,07	0,10	0,11	0,09	0,0019
0,96	0,07	0,09	0,10	0,09	0,0017
0,98	0,07	0,09	0,09	0,08	0,0016
1,00	0,06	0,09	0,08	0,08	0,0015
1,05	0,05	0,08	0,09	0,08	0,0038
1,10	0,05	0,07	0,11	0,08	0,0038
1,15	0,04	0,06	0,12	0,07	0,0036
1,20	0,04	0,05	0,11	0,07	0,0033
1,25	0,03	0,05	0,09	0,06	0,0029
1,30	0,03	0,05	0,07	0,05	0,0025
1,35	0,03	0,04	0,08	0,05	0,0024
1,40	0,02	0,04	0,08	0,05	0,0024
1,45	0,02	0,03	0,08	0,04	0,0022
1,50	0,02	0,03	0,07	0,04	0,0020

SA_1
0,1-0,5
0,1362

FA
0,1-0,5
1,47

SA_2
0,4-0,8
0,0792

FA
0,4-0,8
1,86

SA_3
0,7-1,1
0,0387

FA
0,7-1,1
2,03

SA_4
0,5 - 1,5
0,1005

FA
0,5 - 1,5
1,97

Fig. 60 : Tabella inerente gli spettri di risposta in accelerazione al suolo alla superficie del suolo (SA) ed al suolo di riferimento (SA_0)

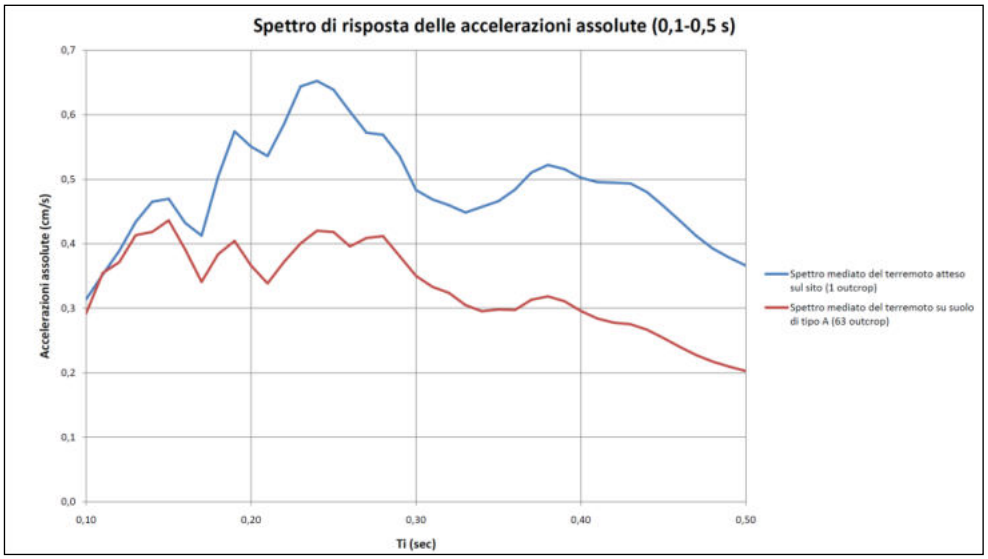


Fig. 61 : Spettro di risposta delle accelerazioni assolute (SA1 : 0,1s≤T≤0,5s)

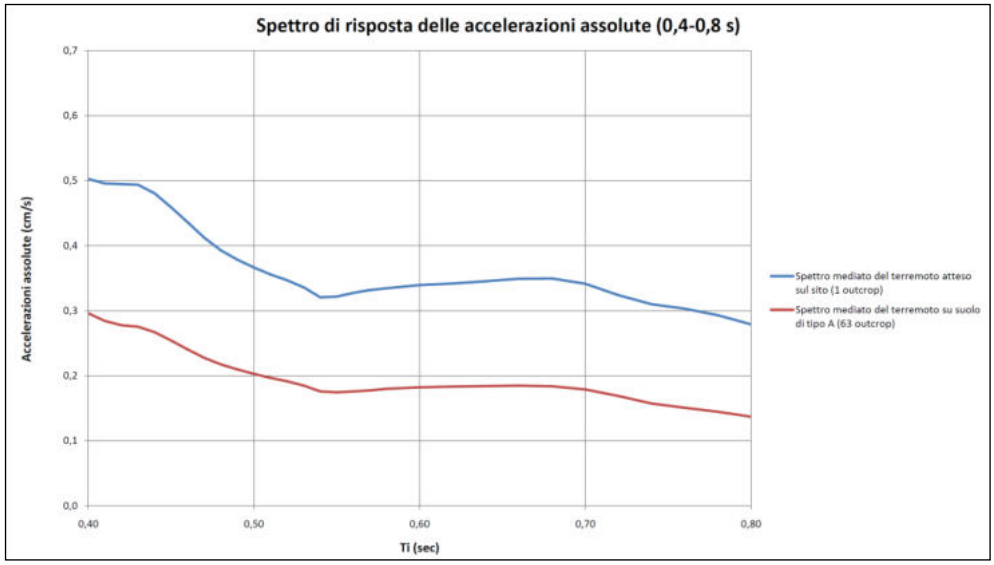


Fig. 62 : Spettro di risposta delle accelerazioni assolute (SA2 : 0,4s≤T≤0,8s)

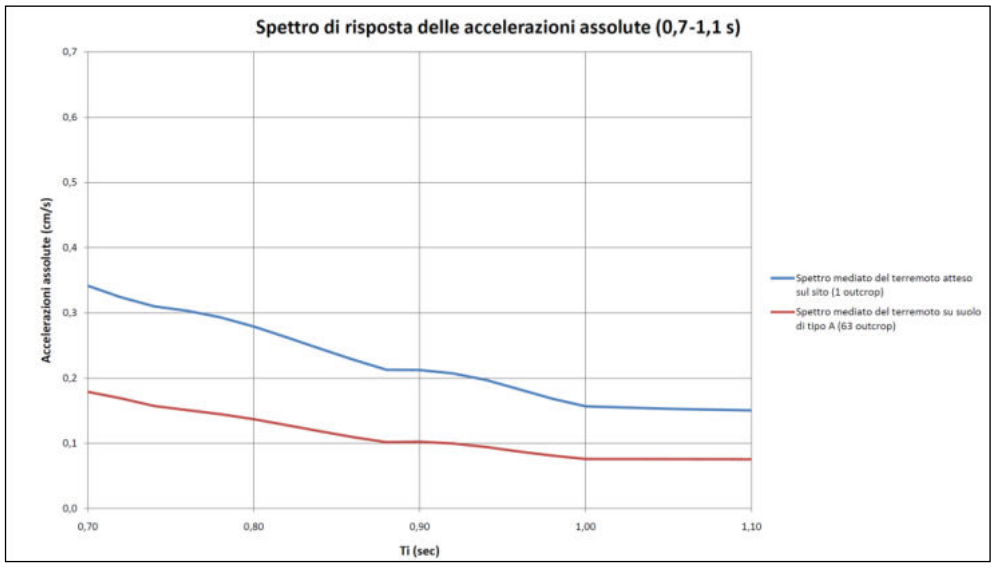


Fig. 63 : Spettro di risposta delle accelerazioni assolute (SA3 : 0,7s≤T≤1,1s)

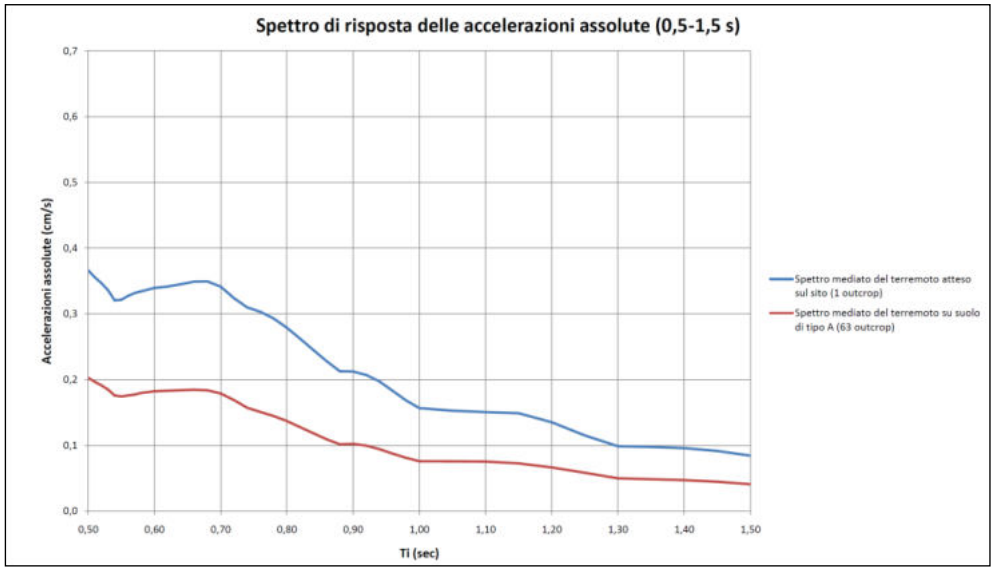


Fig. 64 : Spettro di risposta delle accelerazioni assolute (SA4 : 0,5s≤T≤1,5s)

Padulle - Ambiro ARS_SB_II				
T_0	0,1-0,5 s	0,4-0,8 s	0,7-1,1 s	0,5-1,5 s
SA	0,20	0,15	0,08	0,20
SA_0	0,14	0,08	0,04	0,10
FA	1,47	1,86	2,03	1,97

Fig. 65 : Prospetto riassuntivo dei valori del Fattore di Amplificazione FA

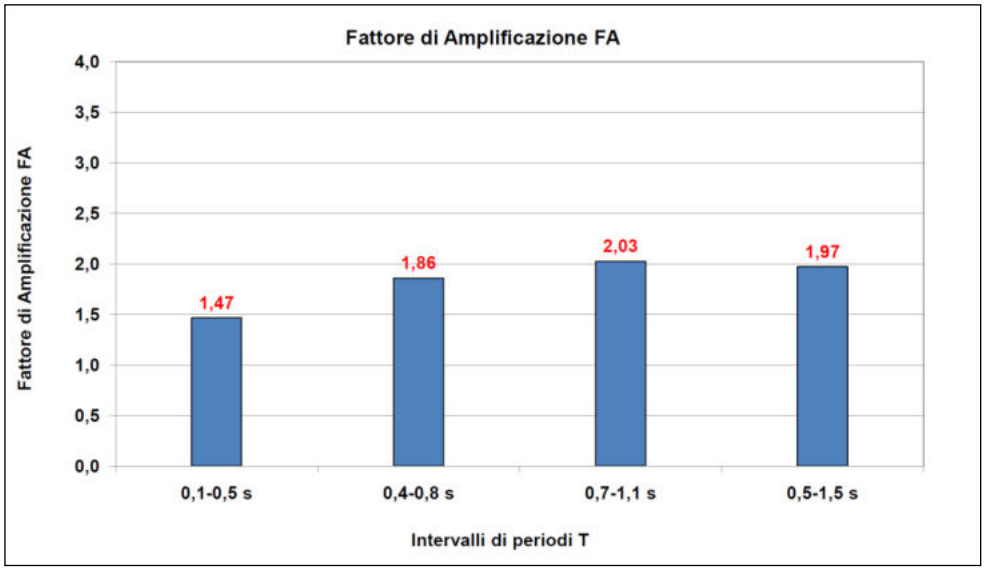


Fig. 66 : Valori del Fattore di Amplificazione FA

Period (sec)	Pseudo Relative Velocity (cm/s)						Spettro mediato del terremoto atteso sul sito (1 outcrop)	SI
	1 outcrop 046	SI_{046}	1 outcrop 126	SI_{126}	1 outcrop 354	SI_{354}		
0,01	0,37	0,0037	0,35	0,0035	0,34	0,0034	0,35	0,0035
0,02	0,74	0,0074	0,71	0,0071	0,69	0,0069	0,71	0,0071
0,03	1,12	0,0112	1,07	0,0107	1,04	0,0104	1,08	0,0108
0,04	1,53	0,0153	1,45	0,0145	1,41	0,0141	1,46	0,0146
0,05	2,04	0,0204	1,80	0,0180	1,76	0,0176	1,87	0,0187
0,06	2,45	0,0245	2,22	0,0222	2,21	0,0221	2,30	0,0230
0,07	2,74	0,0274	2,64	0,0264	2,62	0,0262	2,67	0,0267
0,08	3,39	0,0339	3,61	0,0361	3,39	0,0339	3,46	0,0346
0,09	4,41	0,0441	4,20	0,0420	4,08	0,0408	4,23	0,0423
0,10	5,57	0,0557	4,73	0,0473	4,42	0,0442	4,90	0,0490
0,11	6,43	0,0643	5,84	0,0584	5,88	0,0588	6,05	0,0605
0,12	7,97	0,0797	6,80	0,0680	7,08	0,0708	7,28	0,0728
0,13	8,76	0,0876	7,17	0,0717	10,49	0,1049	8,81	0,0881
0,14	9,06	0,0906	8,56	0,0856	12,88	0,1288	10,17	0,1017
0,15	10,19	0,1019	10,90	0,1090	11,90	0,1190	11,00	0,1100
0,16	10,85	0,1085	10,48	0,1048	11,06	0,1106	10,80	0,1080
0,17	12,39	0,1239	9,63	0,0963	10,83	0,1083	10,95	0,1095
0,18	16,40	0,1640	12,29	0,1229	13,78	0,1378	14,15	0,1415
0,19	16,92	0,1692	14,59	0,1459	19,58	0,1958	17,03	0,1703
0,20	16,46	0,1646	16,42	0,1642	18,70	0,1870	17,19	0,1719
0,21	21,45	0,2145	16,25	0,1625	15,01	0,1501	17,57	0,1757
0,22	27,49	0,2749	15,13	0,1513	17,72	0,1772	20,11	0,2011
0,23	32,64	0,3264	14,17	0,1417	22,55	0,2255	23,12	0,2312
0,24	34,39	0,3439	14,46	0,1446	24,49	0,2449	24,45	0,2445
0,25	32,88	0,3288	16,02	0,1602	25,90	0,2590	24,93	0,2493
0,26	30,42	0,3042	18,95	0,1895	24,28	0,2428	24,55	0,2455
0,27	26,72	0,2672	22,06	0,2206	23,58	0,2358	24,12	0,2412
0,28	22,68	0,2268	24,23	0,2423	27,69	0,2769	24,87	0,2487
0,29	19,87	0,1987	25,17	0,2517	27,79	0,2779	24,28	0,2428
0,30	18,33	0,1833	25,17	0,2517	24,41	0,2441	22,63	0,2263
0,31	20,31	0,2031	25,40	0,2540	22,35	0,2235	22,69	0,2269
0,32	20,74	0,2074	26,40	0,2640	21,78	0,2178	22,97	0,2297
0,33	20,43	0,2043	27,61	0,2761	21,28	0,2128	23,11	0,2311
0,34	22,01	0,2201	28,44	0,2844	22,37	0,2237	24,27	0,2427
0,35	25,79	0,2579	28,84	0,2884	21,76	0,2176	25,47	0,2547
0,36	29,75	0,2975	28,96	0,2896	22,88	0,2288	27,19	0,2720
0,37	33,02	0,3302	28,94	0,2894	26,49	0,2649	29,48	0,2948
0,38	35,36	0,3536	28,86	0,2886	28,73	0,2873	30,98	0,3098
0,39	36,58	0,3658	28,82	0,2882	28,81	0,2881	31,40	0,3140
0,40	36,83	0,3683	28,89	0,2889	28,41	0,2841	31,37	0,3137
0,41	35,93	0,3593	29,53	0,2953	29,71	0,2971	31,72	0,3172
0,42	34,48	0,3448	30,82	0,3082	32,01	0,3201	32,44	0,3244
0,43	32,65	0,3265	31,90	0,3190	34,86	0,3486	33,14	0,3314
0,44	30,68	0,3068	32,55	0,3255	35,75	0,3575	32,99	0,3299
0,45	28,84	0,2884	32,61	0,3261	35,23	0,3523	32,23	0,3223
0,46	27,33	0,2733	32,00	0,3200	34,53	0,3453	31,29	0,3129
0,47	26,30	0,2630	30,76	0,3076	33,66	0,3366	30,24	0,3024
0,48	25,83	0,2583	29,08	0,2908	33,34	0,3334	29,42	0,2942
0,49	25,92	0,2592	27,18	0,2718	33,74	0,3374	28,95	0,2895
0,50	26,53	0,2653	25,33	0,2533	33,92	0,3392	28,59	0,2859
0,51	27,46	0,2746	23,78	0,2378	33,71	0,3371	28,32	0,2832
0,52	28,61	0,2861	22,72	0,2272	33,10	0,3310	28,14	0,2814
0,53	29,84	0,2984	22,28	0,2228	31,26	0,3126	27,79	0,2779
0,54	31,05	0,3105	22,41	0,2241	27,61	0,2761	27,02	0,2702
0,55	32,16	0,3216	22,95	0,2295	27,72	0,2772	27,61	0,2761
0,56	33,15	0,3315	23,73	0,2373	28,97	0,2897	28,62	0,2862
0,57	34,03	0,3403	24,62	0,2462	29,90	0,2990	29,52	0,2952
0,58	34,83	0,3483	25,48	0,2548	30,52	0,3052	30,28	0,3028
0,60	37,22	0,7444	26,89	0,5377	31,27	0,6255	31,79	0,6359
0,62	39,02	0,7805	27,59	0,5517	32,62	0,6524	33,08	0,6615
0,64	40,07	0,8014	27,53	0,5505	35,87	0,7174	34,49	0,6898
0,66	40,41	0,8082	26,89	0,5379	40,62	0,8125	35,97	0,7195
0,68	40,11	0,8022	26,00	0,5200	45,17	0,9033	37,09	0,7419
0,70	39,29	0,7857	25,03	0,5006	47,64	0,9527	37,32	0,7463
0,72	38,04	0,7609	24,05	0,4810	47,10	0,9421	36,40	0,7280
0,74	36,53	0,7306	24,45	0,4891	46,45	0,9290	35,81	0,7162
0,76	34,81	0,6962	26,09	0,5217	47,00	0,9399	35,96	0,7193
0,78	32,98	0,6595	27,28	0,5457	46,78	0,9356	35,68	0,7136
0,80	31,10	0,6220	28,86	0,5772	44,56	0,8911	34,84	0,6968
0,82	29,21	0,5843	30,27	0,6053	41,27	0,8254	33,58	0,6717
0,84	27,37	0,5474	31,38	0,6277	37,66	0,7531	32,14	0,6427
0,86	25,61	0,5122	32,03	0,6405	34,26	0,6853	30,63	0,6127
0,88	23,97	0,4794	32,00	0,6401	31,67	0,6334	29,22	0,5843
0,90	22,51	0,4501	32,07	0,6414	34,90	0,6979	29,82	0,5965
0,92	21,23	0,4247	32,19	0,6438	35,81	0,7162	29,74	0,5949
0,94	20,43	0,4085	31,65	0,6330	34,66	0,6932	28,91	0,5782
0,96	19,66	0,3932	30,46	0,6092	32,03	0,6405	27,38	0,5476
0,98	19,10	0,3819	29,28	0,5856	28,88	0,5775	25,75	0,5150
1,00	18,54	0,3708	28,54	0,5708	26,29	0,5257	24,46	0,4891
1,05	17,21	0,8604	26,93	1,3467	30,99	1,5493	25,04	1,2521
1,10	15,98	0,7990	24,76	1,2381	36,79	1,8397	25,85	1,2923
1,15	14,86	0,7430	22,37	1,1184	42,98	2,1489	26,74	1,3368
1,20	13,84	0,6922	20,02	1,0009	42,08	2,1042	25,31	1,2657
1,25	12,91	0,6457	17,78	0,8888	36,66	1,8330	22,45	1,1225
1,30	12,06	0,6030	17,27	0,8633	30,72	1,5357	20,01	1,0007
1,35	11,27	0,5636	16,59	0,8297	33,88	1,6940	20,58	1,0291
1,40	10,55	0,5273	15,70	0,7850	36,53	1,8267	20,93	1,0463
1,45	9,87	0,4937	14,63	0,7313	37,64	1,8821	20,71	1,0357
1,50	9,26	0,4632	13,46	0,6730	36,48	1,8240	19,73	0,9867

Period (sec)	Pseudo Relative Velocity (cm/s)						Spettro mediato del terremoto su suolo di tipo A (63 outcrop)	SI_0
	63 outcrop 046	SI_0	63 outcrop 126	SI_0	63 outcrop 354	SI_0		
0,01	0,25	0,0025	0,25	0,0025	0,25	0,0025	0,25	0,0025
0,02	0,51	0,0051	0,51	0,0051	0,51	0,0051	0,51	0,0051
0,03	0,80	0,0080	0,77	0,0077	0,79	0,0079	0,78	0,0078
0,04	1,27	0,0127	1,06	0,0106	1,17	0,0117	1,16	0,0116
0,05	1,93	0,0193	1,34	0,0134	1,36	0,0136	1,54	0,0154
0,06	2,10	0,0210	1,92	0,0192	1,98	0,0198	2,00	0,0200
0,07	2,93	0,0293	2,00	0,0200	2,27	0,0227	2,40	0,0240
0,08	3,60	0,0360	3,31	0,0331	3,03	0,0303	3,31	0,0331
0,09	4,22	0,0422	3,66	0,0366	4,21	0,0421	4,03	0,0403
0,10	5,08	0,0508	4,02	0,0402	4,59	0,0459	4,56	0,0456
0,11	6,41	0,0641	5,46	0,0546	6,39	0,0639	6,09	0,0609
0,12	7,21	0,0721	6,54	0,0654	7,12	0,0712	6,96	0,0696
0,13	8,35	0,0835	6,88	0,0688	9,94	0,0994	8,39	0,0839
0,14	8,02	0,0802	7,33	0,0733	12,07	0,1207	9,14	0,0914
0,15	10,47	0,1047	9,11	0,0911	11,05	0,1105	10,21	0,1021
0,16	10,16	0,1016	9,34	0,0934	9,81	0,0981	9,77	0,0977
0,17	10,19	0,1019	7,81	0,0781	9,15	0,0915	9,05	0,0905
0,18	11,96	0,1196	9,57	0,0957	10,81	0,1081	10,78	0,1078
0,19	11,92	0,1192	9,76	0,0976	14,32	0,1432	12,00	0,1200
0,20	10,26	0,1026	10,56	0,1056	13,48	0,1348	11,44	0,1144
0,21	12,41	0,1241	10,84	0,1084	10,06	0,1006	11,10	0,1110
0,22	16,47	0,1647	10,54	0,1054	11,31	0,1131	12,77	0,1277
0,23	19,45	0,1945	10,04	0,1004	13,66	0,1366	14,38	0,1438
0,24	20,89	0,2089	10,38	0,1038	15,97	0,1597	15,75	0,1575
0,25	20,72	0,2072	11,61	0,1161	16,63	0,1663	16,32	0,1632
0,26	19,11	0,1911	13,72	0,1372	15,39	0,1539	16,07	0,1607
0,27	16,53	0,1653	15,77	0,1577	19,42	0,1942	17,24	0,1724
0,28	14,59	0,1459	17,07	0,1707	22,35	0,2235	18,00	0,1800
0,29	12,63	0,1263	17,32	0,1732	21,81	0,2181	17,25	0,1725
0,30	13,78	0,1379	16,88	0,1688	18,55	0,1855	16,40	0,1640
0,31	15,08	0,1508	16,72	0,1672	16,59	0,1659	16,13	0,1613
0,32	15,03	0,1503	17,25	0,1725	16,24	0,1624	16,17	0,1617
0,33	13,88	0,1388	18,01	0,1801	15,24	0,1524	15,71	0,1571
0,34	13,87	0,1387	18,50	0,1850	14,67	0,1467	15,68	0,1568
0,35	16,15	0,1615	18,66	0,1866	14,06	0,1406	16,29	0,1629
0,36	17,83	0,1783	18,61	0,1861	13,71	0,1371	16,72	0,1672
0,37	19,79	0,1979	18,45	0,1845	16,02	0,1602	18,09	0,1809
0,38	21,11	0,2111	18,23	0,1823	17,32	0,1732	18,89	0,1889
0,39	21,69	0,2169	18,02	0,1802	17,11	0,1711	18,94	0,1894
0,40	21,59	0,2159	17,84	0,1784	16,00	0,1600	18,48	0,1848
0,41	20,95	0,2095	17,72	0,1772	15,88	0,1588	18,18	0,1818
0,42	19,96	0,1996	17,60	0,1760	17,06	0,1706	18,21	0,1821
0,43	18,77	0,1877	17,76	0,1776	18,91	0,1891	18,48	0,1848
0,44	17,53	0,1753	17,84	0,1784	19,63	0,1963	18,34	0,1834
0,45	16,39	0,1639	17,65	0,1765	19,50	0,1950	17,85	0,1785
0,46	15,48	0,1548	17,13	0,1713	19,14	0,1914	17,25	0,1725
0,47	14,87	0,1487	16,35	0,1635	18,84	0,1884	16,69	0,1669
0,48	14,60	0,1460	15,35	0,1535	18,89	0,1889	16,28	0,1628
0,49	14,64	0,1464	14,26	0,1426	19,19	0,1919	16,03	0,1603
0,50	14,94	0,1494	13,22	0,1322	19,32	0,1932	15,83	0,1583
0,51	15,43	0,1543	12,34	0,1234	19,20	0,1920	15,66	0,1566
0,52	16,02	0,1602	11,76	0,1176	18,82	0,1882	15,53	0,1553
0,53	16,63	0,1663	11,52	0,1152	17,73	0,1773	15,29	0,1529
0,54	17,22	0,1722	11,60	0,1160	15,63	0,1563	14,82	0,1482
0,55	17,74	0,1774	11,91	0,1191	15,30	0,1530	14,98	0,1498
0,56	18,14	0,1814	12,36	0,1236	15,59	0,1559	15,36	0,1536
0,57	18,42	0,1842	12,85	0,1285	16,06	0,1606	15,78	0,1578
0,58	19,15	0,1915	13,33	0,1333	16,35	0,1635	16,28	0,1628
0,60	20,39	0,4078	14,10	0,2821	16,71	0,3343	17,07	0,3414
0,62	21,21	0,4242	14,46	0,2893	17,52	0,3504	17,73	0,3546
0,64	21,62	0,4325	14,38	0,2875	19,14	0,3829	18,38	0,3676
0,66	21,66	0,4333	14,01	0,2802	21,39	0,4278	19,02	0,3804
0,68	21,38	0,4275	13,57	0,2714	23,57	0,4713	19,50	0,3901
0,70	20,81	0,4163	13,07	0,2614	24,76	0,4953	19,55	0,3910
0,72	20,01	0,4003	12,55	0,2510	24,34	0,4869	18,97	0,3794
0,74	19,06	0,3812	12,07	0,2413	23,35	0,4670	18,16	0,3632
0,76	17,99	0,3599	12,54	0,2508	23,12	0,4625	17,89	0,3577
0,78	16,87	0,3373	12,96	0,2593	22,97	0,4594	17,60	0,3520
0,80	15,73	0,3146	13,65	0,2731	21,91	0,4382	17,10	0,3419
0,82	14,60	0,2920	14,21	0,2843	20,24	0,4048	16,35	0,3270
0,84	13,51	0,2702	14,65	0,2929	18,39	0,3678	15,52	0,3103
0,86	12,49	0,2498	14,85	0,2969	16,66	0,3332	14,67	0,2933
0,88	11,70	0,2341	14,78	0,2955	15,41	0,3083	13,96	0,2793
0,90	11,33	0,2266	15,05	0,3011	16,74	0,3348	14,37	0,2875
0,92	10,97	0,2194	15,02	0,3004	16,94	0,3388	14,31	0,2862
0,94	10,63	0,2125	14,67	0,2933	16,17	0,3235	13,82	0,2764
0,96	10,30	0,2059	14,19	0,2837	14,76	0,2953	13,08	0,2617
0,98	9,98	0,1996	14,01	0,2803	13,22	0,2644	12,40	0,2481
1,00	9,68	0,1935	13,83	0,2765	12,02	0,2404	11,84	0,2368
1,05	8,95	0,4475	13,01	0,6504	15,27	0,7634	12,41	0,6204
1,10	8,28	0,4140	11,90	0,5951	18,66	0,9332	12,95	0,6474
1,15	7,66	0,3831	10,67	0,5337	20,70	1,0351	13,01	0,6506
1,20	7,09	0,3546	9,94	0,4972	20,28	1,0139	12,44	0,6219
1,25	6,57	0,3286	9,67	0,4836	17,87	0,8936	11,37	0,5686
1,30	6,10	0,3050	9,31	0,4656	14,89	0,7444	10,10	0,5050
1,35	5,67	0,2836	8,85	0,4426	16,15	0,8073	10,22	0,5112
1,40	5,29	0,2645	8,29	0,4147	17,27	0,8637	10,29	0,5143
1,45	4,94	0,2472	7,67	0,3834	17,65	0,8827	10,09	0,5045
1,50	4,63	0,2317	7,03	0,3514	17,06	0,8532	9,58	0,4788

Fig. 67 : Tabella inerente gli spettri di risposta in velocità alla superficie del sito (SI) ed al suolo di riferimento (SI_0)

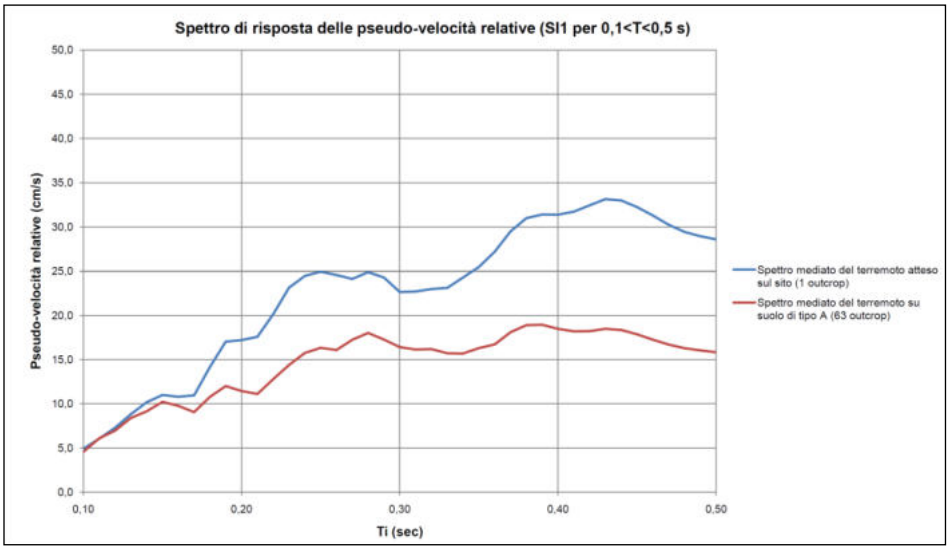


Fig. 68 : Spettro di risposta delle pseudo-velocità relative (SI1 : 0,1s≤T≤0,5s)

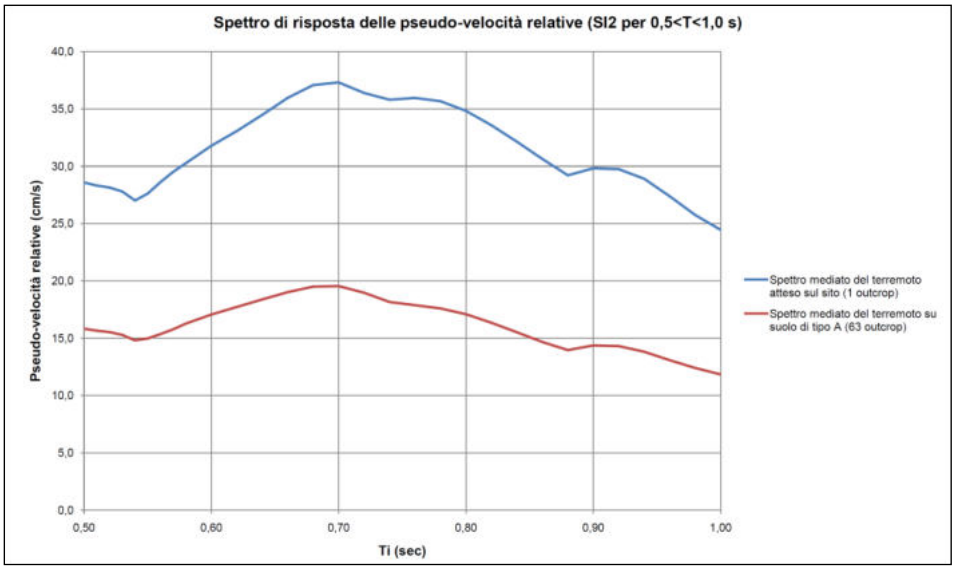


Fig. 69 : Spettro di risposta delle pseudo-velocità relative (SI2 : 0,5s≤T≤1,0s)

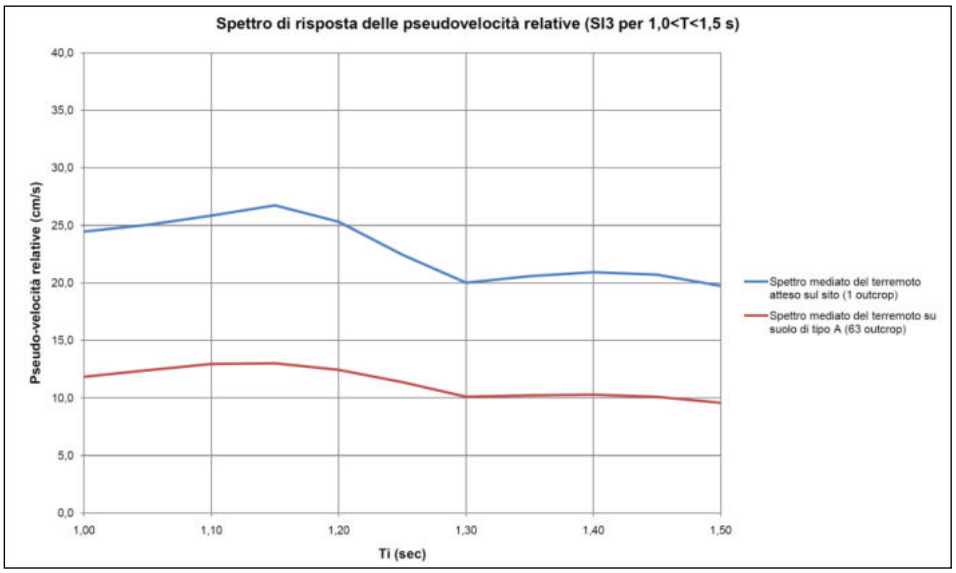


Fig. 70 : Spettro di risposta delle pseudo-velocità relative (SI3 : 1,0s≤T≤1,5s)

SI	T	000046xa	000126xa	000354xa	FH medio
SI1	0,1<T<0,5	1,58	1,56	1,53	**1,55**
SI2	0,5<T<1,0	1,89	2,02	1,96	**1,96**
SI3	1,0<T<1,5	1,96	1,97	2,07	**2,00**

Fig. 71 : Prospetto riassuntivo dei valori del Fattore di Amplificazione FH

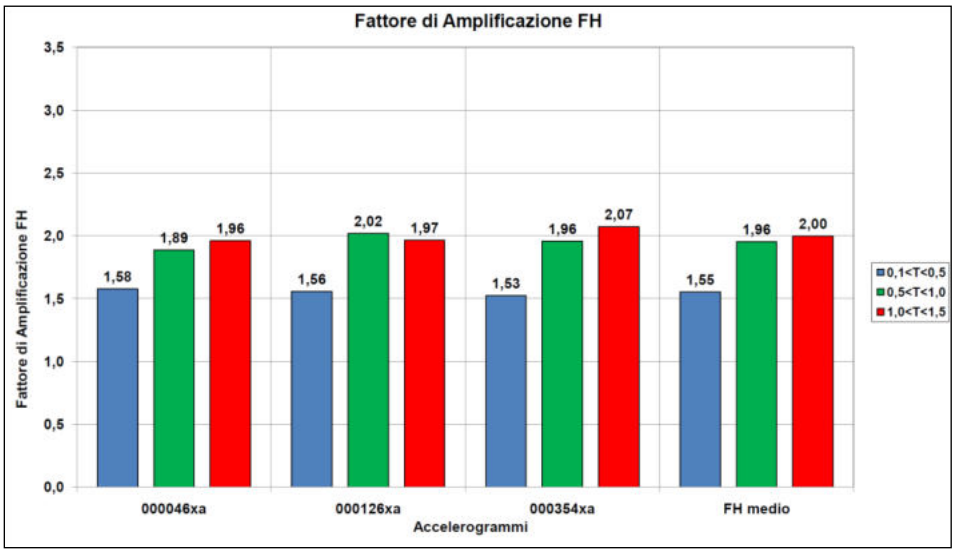


Fig. 72 : Valori del Fattore di Amplificazione FH

Il **parametro H_{SM}** rappresenta il valore della pericolosità sismica derivante dagli studi di Microzonazione sismica ed esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2); si ottiene dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}, valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s≤T≤0,5s), diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi.

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli; nel caso in esame il valore risulta pari a 350-370 cm/s^2 (si veda il dettaglio cartografico in fig. 73).
In particolare, l'esame dei dati riferiti ai 4 nodi di riferimento del territorio di Sala Bolognese (si veda la fig. 74) consente di determinare un valore medio del rapporto $ASI_{UHS}/\Delta T$ pari a 352,85.

Considerando i valori di FA calcolati per i quattro intervalli di periodi indicati nella D.G.R. n° 564/2021 (si veda la fig. 65), si ottengono i valori di H_{SM}, H_{0408}, H_{0711} e H_{0515} illustrati nella tabella di fig. 75.

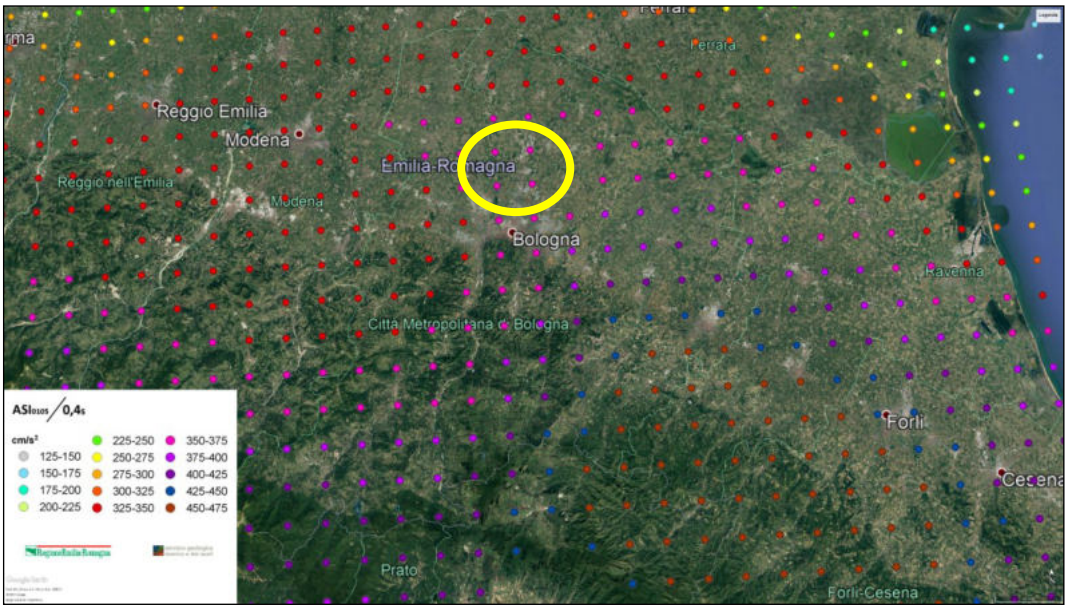


Fig. 73 : Distribuzione dei valori del rapporto ASI_{0105}/0,4s (da Google Earth)

350-375	
ID	16285
Longitudine	11,2437
Latitudine	44,6137
SA_010	0.3806
SA_015	0.4087
SA_020	0.4457
SA_030	0.3783
SA_040	0.311
SA_050	0.2346
SA_075	0.1386
SA_100	0.0965
SA_150	0.0546
SA_200	0.036
ASI0105/0,4s	353,251969
Classi(ASI0105/0,4s)	350-375
ag	0.1632
F16perc	0.1501
F84perc	0.1756

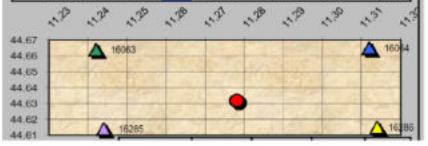
350-375	
ID	16286
Longitudine	11,3138
Latitudine	44,6150
SA_010	0.3816
SA_015	0.4109
SA_020	0.4508
SA_030	0.3783
SA_040	0.3115
SA_050	0.2345
SA_075	0.1388
SA_100	0.0969
SA_150	0.0547
SA_200	0.0362
ASI0105/0,4s	354,631500
Classi(ASI0105/0,4s)	350-375
ag	0.1626
F16perc	0.1499
F84perc	0.1768

350-375	
ID	16064
Longitudine	11,3121
Latitudine	44,6649
SA_010	0.37
SA_015	0.4077
SA_020	0.454
SA_030	0.3757
SA_040	0.3063
SA_050	0.2305
SA_075	0.136
SA_100	0.0937
SA_150	0.0528
SA_200	0.0353
ASI0105/0,4s	351,713025
Classi(ASI0105/0,4s)	350-375
ag	0.1589
F16perc	0.1486
F84perc	0.1832

350-375	
ID	16063
Longitudine	11,2418
Latitudine	44,6636
SA_010	0.3712
SA_015	0.408
SA_020	0.454
SA_030	0.376
SA_040	0.3061
SA_050	0.2301
SA_075	0.1356
SA_100	0.0936
SA_150	0.0527
SA_200	0.0352
ASI0105/0,4s	351,798862
Classi(ASI0105/0,4s)	350-375
ag	0.1589
F16perc	0.1486
F84perc	0.182

Coordinate geografiche della località in esame				
Input da Comuni d'Italia	LON [°]	LAT [°]	Tolleranza [°]	[km]
Località	11,278	44,632	0	0,000

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo					
	ID [#]		LON [°]	LAT [°]	Distanza [°]	[km]
Punto 1	16285		11,244	44,614	0,030	3,354
Punto 2	16286		11,314	44,615	0,031	3,419
Punto 3	16063		11,242	44,664	0,041	4,558
Punto 4	16064		11,312	44,665	0,041	4,550



VALORE MEDIO ASI_{0105}/0,4s	352,85

Fig. 74 : Determinazione del valore di ASI_{0105}/0,4s

T	FA	ASI_{UHS} / ΔT	H	
0,1 - 0,5	1,470	352,85	H_{SM}	**518,69**
0,4 - 0,8	1,860	352,85	H_{0408}	**656,30**
0,7 - 1,1	2,030	352,85	H_{0711}	**716,29**
0,5 - 1,5	1,970	352,85	H_{0515}	**695,11**

Fig. 75 : Determinazione dei valori di H_{SM}, H_{0408}, H_{0711} e H_{0515}

11. POTENZIALITÀ DI LIQUEFAZIONE E STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI

Nella tavola di Pericolosità sismica locale – effetti di sito del P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua (si veda la fig. 76) nell'area di intervento sono individuate due aree caratterizzate da una *"liquefazione molto probabile"*, circondate da una zona con *"liquefazione assente"*.

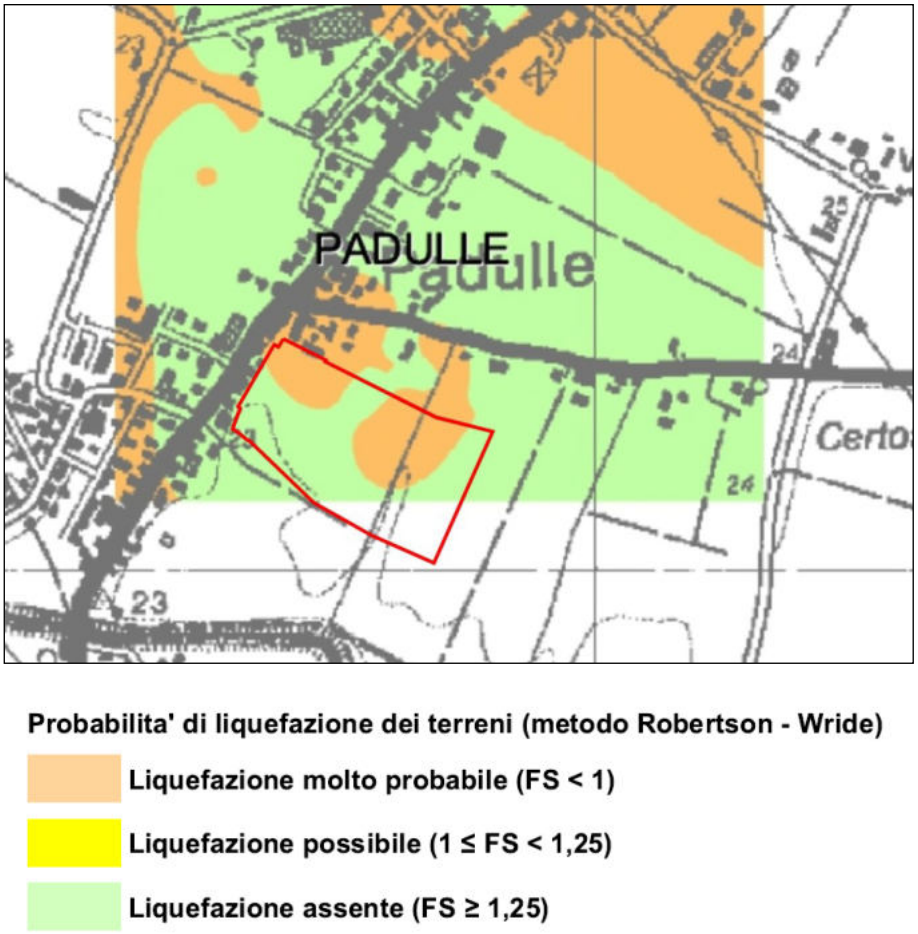


Fig. 76 : Stralcio della tavola QC.6/t7b Pericolosità sismica locale – effetti di sito
(dal P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua)

Tale indicazione, unitamente alle prescrizioni del P.T.M. (si veda il capitolo 10), comporta la necessità di svolgere le stime numeriche del rischio potenziale di liquefazione.

11.1. Stima della potenzialità di liquefazione

La procedura applicata per la determinazione del potenziale di liquefazione è quella illustrata nell'All. A3 *"Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento - A) Valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione"* della D.G.R. 564/2021. Si è fatto inoltre riferimento ai contenuti dell'Appendice E delle Linee Guida A.G.I. *"Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica"* (2005) e sono state infine esaminate le seguenti pubblicazioni:

- Seed, H.B. e Idriss, I.M. (1971) : *"Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential"*, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(SM9): 1249–1273
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K. e Yasuda, S. (1978) : *"A practical method for assessing*

soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan", Proceedings of the 2nd International Conference of Microzonation, San Francisco, CA, Vol. 2, pp. 885–896
- Robertson, P.K. (1990) : *"Soil classification using the cone penetration test"*, Canadian Geotechnical Journal, 27: 151-158
- Ishihara, K. e Yoshimine, M. (1992) : *"Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes"*, Soils and Foundations, 32 (1), 173–188
- Robertson, P.K. e Wride, C.E. (1998) : *"Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test"*, Canadian Geotechnical Journal, 35: 442-459
- Idriss I. M. (1999) : *"An update to the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential"*, Proc., TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction, January, Publication No. FHWA-RD-99-165, Federal Highway Administration
- Zhang, G., Robertson, P. K., Brachman, R. W. I. (2002) : *"Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground"*, Canadian Geotechnical Journal, 39, 1168–80
- Idriss, I.M. e Boulanger, R.W. (2004) : *"Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes"*, 11th ICSDEE / 3rd ICEGE Proceedings, D. Doolin et al., Stallion Press, Vol. 1, 32-56
- Sonmez H. (2003) : *"Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)"*. Environmental Geology 44(7): 8
- Sonmez, H. e Gokceoglu, C. (2005) : *"A liquefaction severity index suggested for engineering practice"*, Environmental Geology, 48, 81–91
- Fred (Feng) Yi (2010) : *"Case study of CPT application to evaluate seismic settlement in dry sand"*, 2nd International Symposium on CPT, Huntington Beach, California
- Van Ballegooy, S. et alii (Tonkin & Taylor Ltd) (2012) : *"Methods for characterising effects of liquefaction in terms of damage severity"*, 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012 Lisboa
- Malan, P. et alii (Tonkin & Taylor Ltd) (2013) : *"Liquefaction vulnerability in Canterbury - the Liquefaction Severity Number"*, NZ Geomechanics News Issue 85 June 2013 p. 77-88
- Boulanger, R.W. e Idriss, I.M. (2014) : *"CPT and SPT based liquefaction triggering procedures"*, Center for Geotechnical Modeling - Department of Civil and Environmental Engineering - University of California - Report No. UCD/CGM-14/01
- Viana da Fonseca A. et alii (2017) : *"State of the art review of numerical modelling strategies to simulate liquefaction-induced structural damage and of uncertain/random factors on the behaviour of liquefiable soils"*, Deliverable D3.1 LIQUEFACT Project – EC GA no. 700748

La metodologia applicata per la stima del potenziale di liquefazione si basa sulla determinazione del Fattore di Sicurezza alla liquefazione (FL), il quale si ottiene dal confronto tra il Rapporto di Resistenza Ciclica (CRR) ed il Rapporto di Tensione Ciclica (CSR) e considerando un fattore di scala per la magnitudo (MSF), allo scopo di ottenere i valori di FL validi per eventi di qualsiasi magnitudo. In funzione dei valori del Fattore di Sicurezza FL e della profondità e spessore dello strato potenzialmente liquefacibile, si ottiene infine il valore dell'Indice di Liquefazione IL, il quale

consente di verificare il grado di rischio nei confronti della liquefazione.

Il Rapporto di Tensione Ciclica CSR è stato calcolato secondo la relazione di Seed e Idriss (1971):

$$\mathbf{CSR = \tau_{av} / \sigma'_{v0} = 0,65 * (a_{max\ s} / g) * (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) * rd}$$

nella quale si ha che :

τ_{av} = tensione media di taglio ciclica

σ'_{v0} = tensione efficace

$a_{max\ s}$ = accelerazione di picco al p.c. del terremoto di progetto

g = accelerazione di gravità

σ_{v0} = tensione totale

rd = coefficiente di riduzione dell'azione sismica, calcolato secondo la relazione di Idriss e Boulanger (2014)

Il Rapporto di Resistenza Ciclica CRR è stato determinato applicando la metodologia introdotta da Robertson e Wride (1998), illustrata nel diagramma di flusso di fig. 77.

Tale metodologia si basa sull'uso dei valori ottenuti nelle prove CPT, mediante la determinazione dei valori normalizzati di q_c (q_{c1N}), dai quali si ottiene il valore equivalente per sabbie fini (q_{c1Ncs}), attraverso la determinazione del contenuto apparente in fini FC (determinata nel presente lavoro secondo le relazioni di Robertson e Wride, corrette da Fred Yi) e del fattore correttivo K_c.
Da sottolineare che mediante la metodologia di Robertson e Wride (1998) è possibile determinare il valore dell'Indice di Comportamento del terreno (I_c), che consente di individuare la litologia del terreno secondo la classificazione SBT; si noti che per valori di $I_c > 2,6$ si esclude la possibilità che si verifichi il fenomeno di liquefazione.

Il valore del fattore di Sicurezza alla Liquefazione (FL) è desunto dalla seguente relazione:

$$\mathbf{FL = CRR/CSR * MSF}$$

nella quale si ha :

MSF = fattore di scala per la Magnitudo, ottenuto applicando la relazione di Idriss (1999). Tale valore deve essere inferiore a 1,8.

Per valori di FL > 1 la liquefazione è da escludere.

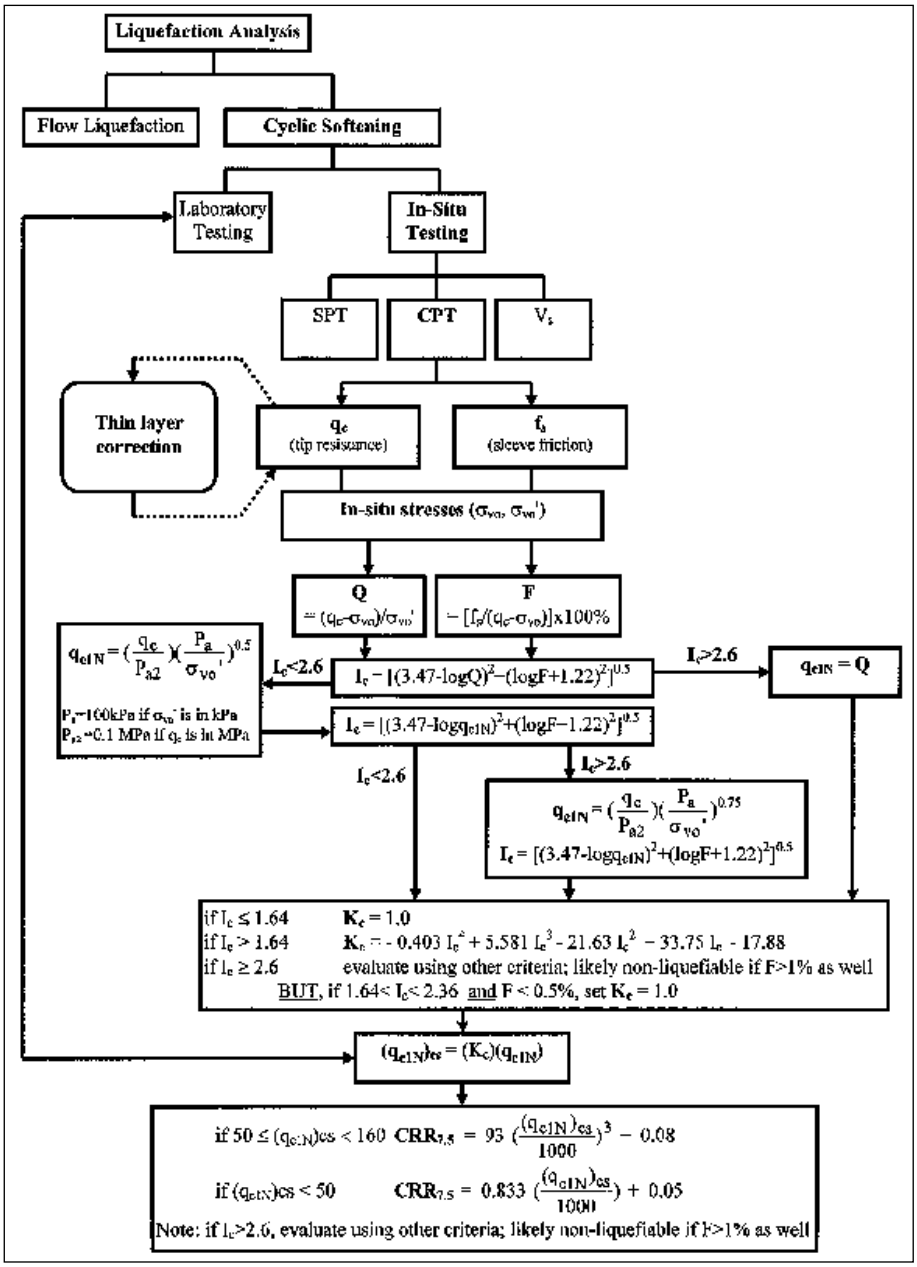


Fig. 77 : Diagramma di flusso per la determinazione di CRR sulla base dei valori di CPT

Il grado di rischio nei confronti della liquefazione si può valutare mediante la determinazione dell'**Indice del Potenziale di Liquefazione LPI**, ottenuto applicando la relazione di Iwasaki et alii (1978):

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

dove:

F (z) = con FL > 1 si ha F = 0; con FL < 1 si ha F = 1 - FL

W (z) = 10 – 0,5 * z

z = profondità dello strato

dz = spessore dello strato considerato

In funzione del valore di LPI si ottiene una valutazione del grado di rischio di liquefazione, come illustrato nella seguente tabella, riportata dalle prescrizioni della D.G.R. 564/2021 e tratta da Sonmez (2003).

LPI	Classe di Pericolosità
0	Non Liquefacibile
0 < LPI < 2	Potenziale Basso
2 < LPI < 5	Potenziale Moderato
5 < LPI < 15	Potenziale Alto
LPI > 15	Potenziale Molto alto

In letteratura sono stati individuati parametri più approfonditi inerenti gli effetti potenziali del fenomeno della liquefazione.

Un importante indice della potenzialità di liquefazione è costituito dall'**Indice di Severità alla Liquefazione LS**, introdotto da Sonmez & Gokceoglu (2005), determinato sulla base della seguente relazione:

$$L_S = \int_0^{20} P_L(z)(10 - 0.5z)dz$$

$$P_L(z) = \frac{1}{1 + \left(F_L/0.96\right)^{4.5}} \quad \text{for } F_L \leq 1.411$$

$$P_L(z) = 0 \quad \text{for } F_L > 1.411$$

Gli stessi Autori forniscono la seguente scala di classificazione delle classi di severità.

LS	Classe di Severità
LS = 0	Non liquefacibile
0 < LS < 15	Molto bassa
15 < LS < 35	Bassa
35 < LS < 65	Moderata
65 < LS < 85	Alta
85 < LS < 100	Molto alta

Un ulteriore indice per la stima dell'entità del fenomeno della liquefazione è costituito dal **Numero di Severità alla Liquefazione LSN** (Liquefaction Severity Number), introdotto da Tonkin & Taylor nel 2013, il quale costituisce un indicatore qualitativo dei danni indotti dalla liquefazione. In sostanza rappresenta un'estensione dell'indice LPI, illustrando l'intensità della liquefazione utilizzando la deformazione volumetrica post-liquefazione ε_v stimata sulla base degli studi di Ishihara & Yoshimine (1992) dai quali sono tratte le relazioni di Zhang et alii (2002).

La determinazione dell'indice LSN è svolta applicando la seguente relazione:

$$LSN = \int \frac{\varepsilon_v}{z} dz$$

dove:

Z = profondità dal piano campagna

ε_v = deformazione volumetrica post-liquefazione (da Zhang et alii, 2002) in funzione del valore del Fattore di Sicurezza e della resistenza alla punta normalizzata del penetrometro statico:

if FS ≤ 0.5,	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 0.6,	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 147$
if FS = 0.6,	$\varepsilon_v = 2411(q_{c1N})_{cs}^{-1.45}$	for $147 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 0.7,	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 110$
if FS = 0.7,	$\varepsilon_v = 1701(q_{c1N})_{cs}^{-1.42}$	for $110 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 0.8,	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 80$
if FS = 0.8,	$\varepsilon_v = 1690(q_{c1N})_{cs}^{-1.46}$	for $80 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 0.9,	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 60$
if FS = 0.9,	$\varepsilon_v = 1430(q_{c1N})_{cs}^{-1.48}$	for $60 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 1.0,	$\varepsilon_v = 64(q_{c1N})_{cs}^{-0.93}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 1.1,	$\varepsilon_v = 11(q_{c1N})_{cs}^{-0.65}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 1.2,	$\varepsilon_v = 9.7(q_{c1N})_{cs}^{-0.69}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 1.3,	$\varepsilon_v = 7.6(q_{c1N})_{cs}^{-0.71}$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 200$
if FS = 2.0,	$\varepsilon_v = 0.0$	for $33 \le (q_{c1N})_{cs} \le 20$

Tonkin & Taylor (2013) hanno fornito la seguente scala di determinazione degli effetti connessi alla liquefazione in relazione al valore di LSN.

LSN	Effetti connessi
0 < LSN < 10	Nessuna o limitata manifestazione di liquefazione
10 < LSN < 20	Minori manifestazioni di liquefazione, limitati sifonamenti
20 < LSN < 30	Moderate manifestazioni di liquefazione, con sifonamenti e qualche danno strutturale
30 < LSN < 40	Manifestazioni di liquefazione da moderate a forti, cedimenti possono causare danni strutturali
40 < LSN < 50	Importanti manifestazioni di liquefazione, ondulazioni e danni in superficie, forti cedimenti totali e differenziali della struttura
LSN > 50	Forti danni, estese evidenze di liquefazione in superficie, forti cedimenti totali e differenziali delle strutture, danni ai servizi

Per quanto concerne il valore di magnitudo utilizzato nel presente lavoro, si è fatto riferimento al massimo della zona sismogenetica (912 nel nostro caso) secondo il rapporto conclusivo 2004 dell'INGV (pag. 38 tabella 6); è stato quindi ottenuto il valore di magnitudo momento di 6,14, basato sul catalogo CPTI2.

Il valore di a_{max} utilizzato nella stima della liquefazione è quello ottenuto nell'analisi sismica di III° Livello mediante il software EERA; nel caso del sito in esame è stato utilizzato il valore di 0,227g.

Le verifiche sono state eseguite in corrispondenza delle 2 verticali corrispondenti alle prove CPT eseguite in corrispondenza dell'area oggetto di intervento.
In all. 5 vengono forniti i grafici delle stime effettuate; nelle tabelle seguenti e nella planimetria di fig. 78 sono riassunti i valori di LPI, LS e LSN ottenuti.

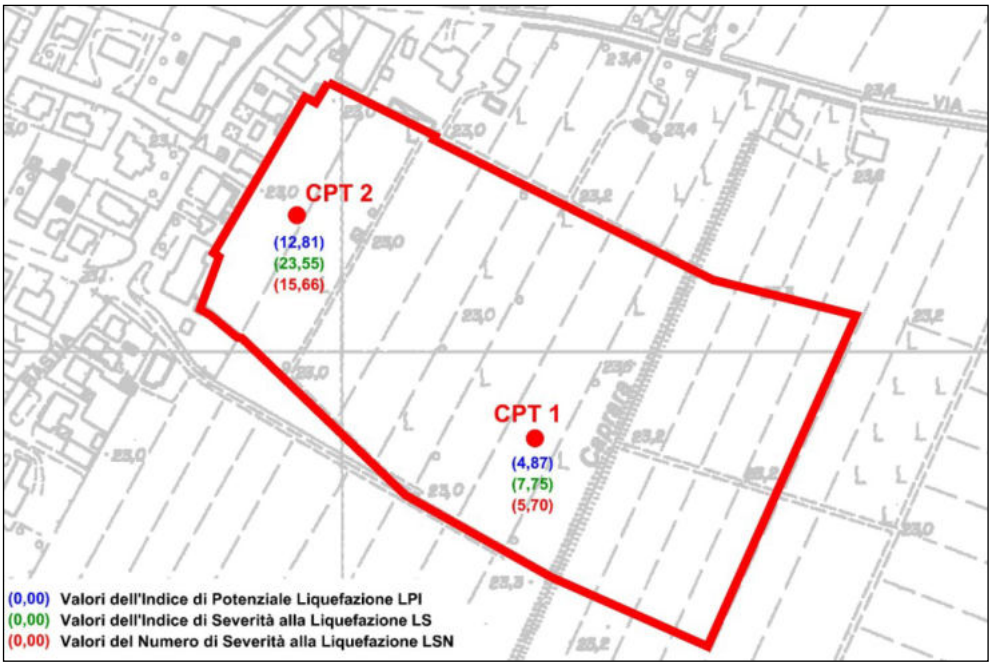


Fig. 78 : Planimetria riassuntiva dei valori di LPI, LS e LSN

PROVA	LPI	Classe di Pericolosità
CPT 1-2021	4,86	Potenziale Moderato
CPT 2-2021	12,81	Potenziale Alto

PROVA	LS	Classe di Severità
CPT 1-2021	7,75	Molto bassa
CPT 2-2021	23,55	Bassa

PROVA	LSN	Effetti connessi
CPT 1-2021	5,70	Nessuna o limitata manifestazione di liquefazione
CPT 2-2021	15,66	Minori manifestazioni di liquefazione, limitati sifonamenti

L'esame dei dati consente di verificare come nell'area in esame il valore dell'Indice di Potenzialità della Liquefazione LPI risulti differenziato, con valori di 4,86 e 12,81, ai quali corrispondono gradi di rischio da moderato ad alto.
L'analisi delle valutazioni inerenti l'Indice di Severità di Liquefazione LS evidenzia però una potenzialità di liquefazione da bassa a molto bassa.
Tali stime basate sull'indice più aggiornato sono confermate dalla determinazione del Numero di Severità della Liquefazione LSN, il quale evidenzia l'assenza o la limitata manifestazione del fenomeno della liquefazione nella zona orientale (CPT1) o minori manifestazioni di liquefazione e

limitati sifonamenti.

Si può quindi affermare che il rischio potenziale di liquefazione risulta variabile da moderato ad alto, ma che gli effetti reali, stimati sulla base della stima degli indici più aggiornati, risultabo sostanzialmente limitati.

11.2. Stima dei cedimenti post-sismici

La stima dei cedimenti post-sismici è stata effettuata applicando diverse metodologie in funzione della litologie presenti; in particolare sono state utilizzate le relazioni descritte di seguito.

Cedimenti in terreni granulari saturi

E' stata applicata la metodologia introdotta da Zhang G., Robertson, P.K. e Brachman R.W.I. (2002) in *"Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground"* in Canadian Geotechnical Journal, 39: 1168-1180.

Essa è basata sulla seguente relazione :

$$S = \sum \varepsilon_{vi} \Delta z_i$$

nella quale:

S = cedimenti indotti dalla liquefazione

ε_{vi} = deformazione volumetrica post-liquefazione dello strato i-esimo

Δz_i = spessore dello strato i-esimo

La deformazione volumetrica post-liquefazione viene calcolata applicando le espressioni riportate nell'Appendice A della citata pubblicazione, le quali la mettono in relazione con il valore di FL e di q_{c1ncs}.

Cedimenti in terreni granulari insaturi

In questo caso sono state considerate le relazioni contenute nelle seguenti pubblicazioni:

- Fred (Feng) Yi (2010) : *"Case study of CPT application to evaluate seismic settlement in dry sand"*, 2nd International Symposium on CPT, Huntington Beach, California
- Pradel D. (1998) : *"Procedure to evaluate earthquake-induced settlements in dry soils"* Journal of geotechnical Engineering, ACSE, 124(4), 364-368
- Yie-Ruey Chen, Shun-Chieh Hsieh, Jing-Wen Chen, Chao-Ying Lee (2009) : *"Evaluation of earthquake-induced settlement in dry sand layers*" in EJGE, Volume 14, Bundle M

In questo caso il valore di deformazione volumetrica post-liquefazione si ottiene con la seguente relazione :

$$\varepsilon_{vc,M=7,5} = 10^n \gamma$$

dove :

$n = 18,4 / q_{c1ncs}^{0,61} - 1$

γ = deformazione ciclica di taglio, calcolata sulla base del metodo di Pradel (1998)

L'entità del cedimento è calcolato applicando la seguente relazione (da Pyke, 1975):

$$S = 2 * h * \varepsilon$$

dove :

S = cedimento

h = spessore dello strato considerato

ε = deformazione volumetrica post-liquefazione

Cedimenti terreni fini saturi

E' stata applicata la metodologia proposta da Robertson P.K. (2009) in *"Performance based earthquake design using the CPT"*.

In questo caso il Fattore di Sicurezza alla Liquefazione viene calcolato considerando una deformazione di taglio ciclica pari al 3%, ottenuta con il seguente rapporto:

$$FS_{\gamma 3\%} = CRR_{\gamma 3\%,\ M=7,5} / CSRm$$

con

$CRR_{\gamma 3\%,\ M=7,5} = 0,074 * q_{c1N}^{0,8}$

La stima dei cedimenti è svolta definendo il valore della deformazione volumetrica per i terreni coesivi secondo la seguente relazione:

$$\varepsilon_{vol} = \Delta\sigma'_v / M$$

dove :

$\Delta\sigma'_v$ = variazione nella tensione efficace, calcolata con la seguente relazione:

$$\Delta\sigma'_v = (0,8 - 2,66 \log FS) * \sigma'_{v0} / 0,33 * q_{c1n}$$

$M = A * M_{CPT}$

con

$A = 10 - 9 \log (0,33 * q_{c1n})$

$M_{CPT} = q_{c1n}^2 * \sigma'_{v0}$

Si ha quindi : $\varepsilon_{vol} = (0,8 - 2,66 \log FS) / 0,33 * A * q_{c1n}^3$

Il cedimento S viene calcolato moltiplicando il valore di ε_{vol} con il valore dello spessore dello strato considerato.

Indice di spostamento laterale

Viene infine svolta la stima dello spostamento laterale, mediante la determinazione dell'Indice di spostamento laterale LDI, secondo la metodologia proposta da Zhang G., Robertson P.K. e Brachman R.W.I. (2004) *"Estimating liquefaction-induced lateral displacement using the standard Penetration test or Cone Penetration Test"* in Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 861.

I parametri su cui si basa la stima dello spostamento laterale sono la densità relativa (ottenuta applicando la relazione con i dati di q_{c1n} proposta da Tatsuoka et alii nel 1990) ed il Fattore di Sicurezza alla Liquefazione. L'Indice di Spostamento Laterale si ottiene con :

$$LDI = \sum \gamma_{max} * dz$$

dove :

γ_{max} = deformazione ciclica di taglio massima, ottenuta applicando le formule riportate nell'Appendice alla pubblicazione citata, che mettono in relazione tale parametro con i valori di densità relativa e FS alla liquefazione

dz = spessore dello strato considerato

E' possibile inoltre ottenere il valore reale dello spostamento laterale LD (in cm) applicando la seguente relazione (valida per terreni aventi pendenze S comprese tra 0,2% e 3,5%)

LD = (S + 0,2) * LDI

Risultati

In all. 6 vengono forniti i grafici inerenti la stima dei cedimenti post-sismici e dello spostamento laterale calcolati in corrispondenza dei 2 punti delle prove CPTU situate in corrispondenza della zona soggetta ad intervento.

Nelle figg. 79 e 80 sono riassunti i risultati ottenuti nel calcolo dei cedimenti, dal cui esame si evidenzia come generalmente la maggior parte dei cedimenti si sviluppi in corrispondenza dei terreni granulari insaturi e saturi, prevalentemente in corrispondenza della prova CPTU 2.

Per quanto concerne la stima dello spostamento laterale, l'esame della fig. 81 evidenzia come essi risultino significativi soprattutto nella prova CPTU 2.

I risultati numerici ottenuti consentono di affermare che sia i cedimenti che lo spostamento laterale risultino significativi nella zona occidentale.

In conclusione si può affermare che i cedimenti post-sismici appaiono di entità variabile ma sostanzialmente significativa; poiché tali deformazioni presentano però un carattere areale non dovrebbero comportare l'insorgere di importanti danneggiamenti nelle opere di progetto.

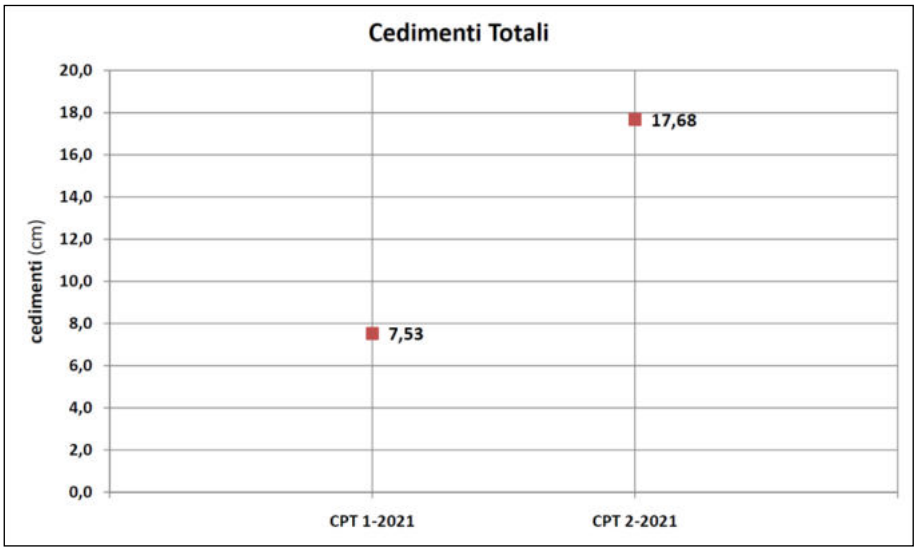


Fig. 79

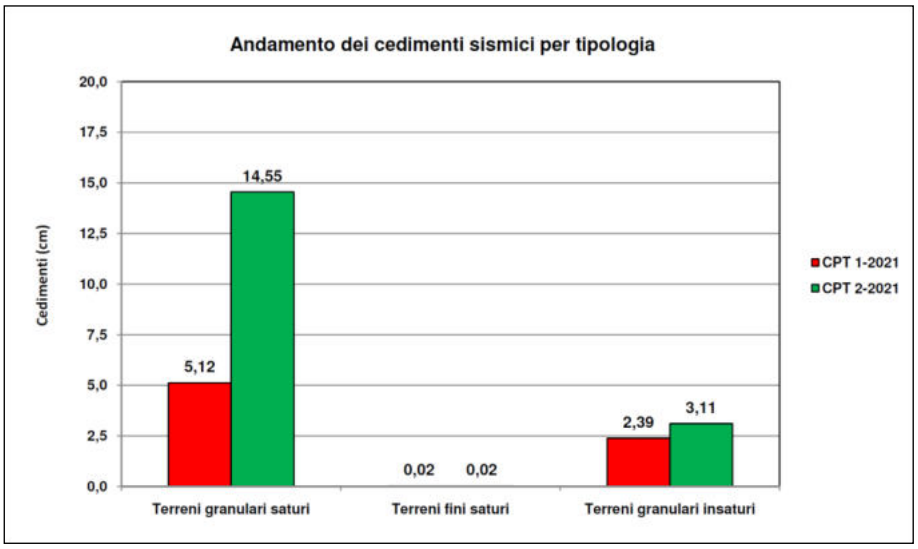

Andamento dei cedimenti sismici per tipologia
Cedimenti (cm)
20,0
17,5
15,0
12,5
10,0
7,5
5,0
2,5
0,0
14,55
5,12
0,02
0,02
2,39
3,11
Terreni granulari saturi
Terreni fini saturi
Terreni granulari insaturi
CPT 1-2021
CPT 2-2021

Fig. 80

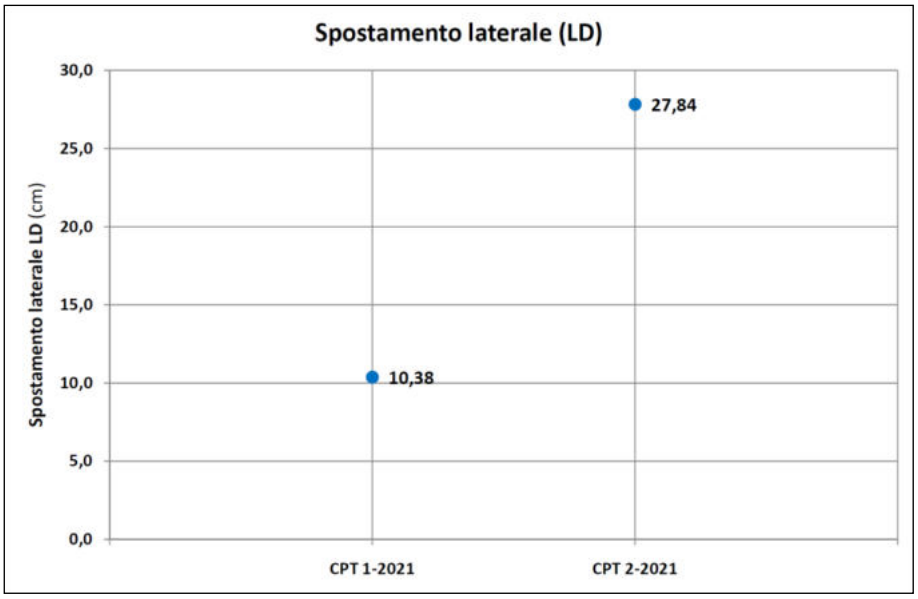

Spostamento laterale (LD)
Spostamento laterale LD (cm)
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
27,84
10,38
CPT 1-2021
CPT 2-2021

Fig. 81

12. ACQUE SUPERFICIALI

La ricostruzione delle caratteristiche delle acque superficiali nel sito ed in suo intorno significativo è stata svolta esaminando i contenuti del P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua..

L'esame della fig. 82 evidenzia come l'area sia situata all'interno del bacino idrografico del Canale Emissario delle Acque Basse Bagnetto. A circa 180 m a sud si sviluppa il tracciato dello Scolo Dosoletto, dal quale si diparte lo Scolo Diversivo Caprara, che attraversa l'area da sud a nord. A circa 650 m dalla deviazione di tale corso d'acqua lo Scolo Dosoletto confluisce nello Scolo Dosolo.

Nella fig. 83 si evidenzia come l'area sia inserita all'interno di una vasta zona caratterizzata da emergenze idrauliche definite dal Consorzio di Bonifica Reno Palata, costituite dalla "riduzione degli effetti negativi dei fenomeni di subsidenza presenti nella zona mediante interventi specifici" e dallo "studio del regime idraulico dello Scolo Dosolo per verificare le disfunzioni dovute alla subsidenza".

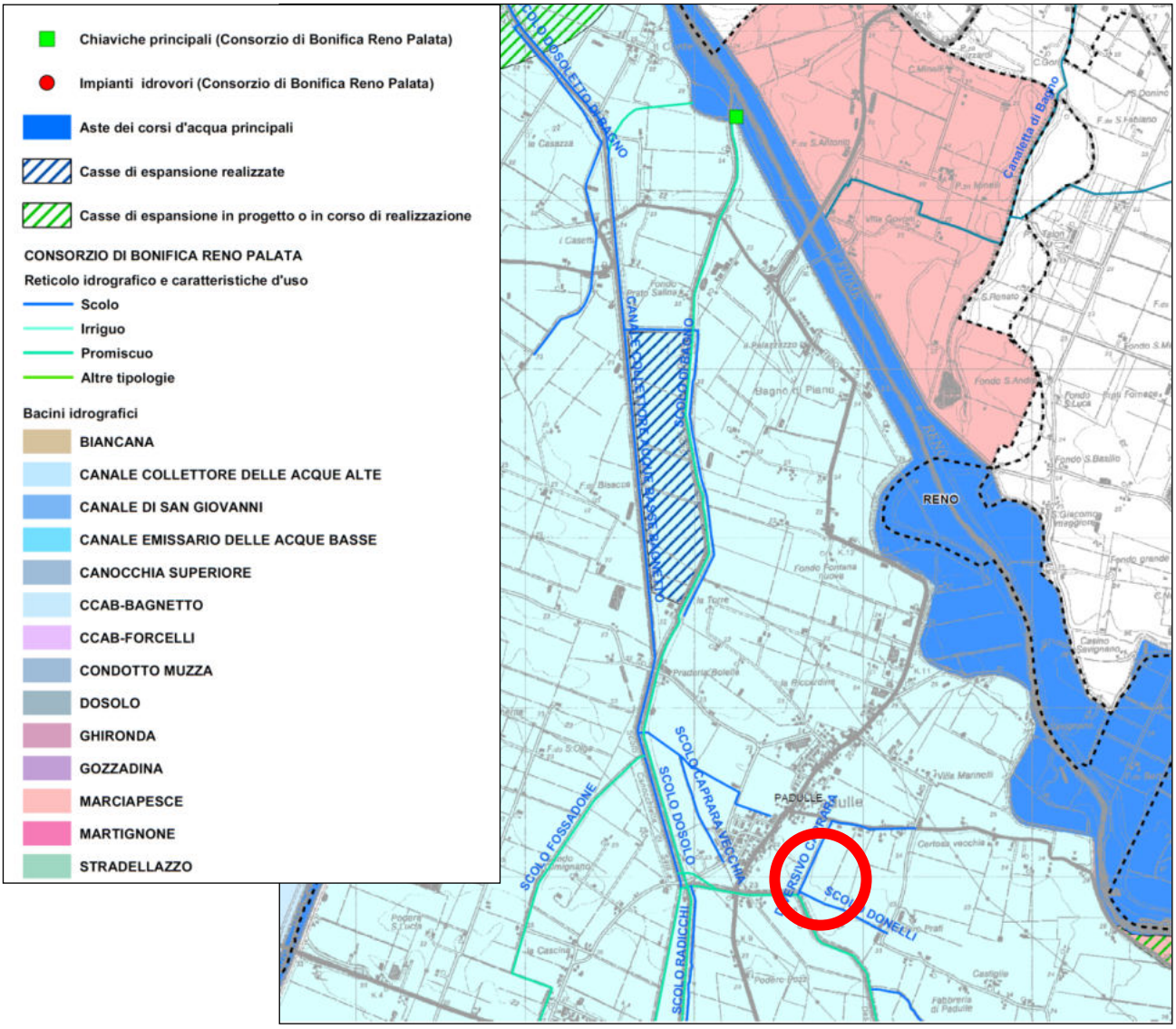


Fig. 82 : Idrografia (tratta dalla Tav. QC6.t4 del P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua)

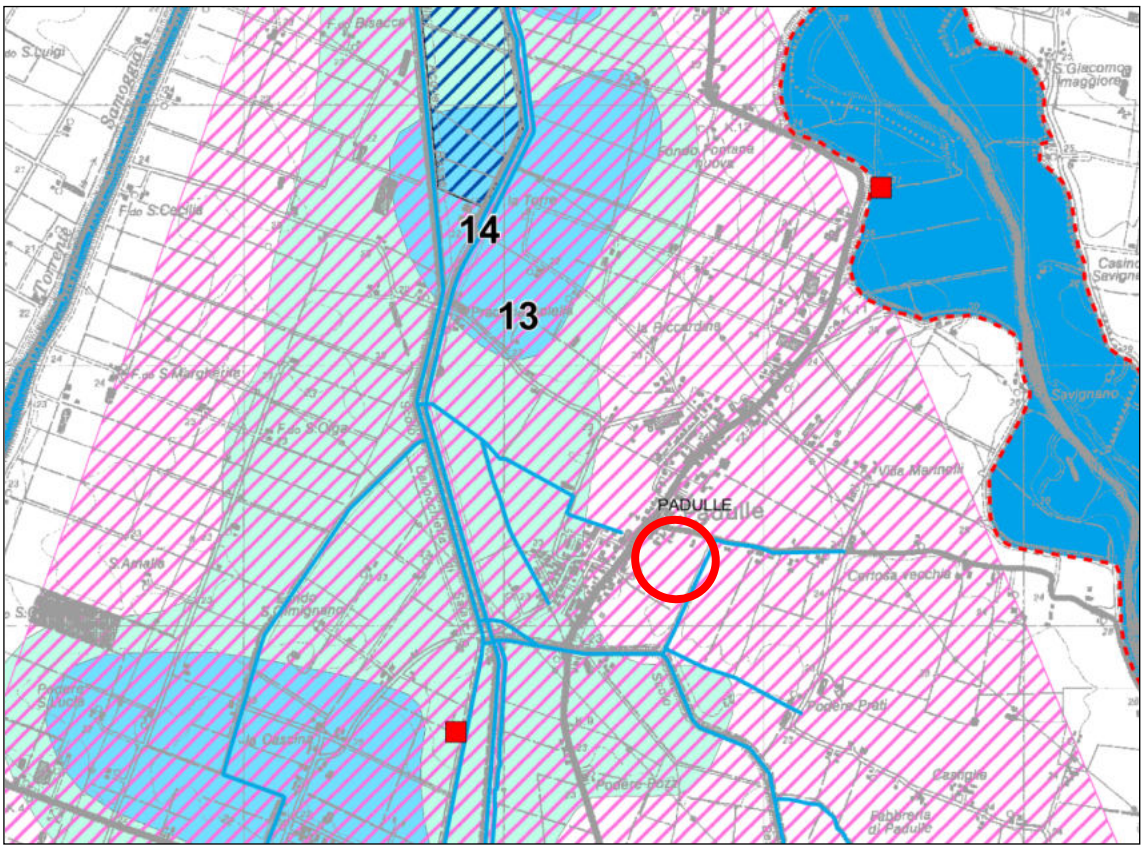


Fig. 83 : Criticità idrauliche (tratta dalla Tav. QC6.t5 del P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua)

13. ACQUE SOTTERRANEE

Recenti studi (Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, 1998: *"Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna"*. A cura di G. Di Dio) hanno individuato nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, che diventano sempre più importanti procedendo verso nord. Tali Gruppi sono stati informalmente denominati A, B, C (a partire dal piano campagna).
Il Gruppo A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo B è sfruttato solo localmente, il Gruppo C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.
L'esame della cartografia riportata nello studio citato in precedenza e della quale sono forniti stralci significativi nelle figg. 84÷89 consente di verificare gli spessori e l'importanza dei diversi acquiferi nell'area di studio.

Il *Gruppo acquifero A* è segnalato fino alla profondità di circa 250 m dal p.c. ed è caratterizzato dalla presenza di alcuni strati di ghiaia e sabbia dello spessore variabile tra 20 m e 50 m l'uno, separati da livelli di argilla e limi.
I depositi di questo acquifero sono riconducibili ad un'età compresa tra 350.000-450.000 anni e l'attuale. L'esame della carta delle isopache dei depositi poroso-permeabili appartenenti a questo acquifero (corrispondente alla tav. 2 del suddetto studio) evidenzia come tale gruppo si sia sviluppato in maniera significativa in corrispondenza del dosso dell'attuale percorso del F. Reno lungo un'asse passante a sud di Ferrara, con andamento nordovest-sudest. L'area in esame è situata al margine orientale di tale zona, nella quale è stato individuato il minore spessore cumulativo dei livelli porosi e permeabili di tale gruppo acquifero.
L'esame della fig. 84 consente di evidenziare come il piano basale dell'acquifero A sia segnalato a profondità dell'ordine di 250 m circa dal p.c., mentre dall'osservazione della fig. 85 si può individuare lo spessore del corpo permeabile, che risulta di circa 90-100 metri.
Il *Gruppo acquifero B*, anch'esso costituito dall'alternanza di livelli di ghiaia e sabbia, più potenti, e di argilla e limo, è presente fino alla profondità di oltre 400 m dal p.c..
I depositi di questo acquifero sono riconducibili ad un'età compresa tra 650.000 e 350.000-450.000 anni. Gli acquiferi principali si sviluppano ad ovest dell'Autostrada Bologna-Padova, in corrispondenza dell'area deposizionale del Reno, con spessori minori di quelli visti per il gruppo acquifero A; anche in questo caso si nota la netta distinzione tra sedimenti del F. Reno e quelli del Sistema Savena-Idice, che si sviluppano verso nord-est in direzione di Quarto Inferiore. L'area del pozzo è posto nella zona interposta tra i due citati sistemi idrogeologici.
L'esame della fig. 86 consente di evidenziare come il piano basale dell'acquifero B sia segnalato a profondità dell'ordine di oltre 400 m circa dal p.c., mentre dall'osservazione della fig. 87 lo spessore del corpo permeabile risulta di circa 40 metri.
Il *Gruppo acquifero C*, possiede uno spessore significativo ed è posto superiormente al limite tra acqua dolce e acqua salmastra, che viene convenzionalmente considerato come la base del sistema degli acquiferi sfruttabili.
Contrariamente a quanto visto per i due Gruppi precedenti, gli acquiferi in questo caso si

sviluppano maggiormente nella zona occidentale della pianura bolognese, verso S. Giovanni in Persiceto; il sistema deposizionale del Fiume Reno non appare ancora in funzione o per lo meno i suoi effetti sono obliterati dalla presenza della zona deposizionale con provenienza occidentale.
L'esame della fig. 88 consente infatti di osservare l'estensione della zona di massima profondità dei depositi permeabili e di evidenziare come il piano basale dell'acquifero C sia segnalato a profondità dell'ordine di 500 m circa dal p.c., mentre dall'osservazione della fig. 89 lo spessore del corpo permeabile risulta pari a circa 100 metri.

In fig. 90 viene riportata una sezione geologica profonda, tratta dagli elaborati del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna, nella quale sono evidenziati gli andamenti in profondità dei 3 corpi acquiferi A, B e C.
Analizzando in dettaglio la struttura geologica in verticale, sono state identificate le seguenti unità idrogeologiche all'interno dei 3 Gruppi acquiferi citati (si veda lo schema di fig. 91):

- Acquifero A1
- Acquitardo ALFA
- Acquifero A2, A3, A4 (denominato A234)
- Acquitardo DELTA
- Acquifero B
- Acquitardo EPSILON
- Acquifero C

Acquifero A1

Rappresenta l'acquifero posto più in superficie. Presenta una geometria cuneiforme, mostrando spessori minimi di 24-28 m verso il margine collinare e massimi di 65-70 m a nord. Tale acquifero contiene un articolato complesso di falde superficiali ed è ben documentato anche per quanto riguarda i valori di permeabilità.

Acquitardo ALFA

Questo acquitardo costituisce un elemento di suddivisione all'interno del Gruppo Acquifero A. Presenta spessori molto variabili, pari a 1-3 m nelle zone più prossime all'apice di conoide, aumentando rapidamente a 8-12 m in corrispondenza dei campi pozzo "Borgo Panigale" e "Tiro a Segno" gestiti da Hera S.p.A.; spessori maggiori (12-15 m) si segnalano ancora più a nord. I depositi sono prevalentemente limoso-argillosi, con locali intercalazioni grossolane. L'acquitardo ALFA ha la funzione di separare le falde superficiali da quelle profonde, le quali hanno condizioni piezometriche tra loro differenziate e stato chimico differente. Le falde superficiali sono direttamente connesse a ricarica diretta e a fenomeni di contaminazione, mentre le condizioni delle falde profonde sono strettamente in relazione con le attività di prelievo idrico.

Acquifero A2+A3+A4 (A234)

La restante parte dell'acquifero A, costituita dalle sottounità A2, A3 e A4, viene considerata come una unica unità geologica, pur presentando all'interno due acquitardi, denominati BETA e GAMMA, di rango analogo all'acquitardo ALFA. Lo spessore complessivo varia da 40 a 160 m, aumentando omogeneamente verso nord. La falda contenuta (falda profonda), presenta livelli piezometrici molto diversi.

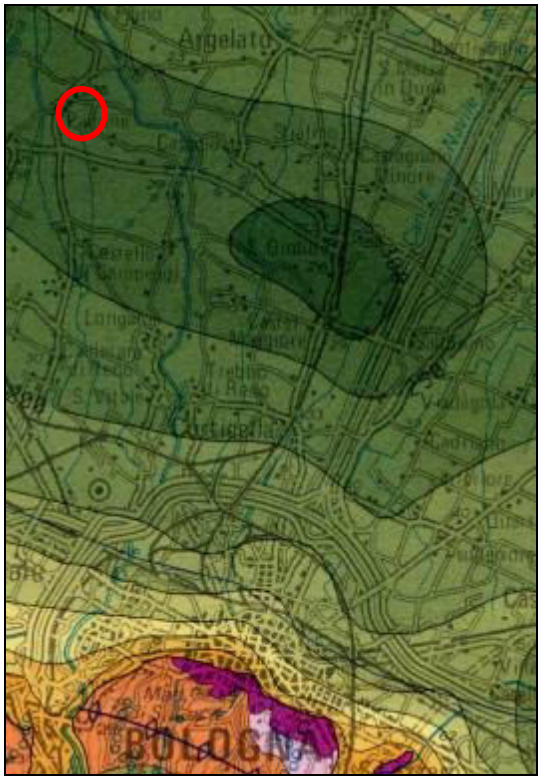


Fig. 84 : Acquifero A : profondità del piano basale

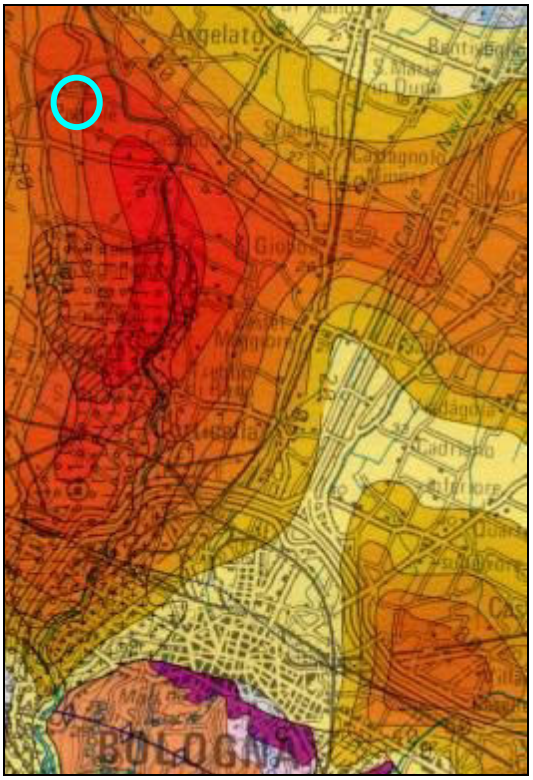


Fig. 85 : Acquifero A : spessore del corpo permeabile

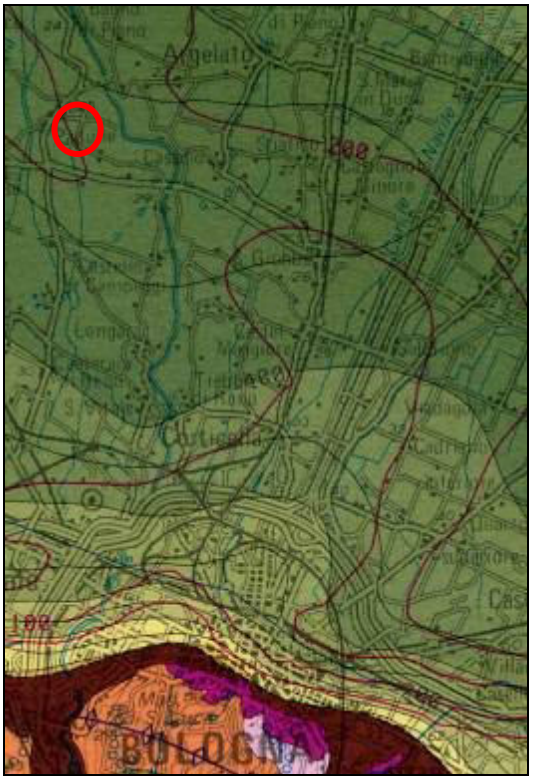


Fig. 86 : Acquifero B : profondità del piano basale

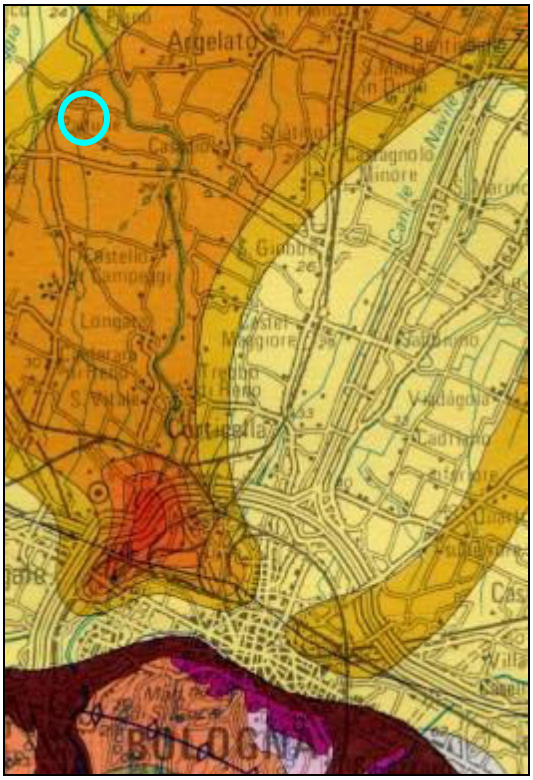


Fig. 87 : Acquifero B : spessore del corpo permeabile

Fig. 88 : Acquifero C : profondità del piano basale

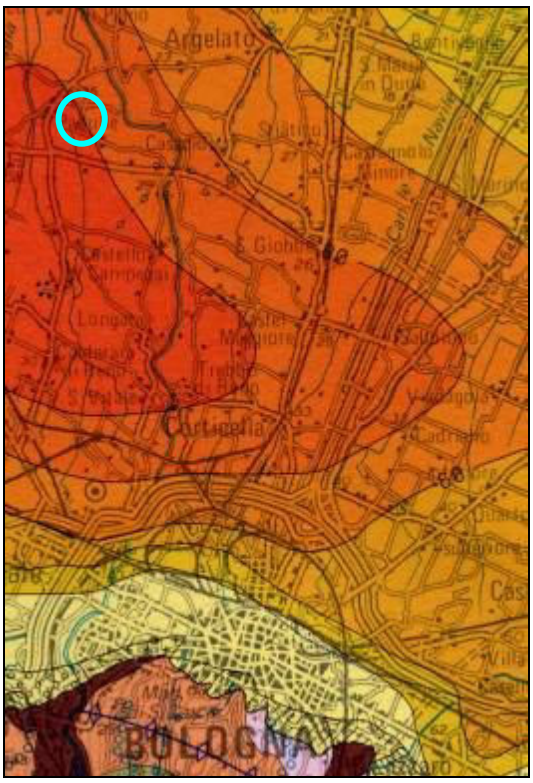


Fig. 89 : Acquifero C : spessore del corpo permeabile

Acquitardo DELTA

Corrisponde all'acquitardo compreso tra gli acquiferi A e B. Sulla base di 105 dati log, è stata determinata la geometria del tetto e della base. Lo spessore è compreso tra 20 e 25 m (23 m in corrispondenza dei campi pozzo "Borgo Panigale" e "Tiro a Segno"). I depositi sono prevalentemente limoso-argillosi, con locali intercalazioni grossolane.

Acquifero B

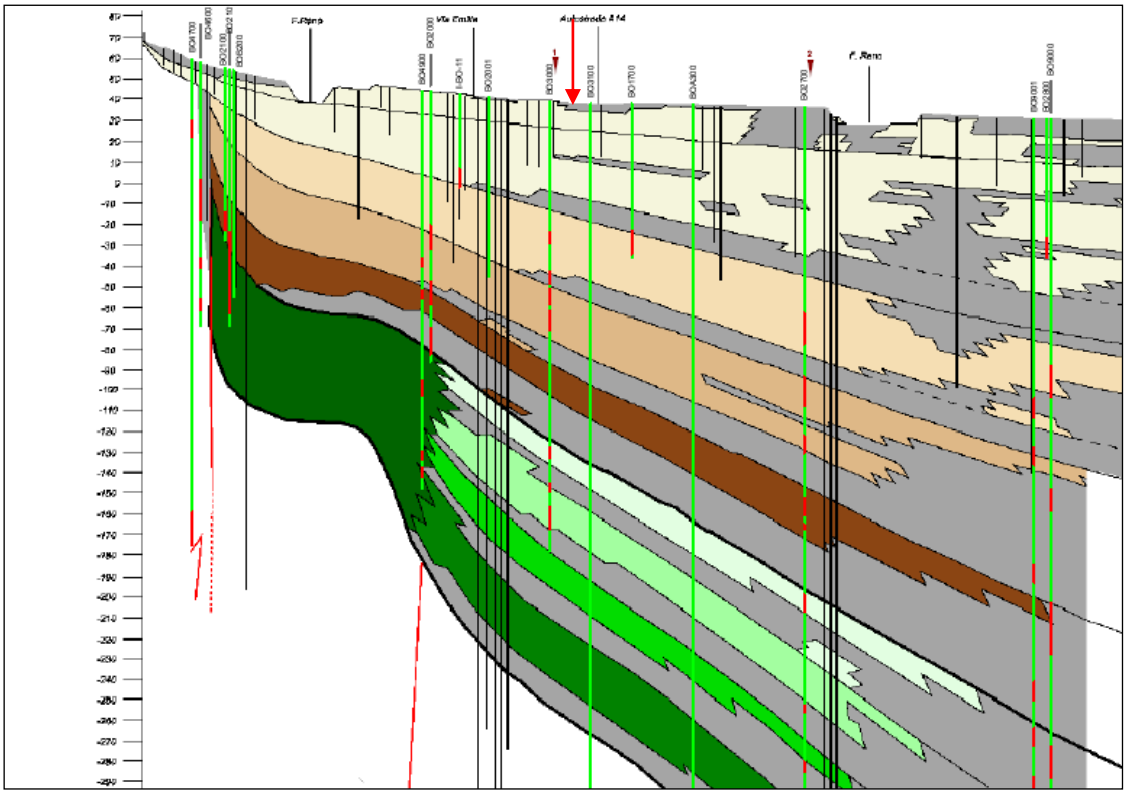
L'acquifero B è stato descritto grazie alle conoscenze concentrate quasi esclusivamente intorno ai principali centri di pompaggio. Lo spessore complessivo varia da 15 m a 150 m (valore medio pari a circa 90 metri), aumentando omogeneamente verso nord. Una marcata riduzione dello spessore totale dell'acquifero (da ubicarsi nel centro storico di Bologna) è connessa a motivi di attività tettonica. Il Gruppo Acquifero B è sede di una falda confinata (falda profonda).

Acquitardo EPSILON

Corrisponde all'acquitardo compreso tra gli acquiferi B e C. Lo spessore è variabile tra 15 e 25 m nell'area in esame. I depositi sono prevalentemente limoso-argillosi, con locali intercalazioni grossolane.

Acquifero C

La sua geometria è difficilmente descrivibile sulla sola base dei dati disponibili. Il Gruppo Acquifero C e' sede di una falda confinata.



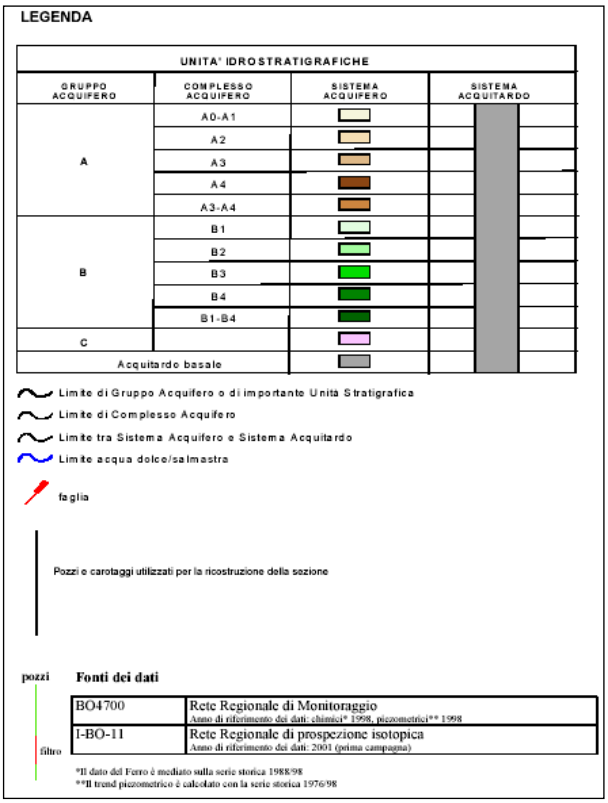


Fig. 90 : Sezione geologica profonda (tratta dal Piano di Tutela delle Acque)

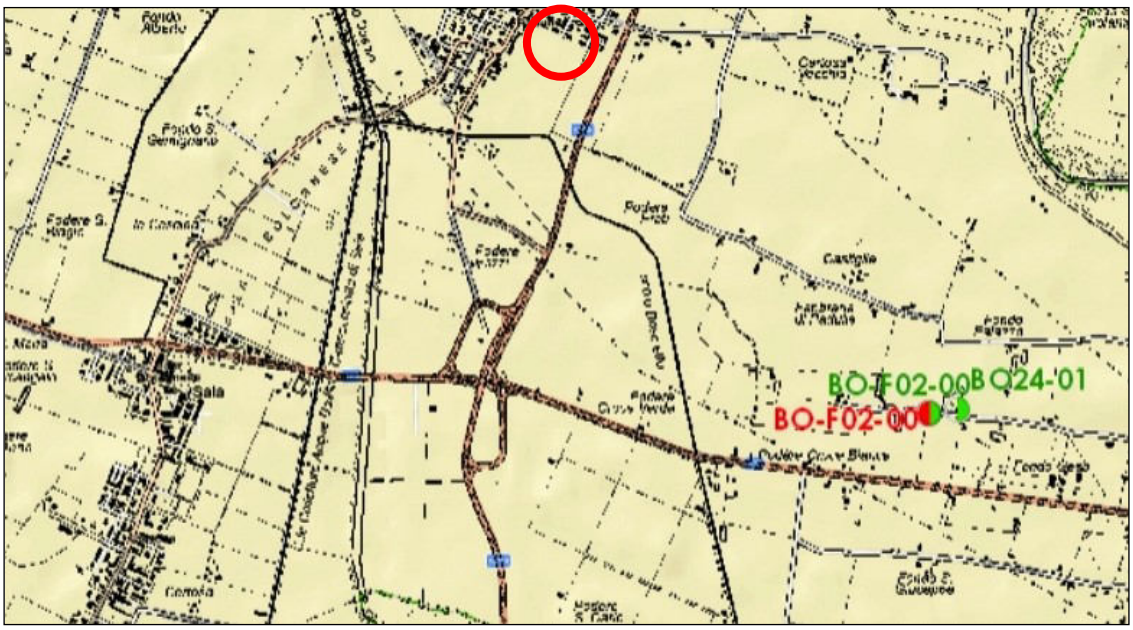
<table>
<tr><th colspan="3">Acquiferi</th><th>Acquitardi</th><th>Falde</th></tr>
<tr><td rowspan="6">A</td><td rowspan="3">A1</td><td>A1c</td><td></td><td>Sup3 - Sup4</td></tr>
<tr><td>A1b</td><td></td><td>Sup2</td></tr>
<tr><td>A1a</td><td></td><td>Sup1</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Alfa</td><td></td></tr>
<tr><td>A2</td><td></td><td></td><td rowspan="3">Profonda</td></tr>
<tr><td>A3</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>A4</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>Delta</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>B</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>Epsilon</td></tr>
<tr><td>C</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Fig. 91 : Quadro riassuntivo della struttura geologica ed idrogeologica (dal sito dell'Unità Ambiente del Comune di Bologna)

La determinazione delle caratteristiche idrogeologiche locali è stata eseguita esaminando i dati presenti nel sito E-Water di ARPAE e nei diversi Report annuali prodotti da ARPAE inerenti il monitoraggio delle acque sotterranee eseguiti in corrispondenza dei punti di controllo della rete di monitoraggio regionale.
Nella fig. 92 è riportata l'ubicazione dei punti di controllo della rete di monitoraggio più vicini all'area di intervento; si tratta del pozzo BO 24-01 e del pozzo BO F02-00, che illustrano l'andamento rispettivamente della falda profonda e di quella più superficiale (si vedano le caratteristiche nella tabella di fig. 92).

Per quanto riguarda la falda profonda, nella tabella di fig. 93 e nel grafico di fig. 95 sono riportati i dati del livello piezometrico rilevati nel pozzo BO 24-01 nel periodo 2010÷2019; l'esame di tali elaborati evidenziano come i livelli tendono ad innalzarsi dal 2011 al 2016 (da 0,0 m s.l.m. a circa 15 m s.l.m., corrispondenti ad una profondità da circa 24,6 m a circa 9,6 m), per poi calare nel periodo più recente, fino ad una quota di circa 1,5 m s.l.m., equivalente ad una profondità di circa 23,1 m dal p.c..

L'andamento della falda freatica superficiale nel periodo 2010÷2019 in corrispondenza del pozzo BO-F02-00 è illustrato nella tabella di fig. 94 e nel grafico di fig. 96, dal cui esame si evidenzia un livello compreso tra +20 m s.l.m. e +20,5 m s.l.m., equivalente ad una profondità di circa 3 m dal p.c..
Tale valore appare conforme a quanto rilevato sia nel corso dell'esecuzione delle prove penetrometriche statiche, le quali hanno evidenziato un livello di falda a profondità di 2 m dal p.c. che dall'esame degli elaborati del P.S.C. (si vedano le figg. 97 e 98).



Codice RER	XUTM-ETRS89 (fuso 32)	YUTM-ETRS89 (fuso 32)	Quota PC (m)	Profondità (m)	Nome Corpo idrico sotterraneo
BO24-01	682073	4942667	24.6	100	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore
BO-F02-00	681965	4942653	24.2	7.5	Freatico di pianura fluviale

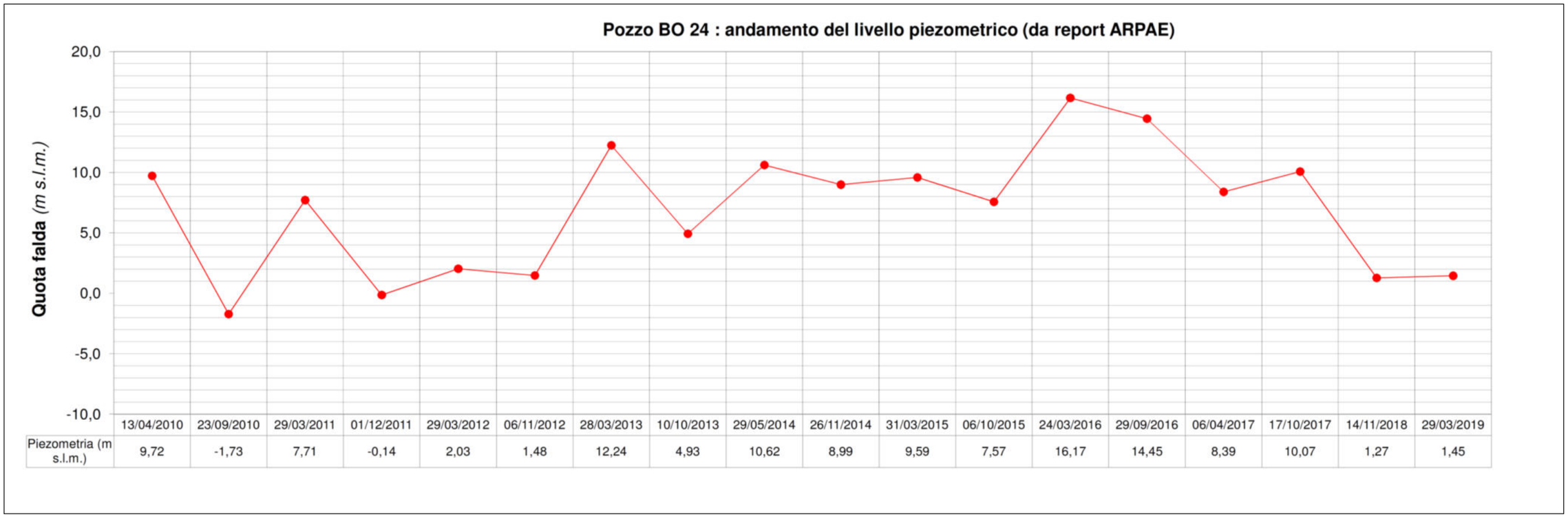
Fig. 92 : Ubicazione e caratteristiche dei pozzi della rete di controllo ARPAE

Codice RER	Data	Quota PC (m)	Piezometria (m s.l.m.)	Soggiacenza (m dal p.c.)
BO24-01	13/04/2010	24,60	9,72	14,88
BO24-01	23/09/2010	24,60	-1,73	26,33
BO24-01	29/03/2011	24,60	7,71	16,89
BO24-01	01/12/2011	24,60	-0,14	24,74
BO24-01	29/03/2012	24,60	2,03	22,57
BO24-01	06/11/2012	24,60	1,48	23,12
BO24-01	28/03/2013	24,60	12,24	12,36
BO24-01	10/10/2013	24,60	4,93	19,67
BO24-01	29/05/2014	24,60	10,62	13,98
BO24-01	26/11/2014	24,60	8,99	15,61
BO24-01	31/03/2015	24,60	9,59	15,01
BO24-01	06/10/2015	24,60	7,57	17,03
BO24-01	24/03/2016	24,60	16,17	8,43
BO24-01	29/09/2016	24,60	14,45	10,15
BO24-01	06/04/2017	24,60	8,39	16,21
BO24-01	17/10/2017	24,60	10,07	14,53
BO24-01	14/11/2018	24,60	1,27	23,33
BO24-01	29/03/2019	24,6	1,45	23,15

Fig. 93 : Livelli piezometrici del pozzo BO24-01 (da Report ARPAE)

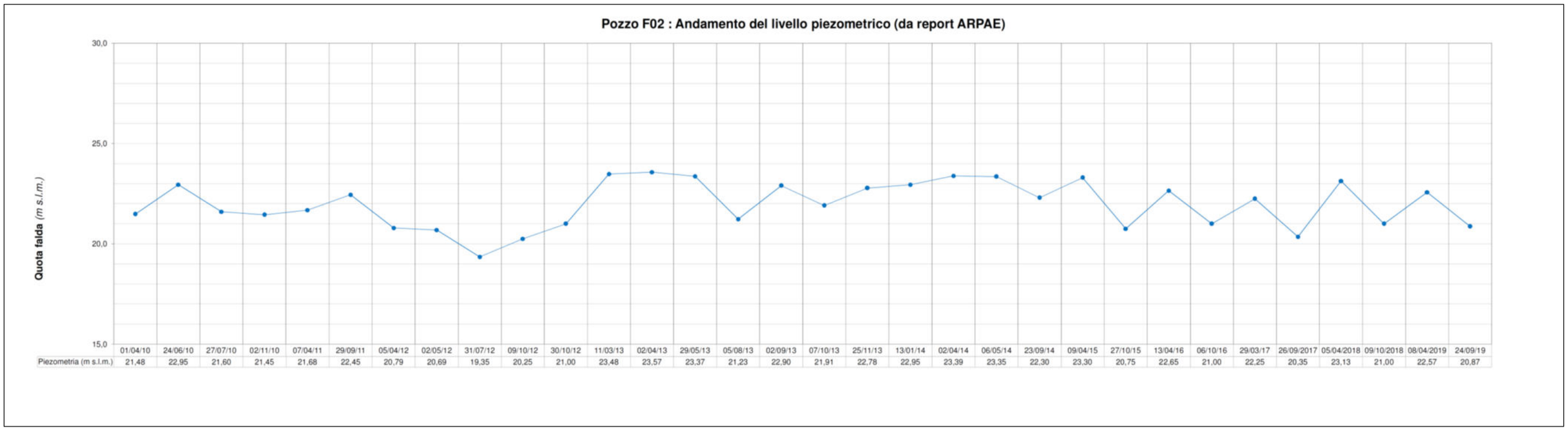
Codice RER	Data	Quota PC (m)	Piezometria (m s.l.m.)	Soggiacenza (m dal p.c.)
BO-F02-00	01/04/2010	24,2	21,48	2,72
BO-F02-00	24/06/2010	24,2	22,95	1,25
BO-F02-00	27/07/2010	24,2	21,60	2,60
BO-F02-00	02/11/2010	24,2	21,45	2,75
BO-F02-00	07/04/2011	24,2	21,68	2,52
BO-F02-00	29/09/2011	24,2	22,45	1,75
BO-F02-00	05/04/2012	24,2	20,79	3,41
BO-F02-00	02/05/2012	24,2	20,69	3,51
BO-F02-00	31/07/2012	24,2	19,35	4,85
BO-F02-00	09/10/2012	24,2	20,25	3,95
BO-F02-00	30/10/2012	24,2	21,00	3,20
BO-F02-00	11/03/2013	24,2	23,48	0,72
BO-F02-00	02/04/2013	24,2	23,57	0,63
BO-F02-00	29/05/2013	24,2	23,37	0,83
BO-F02-00	05/08/2013	24,2	21,23	2,97
BO-F02-00	02/09/2013	24,2	22,90	1,30
BO-F02-00	07/10/2013	24,2	21,91	2,29
BO-F02-00	25/11/2013	24,2	22,78	1,42
BO-F02-00	13/01/2014	24,2	22,95	1,25
BO-F02-00	02/04/2014	24,2	23,39	0,81
BO-F02-00	06/05/2014	24,2	23,35	0,85
BO-F02-00	23/09/2014	24,2	22,30	1,90
BO-F02-00	09/04/2015	24,2	23,30	0,90
BO-F02-00	27/10/2015	24,2	20,75	3,45
BO-F02-00	13/04/2016	24,2	22,65	1,55
BO-F02-00	06/10/2016	24,2	21,00	3,20
BO-F02-00	29/03/2017	24,2	22,25	1,95
BO-F02-00	26/09/2017	24,2	20,35	3,85
BO-F02-00	05/04/2018	24,2	23,13	1,07
BO-F02-00	09/10/2018	24,2	21,00	3,20
BO-F02-00	08/04/2019	24,2	22,57	1,63
BO-F02-00	24/09/2019	24,2	20,87	3,33

Fig. 94 : Livelli piezometrici del pozzo BO-F02-00 (da Report ARPAE)



	13/04/2010	23/09/2010	29/03/2011	01/12/2011	29/03/2012	06/11/2012	28/03/2013	10/10/2013	29/05/2014	26/11/2014	31/03/2015	06/10/2015	24/03/2016	29/09/2016	06/04/2017	17/10/2017	14/11/2018	29/03/2019
Piezometria (m s.l.m.)	9,72	-1,73	7,71	-0,14	2,03	1,48	12,24	4,93	10,62	8,99	9,59	7,57	16,17	14,45	8,39	10,07	1,27	1,45

Fig. 95 : Andamento del livello piezometrico del Pozzo BO24 nel periodo 2010-2016 (da Report ARPAE)



	01/04/10	24/06/10	27/07/10	02/11/10	07/04/11	29/09/11	05/04/12	02/05/12	31/07/12	09/10/12	30/10/12	11/03/13	02/04/13	29/05/13	05/08/13	02/09/13	07/10/13	25/11/13	13/01/14	02/04/14	06/05/14	23/09/14	09/04/15	27/10/15	13/04/16	06/10/16	29/03/17	26/09/2017	05/04/2018	09/10/2018	08/04/2019	24/09/19
Piezometria (m s.l.m.)	21,48	22,95	21,60	21,45	21,68	22,45	20,79	20,69	19,35	20,25	21,00	23,48	23,57	23,37	21,23	22,90	21,91	22,78	22,95	23,39	23,35	22,30	23,30	20,75	22,65	21,00	22,25	20,35	23,13	21,00	22,57	20,87

Fig. 96 : Andamento del livello piezometrico del Pozzo FO2 nel periodo 2010-2016 (da Report ARPAE)**)**

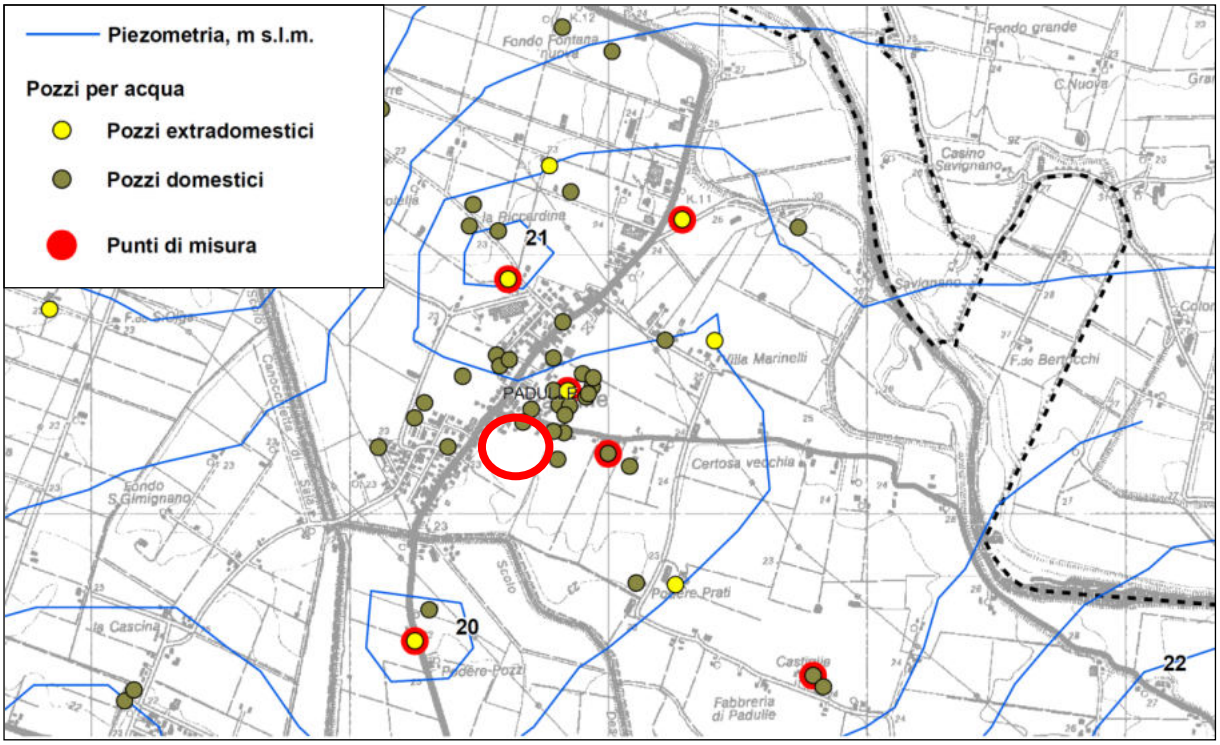


Fig. 97 : Stralcio della tav. QC6/t8.b "Piezometria della falda acquifera superficiale"

(dal P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua)

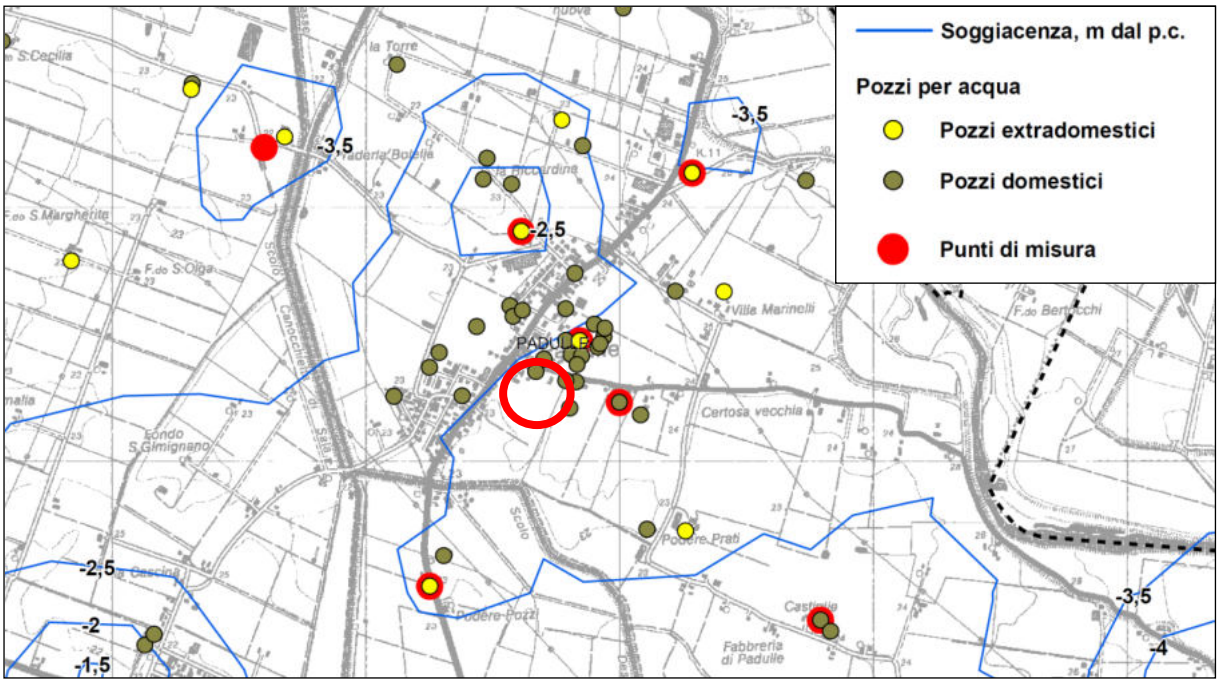


Fig. 98 : Stralcio della tav. QC6/t9.b "Soggiacenza della falda acquifera superficiale"

(dal P.S.C. dell'Associazione Terre d'Acqua)

14. ANALISI DELLA QUALITÀ DEI SUOLI

14.1 Ricostruzione storica dell'area

Allo scopo di individuare la presenza nel passato di attività antropiche in grado di provocare potenziali fenomeni di contaminazione dei suoli è stata effettuata la ricostruzione storica del sito, mediante l'esame della documentazione fotografica reperita nei siti della Regione Emilia-Romagna e del Geoportale Nazionale del MITE.

Nel periodo anteguerra l'area del Comparto appare interessata da attività agricole (si veda la fig. 99, relativa al 1931-37), come pure nel periodo del conflitto mondiale (si veda la fig. 100 riferita al 1943).

Negli anni '50 la situazione appare stabile, con la prosecuzione delle attività agricole nel sito (si veda la figg. 101, ripresa nel 1954).

Nella fotografia del 1988 (si veda la fig. 102) si assiste ad una espansione del tessuto insediativo in località Padulle ed alla presenza della S.P. n° 16 "Padullese", il cui tracciato lambisce il confine orientale del comparto in esame. In tale area prosegue l'attività agricola e si nota la presenza della cabina elettrica nella porzione occidentale del sito.

Nel periodo successivo si osserva la continua espansione delle aree insediative e la permanenza delle attività agricole nel sito; si vedano in particolare le figg. 103÷110, riferite al 1994, 2000, 2006, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2018.

Allo stato attuale l'area è ancora utilizzata ad usi agricoli, come si è potuto verificare nel corso dei sopralluoghi effettuati dallo scrivente.

In conclusione, l'area è sempre stata interessata da attività di tipo agricolo.

Si può quindi affermare che nel sito non siano state presenti attività antropiche in grado di indurre potenziali fenomeni di contaminazione dei suoli.

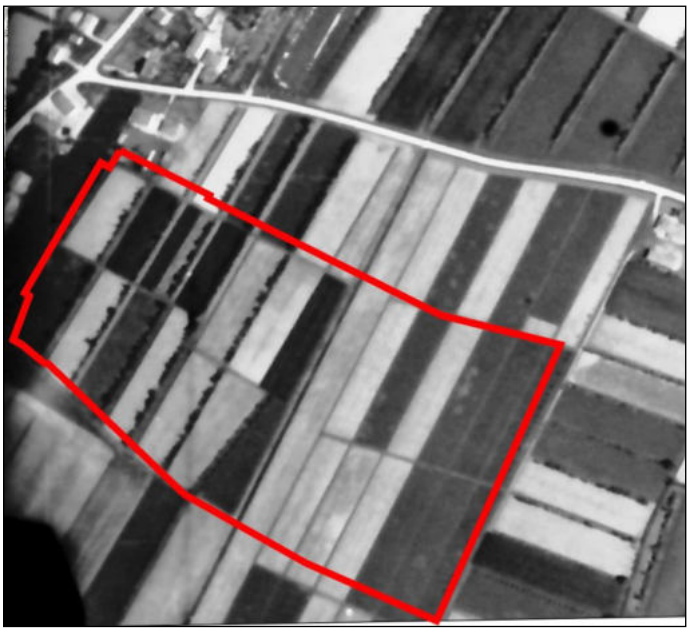


Fig. 99 : Foto aerea del 1931-37 (da Geoportale della Regione Emilia-Romagna)

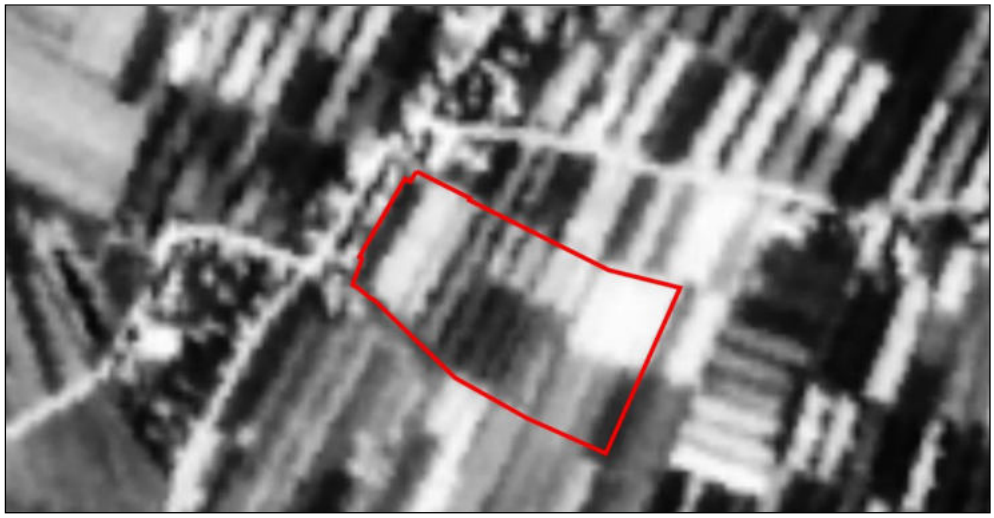


Fig. 100 : Foto aerea RAF del 1943 (da Geoportale della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 101 : Foto aerea IGMI GAI del 1954 (da Geoportale della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 102 : Foto aerea del 1988 (dal Geoportale Nazionale)

Fig. 103 : Foto aerea del 1994 (dal Geoportale Nazionale)

Fig. 104 : Foto aerea del 2000 (dal Geoportale Nazionale)

Fig. 105 : Foto aerea del 2006 (dal Geoportale Nazionale)

Fig. 106 : Foto aerea del 2008 (dal sito Moka della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 107 : Foto aerea del 2011 (dal sito Moka della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 108 : Foto aerea del 2014 (dal sito Moka della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 109 : Foto aerea del 2017 (dal sito Moka della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 110 : Foto aerea del 2018 (dal sito Moka della Regione Emilia-Romagna)

14.2 Indagine sulla qualità dei suoli

Allo scopo di determinare il grado di qualità dei suoli presenti nel sito si è fat to riferimento sia ai contenuti del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. che a quelli del D.P.R. 120/2017 *"Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del D.L. 12/09/2014, n° 133, convertito, con modificazioni, dalla L. 11/11/2014, n° 164"*.
Quest'ultima norma individua le modalità di gestione delle terre di scavo in qualità di sottoprodotti, ai sensi dell'art. 184bis del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., definendo in particolare 3 tipologie di cantieri di produzione delle terre (piccoli cantieri, grandi cantieri soggetti o non soggetti alla procedura di VIA od AIA) per ognuna delle quali determina le procedure di verifica della sussistenza della qualifica di sottoprodotto, escludendo pertanto le terre oggetto dello scavo dalla gestione dei rifiuti di cui al Titolo IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.
Nel caso in esame, allo stato attuale non sono definiti con precisione i quantitativi oggetto dello scavo, ma si ritiene che essi siano dell'ordine di circa 5.000 mc; pertanto si rientra nel caso dei cantieri di piccole dimensioni, regolamentati dagli artt. 20 e 21 del D.P.R. 120/2017. Si tenga inoltre conto che molto probabilmente i diversi lotti saranno realizzati in tempi diversi e pertanto ognuno di essi costituirà un singolo cantiere, con dimensioni e volumi caratteristici dei piccoli cantieri.

Per quanto riguarda la verifica delle caratteristiche qualitative del terreno naturale, il numero dei punti di prelievo dei campioni rappresentativi di terreno è stato stabilito in accordo con la tabella 2.1 dell'All. 2 del D.P.R. 120/2017; considerando una superficie di intervento complessiva pari a circa 5.000 mq si ottiene un numero di 4 punti.

Dimensione dell'area	Punti di prelievo
Inferiore a 2.500 metri quadri	3
Tra 2.500 e 10.000 metri quadri	3 + 1 ogni 2.500 metri quadri
Oltre i 10.000 metri quadri	7 + 1 ogni 5.000 metri quadri

Tabella 2.1

In realtà nella norma si fa riferimento al numero dei punti di prelievo, in corrispondenza di ognuno dei quali per scavi di profondità inferiore a 2 m è necessario prelevare 2 campioni.
In considerazione della natura dei terreni interessati, che non sono mai stati interessati da attività antropiche tali da poter indurre una contaminazione dei suoli, appare però ragionevole prelevare in corrispondenza di ogni punto di prelievo un campione rappresentativo, costituito dalla miscelazione di almeno tre aliquote di terreno prelevate a profondità differenti.

Allo scopo di determinare le caratteristiche litostratigrafiche superficiali del sito di intervento e di individuare il grado di qualità dei terreni presenti è stata pertanto condotta un'indagine costituita dalla realizzazione di 4 trincee di esplorazione (T1÷T4, corrispondenti ai punti A÷D) mediante l'uso di un escavatore idraulico a braccio rovescio Kubota U20-3α.

L’ubicazione delle trincee è riportata nelle figg. 111 e 112 ed in all. 7 viene fornita la documentazione delle prove, dalla cui esecuzione è stato possibile individuare le caratteristiche litostratigrafiche illustrate nelle colonne riportate in fig. 113.
L’esame di tali elaborati consente di verificare come dal punto di vista litostratigrafico la porzione più superficiale dei terreni presenti nel sito mostrino una sostanziale uniformità, essendo caratterizzati dalla presenza di livelli di limo argilloso.

In corrispondenza di ogni trincea è stato prelevato un campione medio rappresentativo delle caratteristiche dei terreni presenti nel sito, ottenuto mediante miscelazione di almeno 3 aliquote prelevate a profondità differenti.

Per quanto riguarda la verifica delle caratteristiche qualitative dei terreni, l'art. 20 del D.P.R. 120/2017 indica che il produttore deve dimostrare :

a) che non siano superati i valori di Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) della Tab. 1 dell’All. 5 del Titolo V della Parte IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. al fine di verificare la conformità qualitativa dei terreni in funzione della tipologia di uso del sito. Nel caso in esame si deve fare riferimento ai valori di CSC indicati nella Colonna A (siti a verde/residenziale).
   Deve essere pertanto eseguita l'analisi del terreno sulla sostanza secca ed i parametri analizzati sono quelli definiti nell'all. 4 del D.P.R. 120/2017 : arsenico, cadmio, cobalto, cromo totale ed esavalente, nichel, piombo, rame, zinco, mercurio, Idrocarburi pesanti, amianto, BTEX (Composti organici aromatici), IPA (idrocarburi policiclici aromatici), ai quali viene aggiunto il parametro Idrocarburi Leggeri C<12, previsto dal *“Regolamento per la gestione dei materiali naturali derivanti da attività di scavo e dei materiali inerti generati da attività di demolizione e costruzione”*, approvato dal Consiglio Comunale di Bologna con Delibera n° 106/2009 del 06/04/2009.
b) che le terre e rocce da scavo non costituiscano fonte diretta o indiretta di contaminazione per le acque sotterranee.
   In analogia con quanto prescritto per il materiale di riporto (art. 4 comma 3 del D.P.R. 120/2017) deve essere eseguito un test di cessione al fine di accertare il rispetto delle CSC di cui alla Tab. 2 dell’All. 5 del Titolo V della Parte IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

Tali tipologie di analisi potranno essere utilizzate anche nella eventuale successiva fase di elaborazione della documentazione inerente la gestione delle terre in qualità di sottoprodotti ai sensi del D.P.R. 120/2017.

I campioni sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio chimico presso i Laboratori Chimici Stante s.r.l. di Bologna.

In all. 8 sono riportati i certificati di analisi del terreno e nelle tabelle di fig. 114 sono forniti i risultati delle analisi, dal cui esame si evince come tutti i parametri analizzati mostrino valori ampiamente inferiori alle CSC considerate in ambedue le tipologie di analisi svolte.

Si può quindi affermare che il terreno presente nel sito risulta conforme ai criteri qualitativi prescritti del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. per quanto riguarda i siti ad uso verde e/o residenziale

Fig. 111 : Ubicazione delle trincee di esplorazione e dei campioni su fotografia aerea del 2018

(dal sito Moka della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 112 : Ubicazione delle trincee di esplorazione e dei campioni sulla base del progetto proposto

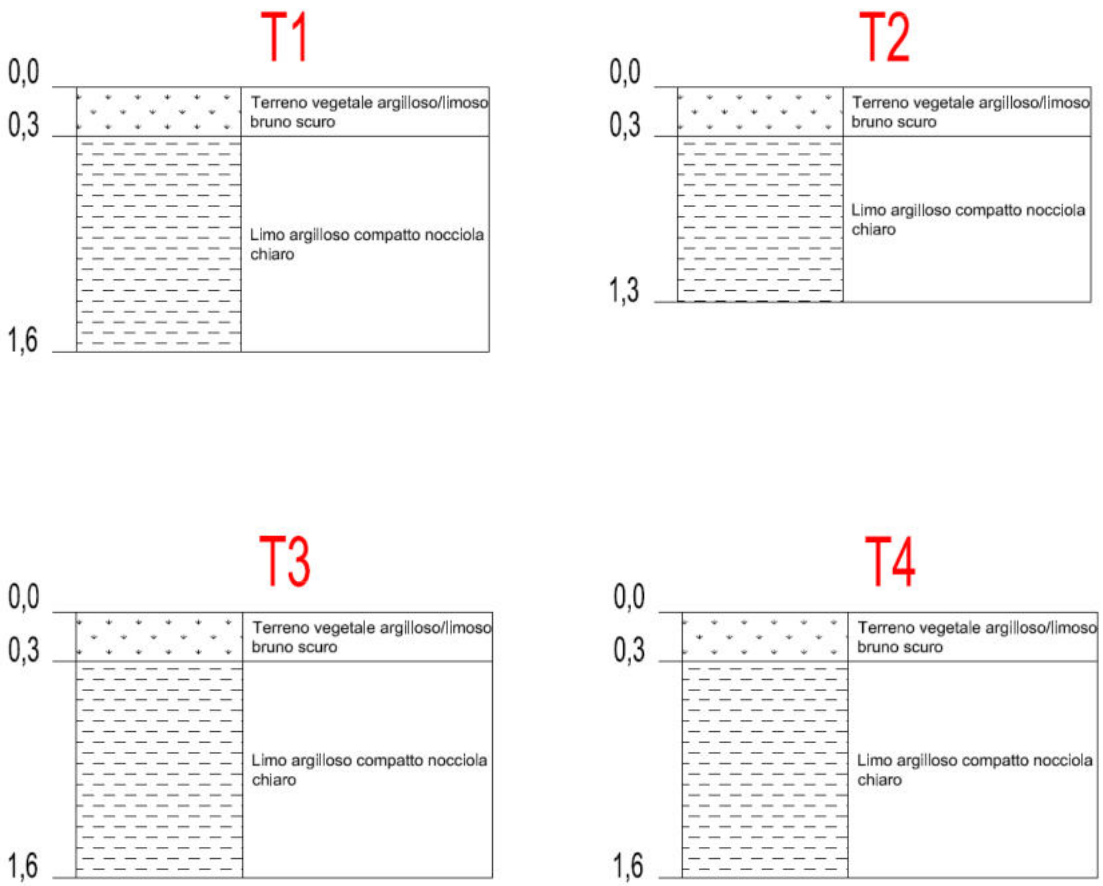


Fig. 113 : Stratigrafie delle trincee di esplorazione

ANALISI SULLA SOSTANZA SECCA					
Parametri	**A**	**B**	**C**	**D**	**CSC A** (mg/kg)
Arsenico	**5,7**	**5,8**	**5,5**	**4,4**	*20*
Cadmio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	*2*
Cobalto	**17,2**	**16,6**	**16,8**	**17,4**	*20*
Cromo totale	**57,6**	**54,4**	**54,4**	**50,8**	*150*
Cromo VI	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	*2*
Mercurio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	*1*
Nichel	**70,0**	**64,1**	**66,2**	**62,6**	*120*
Piombo	**19,5**	**19,2**	**18,9**	**17,4**	*100*
Rame	**51,9**	**53,6**	**49,4**	**46,3**	*120*
Zinco	**113,5**	**107,7**	**106,4**	**99,0**	*150*
Benzene	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	*0,1*
Etilbenzene	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	*0,5*
Stirene	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	*0,5*
Toluene	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	*0,5*
Xilene	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	*0,5*
Sommatoria BTEX	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	*1*
Benzo (a) antracene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,5*
Benzo (k) fluorantene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,5*
Benzo (g,h,i) perilene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Benzo (a) pirene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Benzo (b) fluorantene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,5*
Pirene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*5*
Dibenzo (a,e) pirene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Dibenzo (a,h) pirene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Dibenzo (a,l) pirene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Dibenzo (a,i) pirene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Dibenzo (a,h) antracene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Indenopirene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,1*
Crisene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,05*
Sommatoria IPA	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	*10*
Idrocarburi Leggeri (C≤12)	<1	<1	<1	<1	*10*
Idrocarburi Pesanti (C≥12)	**11**	**10**	**12**	**9**	*50*
Amianto	<100	<100	<100	<100	*1.000*

<0,01	Valore inferiore a Limite Rilevabilità
1,6	Valore inferiore a CSC Colonna A
2,5	Valore superiore a CSC Colonna A

TEST DI CESSIONE					
SOSTANZA	**A**	**B**	**C**	**D**	**Tab. 2** (mg/l)
Arsenico	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*0,01*
Bario	**0,0047**	**0,0070**	**0,0069**	**0,0067**	-
Berillio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*0,004*
Cadmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*0,005*
Cobalto	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	*0,05*
Cromo totale	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*0,05*
Rame	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*1,00*
Mercurio	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	*0,001*
Nichel	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*0,02*
Piombo	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	*0,01*
Selenio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*0,01*
Vanadio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Zinco	<0,005	<0,005	<0,005	**0,015**	*3,00*
Cloruri	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	-
Fluoruri	<0,25	**0,53**	**0,99**	**1,17**	*1,50*
Solfati	**112,34**	<12,5	<12,5	<12,5	*250,0*
Cianuri	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*0,05*
Nitrati	<5	<5	<5	<5	-
Amianto	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-
COD	<15	<15	<15	<15	-
PH	**8,9**	**8,9**	**8,8**	**8,9**	-

<0,01	Valore inferiore a Limite Rilevabilità
1,6	Valore inferiore a CSC Tab. 2
50,0	Valore superiore a CSC Tab. 2

Fig. 114 : Tabella riassuntiva dei risultati delle analisi di laboratorio chimico dei campioni di terreno

15. GESTIONE DELLE TERRE DI SCAVO

La realizzazione di un progetto edificatorio quale quello proposto comporta l'esecuzione di scavi connessi alla formazione delle strutture di fondazione dei fabbricati, dei sottoservizi e dei pacchetti dei sottofondi delle viabilità.

Tali interventi comporteranno la produzione di terre di scavo, la cui gestione deve essere svolta ai sensi del citato D.P.R. 120/2017. Tale norma individua le modalità di gestione delle terre di scavo in qualità di sottoprodotti, ai sensi dell'art. 184bis del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., definendo in particolare 3 tipologie di cantieri di produzione delle terre (piccoli cantieri, grandi cantieri soggetti o non soggetti alla procedura di V.I.A. od A.I.A.) per ognuna delle quali determina le procedure di verifica della sussistenza della qualifica di sottoprodotto, escludendo pertanto le terre oggetto dello scavo dalla gestione dei rifiuti di cui al Titolo IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.

Nel caso in esame, i volumi di scavo risultano pari a circa 5.000 mc e pertanto si rientra nel caso dei cantieri di piccole dimensioni, regolamentati dagli artt. 20 e 21 del D.P.R. 120/2017.

Allo scopo di verificare la possibilità di gestire le terre di scavo in qualità di sottoprodotti e non come rifiuti, sarà necessario ottemperare ai criteri indicati nell'art. 4 del D.P.R. 120/2017, di seguito riassunti:

a) *sono generate durante la realizzazione di un'opera di cui costituiscono parte integrante e il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;*
b) *il loro utilizzo è conforme alle disposizioni del piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o della dichiarazione di cui all'articolo 21, e si realizza:*
   1) nel corso dell'esecuzione della stessa opera nella quale è stato generato o di un'opera diversa, per la realizzazione di reinterri, riempimenti, rimodellazioni, rilevati, miglioramenti fondiari o viari, recuperi ambientali oppure altre forme di ripristini e miglioramenti ambientali;
   2) in processi produttivi, in sostituzione di materiali di cava;
c) *sono idonee ad essere utilizzate direttamente, ossia senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;*
d) *soddisfano i requisiti di qualità ambientale espressamente previsti dal Capo II o dal Capo III o dal Capo IV del presente regolamento, per le modalità di utilizzo specifico di cui alla lettera b).*

Nel caso in esame si può affermare che i criteri potranno essere soddisfatti in quanto:

a) le terre di scavo sono prodotte in un intervento edilizio, il cui scopo primario non è pertanto quello di produrre tali materiali;
b) le terre di scavo verranno verosimilmente utilizzate in un intervento di recupero ambientale di un sito oggetto di attività estrattive, che sarà individuato al momento opportuno;
c) le terre sono idonee al diretto utilizzo, senza richiedere particolari trattamenti;
d) le analisi descritte in precedenza consentiranno di verificare la rispondenza dei terreni ai requisiti di qualità ambientale prescritti per l'utilizzo previsto.

Una volta verificato il soddisfacimento dei criteri di cui sopra, si potrà avviare la procedura descritta nell'art. 21 del D.P.R. 120/2017, che può essere così riassunta:

- almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori di scavo dovrà essere trasmessa la Dichiarazione di Utilizzo, compilata secondo l'all. 6 del D.P.R. 120/2017, agli Enti indicati dalla normativa (ARPAE e Comune del sito di produzione delle terre). In tale Dichiarazione devono essere forniti dati inerenti il produttore, il sito di produzione e quello di destinazione, unitamente alle quantità dei terreni oggetti dell'utilizzo come sottoprodotto ed alla tempistica dell'intervento;
- prima dello scadere dei tempi indicati nella citata Dichiarazione dovrà essere trasmessa agli Enti (ARPAE, Comune del sito di produzione e di utilizzo) la Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo di cui all'art. 7 del D.P.R. 120/2017, in accordo con il modulo riportato nell'all. 8 della citata normativa. In tale documento dovranno essere riportati i quantitativi dei terreni oggetto di utilizzo e le modalità di utilizzo degli stessi.

16. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato determinato il Modello Geologico di un'area ad uso residenziale in località Padulle in Comune di Sala Bolognese, oggetto di una Variante al P.O.C. con valenza di P.U.A., corrispondente alla porzione settentrionale dell'Ambito denominato ARS_SB.II.

In sintesi lo studio ha consentito di verificare quanto segue.

- definizione dell'inquadramento geologico e geomorfologico: l'area è situata in corrispondenza della zona di interconoide compresa tra la conoide del F. Reno ad est e quella del T. Samoggia ad ovest, nella bassa pianura bolognese ed è caratterizzata dalla presenza dei terreni prevalentemente argilloso-limosi di piana alluvionale;

- individuazione delle caratteristiche litostratigrafiche locali; a tale scopo sono stati esaminati i risultati di indagini geognostiche effettuate nel sito. Sulla base dell'interpretazione dei dati risultanti delle suddette indagini, è stato definito lo schema litostratigrafico di riferimento, che consiste essenzialmente nella presenza di terreni a tessitura prevalentemente fine (argille e limi), fatta eccezione per il rinvenimento a profondità comprese tra 8,5 m e 10,8 m di un livello di sabbia e sabbia limosa in corrispondenza della zona occidentale del sito ;

- determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni: l'interpretazione e l'elaborazione statistica dei dati delle prove in situ ha consentito di determinare i valori dei principali parametri geotecnici da utilizzare nelle verifiche di stabilità delle strutture di progetto;

- stima della subsidenza e del rischio sismico: l'area è situata all'interno della pianura bolognese, interessata da un rilevante fenomeno di subsidenza, che nell'area di intervento mostra valori relativamente significativi, ma in costante diminuzione. Per quanto riguarda il rischio sismico, l'area rientra in una zona 3 ai sensi della normativa vigente. Le analisi in situ effettuate hanno

consentito di verificare la presenza di una categoria C di suolo di fondazione;

- analisi sismica di III° Livello, il cui svolgimento ha permesso di determinare i valori dei parametri sismici da utilizzare nelle verifiche geotecniche. E' stato inoltre verificato come il rischio di liquefazione risulti da moderato ad elevato, ma che la stima degli effetti di tale fenomeni siano sostanzialmente limitati, se non nulli;

- definizione delle caratteristiche dell'idrologia superficiale, che hanno consentito di individuare le caratteristiche del reticolo idrografico principale, rappresentato dallo Scolo Dosolo e dal Canale Diversivo Caprara, il quale scorre all'interno dell'area del sito, da sud verso nord;

- determinazione delle caratteristiche dell'idrologia sotterranea: l'area di intervento è caratterizzata dalla presenza di una falda freatica superficiale alla profondità di 2 m dal p.c. e della falda profonda in pressione, il cui livello piezometrico è stato rilevato alla profondità di circa 23 m dal p.c.;

- analisi della qualità dei suoli: mediante l'esecuzione di un'indagine sulla qualità dei suoli è stata verificata la loro conformità con i criteri qualitativi indicati nel D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. in riferimento ai siti ad uso residenziale. Sono state inoltre individuate le corrette modalità di gestione delle terre di scavo in qualità di sottoprodotto ai sensi del D.P.R. 120/2017.

L'analisi svolta ha pertanto consentito di verificare l'idoneità dell'intervento dal punto di vista geologico.

Bologna, novembre 2021

Dott. Geol. Luca Grillini

ELENCO DEGLI ALLEGATI

All. 1 : Tabulati delle prove penetrometriche statiche

All. 2 : Tabulati delle elaborazioni statistiche dei dati delle prove penetrometriche

All. 3 : Stima della velocità di propagazione delle onde di taglio S e misura delle principali frequenze di risonanza dei terreni

All. 4 : Documentazione inerente le prove geognostiche di archivio

All. 5 : Tabulati inerenti la stima del fenomeno della liquefazione

All. 6 : Tabulati inerenti la stima dei cedimenti post-sismici

All. 7 : Documentazione inerente le trincee di esplorazione

All. 8 : Certificati di analisi dei campioni di suolo

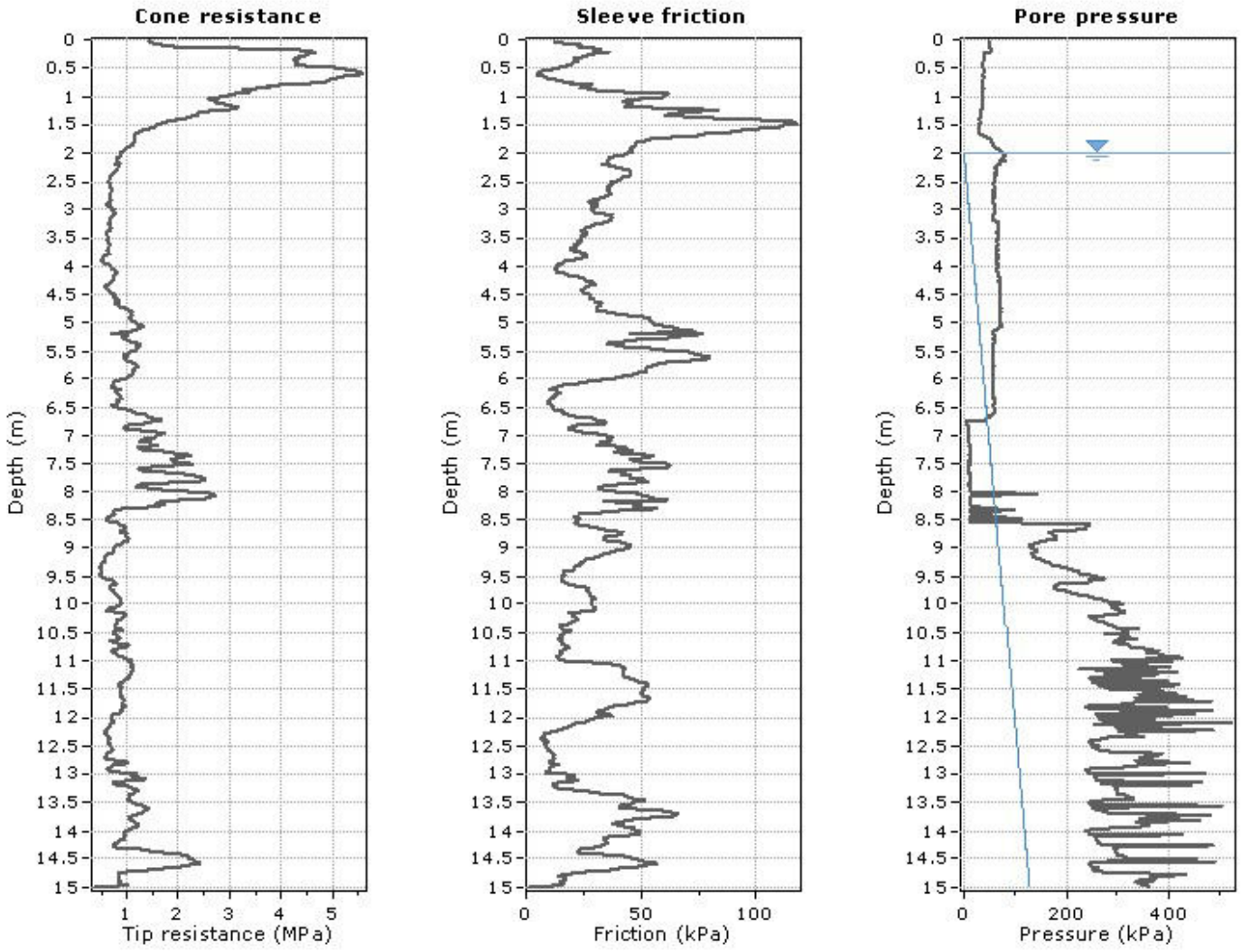
All. 1

Tabulati delle prove penetrometriche statiche

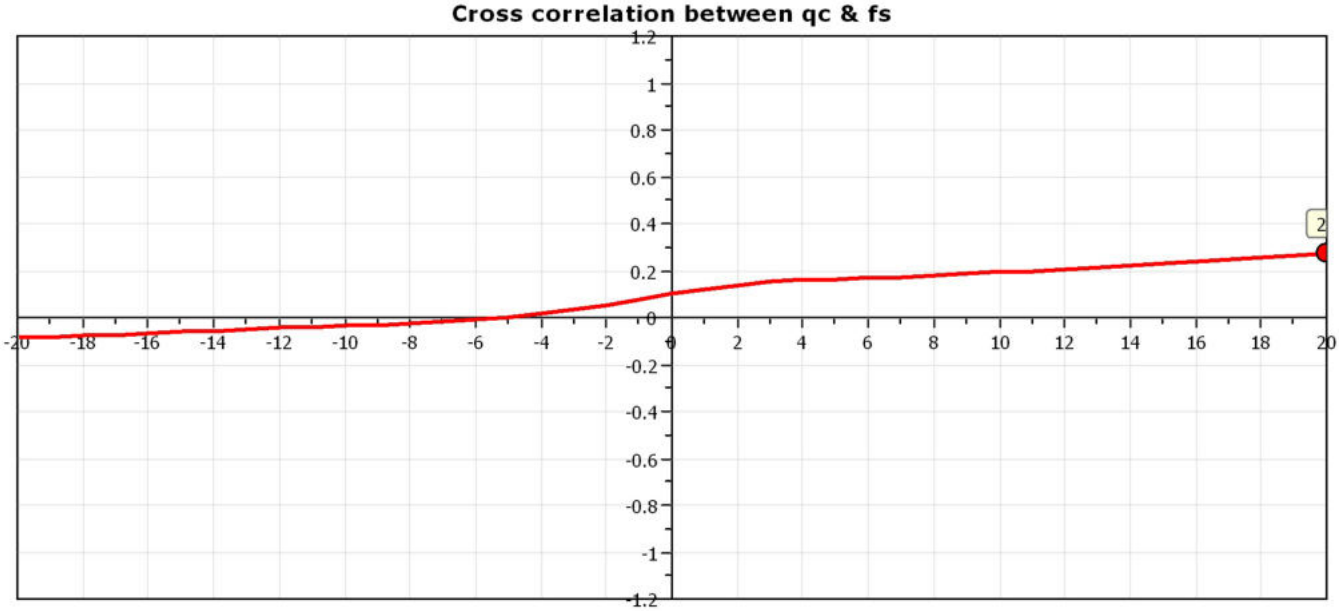
GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

CPT: CPTU1
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**



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

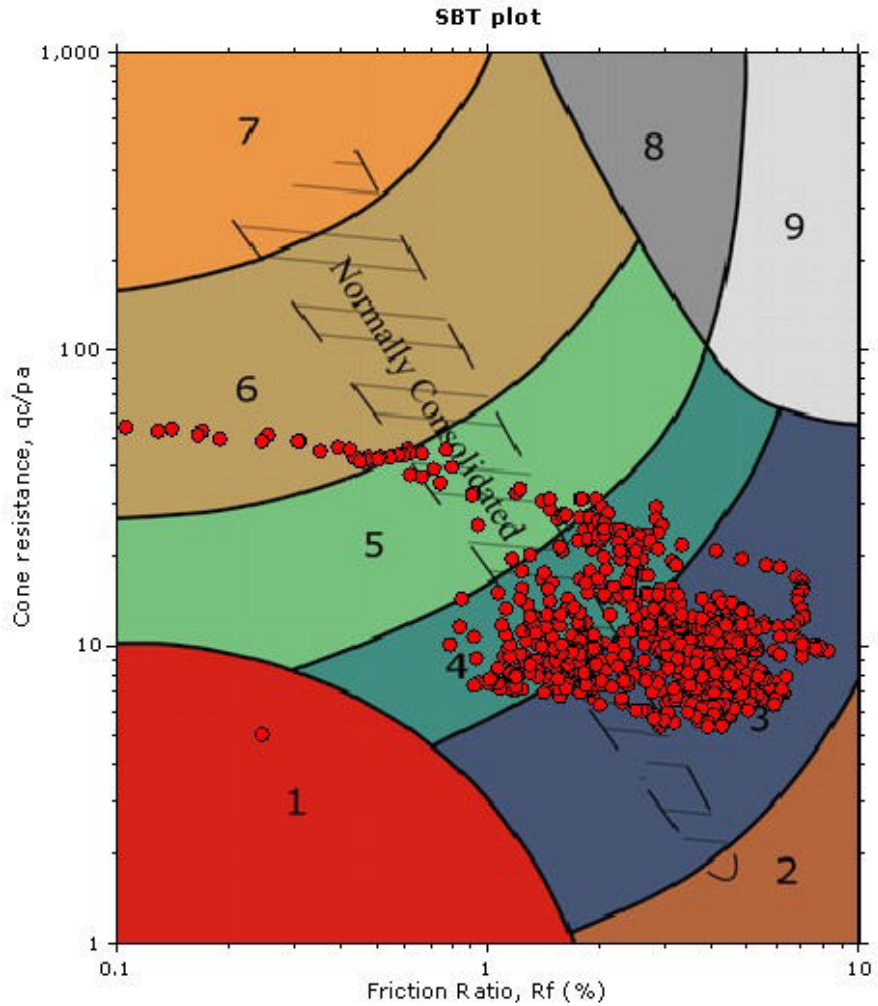


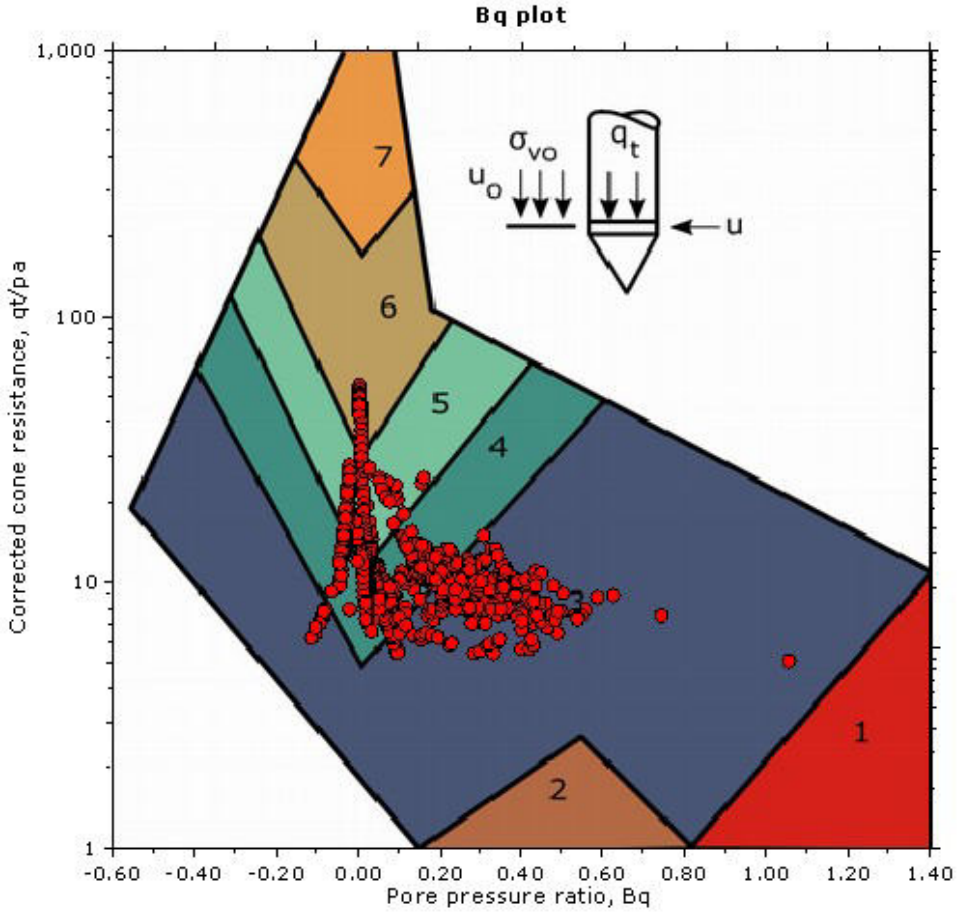
GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**

CPT: CPTU1
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

SBT - Bq plots





SBT legend

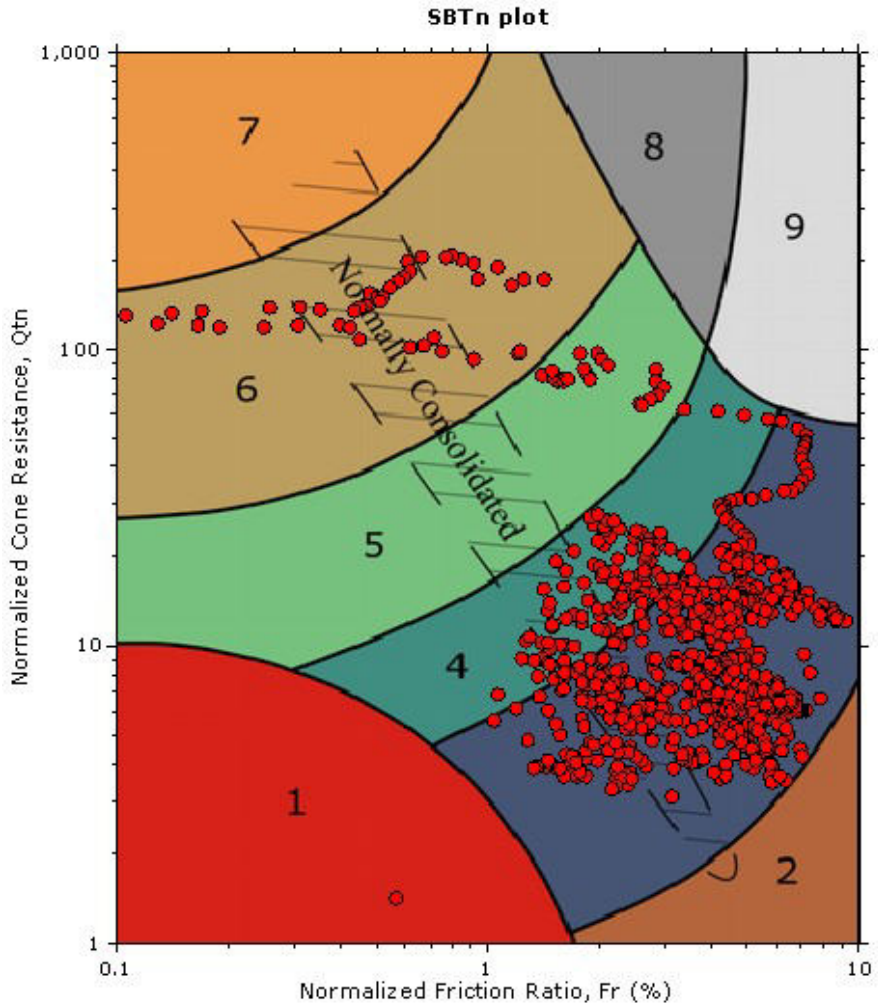
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty clay	7. Gravelly sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to clayey sand
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

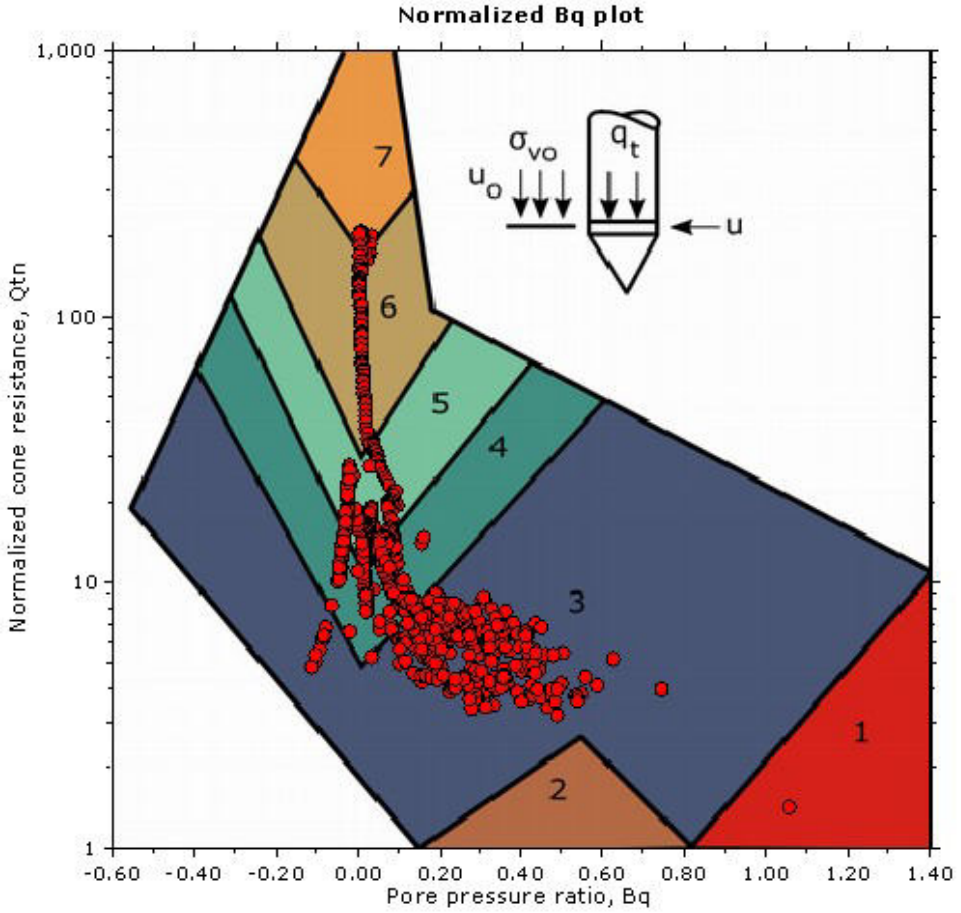
GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**

CPT: CPTU1
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

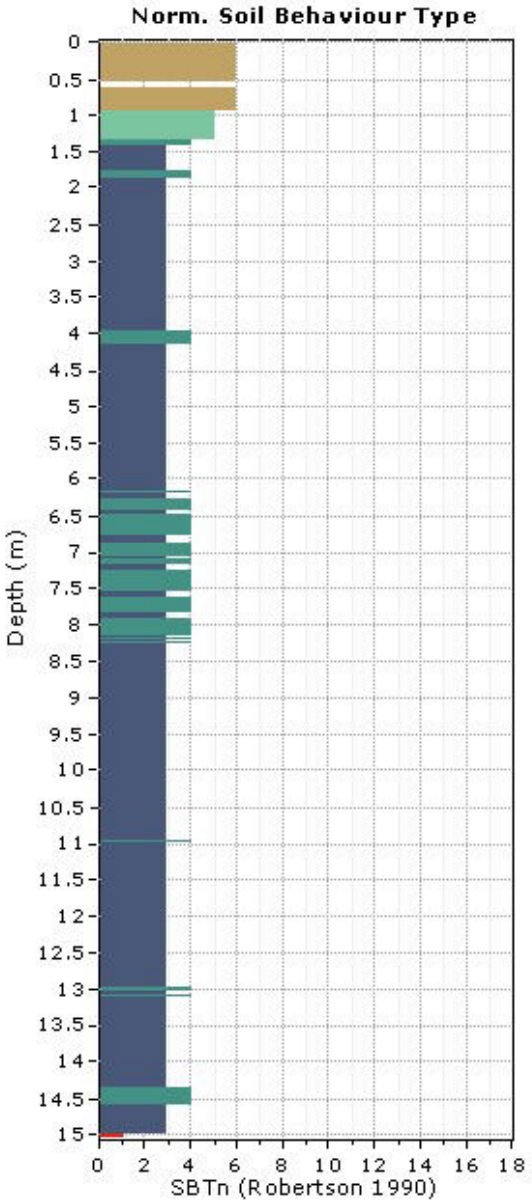
SBT - Bq plots (normalized)

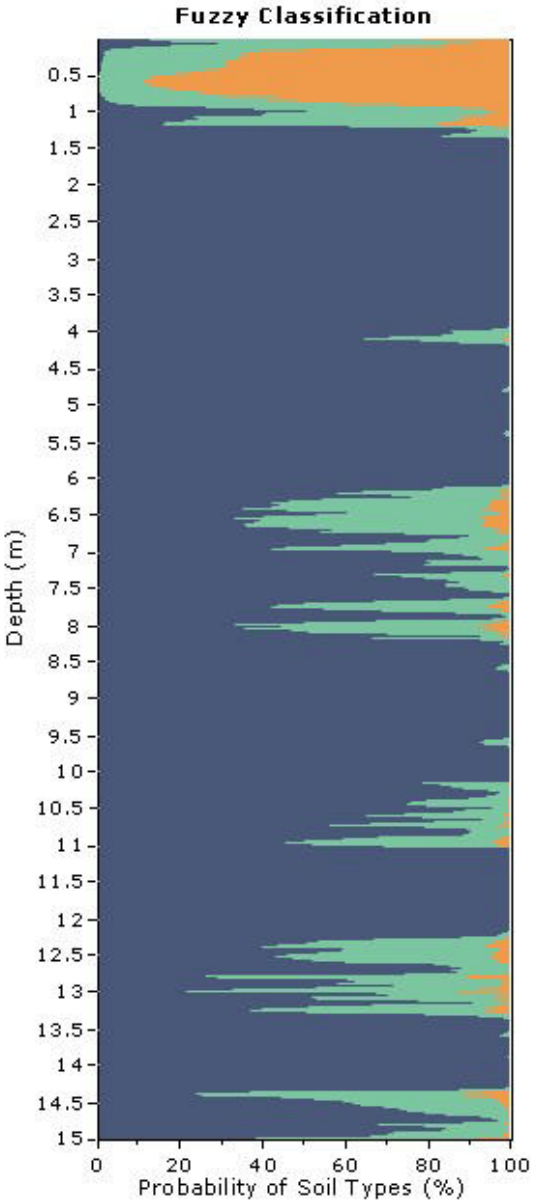




SBTn legend

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

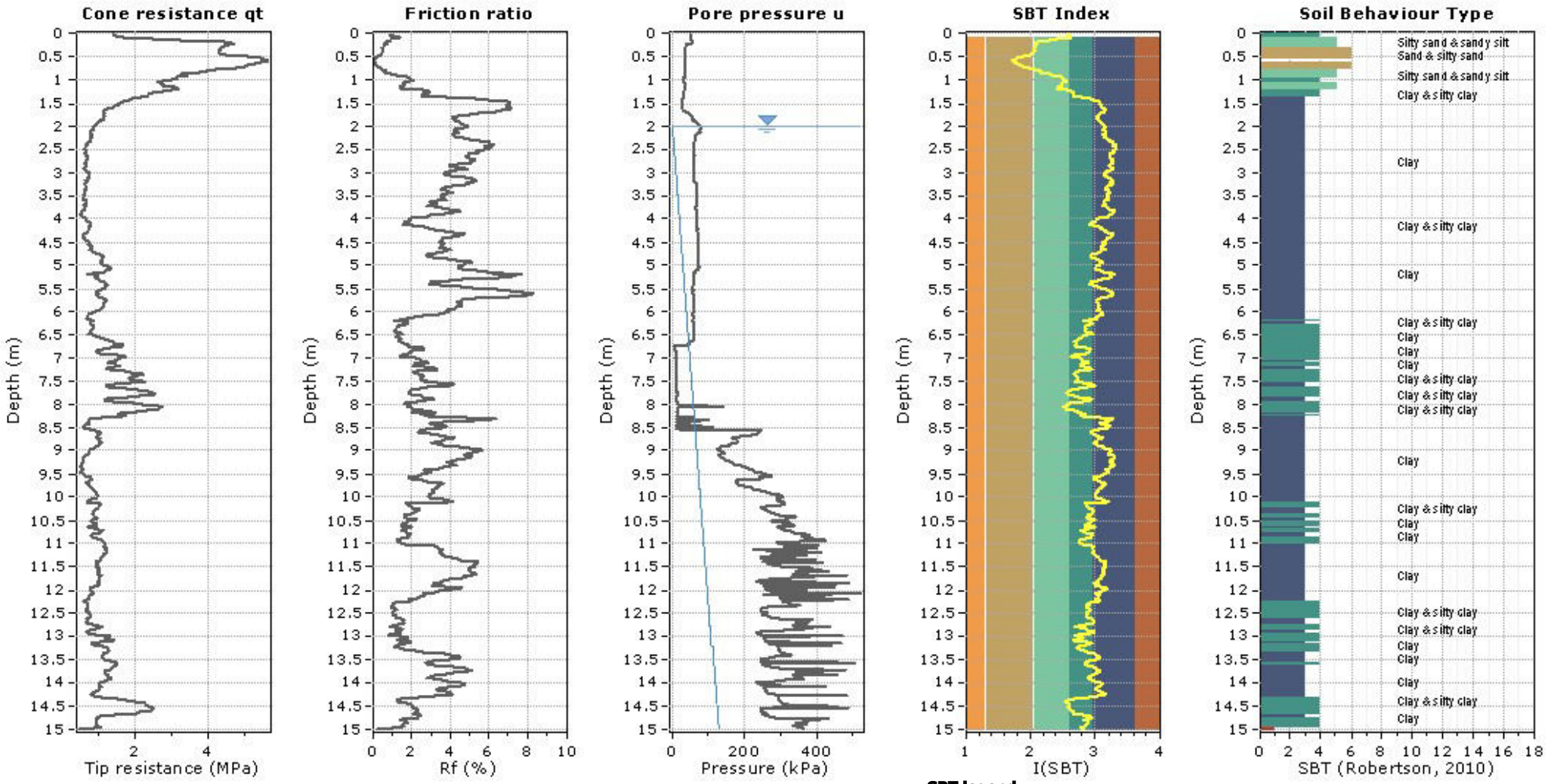

Norm. Soil Behaviour Type
Depth (m)
SBTn (Robertson 1990)


Fuzzy Classification
Depth (m)
Probability of Soil Types (%)

GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

CPT: CPTU1
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

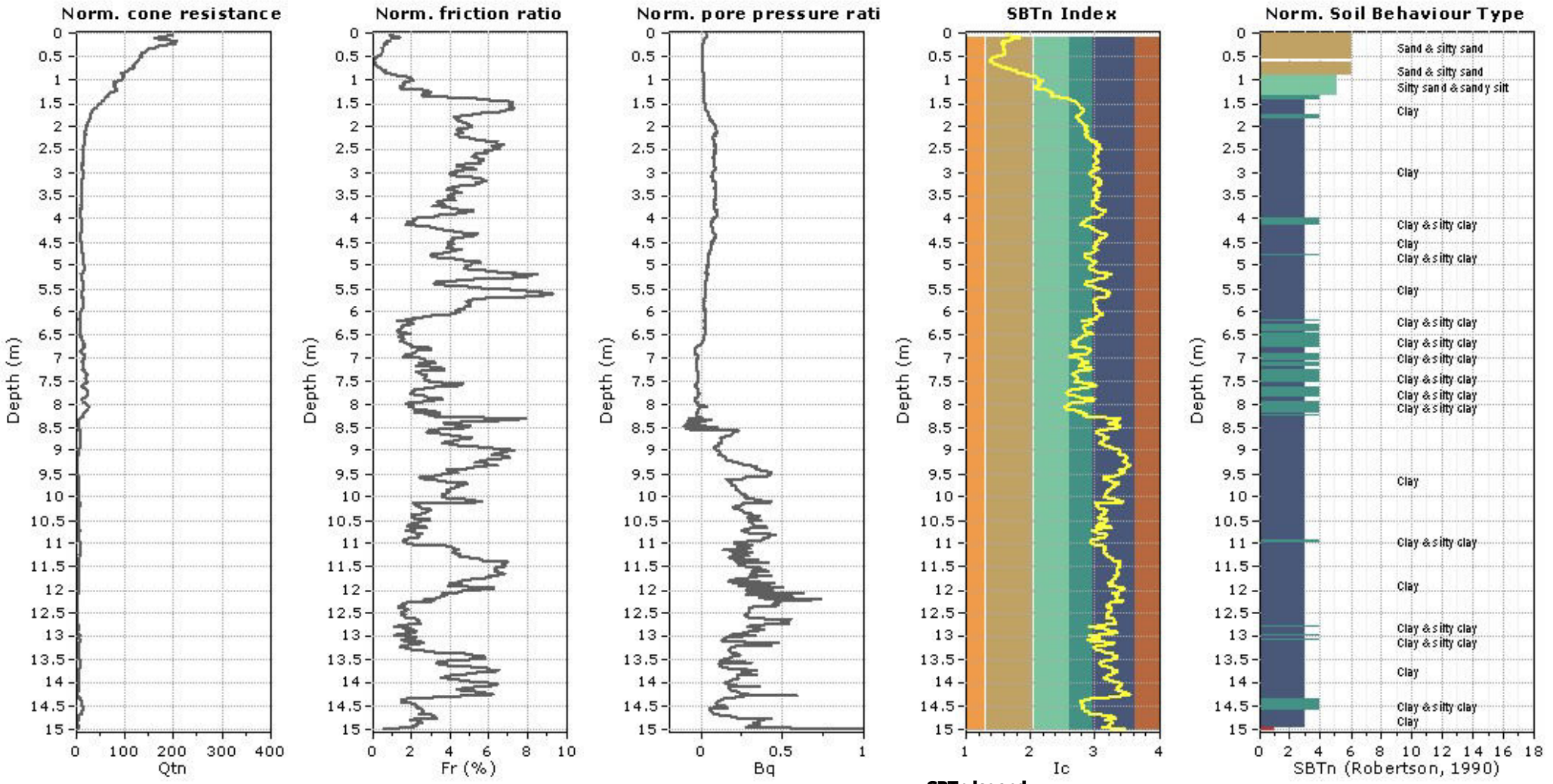
Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**



GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

CPT: CPTU1
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

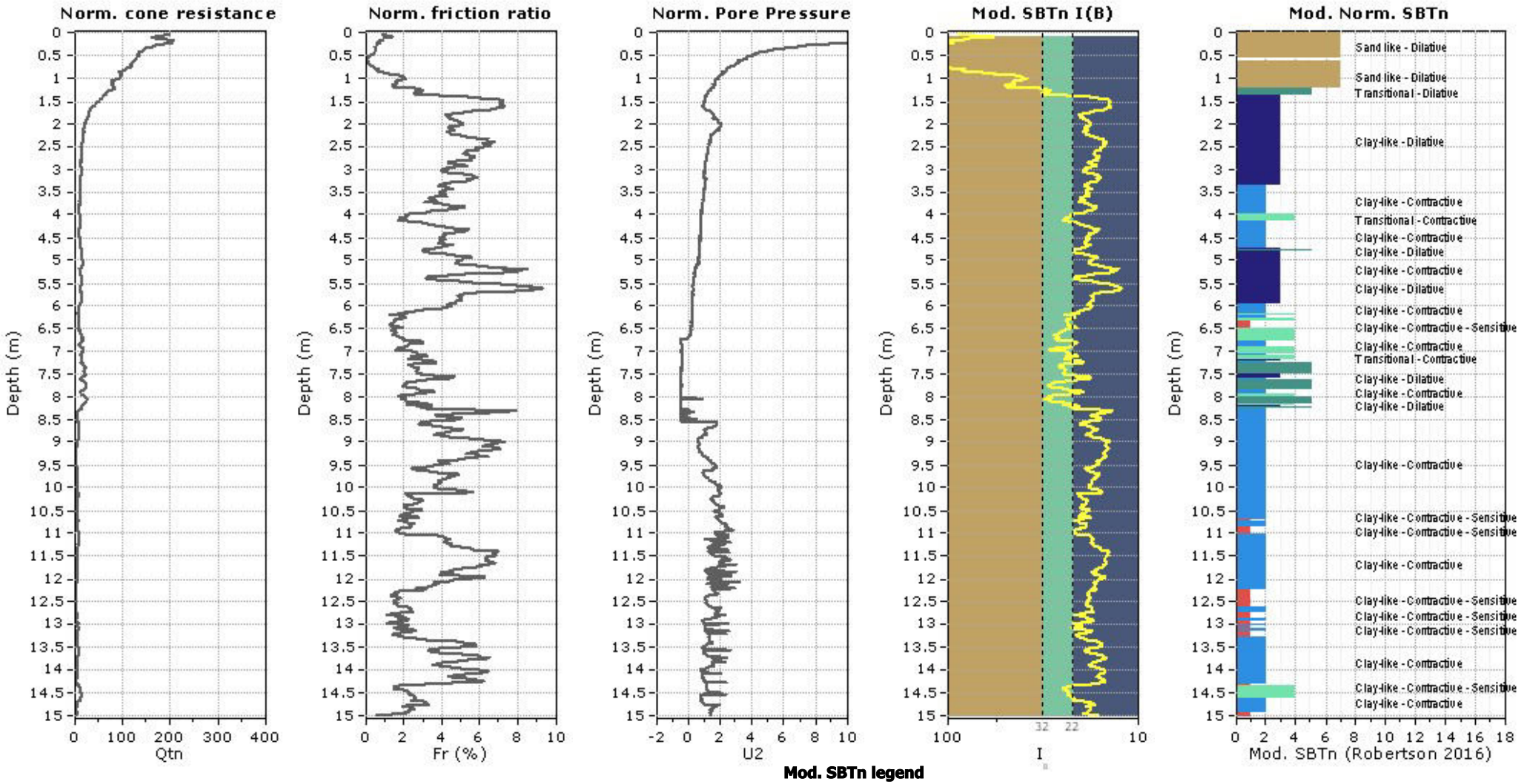
Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**



GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**

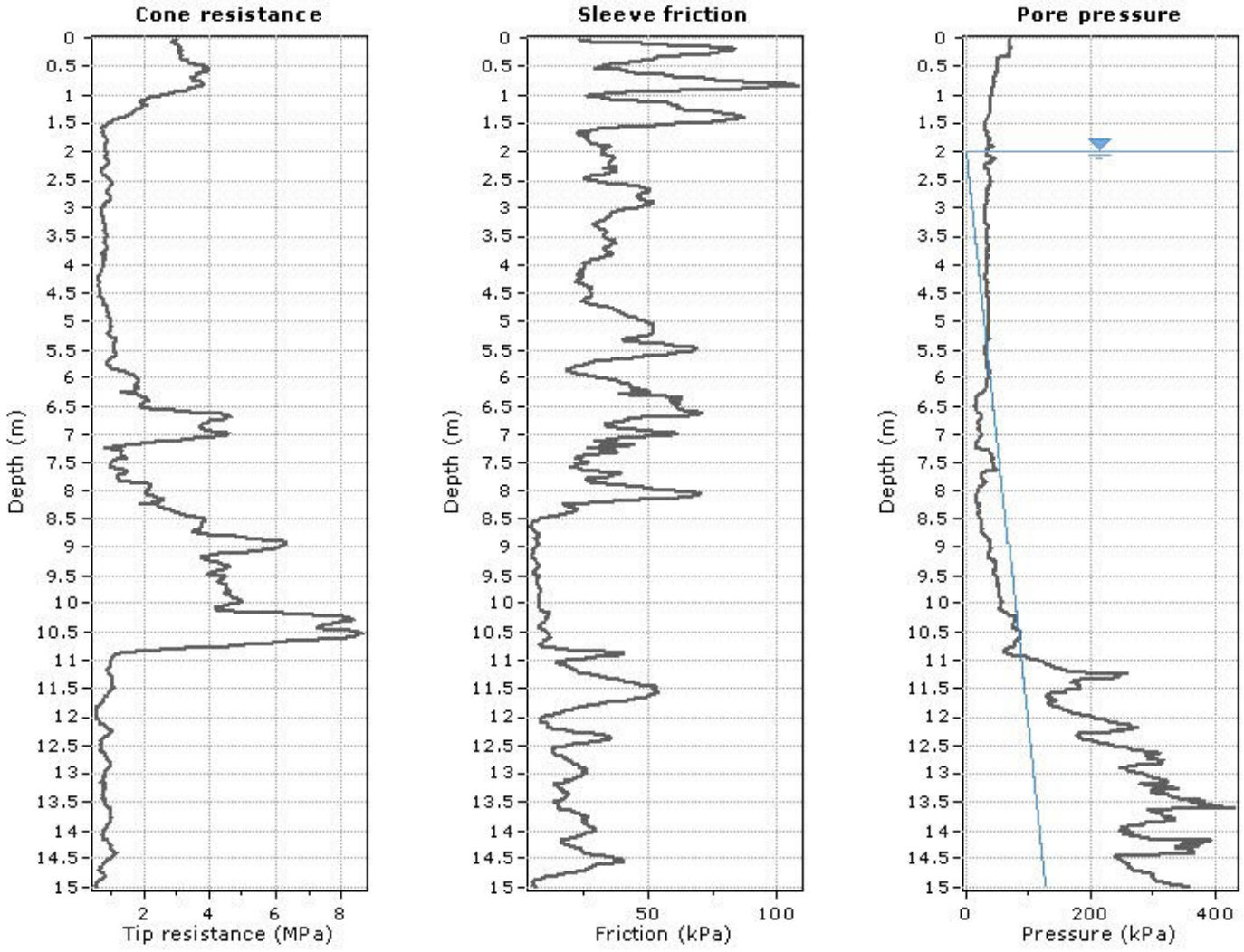
CPT: CPTU1
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown



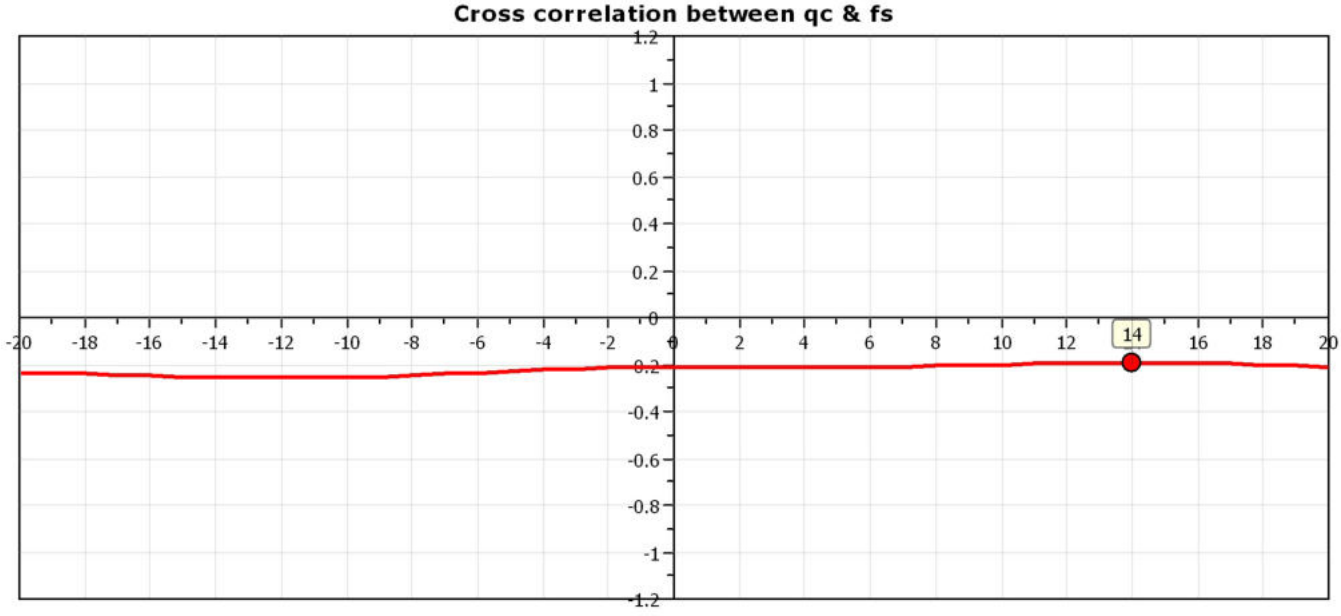
GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

CPT: CPTU2
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

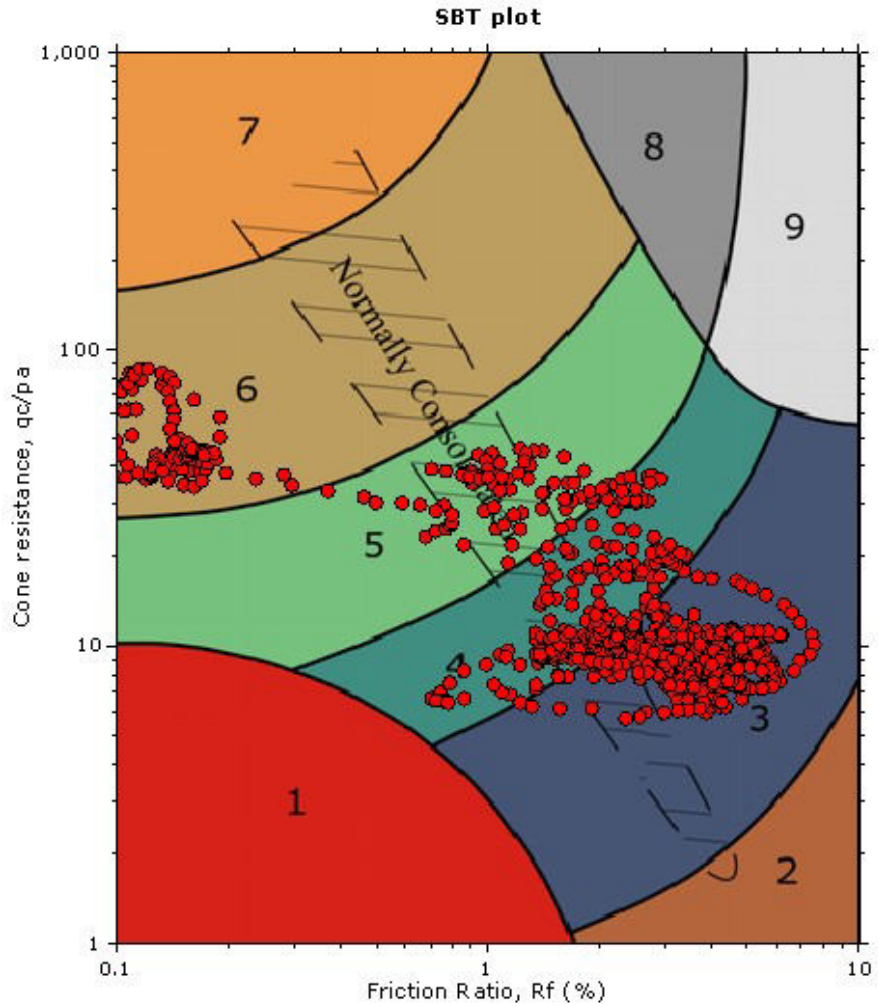
Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**

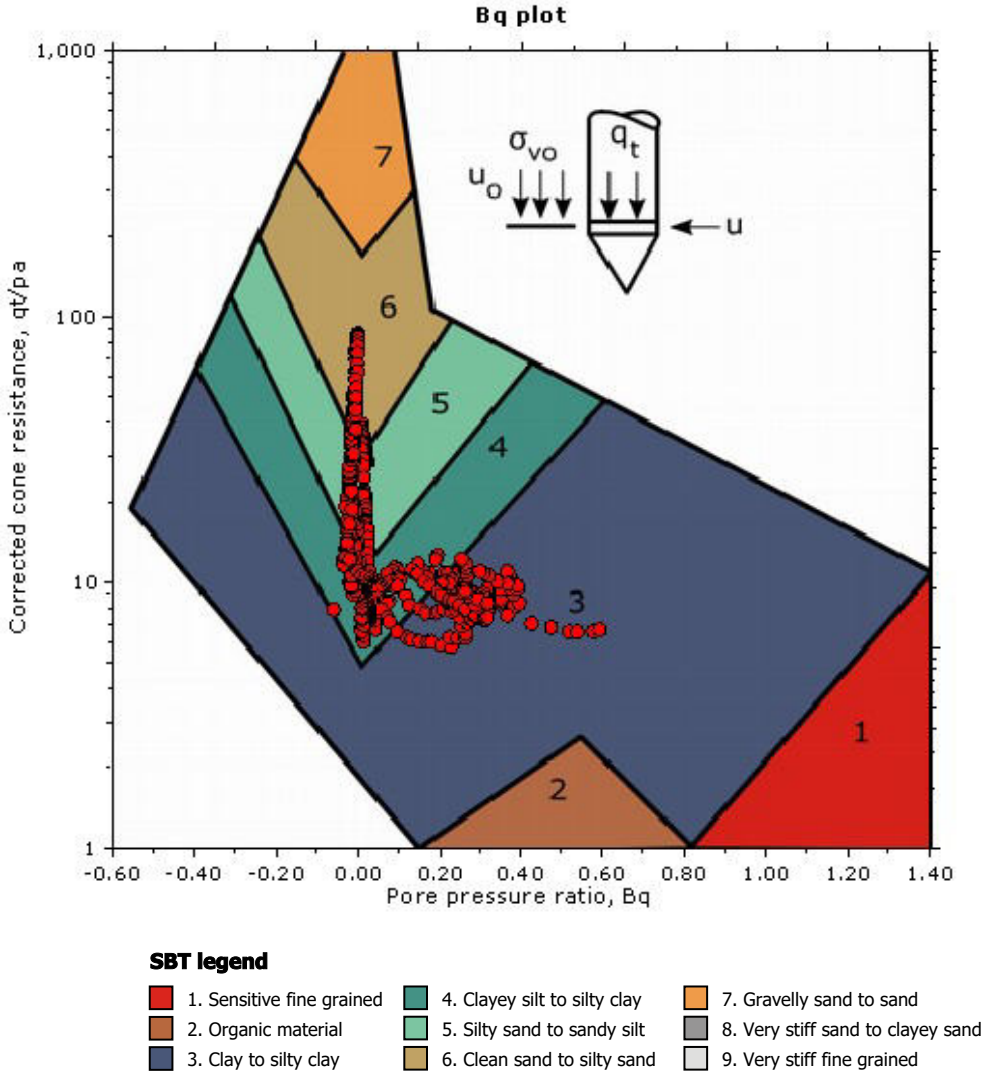


The plot below presents the cross correlation coeficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two sucessive CPT measurements).



SBT - Bq plots





SBT legend

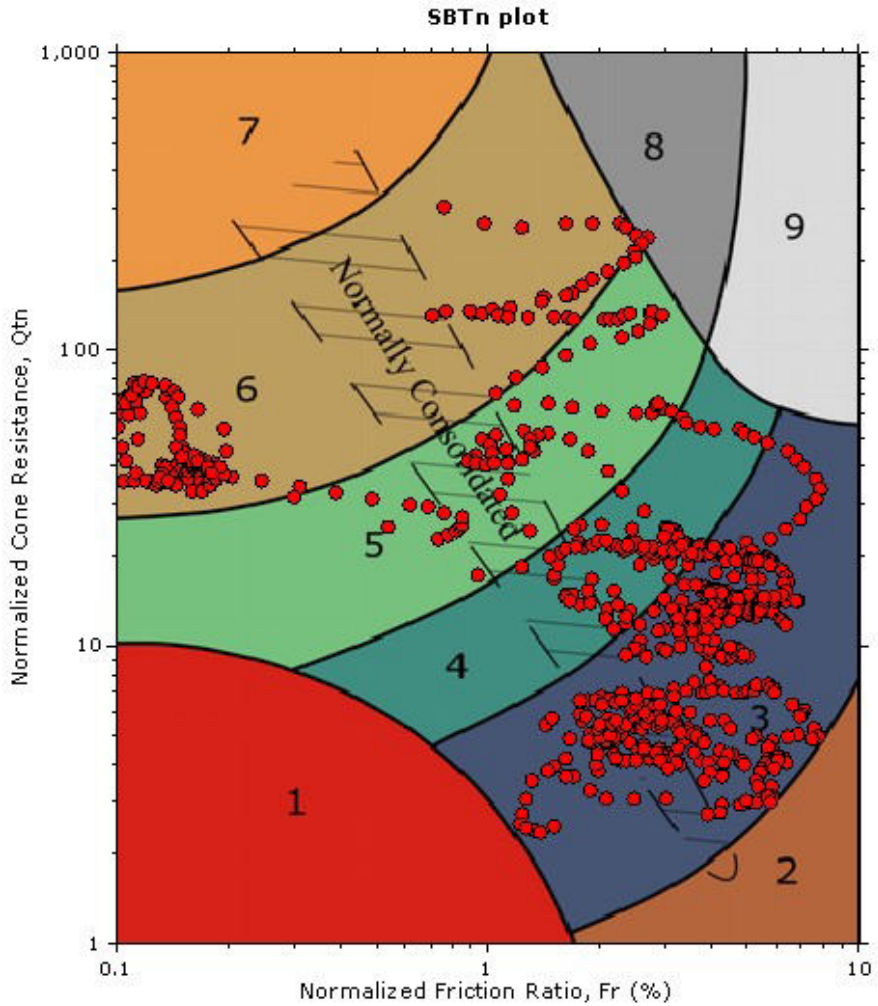
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty clay	7. Gravelly sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to clayey sand
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

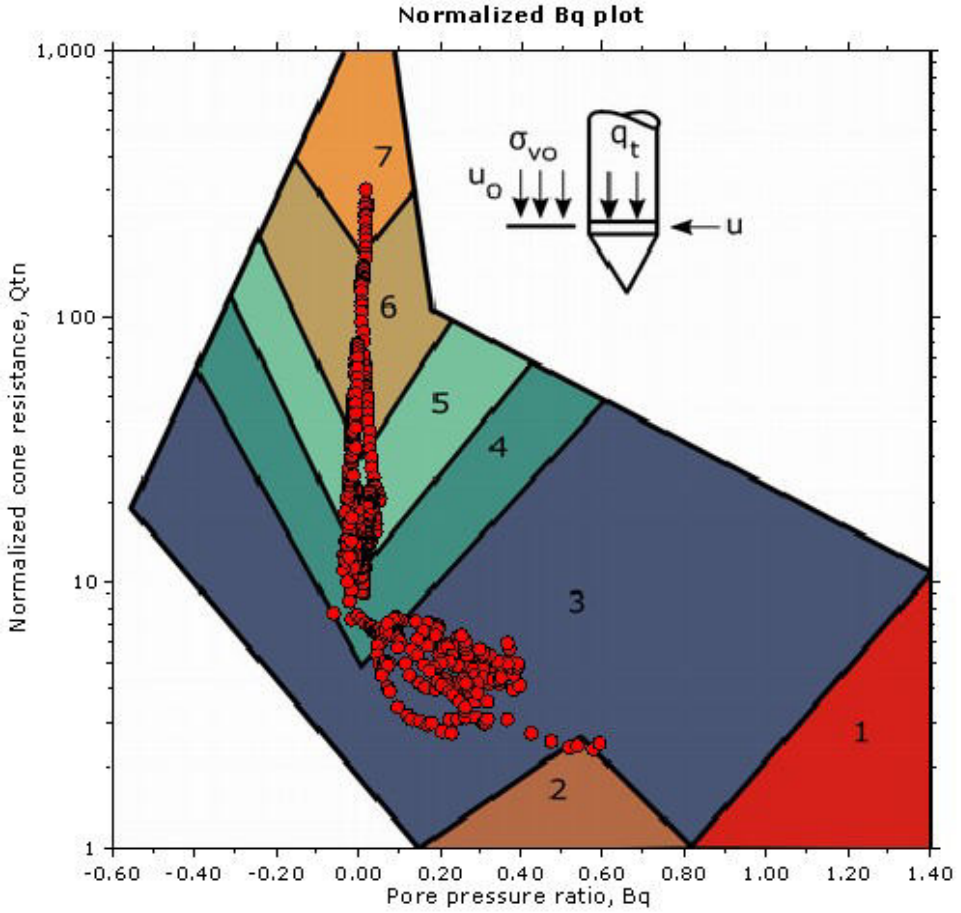
GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**

CPT: CPTU2
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

SBT - Bq plots (normalized)





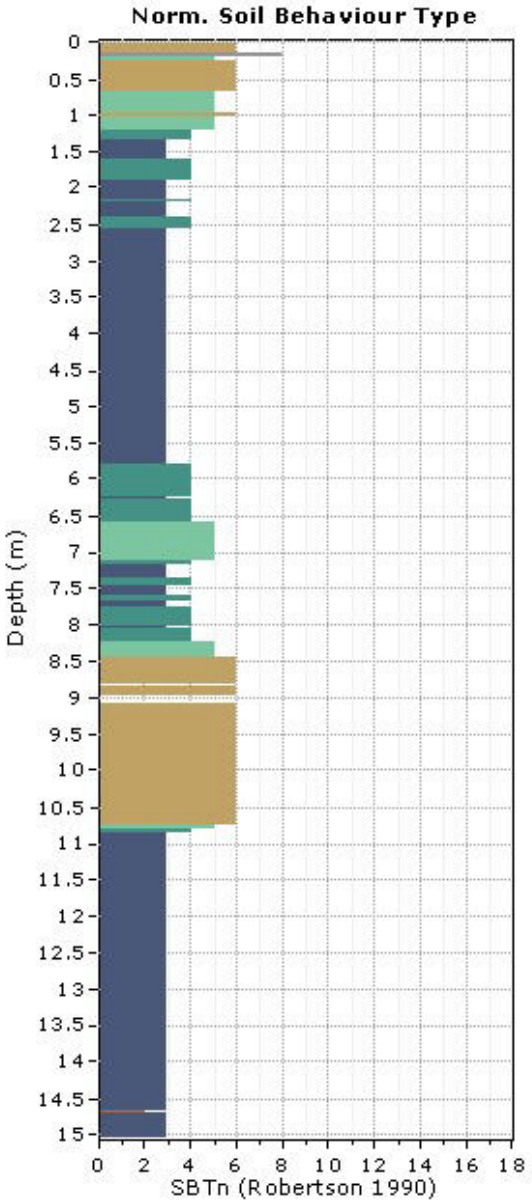
SBTn legend

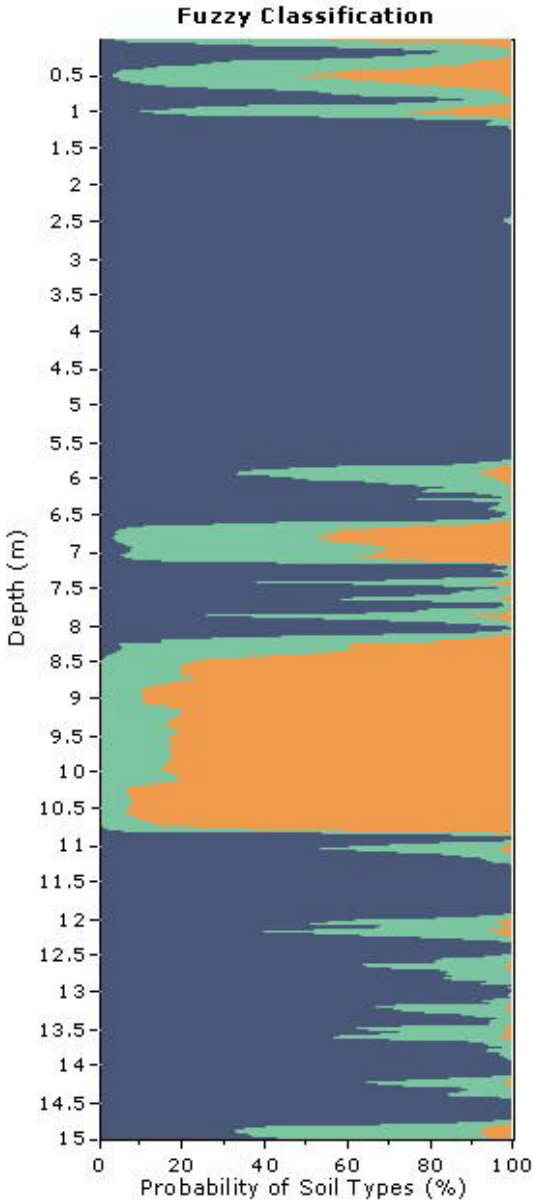
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty clay	7. Gravelly sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to clayey sand
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

CPT: CPTU2
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**

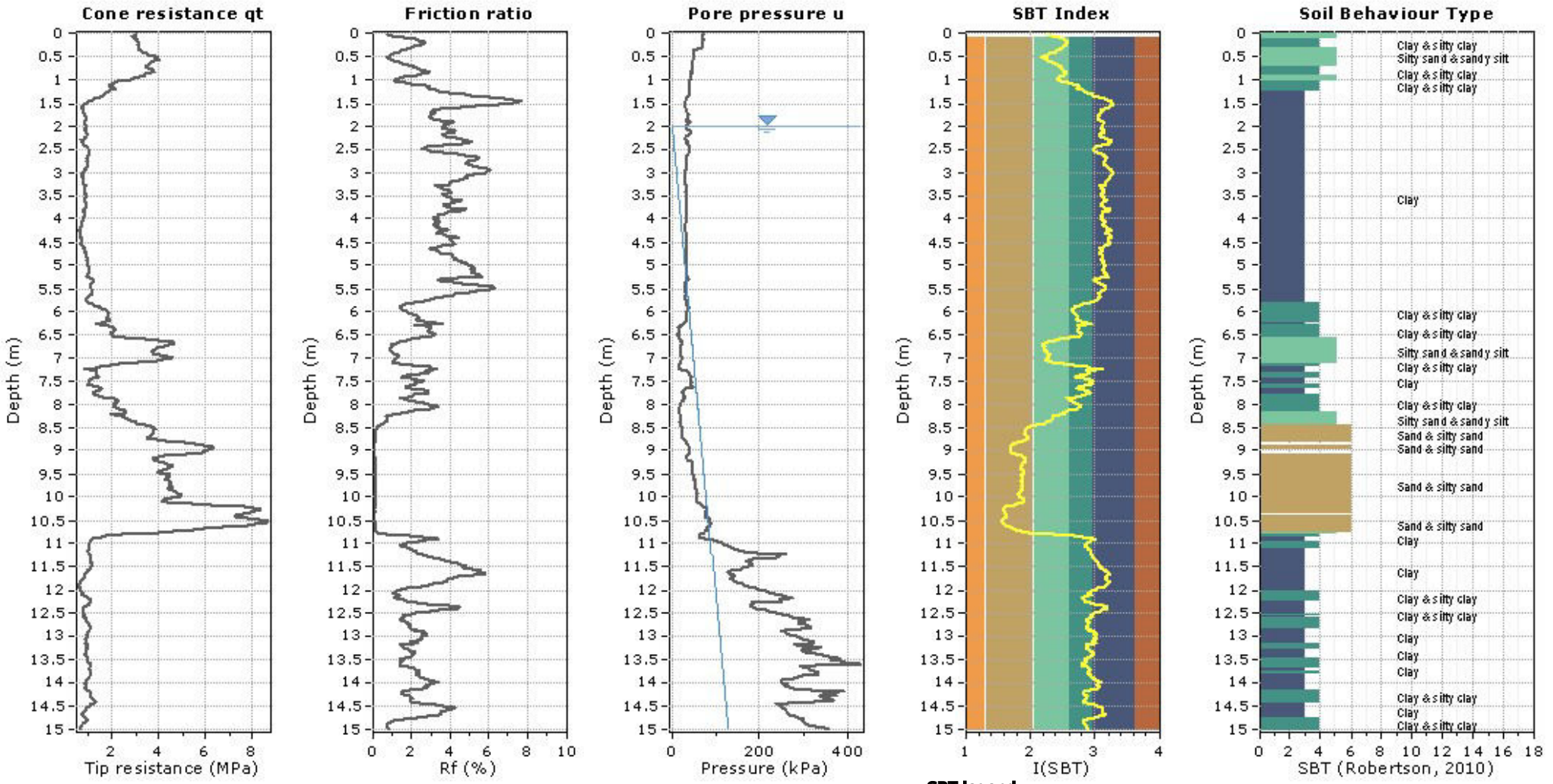




GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

CPT: CPTU2
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

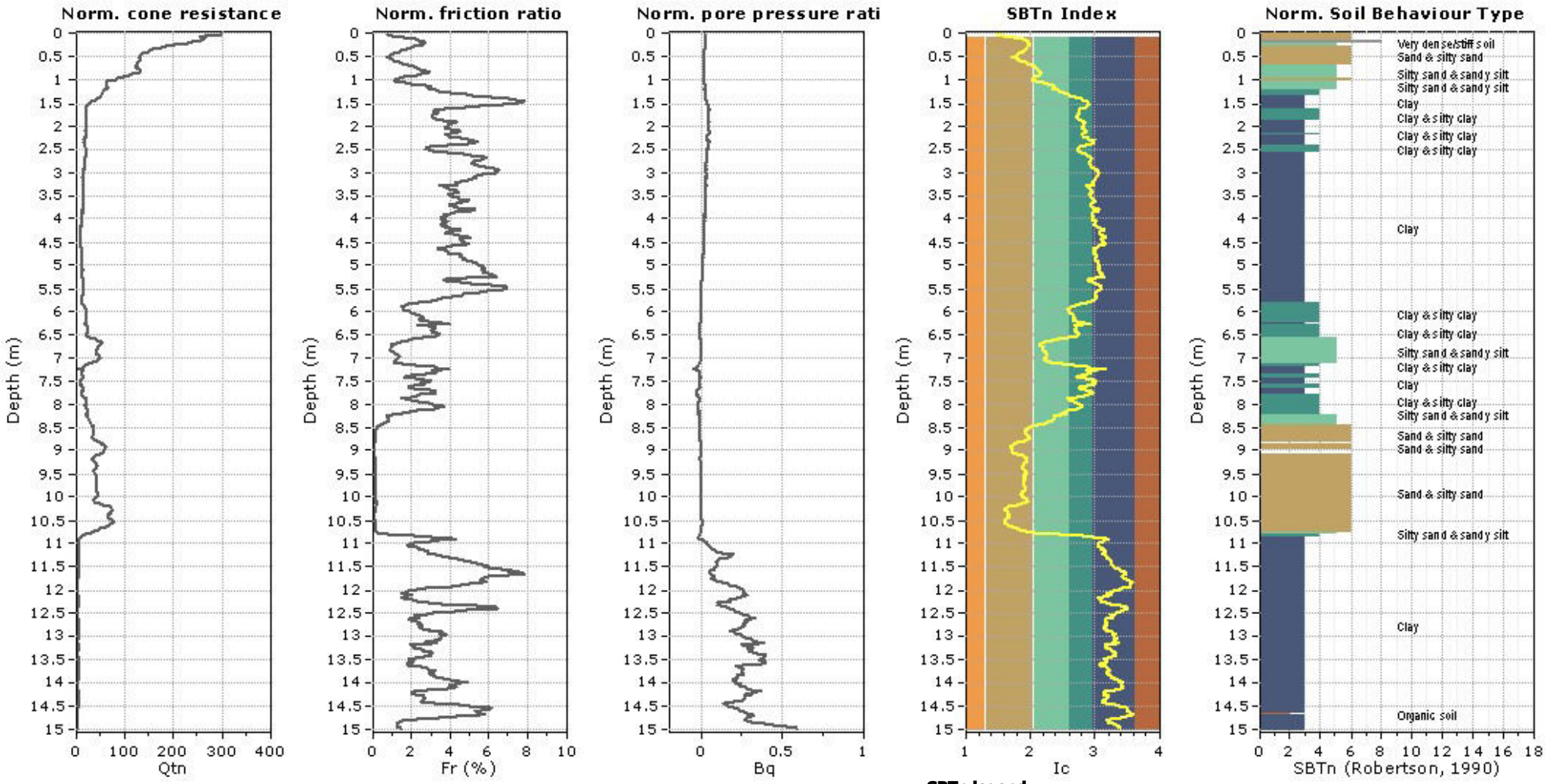
Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**



GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

CPT: CPTU2
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown

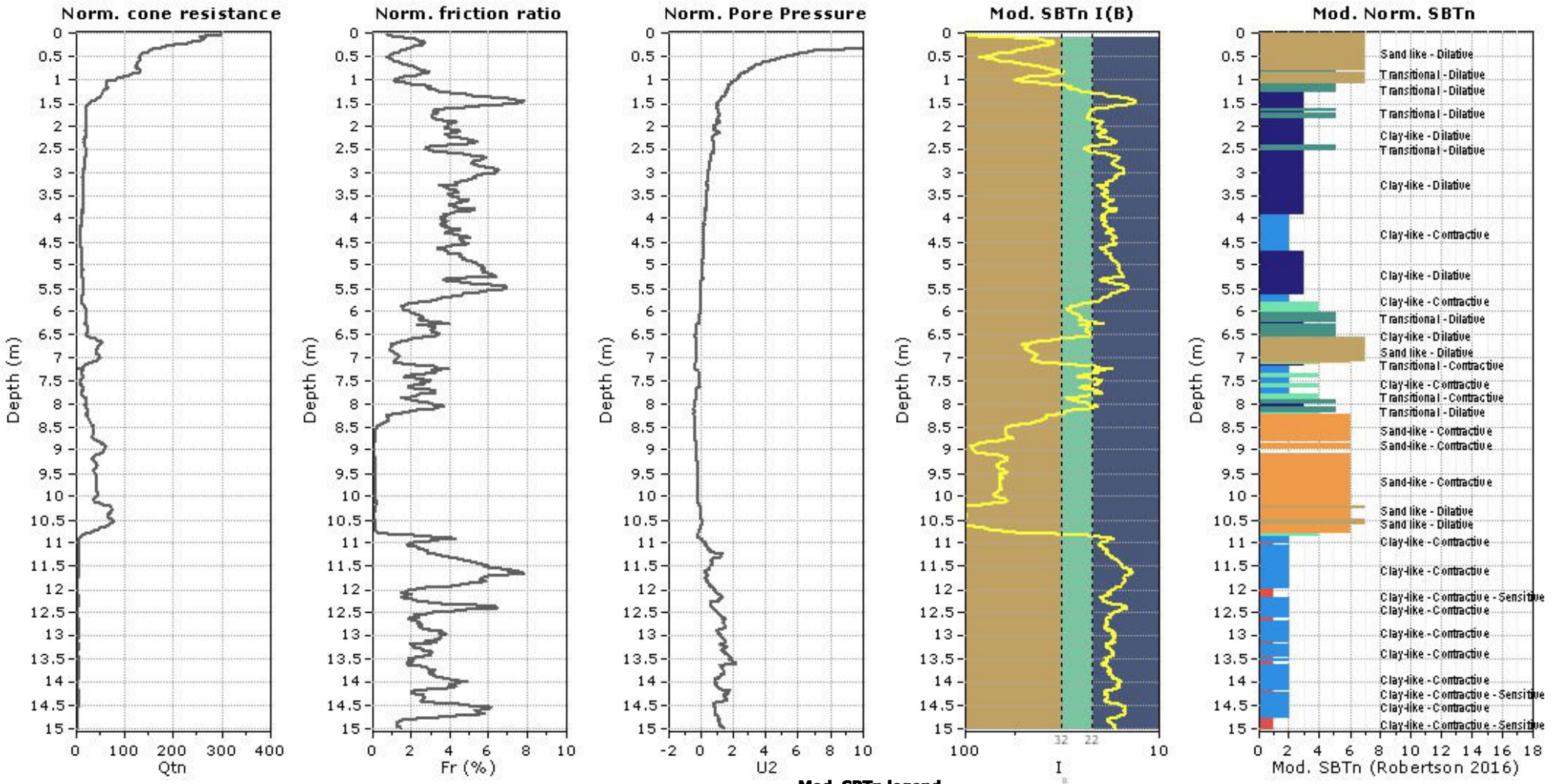
Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**



GEOTEA SRL
VIA della TECNICA 57/A4
S. LAZZARO DI SAVENA (BO)
www.geoteasrl.it

Project: **21.487 - GRILLINI GEOL. LUCA**
Location: **PADULLE (BO)**

CPT: CPTU2
Total depth: 15.00 m, Date: 20/10/2021
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Uknown
Cone Operator: Uknown



All. 2

Tabulati delle elaborazioni statistiche dei dati

delle prove penetrometriche

5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, e per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
2,36	2,08
2,18	**Dev. Stand. S**
2,84	0,51
2,03	**n° dati**
1,43	6
1,61	

Xk	Valore caratteristico
1,61	

Xd	Valore di progetto
1,15	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	2,0150	Student 2 code

CPT 1-2021 : STRATO 1 (0,2-1,4)

5° percentile distribuzione della media-POCHI DATI

Per **GRANDI** volumi di rottura e distribuzione log-normale (Cu, c')

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **CU** f per Φ, e per c', cu per Cu,

Dati	Media dati X	Y
1,01	0,76	-0,322
0,68	**COV %**	**S**
0,58	30	0,294
	n° dati	**$z_{0,05}$**
	3	-1,645

Xk	Valore caratteristico
0,57	

Xd	Valore di progetto
0,41	

Metodo di Cox

Distribuzione lognormale

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y},S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Con n >1; se n=1, Xk = inv.lognorm(0.05,Y,S)

CPT 1-2021 : STRATO 2 (1,4-2,0)

5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, e per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
0,44	0,36
0,39	**Dev. Stand. S**
0,34	0,04
0,35	**n° dati**
0,33	14
0,39	
0,34	
0,32	
0,34	
0,32	
0,35	
0,39	
0,31	
0,42	

Xk	Valore caratteristico
0,34	

Xd	Valore di progetto
0,24	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	1,7709	Student 2 code

CPT 1-2021 : STRATO 3 (2,0-4,8)

5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, e per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
0,57	0,53
0,61	**Dev. Stand. S**
0,49	0,08
0,64	**n° dati**
0,50	11
0,59	
0,45	
0,44	
0,40	
0,59	
0,56	

Xk	Valore caratteristico
0,49	

Xd	Valore di progetto
0,35	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	1,8125	Student 2 code

CPT 1-2021 : STRATO 4 (4,8-7,0)

5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, e per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
0,78	0,89
0,67	**Dev. Stand. S**
1,00	0,23
0,63	**n° dati**
1,22	7
1,14	
0,79	

Xk	Valore caratteristico
0,70	

Xd	Valore di progetto
0,50	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	1,9432	Student 2 code

CPT 1-2021 : STRATO 5 (7,0-8,4)

5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, e per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
0,38	0,41
0,49	**Dev. Stand. S**
0,51	0,08
0,37	**n° dati**
0,29	22
0,26	
0,37	
0,38	
0,44	
0,48	
0,40	
0,43	
0,37	
0,55	
0,55	
0,44	
0,44	
0,49	
0,35	
0,32	
0,31	
0,34	

Xk	Valore caratteristico
0,38	

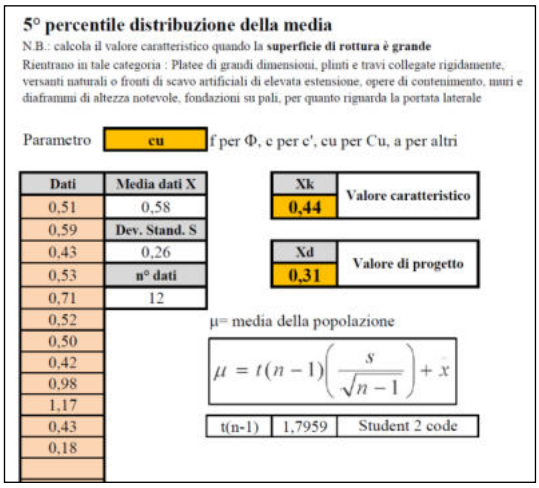
Xd	Valore di progetto
0,27	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	1,7207	Student 2 code

CPT 1-2021 : STRATO 6 (8,4-12,8)



5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, c per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
0,51	0,58
0,59	Dev. Stand. S
0,43	0,26
0,53	n° dati
0,71	12
0,52	
0,50	
0,42	
0,98	
1,17	
0,43	
0,18	

Xk	Valore caratteristico
0,44	

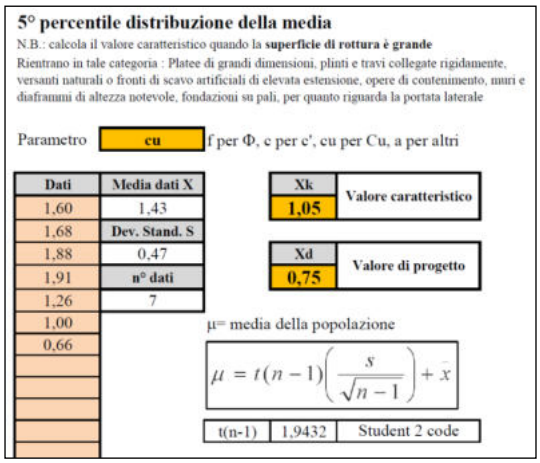
Xd	Valore di progetto
0,31	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	1,7959	Student 2 code

CPT 1-2021 : STRATO 7 (12,8-15,0)



5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, c per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
1,60	1,43
1,68	Dev. Stand. S
1,88	0,47
1,91	n° dati
1,26	7
1,00	
0,66	

Xk	Valore caratteristico
1,05	

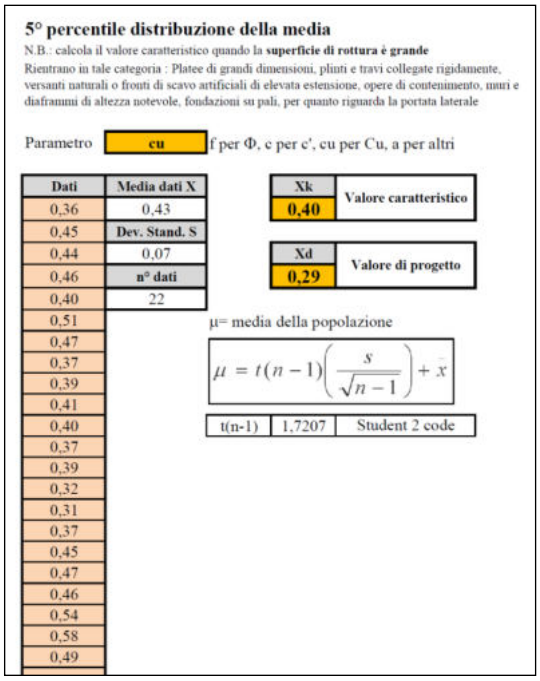
Xd	Valore di progetto
0,75	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	1,9432	Student 2 code

CPT 2-2021 : STRATO 1 (0,2-1,6)



5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, c per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
0,36	0,43
0,45	Dev. Stand. S
0,44	0,07
0,46	n° dati
0,40	22
0,51	
0,47	
0,37	
0,39	
0,41	
0,40	
0,37	
0,39	
0,32	
0,31	
0,37	
0,45	
0,47	
0,46	
0,54	
0,58	
0,49	

Xk	Valore caratteristico
0,40	

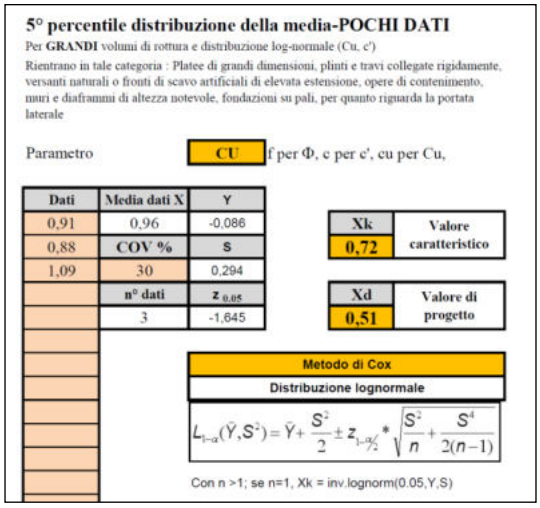
Xd	Valore di progetto
0,29	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right) + \bar{x}$$

t(n-1)	1,7207	Student 2 code

CPT 2-2021 : STRATO 2 (1,6-6,0)



5° percentile distribuzione della media-POCHI DATI

Per **GRANDI** volumi di rottura e distribuzione log-normale (Cu, c')

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **CU** f per Φ, c per c', cu per Cu,

Dati	Media dati X	Y
0,91	0,96	-0,086
0,88	COV %	S
1,09	30	0,294
	n° dati	$z_{0,05}$
	3	-1,645

Xk	Valore caratteristico
0,72	

Xd	Valore di progetto
0,51	

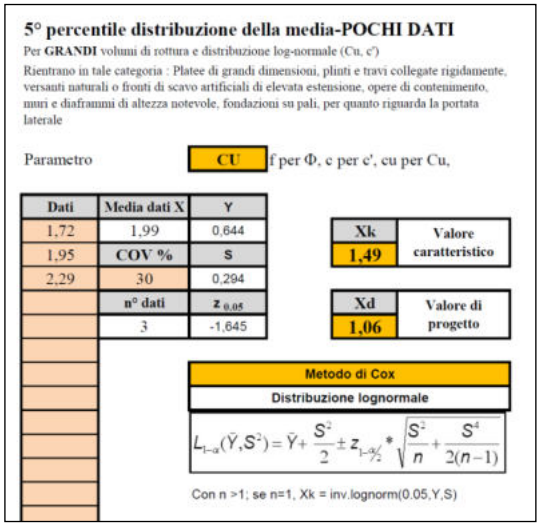
Metodo di Cox

Distribuzione lognormale

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y},S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Con n >1; se n=1, Xk = inv.lognorm(0.05,Y,S)

CPT 2-2021 : STRATO 3 (6,0-6,6)



5° percentile distribuzione della media-POCHI DATI

Per **GRANDI** volumi di rottura e distribuzione log-normale (Cu, c')

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **CU** f per Φ, c per c', cu per Cu,

Dati	Media dati X	Y
1,72	1,99	0,644
1,95	COV %	S
2,29	30	0,294
	n° dati	$z_{0,05}$
	3	-1,645

Xk	Valore caratteristico
1,49	

Xd	Valore di progetto
1,06	

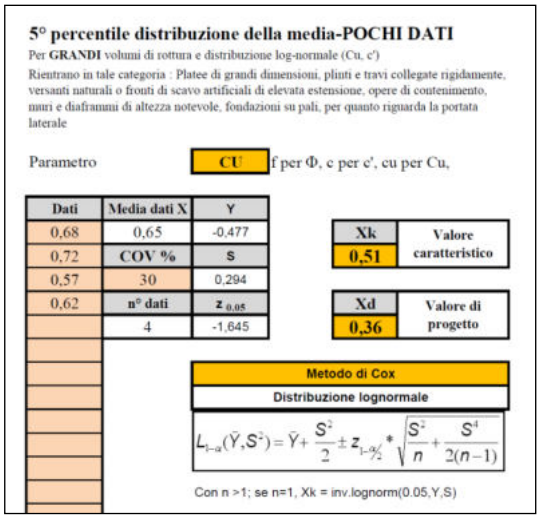
Metodo di Cox

Distribuzione lognormale

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y},S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Con n >1; se n=1, Xk = inv.lognorm(0.05,Y,S)

CPT 2-2021 : STRATO 4 (6,6-7,2)



5° percentile distribuzione della media-POCHI DATI

Per **GRANDI** volumi di rottura e distribuzione log-normale (Cu, c')

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **CU** f per Φ, c per c', cu per Cu,

Dati	Media dati X	Y
0,68	0,65	-0,477
0,72	COV %	S
0,57	30	0,294
0,62	n° dati	$z_{0,05}$
	4	-1,645

Xk	Valore caratteristico
0,51	

Xd	Valore di progetto
0,36	

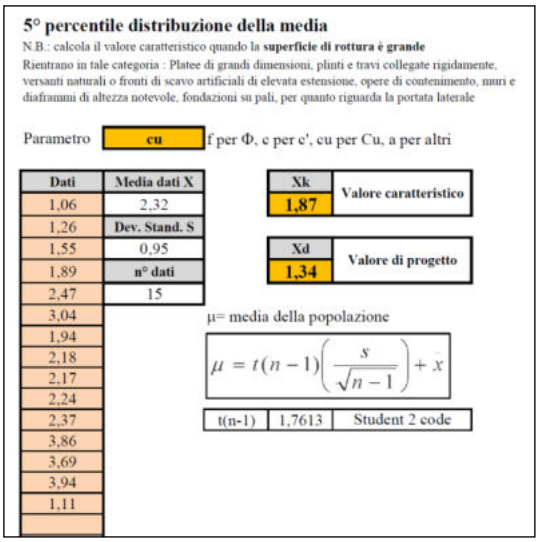
Metodo di Cox

Distribuzione lognormale

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y},S^2)=\bar{Y}+\frac{S^2}{2}\pm z_{1-\alpha/2}*\sqrt{\frac{S^2}{n}+\frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Con n >1; se n=1, Xk = inv.lognorm(0.05,Y,S)

CPT 2-2021 : STRATO 5 (7,2-8,0)



5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, c per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
1,06	2,32
1,26	Dev. Stand. S
1,55	0,95
1,89	n° dati
2,47	15
3,04	
1,94	
2,18	
2,17	
2,24	
2,37	
3,86	
3,69	
3,94	
1,11	

Xk	Valore caratteristico
1,87	

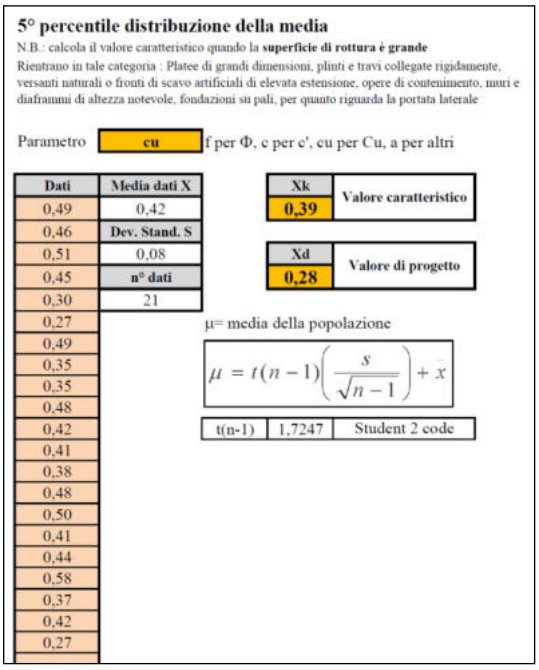
Xd	Valore di progetto
1,34	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right)+\bar{x}$$

t(n-1)	1,7613	Student 2 code

CPT 2-2021 : STRATO 6 (8,0-11,0)



5° percentile distribuzione della media

N.B.: calcola il valore caratteristico quando la **superficie di rottura è grande**

Rientrano in tale categoria : Platee di grandi dimensioni, plinti e travi collegate rigidamente, versanti naturali o fronti di scavo artificiali di elevata estensione, opere di contenimento, muri e diaframmi di altezza notevole, fondazioni su pali, per quanto riguarda la portata laterale

Parametro **cu** f per Φ, c per c', cu per Cu, a per altri

Dati	Media dati X
0,49	0,42
0,46	Dev. Stand. S
0,51	0,08
0,45	n° dati
0,30	21
0,27	
0,49	
0,35	
0,35	
0,48	
0,42	
0,41	
0,38	
0,48	
0,50	
0,41	
0,44	
0,58	
0,37	
0,42	
0,27	

Xk	Valore caratteristico
0,39	

Xd	Valore di progetto
0,28	

μ= media della popolazione

$$\mu = t(n-1)\left(\frac{s}{\sqrt{n-1}}\right)+\bar{x}$$

t(n-1)	1,7247	Student 2 code

CPT 2-2021 : STRATO 7 (11,0-15,0)

All. 3

Stima della velocità di propagazione delle onde di taglio S e misura delle principali frequenze di risonanza dei terreni

COMUNE DI SALA BOLOGNESE

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S (Vs,eq) dei terreni costituenti l'area sita in loc. Padulle

---

GEOTEA s.r.l.
Geologia Territorio Ambiente

GEOTEA SRL
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 – Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail geotea.srl@database.it

Committente: ***GRILLINI GEOL. LUCA***

Dott. Geol. Stefano Maggi

Data indagine 20/10/2021
Commessa 21.487

MOD PROD06 B REV01

SOMMARIO……

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO 3

3 PREMESSE 4

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI 5

4.1 Introduzione generale 5

4.2 Tecnica MASW 6

4.3 Tecnica Re.Mi. 6

4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata 7

5 Risultati indagine 8

5.1 TECNICA IN ARRAY 8

5.2 TECNICA HVSR 9

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 11

7 CONCLUSIONI 12

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- Il presente documento viene identificato con il numero 21.487 rev. n° 0;
- Le indagini e il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. Stefano Maggi;
- Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Stefano Maggi in data 25/10/2020;
- Il documento si compone di n° 12 fogli

3 PREMESSE

Presso l'area sita in loc. Padulle nel comune di Sala Bolognese (BO), in data 20/10/2021 è stata effettuata un'indagine geofisica mediante prova in array con tecnica *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves)*, Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) e misura a stazione singola con tecnica *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S (Vs,eq), in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 17 gennaio 2018.
La presente indagine geofisica è consistita in:

- N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
- N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR (HVSR1)

Per quanto riguarda la prova in array l'acquisizione è stata effettuata mediante sismografo digitale modello Dolang 24 canali 24 bit. La misura a stazione singola è stata eseguita con tromografo digitale modello Tromino® Engy.
Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Introduzione generale

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di *Rayleigh* (*P+Sv*), si conoscono le onde di *Love* (*Sh*) e le onde di *Lamb*. Le onde di *Rayleigh* rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) *P* e onde di taglio verticali *Sv* ogniqualvolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde *R* si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.
L'utilizzo delle onde superficiali di tipo *Rayleigh* per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio *Vs* è giustificato da una serie di fattori:

- La percentuale di energia convertita in onde *R* è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde *P* (7%) e onde *S* (26%);
- il metodo d'analisi basato sulle onde *R* non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla *Vp* (velocità delle onde di compressione *P*) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della *Vs* che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

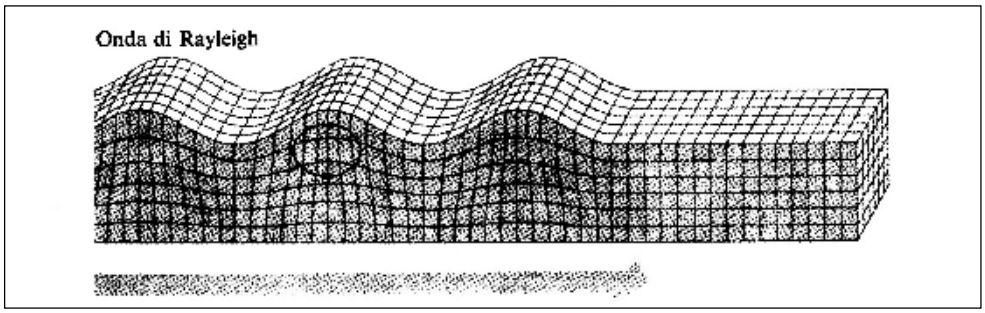


Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde *R* questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna

componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$) . Inoltre, la velocità delle onde *R* (*Vr*) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (*Vs*).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio *Vs*, ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

4.2 Tecnica MASW

La procedura *MASW* si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase *Vr* – frequenza ν,
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della *Vs.*

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

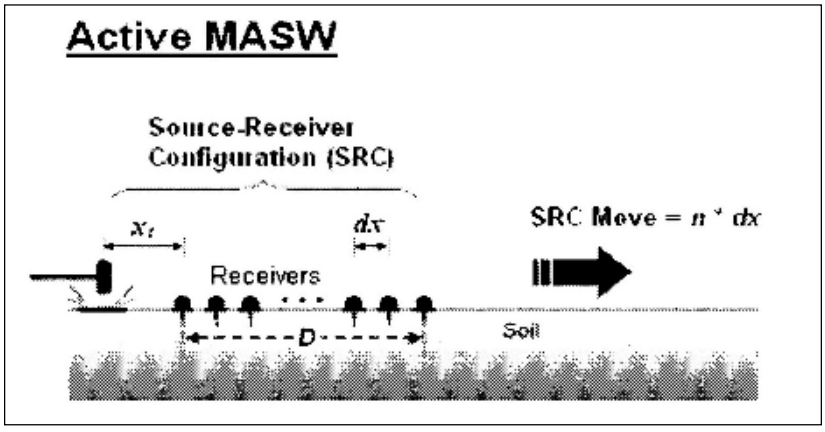


Figura 2 - MASW : stendimento lineare e sorgente attiva

Mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro di velocità di fase (trasformata di Fourier) dal quale è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale.

Si procede quindi alla definizione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio *S.*

L'elaborazione dei dati acquisiti, avvenuta mediante software Grilla, è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

4.3 Tecnica Re.Mi.

A differenza del convenzionale metodo MASW, il quale prevede l'utilizzo di una sorgente sismica attiva (es:

mazza battente), la tecnica Re.Mi. utilizza onde di superficie generate passivamente dall'ambiente circostante. L'origine di questo cosiddetto "rumore di fondo" è sia di tipo naturale (onde oceaniche di marea, perturbazioni atmosferiche) sia di tipo antropico (traffico veicolare, industrie, ferrovie, etc…).

L'utilizzo di profili di geofoni a geometria lineare, genera il problema della sovrastima della velocità di fase (velocità apparente) nello spettro di velocità che si ottiene dall'elaborazione dei dati. La velocità apparente nello spettro deriva dal fatto che la direzione di propagazione delle onde (rumore di fondo) non necessariamente è parallela allo stendimento di geofoni. Per questo motivo la pratica comune prevede che il picking sulla curva di dispersione sperimentale venga eseguito non in corrispondenza del massimo di energia, ma in corrispondenza del bordo inferiore.

Il metodo Re.Mi. eseguito nel presente studio ha sfruttato la stessa geometria di profilo utilizzata per il metodo MASW. Solitamente il campionamento complessivo è della durata di qualche minuto.

4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei µm/s). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (*Micromed S.p.A.*) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

5 RISULTATI INDAGINE

5.1 TECNICA IN ARRAY

Strumentazione utilizzata……Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz)……12
Spaziatura tra i geofoni……..2.00 m
Frequenza di campionamento……2.090 Hz (MASW) – 156 Hz (Re.Mi.)
Lunghezza traccia acquisita……1 sec (MASW) – 120 sec (Re.Mi.)
Sorgente……..mazza e rumore ambientale

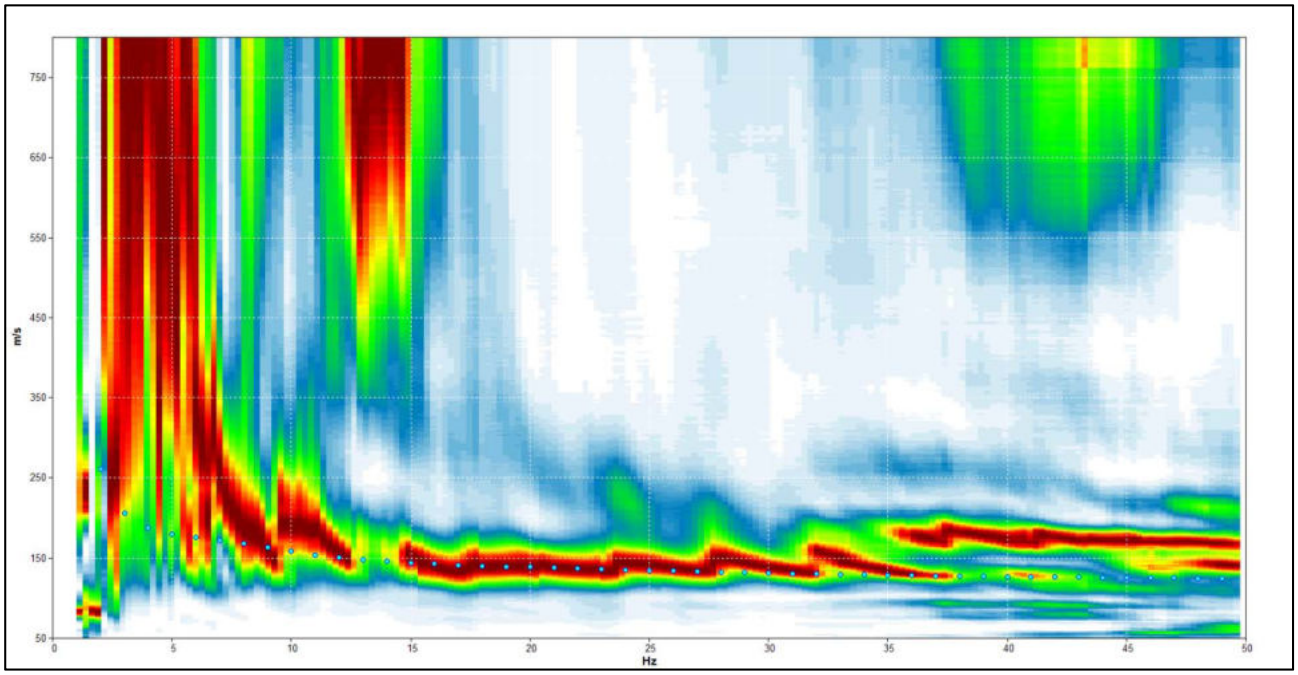


Figura 3 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW-Re.Mi. mediante sismografo digitale Dolang. In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

5.2 TECNICA HVSR

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 20/10/2021

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00''.

Freq. campionamento: 512 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

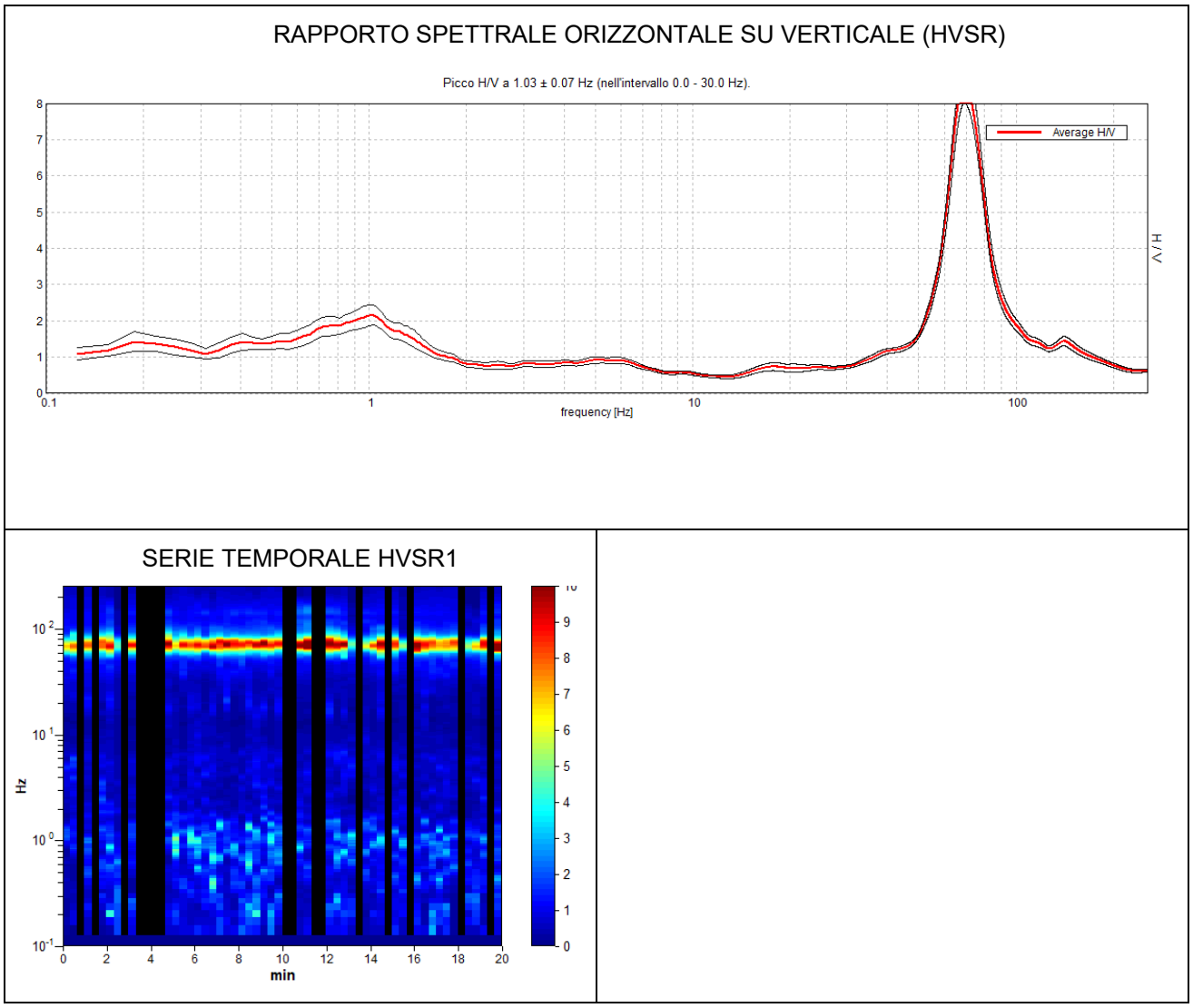


Figura 4 - Curva H/V (HVSR) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

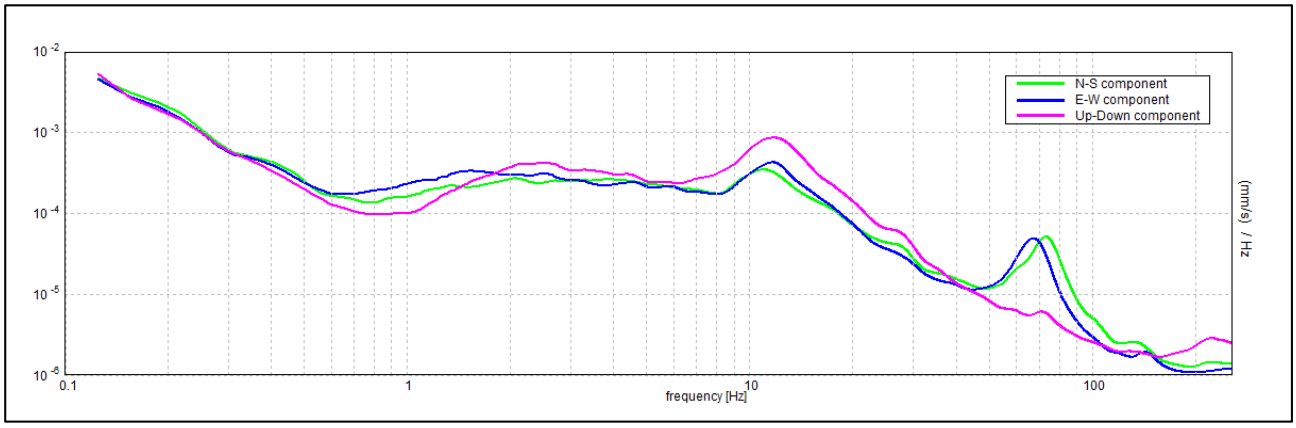


Figura 5 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

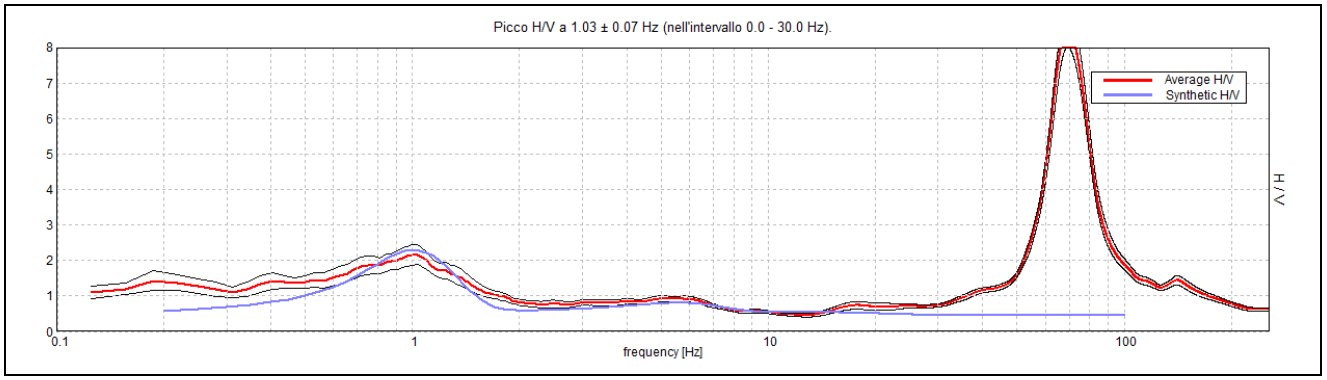


Figura 6 - confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito (scelta per il fit congiunto con prova MASW-Re.Mi.) e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto tra prova **MASW-Re.Mi.** e misura **HVSR1**):

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
2.00	2.00	130
8.00	6.00	155
12.00	4.00	230
27.00	15.00	190
62.00	35.00	260
inf.	inf.	400

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

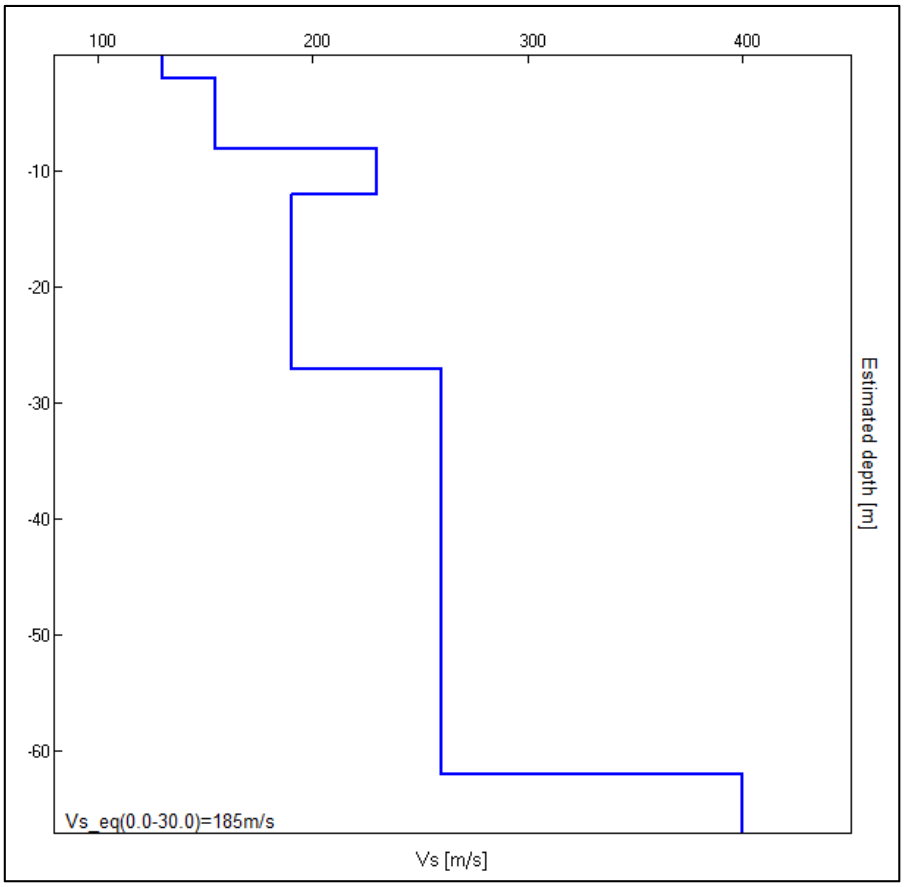


Figura 7 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato)

7 CONCLUSIONI

Vs,eq=Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stata eseguita l'indagine geofisica……185

La curva HVSR indica la presenza di una modesta amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica a basso contrasto d'impedenza alla frequenza di circa 1 Hz.

La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 17 gennaio 2018.

San Lazzaro di Savena, 25/10/2021

All. 4

Documentazione inerente le prove geognostiche di archivio

Regione Emilia-Romagna
Servizio Cartografico e Geologico – Ufficio Geologico

PROFILO RIASSUNTIVO DEL SONDAGGIO STRATIGRAFICO

202 S7

SCALA 1:100

202150P513 identificativo Banca Dati Geognostici

LOCALIZZAZIONE TERRITORIALE 1:50.000

PROVINCIA : BOLOGNA
COMUNE : Sala Bolognese

SEZIONE C.T.R. 1:10.000 : 202 150
TAVOLA 1:25.000 :
FOGLIO 1:50.000 : 202

QUOTA m s.l.m. : 24.0
PROFONDITA' RAGGIUNTA : 40.0 mt
COORDINATE UTM :

RESPONSABILE DEL PROGETTO : R. Pignone
COORDINATORE DEL FOGLIO : M. Pizziolo
DIREZIONE LAVORI : P. Severi
RILEVATORE : F. Molinari
IMPIANTO : SOGEO
RESPONSABILE DI CANTIERE : A. Cessari
INIZIO PERFORAZIONE : 09/10/2002
FINE PERFORAZIONE : 10/10/2002

AGGIORNAMENTO :

Realizzato nell'ambito del Progetto CARG (L.305/89) Convenzione tra S.G.N. e R.E-R

LITOLOGIA E TESSITURA

GHIAIA — SABBIA — SABBIA LIMOSA — ORIZZONTI PEDOLOGICI
LIMO SABBIOSO — LIMO — LIMO ARGILLOSO — LIMITE NETTO
ARGILLA LIMOSA ARGILLA — TORBA — MANCATO RECUPERO — LIMITE TRANSIZIONALE

NOTE

ASSORBIMENTI — RIVESTIMENTI "PERSI"
PERDITEDI DI DI CIRCOLAZIONE — TRACCE DI GAS
ACQUA SALATA O SALMASTRA

FIGURE

Pa : PELLICOLE DI ARGILLA
Pp : PELLICOLE PER PRESSIONE
Ps : PELLICOLE PER PRESSIONE E SCORRIMENTO
Cs : CONCENTRAZIONI SOFFICI
C : CONCREZIONI
N : NODULI DI FERRO E MANGANESE
Cg : CRISTALLI DI GESSO

STRATIFICAZIONE E STRUTTURE SEDIMENTARIE

: STRATIFICAZIONE MASSICCIA
msp : STRATI MOLTO SPESSI
sp : STRATI SPESSI
m : STRATI MEDI
so : STRATI SOTTILI
mso : STRATI MOLTO SOTTILI
: STRATI LENTICOLARI
: STRATI GRADATI
: LAMINAZIONI PARALLELE
: LAMINAZIONI OBLIQUE
: LAMINAZIONI CONVOLUTE
: RIPPLE DA CORRENTE
: RIPPLE DA ONDA
: CLASTI D'ARGILLA
: FRUSTOLI VEGETALI
: AMALGAMAZIONI
: DOCCE D'EROSIONE
: STRUTTURE DA CARICO
: FLUIDIFICAZIONI – SFUGGITE D'ACQUA
: FESSURE DI ESSICAZIONE
: BIOTURBAZIONI
λ λ : RADICI
: FOSSILI
: FOSSILI MARINI
: FOSSILI CONTINENTALI

MODALITA' DI PERFORAZIONE

A DISTRUZIONE — CAROTIERE TRIPLO — A DISTRUZIONE METODO WIRELINE
CAROTIERE SEMPLICE — CAROTIERE DOPPIO METODO WIRELINE
CAROTIERE DOPPIO — CAROTIERE TRIPLO METODO WIRELINE

TIPO EVOLUTIVO

I–V : ENTISUOLI–INCEPTISUOLI
VI–VII : ALFISUOLI
VERT. : VERTISUOLI

CAMPIONI

A = CAMPIONI PER ANALISI PETROGRAFICHE
B = CAMPIONI PER ANALISI BIOSTRATIGRAFICHE
C = CAMPIONI PER DATAZIONI RADIOMETRICHE
P = CAMPIONI PER ANALISI PALINOLOGICHE

CAMPIONI INDISTURBATI
s = SHELBY
o = OSTEMBERG
d = DENISON
m = MAZIER
p = PERCUSSIONE

$CaCO_3$

0 : NON CALCAREO (MENO DELLO 0.5 %)
1 : MOLTO SCARSAMENTE CALCAREO (0.5–1%)
2 : SCARSAMENTE CALCAREO (1–5%)
3 : CALCAREO (5–10%)
4 : MOLTO CALCAREO (>10%)

PROVE IN SITO

I RISULTATI DELLE PROVE SONO TABULATI IN FONDO
P.L. : PROVA LEFRANC
P.P. : PROVA DI POMPAGGIO
P.S. : PROVA PRESSIOMETRICA
S.P.T. : STANDARD PENETRATION TEST

COMPLETAMENTO

FILTRI — RIEMPIMENTO — CEMENTAZIONE
FILTRI CON CALZA IN GEOTESSILE — TAPPO IMPERMEABILE — DRENO

NOTA RIQUADRATA A PIE' PAGINA

a: –Filtro tipo ______
– Superficie filtrante (%) ______
– Geotessile tipo ______
–Dreno D50______ U ____

b: –Filtro tipo ______
– Superficie filtrante (%) ______
– Geotessile tipo ______
–Dreno D50______ U ____

c: –Filtro tipo ______
– Superficie filtrante (%) ______
– Geotessile tipo ______
–Dreno D50______ U ____

d: –Filtro tipo ______
– Superficie filtrante (%) ______
– Geotessile tipo ______
–Dreno D50______ U ____

TIPO FANGO

FANGO TIPO A:
– Composizione (kG/m3)_______
– Densita'
– Viscosita' Marsh
– Acqua libera
– Pannello

FANGO TIPO B:
– Composizione (kG/m3)_______
– Densita'
– Viscosita' Marsh
– Acqua libera
– Pannello

FANGO TIPO C:
– Composizione (kG/m3)_______
– Densita'
– Viscosita' Marsh
– Acqua libera
– Pannello

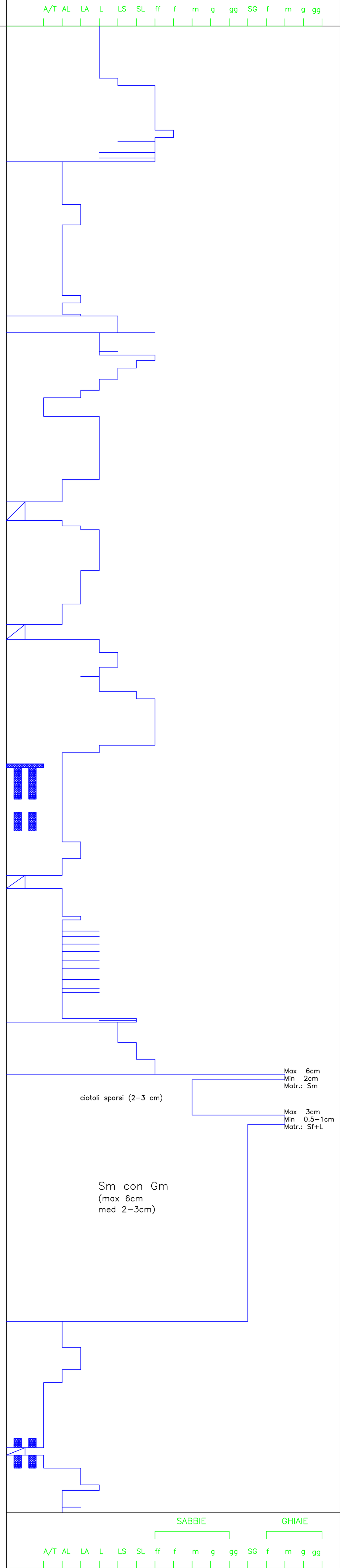
FANGO TIPO D:
– Composizione (kG/m3)_______
– Densita'
– Viscosita' Marsh
– Acqua libera
– Pannello

PROVE IN SITO

PORTATA litri/secondi		
PORTATA litri/secondi		
PORTATA litri/secondi		

Log del sondaggio

Colonne: PROFONDITA' — PROFILO COLONNARE — INTERPRETAZIONE AMBIENTALE — UNITA' STRATIGRAFICHE — PROFONDITA' — LITOLOGIE PER BANCA DATI — PROFONDITA' STRATI (B.D.) — DESCRIZIONE PER BANCA DATI — STRATIFICAZIONE E STRUTTURE SEDIMENTARIE — COLORE (MUNSELL CHARTS) — $CaCO_3$ — ORIZZONTI PEDOLOGICI — FIGURE — TIPO EVOLUTIVO — PENETROMETRO TASCABILE (Kg/cm²) — VANE TEST (Kg/cm²) — PROVE IN SITO — CAMPIONI — PROFONDITA' — AVANZAMENTO — RIVESTIMENTO PROVVISORIO — TIPO FANGO — MODALITA' DI PERFORAZIONE — NOTE — COMPLETAMENTO — CASSA — RECUPERO % MANOVRA — PROFONDITA'



Profondità strati (B.D.)	Descrizione per banca dati	Colore	$CaCO_3$
0 – 1.60	L/LS	marrone; marrone chiaro; beige	
1.60 – 3.65	Sff/Sf	beige/ocra; grigio/ocra	4
3.65 – 7.80	AL/LA	grigio (screz. nerastre; screz. verdognole); grigio marrone screz. beige; beige	0–1; 3–4; 0–1; 3; 0; 4; 0
7.80 – 9.80	L/LS/SL/Sff	beige scuro	4; 3
9.80 – 10.50	A	grigio	4; 3
10.50 – 12.20	L	grigio	
12.20 – 12.80	AL		
12.80 – 13.30	ZZ		
13.30 – 13.55	AL/LA		4
13.55 – 14.65	L	grigio scuro	
14.65 – 16.10	LA/AL		0
16.10 – 16.50	ZZ		
16.50 – 17.90	L/LS	grigio	
17.90 – 19.55	Sff/SL/L	grigio scuro	4
19.55 – 22.85	AL/LA	grigio; nerastro; grigio scuro	0; 3–4; 0
22.85 – 23.20	ZZ		
23.20 – 23.95	AL		
23.95 – 26.70	AL/LA/L	grigio	
26.70 – 28.20	SL/LS/Sff	grigio scuro	
28.20 – 34.85	Gm/Sm	grigio; grigio scuro	4
34.85 – 36.50	AL/LA	grigio	
36.50 – 38.80	A; ZZ; A	grigio scuro	0; 1; 3; 0; 1–2
38.80 – 40	AL/LA/L	grigio	4

Figure: C (concrezioni) a ca. 1.5–2, 4, 5.5–8.5, 10.5–12.2, 16.5–17.9, 21, 36.5–38 m (C.S. a 36.5 m).

Profondità (ca. m)	Penetrometro tascabile (Kg/cm²)	Vane test (Kg/cm²)
0–1.5	>6, 5.0, 3.2, 3.5	1.6, 2.4, 1.8, 1.8, 1.3, 0.9
4–8.1	1.9, 1.8, 1.8, 2.0, 2.2, 1.4, 1.0, 1.5, 3.2, 2.9, 3.6, 4.0, 2.5, 3.4, 4.3, 4.2, 4.2, 4.3, 2.0, 2.7, 1.3, 1.0	0.6, 0.7, 0.6, 0.8, 0.8, 0.6, 0.5, 0.5, 1.2, 1.2, 1.3, 1.7, 1.0, 1.4, 1.4, 1.6, 1.6, 1.6, 1.9, 0.5, 0.4, 0.3
8.5–9	1.1, 1.1, 1.1	0.4, 0.4, 0.3
10–10.5	1.6, 1.3, 1.4	0.5, 0.5, 0.6
12.2–12.8	1.2, 2.0, 1.9, 1.3	0.4, 0.7, 0.8, 0.5
13.5	1.2	0.4
14.8–16	1.5, 1.3, 1.0, 1.7, 2.4, 2.4, 2.4	0.5, 0.4, 0.4, 0.7, 0.8, 1.0, 1.0
19.8–21	1.0, 1.2, 1.4, 1.4, 1.8, 2.6, 3.6, 4.2	0.3, 0.4, 0.6, 0.6, 0.7, 0.9, 1.3, 1.5
21.8–22.8	2.6, 1.7, 2.8, 2.4, 2.8, 2.6	0.9, 0.6, 1.2, 1.0, 1.2, 1.0
23.5–26.5	2.2, 2.0, 2.3, 1.2, 2.0, 1.9, 2.6, 2.1, 2.6, 2.5, 1.6, 2.7, 2.6, 2.5, 3.6, 4.0, 2.5	0.8, 0.8, 0.8, 0.5, 0.9, 0.8, 1.0, 1.0, 1.1, 1.0, 0.6, 1.2, 1.2, 1.2, 1.2, 1.0, 1.0
35–38	2.7, 3.0, 2.5, 2.4, 2.6, 2.2, 2.4, 3.8, 3.7, 4.0, 2.8, 3.6, 3.6, 3.7, 4.1, 3.4, 3.2	1.2, 1.2, 1.0, 0.9, 1.0, 0.9, 1.4, 1.5, 1.5, 1.1, 1.6, 1.6, 1.6, 1.2, 1.7, 1.5, 1.0
38.8–40	2.0, 3.1, 2.2, 3.0, 3.7, 3.5, 3.3	0.8, 1.4, 0.9, 1.0, 1.4, 1.4, 1.0

CAMPIONI: C14 (ca. 10 m); C14 (ca. 20 m)

TIPO FANGO: FANGO AD ACQUA
MODALITA' DI PERFORAZIONE: CAROTIERE SEMPLICE
COMPLETAMENTO: SONDAGGIO ABBANDONATO

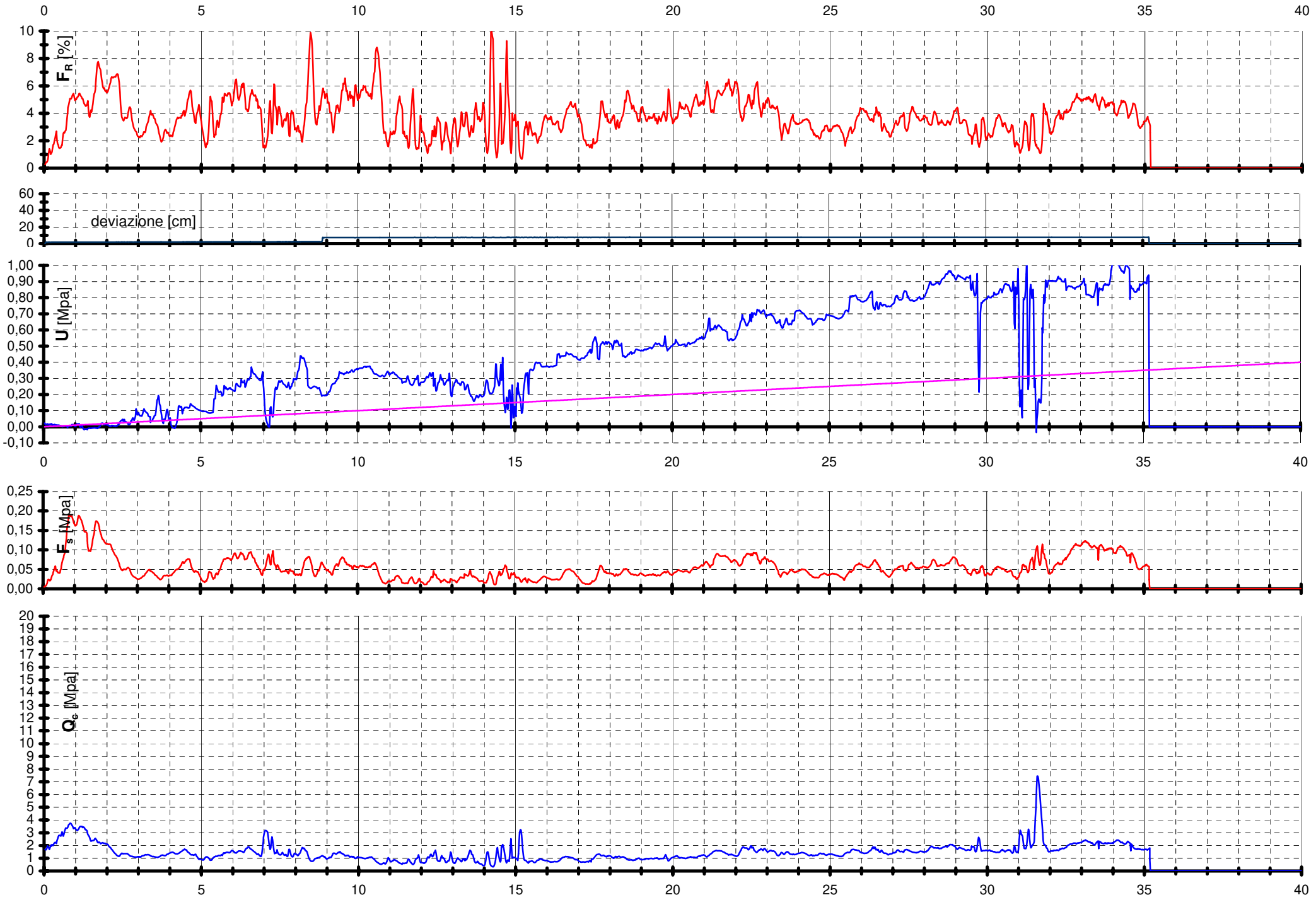
CASSA: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

RECUPERO % MANOVRA: 100% (0–13 m); 86% (13–19.8 m); 100% (19.8–23 m); 96% (23–26.5 m); 100% (26.5–38.2 m); 85% (38.2–40 m)

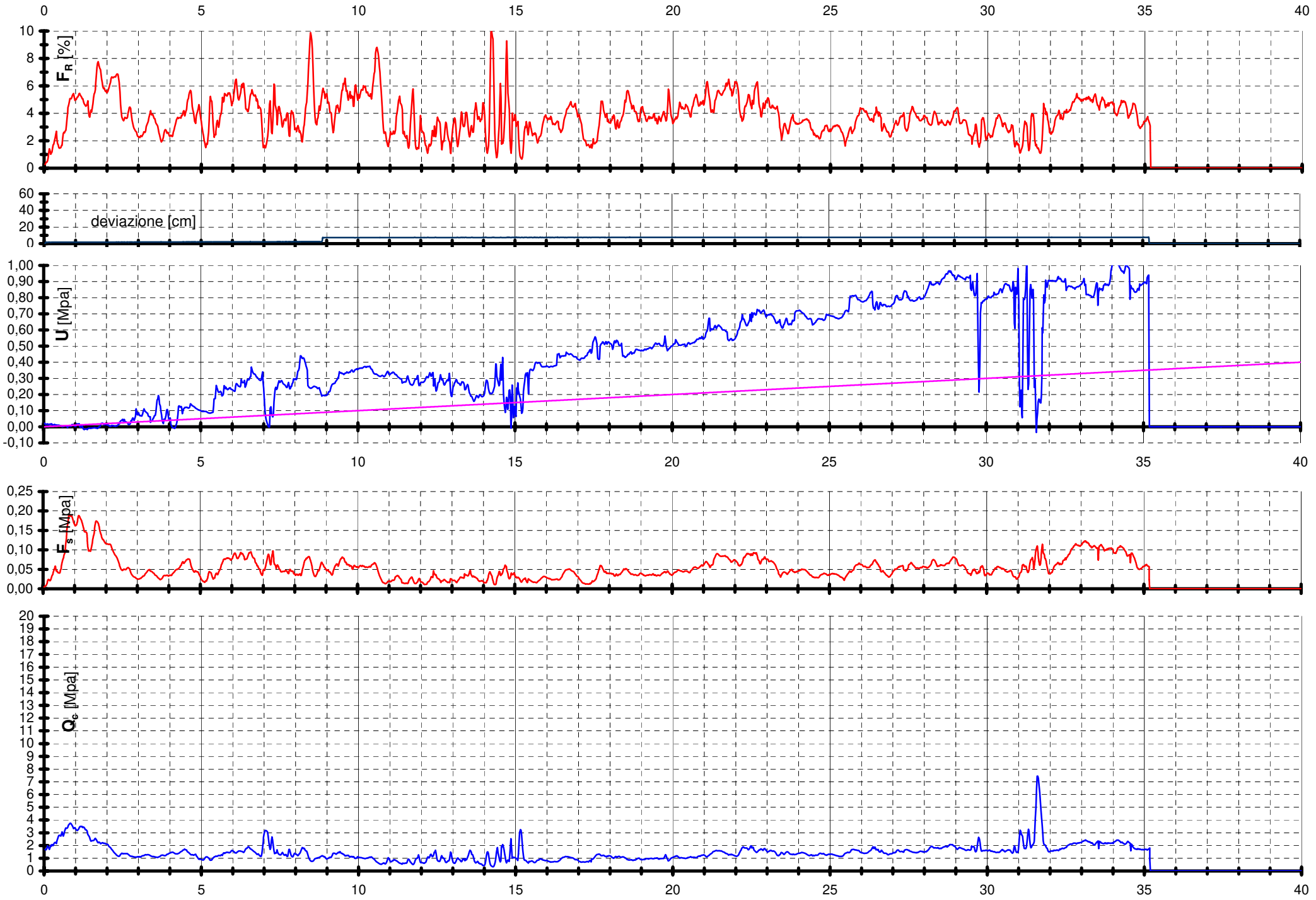
RILEVAMENTO FALDA

DATA	ORA	PROF. FORO	PROF. RIVES.	LIV. ACQUA

cptu 503	CTR: 202160	15/10/2001	Falda non segnalata



cptu 503	CTR: 202160	15/10/2001	Falda non segnalata



Pratica n. 92/10 | SCHEDA DA RITORNARE AD UFFICIO STESSO

Ditta Soc. Coop. Agricola di Lavoro di Sala Bolognese

residente a Sala Bolognese in Via Della Pace

-Perforazione / approfondim. pozzo ad uso Irriguo in Comune di Sala Bol/Bo

Frazione Padulle località Padulle F. 25 Mapp. N° 185

-Data di ultimazione lavori: 12/3/77 202160 P605

-Ditta perforatrice: Fratelli Bongiovanni Giorgio e Ferdinando S.n.c. Persiceto

-Caratteristiche del pozzo:

avanpozzo (si o no) / /

Ø interno tubi mm. 200-

-profondità mt. 42,70-

-Caratteristiche del gruppo motore pompa:

livello statico mt. - 5

tipo della pompa Verticale

-prevalenza della pompa mt. 70

tipo del motore a Ruote

-potenza in HP. 45-50-

-Portata: lt/sec. 11

ha. 2 are ca.

-Fabbisogno (civile, industriale, zootecnico):

lt/sec. M X X

STRATIGRAFIA REALE DEL TERRENO

Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE ATTRAVERSATE, specificando se il tubo è fenestrato in corrispondenza

- da mt. 0 a mt. 2
Terreno Coltivabile

- da mt. 2 a mt. 12
Argilla

-da mt. 12 a mt. 17
Limo misto Sabbia

-da mt. 17 a mt. 24
Argilla

-da mt. 24 a mt. 28
Sabbia

-da mt. 28 a mt. 32
Argilla

-da mt. 32 a mt. 40
Sabbia

-da mt. 40 a mt. 42,70
Argilla

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.-

Data 12/3/1977

Firma Maltoni Dealmo

Regione Emilia-Romagna → Scheda da ritornare al Genio Civile

Pratica N° 27 COMPRENSORIO 202160 COMUNE-Istat

P607

-Ditta FORNI ATTILIO

residente a SALA BOLOGNESE in Via GRAMSCI 18K

-Pozzo ad uso PRIVATO in Comune di SALA BOLOGNESE

Frazione SALA Località CERTOSA Mapp. N° 90 /Fg. 38

-Data di ultimazione della perforazione: 1958

-Ditta perforatrice: PARADISI GUSTAVO

CARATTERISTICHE DEL POZZO

*avanpozzo (si o no) SI

*diametro interno tubi mm. 100

*profondità mt. 35

EQUIPAGGIAMENTO

*tipo della pompa SOMMERSA

*potenza $\frac{Cv}{kW}$ 0,6

*prevalenza mt. 18

*portata lt/sec. 1,2

-Livello statico mt.

-Portata pozzo: lt/sec.

-Superficie irrigata:

ha. are ca.

-Consumo giornaliero (24 ore):

metri cubi

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data 17/11/77

Firma Forni Attilio

STRATIGRAFIA DEL TERRENO Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE attraversati	Falde captate
-da mt. 0 a mt. 12 ARGILLA BIONDA	
-da mt. 12 a mt. 15 SABBIA E LIMA	
-da mt. 15 a mt. 24 ARGILLA CHIARA	
-da mt. 24 a mt. 35 GHIAIA	
-da mt. a mt.	
-da mt. a mt.	
-da mt. a mt.	
-da mt. a mt.	

Localizzazione del pozzo

Long. Lat. Ha.

Quota piano campagna: m.s.l.m.

ANNOTAZIONI:

N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di rilievi di precisione

16 202160

Regione Emilia-Romagna

POZZO AD USO DOMESTICO P608

scheda di denuncia

COMPRENSORIO 17 COMUNE 550 NUMERO PROGRESSIVO 114

-Ditta titolare del pozzo: BERNARDINI LODOVICO

residente a SALA BOLOGNESE in Via GRAMSCI, 56

-Pozzo in Frazione: SALA ,Località ,Mapp.N° /Fg.

-Data perforazione: 19 72/14/5 ; -Ditta perforatrice: PARADISI GUSTAVO

● Parte riservata alla Ditta

-Caratteristiche del pozzo:

avanpozzo (si o no): NO

ø dei tubi: mm. 100

profondità mt. 32,50

Usi cui è destinata l'acqua

-familiare ☐

-abbeveraggio bestiame ☐

-inaffiamento orto ☒

-inaffiamento giardino ☒

-Portata: lt./sec. 1

-Consumo giornaliero: ~~mc.~~ ql. 2

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera:

data: 26-9-72

firma: Lodovico Bernardini

Parte riservata all'Ufficio Tecnico Com.le

Localizzazione del pozzo									
Longit.	3	5	9	Latit.	1	1	5	Ha.	16
Quota piano campagna: m.s.l.m.									

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Natura dei terreni e indicazione delle falde acquifere attraversate (fenestrature)

-da mt. 0 a mt. 3
ARGILLA

-da mt. 3 a mt. 8
SABBIA E LIMO

-da mt. 8 a mt. 28
ARGILLA semi SCURA

-da mt. 28 a mt. 32,50
SABBIA e GHIAIA

-da mt. ____ a mt. ____

-da mt. ____ a mt. ____

Livello statico : mt. 12

Il Tecnico Comunale

N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti è invitata ad allegarne copia.

202160

18

POZZO AD USO DOMESTICO

P617

scheda di denuncia

COMPRENSORIO | | | COMUNE | | | | NUMERO PROGRESSIVO | | . | | 9

-Ditta titolare del pozzo VANNI ETTORE e BASTIA MARTA

residente a SALA BOLOGNESE in Via GRAMSCI 20

-Pozzo in Frazione SALA Località via Gramsci 2 Mapp.N° 11 /Fg. 21

-Data perforazione 1974 -Ditta perforatrice Paradisi - Calderara

Parte riservata alla Ditta

-Caratteristiche del pozzo:

avampozzo (si o no) NO

ø dei tubi mm 100

profondità m 32.00

Usi cui è destinata l'acqua:

-familiare ☒

-abbeveraggio bestiame ☒

-inaffiamento orto ☒

-inaffiamento giardino ☐

-Portata l /sec

-Consumo giornaliero mc/q 5.00

-Consumo annuo: mc/q 500.00

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

data 17-12-88

firma

Parte riservata all'Ufficio Tecnico Com.le

Localizzazione del pozzo			
Longit.		Latit.	Ha
Quota piano campagna: m s.l.m.			

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Natura dei terreni e indicazione delle falde acquifere attraversate (fenestrature)

-da m 0 a m 20
Argilla

-da m 20 a m 32
Ghiaia

-da m a m

-da m a m

-da m a m

-da m a m

Livello statico m

Il Tecnico Comunale

N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitata ad allegarne copia.

Regione Emilia-Romagna

Scheda da ritornare al Genio Civile

Pratica n° 1 17

COMPRENSORIO 1 7

COMUNE-Istat 5 5 0

P619A

-Ditta Quidi Lokis 202160

residente a Persiceto in Via Martinelli

-Pozzo ad uso Irriguo in Comune di Sala Bolognese

Frazione _____ Località Via Colacchi Mapp.N° 211 /Fg. 8

-Data di ultimazione della perforazione: 1965

-Ditta perforatrice: Vincenzo Bonfiglioli e Figli

CARATTERISTICHE DEL POZZO

*evanpozzo (~~si~~ o no) _____

*diametro interno tubi mm. 229

*profondità mt. 48

EQUIPAGGIAMENTO

*tipo della pompa Verticale

*potenza Cv / kW

*prevalenza mt. 50

*portata lt/sec. 8

-Livello statico mt. 5 t.p.c.

-Portata pozzo: lt/sec. 10

-Superficie irrigata:

ha. 8 are _____ ca. _____

-Consumo giornaliero (24 ore):

metri cubi 40

STRATIGRAFIA DEL TERRENO Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE attraversati	Falde captate
-da mt. 0 a mt. 2 Vegetale	
-da mt. 2 a mt. 10 Limo e Torba	
-da mt. 10 a mt. 36 Argilla	
-da mt. 36 a mt. 46 Ghiaia	
-da mt. 46 a mt. 48 Argilla	
-da mt. _____ a mt. _____	
-da mt. _____ a mt. _____	
-da mt. _____ a mt. _____	
-da mt. _____ a mt. _____	

Localizzazione del pozzo

Long. | Lat. | Ha.

Quota piano campagna: m.s.l.m.

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data 28/9/77

Firma _____

ANNOTAZIONI: _____

N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti è invitata ad allegare

All. 5

Tabulati inerenti la stima del fenomeno della liquefazione

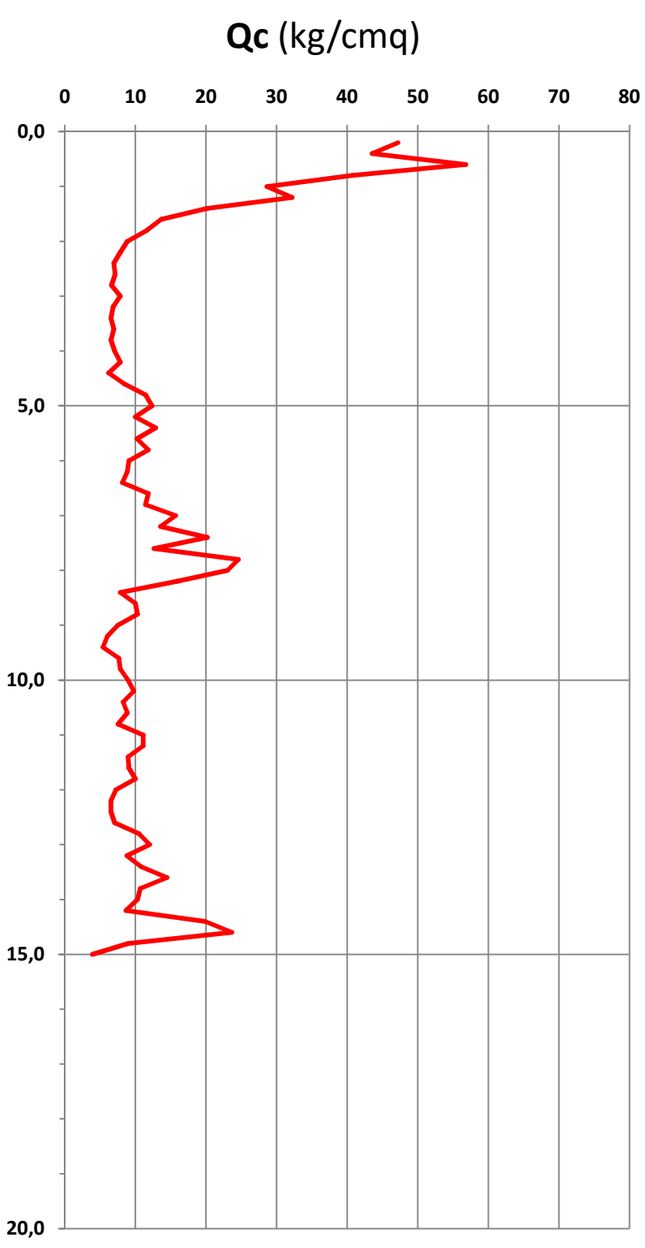
Prof.	Qc	fs	γ	γ'	σ	σ'	Pa	Q (n=1)	F	I_C	VERIF. 1	$Q_{c1N\ (coesivi)}$	$Q_{c1N\ (incoerenti)}$	$I_{C\ INC}$	K_C	Q_{c1Ncs}	$Q_{c1Ncs\ DEF}$	CRR	CSR	MSF	FL	LPI	LS	LSN
0,2	47,21	0,29	1,78	0,78	0,036	0,016	1,02	3027,55	0,6	1,01	POT. LIQ.	-	374,26	1,35	0,66	246,08	246,08	1,466	0,339	1,429	6,18	0,00	0,00	0,00
0,4	43,54	0,21	1,73	0,73	0,069	0,029	1,02	1479,32	0,5	0,94	POT. LIQ.	-	251,13	1,39	0,73	183,84	183,84	0,658	0,349	1,429	2,69	0,00	0,00	0,00
0,6	56,8	0,04	1,57	0,57	0,094	0,034	1,02	1670,33	0,1	0,27	POT. LIQ.	-	304,77	0,99	-0,62	-190,11	-190,11	-0,559	0,408	1,429	-1,96	0,00	0,00	0,00
0,8	40,69	0,29	1,77	0,77	0,142	0,062	1,02	654,99	0,7	1,26	POT. LIQ.	-	161,38	1,66	1,01	163,08	163,08	0,483	0,337	1,429	2,05	0,00	0,00	0,00
1,0	28,65	0,61	1,85	0,85	0,185	0,085	1,02	336,73	2,1	1,81	POT. LIQ.	-	96,96	2,14	1,54	149,41	149,41	0,390	0,320	1,429	1,74	0,00	0,00	0,22
1,2	32,22	0,58	1,85	0,85	0,221	0,101	1,02	315,47	1,8	1,77	POT. LIQ.	-	99,50	2,09	1,43	142,56	142,56	0,349	0,319	1,429	1,56	0,00	0,00	0,19
1,4	20,19	0,99	1,89	0,89	0,265	0,125	1,02	159,99	5,0	2,30	POT. LIQ.	-	55,91	2,58	3,19	178,47	178,47	0,609	0,310	1,429	2,81	0,00	0,00	0,00
1,6	13,66	0,97	1,87	0,87	0,299	0,139	1,02	95,83	7,3	2,56	POT. LIQ.	-	35,44	2,83	5,06	179,31	179,31	0,616	0,312	1,429	2,82	0,00	0,00	0,00
1,8	11,62	0,50	1,79	0,79	0,322	0,142	1,02	79,71	4,4	2,44	POT. LIQ.	-	29,73	2,73	4,25	126,19	126,19	0,267	0,329	1,429	1,16	0,00	0,30	0,26
2,0	8,871	0,44	1,76	0,76	0,353	0,153	1,02	55,82	5,2	2,59	POT. LIQ.	-	21,59	2,88	5,54	119,57	119,57	0,239	0,334	1,429	1,02	0,00	0,43	0,37
2,2	7,852	0,34	1,73	0,73	0,380	0,160	1,02	46,79	4,5	2,60	POT. LIQ.	-	18,52	2,89	5,62	104,02	104,02	0,185	0,342	1,429	0,77	0,41	0,73	1,03
2,4	6,934	0,45	1,75	0,75	0,421	0,181	1,02	35,96	6,9	2,81	no liq.	35,96	-	NO	NO	NO	35,96	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	7,138	0,36	1,73	0,73	0,450	0,190	1,02	35,20	5,4	2,74	no liq.	35,20	-	NO	NO	NO	35,20	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
2,8	6,628	0,32	1,72	0,72	0,480	0,200	1,02	30,71	5,3	2,78	no liq.	30,71	-	NO	NO	NO	30,71	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,0	7,852	0,29	1,71	0,71	0,513	0,213	1,02	34,47	4,0	2,66	no liq.	34,47	-	NO	NO	NO	34,47	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,2	6,832	0,36	1,73	0,73	0,553	0,233	1,02	26,92	5,8	2,84	no liq.	26,92	-	NO	NO	NO	26,92	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,4	6,526	0,26	1,69	0,69	0,574	0,234	1,02	25,48	4,3	2,78	no liq.	25,48	-	NO	NO	NO	25,48	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,6	6,934	0,24	1,68	0,68	0,605	0,245	1,02	25,81	3,8	2,73	no liq.	25,81	-	NO	NO	NO	25,81	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,8	6,526	0,26	1,69	0,69	0,641	0,261	1,02	22,52	4,4	2,82	no liq.	22,52	-	NO	NO	NO	22,52	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,0	7,036	0,14	1,62	0,62	0,647	0,247	1,02	25,86	2,2	2,58	POT. LIQ.	-	12,73	2,83	5,06	64,42	64,42	0,105	0,364	1,429	0,41	0,94	0,98	0,84
4,2	7,852	0,24	1,68	0,68	0,708	0,288	1,02	24,85	3,3	2,71	no liq.	24,85	-	NO	NO	NO	24,85	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,4	6,22	0,26	1,68	0,68	0,741	0,301	1,02	18,19	4,7	2,91	no liq.	18,19	-	NO	NO	NO	18,19	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,6	8,464	0,30	1,72	0,72	0,789	0,329	1,02	23,29	3,9	2,78	no liq.	23,29	-	NO	NO	NO	23,29	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,8	11,42	0,32	1,74	0,74	0,833	0,353	1,02	29,98	3,1	2,62	no liq.	29,98	-	NO	NO	NO	29,98	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,0	12,34	0,56	1,80	0,80	0,901	0,401	1,02	28,49	4,9	2,78	no liq.	28,49	-	NO	NO	NO	28,49	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,2	9,993	0,78	1,83	0,83	0,954	0,434	1,02	20,83	8,7	3,05	no liq.	20,83	-	NO	NO	NO	20,83	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,4	12,85	0,38	1,76	0,76	0,950	0,410	1,02	29,03	3,2	2,65	no liq.	29,03	-	NO	NO	NO	29,03	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,2	9,993	0,78	1,83	0,83	0,954	0,434	1,02	20,83	8,7	3,05	no liq.	20,83	-	NO	NO	NO	20,83	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,4	12,85	0,38	1,76	0,76	0,950	0,410	1,02	29,03	3,2	2,65	no liq.	29,03	-	NO	NO	NO	29,03	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,6	10,2	0,80	1,84	0,84	1,029	0,469	1,02	19,54	8,8	3,07	no liq.	19,54	-	NO	NO	NO	19,54	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,8	11,83	0,53	1,80	0,80	1,041	0,461	1,02	23,37	4,9	2,84	no liq.	23,37	-	NO	NO	NO	23,37	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
6,0	9,075	0,37	1,74	0,74	1,045	0,445	1,02	18,06	4,5	2,90	no liq.	18,06	-	NO	NO	NO	18,06	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
6,2	8,871	0,13	1,62	0,62	1,003	0,383	1,02	20,57	1,6	2,59	POT. LIQ.	-	12,60	2,77	4,52	56,93	56,93	0,097	0,347	1,429	0,40	0,83	0,98	0,60
6,4	8,158	0,09	1,58	0,58	1,010	0,370	1,02	19,29	1,3	2,56	POT. LIQ.	-	11,63	2,75	4,41	51,26	51,26	0,093	0,359	1,429	0,37	0,86	0,99	0,63
6,6	11,83	0,16	1,65	0,65	1,091	0,431	1,02	24,89	1,5	2,50	POT. LIQ.	-	16,19	2,65	3,67	59,43	59,43	0,100	0,331	1,429	0,43	0,76	0,97	0,54
6,8	11,42	0,30	1,73	0,73	1,176	0,496	1,02	20,67	3,0	2,74	no liq.	20,67	-	NO	NO	NO	20,67	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
7,0	15,7	0,36	1,76	0,76	1,234	0,534	1,02	27,11	2,5	2,60	no liq.	27,11	-	NO	NO	NO	27,11	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
7,2	13,56	0,44	1,78	0,78	1,280	0,560	1,02	21,95	3,5	2,77	no liq.	21,95	-	NO	NO	NO	21,95	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
7,4	20,19	0,53	1,82	0,82	1,344	0,604	1,02	31,21	2,8	2,59	POT. LIQ.	-	24,02	2,67	3,81	91,60	91,60	0,151	0,285	1,429	0,76	0,30	0,74	0,34
7,6	12,64	0,51	1,79	0,79	1,363	0,603	1,02	18,72	4,5	2,89	no liq.	18,72	-	NO	NO	NO	18,72	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
7,8	24,57	0,53	1,82	0,82	1,422	0,642	1,02	36,04	2,3	2,48	POT. LIQ.	-	28,60	2,56	3,09	88,30	88,30	0,144	0,281	1,429	0,73	0,33	0,77	0,33
8,0	23,05	0,43	1,80	0,80	1,437	0,637	1,02	33,90	2,0	2,46	POT. LIQ.	-	26,80	2,55	3,01	80,59	80,59	0,129	0,285	1,429	0,65	0,42	0,86	0,35
8,2	15,91	0,47	1,79	0,79	1,469	0,649	1,02	22,25	3,2	2,74	no liq.	22,25	-	NO	NO	NO	22,25	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
8,4	7,852	0,24	1,68	0,68	1,415	0,575	1,02	11,20	3,7	3,01	no liq.	11,20	-	NO	NO	NO	11,20	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
8,6	9,993	0,25	1,70	0,70	1,464	0,604	1,02	14,13	3,0	2,87	no liq.	14,13	-	NO	NO	NO	14,13	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
8,8	10,3	0,35	1,74	0,74	1,531	0,651	1,02	13,47	3,9	2,96	no liq.	13,47	-	NO	NO	NO	13,47	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
9,0	7,546	0,44	1,76	0,76	1,581	0,681	1,02	8,76	7,4	3,28	no liq.	8,76	-	NO	NO	NO	8,76	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
9,2	6,016	0,27	1,69	0,69	1,556	0,636	1,02	7,02	6,1	3,30	no liq.	7,02	-	NO	NO	NO	7,02	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
9,4	5,404	0,19	1,64	0,64	1,544	0,604	1,02	6,39	4,9	3,28	no liq.	6,39	-	NO	NO	NO	6,39	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
9,6	7,648	0,17	1,65	0,65	1,581	0,621	1,02	9,78	2,8	2,99	no liq.	9,78	-	NO	NO	NO	9,78	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
9,8	7,852	0,29	1,71	0,71	1,674	0,694	1,02	8,90	4,7	3,15	no liq.	8,90	-	NO	NO	NO	8,90	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
10,0	8,973	0,30	1,72	0,72	1,716	0,716	1,02	10,14	4,1	3,07	no liq.	10,14	-	NO	NO	NO	10,14	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
10,2	9,789	0,21	1,68	0,68	1,711	0,691	1,02	11,68	2,6	2,90	no liq.	11,68	-	NO	NO	NO	11,68	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
10,4	8,26	0,15	1,63	0,63	1,696	0,656	1,02	10,00	2,2	2,93	no liq.	10,00	-	NO	NO	NO	10,00	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
10,6	8,871	0,15	1,63	0,63	1,730	0,670	1,02	10,66	2,0	2,88	no liq.	10,66	-	NO	NO	NO	10,66	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00

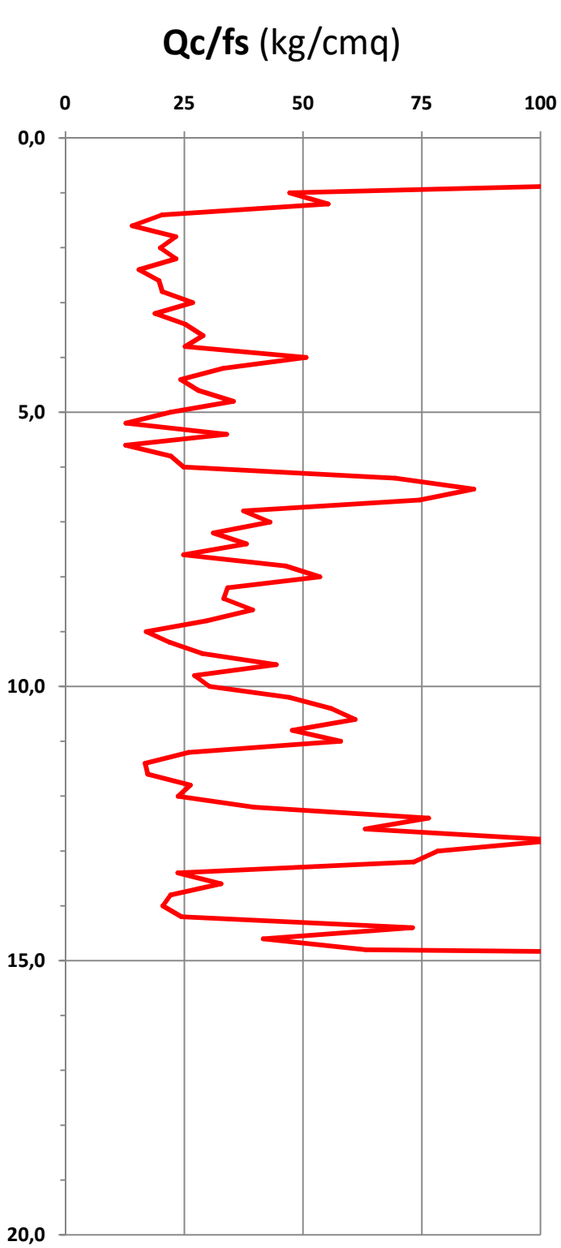
10,8	7,546	0,16	1,64	0,64	1,766	0,686	1,02	8,42	2,7	3,04	no liq.	8,42	-	NO	NO	NO	8,42	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,0	11,11	0,19	1,67	0,67	1,841	0,741	1,02	12,52	2,1	2,83	no liq.	12,52	-	NO	NO	NO	12,52	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,2	11,11	0,43	1,77	0,77	1,980	0,860	1,02	10,63	4,7	3,09	no liq.	10,63	-	NO	NO	NO	10,63	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,4	8,973	0,53	1,79	0,79	2,035	0,895	1,02	7,75	7,7	3,33	no liq.	7,75	-	NO	NO	NO	7,75	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,6	9,075	0,52	1,78	0,78	2,068	0,908	1,02	7,71	7,5	3,32	no liq.	7,71	-	NO	NO	NO	7,71	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,8	9,993	0,38	1,75	0,75	2,064	0,884	1,02	8,97	4,8	3,15	no liq.	8,97	-	NO	NO	NO	8,97	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,0	7,24	0,31	1,71	0,71	2,053	0,853	1,02	6,08	5,9	3,34	no liq.	6,08	-	NO	NO	NO	6,08	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,2	6,526	0,16	1,63	0,63	1,994	0,774	1,02	5,85	3,6	3,24	no liq.	5,85	-	NO	NO	NO	5,85	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,4	6,526	0,09	1,56	0,56	1,932	0,692	1,02	6,64	1,9	3,04	no liq.	6,64	-	NO	NO	NO	6,64	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,6	7,036	0,11	1,59	0,59	2,006	0,746	1,02	6,74	2,2	3,07	no liq.	6,74	-	NO	NO	NO	6,74	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,8	10,5	0,10	1,60	0,60	2,043	0,763	1,02	11,08	1,2	2,75	no liq.	11,08	-	NO	NO	NO	11,08	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,0	12,03	0,15	1,65	0,65	2,146	0,846	1,02	11,69	1,6	2,79	no liq.	11,69	-	NO	NO	NO	11,69	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,2	8,769	0,12	1,61	0,61	2,124	0,804	1,02	8,27	1,8	2,95	no liq.	8,27	-	NO	NO	NO	8,27	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,4	10,81	0,46	1,77	0,77	2,377	1,037	1,02	8,13	5,4	3,22	no liq.	8,13	-	NO	NO	NO	8,13	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,6	14,48	0,44	1,78	0,78	2,423	1,063	1,02	11,34	3,7	3,00	no liq.	11,34	-	NO	NO	NO	11,34	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,8	10,71	0,48	1,78	0,78	2,457	1,077	1,02	7,66	5,9	3,26	no liq.	7,66	-	NO	NO	NO	7,66	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,0	10,3	0,50	1,78	0,78	2,497	1,097	1,02	7,11	6,4	3,31	no liq.	7,11	-	NO	NO	NO	7,11	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,2	8,667	0,35	1,74	0,74	2,465	1,045	1,02	5,94	5,7	3,34	no liq.	5,94	-	NO	NO	NO	5,94	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,4	19,88	0,27	1,74	0,74	2,502	1,062	1,02	16,37	1,6	2,66	no liq.	16,37	-	NO	NO	NO	16,37	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,6	23,66	0,57	1,83	0,83	2,672	1,212	1,02	17,31	2,7	2,78	no liq.	17,31	-	NO	NO	NO	17,31	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,8	8,973	0,14	1,63	0,63	2,412	0,932	1,02	7,04	2,2	3,05	no liq.	7,04	-	NO	NO	NO	7,04	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
15,0	3,875	0,01	1,32	0,32	1,973	0,473	1,02	4,02	0,7	3,05	no liq.	4,02	-	NO	NO	NO	4,02	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
																						4,86	**7,75**	**5,70**

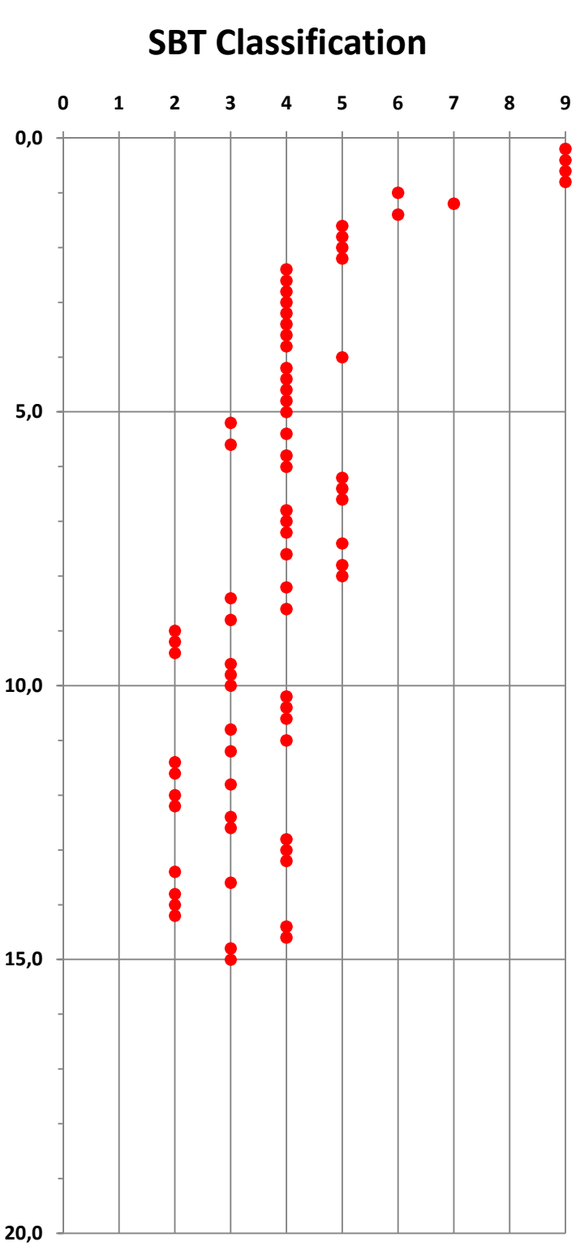
Località	**Ambito ARS_SB_II - Padulle**
Prova	**CPT 1-2021**
Data	**20/10/2021**

Località	**Ambito ARS_SB_II - Padulle**
Prova	**CPT 1-2021**
Data	**20/10/2021**

Profondità Falda	**2,0 m dal p.c.**
Magnitudo momento (da INGV, 2004)	**6,14**
A_{max} (g) (da EERA)	**0,227**







1 = Organic soil : peats

2 = Clay

3 = Silty clay

4 = Clayey silt to silty clay

5 = Sandy silt

6 = Silty sand

7 = Sand with silt

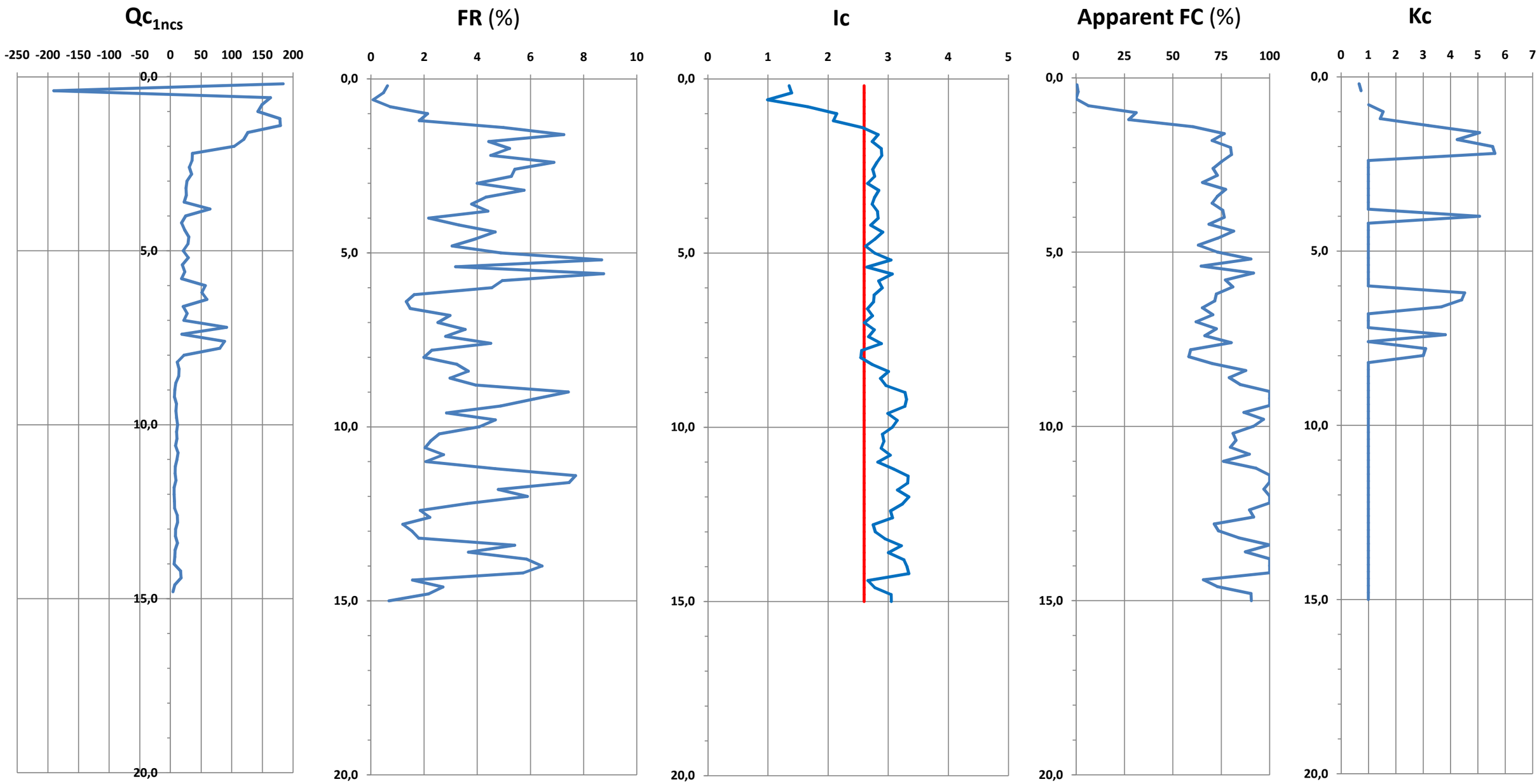
8 = Clean sand

9 = Gravelly sand to dense sand

da Robertson, 1990
(modificato da Fred Yi, 2010)

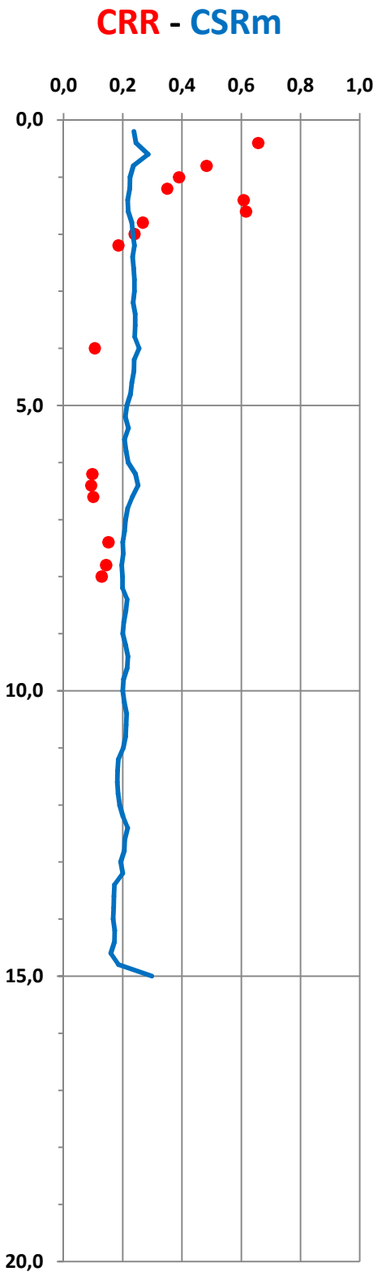
Località	**Ambito ARS_SB_II - Padulle**
Prova	**CPT 1-2021**
Data	**20/10/2021**

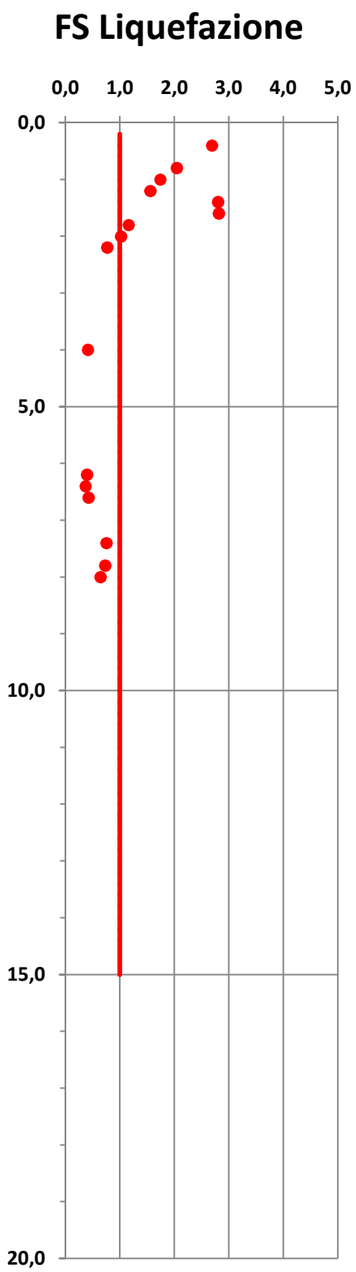
Qc_{1ncs}	**Resistenza alla punta normalizzata da Robertson e Wride, 1998 (sabbie con fini)**
FR (%)	**Normalised Friction Ratio**
Ic	**Indice del Comportamento del Suolo (STB) da Robertson e Wride, 1998**
Apparent FC (%)	**Contenuto apparente in fini da Fred Yi, 2010**
Kc	**Fattore correttivo per la presenza di fini da Robertson e Wride, 1998**

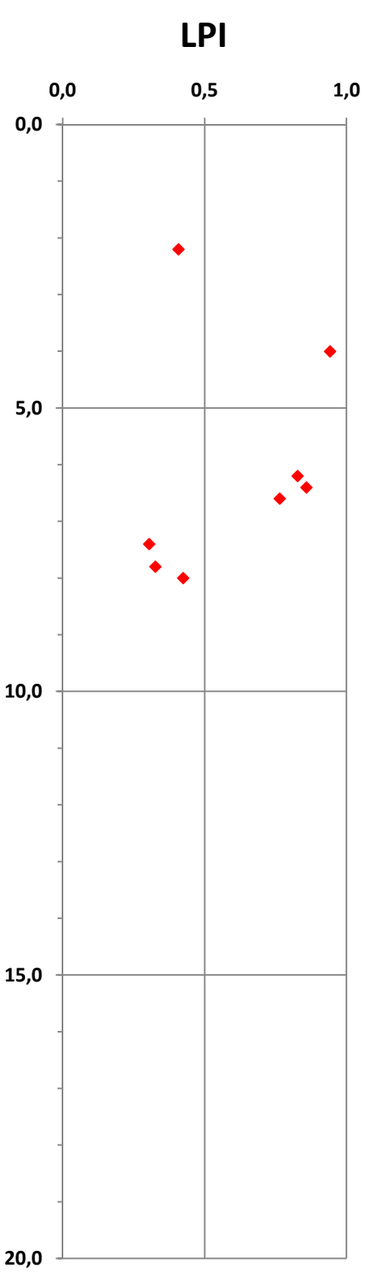


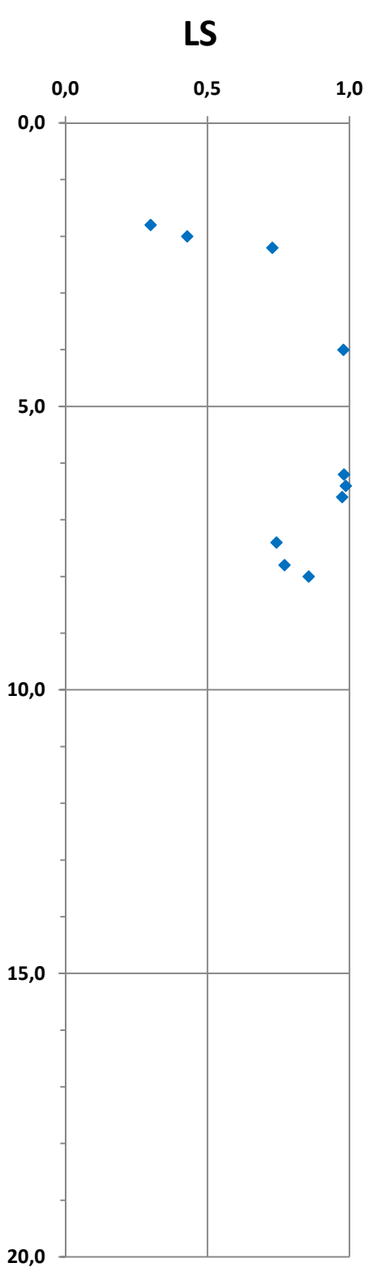
Località	Ambito ARS_SB_II - Padulle
Prova	CPT 1-2021
Data	20/10/2021

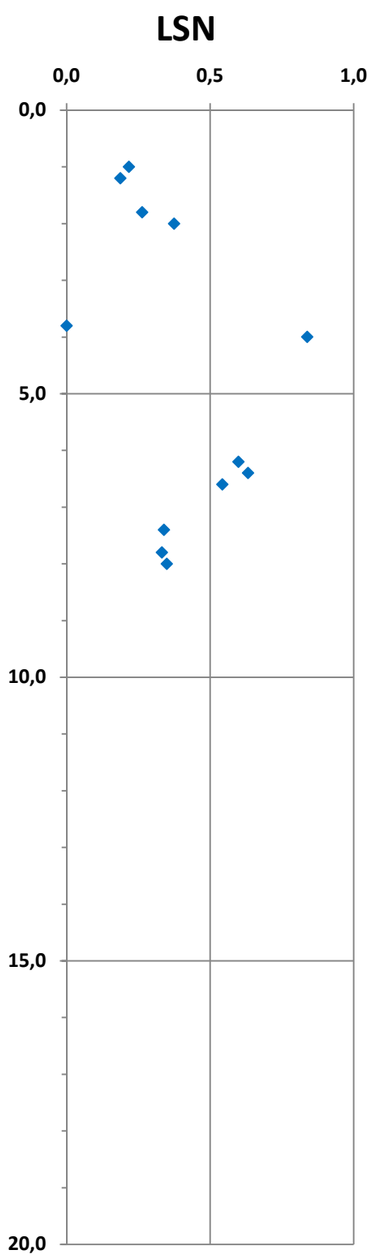
CRR	Rapporto di resistenza ciclica (Robertson e Wride, 1998)
CSRm	Rapporto di tensione ciclica (Robertson e Wride, 1998)
FS	Fattore di Sicurezza alla Liquefazione (Robertson e Wride, 1998)
LPI	Indice di Potenziale Liquefazione (Iwasaki et alii, 1978)
LS	Indice di Severità di Liquefazione (Sonmez & Gokceoglu, 2005)
LSN	Numero di Severità della Liquefazione (Tonkin & Taylor, 2013)











LPI	Classe di Pericolosità
0	Non Liquefacibile
1 < LPI < 2	Potenziale Basso
3 < LPI < 5	Potenziale Moderato
6 < LPI < 15	Potenziale Alto
LPI > 16	Potenziale Molto alto
4,86	Classe di Pericolosità
	Potenziale Moderato

LS	Classe di Severità
LS = 0	Non liquefacibile
0 < LS < 15	Molto bassa
15 < LS < 35	Bassa
35 < LS < 65	Moderata
65 < LS < 85	Alta
85 < LS < 100	Molto alta
7,75	Classe di Severità
	Molto bassa

LSN	Effetti connessi
0 < LSN < 10	Nessuna o limitata manifestazione di liquefazione
10 < LSN < 20	Minori manifestazioni di liquefazione, limitati sifonamenti
20 < LSN < 30	Moderate manifestazioni di liquefazione, con sifonamenti e qualche danno strutturale
30 < LSN < 40	Manifestazioni di liquefazione da moderate a forti, cedimenti possono causare danni strutturali
40 < LSN < 50	Importanti manifestazioni di liquefazione, ondulazioni e danni in superficie, forti cedimenti totali e differenziali della struttura
LSN > 50	Forti danni, estese evidenze di liquefazione in superficie, forti cedimenti totali e differenziali delle strutture, danni ai servizi
5,70	Effetti connessi
	Nessuna o limitata manifestazione di liquefazione

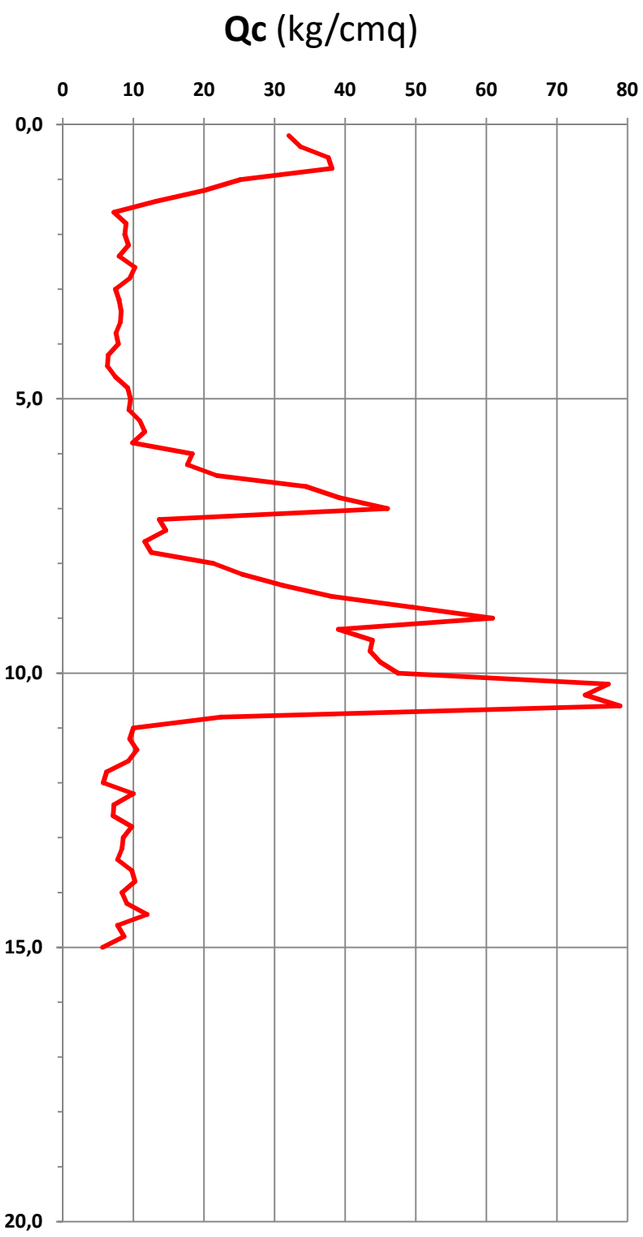
Prof.	Qc	fs	γ	γ'	σ	σ'	Pa	Q (n=1)	F	I_C	VERIF. 1	$Q_{c1N\ (coesivi)}$	$Q_{c1N\ (incoerenti)}$	$I_{C\ INC}$	K_C	Q_{c1Ncs}	$Q_{c1Ncs\ DEF}$	CRR	CSR	MSF	FL	LPI	LS	LSN
0,2	32,02	0,84	1,89	0,89	0,038	0,018	1,02	1800,90	2,6	1,65	POT. LIQ.	-	237,66	1,97	1,26	300,29	300,29	2,598	0,315	1,429	11,77	0,00	0,00	0,00
0,4	33,65	0,47	1,82	0,82	0,073	0,033	1,02	1020,33	1,4	1,44	POT. LIQ.	-	183,30	1,83	1,13	206,29	206,29	0,896	0,328	1,429	3,91	0,00	0,00	0,00
0,6	37,63	0,43	1,82	0,82	0,109	0,049	1,02	766,95	1,1	1,41	POT. LIQ.	-	167,98	1,78	1,09	183,93	183,93	0,659	0,329	1,429	2,86	0,00	0,00	0,00
0,8	38,14	1,05	1,92	0,92	0,154	0,074	1,02	515,72	2,8	1,82	POT. LIQ.	-	138,60	2,13	1,50	208,49	208,49	0,923	0,307	1,429	4,29	0,00	0,00	0,00
1,0	25,19	0,27	1,74	0,74	0,174	0,074	1,02	336,08	1,1	1,56	POT. LIQ.	-	90,79	1,96	1,25	113,67	113,67	0,217	0,344	1,429	0,90	0,19	0,57	1,69
1,2	19,99	0,63	1,84	0,84	0,220	0,100	1,02	197,04	3,2	2,09	POT. LIQ.	-	61,80	2,41	2,34	144,51	144,51	0,361	0,321	1,429	1,60	0,00	0,00	0,19
1,4	13,15	0,88	1,86	0,86	0,260	0,120	1,02	107,18	6,9	2,51	POT. LIQ.	-	36,81	2,80	4,81	176,90	176,90	0,595	0,316	1,429	2,69	0,00	0,00	0,00
1,6	7,24	0,31	1,71	0,71	0,274	0,114	1,02	60,91	4,5	2,52	POT. LIQ.	-	20,40	2,86	5,32	108,55	108,55	0,199	0,349	1,429	0,81	0,34	0,68	1,13
1,8	8,973	0,27	1,71	0,71	0,307	0,127	1,02	68,26	3,1	2,37	POT. LIQ.	-	24,09	2,70	4,01	96,55	96,55	0,164	0,350	1,429	0,67	0,61	0,84	1,34
2,0	8,769	0,33	1,73	0,73	0,346	0,146	1,02	57,89	3,9	2,49	POT. LIQ.	-	21,87	2,80	4,76	104,03	104,03	0,185	0,343	1,429	0,77	0,41	0,73	1,13
2,2	9,279	0,35	1,74	0,74	0,382	0,162	1,02	54,97	3,9	2,50	POT. LIQ.	-	21,90	2,80	4,74	103,88	103,88	0,184	0,340	1,429	0,78	0,40	0,72	1,03
2,4	7,954	0,32	1,72	0,72	0,413	0,173	1,02	43,65	4,2	2,60	POT. LIQ.	-	17,97	2,88	5,54	99,53	99,53	0,172	0,343	1,429	0,72	0,50	0,79	0,98
2,6	10,2	0,44	1,77	0,77	0,460	0,200	1,02	48,78	4,5	2,59	POT. LIQ.	-	21,58	2,84	5,16	111,35	111,35	0,208	0,329	1,429	0,90	0,17	0,57	0,51
2,8	9,483	0,47	1,77	0,77	0,496	0,216	1,02	41,62	5,2	2,68	no liq.	41,62	-	NO	NO	NO	41,62	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,0	7,444	0,44	1,76	0,76	0,527	0,227	1,02	30,54	6,4	2,83	no liq.	30,54	-	NO	NO	NO	30,54	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,2	7,954	0,33	1,72	0,72	0,551	0,231	1,02	31,99	4,4	2,71	no liq.	31,99	-	NO	NO	NO	31,99	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,4	8,26	0,34	1,73	0,73	0,587	0,247	1,02	31,00	4,4	2,72	no liq.	31,00	-	NO	NO	NO	31,00	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,6	8,158	0,38	1,74	0,74	0,627	0,267	1,02	28,25	5,0	2,79	no liq.	28,25	-	NO	NO	NO	28,25	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
3,8	7,546	0,37	1,73	0,73	0,659	0,279	1,02	24,69	5,3	2,85	no liq.	24,69	-	NO	NO	NO	24,69	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,0	7,852	0,26	1,69	0,69	0,677	0,277	1,02	25,86	3,6	2,72	no liq.	25,86	-	NO	NO	NO	25,86	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,2	6,424	0,23	1,67	0,67	0,703	0,283	1,02	20,18	4,1	2,83	no liq.	20,18	-	NO	NO	NO	20,18	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,4	6,322	0,28	1,70	0,70	0,747	0,307	1,02	18,19	5,1	2,93	no liq.	18,19	-	NO	NO	NO	18,19	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,6	7,444	0,26	1,69	0,69	0,778	0,318	1,02	20,95	3,8	2,81	no liq.	20,95	-	NO	NO	NO	20,95	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
4,8	9,177	0,38	1,75	0,75	0,838	0,358	1,02	23,30	4,5	2,82	no liq.	23,30	-	NO	NO	NO	23,30	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,0	9,585	0,50	1,78	0,78	0,890	0,390	1,02	22,32	5,7	2,90	no liq.	22,32	-	NO	NO	NO	22,32	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,2	9,381	0,52	1,78	0,78	0,928	0,408	1,02	20,73	6,2	2,95	no liq.	20,73	-	NO	NO	NO	20,73	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,4	10,91	0,56	1,80	0,80	0,971	0,431	1,02	23,07	5,6	2,88	no liq.	23,07	-	NO	NO	NO	23,07	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,6	11,62	0,54	1,80	0,80	1,006	0,446	1,02	23,81	5,1	2,84	no liq.	23,81	-	NO	NO	NO	23,81	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
5,8	9,891	0,21	1,68	0,68	0,974	0,394	1,02	22,63	2,4	2,65	no liq.	22,63	-	NO	NO	NO	22,63	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
6,0	18,35	0,33	1,76	0,76	1,055	0,455	1,02	38,06	1,9	2,41	POT. LIQ.	-	25,41	2,55	3,06	77,73	77,73	0,124	0,308	1,429	0,57	0,60	0,91	0,48
6,2	17,64	0,46	1,79	0,79	1,112	0,492	1,02	33,60	2,8	2,56	POT. LIQ.	-	23,34	2,68	3,85	89,85	89,85	0,147	0,299	1,429	0,70	0,41	0,80	0,41
6,4	21,82	0,62	1,84	0,84	1,176	0,536	1,02	38,50	3,0	2,54	POT. LIQ.	-	27,92	2,64	3,60	100,52	100,52	0,174	0,289	1,429	0,86	0,19	0,62	0,32
6,6	34,47	0,70	1,87	0,87	1,234	0,574	1,02	57,90	2,1	2,30	POT. LIQ.	-	43,44	2,40	2,30	99,75	99,75	0,172	0,281	1,429	0,87	0,17	0,60	0,31
6,8	39,16	0,34	1,79	0,79	1,217	0,537	1,02	70,66	0,9	2,00	POT. LIQ.	-	51,27	2,11	1,48	75,96	75,96	0,121	0,295	1,429	0,58	0,55	0,90	0,43
7,0	45,99	0,59	1,86	0,86	1,302	0,602	1,02	74,25	1,3	2,08	POT. LIQ.	-	57,04	2,17	1,60	91,54	91,54	0,151	0,280	1,429	0,77	0,30	0,73	0,36
7,2	13,66	0,41	1,77	0,77	1,275	0,555	1,02	22,32	3,3	2,74	no liq.	22,32	-	NO	NO	NO	22,32	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
7,4	14,58	0,23	1,70	0,70	1,260	0,520	1,02	25,61	1,7	2,52	POT. LIQ.	-	18,29	2,64	3,58	65,51	65,51	0,106	0,311	1,429	0,49	0,65	0,95	0,45
7,6	11,62	0,23	1,70	0,70	1,289	0,529	1,02	19,55	2,2	2,68	no liq.	19,55	-	NO	NO	NO	19,55	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
7,8	12,54	0,26	1,72	0,72	1,338	0,558	1,02	20,08	2,4	2,69	no liq.	20,08	-	NO	NO	NO	20,08	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
8,0	21,31	0,63	1,84	0,84	1,471	0,671	1,02	29,56	3,2	2,64	no liq.	29,56	-	NO	NO	NO	29,56	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
8,2	25,39	0,31	1,76	0,76	1,445	0,625	1,02	38,32	1,3	2,31	POT. LIQ.	-	30,00	2,40	2,30	69,03	69,03	0,111	0,290	1,429	0,54	0,54	0,93	0,39
8,4	31,2	0,18	1,71	0,71	1,435	0,595	1,02	50,02	0,6	2,04	POT. LIQ.	-	38,21	2,14	1,53	58,60	58,60	0,099	0,301	1,429	0,47	0,62	0,96	0,43
8,6	38,03	0,04	1,54	0,54	1,324	0,464	1,02	79,09	0,1	1,59	POT. LIQ.	-	53,36	1,76	1,08	57,65	57,65	0,098	0,354	1,429	0,39	0,69	0,98	0,43
8,8	49,56	0,07	1,62	0,62	1,424	0,544	1,02	88,56	0,2	1,57	POT. LIQ.	-	64,66	1,71	1,04	67,38	67,38	0,108	0,323	1,429	0,48	0,58	0,96	0,37
9,0	60,88	0,05	1,59	0,59	1,428	0,528	1,02	112,59	0,1	1,43	POT. LIQ.	-	81,02	1,57	0,94	76,22	76,22	0,121	0,332	1,429	0,52	0,53	0,94	0,32
9,2	39,05	0,05	1,56	0,56	1,436	0,516	1,02	72,86	0,1	1,64	POT. LIQ.	-	51,85	1,79	1,10	56,85	56,85	0,097	0,339	1,429	0,41	0,64	0,98	0,40
9,4	43,85	0,06	1,59	0,59	1,491	0,551	1,02	76,91	0,1	1,62	POT. LIQ.	-	56,52	1,75	1,07	60,71	60,71	0,101	0,328	1,429	0,44	0,60	0,97	0,37
9,6	43,54	0,07	1,60	0,60	1,537	0,577	1,02	72,85	0,2	1,66	POT. LIQ.	-	54,78	1,78	1,09	59,83	59,83	0,100	0,321	1,429	0,44	0,58	0,97	0,37
9,8	44,97	0,08	1,62	0,62	1,586	0,606	1,02	71,55	0,2	1,68	POT. LIQ.	-	55,17	1,79	1,10	60,60	60,60	0,101	0,314	1,429	0,46	0,55	0,97	0,36
10,0	47,52	0,08	1,62	0,62	1,623	0,623	1,02	73,72	0,2	1,66	POT. LIQ.	-	57,60	1,77	1,08	62,35	62,35	0,103	0,311	1,429	0,47	0,53	0,96	0,34
10,2	77,29	0,10	1,68	0,68	1,710	0,690	1,02	109,62	0,1	1,47	POT. LIQ.	-	90,14	1,56	0,93	83,69	83,69	0,135	0,294	1,429	0,65	0,34	0,85	0,27
10,4	74,03	0,07	1,63	0,63	1,700	0,660	1,02	109,56	0,1	1,45	POT. LIQ.	-	88,15	1,54	0,92	80,68	80,68	0,129	0,303	1,429	0,61	0,38	0,89	0,27
10,6	78,92	0,11	1,69	0,69	1,789	0,729	1,02	105,80	0,1	1,50	POT. LIQ.	-	89,46	1,57	0,94	83,91	83,91	0,135	0,287	1,429	0,67	0,31	0,83	0,25

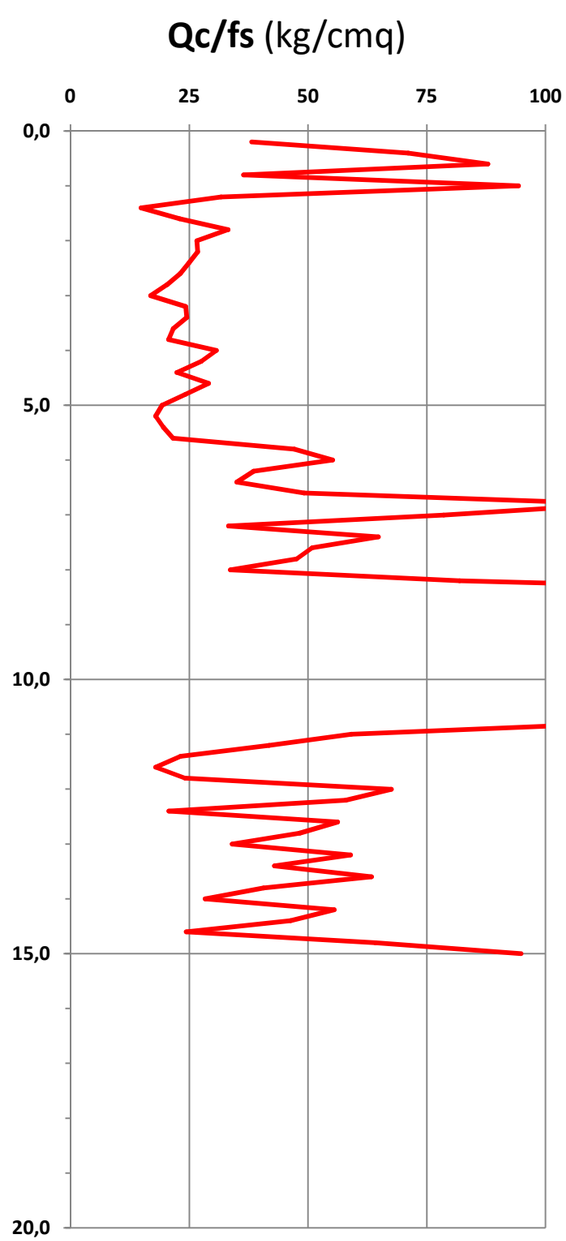
10,8	22,43	0,20	1,70	0,70	1,839	0,759	1,02	27,12	0,9	2,36	POT. LIQ.	-	23,40	2,42	2,39	55,86	55,86	0,096	0,282	1,429	0,49	0,47	0,95	0,35
11,0	9,993	0,17	1,65	0,65	1,820	0,720	1,02	11,35	2,1	2,86	no liq.	11,35	-	NO	NO	NO	11,35	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,2	9,483	0,23	1,69	0,69	1,889	0,769	1,02	9,87	3,0	3,00	no liq.	9,87	-	NO	NO	NO	9,87	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,4	10,5	0,45	1,77	0,77	2,020	0,880	1,02	9,64	5,3	3,16	no liq.	9,64	-	NO	NO	NO	9,64	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,6	9,279	0,52	1,78	0,78	2,068	0,908	1,02	7,94	7,2	3,30	no liq.	7,94	-	NO	NO	NO	7,94	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
11,8	6,22	0,26	1,69	0,69	1,989	0,809	1,02	5,23	6,1	3,40	no liq.	5,23	-	NO	NO	NO	5,23	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,0	5,71	0,08	1,55	0,55	1,862	0,662	1,02	5,82	2,2	3,12	no liq.	5,82	-	NO	NO	NO	5,82	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,2	9,993	0,17	1,66	0,66	2,021	0,801	1,02	9,95	2,2	2,92	no liq.	9,95	-	NO	NO	NO	9,95	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,4	7,24	0,35	1,73	0,73	2,141	0,901	1,02	5,66	6,8	3,41	no liq.	5,66	-	NO	NO	NO	5,66	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,6	7,138	0,13	1,61	0,61	2,026	0,766	1,02	6,68	2,5	3,10	no liq.	6,68	-	NO	NO	NO	6,68	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
12,8	9,789	0,20	1,68	0,68	2,144	0,864	1,02	8,85	2,7	3,01	no liq.	8,85	-	NO	NO	NO	8,85	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,0	8,565	0,25	1,70	0,70	2,204	0,904	1,02	7,04	4,0	3,19	no liq.	7,04	-	NO	NO	NO	7,04	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,2	8,362	0,14	1,63	0,63	2,148	0,828	1,02	7,51	2,3	3,04	no liq.	7,51	-	NO	NO	NO	7,51	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,4	7,75	0,18	1,65	0,65	2,214	0,874	1,02	6,33	3,3	3,18	no liq.	6,33	-	NO	NO	NO	6,33	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,6	9,789	0,15	1,64	0,64	2,235	0,875	1,02	8,64	2,0	2,96	no liq.	8,64	-	NO	NO	NO	8,64	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
13,8	10,2	0,25	1,70	0,70	2,348	0,968	1,02	8,11	3,2	3,09	no liq.	8,11	-	NO	NO	NO	8,11	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,0	8,362	0,29	1,71	0,71	2,398	0,998	1,02	5,98	4,9	3,30	no liq.	5,98	-	NO	NO	NO	5,98	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,2	9,075	0,16	1,65	0,65	2,338	0,918	1,02	7,34	2,4	3,06	no liq.	7,34	-	NO	NO	NO	7,34	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,4	11,93	0,26	1,71	0,71	2,463	1,023	1,02	9,25	2,7	3,00	no liq.	9,25	-	NO	NO	NO	9,25	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,6	7,75	0,32	1,72	0,72	2,509	1,049	1,02	5,00	6,1	3,42	no liq.	5,00	-	NO	NO	NO	5,00	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
14,8	8,667	0,14	1,62	0,62	2,401	0,921	1,02	6,80	2,2	3,06	no liq.	6,80	-	NO	NO	NO	6,80	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
15,0	5,608	0,06	1,51	0,51	2,263	0,763	1,02	4,38	1,8	3,19	no liq.	4,38	-	NO	NO	NO	4,38	0,00	0,00	1,429	0,00	0,00	0,00	0,00
																						12,81	**23,55**	**15,66**

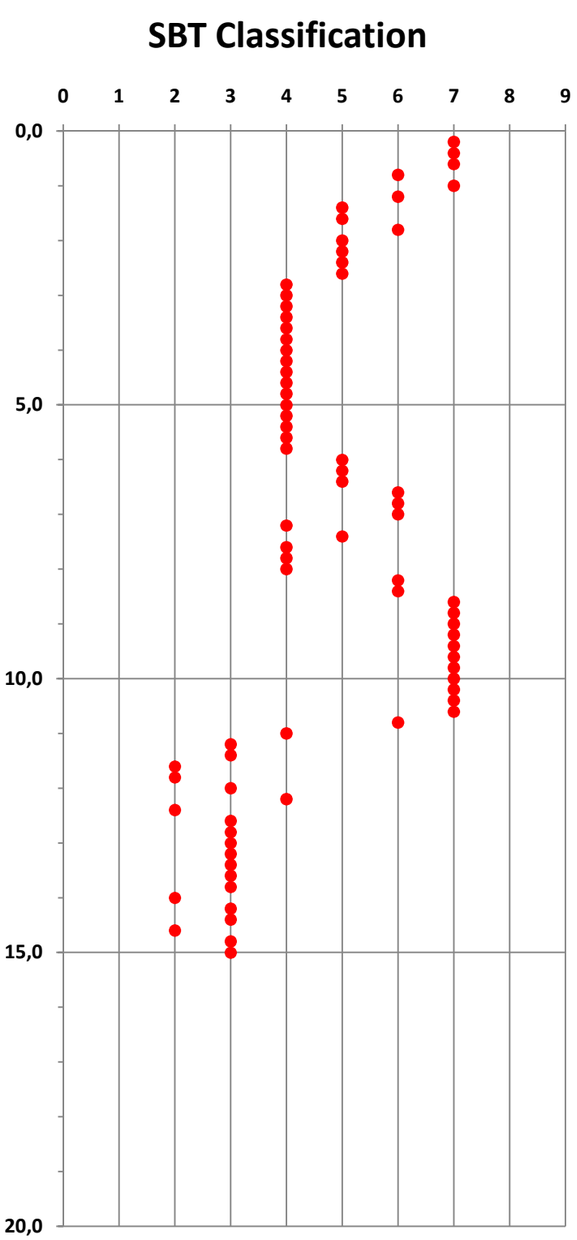
Località	**Ambito ARS_SB_II - Padulle**
Prova	**CPT 2-2021**
Data	**20/10/2021**

Località	**Ambito ARS_SB_II - Padulle**
Prova	**CPT 2-2021**
Data	**20/10/2021**

Profondità Falda	**2,0 m dal p.c.**
Magnitudo momento (da INGV, 2004)	**6,14**
A_{max} (g) (da EERA)	**0,227**







1 = Organic soil : peats

2 = Clay

3 = Silty clay

4 = Clayey silt to silty clay

5 = Sandy silt

6 = Silty sand

7 = Sand with silt

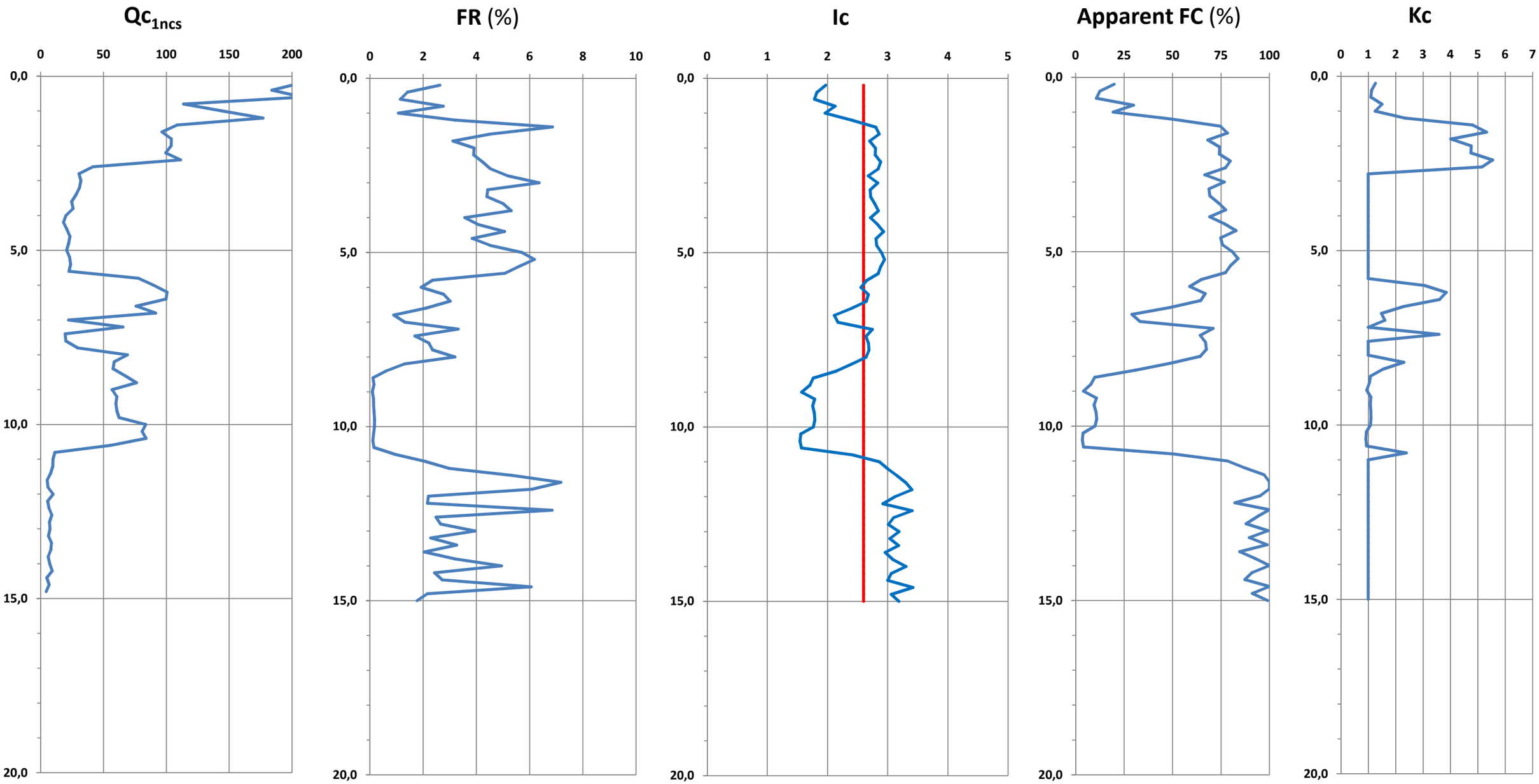
8 = Clean sand

9 = Gravelly sand to dense sand

da Robertson, 1990
(modificato da Fred Yi, 2010)

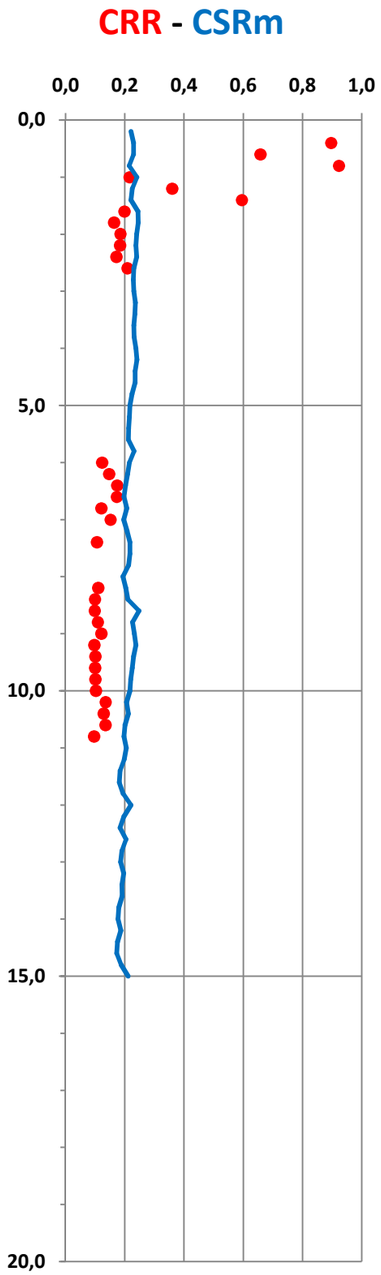
Località	**Ambito ARS_SB_II - Padulle**
Prova	**CPT 2-2021**
Data	**20/10/2021**

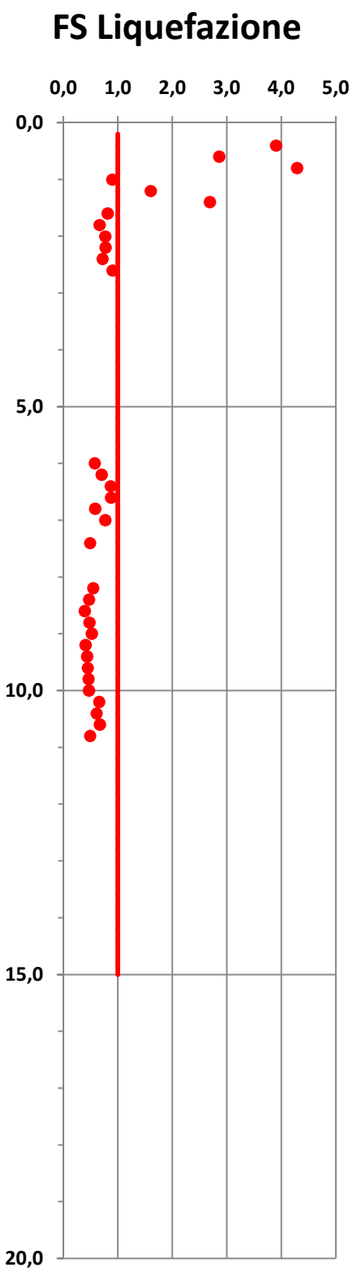
Qc_{1ncs}	**Resistenza alla punta normalizzata da Robertson e Wride, 1998 (sabbie con fini)**
FR (%)	**Normalised Friction Ratio**
Ic	**Indice del Comportamento del Suolo (STB) da Robertson e Wride, 1998**
Apparent FC (%)	**Contenuto apparente in fini da Fred Yi, 2010**
Kc	**Fattore correttivo per la presenza di fini da Robertson e Wride, 1998**

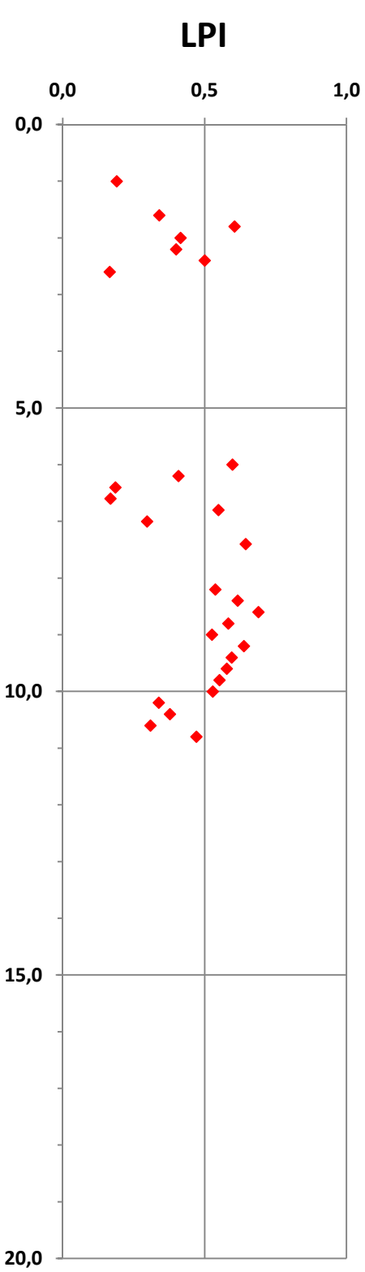


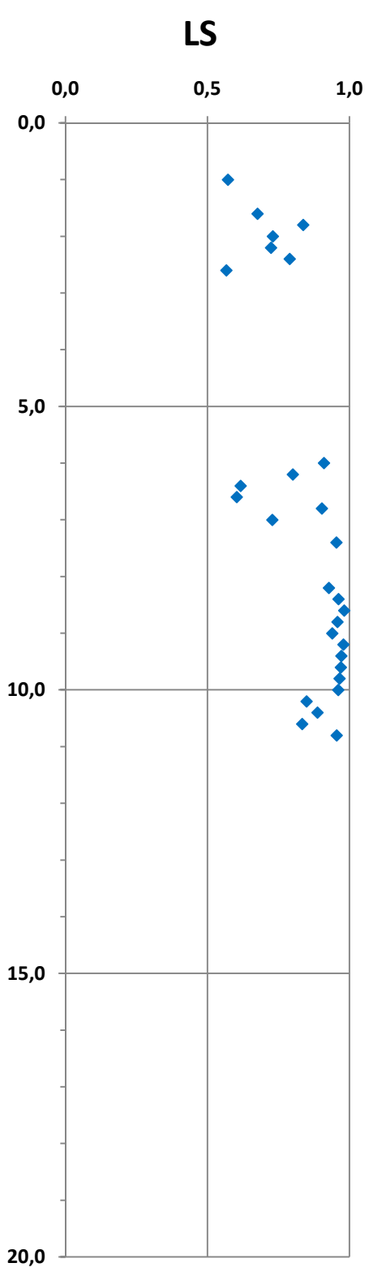
Località	Ambito ARS_SB_II - Padulle
Prova	CPT 2-2021
Data	20/10/2021

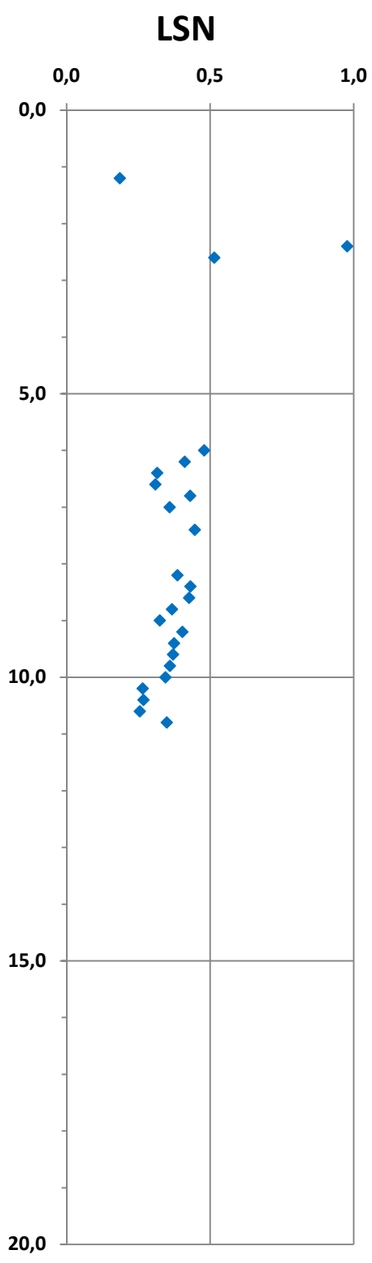
CRR	Rapporto di resistenza ciclica (Robertson e Wride, 1998)
CSRm	Rapporto di tensione ciclica (Robertson e Wride, 1998)
FS	Fattore di Sicurezza alla Liquefazione (Robertson e Wride, 1998)
LPI	Indice di Potenziale Liquefazione (Iwasaki et alii, 1978)
LS	Indice di Severità di Liquefazione (Sonmez & Gokceoglu, 2005)
LSN	Numero di Severità della Liquefazione (Tonkin & Taylor, 2013)











LPI	Classe di Pericolosità
0	Non Liquefacibile
1 < LPI < 2	Potenziale Basso
3 < LPI < 5	Potenziale Moderato
6 < LPI < 15	Potenziale Alto
LPI > 16	Potenziale Molto alto
12,81	Classe di Pericolosità
	Potenziale Alto

LS	Classe di Severità
LS = 0	Non liquefacibile
0 < LS < 15	Molto bassa
15 < LS < 35	Bassa
35 < LS < 65	Moderata
65 < LS < 85	Alta
85 < LS < 100	Molto alta
23,55	Classe di Severità
	Bassa

LSN	Effetti connessi
0 < LSN < 10	Nessuna o limitata manifestazione di liquefazione
10 < LSN < 20	Minori manifestazioni di liquefazione, limitati sifonamenti
20 < LSN < 30	Moderate manifestazioni di liquefazione, con sifonamenti e qualche danno strutturale
30 < LSN < 40	Manifestazioni di liquefazione da moderate a forti, cedimenti possono causare danni strutturali
40 < LSN < 50	Importanti manifestazioni di liquefazione, ondulazioni e danni in superficie, forti cedimenti totali e differenziali della struttura
LSN > 50	Forti danni, estese evidenze di liquefazione in superficie, forti cedimenti totali e differenziali delle strutture, danni ai servizi
15,66	Effetti connessi
	Minori manifestazioni di liquefazione, limitati sifonamenti

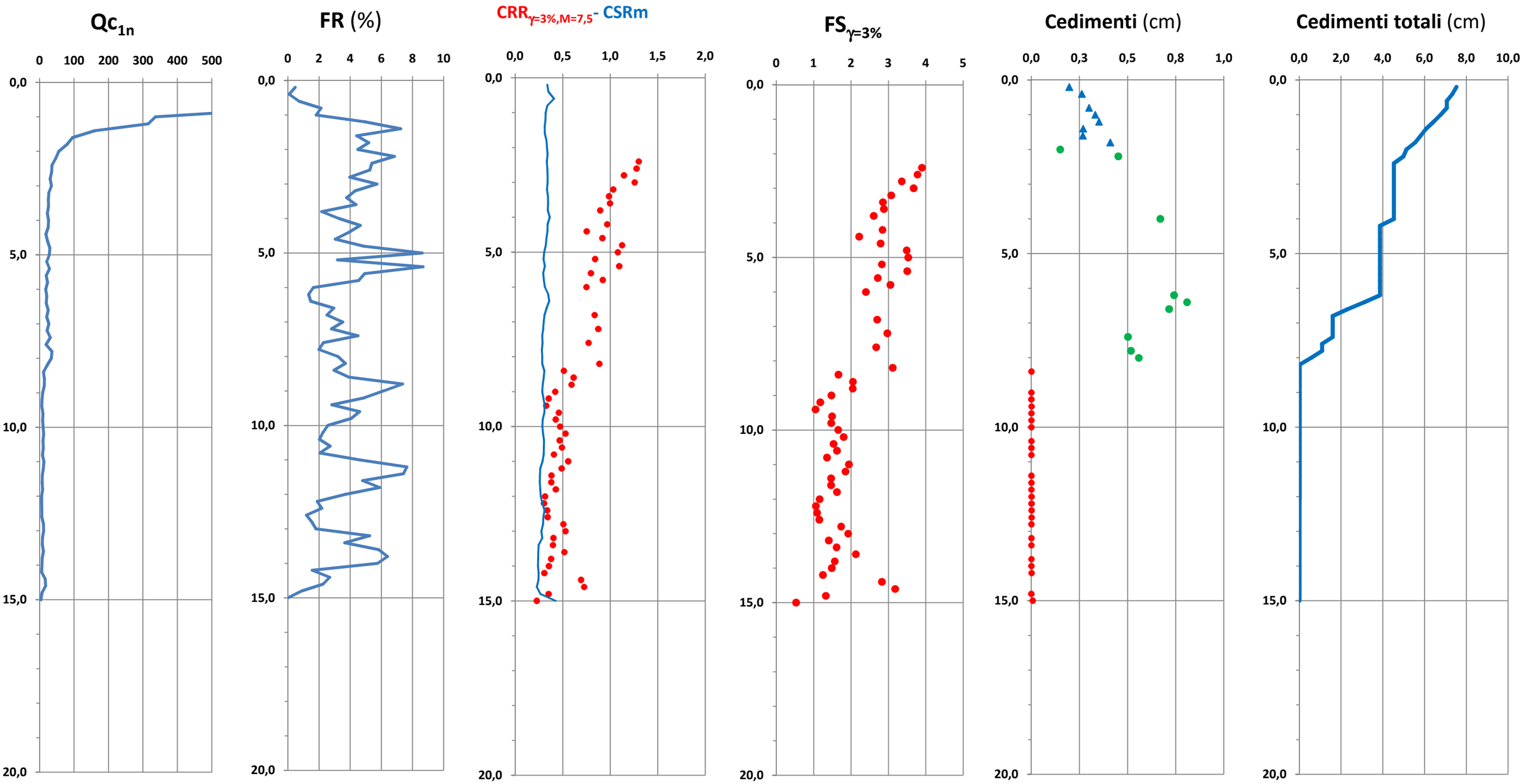
All. 6

Tabulati inerenti la stima dei cedimenti post-sismici

Località	Ambito ARS_SB_II - Padulle
Prova	CPT 1-2021
Data	20/10/2021

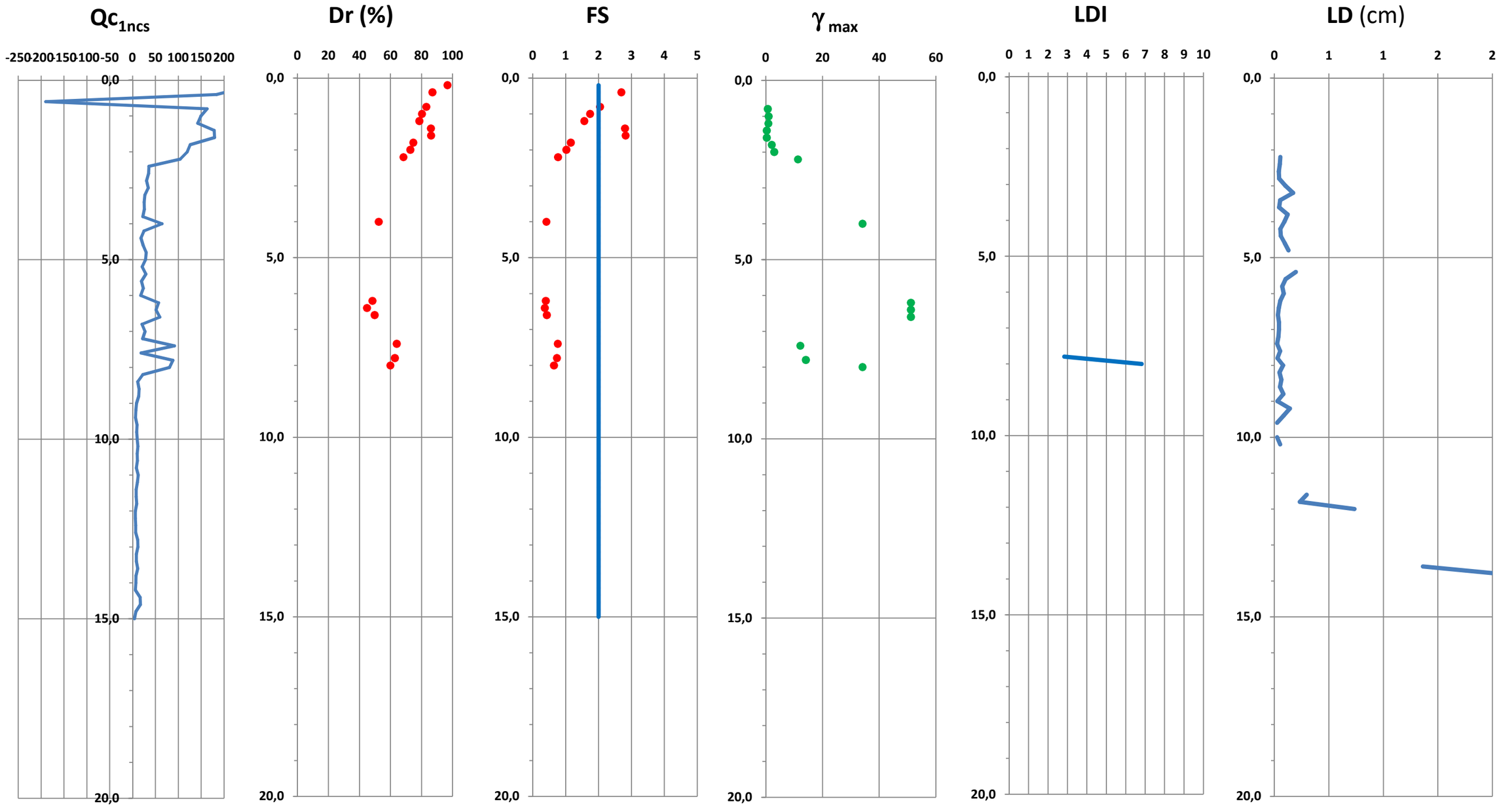
Qc_{1n}	Resistenza alla punta normalizzata da Robertson e Wride, 1998
FR (%)	Normalised Friction Ratio
$CRR_{\gamma=3\%,M=7,5}$ - CSRm	CRR = Rapporto di resistenza ciclica CSR = Rapporto di tensione ciclica
$FS_{\gamma=3\%}$	Fattore di Sicurezza alla Liquefazione

Cedimento in t. granulari saturi (Zhang et alii, 2002)	●	5,12
Cedimento in t. fini saturi (Robertson, 2009)	●	0,02
Cedimento in t. granulari non saturi (Fred Yi, 2010)	▲	2,39
Cedimenti totali		7,53



Località	Ambito ARS_SB_II - Padulle
Prova	CPT 1-2021
Data	20/10/2021

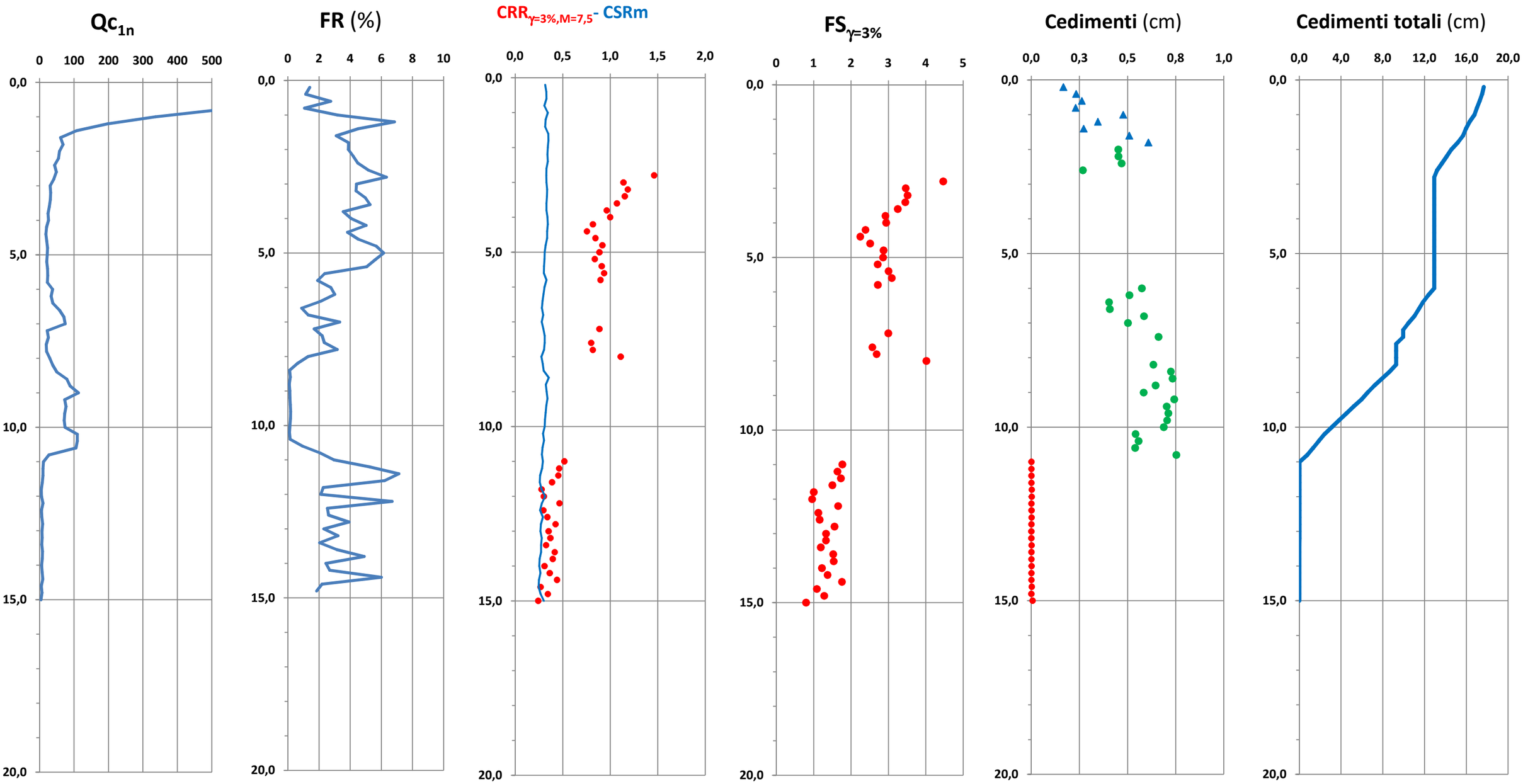
Qc_{1ncs}	Resistenza alla punta normalizzata da Robertson e Wride, 1998 (sabbie con fini)	
Dr (%)	Densità relativa	
FS	Fattore di Sicurezza alla Liquefazione	
γ_{max}	Massima deformazione di taglio ciclica	
LDI	Indice di spostamento laterale	
LD	Spostamento laterale (pendenza 0,2% - no free face)	10,38



Località	Ambito ARS_SB_II - Padulle
Prova	CPT 2-2021
Data	20/10/2021

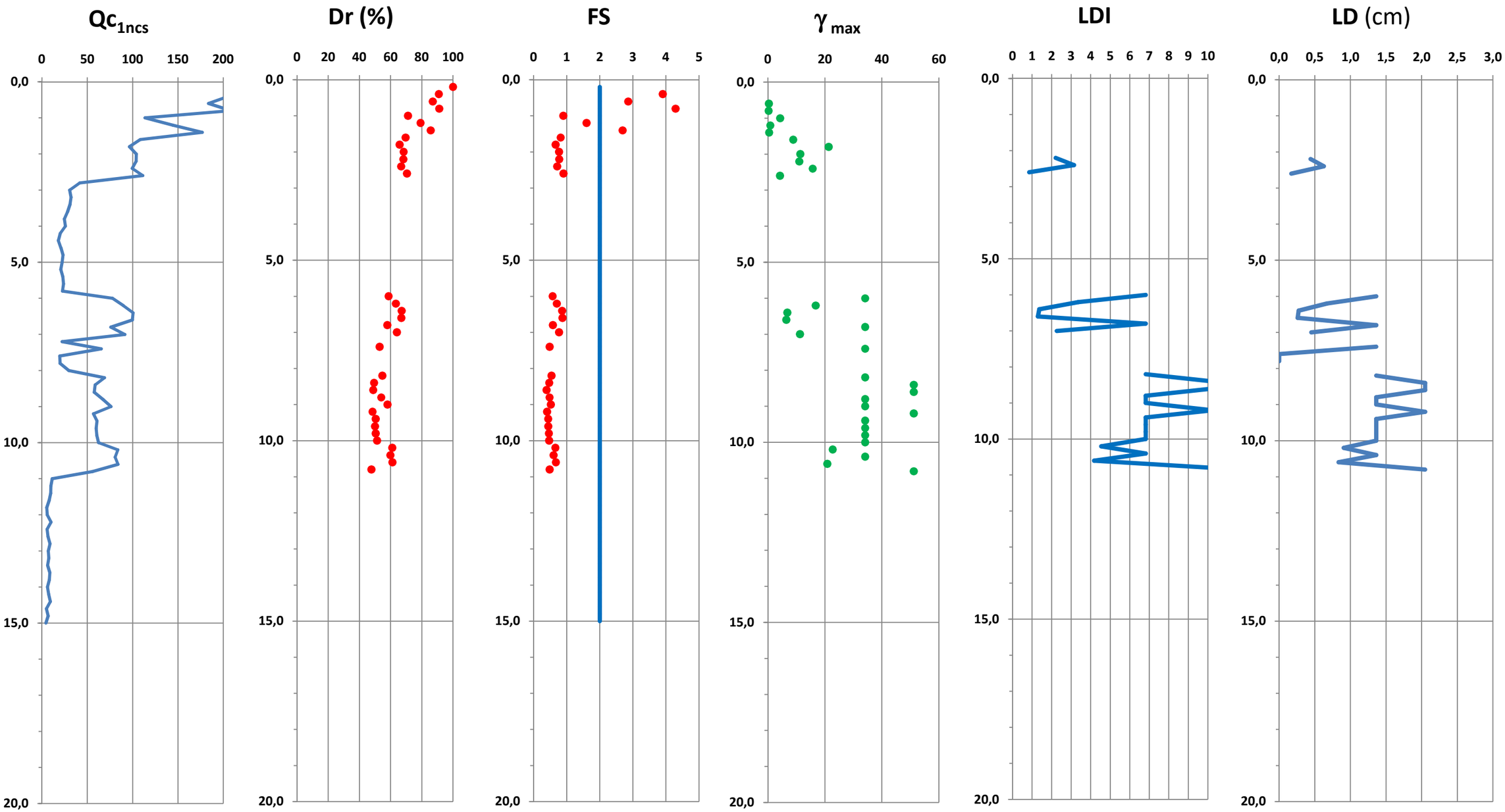
Qc_{1n}	Resistenza alla punta normalizzata da Robertson e Wride, 1998
FR (%)	Normalised Friction Ratio
$CRR_{\gamma=3\%,M=7,5}$ - CSRm	CRR = Rapporto di resistenza ciclica CSR = Rapporto di tensione ciclica
$FS_{\gamma=3\%}$	Fattore di Sicurezza alla Liquefazione

Cedimento in t. granulari saturi (Zhang et alii, 2002)	●	14,55
Cedimento in t. fini saturi (Robertson, 2009)	●	0,02
Cedimento in t. granulari non saturi (Fred Yi, 2010)	▲	3,11
Cedimenti totali		17,68



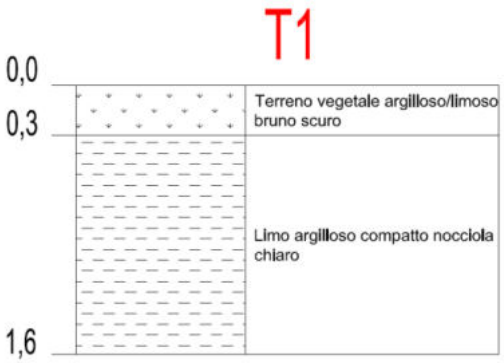
Località	Ambito ARS_SB_II - Padulle
Prova	CPT 2-2021
Data	20/10/2021

Qc_{1ncs}	Resistenza alla punta normalizzata da Robertson e Wride, 1998 (sabbie con fini)	
Dr (%)	Densità relativa	
FS	Fattore di Sicurezza alla Liquefazione	
γ_{max}	Massima deformazione di taglio ciclica	
LDI	Indice di spostamento laterale	
LD	Spostamento laterale (pendenza 0,2% - no free face)	27,84



All. 7

Documentazione inerente le trincee di esplorazione



T1 : Vista della prova

T1 : Vista dello scavo

T1 : Vista del cumulo di limo

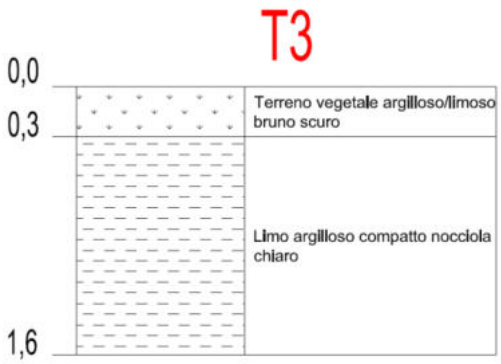
T1 : Quartatura del campione

T2 : Vista della prova

T2 : Vista dello scavo

T2 : Vista del cumulo di limo

T2 : Quartatura del campione



T3 : Vista della prova

T3 : Vista dello scavo

T3 : Vista del cumulo di limo

T3 : Quartatura del campione

T4 : Vista della prova

T4 : Vista dello scavo

T4 : Vista del cumulo di limo

T4 : Quartatura del campione

All. 8

Certificati di analisi dei campioni di suolo

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl
sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

RAPPORTO DI PROVA

Tipologia del campione:	**SUOLO**
Etichettatura e sigilli:	**A**
Numero del rapporto di prova:	**21BO16087**
Committente:	**Studio di Geologia Dott. Grillini Luca via Stoppato Alessandro, 16 40128 Bologna (BO)**
Produttore del campione:	**RENO S.r.l. e altri Ambito ARS.SB_II di Padulle 40010 Sala Bolognese (BO)**
Data di ricevimento del campione:	**19/10/2021**
Data inizio analisi:	**19/10/2021**
Data fine analisi:	**26/10/2021**
Data di campionamento:	**19/10/2021**
Campionamento a cura di:	**Dott. Geol. Luca Grillini**
Luogo di campionamento:	**Ambito ARS.SB_II di Padulle - Sala Bolognese (BO)**
Verbale di campionamento:	**A cura del prelevatore**

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16087** del **26/10/2021**

Risultati analitici

	Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
	Residuo secco a 105 °C ISO 11465:1993 p.to 7.2	% m/m	**84,1**	±8,6	
	Scheletro DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met. II.1	g/kg	**< 1**		
	Arsenico EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**5,7**	±3,2	< 20
	Cadmio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 2
	Cobalto EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**17,2**	±6,0	< 20
	Cromo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**57,6**	±7,7	< 150
	Cromo VI EPA 3060A 1996 + EPA 7196A 1992	mg/kg s.s.	**< 0,4**		< 2
	Mercurio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 1
	Nichel EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**70,0**	±9,4	< 120
	Piombo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**19,5**	±11,2	< 100
	Rame EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**51,9**	±7,2	< 120
	Zinco EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**113,5**	±15,2	< 150
	Idrocarburi leggeri (C<12) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 1**		< 10
	Idrocarburi (C12 - C40) ISPRA Man 75 2011	mg/kg s.s.	**11**	±5	< 50
*	Amianto (fibre libere) DM 06/09/1994 ALLEGATO 1	mg/kg s.s.	**< 100**		< 1000
	Benzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,1
	Etilbenzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
	Stirene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
	Toluene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
	Xilene (somma di isomeri) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,04**		< 0,5

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16087** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
m+p-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
o-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
Sommatoria organici aromatici EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,1**		
Benzo(a)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(k)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(g,h,i)perilene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(a)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(b)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Dibenzo(a,e)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,l)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,i)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Indeno(1,2,3-c,d)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Crisene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,09**		< 10

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 - Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale)
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

21BO16087/01

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl

sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

segue Rapporto di prova n°: **21BO16087** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16087/01

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
PREPARAZIONE ELUATO SECONDO UNI EN 12457-2:2004				
Massa campione di Laboratorio UNI EN 12457-2:2004	kg	**> 2,1**		
Frazione maggiore di 4 mm UNI EN 12457-2:2004	%	**100**		
Frazione non macinabile UNI EN 12457-2:2004	%	**< 1**		
Massa grezza pesata UNI EN 12457-2:2004	kg	**0,106**	±0,005	
Umidità UNI EN 12457-2:2004	%	**15,9**	±1,6	
Data effettuazione eluato UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
Volume di liscivante UNI EN 12457-2:2004	l	**0,878**	±0,088	
pH fine eluizione. UNI EN 12457-2:2004	upH	**8,90**	±0,22	
Conducibilità. UNI EN 27888:1995	microS/cm	**262,4**	±21,0	
Temperatura UNI EN 12457-2:2004	°C	**20,0**	±2,0	
Data ultima prova in bianco UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
PROVE SU ELUATO DA TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA (DM 05/02/98-DM186/06)				
Arsenico. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Bario. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**0,0047**	±0,0009	
Berillio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,004
Cadmio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,005
Cobalto. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,050
Cromo totale. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,050

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16087** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16087/01

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
Rame. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 1,000
Mercurio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,0001**		< 0,001
Nichel. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,020
Piombo. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,010
Selenio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Vanadio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,010**		
Zinco. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 3
Cloruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 12,5**		
Fluoruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 0,25**		< 1,5
Solfati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**112,34**	±13,48	< 250
* Cianuri. UNI EN 12457-2:2004+UNI EN 16192:2012+EN ISO 14403:2002	mg/l	**< 0,01**		< 0,050
Nitrati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 5**		
* Amianto. D.Lgs. 17/03/95 All. B	mg/l	**< 0,1**		
* Richiesta chimica di ossigeno (COD) UNI EN 12457-2:2004 + ISO 15705:2002	mg/l	**< 15**		
pH. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + ISO 10523:2008	upH	**8,9**	±0,2	

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Lim.: Limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2.
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

(*): Prova non accreditata da ACCREDIA

L'incertezza è espressa nelle unità di misura del parametro a cui si riferiscono. Il fattore di copertura è pari a k=2 con un intervallo di probabilità del 95%.

GIUDIZI DI CONFORMITA':
Visti i risultati delle analisi effettuate sui parametri richiesti dal committente (ottenuti sul passante al setaccio a 2mm e riportati sul campione) e limitatamente agli stessi si può affermare che il terreno corrispondente al campione ricevuto mostra livelli di inquinamento CONFORMI ai limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 -

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16087** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale).
In base ai risultati ottenuti dalle analisi del test di cessione effettuato come da D.M. 5-2-98 ALL. 3 risulta CONFORME ai limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2 (acque sotterranee).
Il giudizio di conformità è reso considerando l'incertezza di misura come previsto dalla Tabella 1 della Linea Guida ILAC-G8:09/2019 ed utilizzata in base all'approccio della regola decisionale binaria (senza guard band).

NOTE RELATIVE ALL'INCERTEZZA DI MISURA:
Ai dati non è stato applicato il recupero in quanto sia in sede di validazione che durante i controlli qualità lo stesso si è mantenuto almeno nel range 70 - 130%.
Qualora l'attività di campionamento sia effettuata dal Laboratorio e sia sotto accreditamento, l'incertezza riportata sul rapporto di prova si riferisce alla sola fase analitica.

NOTE RELATIVE AL CAMPIONAMENTO:
L'attività di campionamento è intesa accreditata solo qualora questa sia associata ad una o più prove accreditate, salvo l'attività di campionamento non preveda attività di misura in campo sotto accreditamento.
Qualora il campionamento sia effettuato dal Cliente, i risultati si riferiscono alla porzione di campione così come consegnata dal Cliente in Laboratorio.

IL LABORATORIO NON E' RESPONSABILE DELLE SEGUENTI INFORMAZIONI FORNITE DAL CLIENTE:
1) Descrizione "Etichettatura e Sigilli" ove diverso da "Nessuna etichettatura e nessun sigillo";
2) Codice CER (in caso di campione costituito da Rifiuto);
3) Data di campionamento;
4) Verbale di campionamento (qualora redatto e fornito dal Cliente);
5) Identificazione del campionatore (qualora diverso dal personale di Laboratorio);
6) Metodo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio);
7) Luogo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio).

Il Responsabile di Laboratorio

Dott.Chim. Francesco Stante

Fine del rapporto di prova n° **21BO16087**

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl
sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

RAPPORTO DI PROVA

Tipologia del campione:	**SUOLO**
Etichettatura e sigilli:	**B**
Numero del rapporto di prova:	**21BO16088**
Committente:	**Studio di Geologia Dott. Grillini Luca via Stoppato Alessandro, 16 40128 Bologna (BO)**
Produttore del campione:	**RENO S.r.l. e altri Ambito ARS.SB_II di Padulle 40010 Sala Bolognese (BO)**
Data di ricevimento del campione:	**19/10/2021**
Data inizio analisi:	**19/10/2021**
Data fine analisi:	**26/10/2021**
Data di campionamento:	**19/10/2021**
Campionamento a cura di:	**Dott. Geol. Luca Grillini**
Luogo di campionamento:	**Ambito ARS.SB_II di Padulle - Sala Bolognese (BO)**
Verbale di campionamento:	**A cura del prelevatore**

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16088** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
Residuo secco a 105 °C ISO 11465:1993 p.to 7.2	% m/m	**85,0**	±8,7	
Scheletro DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met. II.1	g/kg	**< 1**		
Arsenico EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**5,8**	±3,2	< 20
Cadmio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 2
Cobalto EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**16,6**	±5,8	< 20
Cromo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**54,4**	±7,3	< 150
Cromo VI EPA 3060A 1996 + EPA 7196A 1992	mg/kg s.s.	**< 0,4**		< 2
Mercurio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 1
Nichel EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**64,1**	±8,6	< 120
Piombo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**19,2**	±11,1	< 100
Rame EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**53,6**	±7,4	< 120
Zinco EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**107,7**	±14,4	< 150
Idrocarburi leggeri (C<12) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 1**		< 10
Idrocarburi (C12 - C40) ISPRA Man 75 2011	mg/kg s.s.	**10**	±5	< 50
* Amianto (fibre libere) DM 06/09/1994 ALLEGATO 1	mg/kg s.s.	**< 100**		< 1000
Benzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,1
Etilbenzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
Stirene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
Toluene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
Xilene (somma di isomeri) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,04**		< 0,5

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16088** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
m+p-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
o-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
Sommatoria organici aromatici EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,1**		
Benzo(a)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(k)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(g,h,i)perilene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(a)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(b)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Dibenzo(a,e)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,l)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,i)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Indeno(1,2,3-c,d)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Crisene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,09**		< 10

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 - Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale)
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

21BO16088/01

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16088** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16088/01

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
PREPARAZIONE ELUATO SECONDO UNI EN 12457-2:2004				
Massa campione di Laboratorio UNI EN 12457-2:2004	kg	**> 2,1**		
Frazione maggiore di 4 mm UNI EN 12457-2:2004	%	**100**		
Frazione non macinabile UNI EN 12457-2:2004	%	**< 1**		
Massa grezza pesata UNI EN 12457-2:2004	kg	**0,106**	±0,005	
Umidità UNI EN 12457-2:2004	%	**15,0**	±1,5	
Data effettuazione eluato UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
Volume di liscivante UNI EN 12457-2:2004	l	**0,901**	±0,090	
pH fine eluizione. UNI EN 12457-2:2004	upH	**8,86**	±0,22	
Conducibilità. UNI EN 27888:1995	microS/cm	**< 80**		
Temperatura UNI EN 12457-2:2004	°C	**20,0**	±2,0	
Data ultima prova in bianco UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
PROVE SU ELUATO DA TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA (DM 05/02/98-DM186/06)				
Arsenico. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Bario. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**0,0070**	±0,0014	
Berillio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,004
Cadmio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,005
Cobalto. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,050
Cromo totale. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,050

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16088** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16088/01

Parametro / Metodo	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
Rame. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 1,000
Mercurio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,0001**		< 0,001
Nichel. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,020
Piombo. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,010
Selenio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Vanadio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,010**		
Zinco. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 3
Cloruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 12,5**		
Fluoruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**0,53**	±0,11	< 1,5
Solfati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 12,5**		< 250
* Cianuri. UNI EN 12457-2:2004+UNI EN 16192:2012+EN ISO 14403:2002	mg/l	**< 0,01**		< 0,050
Nitrati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 5**		
* Amianto. D.Lgs. 17/03/95 All. B	mg/l	**< 0,1**		
* Richiesta chimica di ossigeno (COD) UNI EN 12457-2:2004 + ISO 15705:2002	mg/l	**< 15**		
pH. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + ISO 10523:2008	upH	**8,9**	±0,2	

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Lim.: Limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2.
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

(*): Prova non accreditata da ACCREDIA

L'incertezza è espressa nelle unità di misura del parametro a cui si riferiscono. Il fattore di copertura è pari a k=2 con un intervallo di probabilità del 95%.

GIUDIZI DI CONFORMITA':
Visti i risultati delle analisi effettuate sui parametri richiesti dal committente (ottenuti sul passante al setaccio a 2mm e riportati sul campione) e limitatamente agli stessi si può affermare che il terreno corrispondente al campione ricevuto mostra livelli di inquinamento CONFORMI ai limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 -

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16088** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale).
In base ai risultati ottenuti dalle analisi del test di cessione effettuato come da D.M. 5-2-98 ALL. 3 risulta CONFORME ai limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2 (acque sotterranee).
Il giudizio di conformità è reso considerando l'incertezza di misura come previsto dalla Tabella 1 della Linea Guida ILAC-G8:09/2019 ed utilizzata in base all'approccio della regola decisionale binaria (senza guard band).

NOTE RELATIVE ALL'INCERTEZZA DI MISURA:
Ai dati non è stato applicato il recupero in quanto sia in sede di validazione che durante i controlli qualità lo stesso si è mantenuto almeno nel range 70 - 130%.
Qualora l'attività di campionamento sia effettuata dal Laboratorio e sia sotto accreditamento, l'incertezza riportata sul rapporto di prova si riferisce alla sola fase analitica.

NOTE RELATIVE AL CAMPIONAMENTO:
L'attività di campionamento è intesa accreditata solo qualora questa sia associata ad una o più prove accreditate, salvo l'attività di campionamento non preveda attività di misura in campo sotto accreditamento.
Qualora il campionamento sia effettuato dal Cliente, i risultati si riferiscono alla porzione di campione così come consegnata dal Cliente in Laboratorio.

IL LABORATORIO NON E' RESPONSABILE DELLE SEGUENTI INFORMAZIONI FORNITE DAL CLIENTE:
1) Descrizione "Etichettatura e Sigilli" ove diverso da "Nessuna etichettatura e nessun sigillo";
2) Codice CER (in caso di campione costituito da Rifiuto);
3) Data di campionamento;
4) Verbale di campionamento (qualora redatto e fornito dal Cliente);
5) Identificazione del campionatore (qualora diverso dal personale di Laboratorio);
6) Metodo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio);
7) Luogo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio).

Il Responsabile di Laboratorio

Dott.Chim. Francesco Stante

Fine del rapporto di prova n° **21BO16088**

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl
sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

RAPPORTO DI PROVA

Tipologia del campione:	**SUOLO**
Etichettatura e sigilli:	**C**
Numero del rapporto di prova:	**21BO16089**
Committente:	**Studio di Geologia Dott. Grillini Luca via Stoppato Alessandro, 16 40128 Bologna (BO)**
Produttore del campione:	**RENO S.r.l. e altri Ambito ARS.SB_II di Padulle 40010 Sala Bolognese (BO)**
Data di ricevimento del campione:	**19/10/2021**
Data inizio analisi:	**19/10/2021**
Data fine analisi:	**26/10/2021**
Data di campionamento:	**19/10/2021**
Campionamento a cura di:	**Dott. Geol. Luca Grillini**
Luogo di campionamento:	**Ambito ARS.SB_II di Padulle - Sala Bolognese (BO)**
Verbale di campionamento:	**A cura del prelevatore**

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl

sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

segue Rapporto di prova n°: **21BO16089** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
Residuo secco a 105 °C ISO 11465:1993 p.to 7.2	% m/m	**85,1**	±8,7	
Scheletro DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met. II.1	g/kg	**< 1**		
Arsenico EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**5,5**	±3,1	< 20
Cadmio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 2
Cobalto EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**16,8**	±5,9	< 20
Cromo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**54,4**	±7,3	< 150
Cromo VI EPA 3060A 1996 + EPA 7196A 1992	mg/kg s.s.	**< 0,4**		< 2
Mercurio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 1
Nichel EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**66,2**	±8,9	< 120
Piombo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**18,9**	±10,9	< 100
Rame EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**49,4**	±30,7	< 120
Zinco EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**106,4**	±14,3	< 150
Idrocarburi leggeri (C<12) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 1**		< 10
Idrocarburi (C12 - C40) ISPRA Man 75 2011	mg/kg s.s.	**12**	±5	< 50
* Amianto (fibre libere) DM 06/09/1994 ALLEGATO 1	mg/kg s.s.	**< 100**		< 1000
Benzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,1
Etilbenzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
Stirene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
Toluene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
Xilene (somma di isomeri) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,04**		< 0,5

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16089** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
m+p-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
o-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
Sommatoria organici aromatici EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,1**		
Benzo(a)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(k)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(g,h,i)perilene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(a)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(b)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Dibenzo(a,e)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,l)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,i)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Indeno(1,2,3-c,d)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Crisene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,09**		< 10

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 - Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale)
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

21BO16089/01

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl

sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

segue Rapporto di prova n°: **21BO16089** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16089/01

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
PREPARAZIONE ELUATO SECONDO UNI EN 12457-2:2004				
Massa campione di Laboratorio UNI EN 12457-2:2004	kg	**> 2,1**		
Frazione maggiore di 4 mm UNI EN 12457-2:2004	%	**100**		
Frazione non macinabile UNI EN 12457-2:2004	%	**< 1**		
Massa grezza pesata UNI EN 12457-2:2004	kg	**0,106**	±0,005	
Umidità UNI EN 12457-2:2004	%	**14,9**	±1,5	
Data effettuazione eluato UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
Volume di liscivante UNI EN 12457-2:2004	l	**0,889**	±0,089	
pH fine eluizione. UNI EN 12457-2:2004	upH	**8,78**	±0,22	
Conducibilità. UNI EN 27888:1995	microS/cm	**< 80**		
Temperatura UNI EN 12457-2:2004	°C	**20,0**	±2,0	
Data ultima prova in bianco UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
PROVE SU ELUATO DA TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA (DM 05/02/98-DM186/06)				
Arsenico. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Bario. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**0,0069**	±0,0013	
Berillio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,004
Cadmio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,005
Cobalto. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,050
Cromo totale. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,050

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16089** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16089/01

Parametro / Metodo	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
Rame. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 1,000
Mercurio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,0001**		< 0,001
Nichel. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,020
Piombo. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,010
Selenio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Vanadio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,010**		
Zinco. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 3
Cloruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 12,5**		
Fluoruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**0,99**	±0,20	< 1,5
Solfati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 12,5**		< 250
* Cianuri. UNI EN 12457-2:2004+UNI EN 16192:2012+EN ISO 14403:2002	mg/l	**< 0,01**		< 0,050
Nitrati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**6,24**	±0,94	
* Amianto. D.Lgs. 17/03/95 All. B	mg/l	**< 0,1**		
* Richiesta chimica di ossigeno (COD) UNI EN 12457-2:2004 + ISO 15705:2002	mg/l	**< 15**		
pH. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + ISO 10523:2008	upH	**8,8**	±0,2	

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Lim.: Limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2.
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

(*): Prova non accreditata da ACCREDIA

L'incertezza è espressa nelle unità di misura del parametro a cui si riferiscono. Il fattore di copertura è pari a k=2 con un intervallo di probabilità del 95%.

GIUDIZI DI CONFORMITA':
Visti i risultati delle analisi effettuate sui parametri richiesti dal committente (ottenuti sul passante al setaccio a 2mm e riportati sul campione) e limitatamente agli stessi si può affermare che il terreno corrispondente al campione ricevuto mostra livelli di inquinamento CONFORMI ai limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 -

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16089** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale).
In base ai risultati ottenuti dalle analisi del test di cessione effettuato come da D.M. 5-2-98 ALL. 3 risulta CONFORME ai limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2 (acque sotterranee).
Il giudizio di conformità è reso considerando l'incertezza di misura come previsto dalla Tabella 1 della Linea Guida ILAC-G8:09/2019 ed utilizzata in base all'approccio della regola decisionale binaria (senza guard band).

NOTE RELATIVE ALL'INCERTEZZA DI MISURA:
Ai dati non è stato applicato il recupero in quanto sia in sede di validazione che durante i controlli qualità lo stesso si è mantenuto almeno nel range 70 - 130%.
Qualora l'attività di campionamento sia effettuata dal Laboratorio e sia sotto accreditamento, l'incertezza riportata sul rapporto di prova si riferisce alla sola fase analitica.

NOTE RELATIVE AL CAMPIONAMENTO:
L'attività di campionamento è intesa accreditata solo qualora questa sia associata ad una o più prove accreditate, salvo l'attività di campionamento non preveda attività di misura in campo sotto accreditamento.
Qualora il campionamento sia effettuato dal Cliente, i risultati si riferiscono alla porzione di campione così come consegnata dal Cliente in Laboratorio.

IL LABORATORIO NON E' RESPONSABILE DELLE SEGUENTI INFORMAZIONI FORNITE DAL CLIENTE:
1) Descrizione "Etichettatura e Sigilli" ove diverso da "Nessuna etichettatura e nessun sigillo";
2) Codice CER (in caso di campione costituito da Rifiuto);
3) Data di campionamento;
4) Verbale di campionamento (qualora redatto e fornito dal Cliente);
5) Identificazione del campionatore (qualora diverso dal personale di Laboratorio);
6) Metodo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio);
7) Luogo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio).

Il Responsabile di Laboratorio

Dott.Chim. Francesco Stante

Fine del rapporto di prova n° **21BO16089**

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl
sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

RAPPORTO DI PROVA

Tipologia del campione:	**SUOLO**
Etichettatura e sigilli:	**D**
Numero del rapporto di prova:	**21BO16090**
Committente:	**Studio di Geologia Dott. Grillini Luca via Stoppato Alessandro, 16 40128 Bologna (BO)**
Produttore del campione:	**RENO S.r.l. e altri Ambito ARS.SB_II di Padulle 40010 Sala Bolognese (BO)**
Data di ricevimento del campione:	**19/10/2021**
Data inizio analisi:	**19/10/2021**
Data fine analisi:	**26/10/2021**
Data di campionamento:	**19/10/2021**
Campionamento a cura di:	**Dott. Geol. Luca Grillini**
Luogo di campionamento:	**Ambito ARS.SB_II di Padulle - Sala Bolognese (BO)**
Verbale di campionamento:	**A cura del prelevatore**

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16090** del **26/10/2021**

Risultati analitici

	Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
	Residuo secco a 105 °C ISO 11465:1993 p.to 7.2	% m/m	**85,2**	±8,7	
	Scheletro DM 13/09/1999 SO GU n° 248 21/10/1999 Met. II.1	g/kg	**< 1**		
	Arsenico EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**4,4**	±2,4	< 20
	Cadmio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 2
	Cobalto EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**17,4**	±6,1	< 20
	Cromo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**50,8**	±6,8	< 150
	Cromo VI EPA 3060A 1996 + EPA 7196A 1992	mg/kg s.s.	**< 0,4**		< 2
	Mercurio EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,5**		< 1
	Nichel EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**62,6**	±8,4	< 120
	Piombo EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**17,4**	±10,0	< 100
	Rame EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**46,3**	±28,8	< 120
	Zinco EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018	mg/kg s.s.	**99,0**	±13,3	< 150
	Idrocarburi leggeri (C<12) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 1**		< 10
	Idrocarburi (C12 - C40) ISPRA Man 75 2011	mg/kg s.s.	**9**	±4	< 50
*	Amianto (fibre libere) DM 06/09/1994 ALLEGATO 1	mg/kg s.s.	**< 100**		< 1000
	Benzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,1
	Etilbenzene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
	Stirene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
	Toluene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		< 0,5
	Xilene (somma di isomeri) EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,04**		< 0,5

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16090** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
m+p-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
o-Xilene EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,02**		
Sommatoria organici aromatici EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018	mg/kg s.s.	**< 0,1**		
Benzo(a)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(k)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Benzo(g,h,i)perilene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(a)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Benzo(b)fluorantene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,5
Pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Dibenzo(a,e)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,l)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,i)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Dibenzo(a,h)antracene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Indeno(1,2,3-c,d)pirene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 0,1
Crisene EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,01**		< 5
Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34) EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018	mg/kg s.s.	**< 0,09**		< 10

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 - Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale)
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

21BO16090/01

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl

sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

segue Rapporto di prova n°: **21BO16090** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16090/01

Parametro *Metodo*	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
PREPARAZIONE ELUATO SECONDO UNI EN 12457-2:2004				
Massa campione di Laboratorio UNI EN 12457-2:2004	kg	**> 2,1**		
Frazione maggiore di 4 mm UNI EN 12457-2:2004	%	**100**		
Frazione non macinabile UNI EN 12457-2:2004	%	**< 1**		
Massa grezza pesata UNI EN 12457-2:2004	kg	**0,106**	±0,005	
Umidità UNI EN 12457-2:2004	%	**14,8**	±1,5	
Data effettuazione eluato UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
Volume di liscivante UNI EN 12457-2:2004	l	**0,890**	±0,089	
pH fine eluizione. UNI EN 12457-2:2004	upH	**8,93**	±0,22	
Conducibilità. UNI EN 27888:1995	microS/cm	**< 80**		
Temperatura UNI EN 12457-2:2004	°C	**20,0**	±2,0	
Data ultima prova in bianco UNI EN 12457-2:2004	data	**20/10/2021**		
PROVE SU ELUATO DA TEST DI CESSIONE IN ACQUA DEIONIZZATA (DM 05/02/98-DM186/06)				
Arsenico. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Bario. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**0,0067**	±0,0013	
Berillio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,004
Cadmio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,005
Cobalto. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,050
Cromo totale. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,050

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

LABORATORI CHIMICI **"STANTE"** srl

sede amministrativa e laboratorio centro nord: Via del Chiù, 68-70 - 40133 BOLOGNA - C.F. e P.IVA: 02579611209
- Tel. 051-384086 - Fax 051-384088 - Email: info@labstante.com - www.labstante.it -

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO EN ISO 9001:2015
E SISTEMA AMBIENTALE CERTIFICATO EN ISO 14001:2015

segue Rapporto di prova n°: **21BO16090** del **26/10/2021**

Risultati analitici

21BO16090/01

Parametro / Metodo	U.M.	Risultato	Incertezza	Limiti
Rame. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 1,000
Mercurio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,0001**		< 0,001
Nichel. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,020
Piombo. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,005**		< 0,010
Selenio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,001**		< 0,010
Vanadio. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**< 0,010**		
Zinco. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 17294-2:2005	mg/l	**0,015**	±0,002	< 3
Cloruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 12,5**		
Fluoruri. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**1,17**	±0,23	< 1,5
Solfati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 12,5**		< 250
* Cianuri. UNI EN 12457-2:2004+UNI EN 16192:2012+EN ISO 14403:2002	mg/l	**< 0,01**		< 0,050
Nitrati. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN ISO 10304-1:2009	mg/l	**< 5**		
* Amianto. D.Lgs. 17/03/95 All. B	mg/l	**< 0,1**		
* Richiesta chimica di ossigeno (COD) UNI EN 12457-2:2004 + ISO 15705:2002	mg/l	**< 15**		
pH. UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 16192:2012 + ISO 10523:2008	upH	**8,9**	±0,2	

Limiti: » D.Lgs 152/2006
Lim.: Limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2.
Il simbolo "<" riportato nei limiti sopra elencati va inteso come "inferiore o uguale".

(*): Prova non accreditata da ACCREDIA

L'incertezza è espressa nelle unità di misura del parametro a cui si riferiscono. Il fattore di copertura è pari a k=2 con un intervallo di probabilità del 95%.

GIUDIZI DI CONFORMITA':
Visti i risultati delle analisi effettuate sui parametri richiesti dal committente (ottenuti sul passante al setaccio a 2mm e riportati sul campione) e limitatamente agli stessi si può affermare che il terreno corrispondente al campione ricevuto mostra livelli di inquinamento CONFORMI ai limiti definiti dal D.Lgs. 152/2006 Parte IV - Titolo V - All. 5 - Tab. 1 -

Bologna lì: 26/10/2021

Il presente Rapporto di Prova si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prove ed è valido per tutti i casi previsti dalla legge come da R.D. 1/3/'28 n. 842, art 16.
Questo Rapporto di Prova non può essere riprodotto parzialmente salvo approvazione scritta del Laboratorio. Analisi eseguite presso la sede di Bologna

LAB N° 1051 L

segue Rapporto di prova n°: **21BO16090** del **26/10/2021**

Risultati analitici

Col. A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale).
In base ai risultati ottenuti dalle analisi del test di cessione effettuato come da D.M. 5-2-98 ALL. 3 risulta CONFORME ai limiti definiti dal D.Lgs 152/2006 titolo V all. 5 tabella 2 (acque sotterranee).
Il giudizio di conformità è reso considerando l'incertezza di misura come previsto dalla Tabella 1 della Linea Guida ILAC-G8:09/2019 ed utilizzata in base all'approccio della regola decisionale binaria (senza guard band).

NOTE RELATIVE ALL'INCERTEZZA DI MISURA:
Ai dati non è stato applicato il recupero in quanto sia in sede di validazione che durante i controlli qualità lo stesso si è mantenuto almeno nel range 70 - 130%.
Qualora l'attività di campionamento sia effettuata dal Laboratorio e sia sotto accreditamento, l'incertezza riportata sul rapporto di prova si riferisce alla sola fase analitica.

NOTE RELATIVE AL CAMPIONAMENTO:
L'attività di campionamento è intesa accreditata solo qualora questa sia associata ad una o più prove accreditate, salvo l'attività di campionamento non preveda attività di misura in campo sotto accreditamento.
Qualora il campionamento sia effettuato dal Cliente, i risultati si riferiscono alla porzione di campione così come consegnata dal Cliente in Laboratorio.

IL LABORATORIO NON E' RESPONSABILE DELLE SEGUENTI INFORMAZIONI FORNITE DAL CLIENTE:
1) Descrizione "Etichettatura e Sigilli" ove diverso da "Nessuna etichettatura e nessun sigillo";
2) Codice CER (in caso di campione costituito da Rifiuto);
3) Data di campionamento;
4) Verbale di campionamento (qualora redatto e fornito dal Cliente);
5) Identificazione del campionatore (qualora diverso dal personale di Laboratorio);
6) Metodo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio);
7) Luogo di campionamento (qualora il campionamento sia effettuato da personale diverso dal Laboratorio).

Il Responsabile di Laboratorio

Dott.Chim. Francesco Stante

Fine del rapporto di prova n° **21BO16090**