



COMUNE DI CESENATICO



Accordo di programma in variante agli strumenti urbanistici comunali ai sensi dell'art.60 della L.R. 24 del 21 dicembre 2017 per la realizzazione di un impianto sportivo polivalente all'aperto in località Villamarina e altre opere pubbliche

Relazione geologica

RELAZIONE GEOLOGICA:

- **RELAZIONE GEOLOGICA CON CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI DUE AREE OGGETTO DI VARIANTE AL P.R.G. AI FINI DELLA ESPRESSIONE DEL PARERE PROVINCIALE SUGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE URBANISTICA NELLE ZONE SISMICHE, AI SENSI DELL'ART. 5 DELLA L.R. N. 19/2008 - AREA VILLAMARINA SUD E BAGNAROLA;**
- **RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA MICROZONAZIONE DI TERZO LIVELLO PER LA VARIANTE URBANISTICA DI UN'AREA SITA IN VIA SAFFI TRA LA PISCINA COMUNALE E L'AREA OSPEDALIERA IN COMUNE DI CESENATICO.**



COMUNE DI CESENATICO
PROVINCIA DI FORLI' – CESENA

**RELAZIONE GEOLOGICA CON CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI
DUE AREE OGGETTO DI VARIANTE AL P.R.G. AI FINI DELLA
ESPRESSIONE DEL PARERE PROVINCIALE SUGLI STRUMENTI DI
PIANIFICAZIONE URBANISTICA NELLE ZONE SISMICHE, AI SENSI
DELL'ART. 5 DELLA L.R. N. 19/2008**

AREA VILLAMARINA SUD E BAGNAROLA

Francesco Valle geologo



SOMMARIO

1.) PREMESSA	3
2.) UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE DI VILLAMARINA SUD	4
3.) INQUADRAMENTO NORMATIVO	6
4.) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	12
5.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	13
6.) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	16
7.) INDAGINI GEOGNOSTICHE	17
8.) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	21
9.) CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	22
10.) UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE DI BAGNAROLA.....	25
STRALCIO COROGRAFIA DA C.T.R.	25
STRALCIO COROGRAFIA DA CATASTALE.	26
11.) INQUADRAMENTO NORMATIVO	27
12.) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	32
13.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	33
14.) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	36
15.) INDAGINI GEOGNOSTICHE	37
16.) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	41
17.) CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	42
18.) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	45

ALLEGATI

1 – PROVE IN SITO: PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

2 – PROVE IN SITO: PROVA SISMICA MASW

3 – PARAMETRI SISMICI DI SITO

1.) PREMESSA

Il presente elaborato fa seguito all'incarico conferito alla Spett. Soc. Omega S.r.l. con sede in Corso Ricci 76/3 a Savona, dall'Amministrazione Comunale di Cesenatico in merito alla redazione di una Relazione Geologica con caratterizzazione sismica di due aree oggetto di variante al P.R.G., ai fini della espressione del parere provinciale sugli strumenti di pianificazione urbanistica nelle zone sismiche, ai sensi dell'art. 5 della L.R. n. 19/2008.

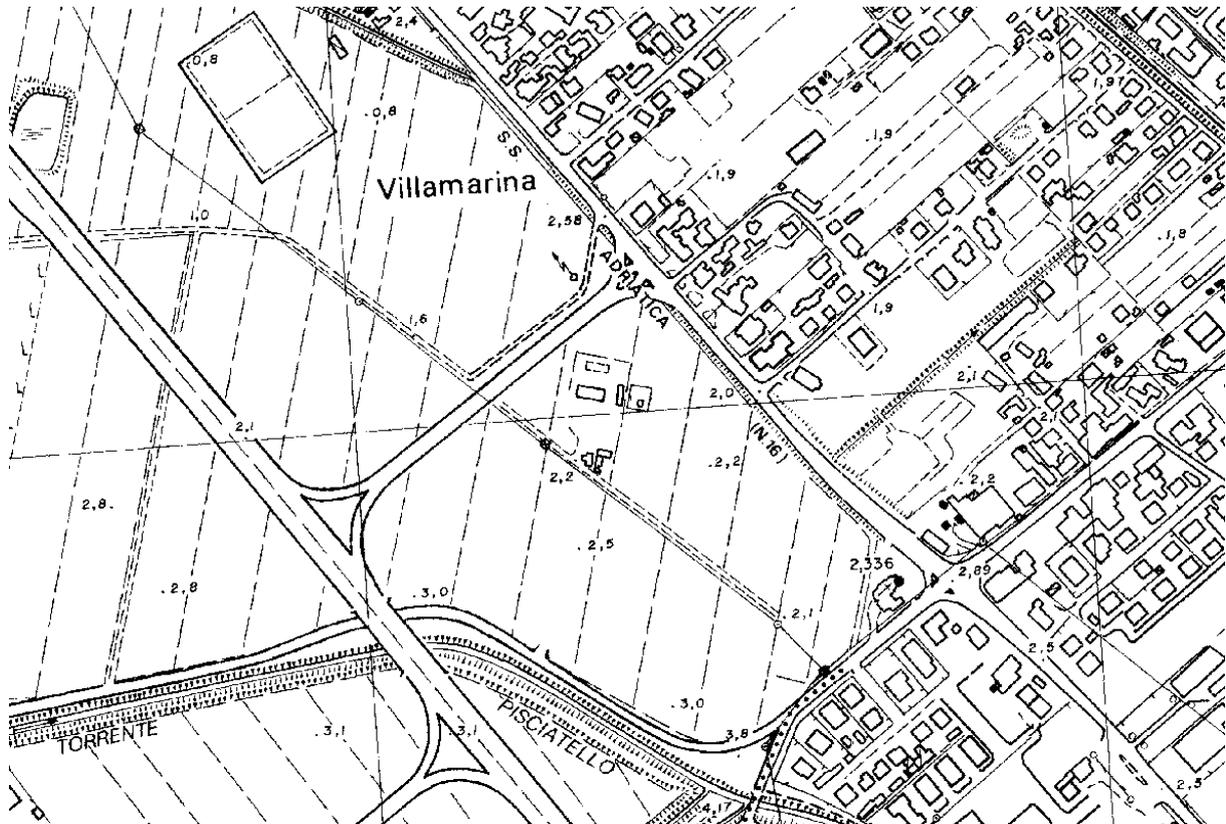
Le due aree del territorio comunale sono site in Villamarina Sud (denominata Area 1) e Bagnarola (denominata Area 3).

Per ognuna delle due zone sono state eseguite le seguenti indagini:

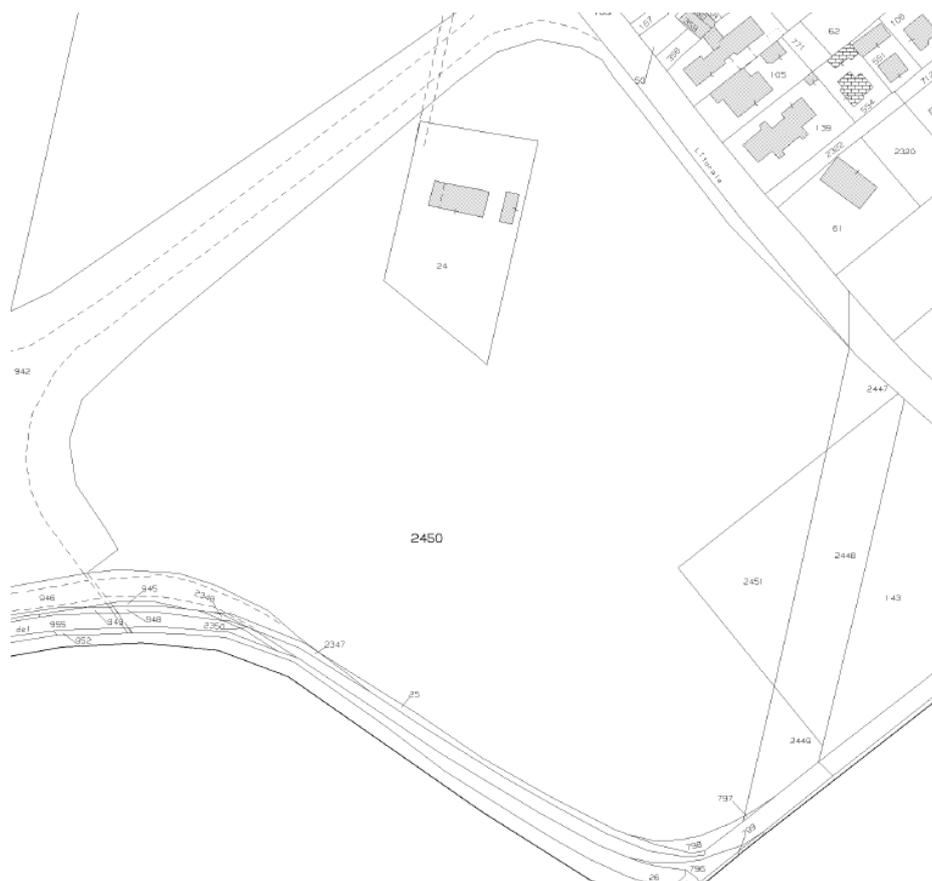
- Rilievo geomorfologico e geologico dell'area
- Esecuzione di n. 2 prove penetrometriche statiche C.P.T. (Cone Penetration Test) mediante penetrometro da 200 kN.
- N. 1 prova MASW
- Acquisizione del materiale tecnico professionale e bibliografico relativo all'area oggetto di studio.
- Digitalizzazione dei dati acquisiti e loro elaborazione, mediante appositi programmi, per la realizzazione di tavole illustrative, per il calcolo delle caratteristiche meccaniche del terreno e per l'interpretazione delle prove geofisiche.

2.) UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE DI VILLAMARINA SUD

L'area oggetto di indagine in Frazione Villamarina Sud fa parte del territorio comunale di Cesenatico; tale area è cartografata sul Foglio 256 "Rimini" della Cartografia Geologica d'Italia (scala 1:50.000) e sulla sezione 241130-256010 "CESENATICO NORD-SUD" della Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia Romagna, infine è censita al Foglio 240 mappale 2450 (parte) della Planimetria Catastale Comunale.



Stralcio corografia da C.T.R.



Stralcio corografia da Catastale.

L'area, ubicata in località Villamarina, in prossimità del confine con il Comune di Gatteo, è costituita da un lotto di terreno attualmente utilizzato a fini agricoli, con accesso diretto da viale Litorale Marina, nelle vicinanze dello svincolo stradale della S.S.16 Adriatica.

Nel P.R.G. vigente l'area afferisce a zona "G" per attrezzature pubbliche e di interesse generale di cui all'art. 164 delle Norme Tecniche di Attuazione, e nello specifico a zona "G3" - parcheggio pubblico.

La variante urbanistica propone di trasformare tale area in un Piano Unitario di nuova formazione – che prenderà la denominazione di PU/73 – che prevede una quota parte a destinazione residenziale "B1", parte a verde privato "VP", e parte ad attrezzature pubbliche e di interesse generale specificate in verde pubblico "G2" e parcheggio pubblico "G3", secondo quote stabilite con variazione normativa, che si riporta in seguito.

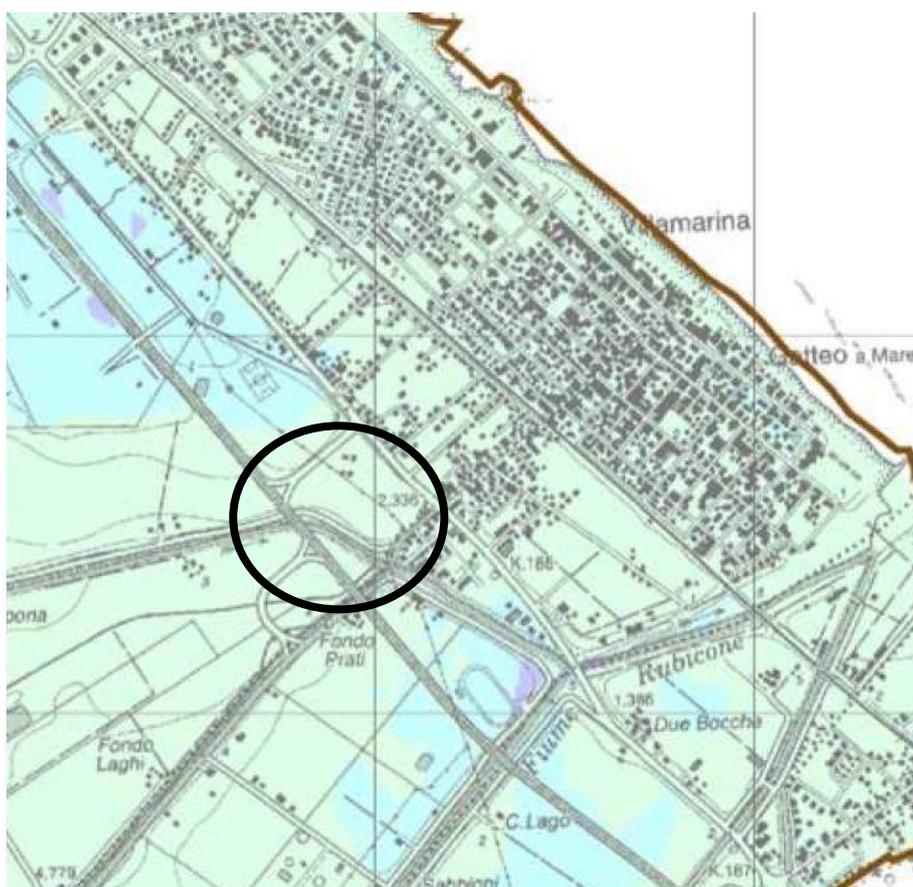
Il mutamento di destinazione verso una vocazione residenziale interessa un comparto già inserito all'interno del territorio pianificato. Il tessuto urbanistico dell'intorno è costituito da fabbricati prevalentemente residenziali, che si attestano sul lato settentrionale di via Litorale Marina, che presenta in quel tratto sul lato nord un percorso ciclopedonale protetto, e su quello che lambisce l'area in esame una porzione di marciapiede già realizzato.

Rispetto alle attuali previsioni l'urbanizzazione prevede la realizzazione di una fascia di verde privato lungo la strada, e di una di verde pubblico verso l'area di pertinenza della Parrocchia di Villamarina.

3.) INQUADRAMENTO NORMATIVO

Rischio idrogeologico

Dalla consultazione degli elaborati costitutivi la "Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico ai sensi degli articoli 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano", così come modificata dalla variante di coordinamento P.A.I.-P.G.R.A. (DGR 2112/2016), la porzione di territorio interessata da trasformazione urbanistica risulta ricadente in "area di potenziale allagamento" (Art. 6), ed assoggettata ad un tirante idrico di riferimento compreso fino a 50 cm (vedi estratti delle tavole 256NO 256SO, in scala 1:25.000 del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli). L'eventuale trasformazione fisica di questa area dovrà tener conto di tale vulnerabilità e prevedere misure necessarie per fronteggiare i potenziali rischi.

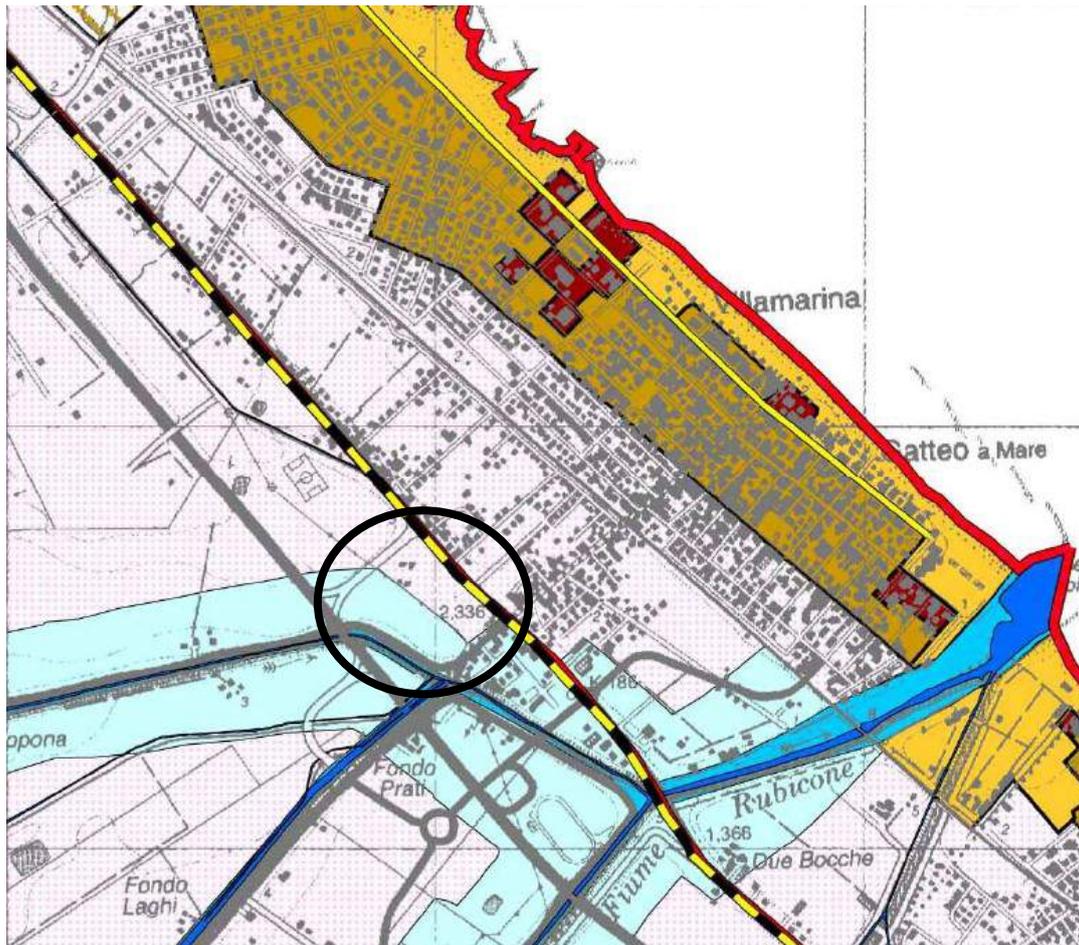


Aree a rischio idrogeologico

Titolo II - "Assetto della rete idrografica"

-  **Art. 2 ter - alveo:**  piena ordinaria  porzione incisa
-  **Art. 3 - aree ad elevata probabilità di esondazione**
-  **Art. 4 - aree a moderata probabilità di esondazione**
-  **Art. 6 - aree di potenziale allagamento**

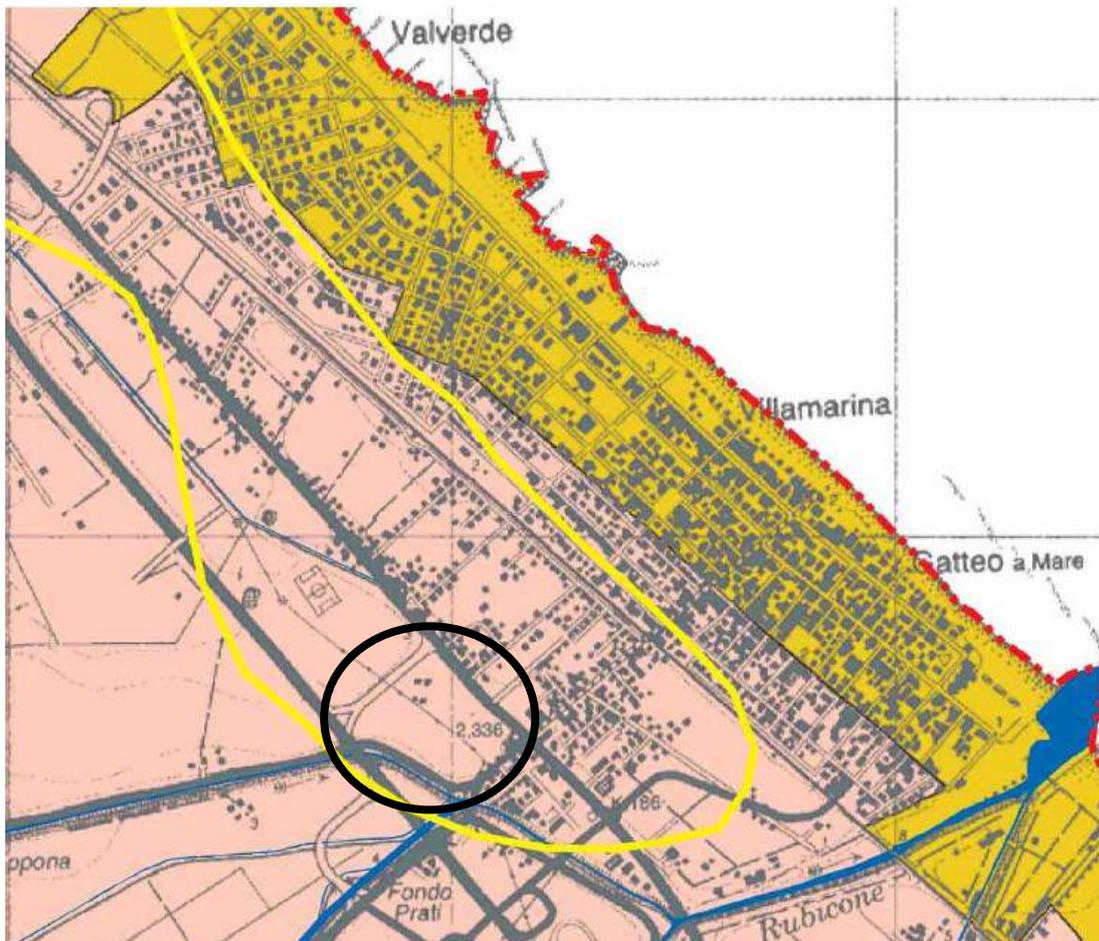
Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale



L'area in esame ricade nelle "zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei", di cui all'art.28 del PTCP, comma 2, lett.c). Le nuove destinazioni d'uso dell'area non rientrano tra le attività vietate, e rispettano le prescrizioni della disposizione citata. Le nuove destinazioni, che comprendono parte a verde privato e parte a verde pubblico sono anzi migliorative rispetto all'attuale destinazione a parcheggio, garantendo una maggior superficie permeabile.

Dissesto

Un inquadramento dei rischi geologici, idrogeologici e geomorfologici del territorio comunale è fornito dalla Carta del dissesto e della Vulnerabilità Territoriale allegata al Piano Strutturale Comunale.



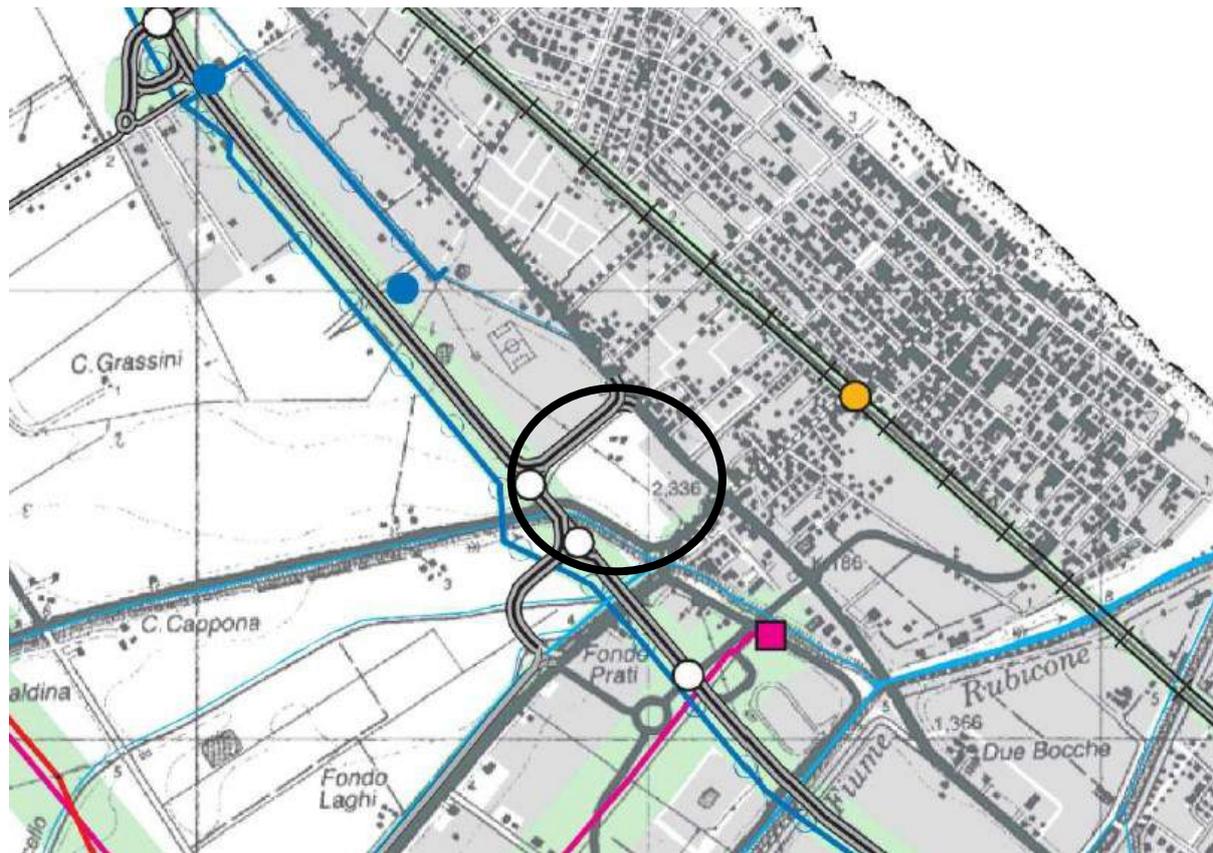
Il sito oggetto della presente valutazione è classificato nella Tavola relativa ai fenomeni di dissesto del territorio tra le “zone di tutela dei corpi idrici e superficiali” caratterizzate da ricchezza di falde idriche, rinviando in tal modo alla tutela di cui all'art. 28, comma 2, delle norme del P.T.C.P..

La stessa area è inoltre soggetta a fenomeni di subsidenza.

Non sussistono problemi di incompatibilità rispetto alle nuove destinazioni urbanistiche, che non prevedono l'insediamento di attività vietate.

Vincoli

L'area in esame fa parte del territorio pianificato e si presenta priva di vincoli.

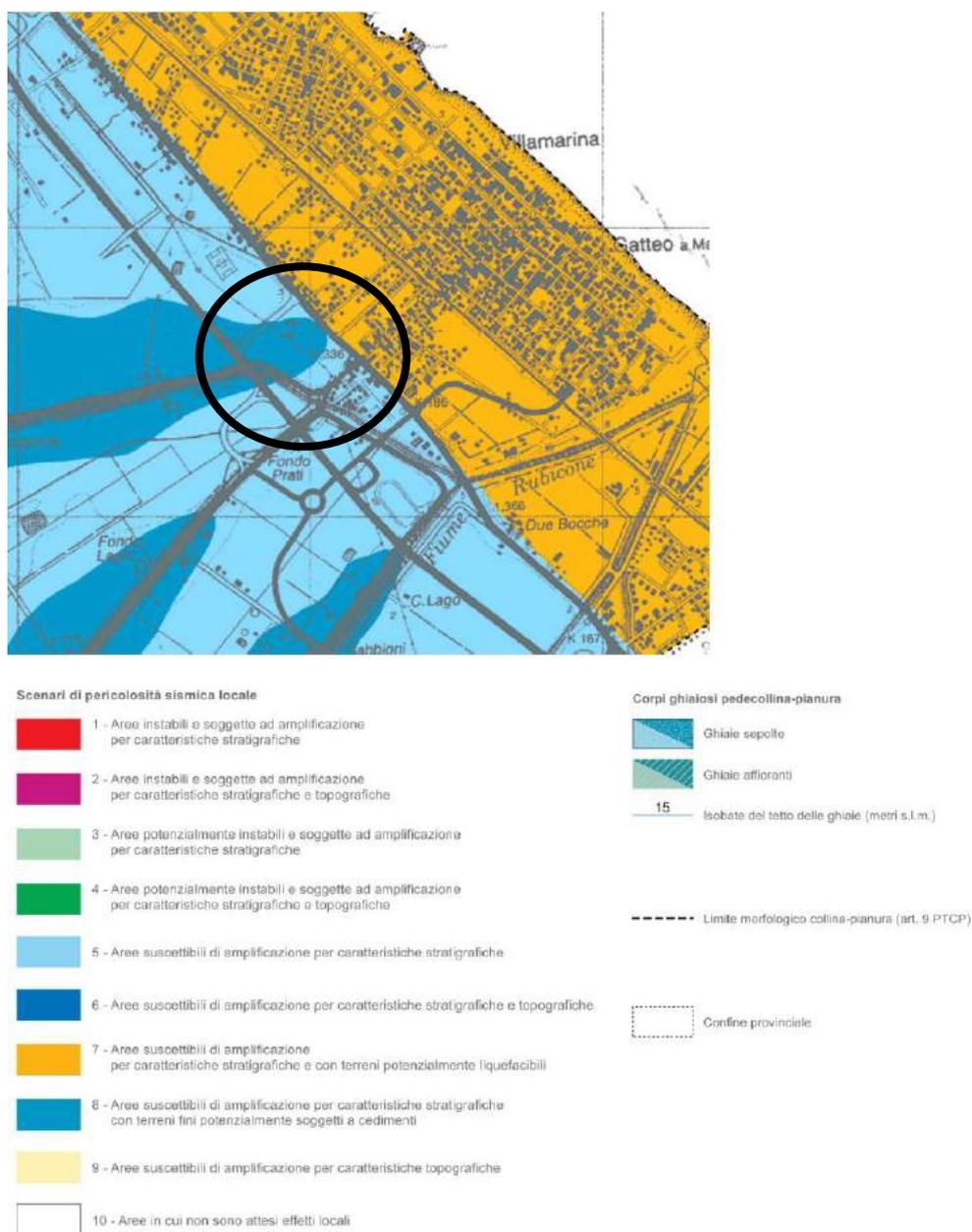


Zonazione sismica

Il territorio del Comune di Cesenatico interessato dall'intervento in progetto è classificato sismico di seconda categoria (S=9) dal 1983.

Rischio sismico

Un inquadramento dei rischi sismici del territorio comunale è fornito dalla Carta del Rischio sismico e carta delle aree suscettibili di effetti locali.



L'area ricade in parte in "Zona 5 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche", e in parte in "Zona 8 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni fini potenzialmente soggetti a cedimenti". La destinazione urbanistica di variante non presenta incompatibilità con lo scenario di pericolosità sismica locale che caratterizza quella porzione di territorio, le cui vulnerabilità saranno eventualmente recepite in fase di progettazione propedeutica alla trasformazione fisica del territorio.

Zonazione sismica di secondo livello

Per quanto riguarda la zonizzazione sismica di secondo livello, dalla sottostante cartografia del Piano Strutturale Comunale si evidenzia che il sito ricade nelle aree con classe di amplificazione attesa di periodo 0.5 – 1 secondi da non sottoporre ad approfondimento di 3° livello per potenziale liquefazione.



Territorio urbanizzato

- Centro storico (Art. A-7)
- Ambiti urbani consolidati (Art. A-10)
- Ambiti specializzati per attività produttive (Art. A-13)

Territorio urbanizzabile

- 1** Ambiti per nuovi insediamenti (Art. A-12)
- Ambiti da riqualificare - misto a destinazione turistica, ricettiva, residenziale (Art. A-11)
- Nuovi ambiti specializzati per attività produttive (Art. A-13)
- 6** Ambiti da riqualificare - darsena e riposizionamento delle attività cantieristiche della filiera connessa (Art. A-11)
- Territorio pianificato non compreso negli ambiti consolidati

- 4**
- Prova sismica passiva a stazione singola
- ⊙ Prova sismica attiva e passiva in array
- Prova sismica di archivio
- ▲ Prova geognostica diretta di archivio (sondaggio o penetrometria)

Classi di amplificazione attesa (Periodo 0,1-0,5 secondi)

2.5

Classi di amplificazione attesa (Periodo 0,5-1 secondi)

2.5

Aree da sottoporre ad approfondimento di 3° livello per potenziale liquefazione

4.) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

Il Comune di Cesenatico si colloca nel margine sud orientale della Valle Padana ed appartiene alla Provincia di Forlì-Cesena, in un contesto territoriale sostanzialmente di pianura, compresa quella dove si trova il sito considerato dalla presente indagine, immediatamente a ponente della fascia costiera ed a meridione del centro abitativo comunale.

La morfologia della pianura alluvionale è piuttosto monotona, salvo che in corrispondenza delle principali incisioni fluviali.

La zona in esame è situata, a circa 2-3 metri sul livello marino (vedi anche stralcio corografia § 2), a margine del deposito sabbioso costiero che, nel litorale di Cesenatico, costituisce una fascia pressoché continua della larghezza media dell'ordine di 800 metri.

Si tratta di un cordone di spiaggia olocenico, costituito da lidi e spiagge morte, delimitato verso il mare dalla spiaggia attuale e nell'entroterra da depositi lagunari argilloso limosi più o meno coevi.

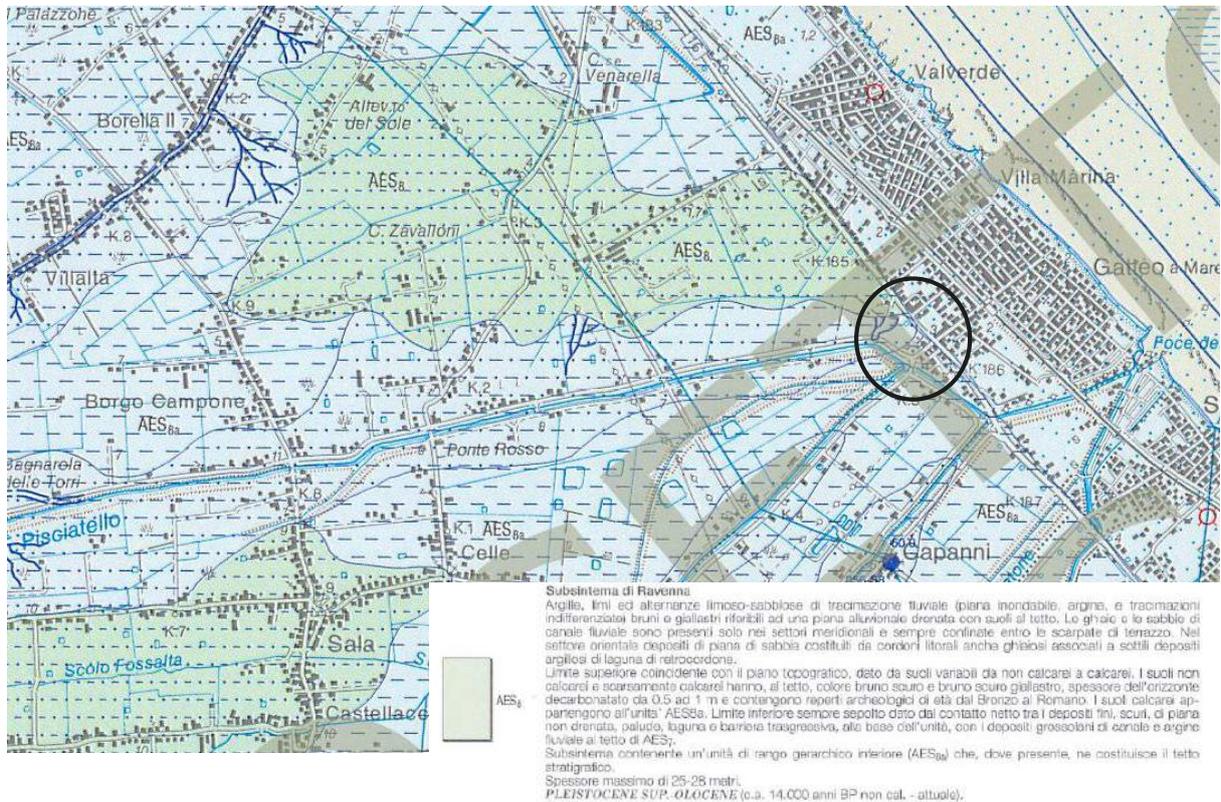
Il settore litoraneo in oggetto, in seguito alla sostanzialmente quasi completa urbanizzazione, ha perso l'originaria caratteristica morfologia a dune, conferita alla zona dall'azione eolica.

Nella zona in esame e nelle sue pertinenze, dato l'andamento pianeggiante della superficie, non sussistono problemi di instabilità.

5.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La zona in esame, com'è evidente nello stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 sottostante, ricade in terreni di pertinenza del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), del Pleistocene medio - Olocene, che comprende sia depositi alluvionali, sia sedimenti marini costieri ed è suddiviso in più Subsistemi.

L'area considerata concerne, in particolare, l'Unità di Modena (AES8a) del Subsistema di Ravenna (AES8).



DEPOSITI DELTIZI, LITORALI E MARINI

FRONTE DELTIZIA E PIANA DI SABBIA



Sabbie di cordone litorale

Sabbie da finissime a grossolane, ben caritate, con abbondanti biclasti di molluschi, in strati da sottili a medi, ma spesso amalgamati, localmente alternate a limi sabbiosi. Depositi di cordone litorale.



Sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale

Sabbie gradate da medio-grossolano anche con ciottoli, a fini e finissime con pasteggio graduato a limi ed argille. Strati da spessi a molto spessi, spesso amalgamati. Depositi di riempimento di canale e di rotta fluviale.



Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale

Alternanze di sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da molto sottili a medi. Depositi di argine, canale e rotta fluviale.



Argille e limi di piana inondabile

Argille e limi in strati medi e spessi con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose in strati da molto sottili a medi. Presenti anche livelli di argille organiche. Depositi di piana inondabile.



Alternanze di sabbie, limi ed argille di traccimazione fluviale indifferenziata

Alternanze di sabbie fini e finissime, limi ed argille in strati da molto sottili a spessi. Depositi di traccimazione fluviale non differenziati a causa dei processi di erosione, turbazione e pacogenesi che hanno modificato le tessiture e la forma originarie e non hanno consentito di distinguere i depositi di argine da quelli di piana inondabile.

In generale il Subsistema di Ravenna, del Pleistocene superiore - Olocene, è costituito: da argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di trascinamento fluviale (piana inondabile, argine, e trascinamenti indifferenziati) su pianure alluvionali; da ghiaie e sabbie di canale fluviale; da depositi di sabbia da cordoni litorali anche ghiaiosi; da sottili depositi argillosi lagunari di retrocordone.

L'Unità di Modena costituisce, ove presente, il tetto stratigrafico del Subsistema di Ravenna ed è contraddistinta nell'alta pianura, lungo i fiumi principali, da ghiaie e sabbie di canale fluviale organizzate in un unico ordine di terrazzo; nella pianura alluvionale da alternanze di sabbie, limi ed argille di trascinamento fluviale distinte in depositi di argine e depositi di piana inondabile; nella costa e nell'Adriatico da sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia passanti ad argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma.

Localmente possono essere presenti anche argille organiche di laguna di retrocordone.

In particolare, l'area interessata dal presente studio ricade interamente sull'Unità di Modena del Subsistema di Ravenna ed in particolare nella classe in cui si alternano sabbie e soprattutto limi sabbiosi e limi argillosi.

TETTO DELLE GHIAIE - SUBSISTEMI DI RAVENNA (AES₈) E VILLA VERUCCHIO (AES₇)



SUBSISTEMA DI RAVENNA AES₈

In questa carta all'interno dei depositi di AES₈ non è stata distinta l'unità di Modena che è un'unità pertinente solo alla cartografia geologica di superficie.

DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE



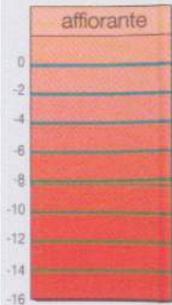
Ghiaie di riempimento di canale fluviale

Ghiaie da medie a fini con matrice sabbiosa o argillosa, in strati spessi e molto spessi, generalmente amalgamati. Depositi di riempimento di canale fluviale. Sono cartografabili solo localmente nel settore di SO dove formano corpi a geometria nastriforme spessi pochi metri e confinati entro le scarpate di terrazzo fluviale. Corrispondono a singoli canali di piana alluvionale.

Età: *Pleistocene sup.* - *Olocene* (14.000 anni BP non cal. - attuale).



Isobata del tetto delle ghiaie di riempimento di canale fluviale (in metri s.l.m.)



DEPOSITI DI FRONTE DELTIZIA E PIANA DI SABBIA

Sabbie di cordone litorale

Sabbie da finissime a grossolane, ben cernite, con abbondanti bioclasti, in strati spesso amalgamati, localmente alternate a limi sabbiosi. Depositi di cordone litorale. Formano un corpo complesso a geometria cuneiforme, con spessore che aumenta verso mare fino a raggiungere 25 m, organizzato in una sequenza retrogradante-progradante. Comprende depositi di duna di retrospiaggia, di spiaggia emersa e sommersa e di barriera trasgressiva. Occupano una fascia continua lungo tutto il margine orientale dei fogli. Sono prevalentemente affioranti e subaffioranti tranne nel settore N dove si immergono rapidamente al di sotto del piano campagna. Includono ghiaie di cordone litorale.

Età: *Olocene* (8.000 anni BP non cal. - attuale).



Isobata del tetto delle sabbie e delle ghiaie di cordone litorale (in metri s.l.m.)



Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna

Argille e limi scuri variamente arricchiti in sostanza organica indecomposta in strati da sottilissimi a medi alternati ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, con sostanza organica subordinata o assente. Frequenti resti conchigliari marini o salmastri sia interi che in frammenti. Depositi di palude e/o laguna con contributo variabile di acqua dolce e salata, di diversa origine: retrocordone, aree interdistributrici di piana deltizia ed in gran parte retrobarriera di complessi barriera/laguna; questi ultimi raggiungono spessori di 10-15 m subito a monte della chiusura del cordone litorale.

Età: *Pleistocene sup.* - *Olocene* (12.000 anni BP non cal. - attuale).



Isobata del tetto delle argille e limi con sostanza organica di palude-laguna (in metri s.l.m.)

I sedimenti alluvionali o costieri costituiscono solo la parte superiore della potente coltre sedimentaria dei depositi quaternari (stimati in oltre 1.500m di spessore da studi Agip).

Nel margine sud ovest del territorio comunale le sabbie litoranee danno luogo ai sedimenti lagunari-paludosi dell'entroterra; per quanto riguarda i depositi alluvionali, la granulometria è, invece, francamente limoso argilloso con sporadiche intercalazioni di limo sabbioso.

6.) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'idrografia superficiale del Comune di Cesenatico fa capo essenzialmente al torrente Pisciatello (corso d'acqua fondamentale del territorio) ed alla rete degli scoli della pianura. La pianura cesenate è inoltre solcata da canali e da corsi d'acqua incanalati, frutto di una secolare opera di bonifica. Le portate di questi corsi d'acqua, normalmente modeste ed addirittura minime nei periodi estivi, possono salire decisamente in corrispondenza di periodi di precipitazioni particolarmente intense nei relativi bacini imbriferi.

La situazione idrogeologica delle zone pianeggianti risulta caratterizzata dai depositi alluvionali quaternari, spesso permeabili e ben dotati di risorse idriche; sono presenti falde freatiche (non confinate) e falde artesiane (confinato).

Nell'area costiera in esame, interessata dall'affioramento delle sabbie del litorale e già urbanizzata, il deflusso delle acque di superficie non direttamente penetrate nel sottosuolo, risulta regimato da un apposito sistema urbano di scolo.

In merito alla falda, l'acquifero freatico costiero concerne il deposito sabbioso litoraneo.

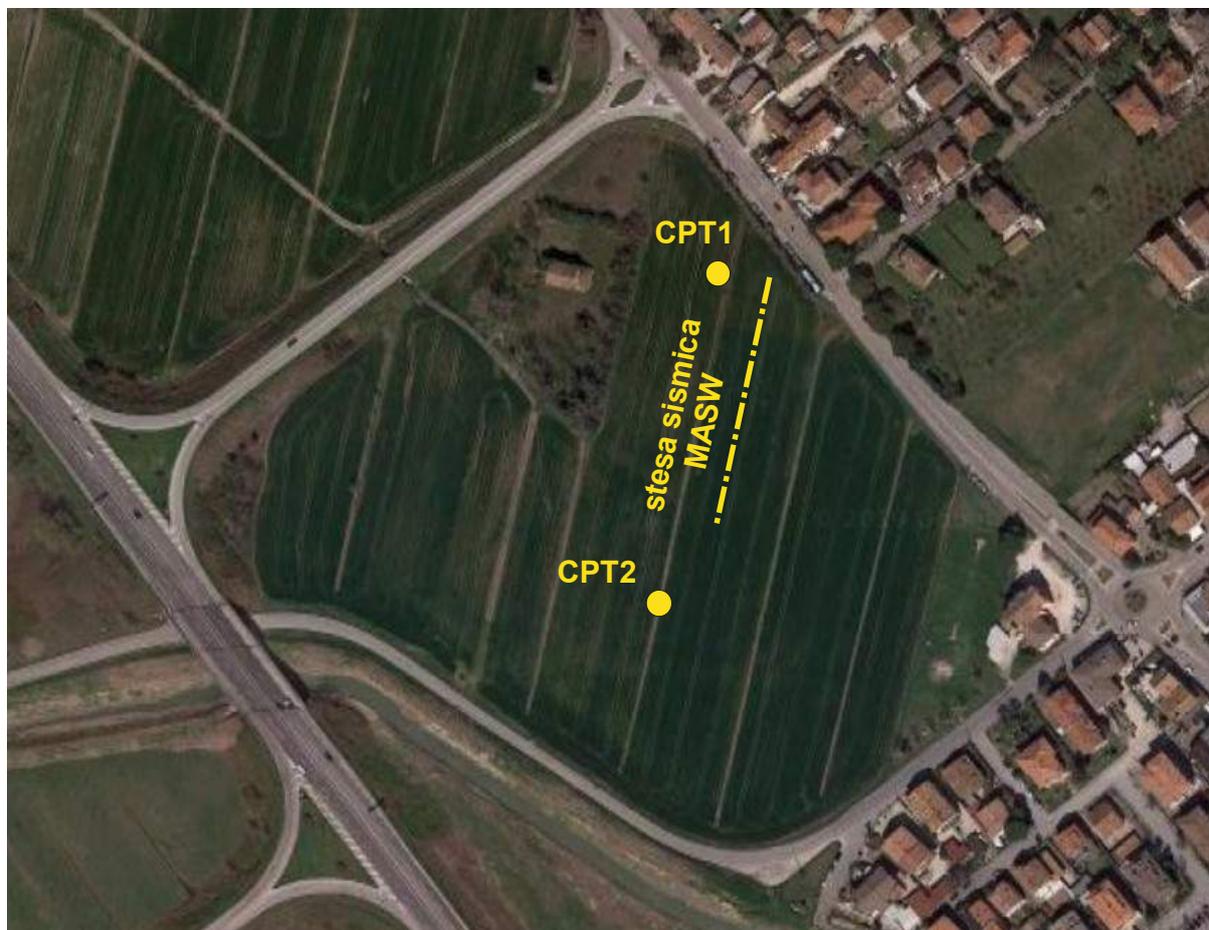
Dall'esame dei dati bibliografici a corredo dello strumento urbanistico comunale si può evidenziare la presenza della falda ad una profondità variabile tra -1,00 e -2,00 metri rispetto al piano di campagna. Non vi sono però sufficienti elementi per escludere che lo specchio della falda freatica possa ulteriormente risalire nel caso di eventi meteorologici particolarmente significativi.

Nel territorio costiero del Comune di Cesenatico, le acque artesiane (in pressione e dotate di specifici livelli piezometrici) sono presenti nel sottosuolo fino a profondità dell'ordine di 180 metri.

Esse sono confinate entro livelli sabbiosi e talvolta ghiaiosi, presenti a varia profondità entro una potente successione limoso argillosa praticamente impermeabile, che le separa tra loro e dalla falda freatica superficiale.

7.) INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di fornire un'adeguata conoscenza del sito in oggetto è stata condotta una campagna di indagini geognostiche (geotecniche e geofisiche), mirata in particolare alla valutazione dell'assetto stratigrafico, delle caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni caratterizzanti l'area.



Le indagini, la cui ubicazione è stata riportata nella figura soprastante, sono state eseguite nel periodo di Dicembre 2019; di seguito si riporta l'elenco completo delle indagini eseguite.

- 1.) n° 2 prove penetrometriche statiche CPT;
- 2.) n° 1 prova sismica MASW;

Le indagini geofisiche (sismiche) hanno consentito di ottenere un modello geologico dell'area in oggetto che è stato ottenuto con i dati stratigrafici-geotecnici puntuali, ottenuti dalle indagini geognostiche dirette (prove penetrometriche).

Le risultanze delle indagini sono sintetizzate nel presente paragrafo mentre i relativi tabulati sono esposti negli allegati.

7.1.) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Come riferito in precedenza per la presente indagine sono state eseguite 2 prove penetrometriche statiche; di seguito vengono sintetizzate le caratteristiche del penetrometro statico meccanico da 200 kN che è stato impiegato:

<i>Letture</i>	:	<i>punta-laterale</i>
<i>Baricentro punta lungo altezza (cm)</i>	:	100
<i>Area punta (cm²)</i>	:	10
<i>Area interna punta cono (cm²)</i>	:	8,5
<i>Angolo apertura punta (°)</i>	:	60
<i>Diametro punta conica (mm)</i>	:	35,7
<i>Altezza manicotto laterale (cm)</i>	:	13,3
<i>Sistema di misura</i>	:	<i>meccanico/idraulico</i>
<i>Passo (cm)</i>	:	20
<i>Peso manicotto ancoraggio (kg)</i>	:	2
<i>Superficie manicotto (cm²)</i>	:	150
<i>Costante di trasformazione</i>	:	10

La prova consiste nell'infiggere a pressione nel terreno un utensile dotato di una punta conica sormontata da un manicotto di protezione posta all'estremità di una batteria di aste, mediante un dispositivo meccanico/idraulico che mantiene costante la velocità di infissione. La prova viene eseguita misurando dei picchi di pressione ogni 20 cm di approfondimento raggiunti in 4 fasi distinte.

- a) Avanzamento di 4 cm della sola punta con misura della resistenza alla punta (Rp).
- b) Avanzamento di 4 cm della punta e del manicotto, trascinato automaticamente, con misura della resistenza alla punta più attrito locale (Rt).
- c) Infissione del rivestimento di 8 cm che raggiunge la punta.
- d) Infissione di tutto l'utensile di altri 12 cm a vuoto per oltrepassare il tratto di possibile disturbo e riprendere la prova.

La resistenza opposta dai terreni sciolti alla penetrazione del sistema è funzione delle caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni attraversati. Si ottiene in questo modo un diagramma semi continuo della resistenza alla punta e della resistenza laterale (RI), l'interpretazione del quale permette di ottenere oltre che la stratigrafia di massima anche informazioni puntuali sulle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati.

Le due prove sono state posizionate in modo tale da ottenere una copertura omogenea del sito di intervento. La profondità massima raggiunta è stata di 12,20 m in corrispondenza della CPT2.

In generale le prove hanno evidenziato una buona correlazione dei valori riscontrati (resistenza alla punta e resistenza laterale) ed hanno interessato superficialmente terreni a comportamento prevalentemente coesivo medio-fini.

I livelli individuati sono meglio descritti nelle pagine seguenti.

Nella tabella seguente vi sono riportate le profondità raggiunte dalle prove penetrometriche statiche e la stratigrafia incontrata.

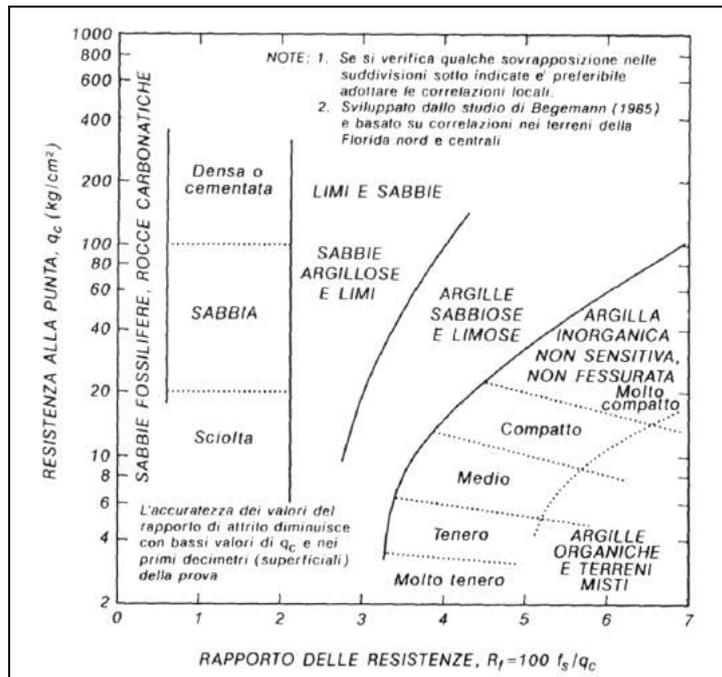
PROVA PENETROMETRICA STATICA **CPT1**

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	6,354	1,034	1,4	Incoerente-Coesivo	Argilla torbosa plastica
3,00	15,781	1,085	1,9	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso addensato
4,00	15,552	0,627	1,9	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso
5,00	20,89	0,8	1,9	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso
9,20	18,956	1,063	1,9	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso plastico
10,60	19,148	0,857	1,9	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso
11,60	19,6	0,84	1,9	Incoerente	Limo argilloso-sabbioso

PROVA PENETROMETRICA STATICA **CPT2**

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	6,888	1,117	1,9	Incoerente-Coesivo	Argilla torbosa plastica
3,80	15,186	0,964	1,3	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso addensato
5,80	23,362	0,753	1,1	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso
8,00	17,107	0,915	1,1	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso plastico
9,40	21,139	1,295	1,1	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso consistente
10,00	13,38	0,711	1,1	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso plastico
12,20	24,606	0,897	1,1	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso

Una volta ottenuti valori della resistenza alla punta e della resistenza laterale esistono diverse curve di interpretazioni dei dati che permettono di risalire alla litologia, in questo caso è stata utilizzata, come base di partenza, l'interpretazione di Schmertmann che considera il rapporto percentuale



$F' = R_i / R_p \cdot 100$ e fornisce un'interpretazione in base al seguente diagramma.

Il valore della coesione non drenata (C_u) per i terreni coesivi o dell'angolo di attrito interno efficace (φ') per i terreni incoerenti dei terreni attraversati è desumibile, partendo dai valori di R_p e precisamente:

$$C_u = \frac{(R_p - P_v)}{a}$$

dove: P_v è la pressione litostatica verticale efficace alla profondità della misura.

a è un fattore di capacità portante variabile da 10 a 25

φ' è invece funzione del rapporto R_p/P_v

7.2.) INDAGINI SISMICHE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

La metodologia geofisica indiretta può essere un importante approccio al fine di correlare le informazioni puntuali ricavate da prove dirette con i valori di velocità delle onde sismiche consentendo una buona caratterizzazione stratigrafica dei terreni presenti nell'area di intervento.

E' stato pertanto eseguito un profilo sismico con metodologia MASW per la determinazione della velocità $V_{s,eq}$ necessaria alla classificazione sismica del sito.

Nello specifico è stato utilizzato uno stendimento a 24 canali, con interdistanza geofonica pari a 2,0 m; l'ubicazione della prova (stendimento S1) e la descrizione di dettaglio della metodologia e dei risultati sono riportate in allegato.

Le misure sperimentali sono state elaborate per mezzo dello specifico programma di interpretazione che elabora un modello monodimensionale di velocità nel sottosuolo che soddisfa i valori misurati; in allegato viene sintetizzata la stratigrafia sismica ottenuta.

Il valore risultante di $V_{s,eq}$ (calcolato per i primi 30m) è risultato pari a 188 m/sec.

8.) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dal raffronto tra le informazioni ottenute con il rilevamento i dati delle indagini eseguite ed i riscontri bibliografici è stato possibile ottenere una caratterizzazione dei terreni interessati dall'intervento.

8.1.) ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

L'assetto litostratigrafico locale può essere sintetizzato come segue:

- **Limi argilloso sabbiosi (A₁)**: costituiti da materiali a granulometria limosa da argillosa a sabbiosa con valori di resistenza alla punta Qc medi di circa 15+20 Kg/cmq; si sono rinvenute fino al termine della prova.

8.2.) PARAMETRI GEOTECNICI

La caratterizzazione geotecnica dei materiali deriva dai risultati delle indagini eseguite e da dati bibliografici riferibili a prove in sito e di laboratorio su campioni ben assimilabili a quelli in oggetto. Di seguito si riportano i principali parametri geotecnici minimi e medi dell'orizzonte litostratigrafico descritto in precedenza.

ORIZZONTE GEOTECNICO A₁

angolo di attrito efficace	ϕ'	=	23-25° *
coesione drenata	c'	=	5 -10 kPa *
coesione non drenata	Cu	=	80 -100 kPa
peso di volume naturale	γ'	=	18 - 19 kN/m ³
densità relativa	Dr	=	20 - 30 %

* condizioni drenate

9.) CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Classificazione sismica del territorio

Il territorio del Comune di Cesenatico interessato dall'intervento in progetto è classificato sismico di seconda categoria (S=9) dal 1983.

Zona sismica

L'area considerata ricade nella zona sismica 2 (individuata mediante i valori di a_g compresi tra 0,15g e 0,25g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e riferiti a suoli rigidi contraddistinti da $V_{s30} > 800$ m/s) caratterizzata da un'accelerazione sismica orizzontale massima a_g pari a 0,25g.

Categoria di sottosuolo di fondazione

L'indagine geofisica ha evidenziato valori di velocità equivalente alla profondità di 30 metri dal piano di campagna ($V_{s,eq}$) risultano intorno ai 184 m/s, ancora riconducibili alla categoria di suolo C.

Parametrizzazione sismica

Si fornisce di seguito la parametrizzazione, relativa al sito in esame, considerando una Vita Nominale di 50 anni e una Classe d'Uso 2.

Fattore d'amplificazione stratigrafica

Considerando l'ambito in esame con substrato a profondità maggiore di 100m, per il valore di V_{s30} ottenuto è stato individuato un fattore di amplificazione stratigrafica pari a 1,43.

Effetti della topografia

Nel caso in esame gli effetti della topografia sono trascurabili, in quanto non vi figurano pendii con inclinazione maggiore di 15°.

Accelerazione massima orizzontale di picco al suolo ed Accelerazione massima di progetto

In merito all'accelerazione orizzontale massima al bedrock a_g , sono attesi valori inferiori a 0.182g, calcolati con una probabilità di superamento del 10% in 475 anni (corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita) ed una $A_{max} = 2,552$.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Per valutare il terremoto di riferimento, per quanto concerne il territorio di Cesenatico, è stato consultato

1. il database dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che mostra una magnitudo media pari a 5,1, così com'è evidente nelle seguenti immagini, il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (maggio 2004) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che indica come magnitudo massima 5,65 com'è evidente nell'immagine seguente. L'analisi dei dati porta a ritenere, per l'area in esame, che sia cautelativo utilizzare per i calcoli della suscettività alla liquefazione una magnitudo pari a 5,5

Per liquefazione si intende un processo di incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, ghiaia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide.

Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Ai sensi dell'articolo 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

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

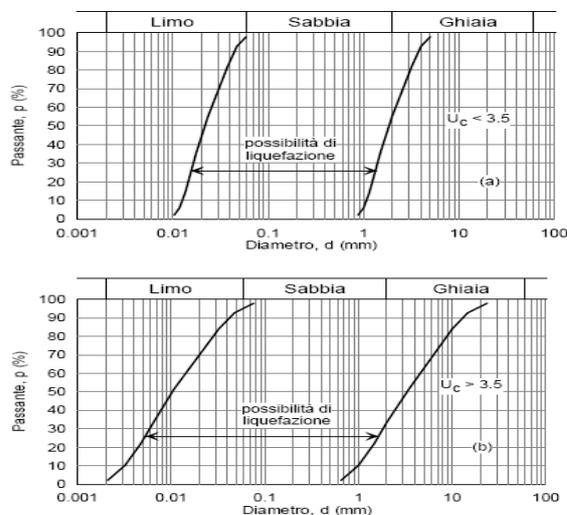


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Quando la prima condizione non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Come risulta dalla cartografia del Rischio Sismico del § 3, l'area ricade in parte in "Zona 5 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche", e in parte in "Zona 8 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni fini potenzialmente soggetti a cedimenti"; ci troviamo quindi al di fuori dello scenario di pericolosità sismica locale 7: aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni potenzialmente liquefacibili.

Parametri per la determinazione dell'azione sismica

Per il calcolo dell'azione sismica, gli elementi necessari sono i seguenti:

- categoria di suolo di fondazione
- condizioni topografiche
- Classe d'uso opera e Vita nominale opera
- Parametri sismici di sito (T_r , a_g , F_o , T_c^*)

Determinazione della categoria di suolo di fondazione

Per la caratterizzazione fisica e geotecnica, si considera la velocità media delle onde di taglio al di sopra del bedrock sismico ($V_{s_{eq}}$).

I valori delle velocità caratteristiche di questi terreni riscontrati permettono di collocare il bedrock sismico a profondità superiore ai 30 metri, pertanto la $V_{s_{eq}}$ corrisponde alla V_s dei primi 30 metri che nel sito di interesse ricade in **Categoria di suolo C**.

estratto da tabella 3.2.II - NTC 18

Categoria	Descrizione
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 miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Determinazione delle condizioni topografiche

estratto da tabella 3.2.IV - NTC 18

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Determinazione delle caratteristiche dell'opera

Al fine di poter effettuare le verifiche di sicurezza è necessario definire anche la vita nominale dell'opera e, in presenza di azioni sismiche, la classe d'uso con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, di seguito si riportano i valori considerati.

estratto da tabella 2.4.I - NTC 18

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di V_N (in anni)
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50

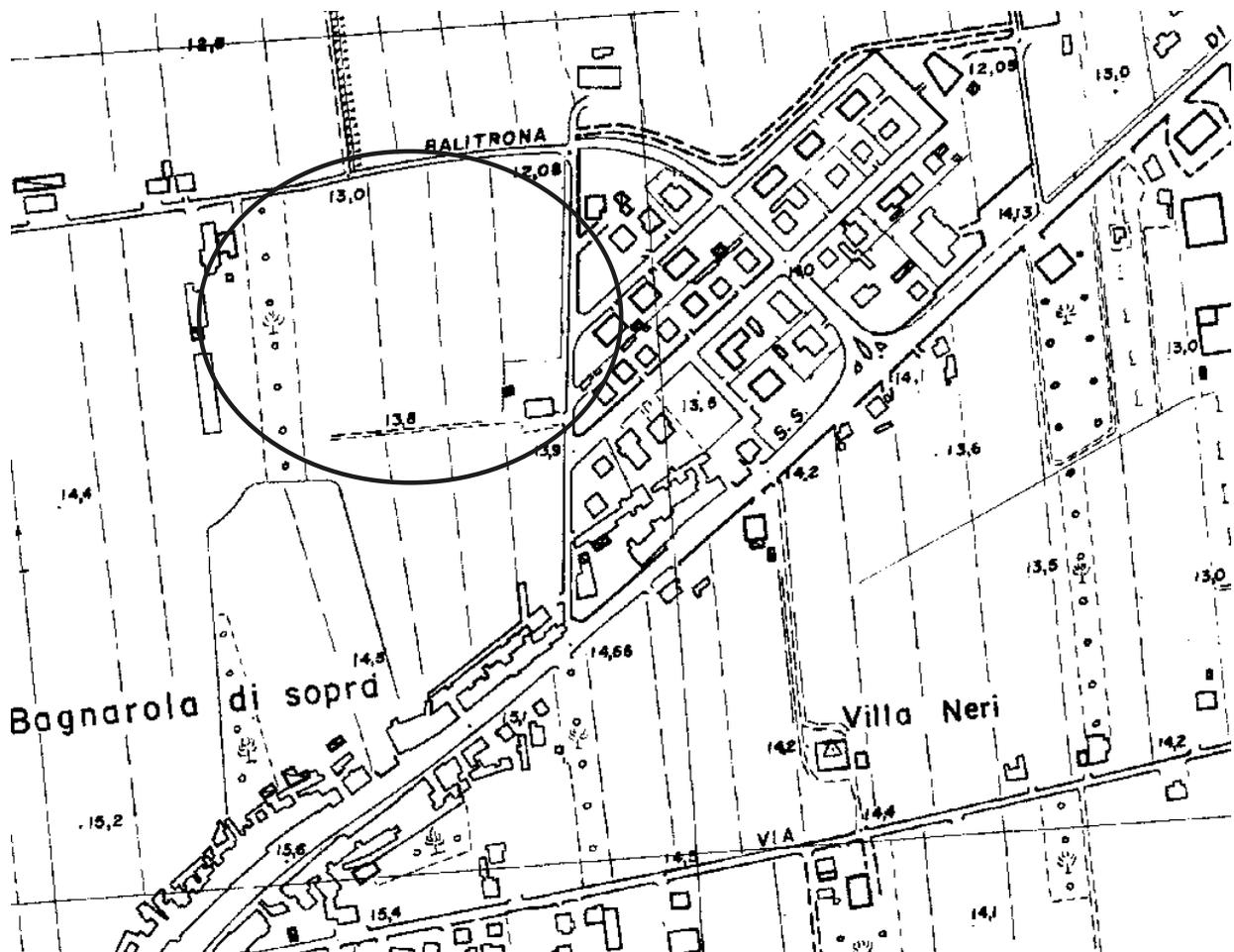
Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Determinazione dei parametri sismici di sito

I parametri sismici di sito sono stati calcolati, inserendo le coordinate geografiche medie del sito, la classe d'uso della costruzione, la vita nominale della costruzione per mezzo di un apposito software che utilizza come base di dati il reticolo di riferimento nazionale. Si riportano in allegato 3 i dati completi al sito.

10.) UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE DI BAGNAROLA

L'area oggetto di indagine in Frazione Bagnarola fa parte del territorio comunale di Cesenatico; tale area è cartografata sul Foglio 256 "Rimini" della Cartografia Geologica d'Italia (scala 1:50.000) e sulla sezione 241130-256010 "CESENATICO NORD-SUD" della Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia Romagna, infine è censita al Foglio 24 mappali 2138 e 2136 (parte) della Planimetria Catastale Comunale.



Stralcio corografia da C.T.R.



Stralcio corografia da Catastale.

L'area in esame, situata in località Bagnarola, è costituita da un terreno, che il P.R.G. destinata ad attrezzature pubbliche e di interesse generale di quartiere e di insediamento, nel dettaglio "G2"- verde pubblico, ma che da decenni è coltivato a seminativo.

La variante prospetta la creazione di un Piano Unitario – che prenderà la denominazione di PU/72 – il quale prevede una quota parte a destinazione residenziale "B1", parte a verde privato "VP", e parte ad attrezzature pubbliche e di interesse generale specificate in verde pubblico "G2" e parcheggio pubblico "G3".

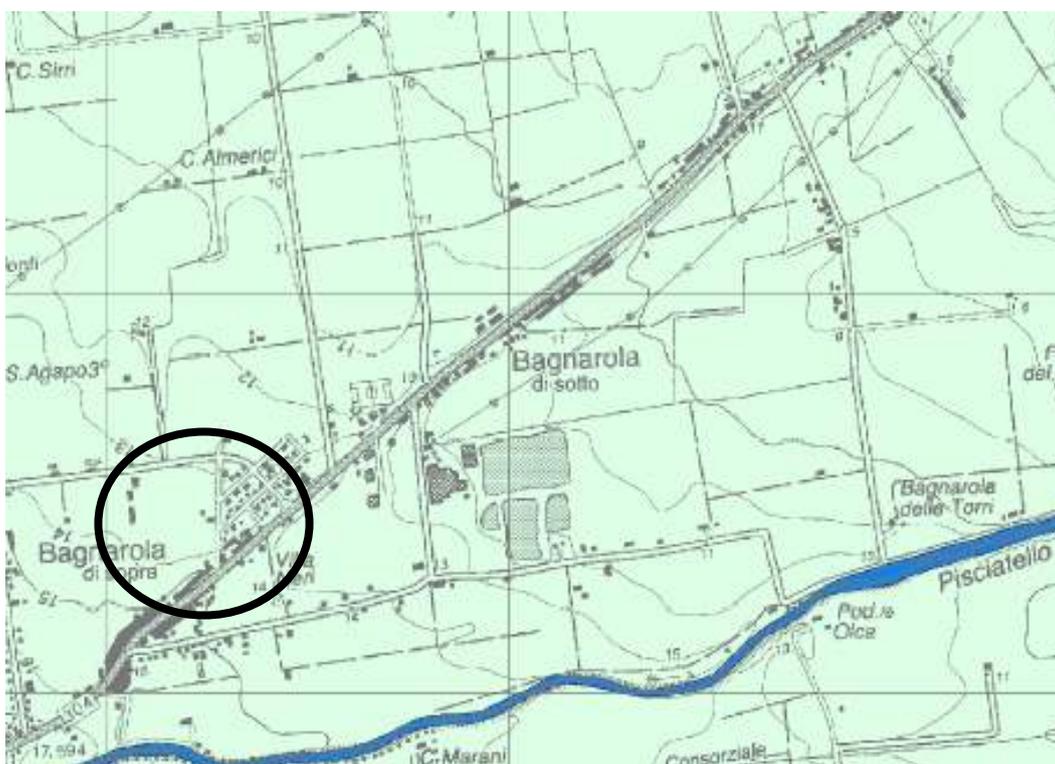
La trasformazione in senso residenziale interessa un comparto già inserito all'interno del tessuto pianificato. L'intorno è costituito da fabbricati prevalentemente residenziali di recente costruzione.

Il nuovo Piano Unitario rispetta in parte le attuali previsioni tramite la realizzazione di una fascia di verde pubblico, mentre con la porzione a residenziale e parcheggio pubblico si darà continuità alla trama urbanistica disposta lungo la via pubblica.

11.) INQUADRAMENTO NORMATIVO

Rischio idrogeologico

Dalla consultazione degli elaborati costitutivi la "Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico ai sensi degli articoli 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano", così come modificata dalla variante di coordinamento P.A.I.-P.G.R.A. (DGR 2112/2016), la porzione di territorio interessata da trasformazione urbanistica risulta ricadente in "area di potenziale allagamento" (Art. 6), ed assoggettata ad un tirante idrico di riferimento compreso fino a 50 cm (come risulta negli estratti delle tavole 256NO 256SO, in scala 1:25.000 del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli). L'eventuale trasformazione fisica di questa area dovrà tener conto di tale vulnerabilità e prevedere misure necessarie per fronteggiare i potenziali rischi.

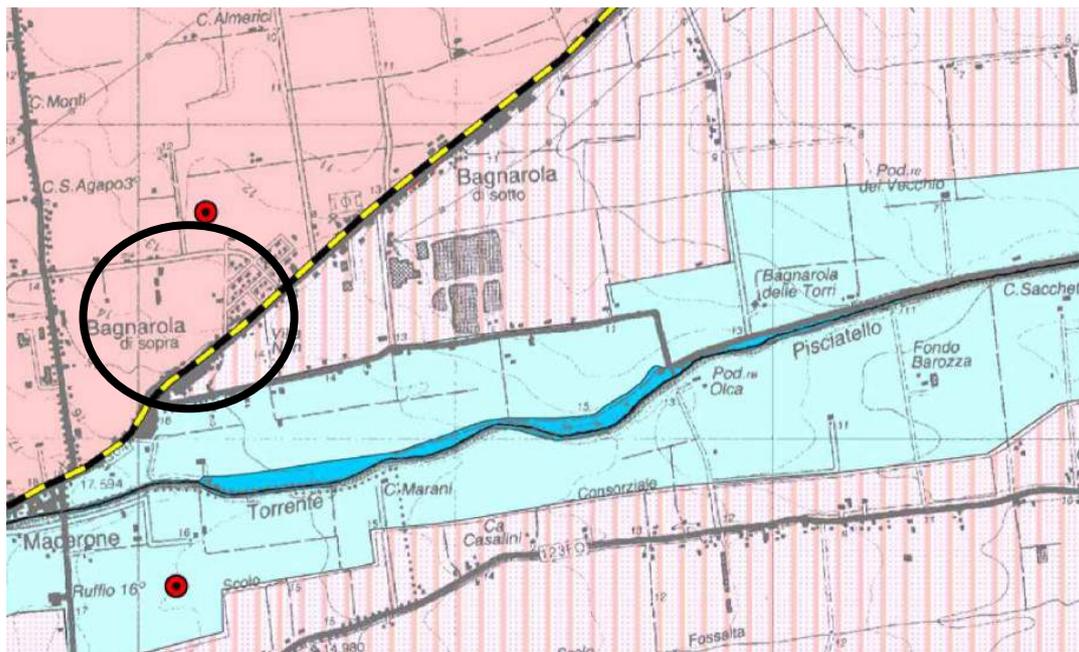


Aree a rischio idrogeologico

Titolo II - "Assetto della rete idrografica"

-  **Art. 2 ter - alveo:**  piena ordinaria  porzione incisa
-  **Art. 3 - aree ad elevata probabilità di esondazione**
-  **Art. 4 - aree a moderata probabilità di esondazione**
-  **Art. 6 - aree di potenziale allagamento**

Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale



L'area in esame ricade nelle "zone di tutela della struttura centuriata", di cui all'art.21B del PTCP, comma 2, lett.a). Poiché l'area ricade all'interno dell'ambito del territorio urbanizzato, non è soggetta a prescrizioni.

Dissesto

Un inquadramento dei rischi geologici, idrogeologici e geomorfologici del territorio comunale è fornito dalla Carta del dissesto e della Vulnerabilità Territoriale allegata al Piano Strutturale Comunale.



Il sito oggetto della presente valutazione è classificato nella Tavola relativa ai fenomeni di dissesto del territorio tra le “zone di tutela dei corpi idrici e superficiali” caratterizzate da ricchezza di falde idriche, rinviando in tal modo alla tutela di cui all'art. 28, comma 2, delle norme del P.T.C.P..

La stessa area è inoltre soggetta a fenomeni di subsidenza.

Non sussistono problemi di incompatibilità rispetto alle nuove destinazioni urbanistiche, che non prevedono l'insediamento di attività vietate.

Vincoli

L'area in esame fa parte del territorio pianificato e si presenta priva di vincoli.



Zonazione sismica

Il territorio del Comune di Cesenatico interessato dall'intervento in progetto è classificato sismico di seconda categoria (S=9) dal 1983.

Rischio sismico

Un inquadramento dei rischi sismici del territorio comunale è fornito dalla Carta del Rischio sismico e carta delle aree suscettibili di effetti locali.



Scenari di pericolosità sismica locale

- 1 - Aree instabili e soggette ad amplificazione per caratteristiche stratigrafiche
- 2 - Aree instabili e soggette ad amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e topografiche
- 3 - Aree potenzialmente instabili e soggette ad amplificazione per caratteristiche stratigrafiche
- 4 - Aree potenzialmente instabili e soggette ad amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e topografiche
- 5 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche
- 6 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e topografiche
- 7 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni potenzialmente liquefacibili
- 8 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche con terreni fini potenzialmente soggetti a cedimenti
- 9 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche topografiche
- 10 - Aree in cui non sono attesi effetti locali

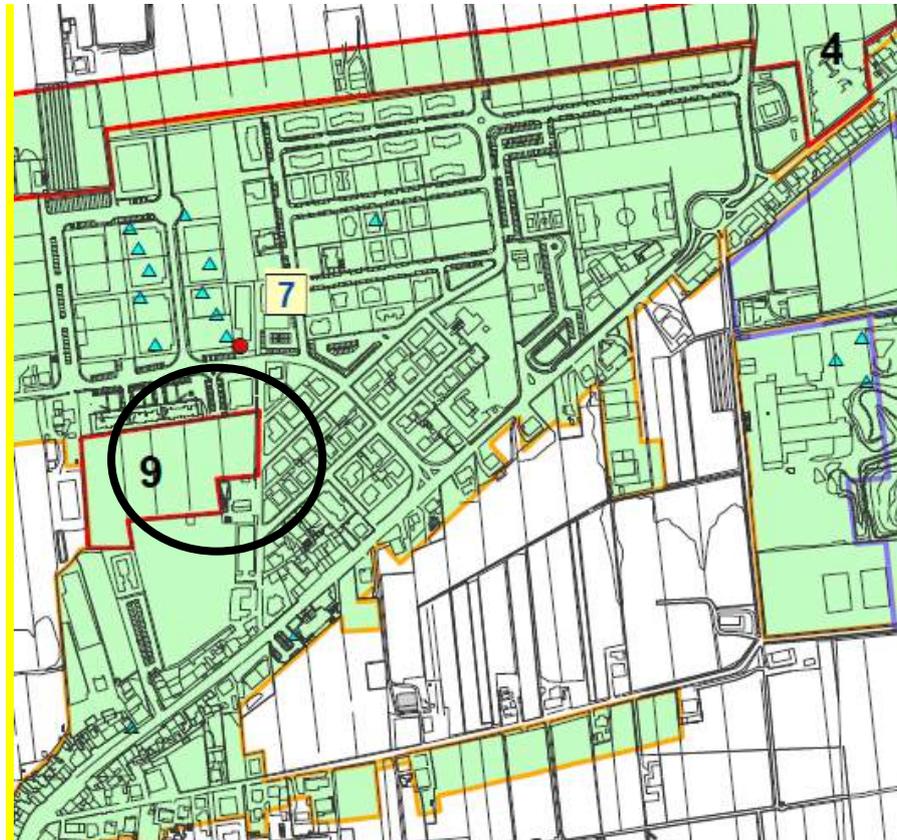
Corpi ghiaiosi pedecollina-pianura

- Ghiaie sepolte
- Ghiaie affioranti
- 15 Isobate del tetto delle ghiaie (metri s.l.m.)
- Limite morfologico collina-pianura (art. 9 PTCP)
- Confine provinciale

L'area ricade in "Zona 6 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni fini potenzialmente soggetti a cedimenti". La destinazione urbanistica di variante non presenta incompatibilità con lo scenario di pericolosità sismica locale che caratterizza quella porzione di territorio. L'eventuale futura trasformazione fisica dell'area dovrà tenere conto delle vulnerabilità presenti.

Zonazione sismica di secondo livello

Per quanto riguarda la zonizzazione sismica di secondo livello, dalla sottostante cartografia del Piano Strutturale Comunale si evidenzia che il sito ricade nelle aree con classe di amplificazione attesa di periodo 0.5 – 1 secondi da non sottoporre ad approfondimento di 3° livello per potenziale liquefazione.



Territorio urbanizzato

-  Centro storico (Art. A-7)
-  Ambiti urbani consolidati (Art. A-10)
-  Ambiti specializzati per attività produttive (Art. A-13)

Territorio urbanizzabile

-  1 Ambiti per nuovi insediamenti (Art. A-12)
-  Ambiti da riqualificare - misto a destinazione turistica, ricettiva, residenziale (Art. A-11)
-  Nuovi ambiti specializzati per attività produttive (Art. A-13)
-  6 Ambiti da riqualificare - darsena e riposizionamento delle attività cantieristiche della filiera connessa (Art. A-11)
-  Territorio pianificato non compreso negli ambiti consolidati

-  4
 -  Prova sismica passiva a stazione singola
 -  Prova sismica attiva e passiva in array
 -  Prova sismica di archivio
 -  Prova geognostica diretta di archivio (sondaggio o penetrometria)

Classi di amplificazione attesa (Periodo 0,1-0,5 secondi)

 2.5

Classi di amplificazione attesa (Periodo 0,5-1 secondi)

 2.5

 Aree da sottoporre ad approfondimento di 3° livello per potenziale liquefazione

12.) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

Il Comune di Cesenatico si colloca nel margine sud orientale della Valle Padana ed appartiene alla Provincia di Forlì-Cesena, in un contesto territoriale sostanzialmente di pianura, compresa quella dove si trova il sito considerato dalla presente indagine, a ponente della fascia costiera e del centro abitativo comunale.

La morfologia della pianura alluvionale è piuttosto monotona, salvo che in corrispondenza delle principali incisioni fluviali.

La zona in esame è situata, a circa 13-13,8 metri sul livello marino (vedi anche stralcio corografia § 10), a margine del deposito sabbioso costiero che, nel litorale di Cesenatico, costituisce una fascia pressoché continua della larghezza media dell'ordine di 800 metri.

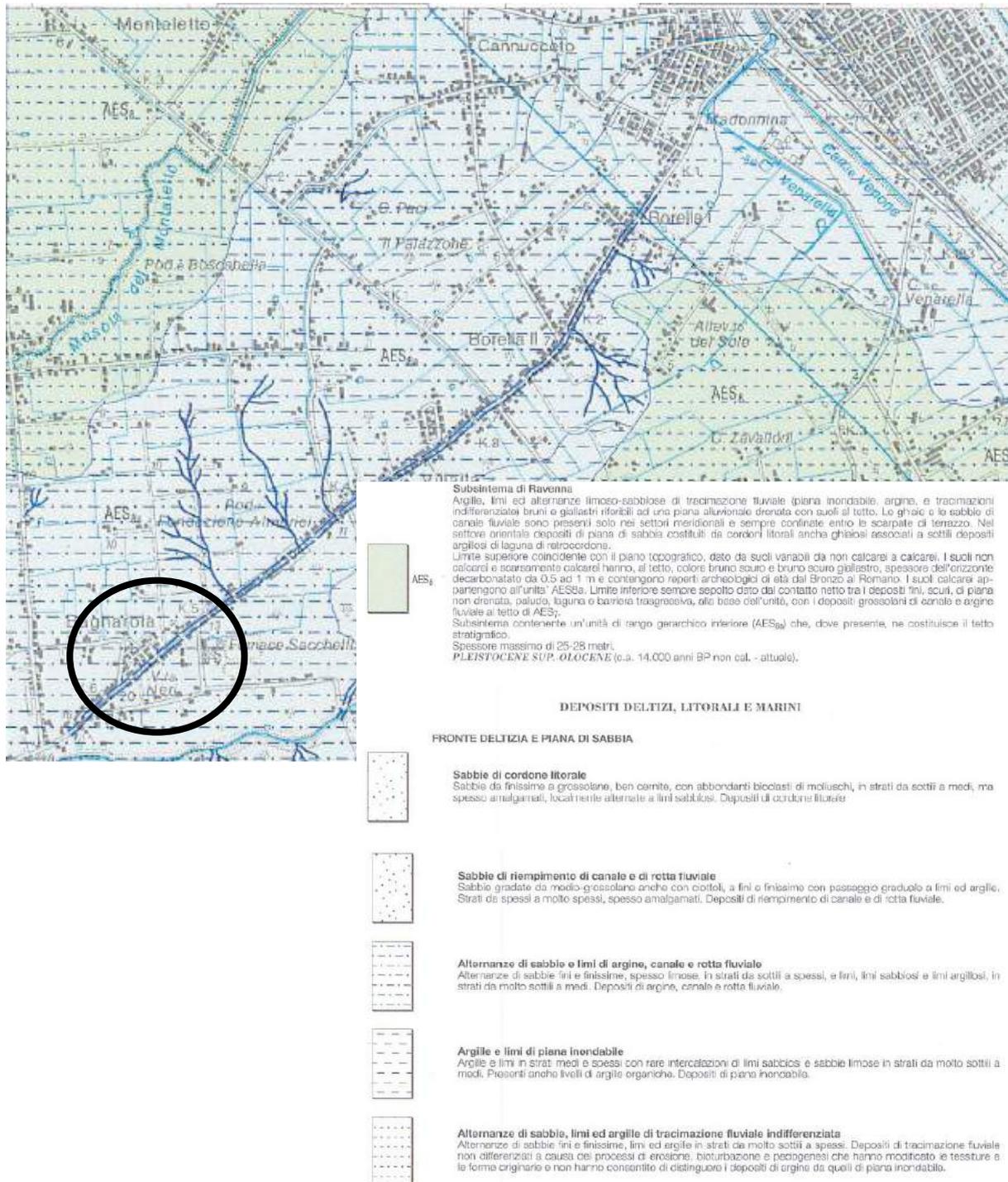
Il settore in oggetto risulta solo in parte urbanizzato, con prevalente carattere agricolo e costituito da depositi lagunari argilloso limosi più o meno coevi.

Nella zona in esame e nelle sue pertinenze, dato l'andamento pianeggiante della superficie, non sussistono problemi di instabilità.

13.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La zona in esame, com'è evidente nello stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 sottostante, ricade in terreni di pertinenza del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), del Pleistocene medio - Olocene, che comprende sia depositi alluvionali, sia sedimenti marini costieri ed è suddiviso in più Subsistemi.

L'area considerata concerne, in particolare, l'Unità di Modena (AES8a) del Subsistema di Ravenna (AES8).



In generale il Subsistema di Ravenna, del Pleistocene superiore - Olocene, è costituito: da argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate) su piane alluvionali; da ghiaie e sabbie di canale fluviale; da depositi di sabbia da cordoni litorali anche ghiaino; da sottili depositi argillosi lagunari di retrocordone.

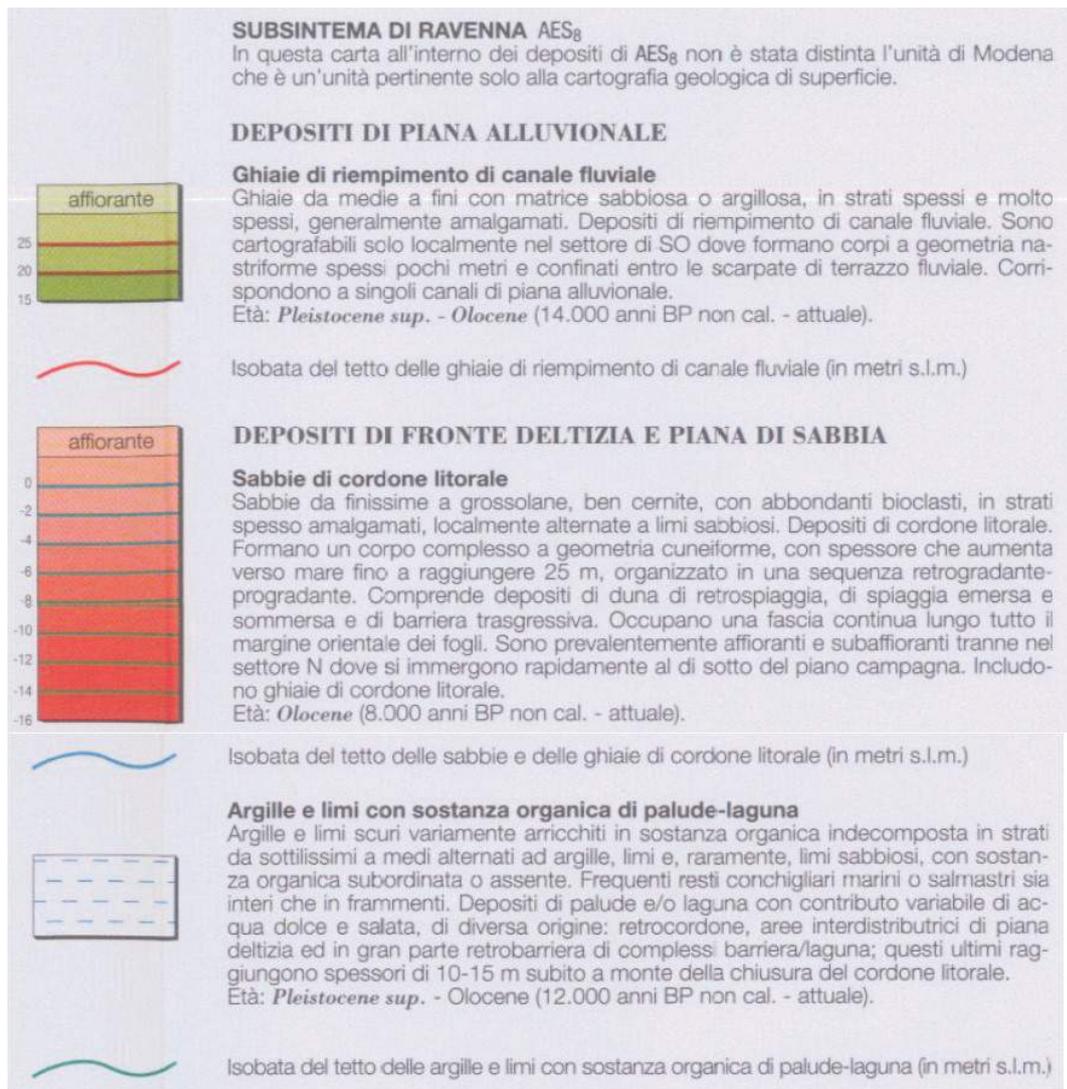
L'Unità di Modena costituisce, ove presente, il tetto stratigrafico del Subsistema di Ravenna ed è contraddistinta nell'alta pianura, lungo i fiumi principali, da ghiaie e sabbie di canale fluviale organizzate in un unico ordine di terrazzo; nella pianura alluvionale da alternanze di sabbie, limi ed argille di tracimazione fluviale distinte in depositi di argine e depositi di piana inondabile; nella costa e nell'Adriatico da sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia passanti ad argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma.

Localmente possono essere presenti anche argille organiche di laguna di retrocordone.

In particolare, l'area interessata dal presente studio ricade interamente sull'Unità di Modena del Subsistema di Ravenna ed in particolare nella classe in cui si alternano sabbie e limi sabbiosi e limi argillosi.

TETTO DELLE GHIAIE - SUBSISTEMI DI RAVENNA (AES₈) E VILLA VERUCCHIO (AES₇)





I sedimenti alluvionali o costieri costituiscono solo la parte superiore della potente coltre sedimentaria dei depositi quaternari (stimati in oltre 1.500m di spessore da studi Agip).

Nel margine sud ovest del territorio comunale le sabbie litoranee danno luogo ai sedimenti lagunari-paludosi dell'entroterra; per quanto riguarda i depositi alluvionali, la granulometria è, invece, francamente limoso argilloso con sporadiche intercalazioni di limo sabbioso

14.) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'idrografia superficiale del Comune di Cesenatico fa capo essenzialmente al torrente Pisciatello (corso d'acqua fondamentale del territorio) ed alla rete degli scoli della pianura. La pianura cesenate è inoltre solcata da canali e da corsi d'acqua incanalati, frutto di una secolare opera di bonifica. Le portate di questi corsi d'acqua, normalmente modeste ed addirittura minime nei periodi estivi, possono salire decisamente in corrispondenza di periodi di precipitazioni particolarmente intense nei relativi bacini imbriferi.

La situazione idrogeologica delle zone pianeggianti risulta caratterizzata dai depositi alluvionali quaternari, spesso permeabili e ben dotati di risorse idriche; sono presenti falde freatiche (non confinate) e falde artesiane (confinato).

Nell'area costiera in esame, interessata dall'affioramento delle sabbie del litorale e già urbanizzata, il deflusso delle acque di superficie non direttamente penetrate nel sottosuolo, risulta regimato da un apposito sistema urbano di scolo.

In merito alla falda, l'acquifero freatico costiero concerne il deposito sabbioso litoraneo.

Dall'esame dei dati bibliografici a corredo dello strumento urbanistico comunale si può evidenziare la presenza della falda ad una profondità variabile tra -1,00 e -2,00 metri rispetto al piano di campagna. Non vi sono però sufficienti elementi per escludere che lo specchio della falda freatica possa ulteriormente risalire nel caso di eventi meteorologici particolarmente significativi.

Nel territorio costiero del Comune di Cesenatico, le acque artesiane (in pressione e dotate di specifici livelli piezometrici) sono presenti nel sottosuolo fino a profondità dell'ordine di 180 metri.

Esse sono confinate entro livelli sabbiosi e talvolta ghiaiosi, presenti a varia profondità entro una potente successione limoso argillosa praticamente impermeabile, che le separa tra loro e dalla falda freatica superficiale.

15.) INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di fornire un'adeguata conoscenza del sito in oggetto è stata condotta una campagna di indagini geognostiche (geotecniche e geofisiche), mirata in particolare alla valutazione dell'assetto stratigrafico, delle caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni caratterizzanti l'area.



Le indagini, la cui ubicazione è stata riportata nella figura soprastante, sono state eseguite nel periodo di Dicembre 2019; di seguito si riporta l'elenco completo delle indagini eseguite.

- 3.) *n° 2 prove penetrometriche statiche CPT;*
- 4.) *n° 1 prova sismica MASW;*

Le indagini geofisiche (sismiche) hanno consentito di ottenere un modello geologico dell'area in oggetto che è stato ottenuto con i dati stratigrafici-geotecnici puntuali, ottenuti dalle indagini geognostiche dirette (prove penetrometriche).

Le risultanze delle indagini sono sintetizzate nel presente paragrafo mentre i relativi tabulati sono esposti negli allegati.

15.1.) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Come riferito in precedenza per la presente indagine sono state eseguite 2 prove penetrometriche statiche; di seguito vengono sintetizzate le caratteristiche del penetrometro statico meccanico da 200 kN che è stato impiegato:

<i>Letture</i>	:	<i>punta-laterale</i>
<i>Baricentro punta lungo altezza (cm)</i>	:	100
<i>Area punta (cm²)</i>	:	10
<i>Area interna punta cono (cm²)</i>	:	8,5
<i>Angolo apertura punta (°)</i>	:	60
<i>Diametro punta conica (mm)</i>	:	35,7
<i>Altezza manicotto laterale (cm)</i>	:	13,3
<i>Sistema di misura</i>	:	<i>meccanico/idraulico</i>
<i>Passo (cm)</i>	:	20
<i>Peso manicotto ancoraggio (kg)</i>	:	2
<i>Superficie manicotto (cm²)</i>	:	150
<i>Costante di trasformazione</i>	:	10

La prova consiste nell'infiggere a pressione nel terreno un utensile dotato di una punta conica sormontata da un manicotto di protezione posta all'estremità di una batteria di aste, mediante un dispositivo meccanico/idraulico che mantiene costante la velocità di infissione. La prova viene eseguita misurando dei picchi di pressione ogni 20 cm di approfondimento raggiunti in 4 fasi distinte.

- e) Avanzamento di 4 cm della sola punta con misura della resistenza alla punta (Rp).
- f) Avanzamento di 4 cm della punta e del manicotto, trascinato automaticamente, con misura della resistenza alla punta più attrito locale (Rt).
- g) Infissione del rivestimento di 8 cm che raggiunge la punta.
- h) Infissione di tutto l'utensile di altri 12 cm a vuoto per oltrepassare il tratto di possibile disturbo e riprendere la prova.

La resistenza opposta dai terreni sciolti alla penetrazione del sistema è funzione delle caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni attraversati. Si ottiene in questo modo un diagramma semi continuo della resistenza alla punta e della resistenza laterale (RI), l'interpretazione del quale permette di ottenere oltre che la stratigrafia di massima anche informazioni puntuali sulle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati.

Le due prove sono state posizionate in modo tale da ottenere una copertura omogenea del sito di intervento. La profondità massima raggiunta è stata di 12,60 m in corrispondenza della CPT1.

In generale le prove hanno evidenziato una buona correlazione dei valori riscontrati (resistenza alla punta e resistenza laterale) ed hanno interessato superficialmente terreni a comportamento prevalentemente coesivo medio-fini.

I livelli individuati sono meglio descritti nelle pagine seguenti.

Nella tabella seguente vi sono riportate le profondità raggiunte dalle prove penetrometriche statiche e la stratigrafia incontrata.

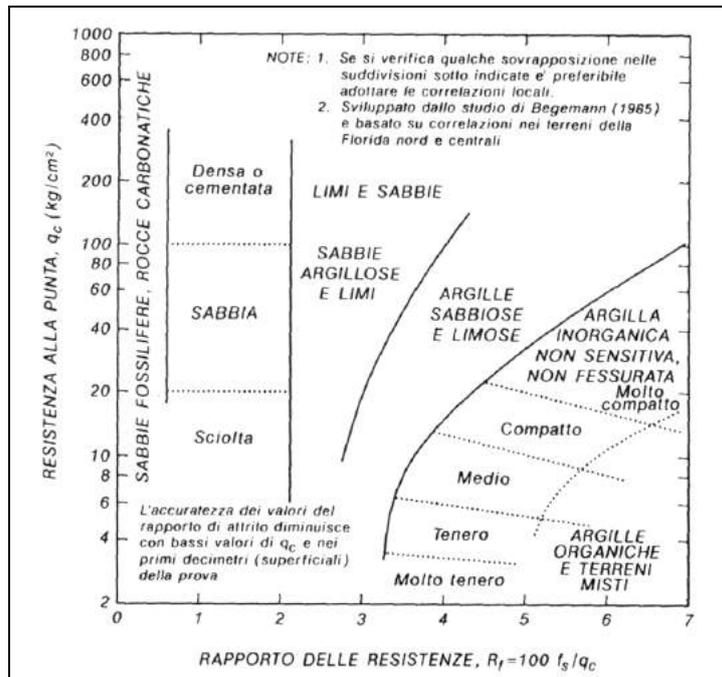
PROVA PENETROMETRICA STATICA **CPT1**

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	10,388	1,2	1,5	Incoerente-Coesivo	Argille plastiche
7,40	14,545	0,624	1,2	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso
10,00	16,956	0,856	1,1	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso plastico
10,80	19,268	1,5	1,1	Incoerente-Coesivo	Limo argilloso-sabbioso molto addensato
12,60	17,798	0,533	1,1	Incoerente-Coesivo	Sabbia argilloso-limosa

PROVA PENETROMETRICA STATICA **CPT2**

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	8,91	1,12	1,9	Coesivo	Argilla torbosa plastica
5,00	16,083	0,617	1,2	Incoerente	Limo argilloso-sabbioso
7,00	11,824	0,587	1,1	Coesivo	Limo argilloso soffice
8,40	13,385	0,733	1,1	Coesivo	Limo argilloso plastico
10,80	21,348	1,072	1,1	Coesivo	Limo argilloso plastico
11,40	21,667	0,4	1,1	Incoerente	Sabbie limose

Una volta ottenuti valori della resistenza alla punta e della resistenza laterale esistono diverse curve di interpretazioni dei dati che permettono di risalire alla litologia, in questo caso è stata utilizzata, come base di partenza, l'interpretazione di Schmertmann che considera il rapporto percentuale



$F' = R_i / R_p \cdot 100$ e fornisce un'interpretazione in base al seguente diagramma.

Il valore della coesione non drenata (C_u) per i terreni coesivi o dell'angolo di attrito interno efficace (φ') per i terreni incoerenti dei terreni attraversati è desumibile, partendo dai valori di R_p e precisamente:

$$C_u = \frac{(R_p - P_v)}{a}$$

dove: P_v è la pressione litostatica verticale efficace alla profondità della misura.

a è un fattore di capacità portante variabile da 10 a 25

φ' è invece funzione del rapporto R_p/P_v

15.2.) INDAGINI SISMICHE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

La metodologia geofisica indiretta può essere un importante approccio al fine di correlare le informazioni puntuali ricavate da prove dirette con i valori di velocità delle onde sismiche consentendo una buona caratterizzazione stratigrafica dei terreni presenti nell'area di intervento.

E' stato pertanto eseguito un profilo sismico con metodologia MASW per la determinazione della velocità $V_{s,eq}$ necessaria alla classificazione sismica del sito.

Nello specifico è stato utilizzato uno stendimento a 24 canali, con interdistanza geofonica pari a 2,0 m; l'ubicazione della prova (stendimento S1) e la descrizione di dettaglio della metodologia e dei risultati sono riportate in allegato.

Le misure sperimentali sono state elaborate per mezzo dello specifico programma di interpretazione che elabora un modello monodimensionale di velocità nel sottosuolo che soddisfa i valori misurati; in allegato viene sintetizzata la stratigrafia sismica ottenuta.

Il valore risultante di $V_{s,eq}$ (calcolato per i primi 30m) è risultato pari a 184 m/sec.

16.) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dal raffronto tra le informazioni ottenute con il rilevamento i dati delle indagini eseguite ed i riscontri bibliografici è stato possibile ottenere una caratterizzazione dei terreni interessati dall'intervento.

16.1.) ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

L'assetto litostratigrafico locale può essere sintetizzato come segue:

- **Limi argilloso sabbiosi (A₁)**: costituiti da materiali a granulometria limosa da argillosa a sabbiosa con valori di resistenza alla punta Qc medi di circa 14÷18 Kg/cm²; si sono rinvenute fino al termine della prova.

16.2.) PARAMETRI GEOTECNICI

La caratterizzazione geotecnica dei materiali deriva dai risultati delle indagini eseguite e da dati bibliografici riferibili a prove in sito e di laboratorio su campioni ben assimilabili a quelli in oggetto. Di seguito si riportano i principali parametri geotecnici minimi e medi degli orizzonti litostratigrafici descritti in precedenza.

ORIZZONTE GEOTECNICO A₁

angolo di attrito efficace	ϕ'	=	23 - 25° *
coesione drenata	c'	=	5 - 10 kPa *
coesione non drenata	Cu	=	80 - 100 kPa
peso di volume naturale	γ'	=	18 - 19 kN/m ³
densità relativa	Dr	=	15 - 20 %

* condizioni drenate

17.) CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Classificazione sismica del territorio

Il territorio del Comune di Cesenatico interessato dall'intervento in progetto è classificato sismico di seconda categoria (S=9) dal 1983.

Zona sismica

L'area considerata ricade nella zona sismica 2 (individuata mediante i valori di a_g compresi tra 0,15g e 0,25g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e riferiti a suoli rigidi contraddistinti da $V_{s30} > 800$ m/s) caratterizzata da un'accelerazione sismica orizzontale massima a_g pari a 0,25g.

Categoria di sottosuolo di fondazione

L'indagine geofisica ha evidenziato valori di velocità equivalente alla profondità di 30 metri dal piano di campagna ($V_{s,eq}$) risultano intorno ai 184 m/s, ancora riconducibili alla categoria di suolo C.

Parametrizzazione sismica

Si fornisce di seguito la parametrizzazione, relativa al sito in esame, considerando una Vita Nominale di 50 anni e una Classe d'Uso 2.

Fattore d'amplificazione stratigrafica

Considerando l'ambito in esame con substrato a profondità maggiore di 100m, per il valore di V_{s30} ottenuto è stato individuato un fattore di amplificazione stratigrafica pari a 1,42.

Effetti della topografia

Nel caso in esame gli effetti della topografia sono trascurabili, in quanto non vi figurano pendii con inclinazione maggiore di 15°.

Accelerazione massima orizzontale di picco al suolo ed Accelerazione massima di progetto

In merito all'accelerazione orizzontale massima al bedrock a_g , sono attesi valori inferiori a 0.186g, calcolati con una probabilità di superamento del 10% in 475 anni (corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita) ed una $A_{max} = 2,584$.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Per valutare il terremoto di riferimento, per quanto concerne il territorio di Cesenatico, è stato consultato

1. il database dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che mostra una magnitudo media pari a 5,1, così com'è evidente nelle seguenti immagini, il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (maggio 2004) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che indica come magnitudo massima 5,65 com'è evidente nell'immagine seguente. L'analisi dei dati porta a ritenere, per l'area in esame, che sia cautelativo utilizzare per i calcoli della suscettività alla liquefazione una magnitudo pari a 5,5

Per liquefazione si intende un processo di incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, ghiaia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide.

Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Ai sensi dell'articolo 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

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

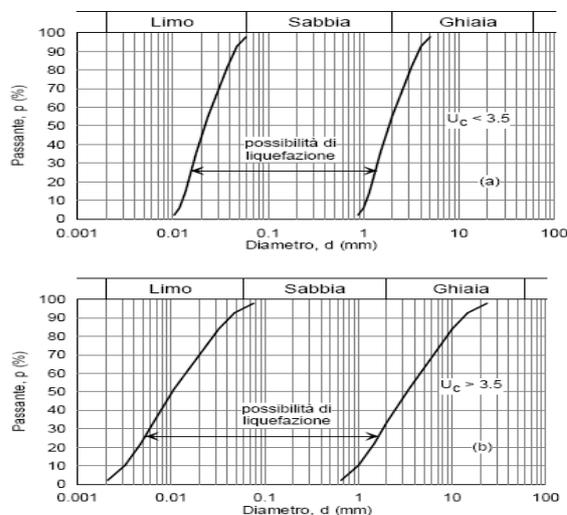


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Quando la prima condizione non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Come risulta dalla cartografia del Rischio Sismico del § 11, l'area ricade in "Zona 6 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni fini potenzialmente soggetti a cedimenti"; ci troviamo quindi al di fuori dello scenario di pericolosità sismica locale 7: aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni potenzialmente liquefacibili.

Parametri per la determinazione dell'azione sismica

Per il calcolo dell'azione sismica, gli elementi necessari sono i seguenti:

- categoria di suolo di fondazione
- condizioni topografiche
- Classe d'uso opera e Vita nominale opera
- Parametri sismici di sito (T_r , a_g , F_o , T_c^*)

Determinazione della categoria di suolo di fondazione

Per la caratterizzazione fisica e geotecnica, si considera la velocità media delle onde di taglio al di sopra del bedrock sismico ($V_{s_{eq}}$).

I valori delle velocità caratteristiche di questi terreni riscontrati permettono di collocare il bedrock sismico a profondità superiore ai 30 metri, pertanto la $V_{s_{eq}}$ corrisponde alla V_s dei primi 30 metri che nel sito di interesse ricade in **Categoria di suolo C**.

estratto da tabella 3.2.II - NTC 18

Categoria	Descrizione
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 miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Determinazione delle condizioni topografiche

estratto da tabella 3.2.IV - NTC 18

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Determinazione delle caratteristiche dell'opera

Al fine di poter effettuare le verifiche di sicurezza è necessario definire anche la vita nominale dell'opera e, in presenza di azioni sismiche, la classe d'uso con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, di seguito si riportano i valori considerati.

estratto da tabella 2.4.I - NTC 18

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di V_N (in anni)
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50

Classe II: 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.

Determinazione dei parametri sismici di sito

I parametri sismici di sito sono stati calcolati, inserendo le coordinate geografiche medie del sito, la classe d'uso della costruzione, la vita nominale della costruzione per mezzo di un apposito software che utilizza come base di dati il reticolo di riferimento nazionale. Si riportano in allegato 3 i dati completi al sito.

18.) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini eseguite presso i siti di indagine hanno consentito di ricostruire il modello geologico e sismico delle aree pertinenti.

Entrambe sono caratterizzate dalla presenza di una stratigrafia sostanzialmente uniforme prevalentemente composta da limi argilloso sabbiosi e da argilloso limosa.

I valori delle velocità sismiche caratteristiche di questi terreni permettono di collocare il bedrock sismico a profondità superiore ai 30 metri, pertanto la V_{seq} corrisponde alla V_s dei primi 30 metri che permette di collocare i di interesse nella categoria di suolo C, in prossimità del passaggio alla categoria D.

In merito al rischio liquefazione, come risulta dalla cartografia di rischio sismico comunale, ci troviamo al di fuori dello scenario di pericolosità sismica locale 7 relativo alle aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni potenzialmente liquefacibili.

Savona, Dicembre 2019

Francesco Valle geologo



ALLEGATO 1

Sito Villamarina Sud



PROVA ... CPT.1

Committente: Comune di Cesenatico
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 07/12/2019
 Profondità prova: 11,60 mt
 Località: Villamarina - Cesenatico (FC)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)		Lettura laterale (Kg/cm ²)		qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,467	0,0	
0,40	13,00	20,0	13,138	1,8	7,299	13,7		
0,60	6,00	33,0	6,138	1,067	5,753	17,4		
0,80	6,00	22,0	6,138	0,8	7,673	13,0		
1,00	17,00	29,0	17,138	1,0	17,138	5,8		
1,20	24,00	39,0	24,276	1,0	24,276	4,1		
1,40	15,00	30,0	15,276	1,8	8,487	11,8		
1,60	19,00	46,0	19,276	1,6	12,048	8,3		
1,80	11,00	35,0	11,276	0,933	12,086	8,3		
2,00	13,00	27,0	13,276	0,8	16,595	6,0		
2,20	13,00	25,0	13,414	0,867	15,472	6,5		
2,40	14,00	27,0	14,414	0,933	15,449	6,5		
2,60	17,00	31,0	17,414	1,0	17,414	5,7		
2,80	15,00	30,0	15,414	1,333	11,563	8,6		
3,00	12,00	32,0	12,414	0,667	18,612	5,4		
3,20	15,00	25,0	15,552	0,667	23,316	4,3		
3,40	15,00	25,0	15,552	0,533	29,178	3,4		
3,60	13,00	21,0	13,552	0,533	25,426	3,9		
3,80	12,00	20,0	12,552	0,6	20,92	4,8		
4,00	20,00	29,0	20,552	0,8	25,69	3,9		
4,20	20,00	32,0	20,69	0,733	28,226	3,5		
4,40	21,00	32,0	21,69	0,733	29,591	3,4		
4,60	21,00	32,0	21,69	0,733	29,591	3,4		
4,80	20,00	31,0	20,69	0,733	28,226	3,5		
5,00	19,00	30,0	19,69	1,067	18,454	5,4		
5,20	20,00	36,0	20,828	1,2	17,357	5,8		
5,40	18,00	36,0	18,828	1,133	16,618	6,0		
5,60	20,00	37,0	20,828	1,067	19,52	5,1		
5,80	22,00	38,0	22,828	1,267	18,017	5,6		
6,00	15,00	34,0	15,828	0,933	16,965	5,9		
6,20	15,00	29,0	15,966	0,933	17,113	5,8		
6,40	18,00	32,0	18,966	0,933	20,328	4,9		
6,60	17,00	31,0	17,966	1,067	16,838	5,9		
6,80	21,00	37,0	21,966	1,0	21,966	4,6		
7,00	25,00	40,0	25,966	1,333	19,479	5,1		
7,20	20,00	40,0	21,104	1,333	15,832	6,3		
7,40	13,00	33,0	14,104	0,867	16,268	6,1		
7,60	11,00	24,0	12,104	0,667	18,147	5,5		
7,80	10,00	20,0	11,104	0,667	16,648	6,0		
8,00	15,00	25,0	16,104	0,867	18,574	5,4		
8,20	19,00	32,0	20,242	1,2	16,868	5,9		
8,40	19,00	37,0	20,242	1,0	20,242	4,9		
8,60	22,00	37,0	23,242	1,333	17,436	5,7		
8,80	20,00	40,0	21,242	1,267	16,766	6,0		
9,00	17,00	36,0	18,242	1,133	16,101	6,2		
9,20	19,00	36,0	20,38	1,133	17,988	5,6		
9,40	17,00	34,0	18,38	1,133	16,222	6,2		
9,60	20,00	37,0	21,38	0,933	22,915	4,4		
9,80	13,00	27,0	14,38	0,667	21,559	4,6		
10,00	12,00	22,0	13,38	0,333	40,18	2,5		
10,20	27,00	32,0	28,518	0,733	38,906	2,6		
10,40	16,00	27,0	16,0	1,0	16,0	6,3		
10,60	22,00	37,0	22,0	1,2	18,333	5,5		
10,80	20,00	38,0	20,0	1,2	16,667	6,0		
11,00	14,00	32,0	14,0	0,733	19,1	5,2		
11,20	17,00	28,0	17,0	0,733	23,192	4,3		
11,40	22,00	33,0	22,0	1,533	14,351	7,0		
11,60	25,00	48,0	25,0	0,0	0,0	0,0		

PROVA ... CPT.2

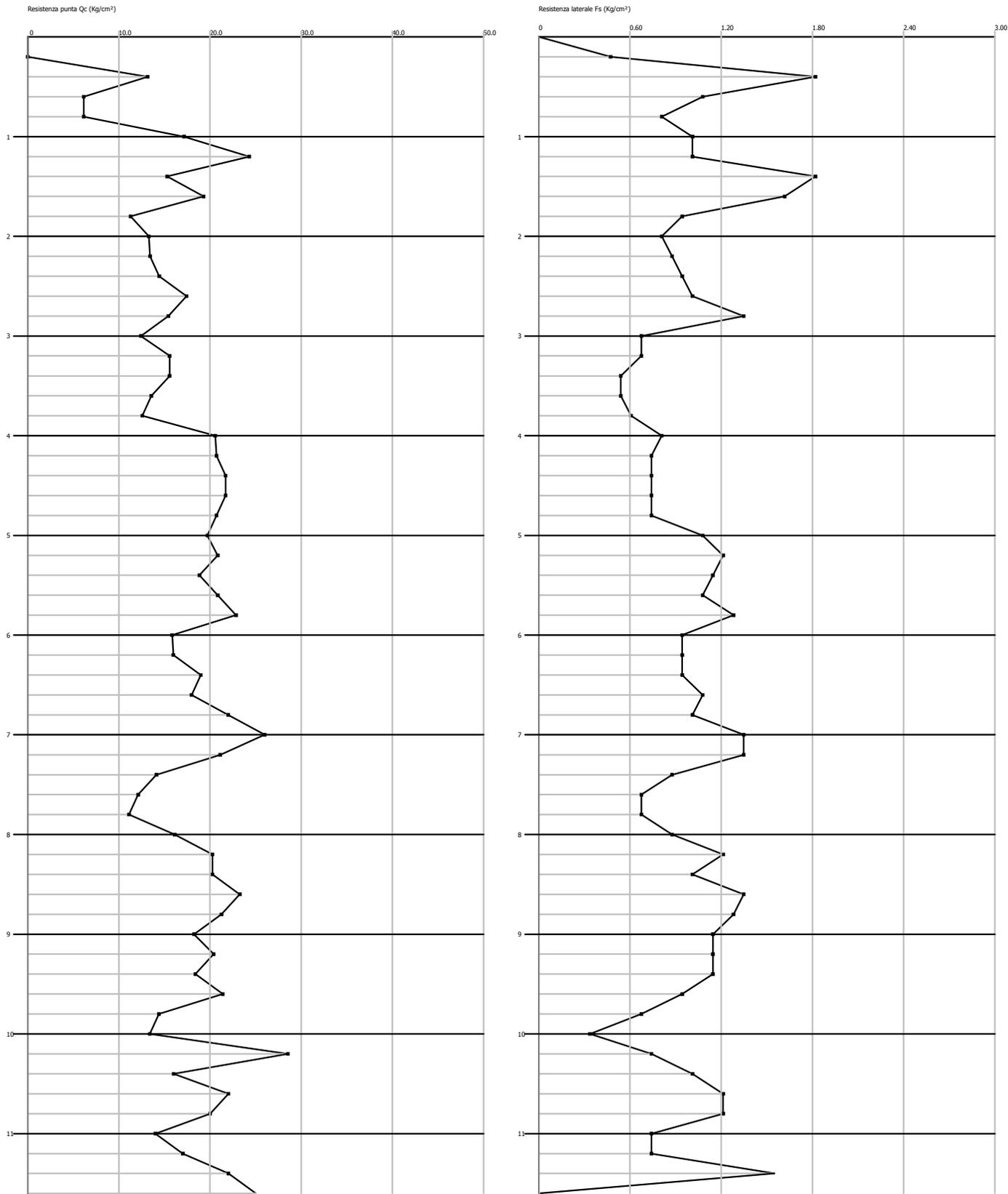
Committente: Comune di Cesenatico

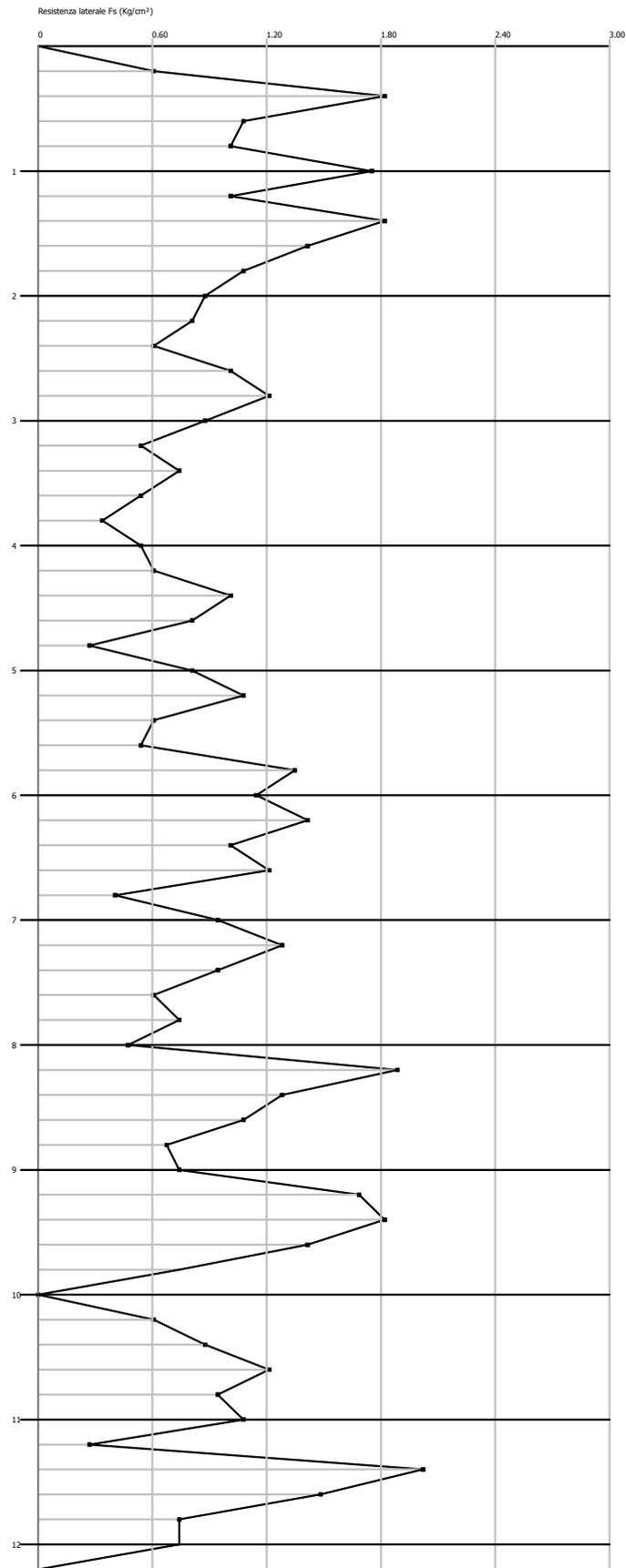
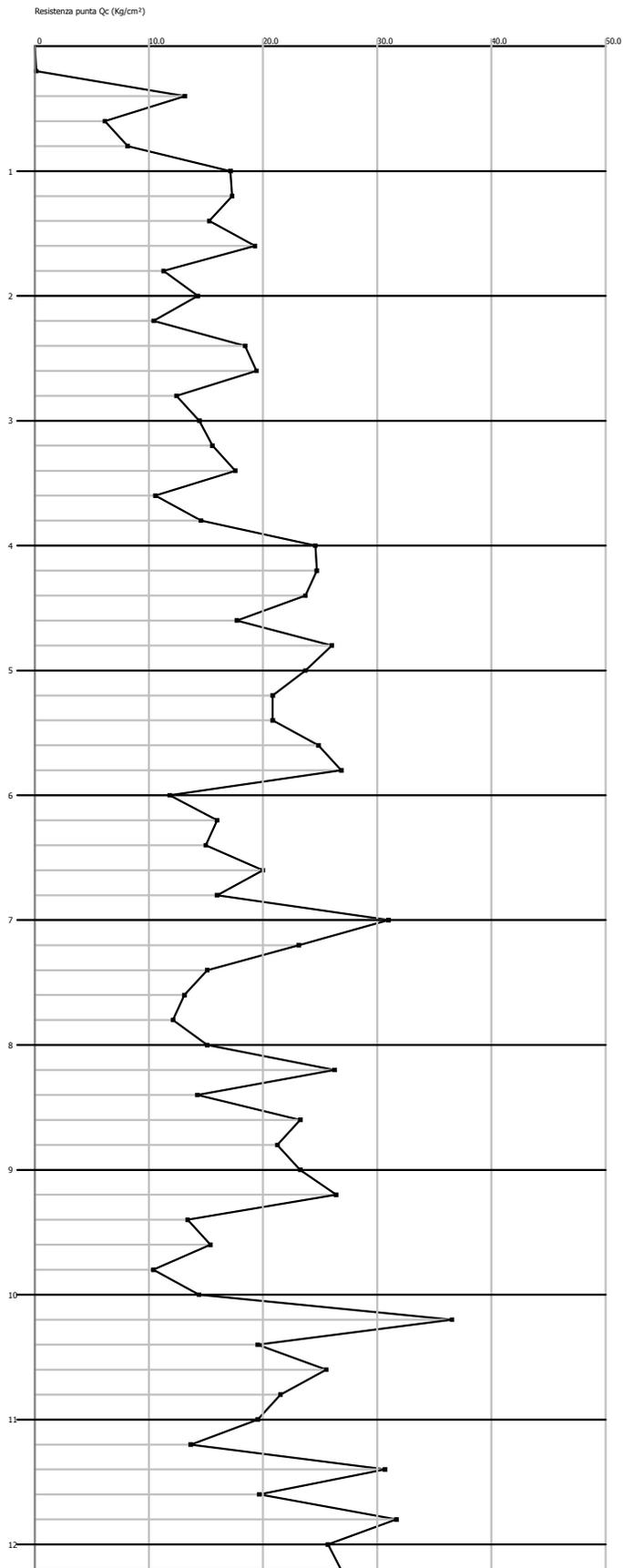
Prova eseguita in data: 07/12/2019

Profondità prova: 12,20 mt

Località: Villamarina Cesenatico (FC)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,6	0,23	434,8
0,40	13,00	22,0	13,138	1,8	7,299	13,7
0,60	6,00	33,0	6,138	1,067	5,753	17,4
0,80	8,00	24,0	8,138	1,0	8,138	12,3
1,00	17,00	32,0	17,138	1,733	9,889	10,1
1,20	17,00	43,0	17,276	1,0	17,276	5,8
1,40	15,00	30,0	15,276	1,8	8,487	11,8
1,60	19,00	46,0	19,276	1,4	13,769	7,3
1,80	11,00	32,0	11,276	1,067	10,568	9,5
2,00	14,00	30,0	14,276	0,867	16,466	6,1
2,20	10,00	23,0	10,414	0,8	13,018	7,7
2,40	18,00	30,0	18,414	0,6	30,69	3,3
2,60	19,00	28,0	19,414	1,0	19,414	5,2
2,80	12,00	27,0	12,414	1,2	10,345	9,7
3,00	14,00	32,0	14,414	0,867	16,625	6,0
3,20	15,00	28,0	15,552	0,533	29,178	3,4
3,40	17,00	25,0	17,552	0,733	23,945	4,2
3,60	10,00	21,0	10,552	0,533	19,797	5,1
3,80	14,00	22,0	14,552	0,333	43,7	2,3
4,00	24,00	29,0	24,552	0,533	46,064	2,2
4,20	24,00	32,0	24,69	0,6	41,15	2,4
4,40	23,00	32,0	23,69	1,0	23,69	4,2
4,60	17,00	32,0	17,69	0,8	22,113	4,5
4,80	26,00	38,0	26,0	0,267	97,378	1,0
5,00	23,00	27,0	23,69	0,8	29,613	3,4
5,20	20,00	32,0	20,828	1,067	19,52	5,1
5,40	20,00	36,0	20,828	0,6	34,713	2,9
5,60	24,00	33,0	24,828	0,533	46,582	2,1
5,80	26,00	34,0	26,828	1,333	20,126	5,0
6,00	11,00	31,0	11,828	1,133	10,44	9,6
6,20	15,00	32,0	15,966	1,4	11,404	8,8
6,40	14,00	35,0	14,966	1,0	14,966	6,7
6,60	19,00	34,0	19,966	1,2	16,638	6,0
6,80	15,00	33,0	15,966	0,4	39,915	2,5
7,00	30,00	36,0	30,966	0,933	33,19	3,0
7,20	22,00	36,0	23,104	1,267	18,235	5,5
7,40	14,00	33,0	15,104	0,933	16,189	6,2
7,60	12,00	26,0	13,104	0,6	21,84	4,6
7,80	11,00	20,0	12,104	0,733	16,513	6,1
8,00	14,00	25,0	15,104	0,467	32,343	3,1
8,20	25,00	32,0	26,242	1,867	14,056	7,1
8,40	13,00	41,0	14,242	1,267	11,241	8,9
8,60	22,00	41,0	23,242	1,067	21,783	4,6
8,80	20,00	36,0	21,242	0,667	31,847	3,1
9,00	22,00	32,0	23,242	0,733	31,708	3,2
9,20	25,00	36,0	26,38	1,667	15,825	6,3
9,40	12,00	37,0	13,38	1,8	7,433	13,5
9,60	14,00	41,0	15,38	1,4	10,986	9,1
9,80	9,00	30,0	10,38	0,733	14,161	7,1
10,00	13,00	24,0	14,38	0,0		0,0
10,20	35,00	35,0	36,518	0,6	60,863	1,6
10,40	18,00	27,0	19,518	0,867	22,512	4,4
10,60	24,00	37,0	25,518	1,2	21,265	4,7
10,80	20,00	38,0	21,518	0,933	23,063	4,3
11,00	18,00	32,0	19,518	1,067	18,292	5,5
11,20	12,00	28,0	13,656	0,267	51,146	2,0
11,40	29,00	33,0	30,656	2,0	15,328	6,5
11,60	18,00	48,0	19,656	1,467	13,399	7,5
11,80	30,00	52,0	31,656	0,733	43,187	2,3
12,00	24,00	35,0	25,656	0,733	35,001	2,9
12,20	25,00	36,0	26,794	0,0		0,0





ALLEGATO 1

Sito Bagnarola



PROVA ... CPT.1

Committente: Comune di Cesenatico
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 07/12/2019
 Profondità prova: 12,60 mt
 Località: Bagnarola_Cesenatico (FC)

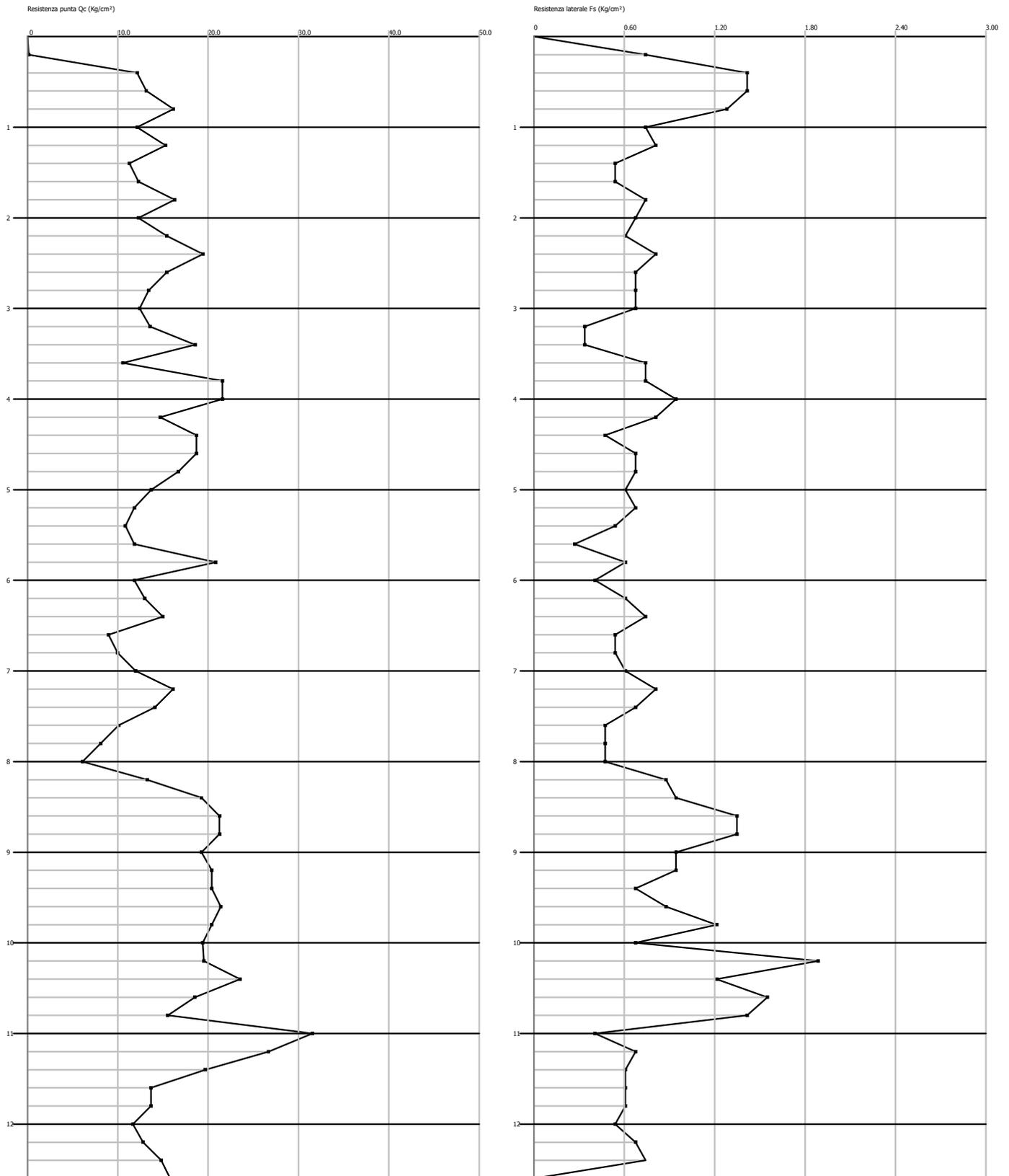
Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,733	0,188	531,2
0,40	12,00	23,0	12,138	1,4	8,67	11,5
0,60	13,00	34,0	13,138	1,4	9,384	10,7
0,80	16,00	37,0	16,138	1,267	12,737	7,9
1,00	12,00	31,0	12,138	0,733	16,559	6,0
1,20	15,00	26,0	15,276	0,8	19,095	5,2
1,40	11,00	23,0	11,276	0,533	21,156	4,7
1,60	12,00	20,0	12,276	0,533	23,032	4,3
1,80	16,00	24,0	16,276	0,733	22,205	4,5
2,00	12,00	23,0	12,276	0,667	18,405	5,4
2,20	15,00	25,0	15,414	0,6	25,69	3,9
2,40	19,00	28,0	19,414	0,8	24,268	4,1
2,60	15,00	27,0	15,414	0,667	23,109	4,3
2,80	13,00	23,0	13,414	0,667	20,111	5,0
3,00	12,00	22,0	12,414	0,667	18,612	5,4
3,20	13,00	23,0	13,552	0,333	40,697	2,5
3,40	18,00	23,0	18,552	0,333	55,712	1,8
3,60	10,00	15,0	10,552	0,733	14,396	6,9
3,80	21,00	32,0	21,552	0,733	29,402	3,4
4,00	21,00	32,0	21,552	0,933	23,1	4,3
4,20	14,00	28,0	14,69	0,8	18,363	5,4
4,40	18,00	30,0	18,69	0,467	40,021	2,5
4,60	18,00	25,0	18,69	0,667	28,021	3,6
4,80	16,00	26,0	16,69	0,667	25,022	4,0
5,00	13,00	23,0	13,69	0,6	22,817	4,4
5,20	11,00	20,0	11,828	0,667	17,733	5,6
5,40	10,00	20,0	10,828	0,533	20,315	4,9
5,60	11,00	19,0	11,828	0,267	44,3	2,3
5,80	20,00	24,0	20,828	0,6	34,713	2,9
6,00	11,00	20,0	11,828	0,4	29,57	3,4
6,20	12,00	18,0	12,966	0,6	21,61	4,6
6,40	14,00	23,0	14,966	0,733	20,417	4,9
6,60	8,00	19,0	8,966	0,533	16,822	5,9
6,80	9,00	17,0	9,966	0,533	18,698	5,3
7,00	11,00	19,0	11,966	0,6	19,943	5,0
7,20	15,00	24,0	16,104	0,8	20,13	5,0
7,40	13,00	25,0	14,104	0,667	21,145	4,7
7,60	9,00	19,0	10,104	0,467	21,636	4,6
7,80	7,00	14,0	8,104	0,467	17,353	5,8
8,00	5,00	12,0	6,104	0,467	13,071	7,7
8,20	12,00	19,0	13,242	0,867	15,273	6,5
8,40	18,00	31,0	19,242	0,933	20,624	4,8
8,60	20,00	34,0	21,242	1,333	15,935	6,3
8,80	20,00	40,0	21,242	1,333	15,935	6,3
9,00	18,00	38,0	19,242	0,933	20,624	4,8
9,20	19,00	33,0	20,38	0,933	21,844	4,6
9,40	19,00	33,0	20,38	0,667	30,555	3,3
9,60	20,00	30,0	21,38	0,867	24,66	4,1
9,80	19,00	32,0	20,38	1,2	16,983	5,9
10,00	18,00	36,0	19,38	0,667	29,055	3,4
10,20	18,00	28,0	19,518	1,867	10,454	9,6
10,40	22,00	50,0	23,518	1,2	19,598	5,1
10,60	17,00	35,0	18,518	1,533	12,08	8,3
10,80	14,00	37,0	15,518	1,4	11,084	9,0
11,00	30,00	51,0	31,518	0,4	78,795	1,3
11,20	25,00	31,0	26,656	0,667	39,964	2,5
11,40	18,00	28,0	19,656	0,6	32,76	3,1
11,60	12,00	21,0	13,656	0,6	22,76	4,4
11,80	12,00	21,0	13,656	0,6	22,76	4,4
12,00	10,00	19,0	11,656	0,533	21,869	4,6
12,20	11,00	19,0	12,794	0,667	19,181	5,2

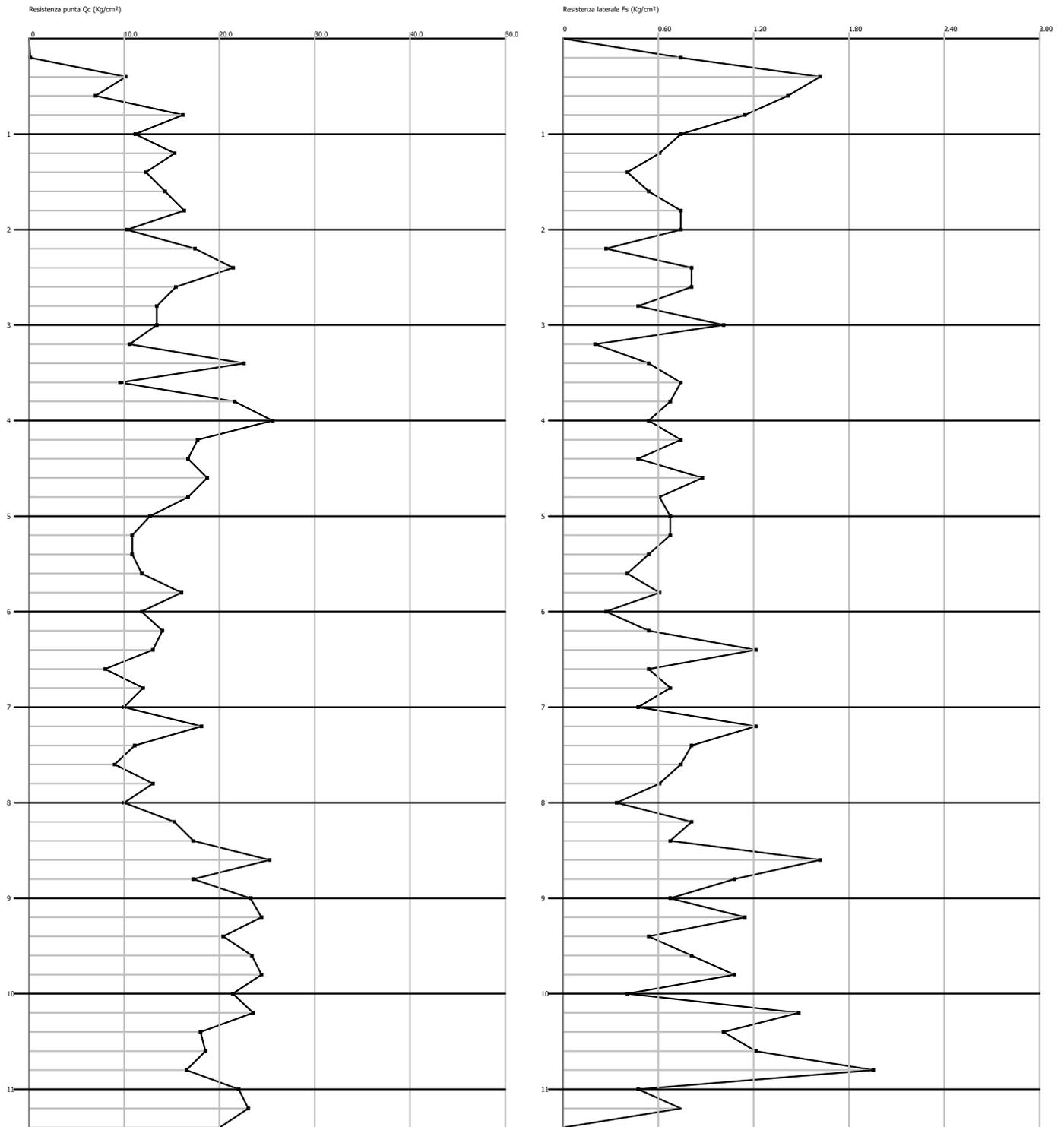
12,40	13,00	23,0	14,794	0,733	20,183	5,0
12,60	14,00	25,0	15,794	0,0		0,0

PROVA ... CPT.2

Committente: Comune di Cesenatico
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 07/12/2019
 Profondità prova: 11,40 mt
 Località: Bagnarola_Cesenatico (FC)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,138	0,733	0,188	531,2
0,40	10,00	21,0	10,138	1,6	6,336	15,8
0,60	7,00	31,0	7,0	1,4	5,0	20,0
0,80	16,00	37,0	16,138	1,133	14,244	7,0
1,00	11,00	28,0	11,138	0,733	15,195	6,6
1,20	15,00	26,0	15,276	0,6	25,46	3,9
1,40	12,00	21,0	12,276	0,4	30,69	3,3
1,60	14,00	20,0	14,276	0,533	26,784	3,7
1,80	16,00	24,0	16,276	0,733	22,205	4,5
2,00	10,00	21,0	10,276	0,733	14,019	7,1
2,20	17,00	28,0	17,414	0,267	65,221	1,5
2,40	21,00	25,0	21,414 0,8		26,768	3,7
2,60	15,00	27,0	15,414 0,8		19,268	5,2
2,80	13,00	25,0	13,414	0,467	28,724	3,5
3,00	13,00	20,0	13,414 1,0		13,414	7,5
3,20	10,00	25,0	10,552	0,2	52,76	1,9
3,40	22,00	25,0	22,552	0,533	42,311	2,4
3,60	9,00	17,0	9,552	0,733	13,031	7,7
3,80	21,00	32,0	21,552	0,667	32,312	3,1
4,00	25,00	35,0	25,552	0,533	47,94	2,1
4,20	17,00	25,0	17,69	0,733	24,134	4,1
4,40	16,00	27,0	16,69	0,467	35,739	2,8
4,60	18,00	25,0	18,69	0,867	21,557	4,6
4,80	16,00	29,0	16,69 0,6		27,817	3,6
5,00	12,00	21,0	12,69	0,667	19,025	5,3
5,20	10,00	20,0	10,828	0,667	16,234	6,2
5,40	10,00	20,0	10,828	0,533	20,315	4,9
5,60	11,00	19,0	11,828	0,4	29,57	3,4
5,80	16,00	22,0	16,0 0,6		26,667	3,8
6,00	11,00	20,0	11,828	0,267	44,3	2,3
6,20	14,00	18,0	14,0	0,533	26,266	3,8
6,40	13,00	21,0	13,0 1,2		10,833	9,2
6,60	8,00	26,0	8,0	0,533	15,009	6,7
6,80	11,00	19,0	11,966	0,667	17,94	5,6
7,00	9,00	19,0	9,966	0,467	21,34	4,7
7,20	17,00	24,0	18,104 1,2		15,087	6,6
7,40	10,00	28,0	11,104	0,8	13,88	7,2
7,60	9,00	21,0	9,0	0,733	12,278	8,1
7,80	13,00	24,0	13,0 0,6		21,667	4,6
8,00	10,00	19,0	10,0	0,333	30,03	3,3
8,20	14,00	19,0	15,242 0,8		19,053	5,2
8,40	16,00	28,0	17,242	0,667	25,85	3,9
8,60	24,00	34,0	25,242 1,6		15,776	6,3
8,80	16,00	40,0	17,242	1,067	16,159	6,2
9,00	22,00	38,0	23,242	0,667	34,846	2,9
9,20	23,00	33,0	24,38	1,133	21,518	4,6
9,40	19,00	36,0	20,38	0,533	38,236	2,6
9,60	22,00	30,0	23,38 0,8		29,225	3,4
9,80	23,00	35,0	24,38	1,067	22,849	4,4
10,00	20,00	36,0	21,38	0,4	53,45	1,9
10,20	22,00	28,0	23,518	1,467	16,031	6,2
10,40	18,00	40,0	18,0	1,0	18,0	5,6
10,60	17,00	32,0	18,518 1,2		15,432	6,5
10,80	15,00	33,0	16,518	1,933	8,545	11,7
11,00	22,00	51,0	22,0	0,467	47,109	2,1
11,20	23,00	30,0	23,0	0,733	31,378	3,2
11,40	20,00	31,0	20,0	0,0		0,0





ALLEGATO 2

Risultati delle analisi MASW



Sito: Villamarina – Comune di Cesenatico

Data: Dicembre 2019

Redatto da MASW
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....	24
Distanza tra i sensori:.....	2m
Numero di campioni temporali	2000
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	1999ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)	

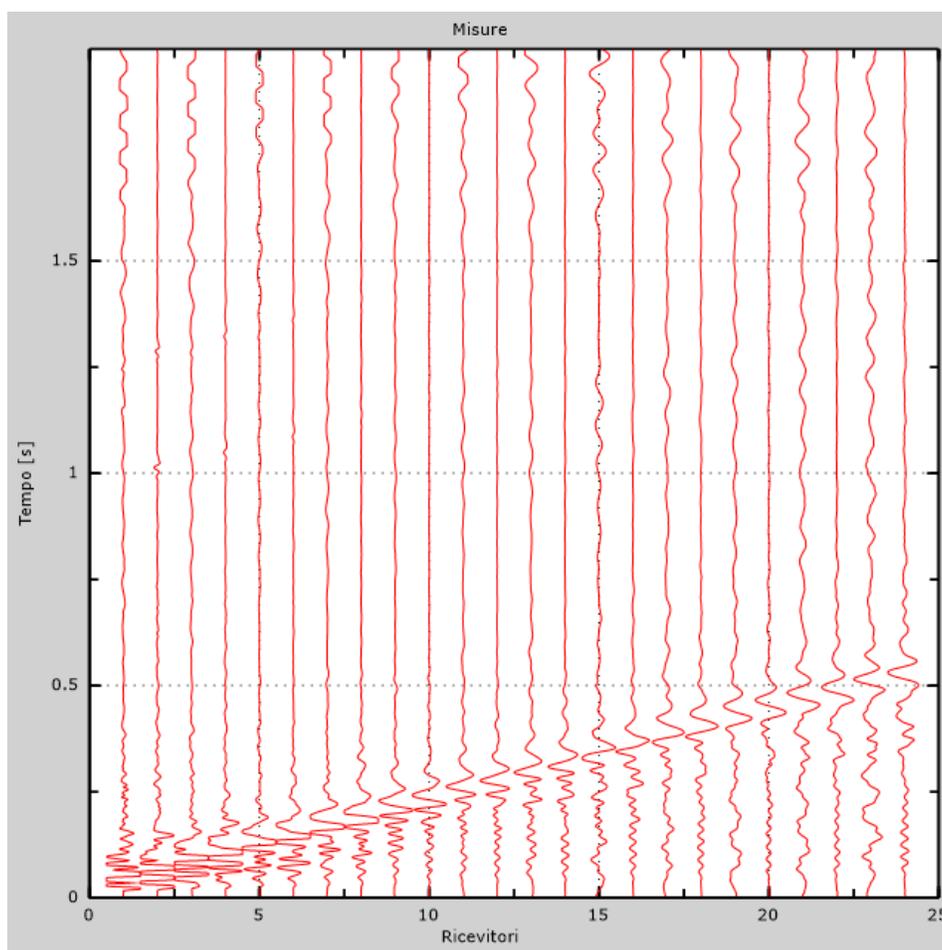


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale..... 2Hz

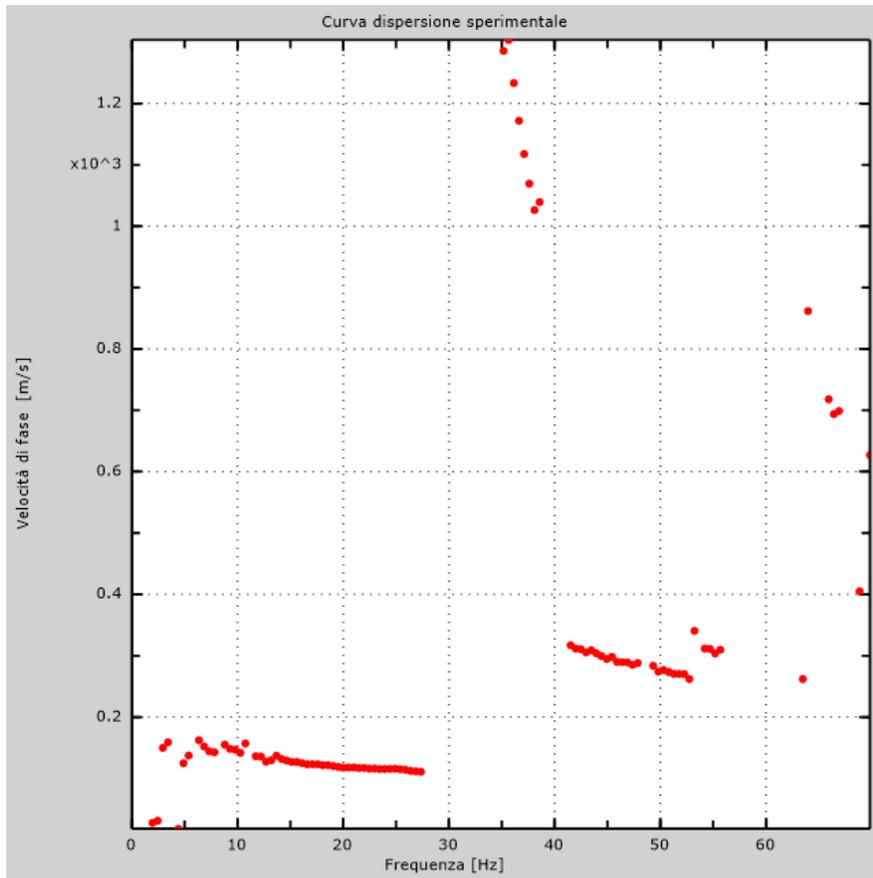


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori..... 12
Numero di campioni temporali3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 119998ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

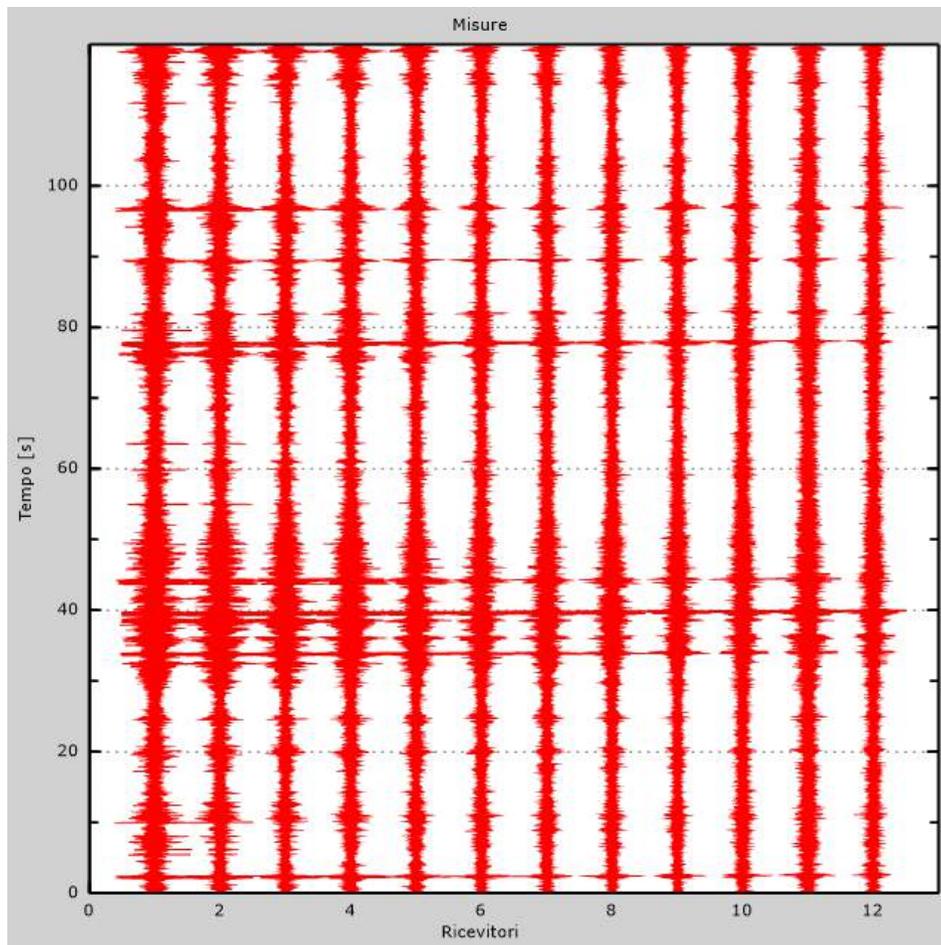


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
3.25507	167.126	91.9758	242.275
8.83789	154.499	139.049	169.949
12.2803	134.607	121.146	148.067
15.7227	126.587	113.929	139.246
19.165	120.04	108.036	132.044
22.6074	116.214	104.593	127.836
26.0498	113.621	102.259	124.983
43.2617	307.639	276.875	338.403
46.7041	289.324	260.391	318.256
50.1465	276.075	248.468	303.683

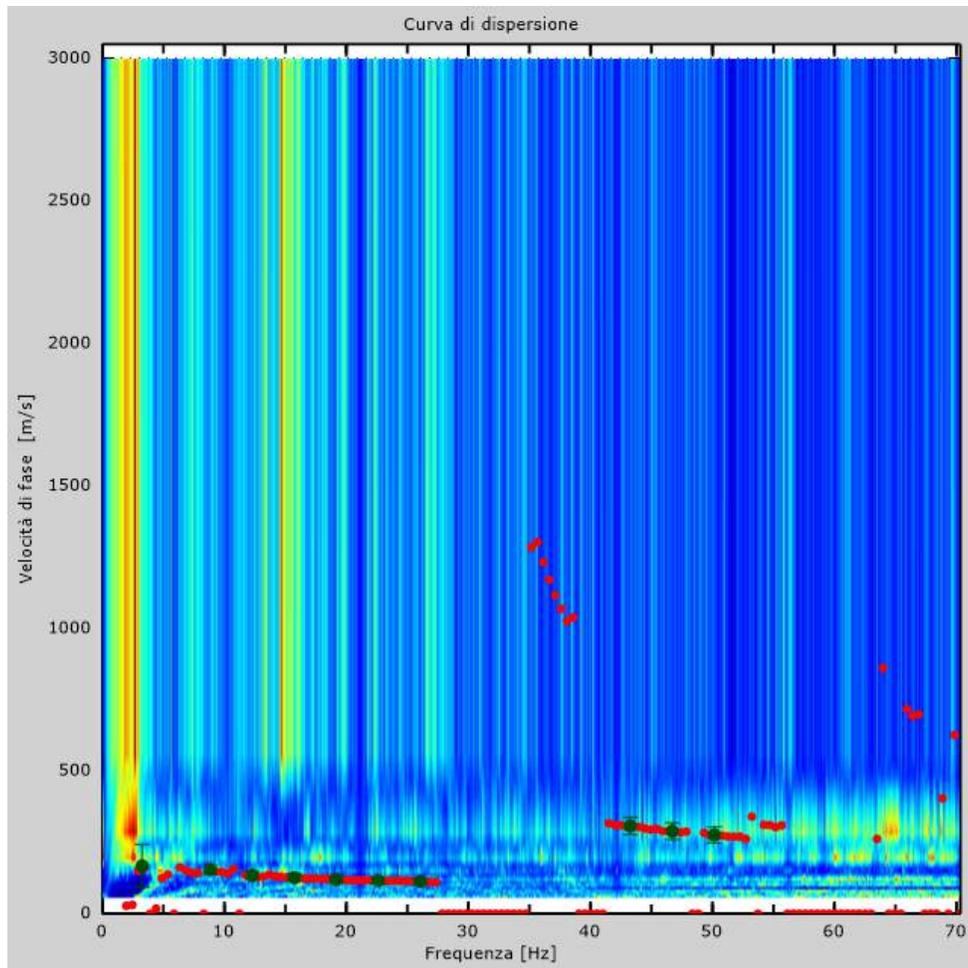


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	5
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori.....	24
Numero modi	10
Numero iterazioni	50
Massimo errore [%]	1.000000e-001

Strato 1

h [m].....	0.5
z [m]	-0.5
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson	0.35
Vs fin.[m/s]	550

Strato 2

h [m].....	4
z [m]	-4.5
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson	0.48
Vs fin.[m/s]	150

Strato 3

h [m].....	4
z [m]	-8.5
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson	0.48
Vs fin.[m/s]	200

Strato 4

h [m].....	5
z [m]	-13.5
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson	0.48
Vs fin.[m/s]	150

Strato 5

h [m].....	0
z [m]	-00
Densità [kg/m ³].....	2000
Poisson	0.48

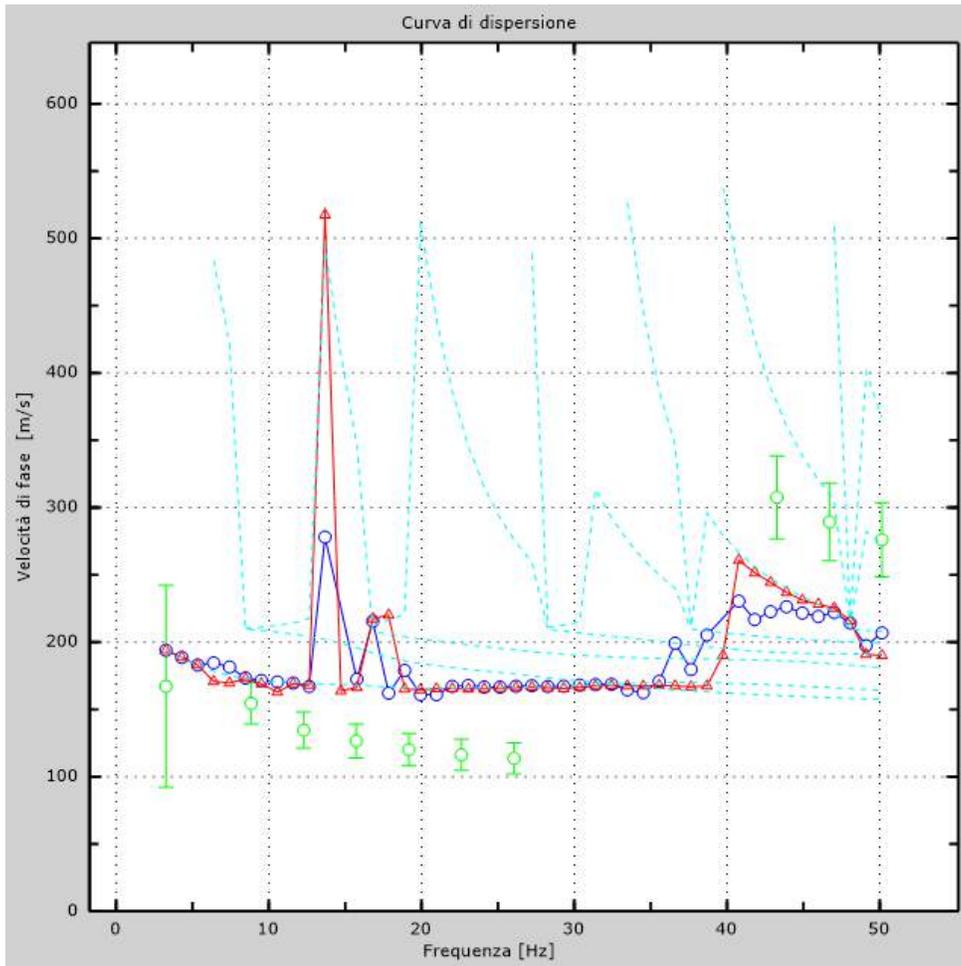


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

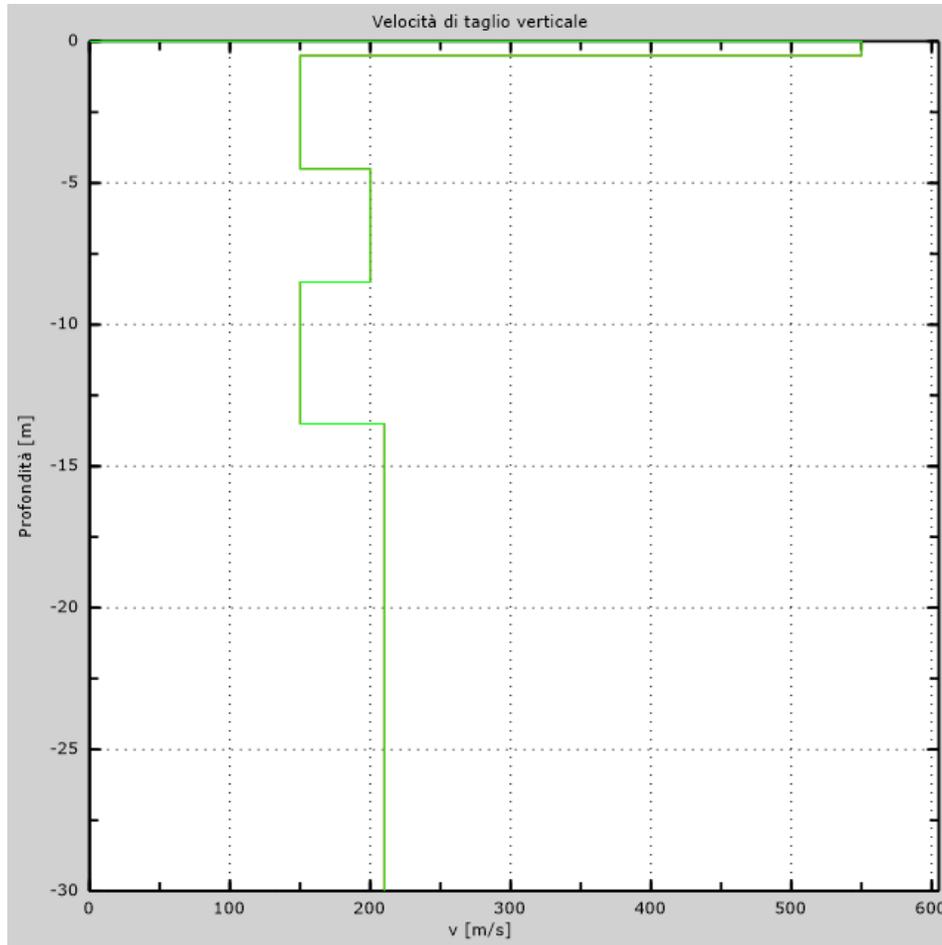


Figura 6: Velocità

6 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m].....0

V_{sEq}/V_{s30} [m/s]..... 188

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità

Tipo di suolo **C**

Tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s

ALLEGATO 2

Risultati delle analisi MASW



Sito: Bagnarola – Comune di Cesenatico

Data: Dicembre 2019

Redatto da MASW
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....24
Distanza tra i sensori:.....0m
Numero di campioni temporali2000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

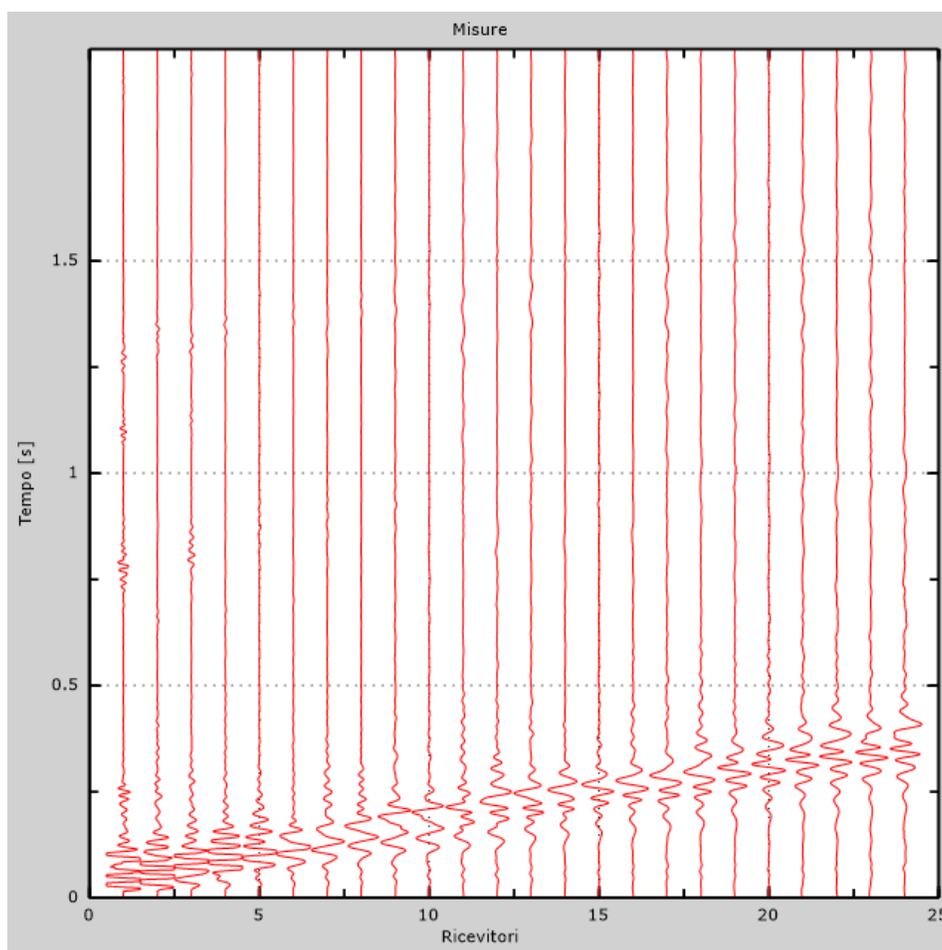


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale.....70Hz
Frequenza iniziale.....2Hz

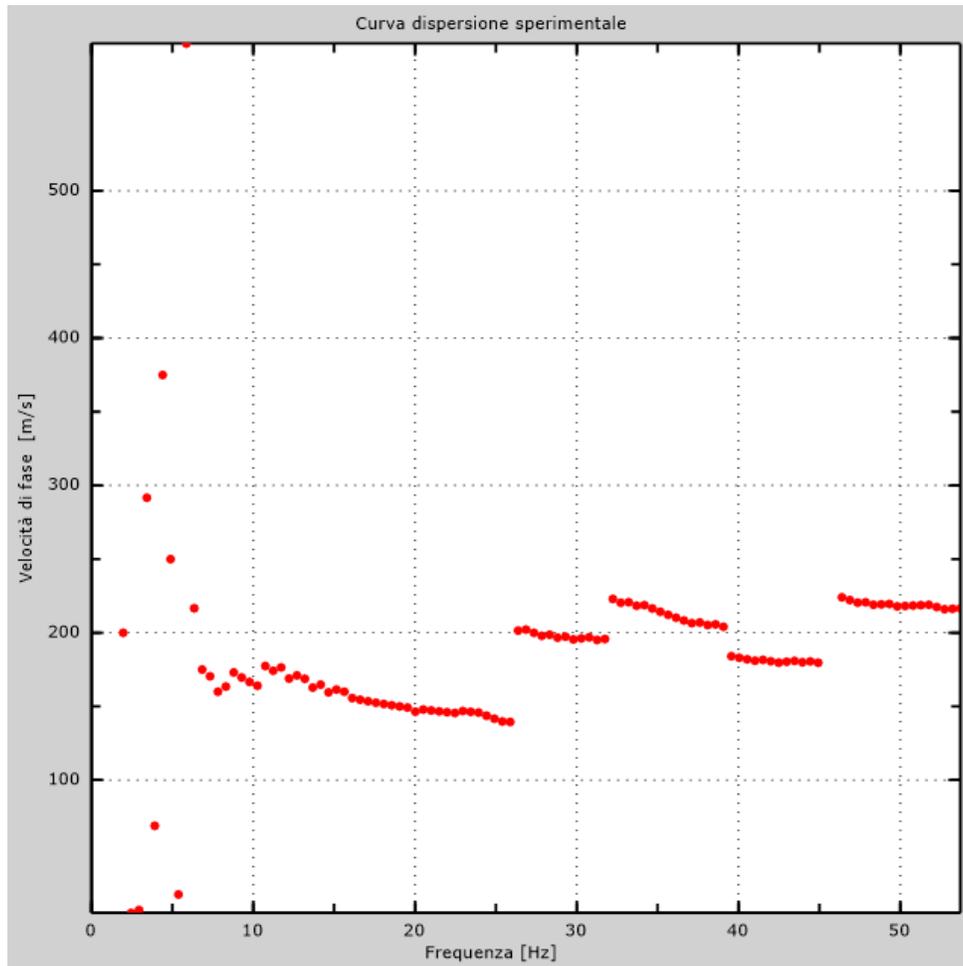


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori..... 12
Numero di campioni temporali3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 119998ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

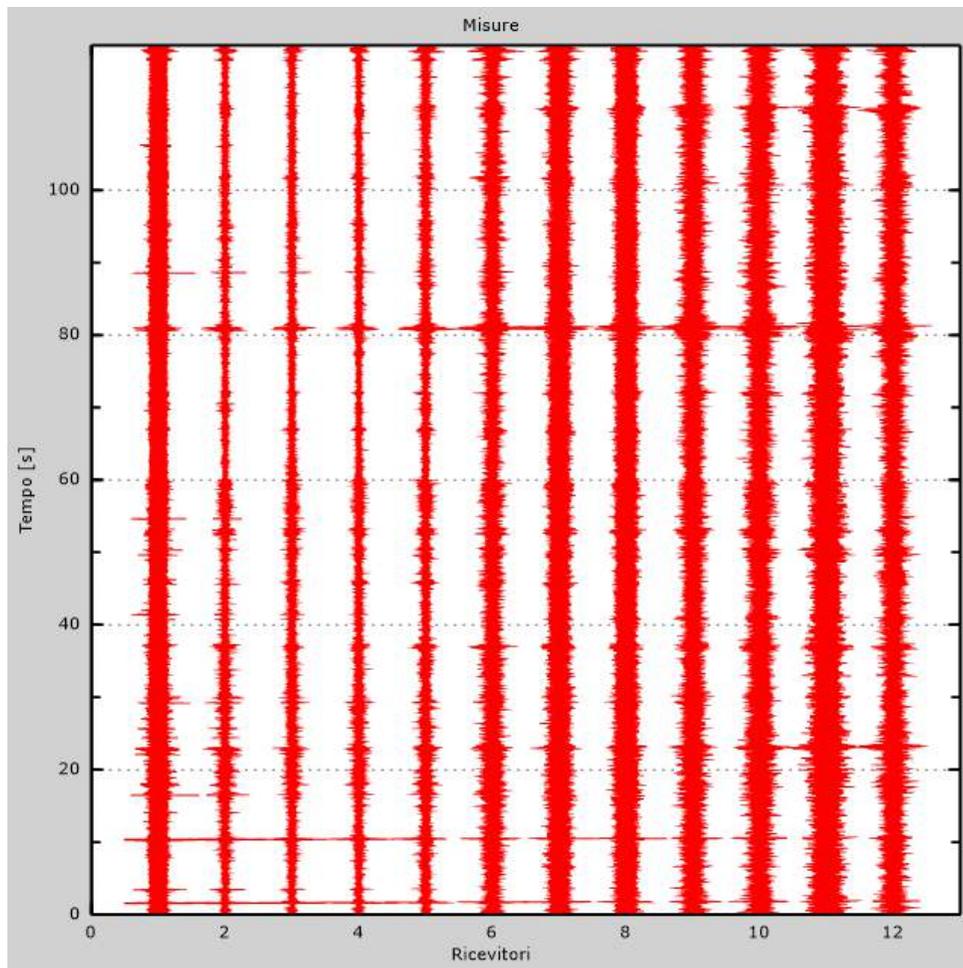


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
6.65632	181.358	159.737	202.979
8.83789	172.734	155.46	190.007
12.2803	169.239	152.315	186.163
15.7227	159.132	143.219	175.045
19.165	149.813	134.832	164.795
22.6074	145.961	131.365	160.557
29.4922	196.626	176.964	216.289
32.9346	220.568	198.511	242.625
36.377	209.28	188.352	230.208
39.8193	183.511	165.159	201.862
43.2617	180.668	162.601	198.735
46.7041	222.864	200.578	245.151
50.1465	218.139	196.325	239.953
53.5889	216.469	194.822	238.116

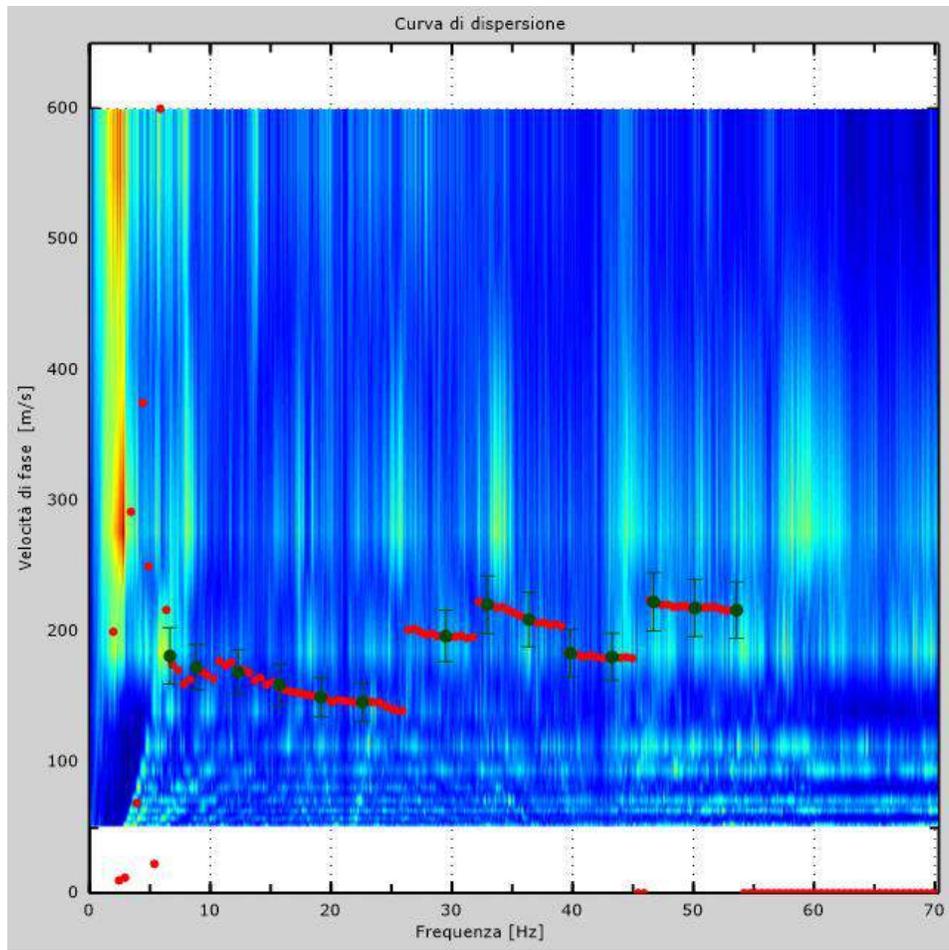


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	6
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori.....	24
Numero modi	2
Numero iterazioni	50
Massimo errore [%]	5.000000e-002

Strato 1

h [m].....	1
z [m]	-1
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson	0.35
Vs fin.[m/s]	190

Strato 2

h [m].....	2
z [m]	-3
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson	0.33
Vs fin.[m/s]	250

Strato 3

h [m].....	3
z [m]	-6
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson	0.48
Vs fin.[m/s]	170

Strato 4

h [m].....	3
z [m]	-9
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson	0.48
Vs fin.[m/s]	170

Strato 5

h [m].....	4
z [m]	-13
Densità [kg/m ³].....	2000
Poisson	0.48

Vs fin.[m/s]290

Strato 6

h [m].....0

z [m].....-00

Densità [kg/m³].....2000

Poisson0.48

Vs fin.[m/s]170

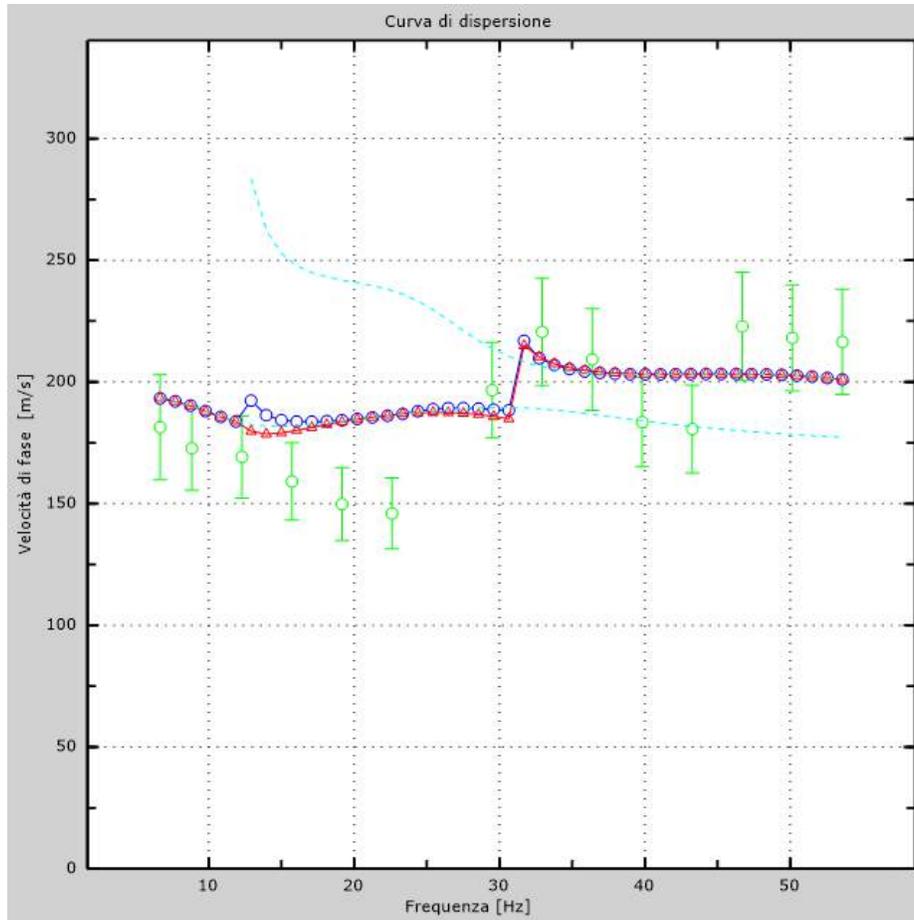


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

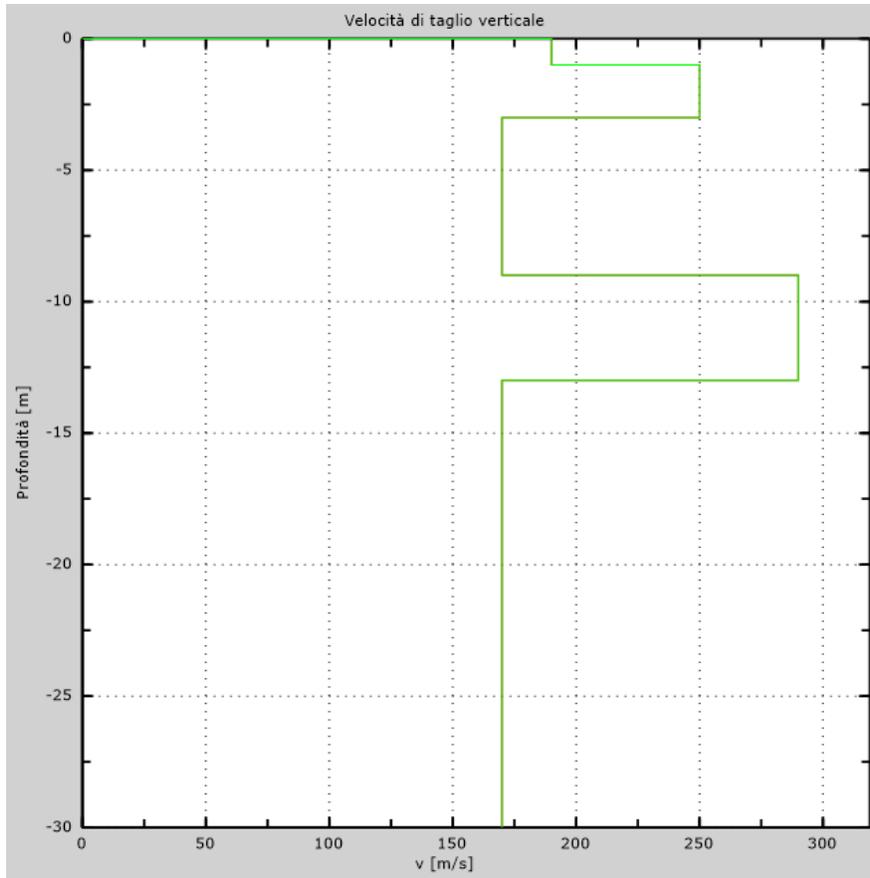


Figura 6: Velocità

6 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m].....0

V_{sEq}/V_{s30} [m/s]..... 184

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità

Tipo di suolo **C**

Tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s

ALLEGATO 3

Sito Villamarina Sud

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,170116
longitudine: 12,427299
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 18299	Lat: 44,1796	Lon: 12,3749	Distanza: 4310,419
Sito 2 ID: 18300	Lat: 44,1803	Lon: 12,4446	Distanza: 1783,997
Sito 3 ID: 18522	Lat: 44,1303	Lon: 12,4455	Distanza: 4661,830
Sito 4 ID: 18521	Lat: 44,1296	Lon: 12,3758	Distanza: 6094,461

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,050 g
Fo: 2,443
Tc*: 0,269 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,065 g
Fo: 2,469
Tc*: 0,279 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,182 g
Fo: 2,509
Tc*: 0,293 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,237 g
Fo: 2,526
Tc*: 0,307 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,015
Kv: 0,008
Amax: 0,741
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,020
Kv: 0,010
Amax: 0,962
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,430
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,062
Kv: 0,031
Amax: 2,552
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,340
Cc: 1,550
St: 1,000
Kh: 0,089
Kv: 0,044
Amax: 3,113
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.169178

longitudine: 12.426336

ALLEGATO 3

Sito Bagnarola

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,162915
longitudine: 12,341492
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 18298	Lat: 44,1789	Lon: 12,3053	Distanza: 3392,912
Sito 2 ID: 18299	Lat: 44,1796	Lon: 12,3749	Distanza: 3248,044
Sito 3 ID: 18521	Lat: 44,1296	Lon: 12,3758	Distanza: 4603,926
Sito 4 ID: 18520	Lat: 44,1289	Lon: 12,3063	Distanza: 4707,579

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,054 g
Fo: 2,445
Tc*: 0,266 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,068 g
Fo: 2,439
Tc*: 0,284 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,186 g
Fo: 2,513
Tc*: 0,296 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,243 g
Fo: 2,505
Tc*: 0,306 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,630
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,792
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,020
Kv: 0,010
Amax: 1,003
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,420
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,063
Kv: 0,032
Amax: 2,584
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,330
Cc: 1,550
St: 1,000
Kh: 0,091
Kv: 0,045
Amax: 3,175
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.161976

longitudine: 12.340528

Raggruppamento Temporaneo Imprese
tra

CASADIO & CO.
di Casadio Mario

Via V.Veneto 1/bis – 47122 FORLI'
Tel: 0543 23923 – Email: studio@casadioeco.it
P.I. 04263320402



**STUDIO TECNICO DI INGEGNERIA
BASSETTI e RICCI**
Via A. Cantoni, 59 – 47121 Forli (FC)
Tel. 0543/34615 – Fax 0543/456699
E-Mail info@bassetiricci.it
P.IVA 03264680400

RELAZIONE GEOLOGICA

CON MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO

Committente: Comune di Cesenatico

DATA: 08/04/20

**VARIANTE URBANISTICA DI UN'AREA SITA IN VIA
SAFFI TRA LA PISCINA COIMUNALE E L'AREA
OSPEDALIERA IN COMUNE DI CESENATICO**

Il geologo
MARIO CASADIO

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA PER LA MICROZONAZIONE DI TERZO LIVELLO
PER LA VARIANTE URBANISTICA DI UN'AREA SITA IN VIA SAFFI TRA LA PISCINA
COIMUNALE E L'AREA OSPEDALIERA IN COMUNE DI CESENATICO

PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica è stata commissionata allo scrivente allo scopo di valutare il comportamento sismico di un'area sita in via Saffi a Cesenatico tra la Piscina Comunale e l'area ospedaliera.

Geograficamente l'area è inserita nel foglio n. 256.010 della carta tecnica regionale.



Lo studio è finalizzato alla ricerca dei parametri che consentono la classificazione sismica del terreno, a tale scopo sono state programmate le seguenti indagini:

- Esecuzione di n.1 prova penetrometrica statiche CPTU a profondità 20 m
- Rilievo sismico Masw –Remi e tromografo
- Ricerca bibliografica.

Alla presente relazione sono allegati:

- planimetria area d'intervento a scala 1:500 con ubicazione prove
- grafici penetrometrici
- carta geologica alla scala 1:10.000

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 e successiva circolare
- Decreto Ministeriale 14.01.2008
- DGR Emilia Romagna n. 630
- Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- Eurocodice 8 (1998); Eurocodice 7.1 (1997); Eurocodice 7.2 (2002); Eurocodice 7.3 (2002)
- Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

DESCRIZIONE DELL'AREA

L'area oggetto del presente studio occupa lo spazio compreso tra l'edificio della piscina comunale e il confine dell'area ospedaliera per un'estensione complessiva di circa 6.400 m². La forma è sub rettangolare allungata e attualmente l'area è destinata ad incolto e in parte a parcheggio.

MORFOLOGIA E GEOLOGIA DEL TERRITORIO

La zona qui studiata, posta a circa 1,6 m s.l.m., si presenta morfologicamente piana e delimitata dalle suddette proprietà.

Dal punto di vista geologico l'area è inserita all'interno dei depositi sedimentari di litorale, fortemente rimaneggiati e di natura prevalentemente sabbiosa, frutto di varie trasgressioni marine che hanno rielaborato i sedimenti alluvionali dei vari corsi d'acqua.

Dalla prova penetrometrica eseguita dal sottoscritto e dalle prove precedenti eseguite nell'area, si evince una natura geologica del terreno piuttosto omogenea.

La stratigrafia del sottosuolo è qui di seguito riassunta:

Prova n.1

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.40	Terreno vegetale
0.40	2.88	Sabbie e sabbie limose
2.88	3.68	Sabbie medie
3.68	3.94	Sabbie addensate o cementate
3.94	5.73	Sabbie medie
5.73	6.91	Sabbie e sabbie limose
6.91	8.15	Argilla inorganica compatta
8.15	8.48	Limi argillosi
8.48	10.66	Argille limose e argille
10.66	12.90	Limi argillosi e argille limose
12.90	13.80	Argille limose e argille
13.80	16.20	Limi argillosi e argille limose
16.20	18.00	Argilla limosa molto compatta
18.00	20	Limi argillosi e argille limose

Sintetizzando si nota un sottile strato superficiale di riporto o vegetale sotto al quale iniziano le sabbie di litorale che sono presenti sino a profondità di 6.9 metri. Le sabbie si presentano in varie forme granulometriche con uno strato molto addensato tra 3.68 e 3.94 m.

Sotto alla quota di 6.9 m si incontrano i terreni coesivi che proseguono sino a profondità di almeno 20 m.

Lo spessore totale dei sedimenti è superiore ai 200 metri così come verificato dal pozzo n. 256010P627, ma da bibliografia e soprattutto dai rilievi sismici si ipotizzano profondità di circa 300 m. Sotto tali depositi è rintracciabile il sub strato pliocenico.

Nei fori di prova è stata misurata la profondità della falda che è di circa -1.8 m dal piano campagna attuale. Essa è quindi contenuta all'interno dello strato sabbioso e ha come base lo strato argilloso.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU (CONE PENETRATION TEST)

METODOLOGIA DELL' INDAGINE

Utilizzando il **piezocono** (punta elettrica) sono notevolmente migliorati i dati ottenuti nelle prove statiche sia in termini di precisione di misura che come frequenza di campionamento dei dati.

Anche per questa prova penetrometrica CPTU il sistema di infissione è il medesimo delle CPT con infissione nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$).

Lo sforzo agente sulla punta è però misurato da trasduttori posti sulla punta e misurati tramite una centralina in superficie.



Con il **piezocono Pagani** è infatti possibile acquisire, durante il movimento continuo di spinta, le grandezze q_c (resistenza di punta) ed f_s (attrito laterale) ad ogni centimetro di profondità contro i 20 centimetri ottenibili dalla punta meccanica di tipo Begemann.

Il sistema acquisisce inoltre il valore della U (Pressione Idrostatica nei Pori), l'angolo di inclinazione della batteria di aste ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione misurata in fase di alleggerimento di spinta).

Caratteristiche del piezocono			
Canali di misura:		Dimensioni:	
Resistenza di punta (q_c):	50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (f_s):	1,6 MPa (titanio)	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm ²
Inclinazione:	0 – 20°	Superficie laterale:	150 cm ²
Tip area factor (a):	0,80	Peso:	2,1 kg
Sleeve area factor (b):	0	Lunghezza:	413 mm

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

REGISTRAZIONE DATI.

In automatico la centralina elettronica acquisisce i dati.

Per quanto riguarda la PUNTA ELETTRICA generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 1 cm.) rispetto al PUNTA MECCANICA (20 cm.).

Per il PIEZOCONO i dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua). Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione). Il programma usato per le elaborazioni permette di immettere U1 – U2 – U3 cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono, o attorno al manicotto a seconda del tipo di piezocono utilizzato. Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da (-1 a max. + 10-20 kg/cmq) ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione.

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale fs con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori). Robertson definisce infine il valore caratteristico del Ic (Indice di tipo dello strato) e Contenuto in materiale fine FC % (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

CORRELAZIONI CPTU

Le correlazioni eseguite in automatico dal software Static della ditta Geostru.

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (Robertson 1986) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito (Robertson & Campanella 1983) - per sabbie non cementare quarzose

Densità relativa (%) (Jamiołkowski 1985)

Modulo di Young secante drenato (Robertson & Campanella 1983) $E_y(25) - E_y(50)$ - per sabbie NC Quarzose.

Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Peso di Volume

Peso di Volume (Meyerhof) -

Peso di Volume saturo (Meyerhof) -

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per **sabbie** e per tensioni

Fattori di compressibilità

Ramo di carico C (autori vari)

Ramo di carico medio Crm (autori vari)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Modulo Di Reazione Ko

(Kulhawy Maine, 1990).

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata (Lunne, Robertson and Powell 1977)

Modulo Edometrico-Confinato Metodo generale del modulo edometrico.

Peso di Volume

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Modulo di deformazione di taglio)

Imai & Tonouchi (1982)

OCR Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Permeabilità Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988)

PROVA ... Nr.1

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Texture	Descrizione
0.4	16.3525	0.437683		2.0 Coesivo		terreno vegetale
2.88	77.40079	0.392007		2.2 Incoerente		Sabbie - Sabbie limose
3.68	128.0713	0.456759		2.3 Incoerente		Sabbia
3.94	227.1693	0.495954		2.4 Incoerente		Sabbie ghiaiose
5.73	152.972	0.364342		2.3 Incoerente		Sabbia
6.91	67.79831	0.218402		2.2 Incoerente		Sabbie - Sabbie limose
8.15	12.55806	0.630034		2.0 Coesivo		Argille
8.48	12.28485	0.307182		1.9 Coesivo		Limi argillosi e Argille limose
10.6	12.4783	0.462925		1.9 Coesivo		Argille limose - Argille
12.9	13.71609	0.23374		1.9 Coesivo		Limi argillosi e Argille limose
13.8	12.13555	0.404656		1.9 Coesivo		Argille limose - Argille
16.24	14.8623	0.444685		1.9 Coesivo		Limi argillosi e Argille limose
18	16.28409	0.597548		1.9 Coesivo		Argille limose - Argille
19.82	15.2555	0.327309		1.9 Coesivo		Limi argillosi e Argille limose

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40	C	0.9	611.7	47.8	154.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	142.31
2	2.88	I	--	--	77.1	399.2	0.8	1.9	2.2	89.8	44.6	154.8	320.25
3	3.68	I	--	--	85.5	543.0	0.8	1.9	2.2	83.9	44.7	256.1	385.73
4	3.94	I	--	--	93.3	770.7	0.5	1.9	2.2	95.8	45.0	454.3	451.89
5	5.73	I	--	--	87.3	605.3	0.8	1.9	2.2	77.3	44.1	305.9	419.04
6	6.91	I	--	--	58.8	368.2	1.7	1.9	2.2	46.2	38.8	135.6	350.96
7	8.15	C	0.6	429.9	47.4	131.4	4.1	1.9	2.0	--	--	--	229.98
8	8.48	C	0.6	416.8	47.2	129.6	1.8	1.9	2.0	--	--	--	231.55
9	10.60	C	0.5	419.9	47.4	130.9	2.5	1.9	2.0	--	--	--	235.57
10	12.90	C	0.6	458.8	48.2	138.7	1.0	1.9	2.0	--	--	--	245.21
11	13.80	C	0.5	394.2	47.0	128.7	1.7	1.9	1.9	--	--	--	243.42
12	16.24	C	0.6	490.8	48.4	145.6	1.7	1.9	2.0	--	--	--	256.10
13	18.00	C	0.7	537.0	47.8	154.0	2.1	1.9	2.0	--	--	--	264.61
14	19.82	C	0.6	492.4	48.3	148.0	1.0	1.9	2.0	--	--	--	264.81

INDAGINE SISMICA – HVSR

Prova HVSR

Il rilievo dei microtremori con il tromografo digitale "Tromino", permette di verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno.

Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s²), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente λ è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza):

Relativamente alle onde S:

$$f_r = \frac{V_{S1}}{4h}$$

f_r rappresenta la frequenza fondamentale dello strato, ossia la frequenza cui corrispondono le maggiori accelerazioni sismiche.

Utilizzando la formula sopra esposta si evince che, conoscendo la profondità di una discontinuità (trovata nelle prove penetrometriche o nei sondaggi) e la frequenza

fondamentale del terreno in superficie (fornita dal tomografo) è possibile risalire alla velocità delle onde S del terreno.

Una volta ricavato il valore di V_s , è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

Nel nostro caso è stato utilizzato il software DINVER che per tentativi consente di verificare migliaia di stratigrafie possibili sino ad avere una curva di inversione con un buon grado di approssimazione alla curva reale.

La tecnica HVSR consiste nella valutazione dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto ed è in grado di fornire in buona approssimazione il contenuto in frequenza del segnale dei microtremori.

Prova ReMi

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle V_s relativamente ai primi cento metri di profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.

Prova MASW

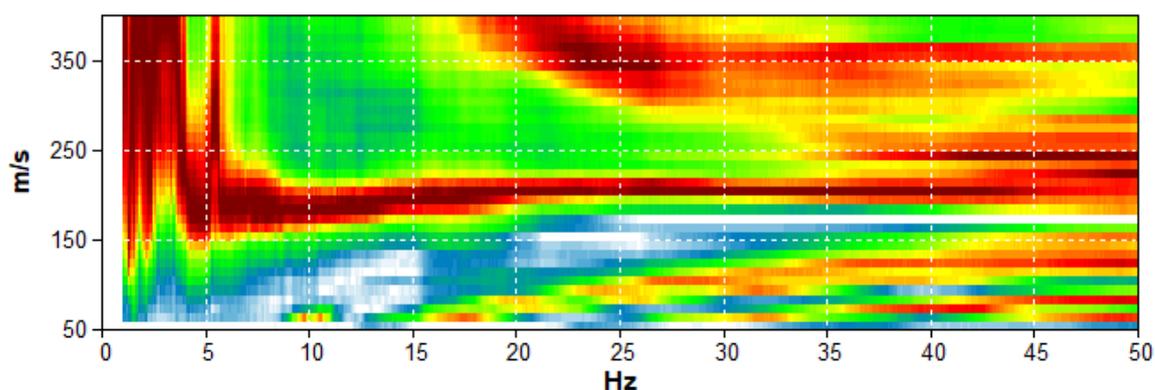
Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata

dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

Output MASW



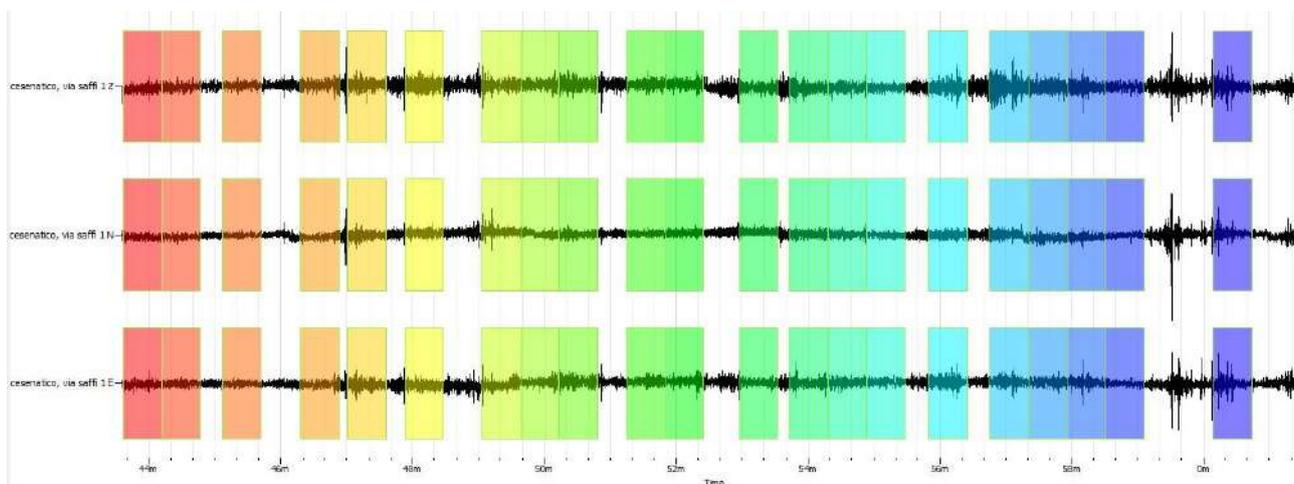
Si nota una velocità di circa 220 m/s sino a 18-19 Hz che corrisponde alla profondità di 6.9 m per poi abbassarsi sino 180 m/s fino a 4 Hz e risalire poi rapidamente a frequenze inferiori. Con questo grafico si hanno perciò velocità precise degli strati superficiali sino a 15-20 metri.

Il tromografo invece fornisce informazioni anche a profondità maggiori.

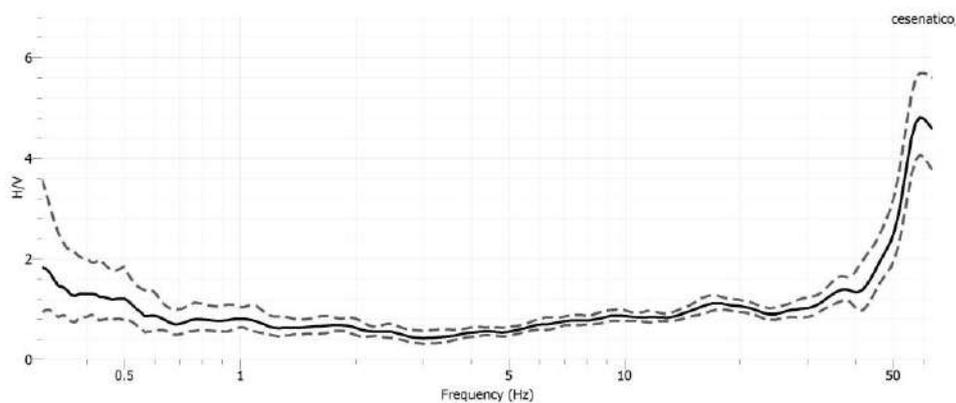
Questa è la tabella con le caratteristiche del rilievo eseguito nell'area:

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 12	cesenatico, via saffi 1	Vertical	2020-04-02 09:43:35.000000	2020-04-02 10:01:35.000000	128	0.0078125	138240	18m	0	0
2 13	cesenatico, via saffi 1	North	2020-04-02 09:43:35.000000	2020-04-02 10:01:35.000000	128	0.0078125	138240	18m	0	0
3 14	cesenatico, via saffi 1	East	2020-04-02 09:43:35.000000	2020-04-02 10:01:35.000000	128	0.0078125	138240	18m	0	0

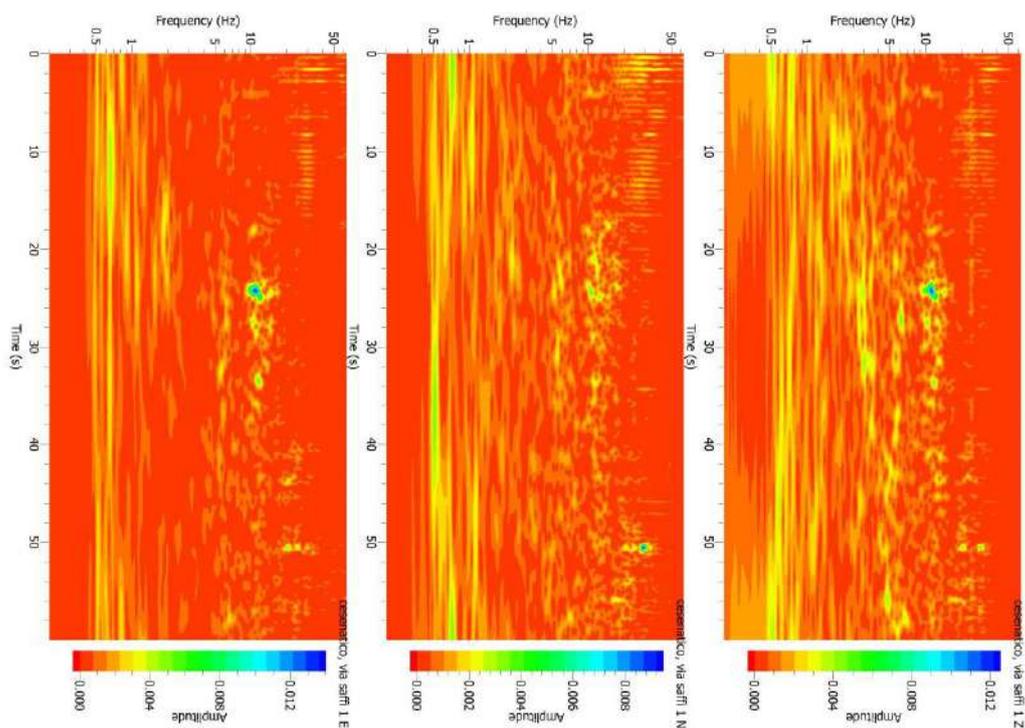
Nelle tracce del tromografo sono state suddivise e analizzate 21 finestre temporali da 35 secondi, escludendo quelle che presentavano disturbi.



Da cui si ricava il seguente grafico HVSR:

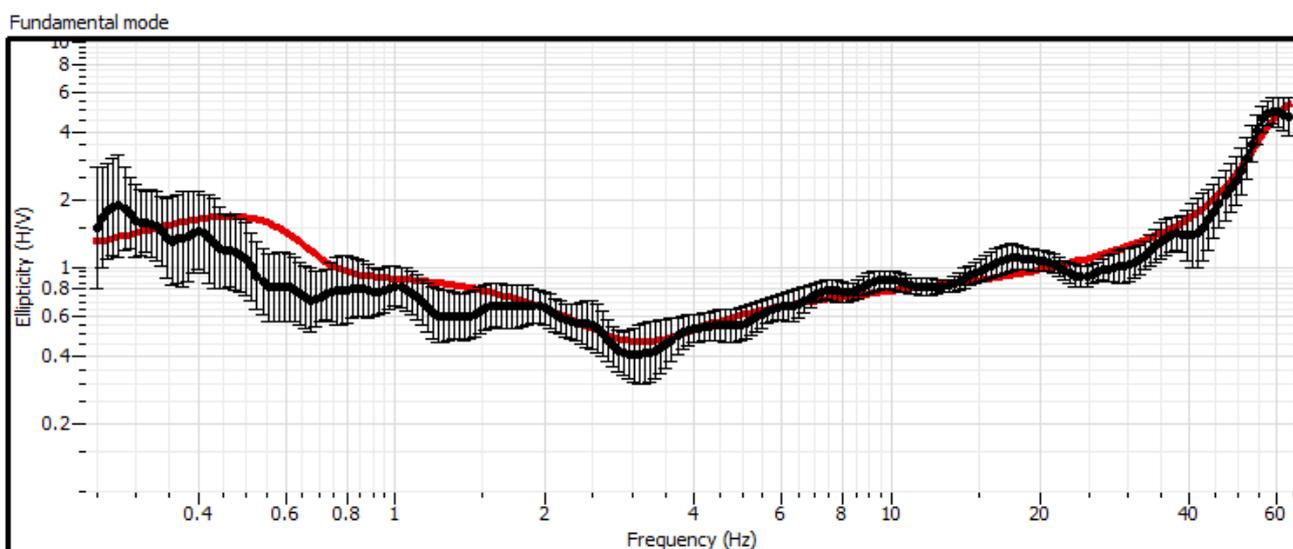


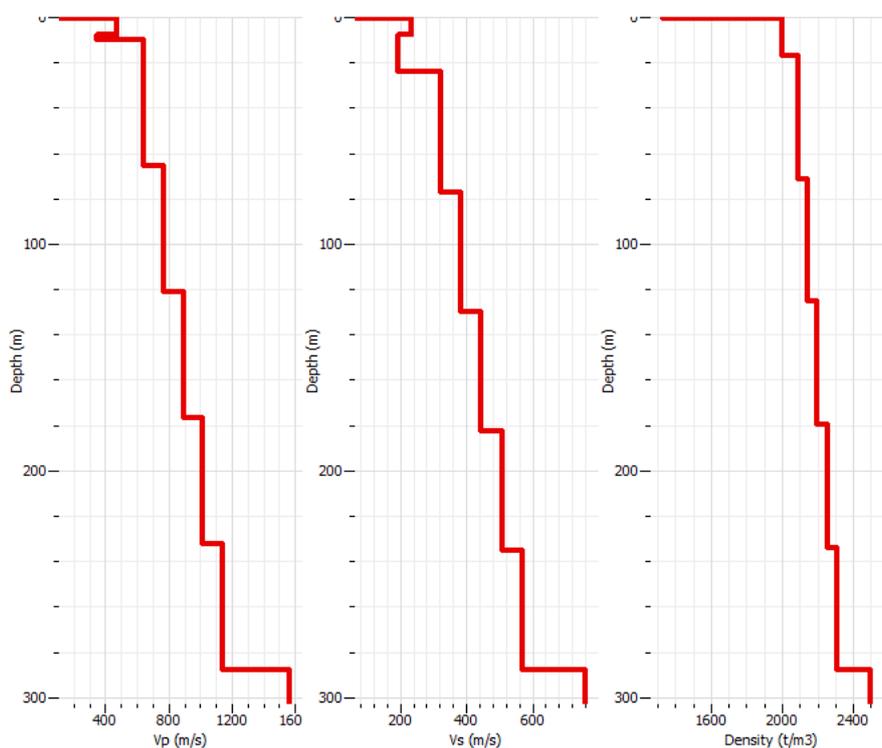
I grafici relativi ai rapporti spettrali sono i seguenti



Il segnale posto tra 0.5 e 0.8 Hz appare molto continuo e rappresenta il substrato sismico mentre a 16 Hz si ha il passaggio tra le sabbie e le argille che hanno velocità minore. In ogni caso non si ha una frequenza tipica netta del terreno a parte quella alle alte frequenze (60 Hz) che però corrisponde ai primi 50 cm di terreno.

Eseguendo il calcolo di inversione, si ricava la seguente curva sintetica (rossa) che deriva dalle stratigrafie sismiche Vs, Vp, e Densità, riportate di seguito in funzione delle profondità.





La seguente tabella mostra le velocità applicate e il valore delle Vs30.

profondità base	spessore strato	velocità m/s
0.4	0.4	69
7	6.6	221
23	16	189
76	53	322
129	53	379
181	52	444
234	53	504
287	53	565
		759

Vs30 = 273 m/s

La sequenza stratigrafica con le profondità e le velocità sopra tabellate, sono quelle che si ipotizzerà nell'elaborazione di terzo livello.

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

L'attuale normativa in materia sismica impone un approccio più attento relativamente alle azioni indotte da eventi sismici di particolare entità, agenti sulla struttura degli edifici.

Le varie tipologie di sottosuolo sono discriminate sulla base delle velocità di propagazione delle onde S e sono state raggruppate in 5 categorie.

Il valore indicativo di tali velocità è definito dalla media pesata su uno spessore di 30 m delle velocità misurate $v_{s,30}$. In alternativa si potrebbero utilizzare dei parametri corrispondenti, meno significativi, rappresentati dal valore della coesione non drenata c_u o del numero di colpi $NSPT$. Qui di seguito è mostrata la tabella di identificazione dei tipi di sottosuolo:

	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> Caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> Con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (oppure resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360 – 800
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (oppure resistenza penetrometrica $15 < N_{SPT} < 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180 – 360
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (oppure resistenza penetrometrica $N_{SPT} < 15$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	< 180
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore ai 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_{s30} > 800$ m/s</i>	

Dai risultati delle prove penetrometriche, del tromografo e dello stendimento sismico, il terreno di studio ricade all'interno della **classe C**.

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La normativa prevede le seguenti categorie topografiche:

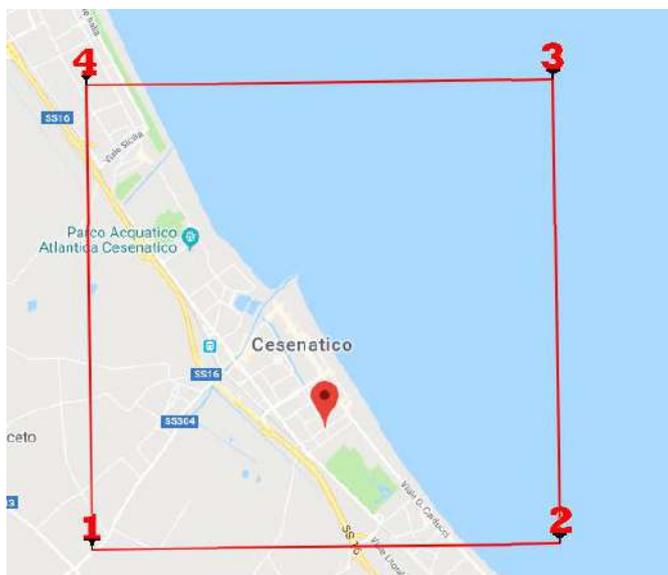
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq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

VERIFICA SISMICA DI I° LIVELLO

Il territorio nazionale è stato suddiviso in celle aventi caratteristiche sismiche diverse; la cella della maglia sismica in oggetto è la seguente:

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18299	Lat: 44,1796	Lon: 12,3749	Distanza: 3121,414
Sito 2	ID: 18300	Lat: 44,1803	Lon: 12,4446	Distanza: 3107,963
Sito 3	ID: 18078	Lat: 44,2303	Lon: 12,4437	Distanza: 4995,059
Sito 4	ID: 18077	Lat: 44,2296	Lon: 12,3740	Distanza: 5004,952



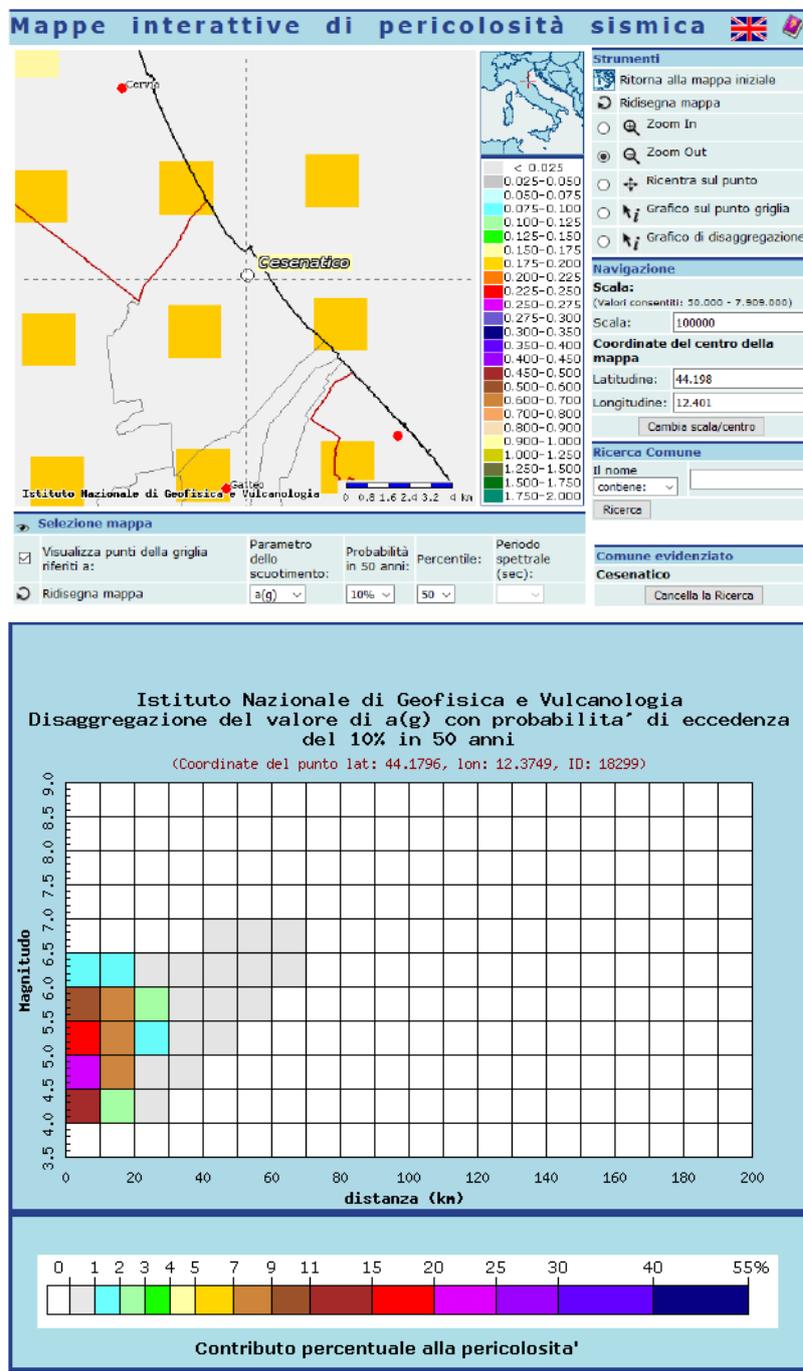
Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni
Coefficiente cu:	1,5

Operatività (SLV):

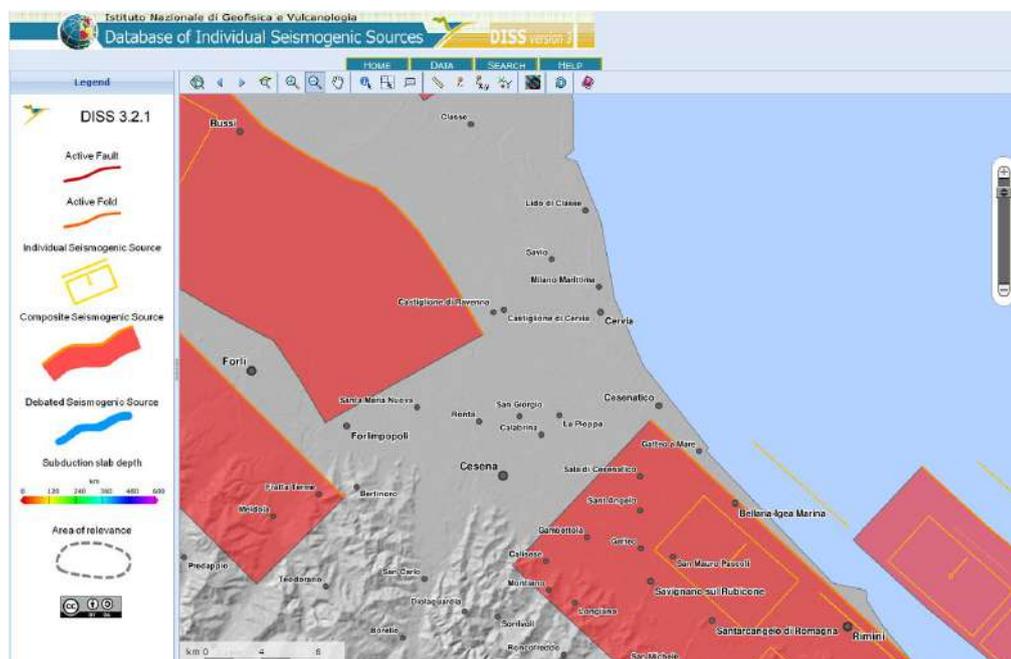
Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	712	[anni]
ag:	0,2091	g
Fo:	2,525	
Tc*:	0,298	[s]

Il sito dell' INGV fornisce i dati di pericolosità sismica sul territorio con possibilità di avere anche i dati disaggregati del valore di $a(g)$

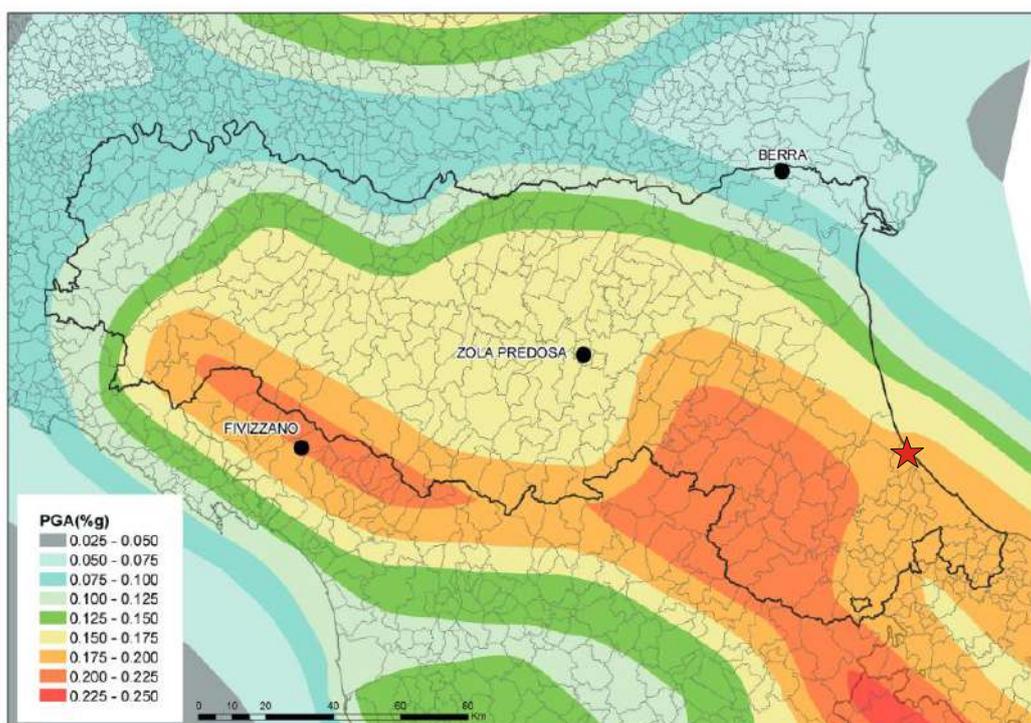


Dove si nota che la magnitudo attesa è compresa tra 5.5 e 6.0.

I terremoti sono attribuibili ad una sorgente composta che parte proprio da Cesenatico e si estende verso sud sino a Misano adriatico

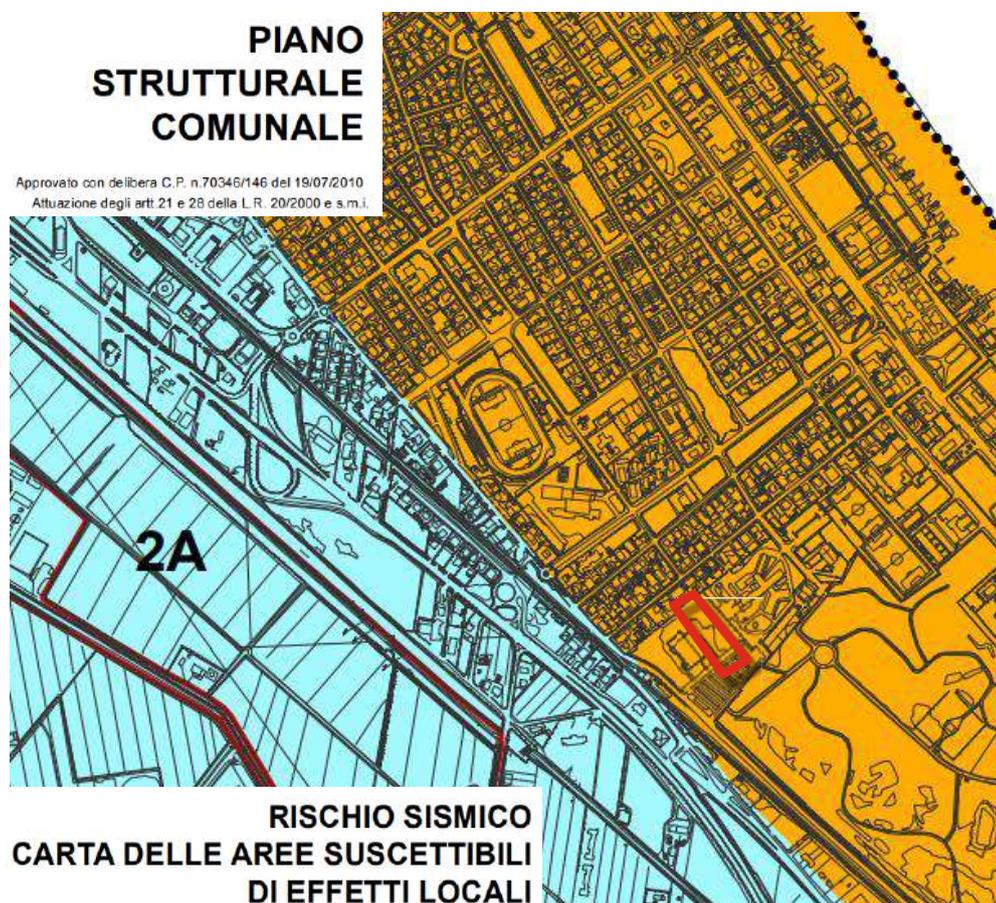


La regione Emilia Romagna ha fornito una planimetria con i valori della PGA attesa nel territorio dove si nota che l'area in oggetto appartiene alla campitura arancione chiaro essendo la PGA attesa pari a 0.178 g.



Carte del PSC

Nell'elaborato B.6 "Rischio sismico - Carta delle aree suscettibili di effetti locali" del P.S.C. del Comune di Cesenatico, si evince che l'area ricade in "Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni potenzialmente liquefacibili".



LEGENDA

Scenari di pericolosità sismica locale

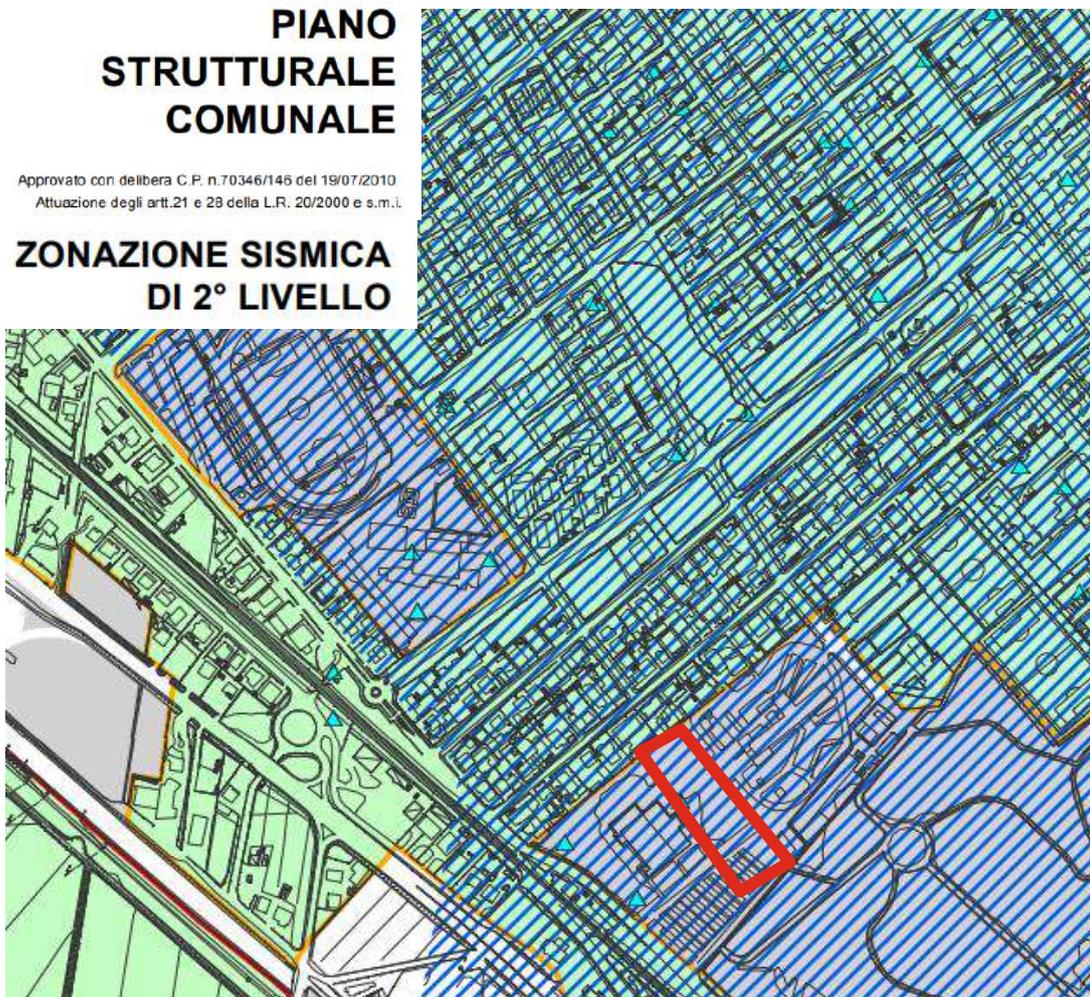
-  5 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche
-  7 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni potenzialmente liquefacibili
-  7 - Aree suscettibili di amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e con terreni fini potenzialmente soggetti a cedimenti

Nell'elaborato B.7.2 "Zonazione sismica di II° livello" del P.S.C. del Comune di Cesenatico, si evince che l'area ricade in "Aree da sottoporre ad approfondimento sismico di III° livello per potenziale liquefazione".

PIANO STRUTTURALE COMUNALE

Approvato con delibera C.P. n.70346/146 del 19/07/2010
Attuazione degli artt.21 e 23 della L.R. 20/2000 e s.m.i.

ZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO



Classi di amplificazione attesa (Periodo 0,1-0,5 secondi)

2.5

Classi di amplificazione attesa (Periodo 0,5-1 secondi)

2.5

Aree da sottoporre ad approfondimento di 3° livello
per potenziale liquefazione

VERIFICA SISMICA DI II° LIVELLO

Il territorio regionale è stato suddiviso in varie aree a seconda della tipologia morfologica e stratigrafica.

Il comune di Cesenatico è inserito in categoria II^a, mentre per quanto concerne le tabelle delle amplificazioni inserite nel DGR 630/2019, avendo il substrato sismico una profondità di circa 300 metri è più assimilabile ai dati della categoria PIANURA 3.

Le tabelle qui di seguito riportano i valori dei fattori di amplificazioni:

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

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

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

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

VERIFICA SISMICA DI III° LIVELLO

La Regione Emilia-Romagna, con specifiche norme (LR 20/2000 e delib. Regionale n.112/2007-2015 e DGR 630 del 2019) ha richiesto lo studio di microzonazione sismica locale con approfondimento al terzo livello, allo scopo di verificare la pericolosità sismica delle aree con interesse pubblico rilevante.

Per tale verifica si è utilizzato un software della ditta GEOSTRU denominato RSL con il quale, una volta forniti tutti i dati inerenti le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni,

eseguire in automatico tutte le verifiche con i tre sisma forniti dalla regione Emilia Romagna e calibrati alla accelerazione massima attesa.

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
- Stima della funzione di trasferimento;
- Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
- Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;
- Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
- Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt

$$\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right],$$

la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

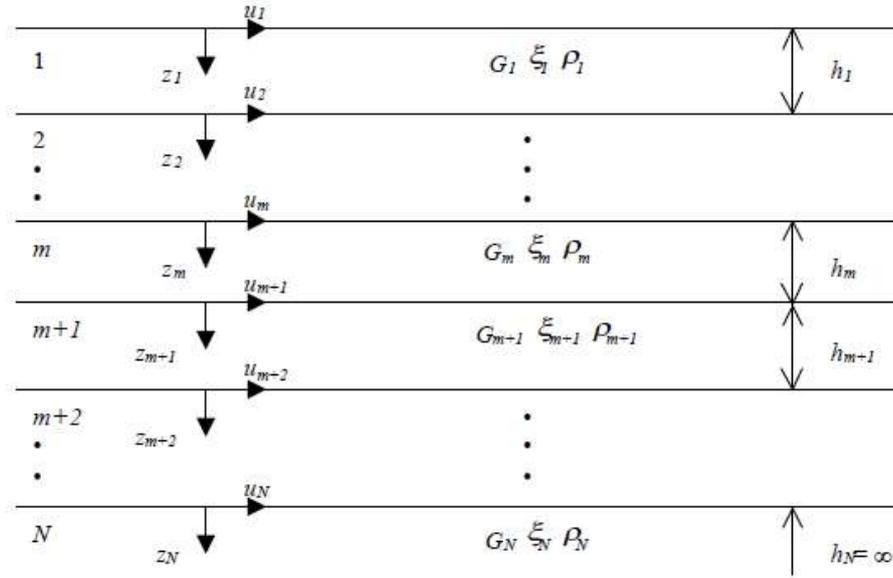


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m} \right] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

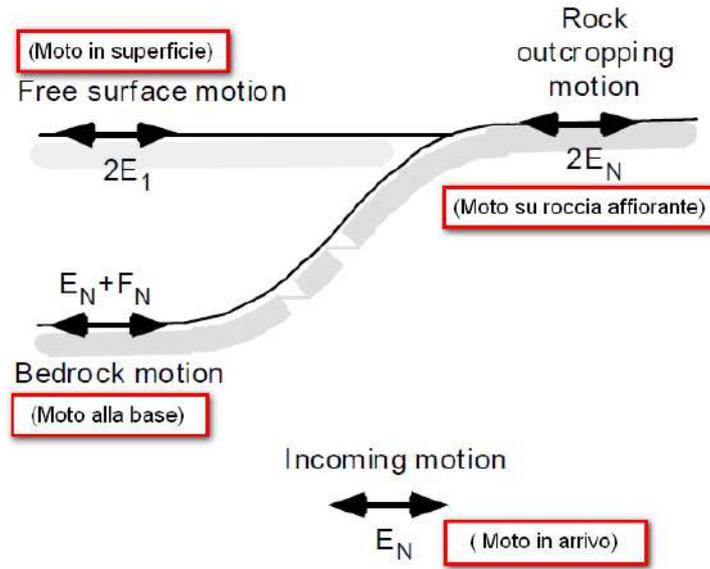


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

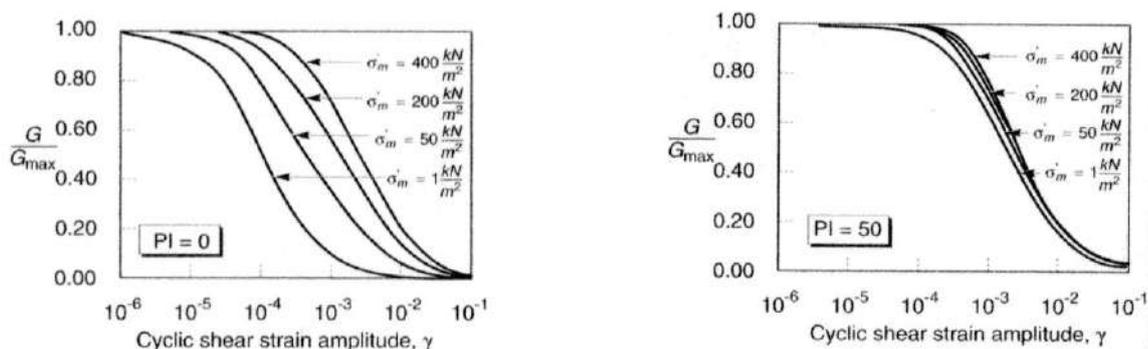


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

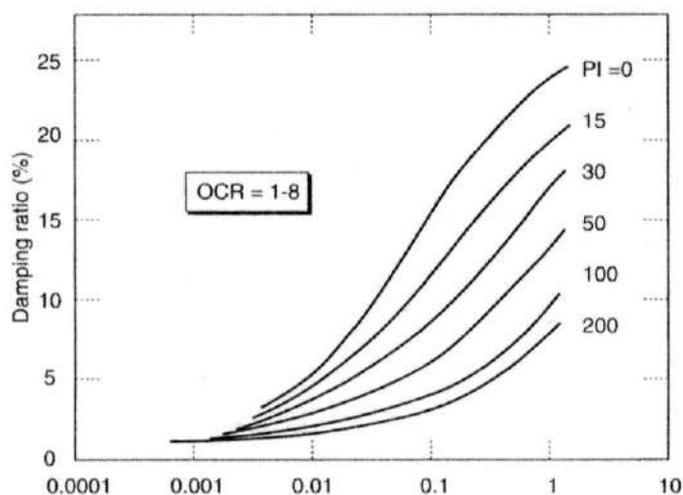
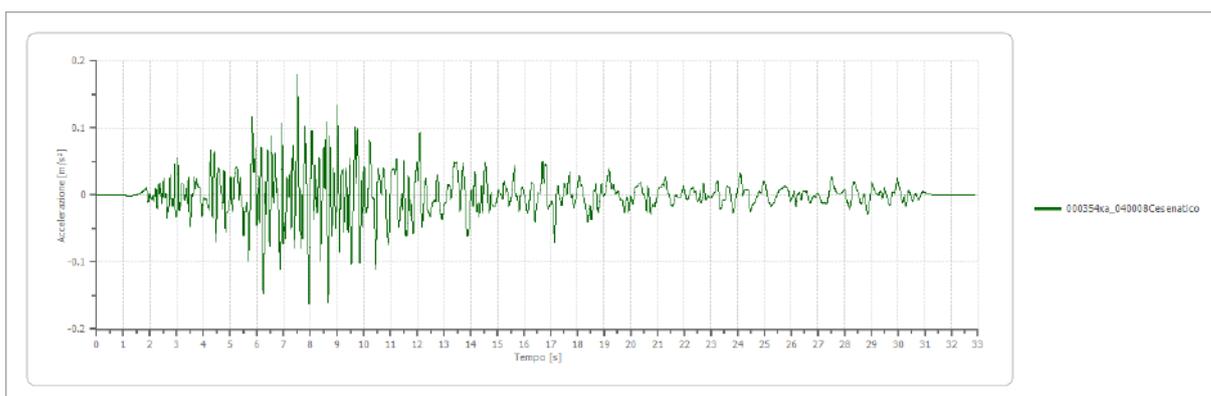
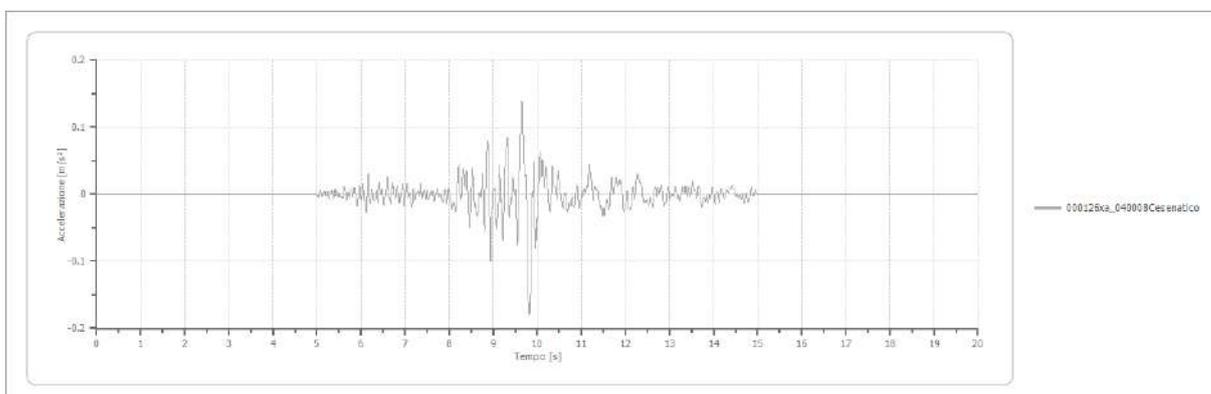
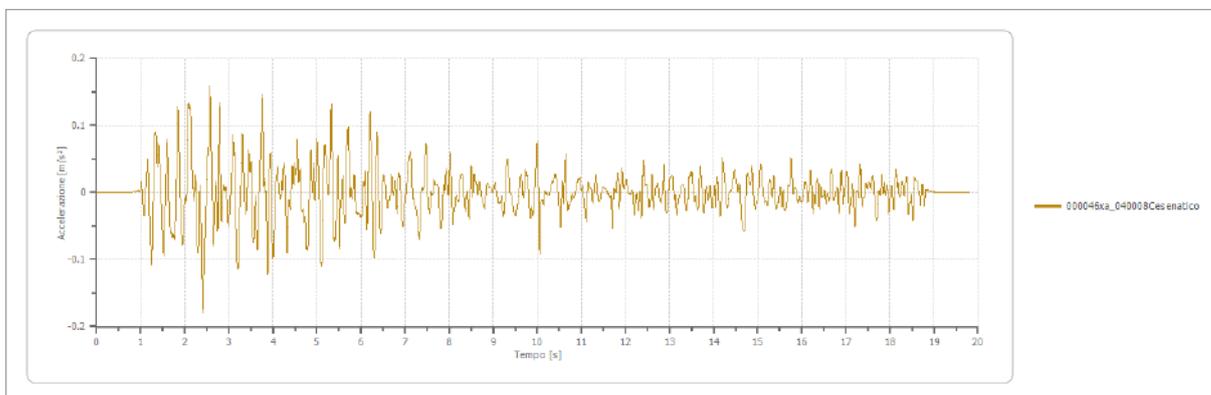


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Sono stati utilizzati i tre accelerogrammi forniti dalla normativa Emilia Romagna per il Comune di Cesenatico (046 – 126 – 354).

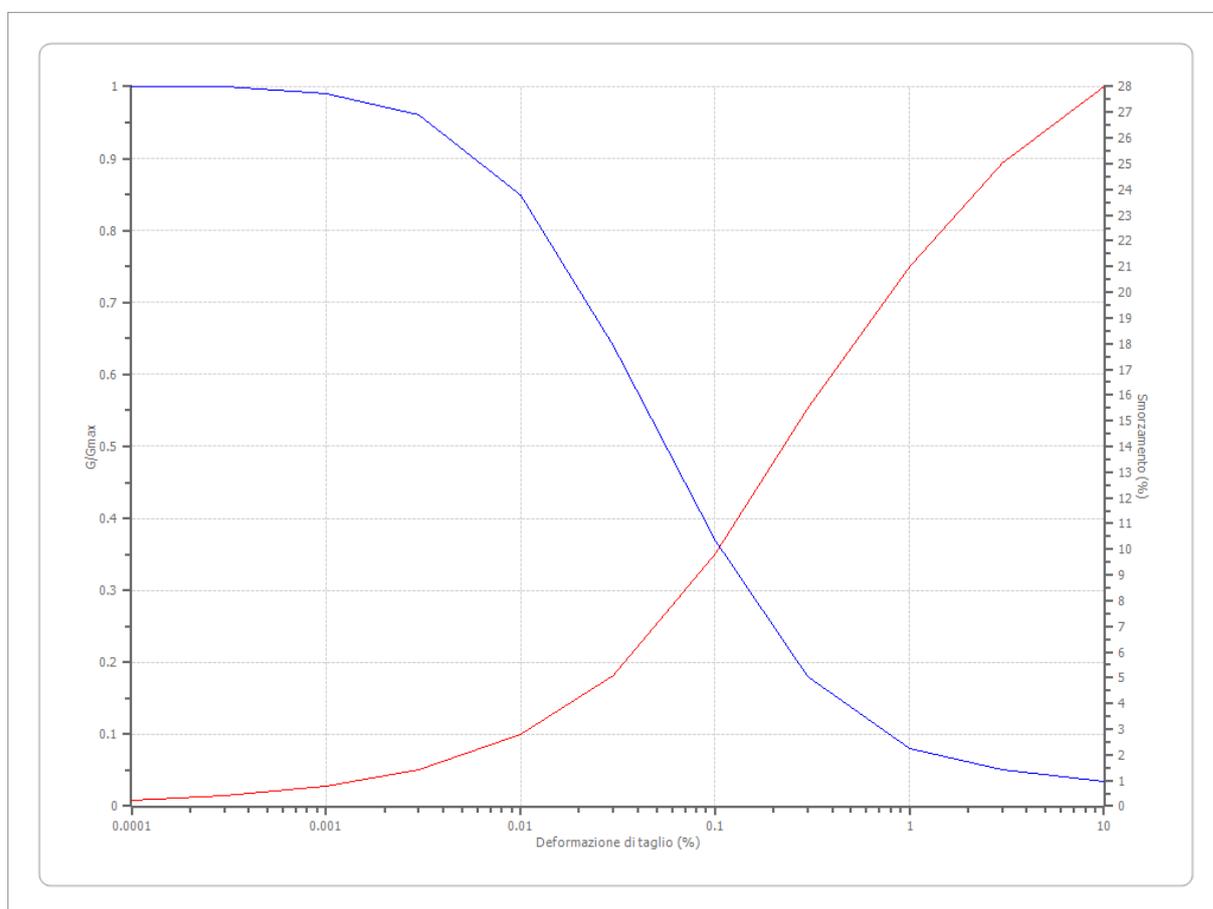


Terreni

Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

SABBIE

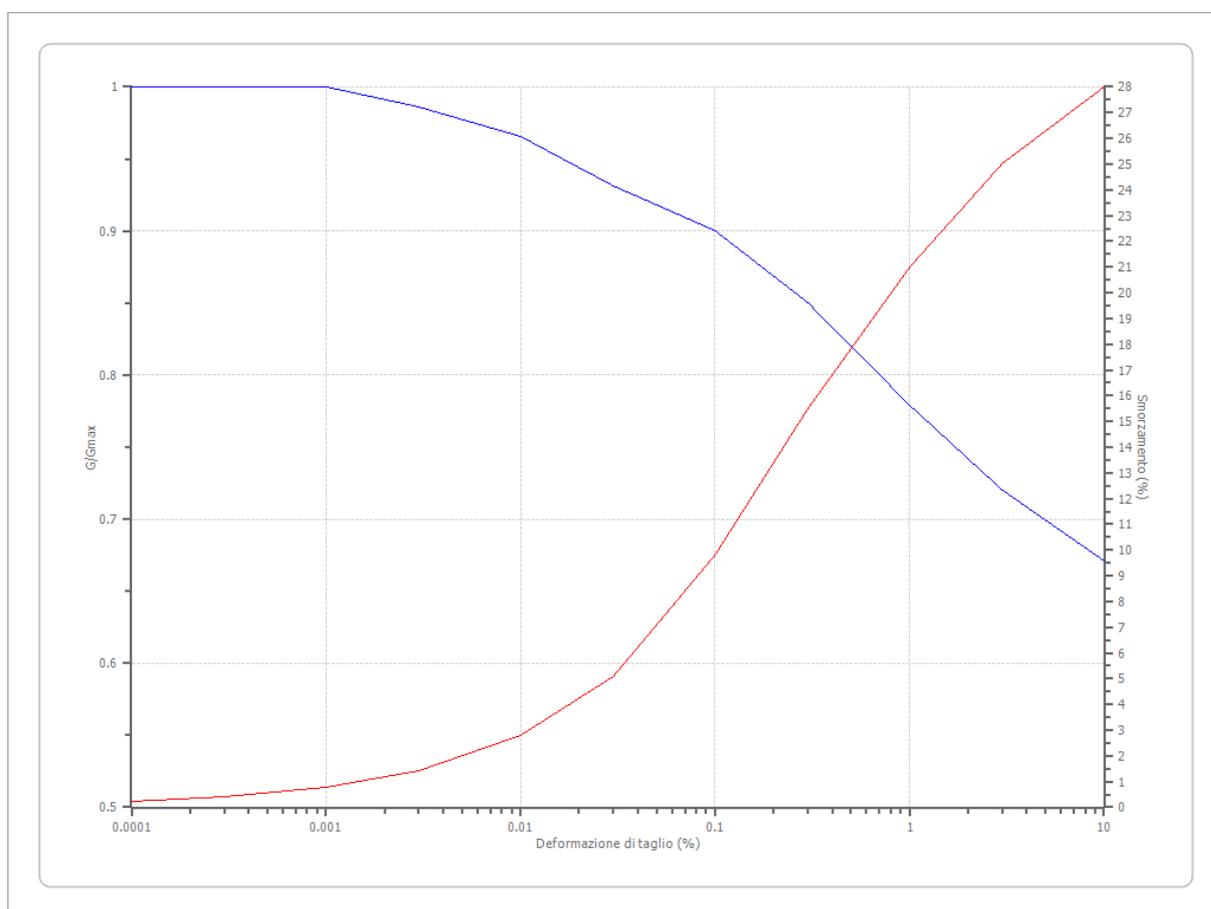
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

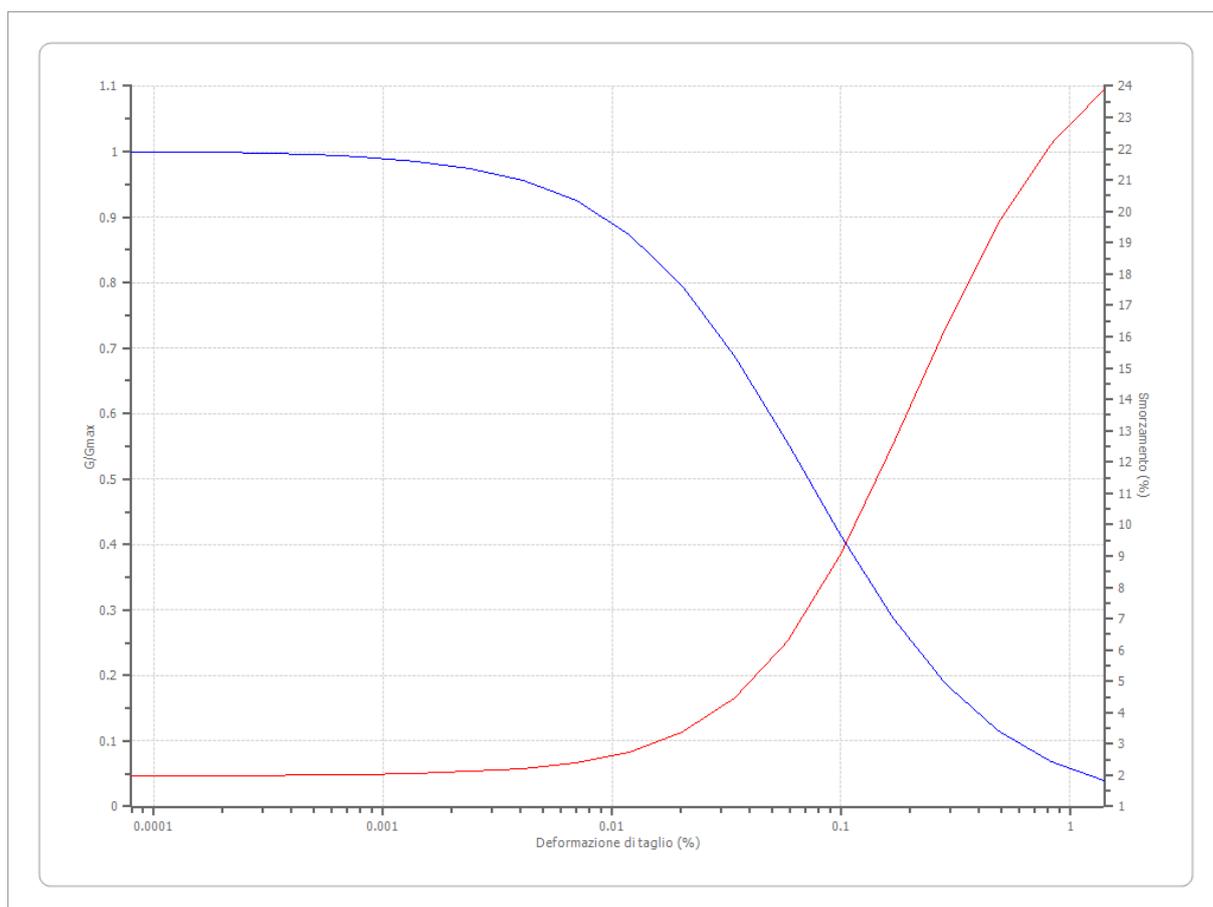
ARGILLE

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000



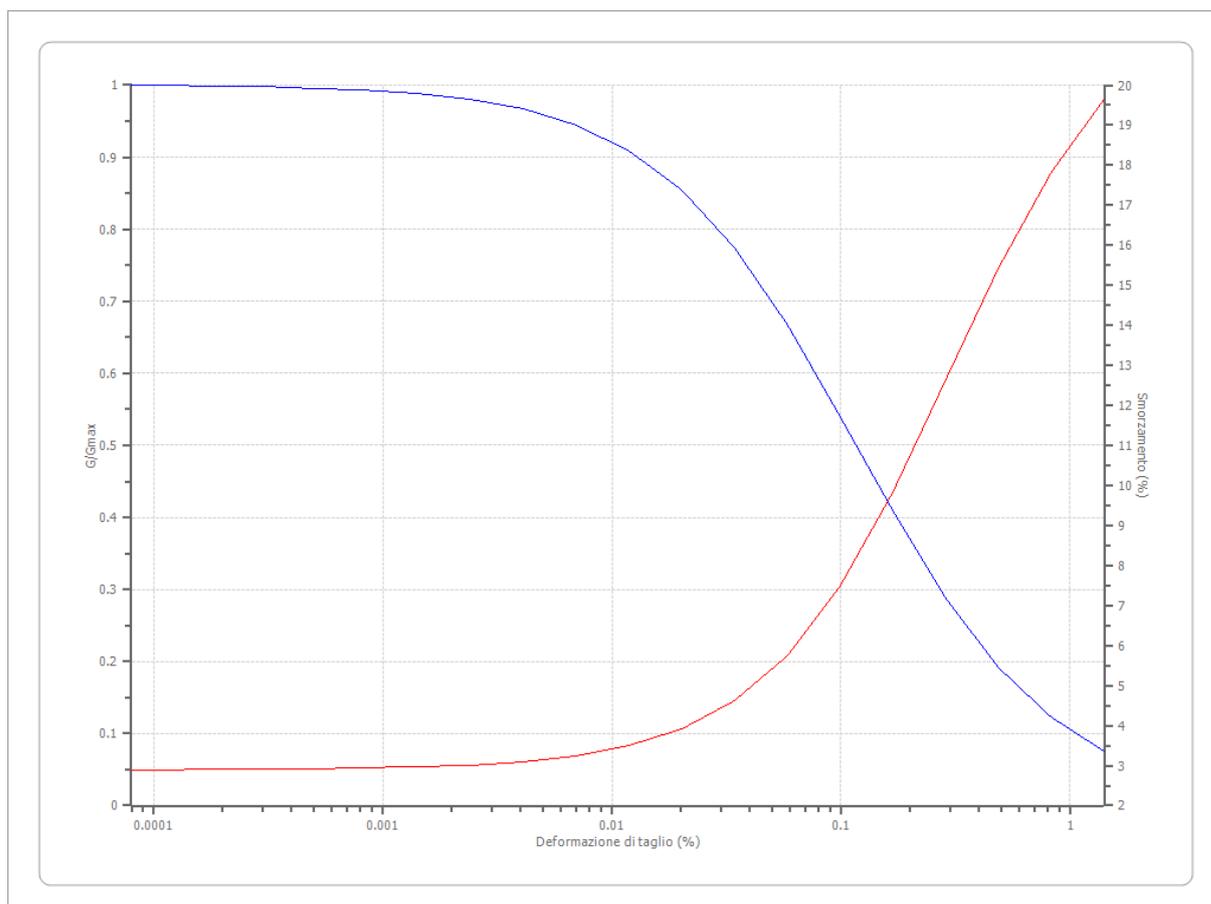
Lombardia – LIMI SABBIOSI

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.9826
0.0001	0.99915	0.0001	1.98695
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.02525
0.0014	0.98555	0.0014	2.05825
0.0024	0.97465	0.0024	2.11705
0.0041	0.956	0.0041	2.222
0.007	0.9246	0.007	2.4103
0.0119	0.87385	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.36165
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.556	0.0583	6.2701
0.099	0.41535	0.099	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.55055
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.11545	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.15295
1.4063	0.0405	1.4063	23.89285



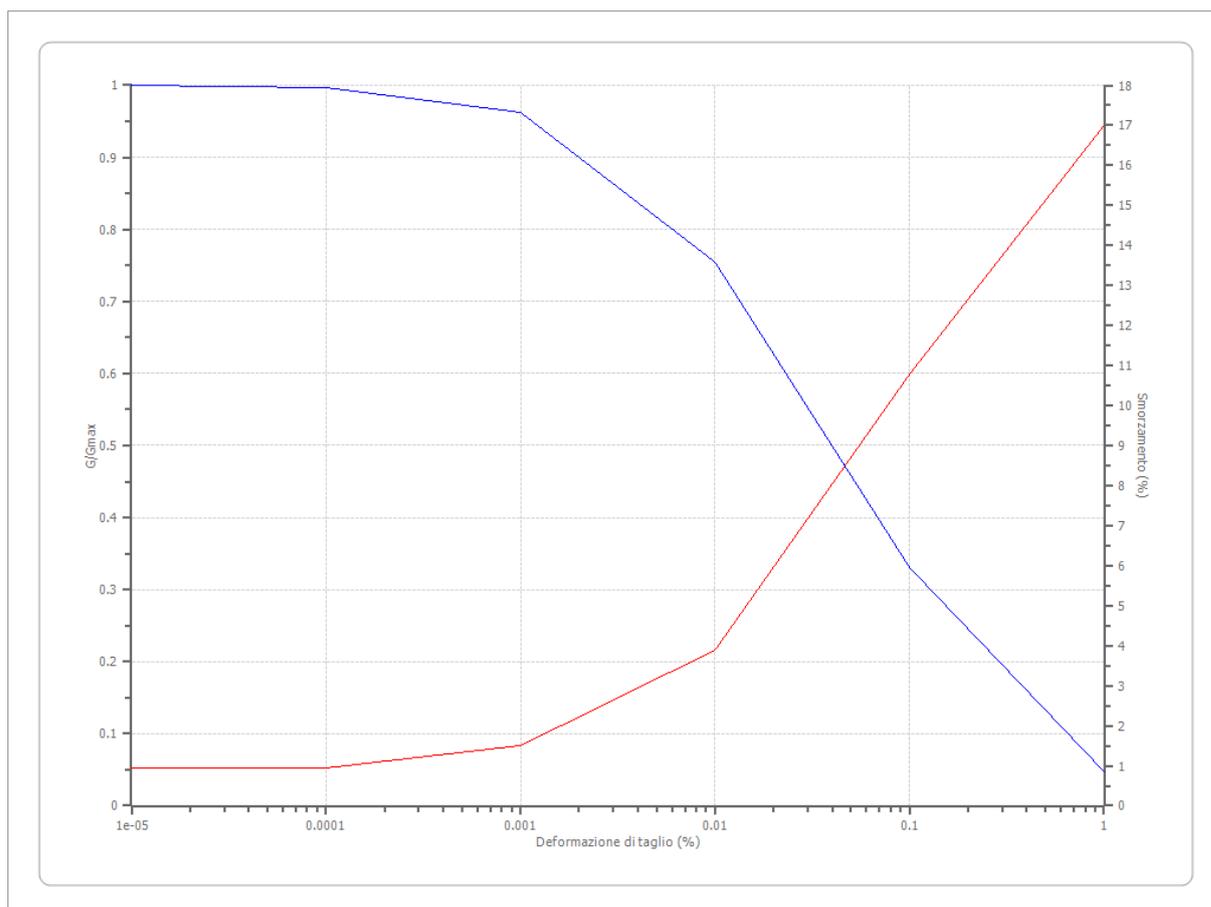
Lombardia – ARGILLE LIMOSE

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



Lombardia - GHIAIE

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00001	1.000	0.00001	0.9488
0.0001	0.996	0.0001	0.9488
0.001	0.9624	0.001	1.4981
0.010	0.754	0.010	3.8938
0.100	0.3311	0.100	10.7935
1.000	0.0476	1.000	17.0087



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Terreno di riporto e ghiaia cementata	--	0.4	Lombardia - Limi sabbiosi	9.22	19.0	69.0	1.8
2	Sabbia sciolta media grossolana	0.4	6.6	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	99.57	20.0	221.0	69.7
3	Argilla	7.0	16.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	76.47	21.0	189.0	225.2
4	Ghiaia	23.0	53.0	Lombardia - Ghiaie	221.95	21.0	322.0	611.3
5	Argilla limosa	76.0	53.0	Smorzamento costante	292.85	20.0	379.0	1177.8
6	Sabbia e ghiaia	129.0	53.0	Smorzamento costante	401.91	20.0	444.0	1717.9
7	Argilla	182.0	52.0	Smorzamento costante	543.77	21.0	504.0	2278.9
8	sabbia	234.0	53.0	Smorzamento costante	715.90	22.0	565.0	2892.8
9	SUBSTRATO	287.0	--	Smorzamento costante	1291.93	22.0	759.0	3215.9

Profilo		Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
0.40 [m]	0.40 [m]	69.0 [m/s]	221.0 [m/s]	1.8 [kPa]	
6.60 [m]	7.00 [m]				
16.00 [m]	23.00 [m]	189.0 [m/s]		225.2 [kPa]	
53.00 [m]			322.0 [m/s]		611.3 [kPa]
	76.00 [m]				
53.00 [m]			379.0 [m/s]		1177.8 [kPa]
	129.00 [m]				
53.00 [m]			444.0 [m/s]		1717.9 [kPa]
	182.00 [m]				
52.00 [m]			504.0 [m/s]		2278.9 [kPa]
	234.00 [m]				
53.00 [m]			565.0 [m/s]		2892.8 [kPa]
	287.00 [m]				
	oo		759.0 [m/s]		3215.9 [kPa]

Elaborazione

Numero di iterazioni	50
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima	0.5
Tipo di modulo elastico	Shake
Massimo errore percentuale di convergenza	7.76 E-05

Fattori di amplificazione MEDI su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.065	0.090	0.200	1.388
0.500	1.000	0.100	0.173	0.500	1.727
0.500	1.500	0.179	0.317	0.333	1.764

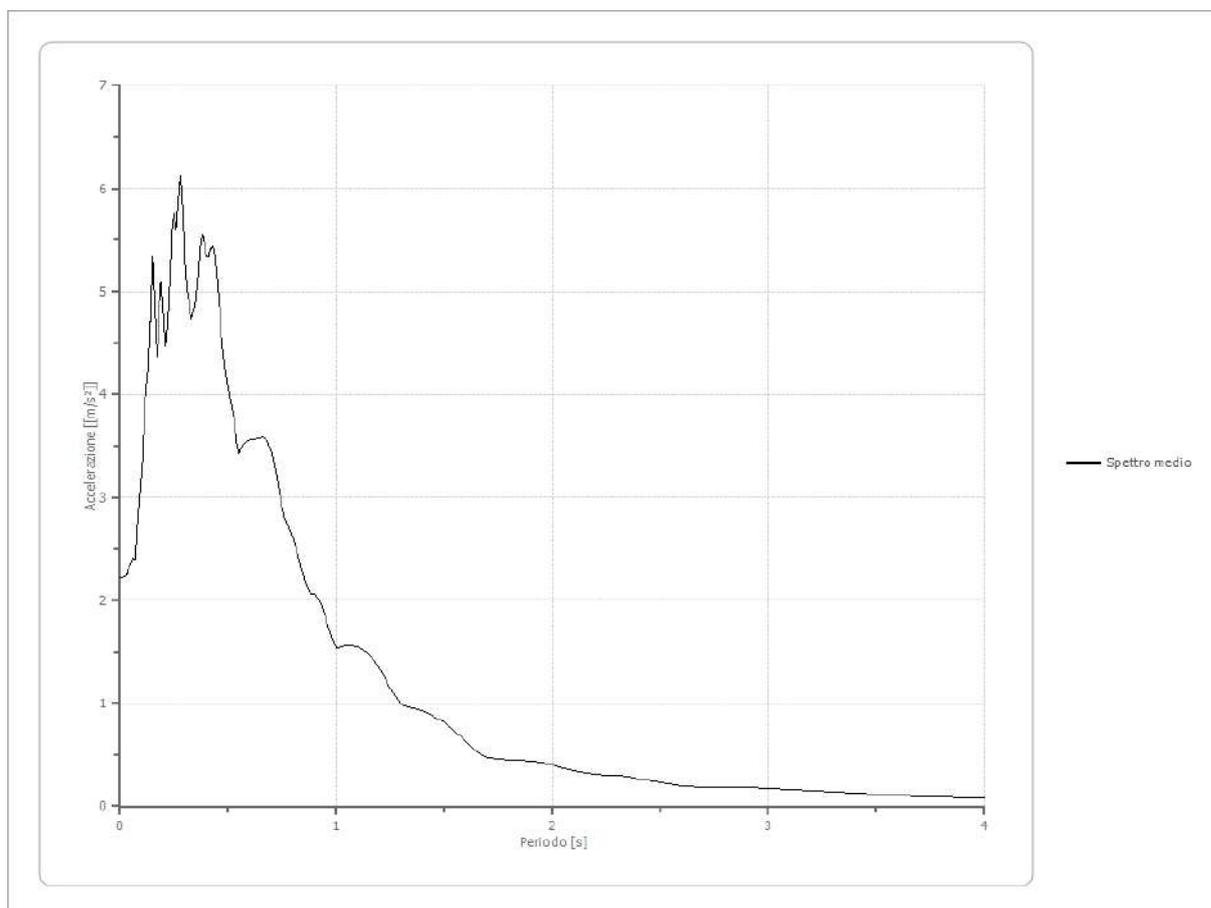
SPETTRO	Pga (m/s ²)	Pga0 (m/s ²)	Pga/Pga0
0.46	2.079	1.750	1.188
126	2.353	1.750	1.345
354	2.221	1.750	1.269

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.150 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.280 [s]
Tvo	0.680 [s]
Sami	3.951 [m/s ²]
Svmi	0.211 [m/s]
Samo	5.187 [m/s ²]
Svmo	0.362 [m/s]
Fa	1.313 [-]
Fv	1.718 [-]
TB	0.146 [s]
TC	0.438 [s]
TD	2.415 [s]
SA(0)	1.999 [m/s ²]
SA(TB)	5.187 [m/s ²]

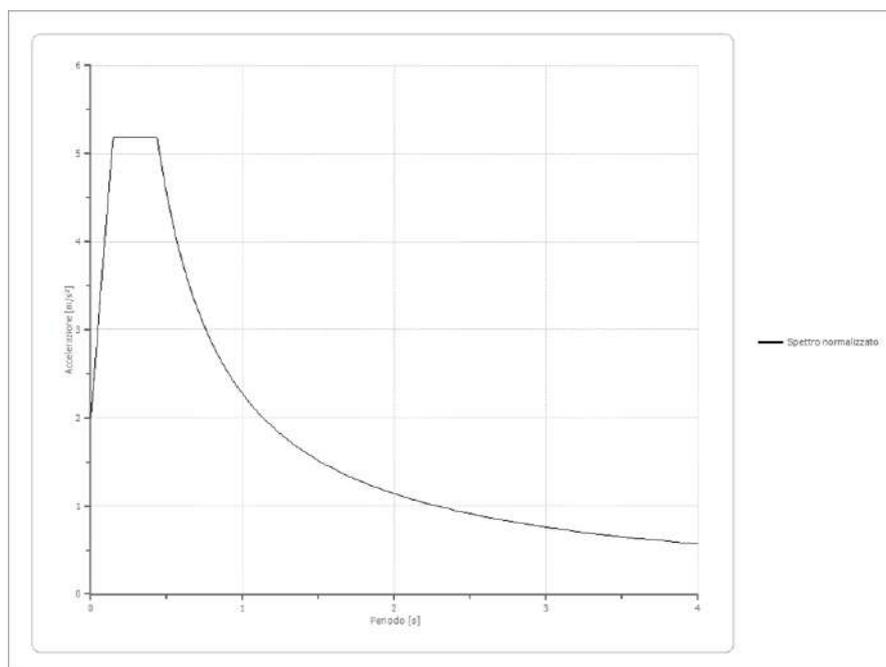
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	2.2175	0.26	5.5970	0.52	3.8357	0.98	1.6401	2.25	0.2984
0.01	2.2175	0.27	5.8880	0.53	3.7120	1.00	1.5338	2.30	0.2932
0.02	2.2332	0.28	6.1306	0.54	3.5371	1.05	1.5554	2.35	0.2826
0.03	2.2618	0.29	5.7927	0.55	3.4214	1.10	1.5417	2.40	0.2672
0.04	2.3321	0.30	5.2206	0.56	3.4743	1.15	1.4801	2.50	0.2305
0.05	2.3509	0.31	4.9988	0.57	3.5182	1.20	1.3347	2.60	0.2004
0.06	2.4037	0.32	4.8661	0.58	3.5408	1.25	1.1472	2.70	0.1873
0.07	2.3959	0.33	4.7261	0.60	3.5628	1.30	0.9862	2.80	0.1814
0.08	2.7459	0.34	4.8115	0.62	3.5628	1.35	0.9500	2.90	0.1804
0.09	3.0330	0.35	4.9182	0.64	3.5704	1.40	0.9233	3.00	0.1722
0.10	3.2750	0.36	5.1449	0.66	3.5809	1.45	0.8752	3.10	0.1585
0.11	3.7560	0.37	5.4400	0.68	3.5481	1.50	0.8180	3.20	0.1483
0.12	4.0459	0.38	5.5565	0.70	3.4449	1.55	0.7267	3.30	0.1363
0.13	4.2334	0.39	5.4554	0.72	3.2520	1.60	0.6256	3.40	0.1254
0.14	4.7128	0.40	5.3408	0.74	2.9966	1.65	0.5308	3.50	0.1140
0.15	5.3409	0.41	5.3442	0.76	2.8087	1.70	0.4683	3.60	0.1039
0.16	4.8382	0.42	5.4169	0.78	2.7058	1.75	0.4552	3.70	0.0950
0.17	4.3633	0.43	5.4369	0.80	2.5974	1.80	0.4461	3.80	0.0868
0.18	4.8057	0.44	5.3096	0.82	2.4571	1.85	0.4452	3.90	0.0794
0.19	5.0964	0.45	5.0724	0.84	2.3054	1.90	0.4381	4.00	0.0757
0.20	4.7960	0.46	4.8128	0.86	2.1527	1.95	0.4205		
0.21	4.4635	0.47	4.5531	0.88	2.0625	2.00	0.3958		
0.22	4.6972	0.48	4.3392	0.90	2.0600	2.05	0.3687		
0.23	5.1316	0.49	4.1893	0.92	2.0032	2.10	0.3408		
0.24	5.6652	0.50	4.0564	0.94	1.9051	2.15	0.3234		
0.25	5.7581	0.51	3.9379	0.96	1.7681	2.20	0.3098		



Spettro normalizzato di risposta elastico

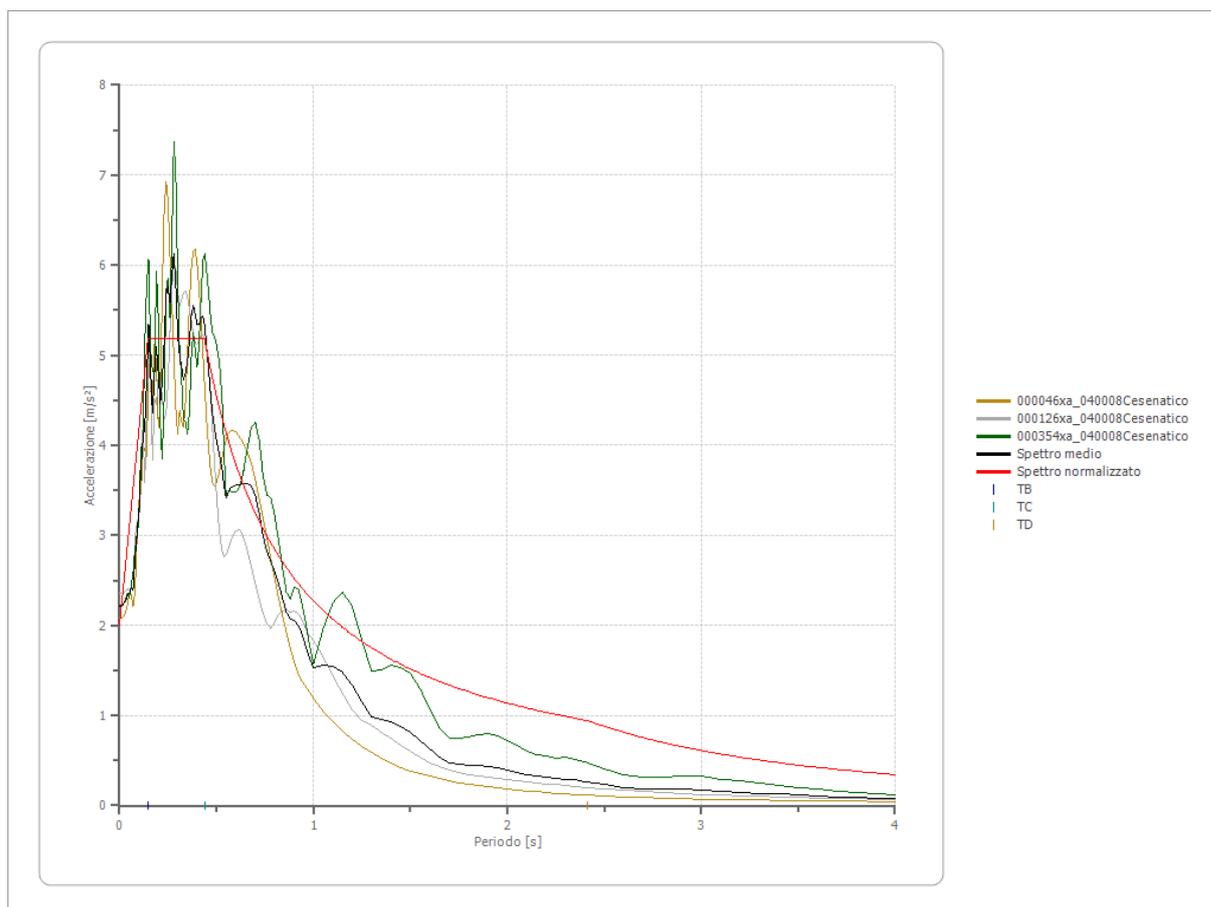
Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]								
0.00	1.9994	0.26	5.1867	0.52	4.3721	0.98	2.3199	2.25	1.0104
0.01	2.2175	0.27	5.1867	0.53	4.2896	1.00	2.2735	2.30	0.9885
0.02	2.4356	0.28	5.1867	0.54	4.2102	1.05	2.1652	2.35	0.9674
0.03	2.6538	0.29	5.1867	0.55	4.1336	1.10	2.0668	2.40	0.9473
0.04	2.8719	0.30	5.1867	0.56	4.0598	1.15	1.9770	2.50	0.9094
0.05	3.0901	0.31	5.1867	0.57	3.9886	1.20	1.8946	2.60	0.8744
0.06	3.3082	0.32	5.1867	0.58	3.9198	1.25	1.8188	2.70	0.8420
0.07	3.5264	0.33	5.1867	0.60	3.7892	1.30	1.7488	2.80	0.8120
0.08	3.7445	0.34	5.1867	0.62	3.6669	1.35	1.6841	2.90	0.7840
0.09	3.9626	0.35	5.1867	0.64	3.5523	1.40	1.6239	3.00	0.7578
0.10	4.1808	0.36	5.1867	0.66	3.4447	1.45	1.5679	3.10	0.7334
0.11	4.3989	0.37	5.1867	0.68	3.3434	1.50	1.5157	3.20	0.7105
0.12	4.6171	0.38	5.1867	0.70	3.2478	1.55	1.4668	3.30	0.6889
0.13	4.8352	0.39	5.1867	0.72	3.1576	1.60	1.4209	3.40	0.6687
0.14	5.0534	0.40	5.1867	0.74	3.0723	1.65	1.3779	3.50	0.6496
0.15	5.1867	0.41	5.1867	0.76	2.9914	1.70	1.3373	3.60	0.6315
0.16	5.1867	0.42	5.1867	0.78	2.9147	1.75	1.2991	3.70	0.6145
0.17	5.1867	0.43	5.1867	0.80	2.8419	1.80	1.2631	3.80	0.5983
0.18	5.1867	0.44	5.1670	0.82	2.7726	1.85	1.2289	3.90	0.5829
0.19	5.1867	0.45	5.0522	0.84	2.7065	1.90	1.1966	4.00	0.5684
0.20	5.1867	0.46	4.9424	0.86	2.6436	1.95	1.1659		
0.21	5.1867	0.47	4.8372	0.88	2.5835	2.00	1.1367		
0.22	5.1867	0.48	4.7364	0.90	2.5261	2.05	1.1090		
0.23	5.1867	0.49	4.6398	0.92	2.4712	2.10	1.0826		
0.24	5.1867	0.50	4.5470	0.94	2.4186	2.15	1.0574		
0.25	5.1867	0.51	4.4578	0.96	2.3682	2.20	1.0334		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s ²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s ²]	Se(TB) [m/s ²]	S
1.999	2.594164	--	0.146	0.438	2.415	1.999	5.187	0.975

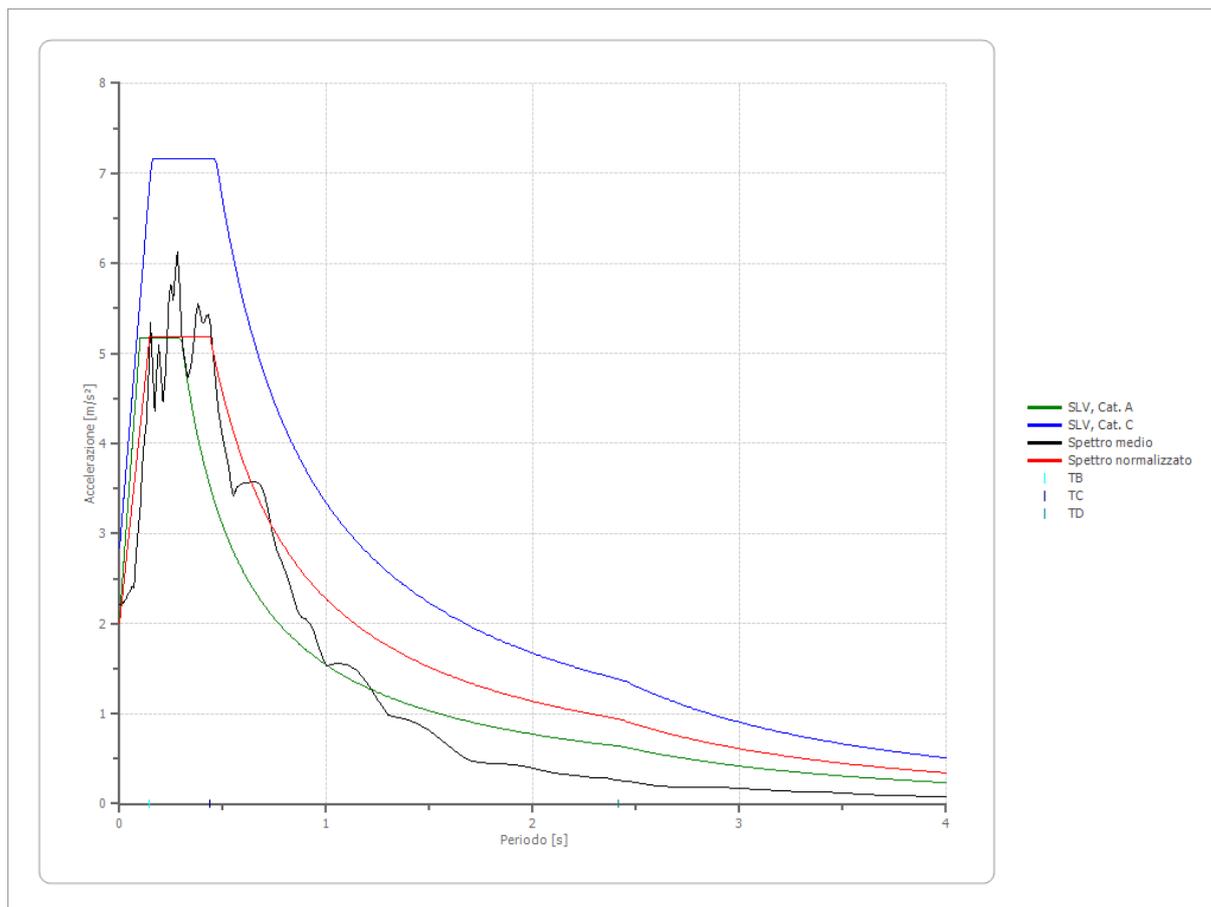
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvagnar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvagnar dia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.598	0.775	2.050	2.678	0.598	0.775	2.050	2.678
Fo	2.463	2.513	2.525	2.507	2.463	2.513	2.525	2.507
Tc* [s]	0.277	0.28	0.298	0.31	0.277	0.28	0.298	0.31
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.38	1.29
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.60	1.60	1.57	1.55
TB [s]	0.092	0.093	0.099	0.103	0.148	0.149	0.156	0.160
TC [s]	0.277	0.280	0.298	0.310	0.444	0.447	0.467	0.479
TD [s]	1.844	1.916	2.436	2.692	1.844	1.916	2.436	2.692
Se(0) [m/s²]	0.598	0.775	2.050	2.678	0.897	1.163	2.836	3.453
Se(TB) [m/s²]	1.473	1.948	5.176	6.714	2.209	2.921	7.161	8.657

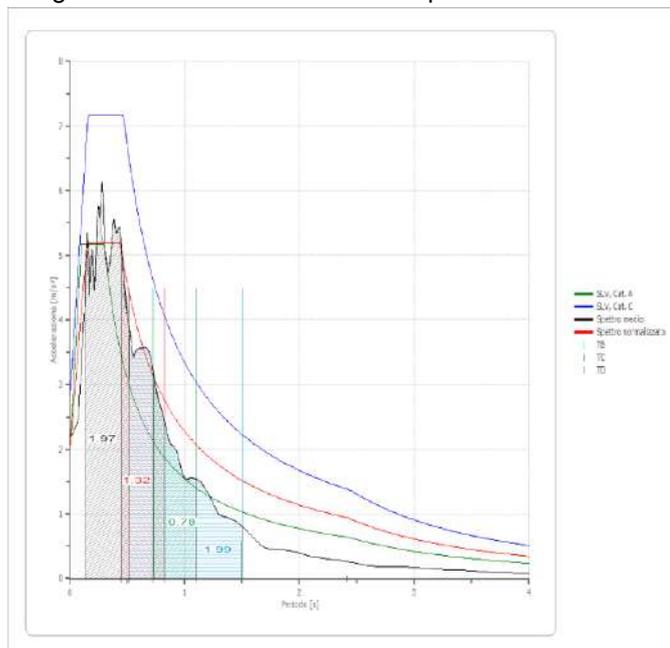


Dal grafico si nota che lo spettro medio è contenuto totalmente all'interno dello spettro ottenuto da normativa per SLV per terreni di categoria sismica C, mentre supera quello normalizzato nei tratti di curva da TB-TC e nel tratto TC-TD.

Il confronto tra l'elaborazione di III° livello e i dati dei fattori di amplificazione forniti dalla normativa regionale, mostrano notevoli differenze in quanto i valori della normativa sono più alti ad esclusione del fattore di amplificazione della PGA per lo spettro 126 che è leggermente più alto.

	da DGR 2193	Spettro 046	Spettro 126	Spettro 354
F.A. PGA	1.3	1.188	1.345	1.269
F.A. SI1	1.5	1.292	1.416	1.462
F.A. SI2	2.2	1.679	1.825	1.705
F.A. SI3	2.4	1.700	1.849	1.421

Per il calcolo dello scuotimento in termini di accelerazione in superficie H_{SM} , si sono calcolati i valori di SA come integrale della curva media nei vari periodi di riferimento.



s	FA da DGR 630	SA	SA ₀	FA = SA/SA ₀
01-0.5	1.3	1.97	1.71	1.15
04-0.8	2.0	1.32	0.95	1.38
07-1.1	2.4	0.78	0.65	1.20
05-1.5	2.3	1.99	1.75	1.13

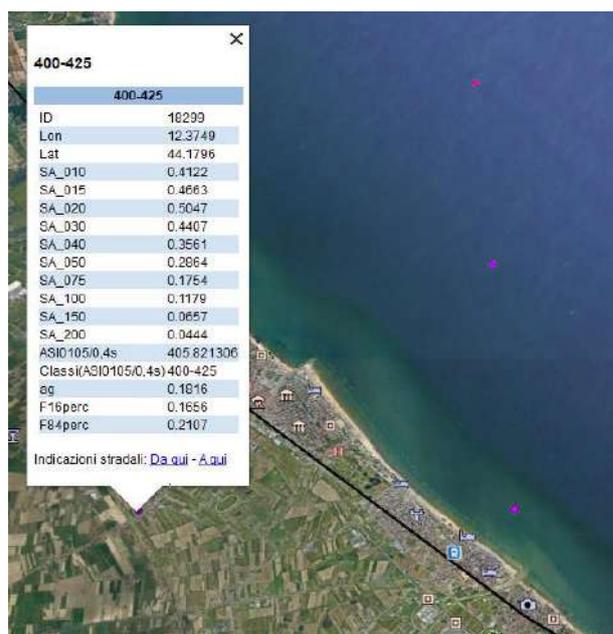
Anche in questo caso i valori del fattore di amplificazione sono inferiori a quelli fornite dalla normativa.

Dall'allegato A4 si ricava il valore di ASI0105/04s pari a 405.82 cm/s² che moltiplicato per il fattore di amplificazione del periodo 0.1 – 0.5 s si ottiene un valore di:

$$405.82 \times 1.15 = 466.69 \text{ cm/s}^2$$

che data la dimensione ridotta dell'area può essere considerata costante.

Naso e altri hanno fornito una categorizzazione del valore di H_{SM} riferito ai potenziali danni.



seismic hazard	low-very low	moderate-low	moderate	high	very high
H_{SM} (cm/s ²)	≤ 180	$180 < H_{SM} \leq 340$	$340 < H_{SM} \leq 650$	$650 < H_{SM} \leq 1240$	> 1240
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	$\leq VI$	VII	VIII	IX	$\geq X$

Nel nostro caso il valore di H_{SM} è inserito nel rischio Moderato.

VERIFICA SULLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

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 (σ), si ha l'annullamento della resistenza al taglio (τ), secondo la seguente relazione:

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi$$

Da studi statistici si è verificato che il fuso granulometrico a rischio possiede un D_{50} compreso tra 0,25 e 0,45 mm.

Come già descritto nei paragrafi precedenti, la stratigrafia del sottosuolo presenta irregolarmente strati sabbiosi immersi in falda, che potrebbero quindi essere liquefacibili, ma occorre anche tenere in considerazione la profondità in cui si trovano tali strati e lo spessore degli stessi.

Poiché la liquefazione si verifica in condizioni in cui le sabbie presentano una composizione granulometrica piuttosto uniforme, si escludono dalla verifica i casi in cui si presentano livelli sabbiosi di spessore uguale o inferiore ai 60 cm, che rappresentano intercalazioni all'interno di strati coesivi.

Sono inoltre esclusi i depositi presenti ad una profondità superiore a 15 m, in quanto il carico litostatico è talmente elevato da non poter essere raggiunto dalla pressione neutra.

Inoltre il DGR n.2193 del 2015 definisce alcune condizioni in cui è possibile escludere la verifica:

1. Magnitudo attesa inferiore a 5
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizione free-field minore di 0.1 g
3. Terreno con caratteristiche ricadenti in una delle seguenti categorie:
 - frazione fine, FC, superiore al 20% con indice di plasticità $I_p > 10\%$
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$ oppure $q_{c1N} > 95$ oppure $V_{S1} > 200$ m/s
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$ oppure $q_{c1N} > 160$ oppure $V_{S1} > 220$ m/s

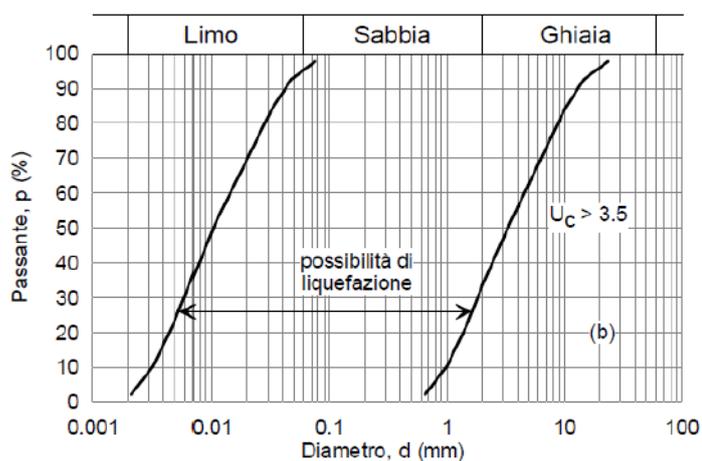
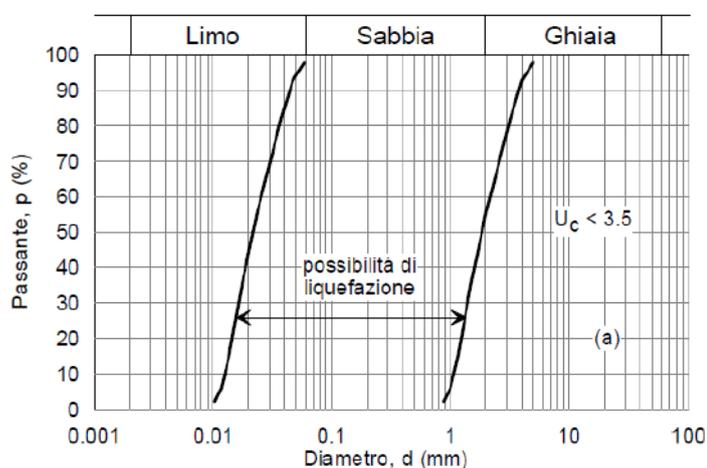
Dove:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$q_{c1N} = q_c \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

Distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato nella seguente figura per materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e > 3.5



Dalle prove e dalle caratteristiche del sito non risultano elementi che escludano la verifica.

Per la verifica si considerano i risultati della prova penetrometrica n°1 e si utilizza il software Liquefier della ditta Geostru. La stratigrafia del lotto è molto omogenea e quindi i risultati della prova n.1 possono essere adottati da tutta l'area.

Per valutare il pericolo di liquefazione è stato adottato il metodo semplificato di Boulanger e Idriss 2014 secondo quanto indicato nel DGR 2193 del 2015, che parte dai risultati delle prove CPT, per giungere a un fattore di sicurezza, ed un indice di liquefazione associato al rischio.

Metodi di calcolo

Il metodo utilizzato si basa sulle seguenti equazioni principali:

$$F_L = \frac{CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}}}{CSR} * MSF * K_\sigma$$

Dove:

CRR = resistenza ciclica del terreno normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace e per terremoti con magnitudo 7.5

CSR = sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma

MSF = fattore di scala della magnitudo

K_σ = fattore di correzione

Dove:

$$CRR = \frac{\tau_{ULT}}{\sigma'_{v0}}$$

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0'}} r_d$$

dove a_{max} è l'accelerazione massima orizzontale di progetto

g è la forza di gravità (980,7 cm/s²)

σ_{v0} e σ_{v0}' sono le pressioni verticali totali ed efficaci alla prof. Z

r_d è un coefficiente funzione della profondità

Nel metodo proposto da **Idriss e Boulanger** l'indice di comportamento **I_C** per il tipo di suolo è ricavato con le formule riportate di seguito:

$$I_c = \left[(\log_{10} Q - 3,47)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (6.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (6.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (6.0c)$$

dove

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo, variabile tra 0,5 e 1.

Calcolato I_c , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{Pa} \right) \quad (6.1)$$

$$C_Q = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \leq 1,7 \quad (6.2)$$

dove n si determina per via iterativa dalla seguente relazione:

$$n = 1,338 - 0,249 \cdot q_{c1N}^{0,264} \quad (6.3)$$

La correzione della resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata mediante la seguente procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (6.4a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(11,9 + \frac{q_{c1N}}{14,6} \right) \cdot \exp \left[1,63 - \frac{9,7}{FC+2} - \left(\frac{15,7}{FC+2} \right)^2 \right] \quad (6.4b)$$

Dove la frazione di fine FC(%) viene calcolata mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 2,8 \cdot (I_c)^{2,60} \quad (6.5)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 ($CRR_{7,5}$) si calcola da:

$$CRR = \exp \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{113} + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{137} \right)^4 - 2.80 \right] \quad (6.6)$$

Per $z_w > z$, con z_w profondità della falda, e per $(q_{c1N})_{cs} \leq 160$ il terreno è non liquefacibile (NL).

Il rapporto di sforzo ciclico **CSR** (*Cyclic Stress Ratio*) si determina da:

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d \quad (6.7)$$

Dove per il coefficiente di riduzione delle tensioni r_d si utilizza la formula, con M si indica la magnitudo:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (6.8a)$$

$$\alpha = -1,1012 - 1,126 \cdot \text{sen} \left[\frac{z}{11,73} + 5,133 \right] \quad (6.8b)$$

$$\beta = 0,106 + 0,118 \cdot \text{sen} \left[\frac{z}{11,28} + 5,142 \right] \quad (6.8c)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (6.9)$$

Per determinare il fattore di scala della magnitudo **MSF**, la formula di **Idriss & Boulanger** utilizza l'espressione:

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \cdot 8.64 \cdot \exp \left(- \frac{M}{4} \right) - 1.325 \leq 1,8 \quad (6.10)$$

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{qc1ncs}{180} \right)^3 \leq 2.2$$

Il fattore di correzione della pressione di confinamento K_σ è dato da:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) \leq 1 \quad (6.11a)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37,3 - 8,27 \cdot (q_{c1N})^{0,264}} \leq 0,3 \quad (6.11b)$$

Una volta ottenuto il valore del fattore di sicurezza FS , si calcola l'indice del potenziale di liquefazione P_L (Iwasaki et al, 1978):

$$F_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) w(z) dz$$

dove

$F(z)$ è una funzione dipendente dal FSL

$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

$w(z)$ è una funzione decrescente con la profondità con $Z_{crit} = 20$ m

$$w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}} \right)$$

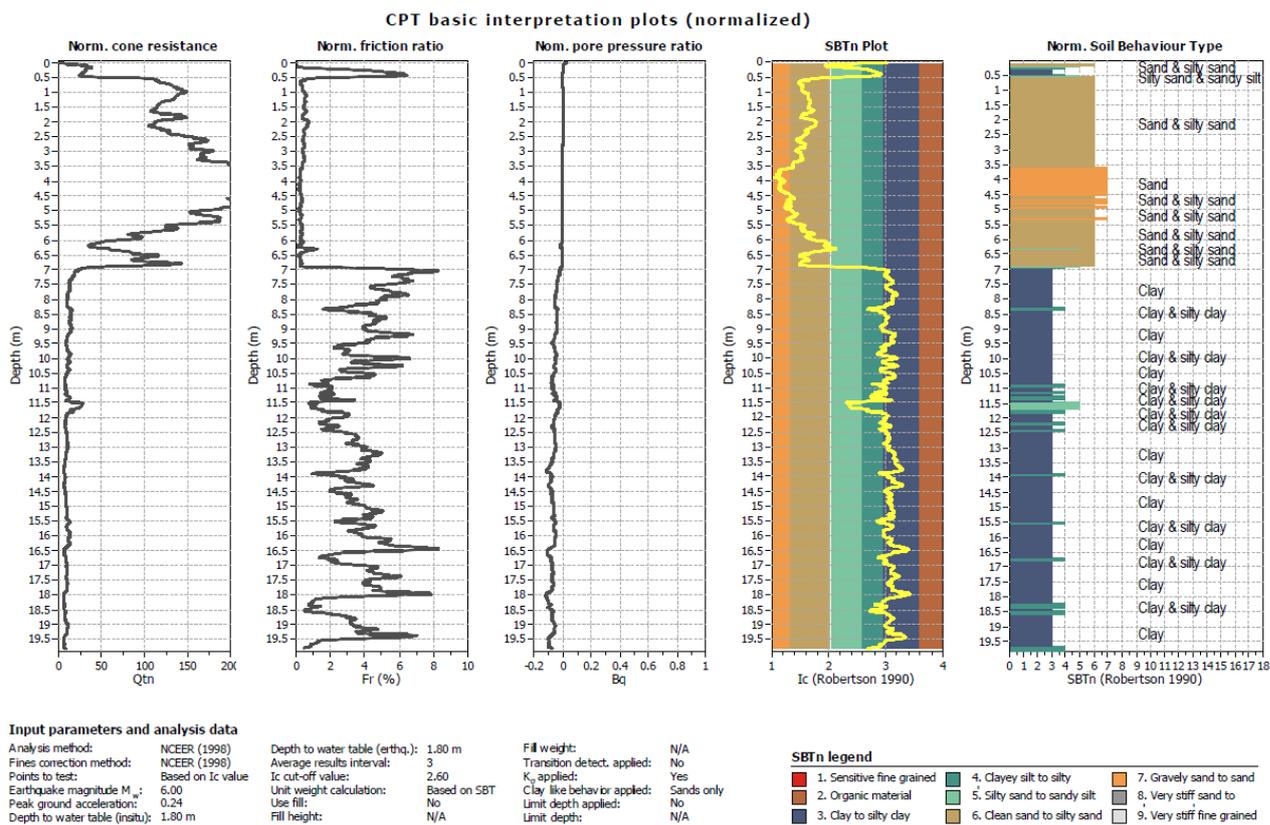
Utilizzando il software Cliq della ditta GEOLOGISMIKI, si sono elaborati i dati della prova penetrometrica e in automatico si ottengono anche i risultati della verifica della liquefazione.

Sono stati impostati i seguenti parametri:

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.25	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Si normalizzano i dati della prova penetrometrica i cui grafici sono qui di seguito riportati:

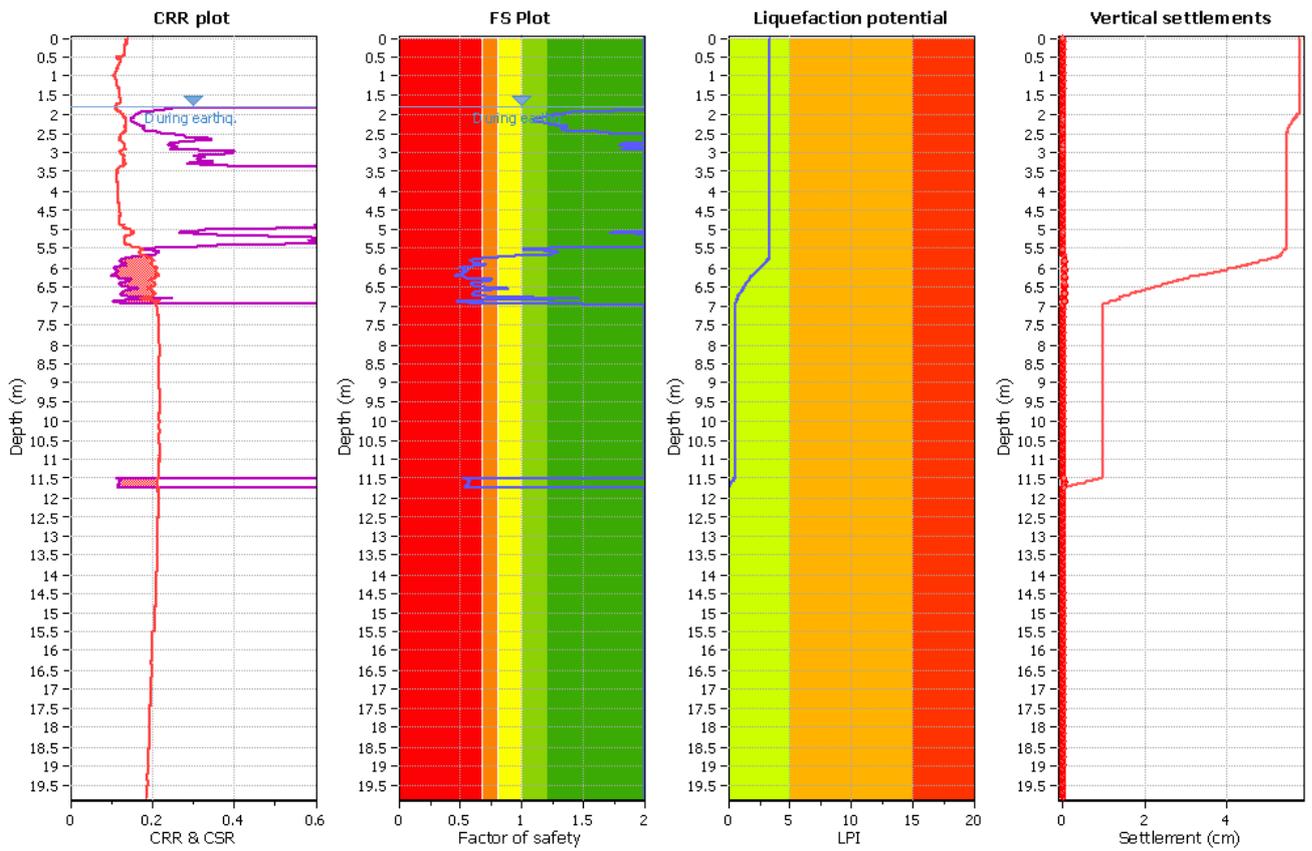


Il valore della liquefazione calcolata è definito all'interno delle seguenti classi (Somnez):

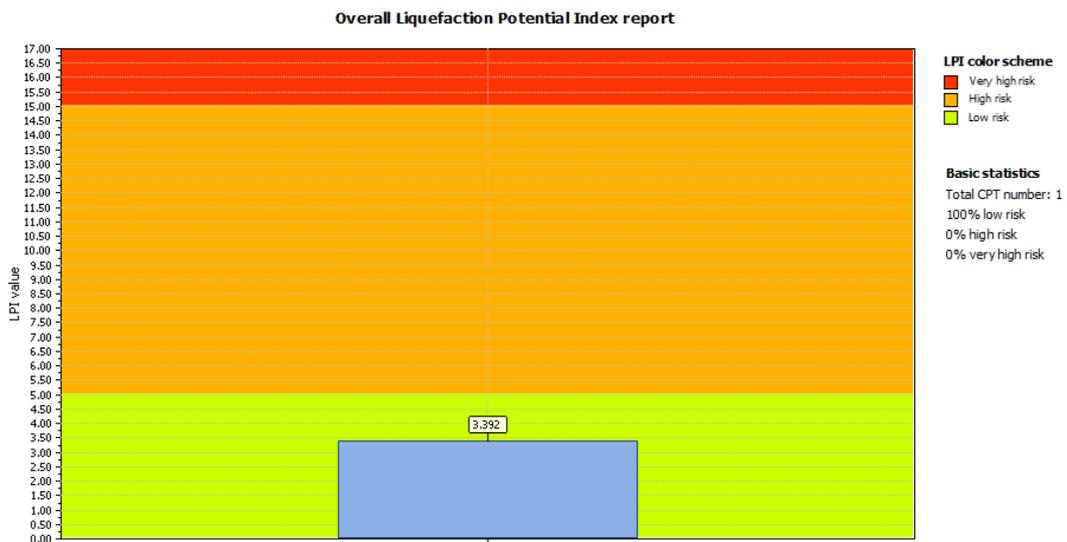
$I_L = 0$	Non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$)
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

I grafici inerenti il potenziale di liquefazione e i cedimenti corrispondenti sono i seguenti:

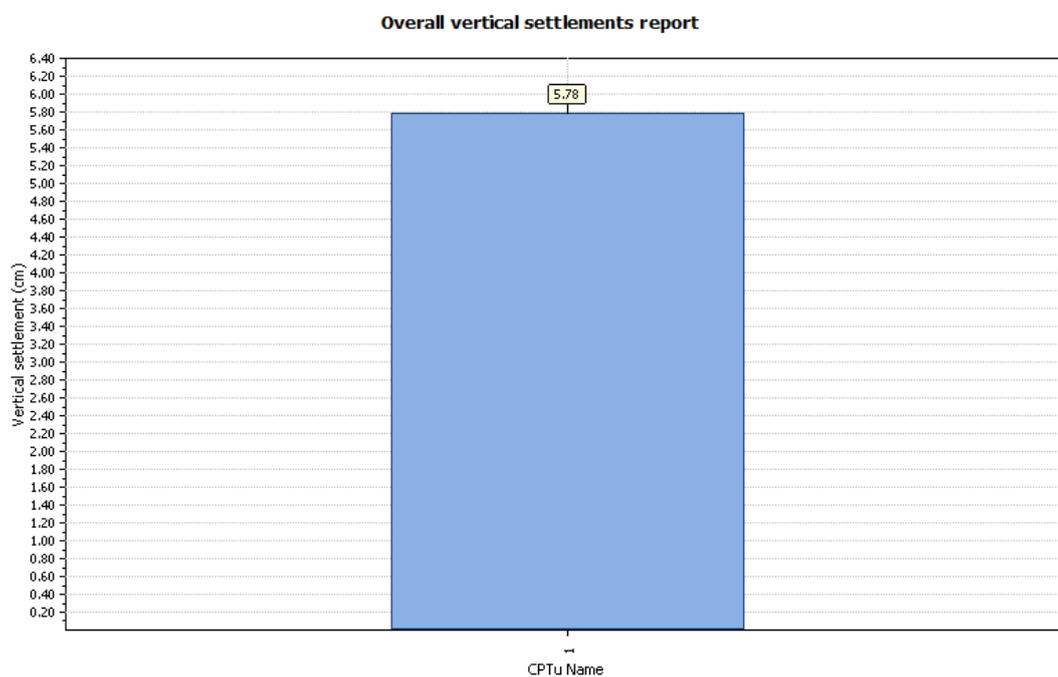
Liquefaction analysis overall plots



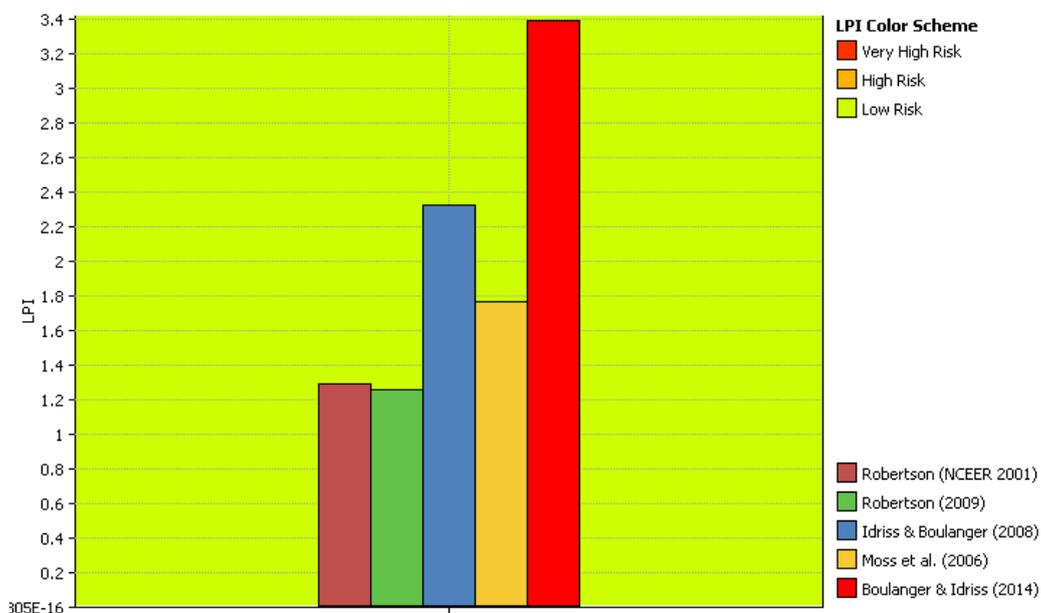
Il valore del potenziale di liquefazione LPI è di 3.39 e quindi appartiene alla classe MODERATO potenziale.



Il valore dei cedimenti indotti è di 5.78 cm.



Il confronto tra i metodi più usati mostra che il metodo di Boulanger Idriss (2014) è il più cautelativo.



CONCLUSIONI

L'area oggetto del presente studio è collocata in area pianeggiante tra l'edificio a piscina comunale e l'area ospedaliera.

Le prove eseguite hanno rilevato terreni sedimentari e di rimaneggiamento litorale, costituiti da sabbie e argille con strati di ghiaia profondi. Il substrato roccioso corrisponde con quello sismico a profondità di circa 300 metri.

La falda è stata rilevata a profondità di 1.8 metri dal piano campagna.

I terreni sono stati classificati dal punto di vista sismico nella categoria C.

Le verifiche di terzo livello hanno rilevato valori di accelerazione prevalentemente inferiori a quelli delle normative.

La verifica alla liquefazione dei terreni utilizzando la metodologia di Boulanger-Idriss del 2014 ha ricavato un potenziale di liquefazione moderato con cedimenti dovuti all'addensamento non superiori a 6 cm.

Questi risultati, riferiti al comportamento del terreno sotto effetto di un sisma, portano a considerare fattibile la variante urbanistica proposta.

Casadio Mario



PLANIMETRIA AREA D'INTERVENTO

Scala 1:1.000



LEGENDA:

-  PROVA PENETROMETRICA STATICA
-  PROVA HVSR

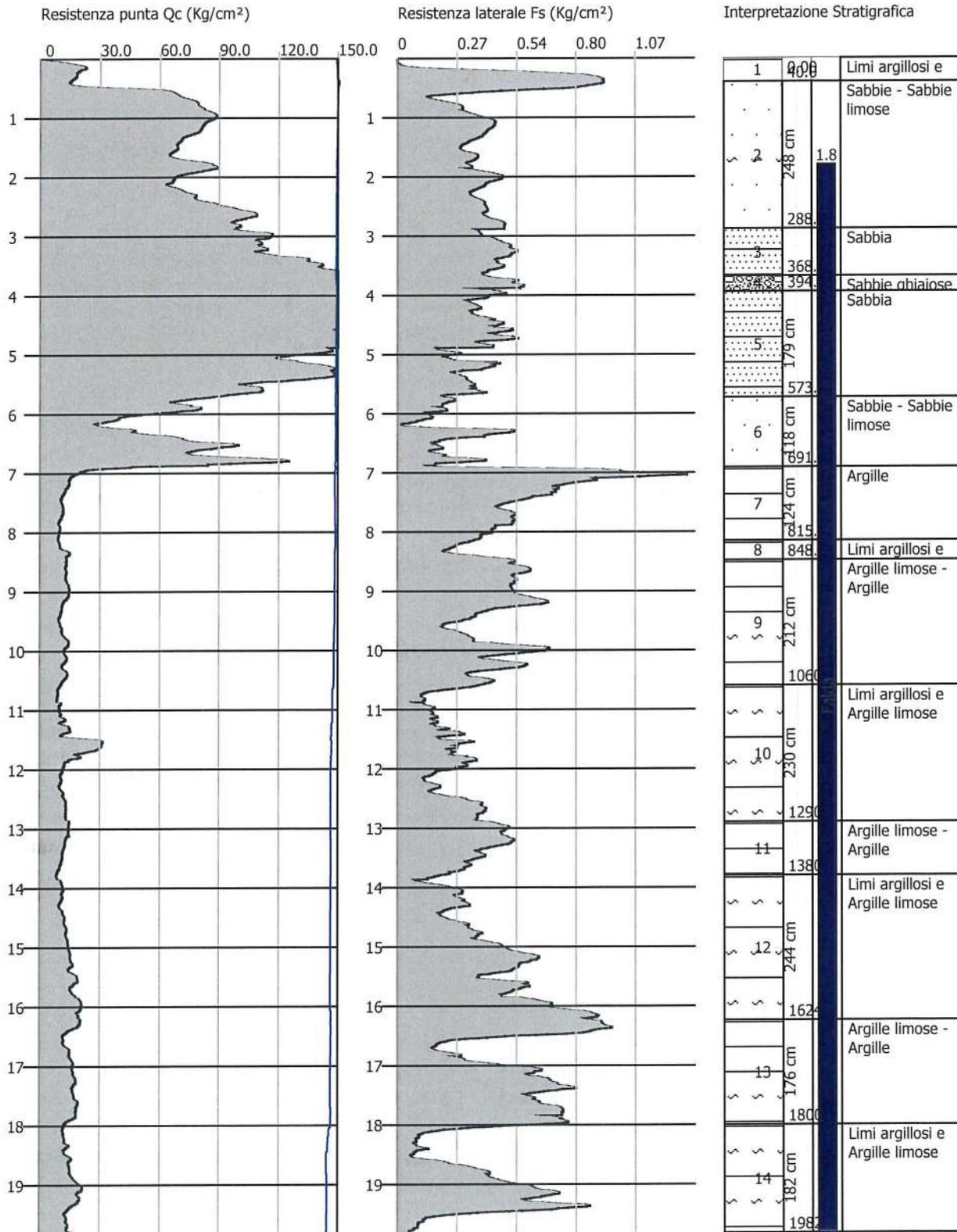
●●●●●●●● STENDIMENTO MASW-REMI

 EDIFICIO OGGETTO DI INTERVENTO

Probe CPTU - Piezocone Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI 200 kN (CPTU)

Committente: Comune di Cesenatico
Cantiere: Via Saffi
Località: Cesenatico

Data: 01/04/2020



CARTA GEOLOGICA

Scala 1:10.000



Ambienti deposiz. e litologie (10K)

-  Limo Argilloso Sabbioso - Piana alluvionale
-  Sabbia - Piana costiera, fronte deltizia e piana di sabbia

Coperture quaternarie (10K)

-  AES8 - Subsistema di Ravenna
-  AES8a - Unità di Modena

-  Area d'intervento