

COMUNE DI FERRARA

REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA SU TERRENO AGRICOLO EX DISCARICA DI POTENZA DI PICCO PARI A 28,1556 MWp E POTENZA NOMINALE PARI A 24,00 MW UBICATO IN PROSSIMITA' DI SP 19 VIA ERIDANO NEL COMUNE DI FERRARA

Progetto Elettrico

Per. Ind. Massimo Ghesini
Ing. Francesco Piergiovanni



Progetto Linea Elettrica

Geom. Stelio Poli
Ing. Chiara Baldi
Geom. Valentina Cristofori

polienergiesrl

Ambiente

Ing. Roberta Mazzolani
Ing. David Negrini

Studio Associato Ne.Ma
Ingegneria Ambiente Sicurezza

Via Confini 24/a - 48015 Cervia (RA)
RIVA 02653670394

Geologia e Acustica

Dott.ssa Giulia Bastia
Dott. Maurizio Castellari
Dott.ssa Marta Cristiani



Progetto Strutturale

Ing. Gianluca Ruggi



Progetto Architettonico

Arch. Antonio Gasparri
Arch. Andrea Ricci Bitti

Collaboratori

Arch. Isabella Cevolani
Arch. Agnese Di Tirro
Arch. Beatrice Mari
Arch. Francesco Ricci Bitti
Arch. Valeria Tedaldi
Arch. Cecilia Venieri
Dott. Cristian Griguoli



COMMITTENTE: C.L. SOLAR SRL

p.IVA 02697670392

Legale rappresentante: **Cristiano Vitali**

C.F. VTLCST67R26H199U

PROGETTISTA: Geologo Maurizio Castellari

C.F. CSTMRZ60R01E289N

N. ELABORATO

F3.2

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA E DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA CABINA CL SOLAR

SCALA

RIFERIMENTO PRATICA

IMPIANTO FV MANUZZI

DATA

05/07/2023

REVISIONE

General contractor

PROTESA
A COMPANY OF 

Protesa spa

Via Ugo la Malfa n.24 Imola 40026 (BO)

telefono 0542 644069 mail info@protesa.net sito www.protesa.net

Proprietà riservata. È vietata la riproduzione totale e parziale e/o la comunicazione a terzi del presente elaborato e calcolo ad esso relativo che non siano espressamente autorizzate.
In mancanza di rispetto gli interessati si riservano il diritto di procedere a termini di legge.

file CARTIGLIO MANUZZI.dwg

Sommario

1	Premessa	3
2	Normative e riferimenti tecnici.....	4
3	Vincolistica.....	5
3.1	Piano di gestione del rischio alluvioni	5
4	Inquadramento geologico generale	6
4.1	Inquadramento geologico e geomorfologico di dettaglio	7
5	Indagini geognostiche	9
5.1	Interpretazione stratigrafica.....	9
6	Sismicità dell'area.....	11
6.1	Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HVSR	13
6.2	Verifica a liquefazione	20
7	Conclusioni.....	22

1 Premessa

Su incarico della committenza viene redatta la presente relazione allo scopo di fornire i parametri geologici e sismici necessari per il progetto di una cabina di trasformazione a servizio di un impianto fotovoltaico. L'area oggetto di studio si trova a nord ovest di Ferrara, in via delle bonifiche.

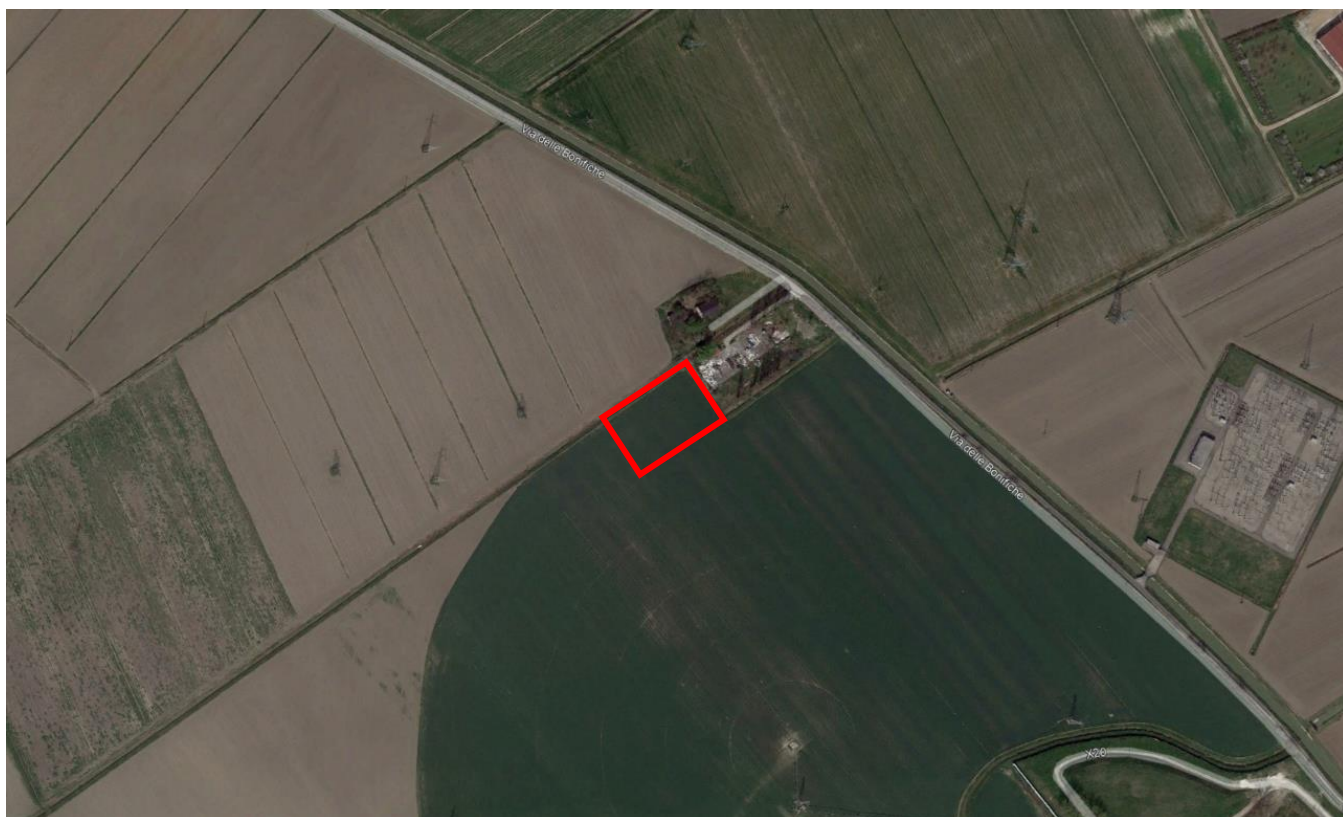


Figura 1. – Inquadramento territoriale

2 Normative e riferimenti tecnici

Relativamente alla parte geologica, si fa riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 17.01.2018 *“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 *“Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008*;
- Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20/03/2003 n.3274 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- DGR n. 1878/2011 del 19.12.2011 *“Approvazione dell'atto di indirizzo recante la modulistica unificata Regionale relativa ai procedimenti in materia sismica”*;
- DGR n. 1373/2011 del 26.09.2011 della Regione Emilia-Romagna.

4 Inquadramento geologico generale

L'assetto strutturale delle successioni sepolte plio-pleistoceniche nel settore di pianura in esame è dato da una serie di pieghe e thrust ad andamento parallelo con orientazione circa NO-SE.

Il Foglio si estende in un settore caratterizzato da un prima fascia meridionale di pieghe e sovrascorrimenti sepolti lungo la direzione Minerbio - S. Giorgio di Piano, più prossima al margine appenninico e circa parallela ad esso ("pieghe romagnole") e da una seconda fascia settentrionale, più esterna e ampia, che si sviluppa a nord della direttrice S. Pietro in Casale - pieve di Cento con forma arcuata e concavità rivolta verso il margine appenninico ("pieghe ferraresi", op. cit.). L'insieme di questi elementi rappresentano la culminazione strutturale che delimita verso nord un ampio bacino di piggy-back all'interno del quale si sono depositi cospicui spessori di sedimento della successione pliocenica e quaternaria continentale a ridosso del margine appenninico.

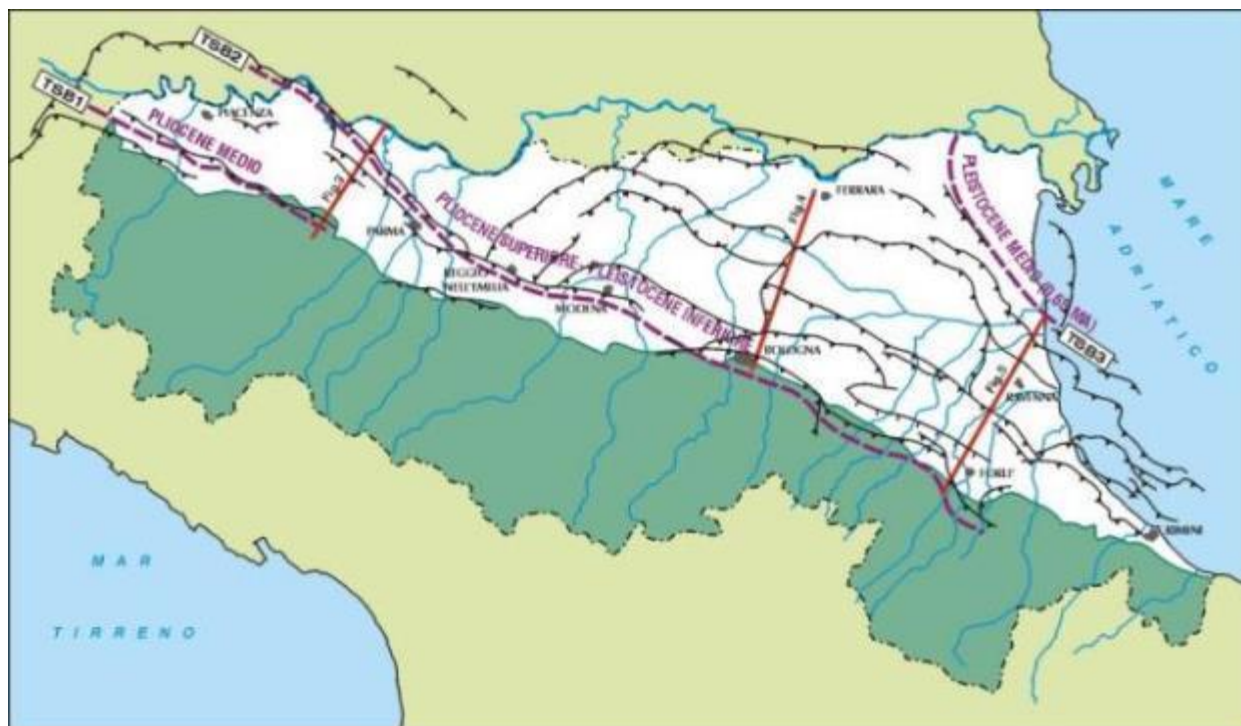


Fig. 7 - Fasi di migrazione della Transizione Scarpata Sottomarina - Piana Bacinale nell'area di studio dal Pliocene medio al Pleistocene medio.

SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES8)

Questo subsistema è attraversato per intero dalla gran parte delle indagini geognostiche della banca dati geologici. Trattandosi dell'unità affiorante e spesso solo una ventina di metri è l'unità meglio caratterizzata fra i depositi quaternari della pianura, per quanto riguarda sia la superficie sia il sottosuolo. La continuità fisica dei suoi depositi e delle superfici che la definiscono lungo tutta la pianura emiliano-romagnola orientale. Nei settori intravallivi e allo sbocco delle valli dei fogli immediatamente a sud del foglio 203, aEs8 è dato da depositi fluviali organizzati in vari ordini di

terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da tracimazioni fluviali argillose, limose e sabbiose, variamente pedogenizzate. Questi depositi passano, nel settore di pianura alluvionale del Foglio 203, a depositi di tracimazione fluviale (all'interno dei quali è stato possibile distinguere depositi sabbioso-limosi di canale, argine e rotta fluviale dai depositi argillosi e limosi di piana inondabile) che caratterizzano quasi tutta l'area in esame. Nel margine NE del foglio questi depositi alluvionali passano ai depositi limosi-sabbiosi e argillosi di canale distributore dell'apparato deltizio più meridionale del fiume Po.

Il tetto del subsintema, che affiora e coincide con il piano topografico, presenta suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei affiorano prevalentemente nel margine meridionale del Foglio. Sulla base dei dati radiometrici ^{14}C l'età del subsintema è compresa fra c.a. 13.450 anni (B.P. non calibrata) e l'attuale e corrisponde con la fase di rapida risalita eustatica e di miglioramento climatico che si sviluppa a partire dal tardo Pleistocene fino a tutto l'Olocene.

4.1 Inquadramento geologico e geomorfologico di dettaglio

L'area oggetto di studio si può ritrovare nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, foglio 76, Ferrara.

I corsi d'acqua principali presenti sono il F. Reno nel settore sud-occidentale, il Po di Primaro e il Po di Volano, ed il Po; esiste inoltre una fitta rete di canali, fosse e scoli in tutta l'area del Foglio. La superficie topografica è pianeggiante e fa parte del sistema deposizionale della piana alluvionale; è limitato verso nord dal paleoalveo del Po di Primaro ed è contraddistinto dai dossi fluviali del F. Reno. Le quote maggiori si osservano in corrispondenza degli argini artificiali del F. Reno e del F. Po, mentre quelle minori si situano nelle aree di piana inondabile e di "valle" presenti ad ovest di Argenta e a sud di Marrara. L'orientazione generale dei dossi è circa E-O. Il settore centrale e settentrionale è caratterizzato da quote comprese tra 5 e 0 m s. l.m. ed è dominato dai dossi originati dai canali distributori del delta del Po. L'orientazione dei dossi è molto varia ed irregolare anche se, in linea generale, è ricorrente un andamento NO-SE.

Il settore orientale presenta quote comprese tra 0 e -3 m s.l.m. e conserva le tracce di ampie aree interdistributrici un tempo occupate da specchi d'acqua e oggi bonificate (Valle del Mezzano, Valle del Mantello e Valle di Argenta). La rete idrografica, in gran parte artificiale, risente di questa particolare conformazione del territorio, il Po di Primaro, infatti, si configura come una sorta di spartiacque: ad ovest i corsi d'acqua affluiscono principalmente nel F. Reno e nello stesso Po di Primaro; ad est i corsi d'acqua convergono nei settori topograficamente depressi. Va inoltre aggiunto che l'attuale aspetto geomorfologico del Foglio, come la maggior parte della pianura

emiliano-romagnola, è stato pesantemente influenzato dall'attività dell'uomo sin dall'antichità attraverso le opere di regimazione, le arginature artificiali e le modifiche dei tracciati dei corsi d'acqua (rettificazioni, deviazioni, ecc.).

Il Foglio si estende in un'area caratterizzata in superficie dall'affioramento dei depositi olocenici della piana deltizia del fiume Po e, subordinatamente, di quelli della piana alluvionale padano-appenninica. Questi depositi rappresentano lo stadio attuale del progressivo colmamento che ha interessato i bacini sedimentari plio-pleistocenici dell'avampaese padano-adriatico. L'assetto strutturale di questi bacini è dato da una serie di pieghe e thrust ad andamento parallelo con orientazione circa NO-SE.

Le caratteristiche dell'area di studio la situano nella zona di divagazione del fiume Po, caratterizzata da sabbie limose.

Di seguito si riporta uno stralcio della cartografia geologica.



Fig. 4. Carta geologica dell'area

5 Indagini geognostiche

In data 31/05/2023 è stata eseguita una campagna d'indagini consistente nell'esecuzione di:

- **n°1 prova penetrometrica statica (CPTU)** spinte fino alla profondità di -15.84 m dal piano campagna attuale. Le prove hanno avuto come obiettivo la caratterizzazione geotecnica dei terreni e sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica;
- **n°1 indagine geofisica HVSR** eseguita utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed che avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della Vs30 in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

5.1 Interpretazione stratigrafica

L'area in oggetto presenta un primo strato di terreno vegetale di spessore 1,5 m, seguito da argille limose a bassa consistenza fino alla profondità di 4,5 m. Al di sotto sono presenti limi e limi sabbiosi a consistenza/addensamento basso presenti fino a 7,2 m da piano campagna. Sono state individuate infine sabbie e sabbie limose mediamente addensate fino a fine prova (15,84 m).

Al momento delle prove è stata rilevata la presenza di falda freatica alla profondità di 1,0 m dal p.c., tale livello misurato può subire oscillazioni verticali al variare delle stagioni e in seguito a precipitazioni prolungate e/o intense.

Si riporta di seguito il modello stratigrafico desunto da ogni prova e la planimetria con l'ubicazione delle stesse.

Nome	Tetto (m da p.c.)	Letto (m da p.c.)	Tipo	γ (KN/m ³)	Cu (kPa)	ϕ (°)	Dr (%)	M (MPa)
Terreno vegetale	0	1.5	TSA	17.86	0.0	0.0	0.0	0.0
Argille limose	1.5	4.5	C	17.48	28.213	0.0	0.0	4.72
Limi e limi sabbiosi	4.5	7.2	CI	17.68	37.167	30.68	21.29	7.24
Sabbie	7.2	15.84	I	19.35	0.0	39.21	51.74	80.04

Tabella 2 - Parametri medi unità litotecniche

TSA = Terreno superficiale agricolo; C = terreno coesivo; I = terreno incoerente

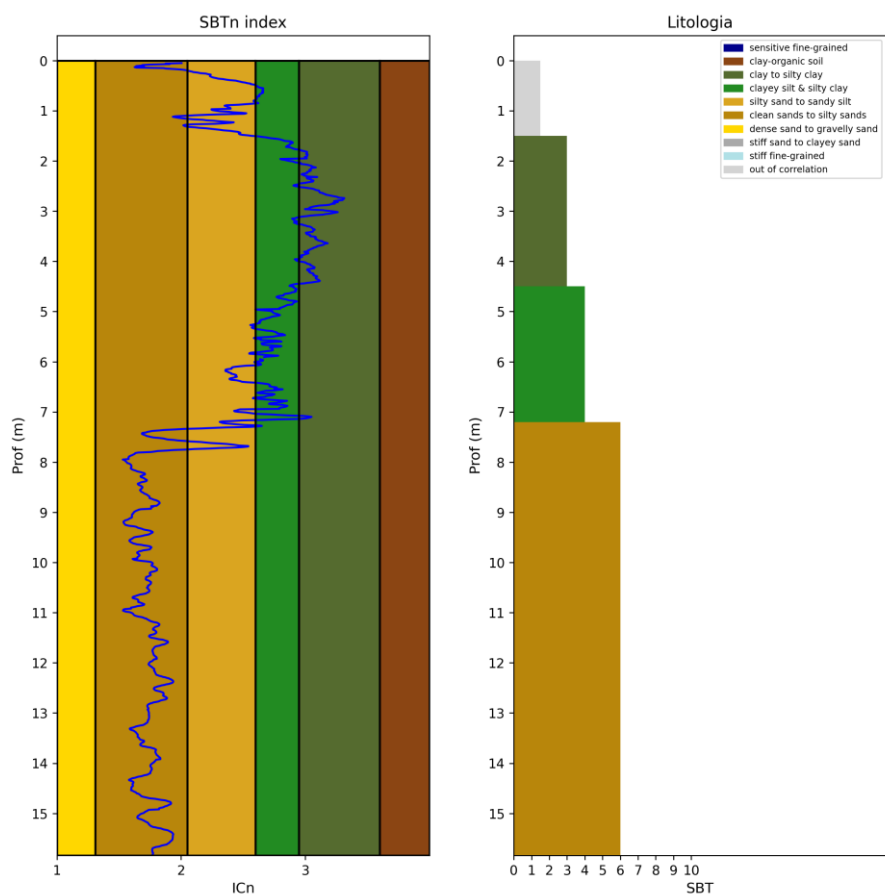


Fig. 5. Ubicazione prove

6 Sismicità dell'area

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Ferrara, ricadeva in una zona classificata in classe III.

Nel mese di marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. In riferimento a tale bozza il Comune di Ferrara ricade in classe 3, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Ferrara è stato classificato in classe di sismicità 3 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni":

3.2 AZIONE SISMICA

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

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

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

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

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

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

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i>
T2	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
T3	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$</i>
T4	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$</i>

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla categoria **C - 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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**

6.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HVSR

Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica con apparecchio tromografico digitale **TROMINO**, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della V_{s30} in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Inoltre, questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tromografico **TROMINO** permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l'effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La V_{s30} viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtrempi, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma; il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore non è generato come ad esempio dalle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con un frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, e il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 20 o 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all'adattamento della curva sperimentale e quella teorica. Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME.

Nel presente studio, che sfrutta la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V = 1) con quello misurato in superficie, la frequenza di risonanza del terreno è regolata dalla formula:

$$f = V_s / 4H$$

dove f è la frequenza e H lo spessore dello strato sismico.

Di seguito si riportano i dati relativi all'acquisizione sismica:

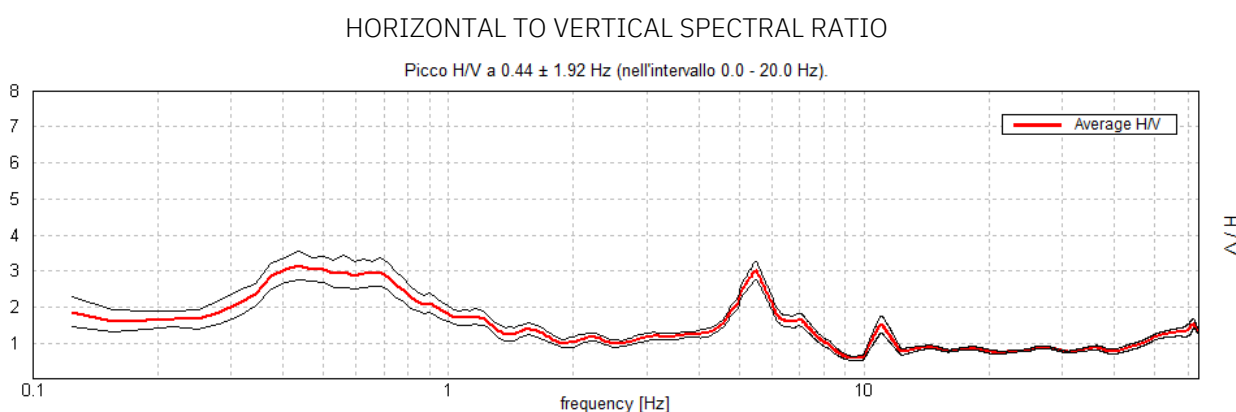
Inizio registrazione: 31/05/2023 14:29:01 Fine registrazione: 31/05/2023 14:49:01

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

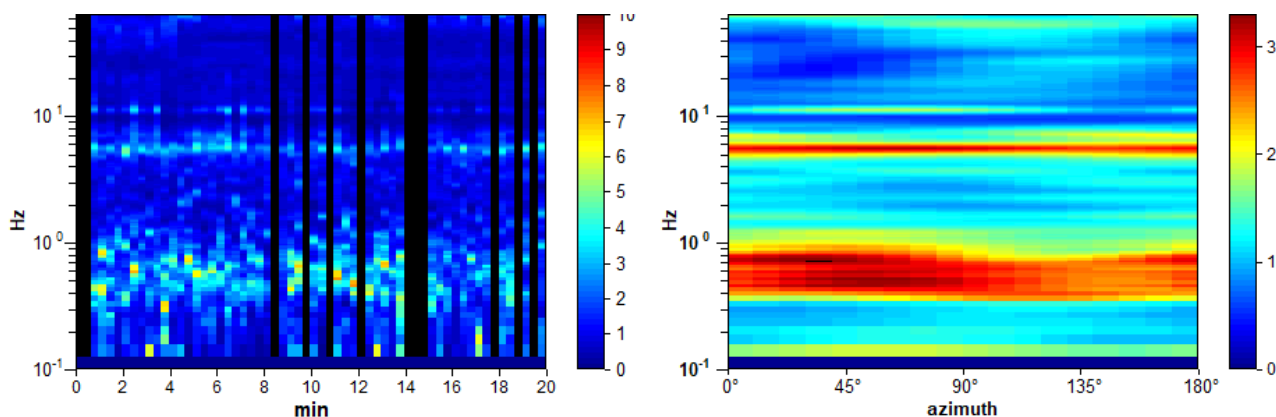
Tipo di lisciamiento: Triangular window Lisciamiento: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:



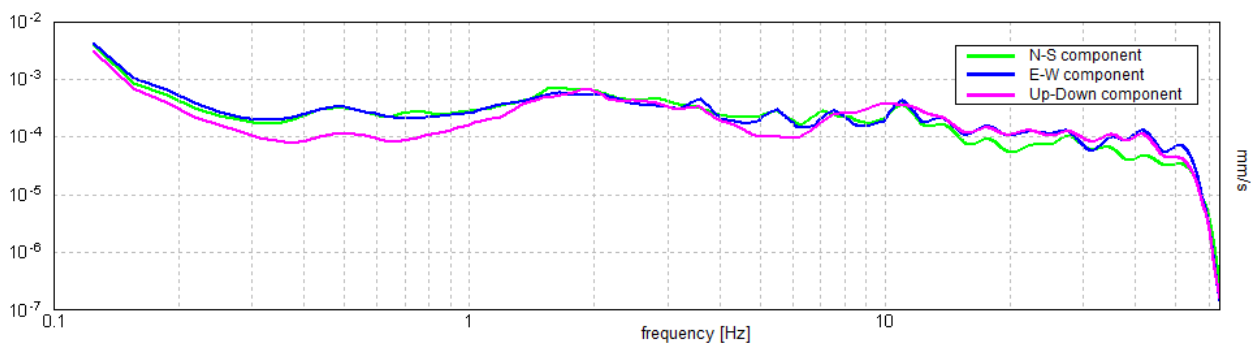
SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



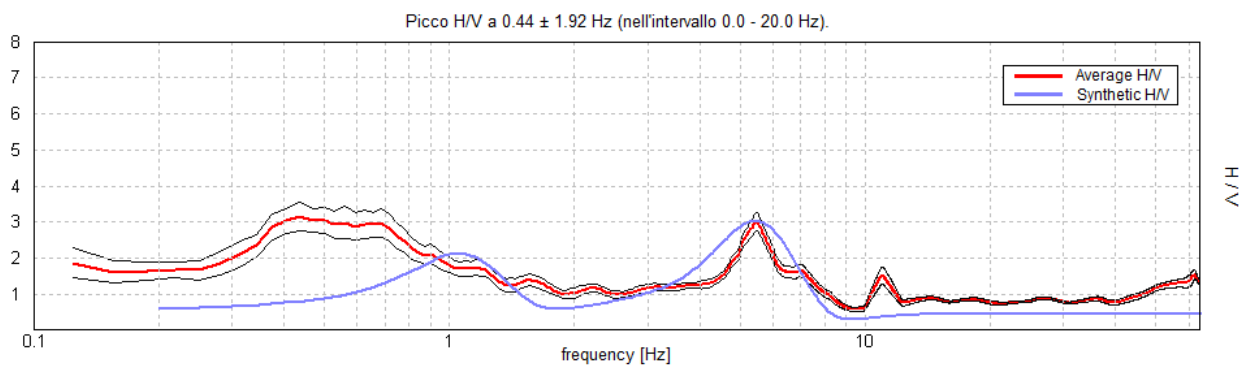
Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



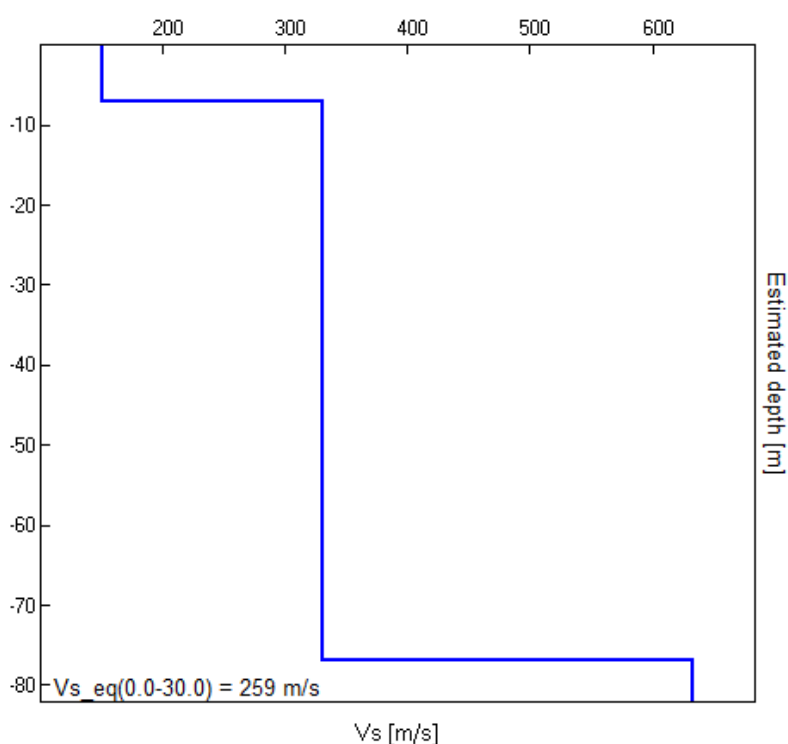
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti.

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
7.00	7.00	151	0.40
77.00	70.00	331	0.37
inf.	inf.	633	0.35



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 259 \text{ m/s} \pm 50 \text{ m/s}$$

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Picco H/V a 0.44 ± 1.92 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.44 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$420.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 22	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.15 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 4.38082 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.91661 < 0.0875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3828 < 2.5$	OK	

L_w	lunghezza della finestra				
n_w	numero di finestre usate nell'analisi				
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi				
f	frequenza attuale				
f_0	frequenza del picco H/V				
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0				
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f				
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$				
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PARAMETRI SISMICI da GEOSTRU

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame

latitudine: 44,880878 [°] longitudine: 11,581040 [°]

Classe d'uso: I. Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15179	44,868560	11,516140	5294,3
Sito 2	15180	44,869700	11,586650	1319,2
Sito 3	14958	44,919690	11,585050	4327,2
Sito 4	14957	44,918540	11,514520	6707,4

Parametri sismici:

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 35 anni

Coefficiente C_u : 0.7

	Prob. superamento [%]	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,035	2,551	0,249
Danno (SLD)	63	35	0,038	2,544	0,257
Salvaguardia della vita (SLV)	10	332	0,104	2,590	0,278
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	682	0,141	2,578	0,280

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R = 50$ anni

T_r = periodo di riferimento

a_g = accelerazione di gravità

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

T_c = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

	S_s [-]	C_c [-]	S_t [-]	K_h [-]	K_v [-]	A_{max} [m/s ²]	$Beta$ [-]
SLO	1,500	1,660	1,000	0,011	0,005	0,519	0,200
SLD	1,500	1,640	1,000	0,011	0,006	0,552	0,200
SLV	1,500	1,600	1,000	0,037	0,019	1,532	0,240
SLC	1,480	1,600	1,000	0,050	0,025	2,042	0,240

S_s = amplificazione stratigrafica

C_c = coeff. funz. categoria

S_t = amplificazione topografica

A_{max} = acc. max attesa al sito

K_h = coeff, sismico verticale

K_v = coeff. Sismico orizzontale

$Beta$ = coeff. riduzione acc.max

Zona 1 = 0,35g

Zona 2 = 0,25g

Zona 3 = 0,15g

Zona 4 = 0,05g

Valore di a_{refg} per il comune di Ferrara = 0,1364

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media $i < 15^\circ$	$St = 1$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	$St = 1.2$
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	$St = 1.2$
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	$St = 1.4$

ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA

L'area di intervento è morfologicamente classificabile come Pianura 2

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 250 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

(DGR n.630 del 29/04/2019 aggiornamento DGR n.476 del 12/04/2021)

F.A. P.G.A.: accelerazione di picco orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito.

F.A. S.I.: Intensità spettrale di risposta in velocità relativo a tre intervalli.

F.A. S.A.: Intensità spettrale di risposta in accelerazione relativo a quattro intervalli.

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. P.G.A.	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5

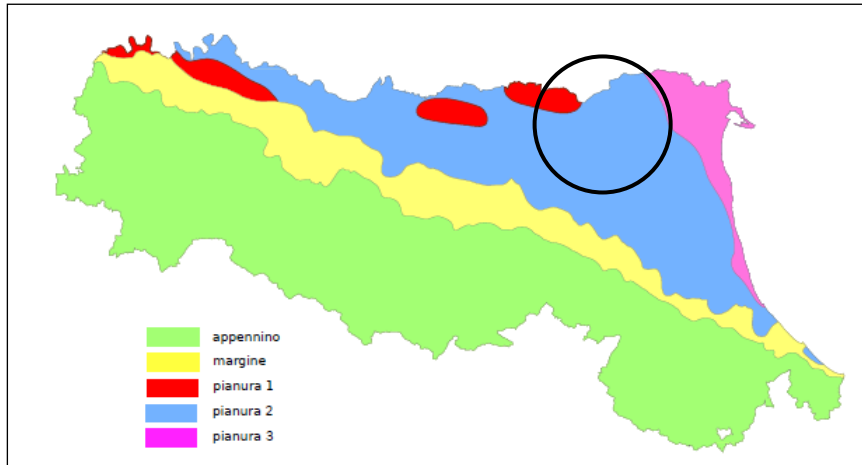
Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
F.A. SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
F.A. SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

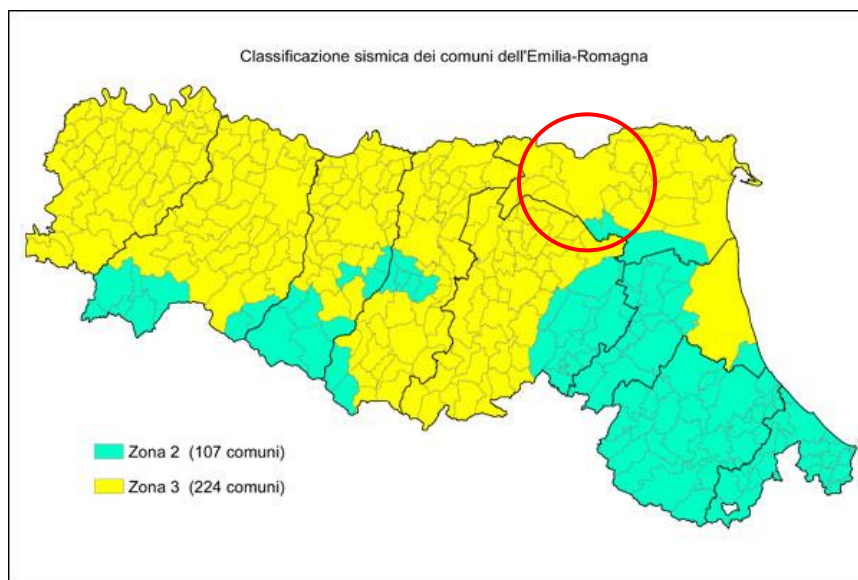
Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
F.A. SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
F.A. SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
F.A. SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

F.A. **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici



Nuova classificazione sismica NTC 2018 – Comune di Ferrara

6.2 Verifica a liquefazione

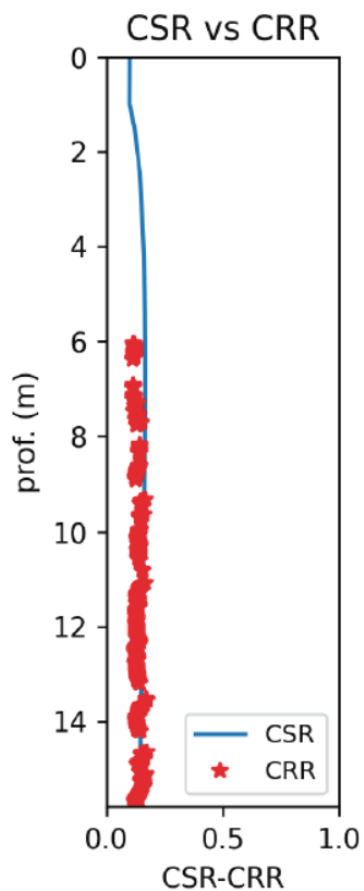
La liquefazione delle sabbie è un processo che può avvenire durante un evento sismico: essa nasce dall'incremento della pressione dell'acqua interstiziale (u) durante sollecitazioni di tipo ciclico.

Se tale aumento è tale da eguagliare la pressione litostatica totale, si ha l'annullamento della resistenza al taglio.

I valori inseriti per i calcoli sono:

- Soggiacenza falda: 1,0 m
- A_{max}/g : 0,156
- Magnitudo: 6,8

Le verifiche a liquefazione hanno identificato che la prova CPTU1 indica un potenziale di liquefazione moderato, pari a 4,3.



7 Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- L'area in oggetto presenta un primo strato di terreno vegetale di spessore 1,5 m, seguito da argille limose a bassa consistenza fino alla profondità di 4,5 m. Al di sotto sono presenti limi e limi sabbiosi a consistenza/addensamento basso presenti fino a 7,2 m da piano campagna. Sono state individuate infine sabbie e sabbie limose mediamente addensate fino a fine prova (15,84 m).
- Al momento delle prove è stata rilevata la presenza di falda freatica alla profondità di 1,0 m dal p.c., tale livello misurato può subire oscillazioni verticali al variare delle stagioni e in seguito a precipitazioni prolungate e/o intense.
- Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla categoria C
- Le verifiche a liquefazione hanno identificato che la prova CPTU1 indica un potenziale di liquefazione moderato, pari a 4,3.

Imola 09 giugno '23

Il geologo

Dott. Maurizio Castellari



Allegato 1

Grafici prove penetrometriche



CPT Office V. 1.1

Elaborato grafico prova penetrometrica

01/06/2023

10:22:39

Committente	Nema		
Località	Galastena		
Via	Ro Ferrarese		
Prova	1		
Tipo prova	CPTU		
Tipo di Prova	Prof. max (m)	Preforo (m)	Falda (m da p.c.)
CPTU	15.84	0.05	1

Tabella 1 - Informazioni generali

1 - Parametri prova penetrometrica 1

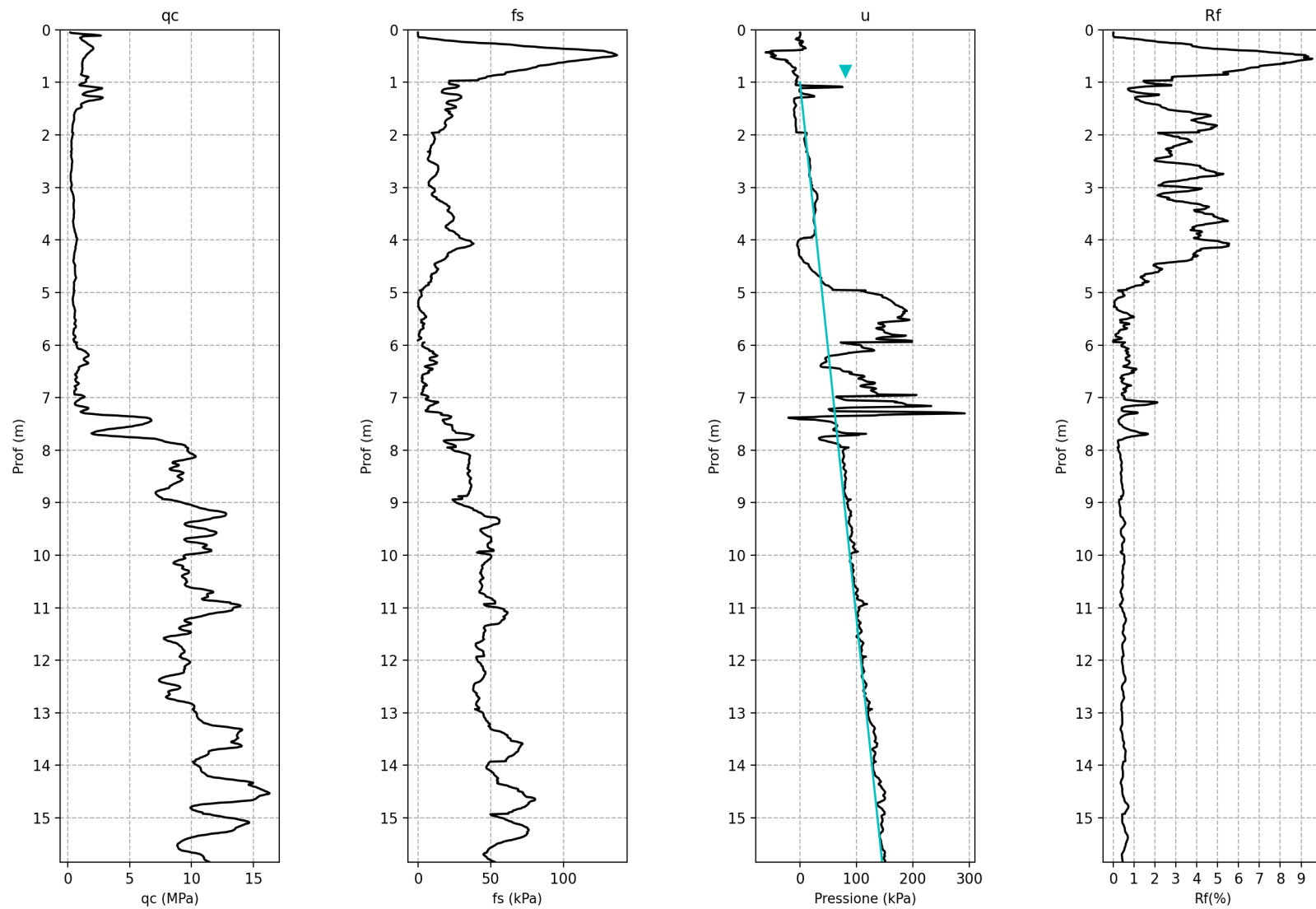


Fig 1 - Plot profondità-variabile della prova penetrometrica elaborata

1 - Parametri prova penetrometrica 1

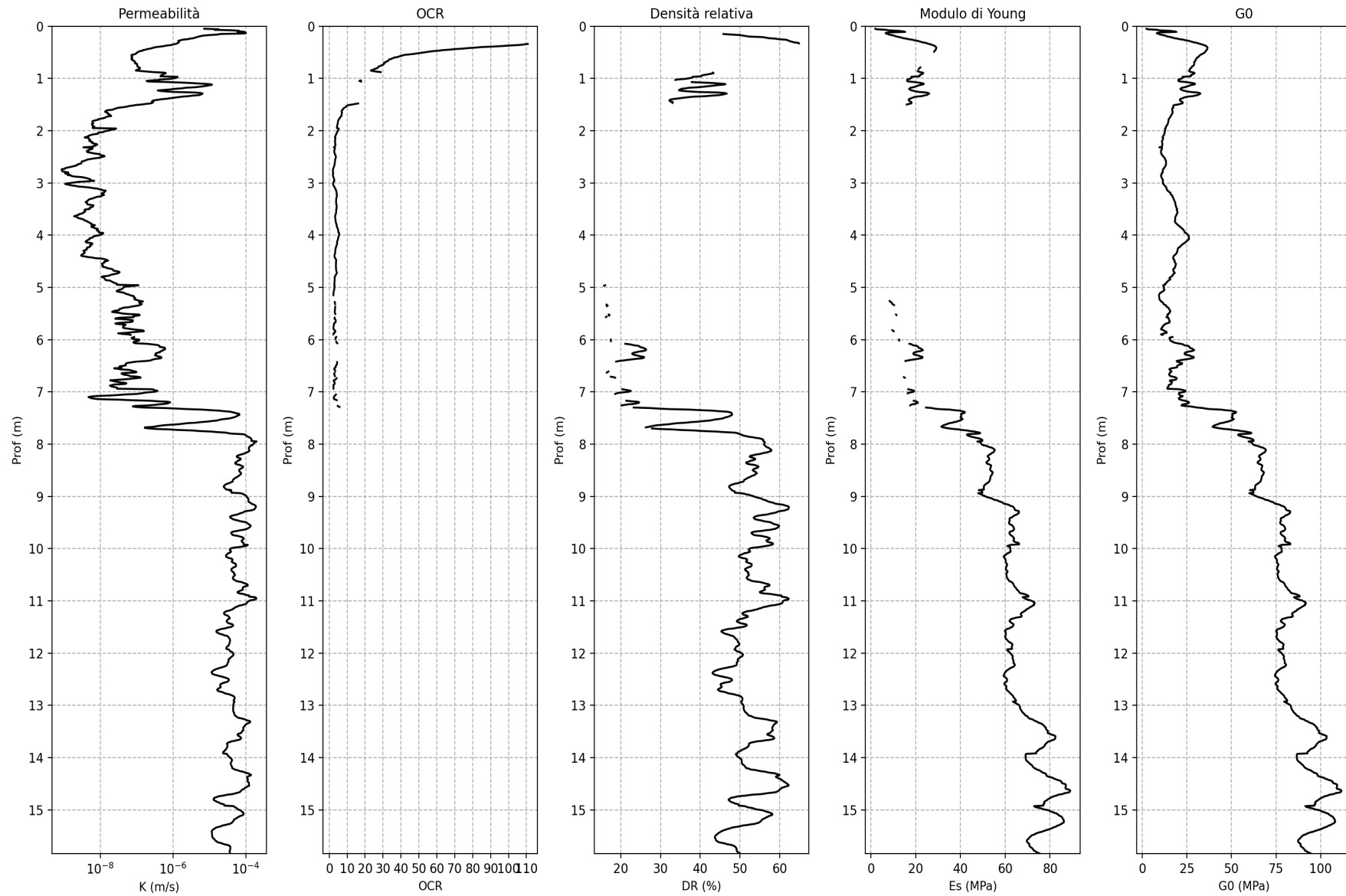


Fig 2 - Plot profondità-variabile della prova penetrometrica elaborata

1 - Parametri prova penetrometrica 1

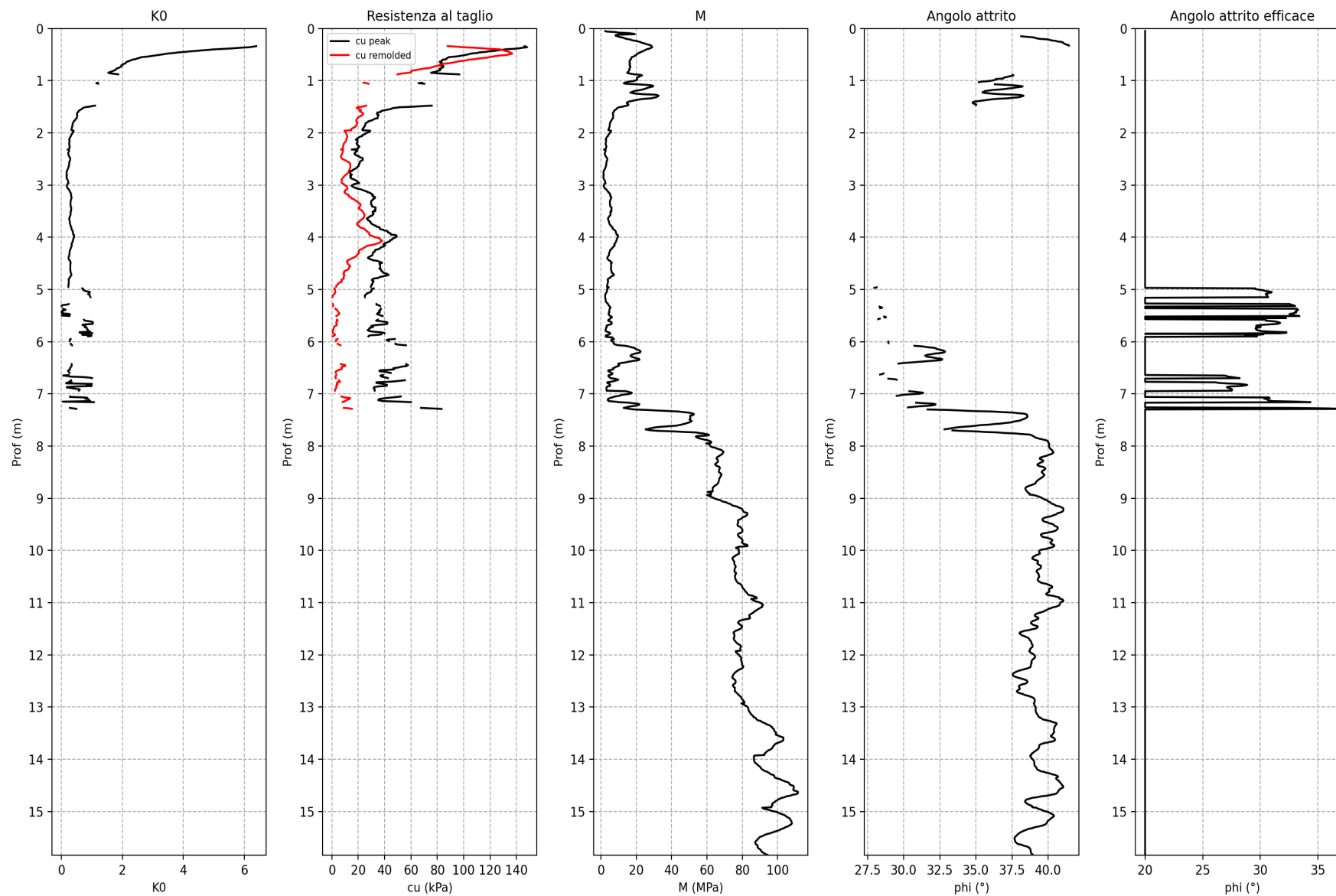


Fig 3 - Plot profondità-variabile della prova penetrometrica elaborata

2 - SBT & SBT(n) 1

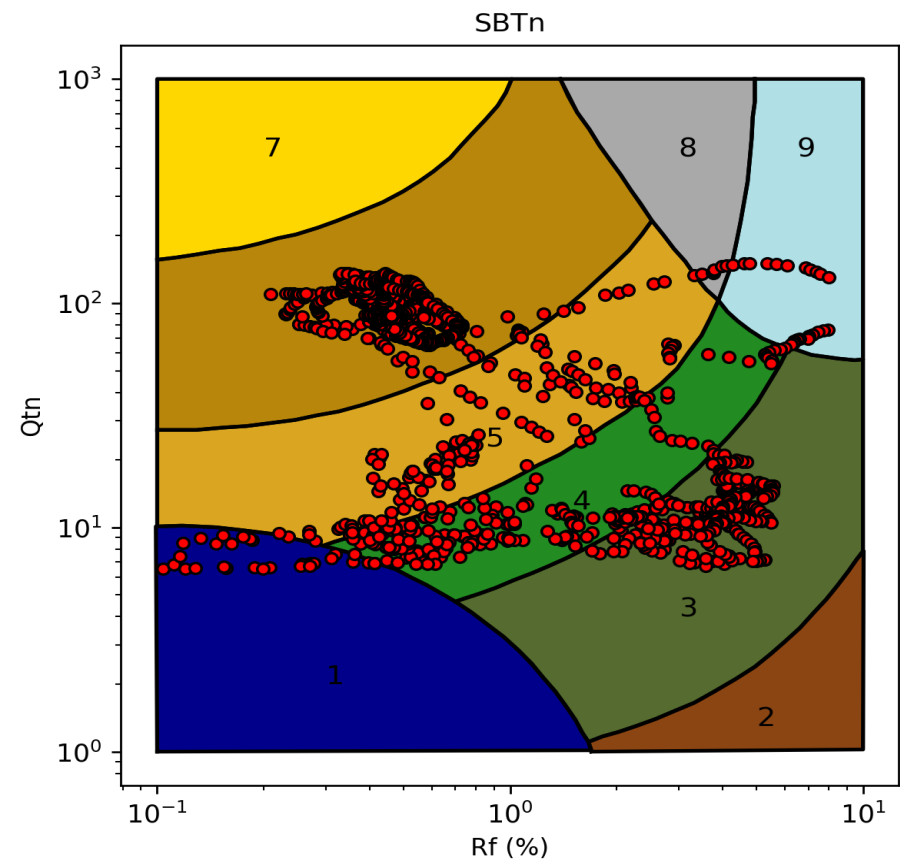
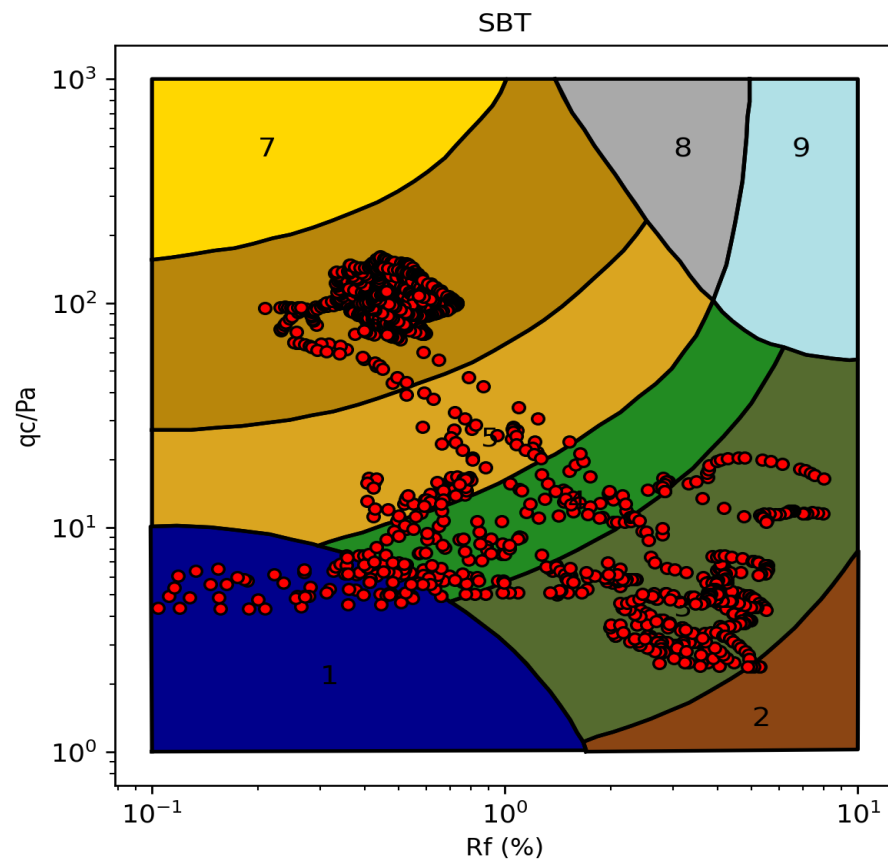


Fig 4 - A sinistra plot valori qc/Pa - Rf su SBT chart, a destra plot valori Qtn - Rf su SBT(n) chart

2 - Stratigrafia 1

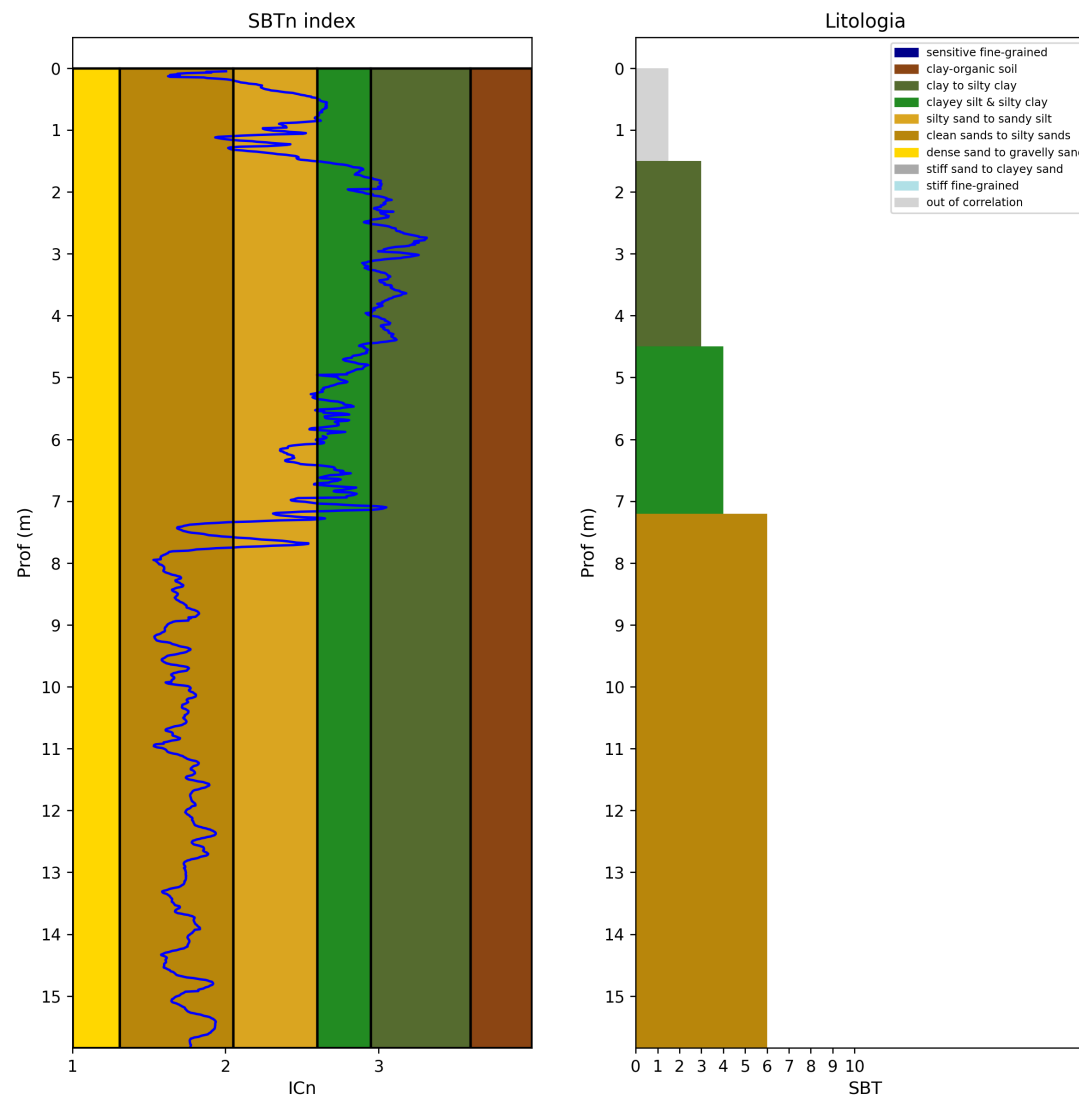


Fig 3 - A sinistra Indice SBT, a destra classificazione stratigrafica da SBT chart

3 - Parametri medi unità litotecniche 1

Nome	Tetto (m da p.c.)	Letto (m da p.c.)	Tipo	γ (KN/m3)	Cu (kPa)	ϕ (°)	Dr (%)	M (MPa)
Terreno vegetale	0	1.5	TSA	17.86	0.0	0.0	0.0	0.0
Argille limose	1.5	4.5	C	17.48	28.213	0.0	0.0	4.72
Limi e limi sabbiosi	4.5	7.2	CI	17.68	37.167	30.68	21.29	7.24
Sabbie	7.2	15.84	I	19.35	0.0	39.21	51.74	80.04

Tabella 2 - Parametri medi unità litotecniche

Committente		Castellari			
Località		Ferrara			
Via		Via Bonifiche			
Prova		1			
Metodo utilizzato	Magnitudo di riferimento	Acc.Max/g	Prof. Preforo	Falda	IPL (Sonmez 2003)
Boulanger e Idriss 2014	6.8	0.156	0.0	1.0	4.305

Tabella 1 - Parametri inseriti e IPL verticale prova penetrometrica

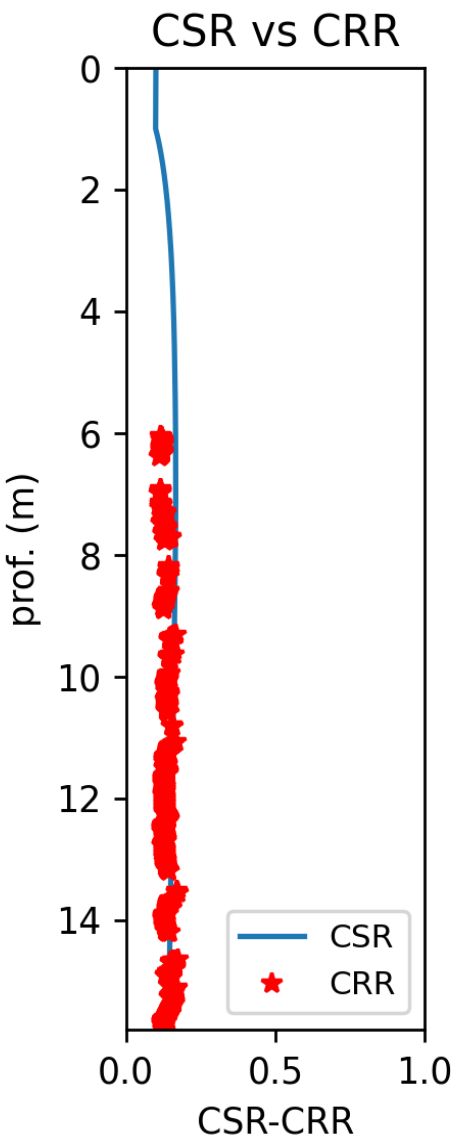


Grafico 1 - CSR vs CRR, i valori di CRR indicati con asterisco rosso che ricadono a sinistra della curva CRR indicano valori con FS <1 e quindi potenzialmente liquefacibili-