

PROPRIETÀ:	COMUNI DI CESENATICO, GATTEO, GAMBETTOLA, LONGIANO, MONTIANO E RONCOFREDDO
UBICAZIONE:	COMUNI DI CESENATICO, GATTEO, GAMBETTOLA, LONGIANO, MONTIANO E RONCOFREDDO
OGGETTO:	PISTA CICLABILE LUNGO IL TORRENTE RIGOSSA NEI COMUNI DI CESENATICO, GATTEO, GAMBETTOLA, LONGIANO, MONTIANO E RONCOFREDDO BANDO DI FINANZIAMENTO "PR FESR 2021-2027 – AZIONE 2.8.1: BANDO PER FAVORIRE LA REALIZZAZIONE DI PISTE CICLABILI E PROGETTI DI MOBILITA' DOLCE E CICLOPEDONALE" DI CUI ALLA DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 658 DEL 27/04/2023 CUP: D51B23000230006
CONTENUTO:	Relazione geologica
PROGETTISTA:	RTI COSTITUITA DA: ING. MARCO NORI (CAPOGRUPPO), DOTT. LORIS VENTURINI, (MANDATARIO), MONITORA SAS (MANDATARIO)
GEOLOGO:	DOTT. GEOL. ANDREA NISI

P.F.T.E.

Data 10/03/2025

ELABORATO

6.1

FIRMA COMMITTENTE/I

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA

**RELAZIONE GEOLOGICA PER
PROGETTO DI PASSERELLA UBICATA
SULLA PISTA CICLABILE LUNGO IL RIO RIGOSSA
NEL COMUNE DI GAMBETTOLA (FC)**

**COMMITTENTE
COMUNE DI GAMBETTOLA (FC)**

Cesena, Novembre 2024

Relazione tecnica

Dott. Geol. Andrea Nisi

INDICE

- 1) Premessa, aspetti generali e riferimenti legislativi
- 2) Inquadramento geografico e topografico
- 3) Prove geognostiche e geofisiche
- 4) Caratteristiche idrogeologiche
- 5) Regione Emilia Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico 2016. – Variante di coordinamento fra il PGRA (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni) ed il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico.
- 6) Piano Territoriale Coordinamento Provinciale (PTCP) – Provincia di Forlì-Cesena. - Carta del Dissesto e della Vulnerabilità Territoriale
- 7) Caratteristiche geologiche geomorfologiche
 - 7.1) Caratteristiche geologiche
 - 7.2) Caratteristiche geomorfologiche
 - 7.3) Caratteristiche tettoniche
- 8) Caratteristiche stratigrafiche - litologiche
- 9) Caratteristiche geotecniche
 - 9.1) Analisi caratteristiche geotecniche
- 10) Indagine Geofisica
 - 10.1) Teoria relativa all'indagine geofisica HVSR
 - 10.2) Elaborazione prove HVSR
- 11) RELAZIONE SISMICA
 - 11.1) Caratteristiche sismiche di base
 - 11.2) La microzonazione sismica del Comune di Gambettola
 - 11.3) Caratteristiche sismiche secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC 2018)
 - 11.3.1) Categorie di sottosuolo
 - 11.3.2) Caratteristiche topografiche
 - 11.4) Parametri e coefficienti sismici dell'area in oggetto secondo le NTC 2018
 - 11.5) Risposta Sismica Locale con analisi di terzo livello di approfondimento
- 12) Analisi della liquefazione
 - 12.1) Normativa vigente in materia di liquefazione dei terreni
 - 12.2) I Metodi semplificati per il calcolo della liquefazione
 - 12.3) Definizione e calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI)
 - 12.4) Calcolo dei cedimenti indotti dall'azione sismica
 - 12.5) Analisi della liquefazione sui terreni in esame
- 13) Conclusioni

ALLEGATI

Progetto
Valori e diagrammi prove penetrometrica statiche CPT1 e CPT2
Elaborazione prova MASW
Elaborazione RSL III livello
Calcolo della liquefazione
Foto prove geognostiche e geofisiche

1) Premessa, aspetti generali e riferimenti legislativi

Su incarico della Comune di Gambettola (FC) è stata svolta la presente indagine geologico sismica per individuare le caratteristiche dei terreni di fondazione per il progetto di passerella ubicata sulla pista ciclabile negli argini del Rio Rigossa, nel Comune di Gambettola (FC).

Di seguito si riportano le principali normative di Legge e/o Direttive con le quali è stata eseguita la presente relazione geologico - sismica.

- D.M. del 11.03.1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle fondazioni”;
- Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- D.M. del 14.09.2005 “Norme tecniche per le costruzioni” e s.m.i. e dagli “Indirizzi per la microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica” (Delibera A.L. n. 112 del 02.05.2007)
- L.R. 19/2008 “Norme per la riduzione del rischio sismico ”
- DGR 21/12/2015 n. 2193 Aggiornamento ed attuazione degli indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica per la pianificazione urbanistica, atto d’indirizzo ai sensi dell’art. 16 della LR 20/2000 (Deliberazione dell’Assemblea Legislativa n. 112 del 20 maggio 2007)
- Eurocodice 7 "Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali";
- Eurocodice 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici";
- L.R. 24/2017 "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio";
- NTC del 2018 (D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni) di seguito riportato come NTC2018;
- Circolare n. 7 del 21.01.2019;
- D.G.R. 564 del 26/04/2021 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017). Ultimo aggiornamento in merito alle Delibera di Giunta Regionale relative agli studi di microzonazione sismica;
- Variante PAI 2016. Piano Stralcio di bacino per l’assetto Idrogeologico – PRGA Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni Distretto Idrografico Appennino Settentrionale.
- Piano Territoriale Coordinamento Provinciale (PTCP) – Provincia di Forlì-Cesena.

2) Inquadramento geografico e topografico

L'area oggetto di studio si trova nella pianura del centro della città di Gambettola, negli argini del Rio Rigossa, dove è prevista una pista ciclabile ed una passerella, oggetto del presente studio.

Per il presente studio è stato effettuato un rilievo topografico dove si evince che l'argine sinistro si trova ad una quota topografica che varia fra 29,94 e 29,58 metri s.l.m.m., mentre il piano campagna si trova ad una quota topografica che varia fra 28,16, 28,36 e 28,43 metri s.l.m.m..

L'argine sinistro, dopo i lavori di sistemazione, presenta una inclinazione di circa 30°.

Il progetto prevede la messa in opera di terreno di riporto che varia fra circa 0,40 e 0,97 metri in modo da rendere uniforme tutto l'argine sinistro, che dopo gli interventi di riporto, presenta una larghezza di circa 4,95 metri, area dove verrà impostata la ciclovia e la passerella.

L'argine destro si trova ad una quota topografica che varia fra 29,75 e 29,98 metri s.l.m.m., mentre il piano campagna si trova ad una quota topografica che varia fra 28,38 e 27,38 metri s.l.m.m..

L'argine destro, dopo i lavori di sistemazione, presenta una inclinazione di circa 30°.

Il progetto prevede la messa in opera di terreno di riporto che varia fra circa 0,40 e 0,94 metri, in modo da rendere uniforme tutto l'argine destro, che dopo gli interventi di riporto, presenta una larghezza di circa 4,75 metri, area dove verrà impostata la ciclovia e la passerella.

Il letto del Rio Rigossa si trova ad una quota topografica che varia fra 26,44 e 26,06 metri s.l.m.m..

3) Prove geognostiche e geofisiche

Le prove geognostiche effettuate per individuare le caratteristiche geotecniche dei terreni oggetto di studio consistono nell'esecuzione di 2 prove penetrometriche statiche (CPT) alla profondità di 20,0 mt. dal piano campagna attuale, effettuata con penetrometro statico tipo Pagani "TG 63/200" da 20 tonn..

Le prove CPT sono state effettuate su entrambi gli argini del Rio Rigossa, dove è ubicata la passerella in progetto.

La prova penetrometrica statica CPT consiste nell'infissione della punta conica standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite una macchina con dispositivo idraulico di spinta che agisce alternativamente sulle aste cave esterne e sulle aste interne dove all'estremità è collegata la punta conica. La punta standard (tipo Begemann) presenta un diametro di 37,5 mm, un angolo di apertura di 60° e un manicotto con superficie laterale compresa fra 150 e 200 mm², ogni asta è formata da un'asta esterna cava con diametro 36 mm. e da un'asta interna, a sezione piena, con un diametro di circa 1 cm. minore rispetto all'asta cava. Durante l'infissione nel terreno le aste interne scorrono senza attriti con il terreno stesso.

Ogni 20 cm. di avanzamento della punta vengono misurati:

- La resistenza all'avanzamento della sola punta (R_p espressa in Kg/cm²);
- la resistenza all'avanzamento della punta più l'attrito laterale locale del solo manicotto della punta stessa (R_l espressa in Kg/cm²). Da questi dati si ricava la resistenza laterale;
- infine si misura la resistenza totale data dall'avanzamento delle aste e della punta (R_t espressa in Kg/cm²), dato non utilizzato per calcolare i parametri litologici e geotecnici.

Le indagini geofisiche consistono in una prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che registra la propagazioni delle onde sismiche V_p e V_s da cui si ricavano i parametri richiesti dalle NTC2018

e due prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio),

che consiste nella registrazione dei microtremori naturali dei terreni.

L'analisi delle prove geofisiche è riportato nel capitolo 10.2 presente nella relazione sismica.

Nella planimetria di seguito riportata (Tavola 1), si evidenziano l'ubicazione delle prove penetrometriche statiche e delle indagini geofisiche.

4) Caratteristiche idrogeologiche ed idrografiche

Nel corso delle prove penetrometriche CPT, eseguite a fine ottobre 2023, dopo un periodo di intense precipitazioni la falda freatica è stata riscontrata alla profondità di 3,6/3,7 metri sotto il piano campagna.

La quota del livello piezometrico della falda stessa può variare di 0,5/1,0 metri ed oltre nei periodi estivi siccitosi e nei calcoli della liquefazione è stata cautelativamente impostata alla profondità di 1,0 metri dal piano campagna attuale.

Nell'area in esame la falda freatica si trova in continuità idrodinamica con il Rio Rigossa.

Ad ovest dell'area in oggetto, ad una distanza di circa 3,5 km. scorre il torrente Pisciatello mentre ad est ad una distanza di circa 5,0 km. il fiume Rubicone.

Nel territorio comunale di Gambettola scorrono alcuni corsi d'acqua che nascono presso le vicine vallate intrappenniniche e risultano il Rio Rigossa, il Rio Baldone, lo Scolo Gambettola, lo Scolo Rigoncello, i quali alcuni chilometri più a valle arrivano a sfociare in mare.

Questa rete idrografica minore è caratterizzata da criticità connesse a problematiche assai dissimili a quelle relative alle aste principali, fiumi e torrenti. Negli areali di pianura le situazioni di pericolosità sono infatti essenzialmente legate a difficoltà nello smaltimento delle acque piovane in occasione di eventi di pioggia particolarmente intensi, in relazione ai tombinamenti dei tratti urbani ma, per gli scarsi gradienti di deflusso, anche con potenziale allagamento delle aree extraurbane ed agricole.

TAVOLA 1 – UBICAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE



Legenda

- ***Ubicazione prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2***
- ***Ubicazione prova geofisica HVSr***
- ***Ubicazione stendimento prova geofisica MASW***

5) Regione Emilia Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico 2016. – Variante di coordinamento fra il PGRA (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni) ed il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico.

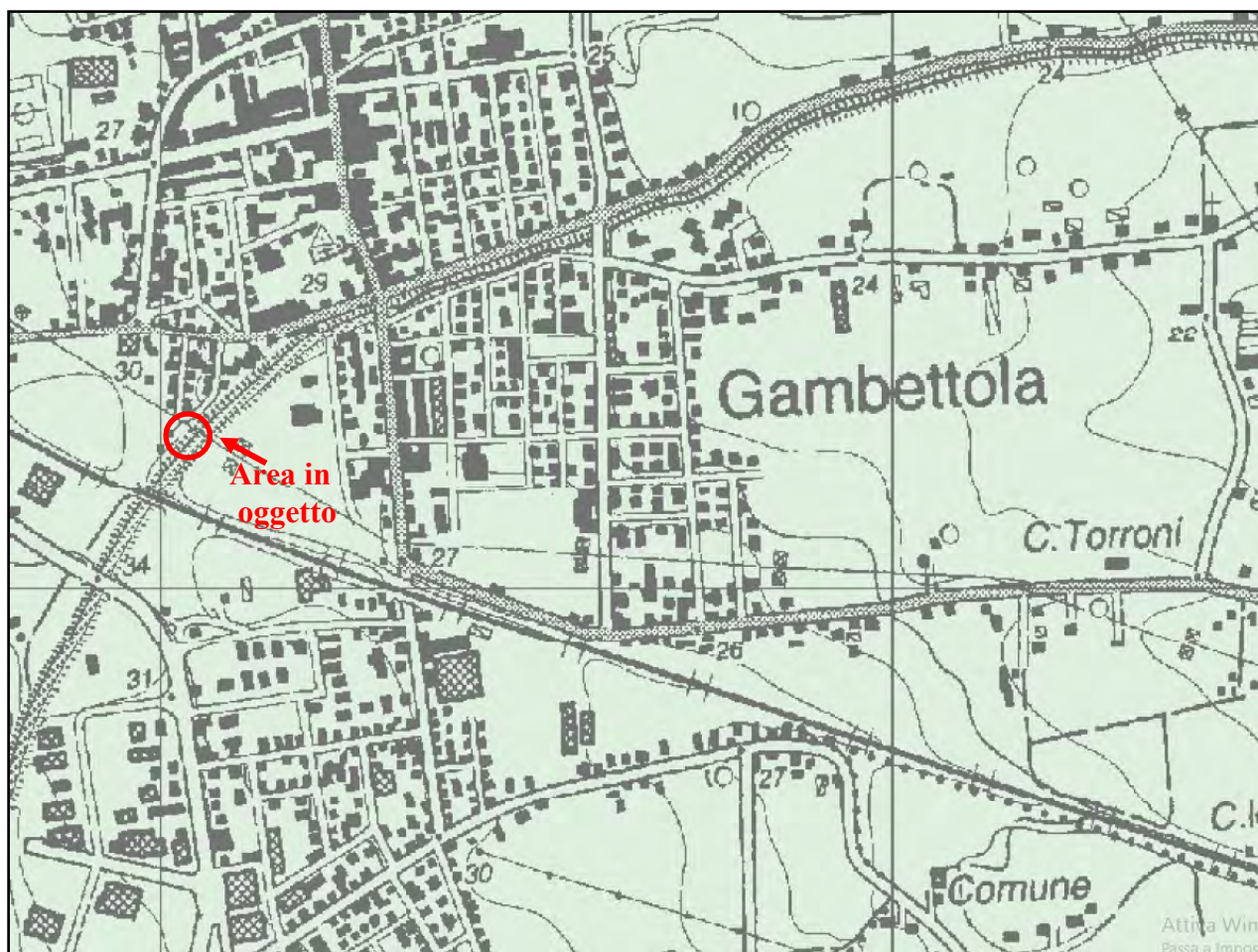
L'area in oggetto è presente nella Tavola 256NO – 256SO del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico – ed il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, adottata con DRG n. 2/2 del 07/10/2016 e s.m.i., di seguito riportata. Il rischio idrogeologico è definito come una grandezza che mette in relazione la pericolosità intesa come caratteristica intrinseca di un territorio che lo rende vulnerabile a fenomeni di dissesto (alluvioni, frane) e la presenza sul territorio di insediamenti urbani, industriali, infrastrutture, beni storici, artistici, ambientali, etc.”.

5.1) Perimetrazione aree a rischio idrogeologico

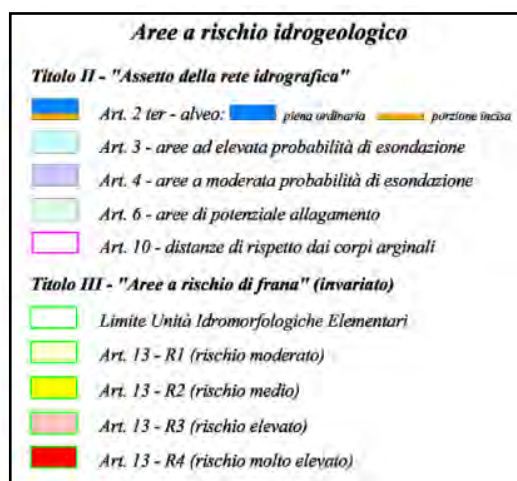
Nella tavola delle aree a rischio idrogeologico l'area in oggetto è classificata come “Art. 6 - Aree di potenziale allagamento”.

Poiché il progetto in esame consiste in una passerella lungo il Rio Rigossa, che non prevede né edifici abitativi o opere edilizie né piani interrati e/o scantinati, non vi sono vincoli particolari per l'intervento in esame.

TAVOLA 2 – STRALCIO CARTA DELLA PERIMETRAZIONE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO. AUTORITÀ DEI BACINI REGIONALI ROMAGNOLI PAI-PGRA R.E.R.



Legenda



Art.6 Aree di potenziale allagamento

1. Le aree di cui al presente articolo sono quelle nelle quali si riconosce la possibilità di allagamenti a seguito di piene del reticolo minore e di bonifica, nonché di sormonto degli argini da parte di piene dei corsi d'acqua principali di pianura, in corrispondenza di piene con tempo di ritorno non superiore ai 200 anni, senza apprezzabili effetti dinamici. Tali aree, individuate in conformità con il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni di cui alla Direttiva 2007/60/CE, sono indicate nelle tavole della *Perimetrazione aree a rischio idrogeologico* relative al territorio di pianura del bacino idrografico oggetto del presente piano.

2. Al fine di ridurre il rischio nelle aree di potenziale allagamento la realizzazione di nuovi manufatti edilizi, opere infrastrutturali, reti tecnologiche, impiantistiche e di trasporto di energia sono subordinate all'adozione di misure in termini di protezione dall'evento e/o di riduzione della vulnerabilità.

3. I Comuni il cui territorio ricade nelle aree di potenziale allagamento provvedono a definire e ad applicare tali misure in sede di revisione degli strumenti urbanistici comunali vigenti, e nel caso di adozione di nuove varianti agli stessi.

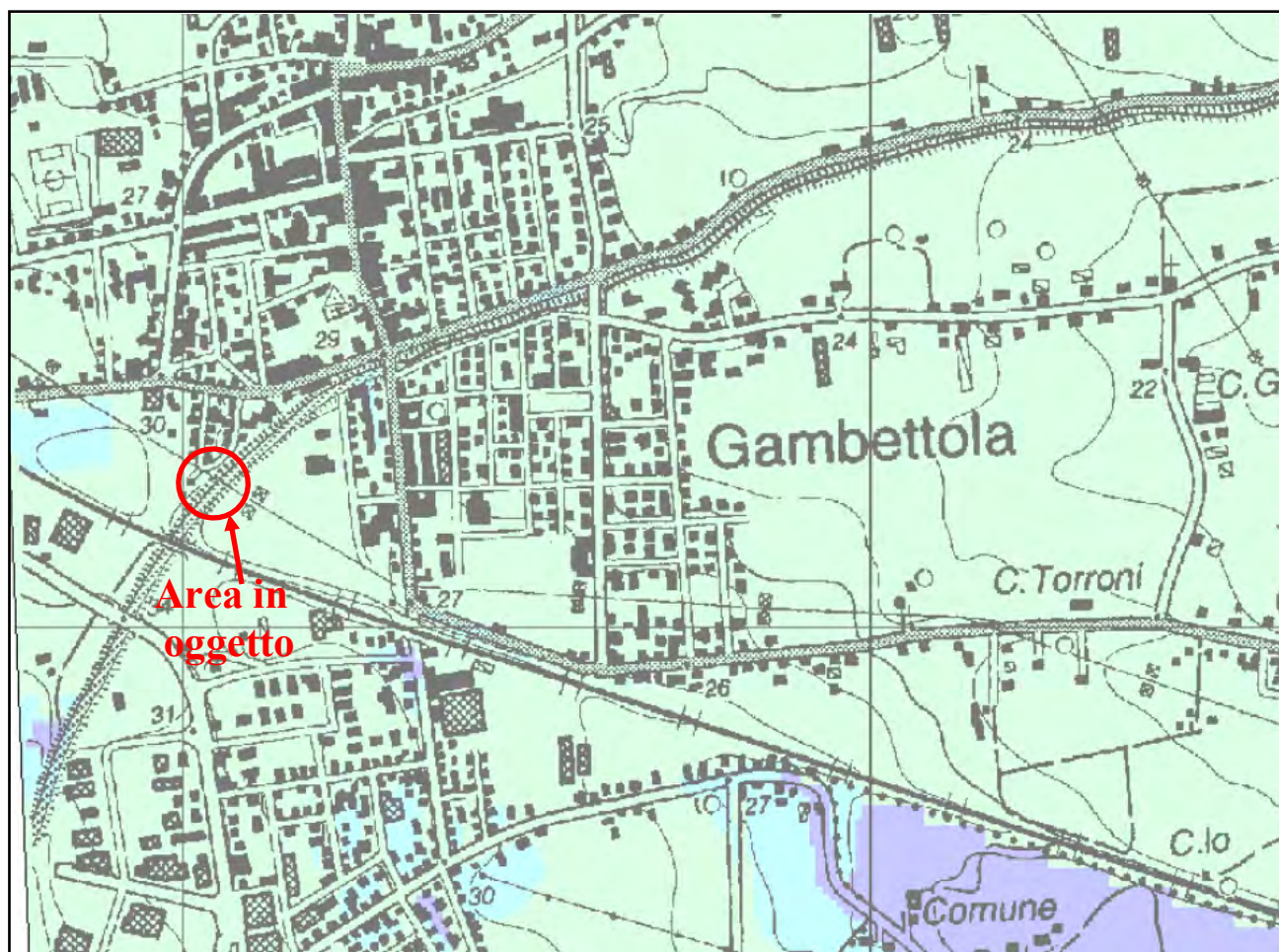
4. L'Autorità di Bacino definisce, con la "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 e s. m. e i. , i tiranti idrici di riferimento e fornisce indicazioni riguardo agli accorgimenti tecnico-costruttivi e ai diversi gradi di cautela da adottare in funzione dei tiranti idrici di riferimento.

5. Le previsioni degli strumenti urbanistici vigenti vengono attuate tenendo conto delle indicazioni di cui al presente articolo. In particolare, in sede di approvazione dei progetti e di autorizzazione degli interventi i Comuni, prescrivono l'adozione di tutti gli accorgimenti tecnico - progettuali di cui ai commi 3 e 4, necessari a evitare o limitare l'esposizione dei beni e delle persone a rischi connessi all'esondazione.





6. Qualora emergano motivi per modificare le perimetrazioni delle aree di cui al presente articolo, quali modifiche morfologiche dei siti, interventi di messa in sicurezza o nuove conoscenze di tipo idrologico e idraulico o topografico, l'Autorità di Bacino apporta le necessarie varianti cartografiche al piano secondo le medesime procedure individuate ai commi 6 e 7 dell'art. 3 precedente.

5.2) Tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di alluvionamento - Art.6

TAVOLA 3 – STRALCIO CARTA DEI TIRANTI IDRICI DI RIFERIMENTO PER AREE DI PIANURA SOTTOPOSTE A RISCHIO DI ALLAGAMENTO – ARTICOLO 6 PAI - PGR



Legenda

Art. 6: Aree di potenziale allagamento	
<i>Tirante idrico di riferimento</i>	
	<i>Fino a 50 cm</i>
	<i>Da 50 a 150 cm</i>
	<i>Oltre 150 cm</i>
<i>Tirante idrico convenzionale</i>	
	<i>20 cm</i>
	<i>50 cm</i>

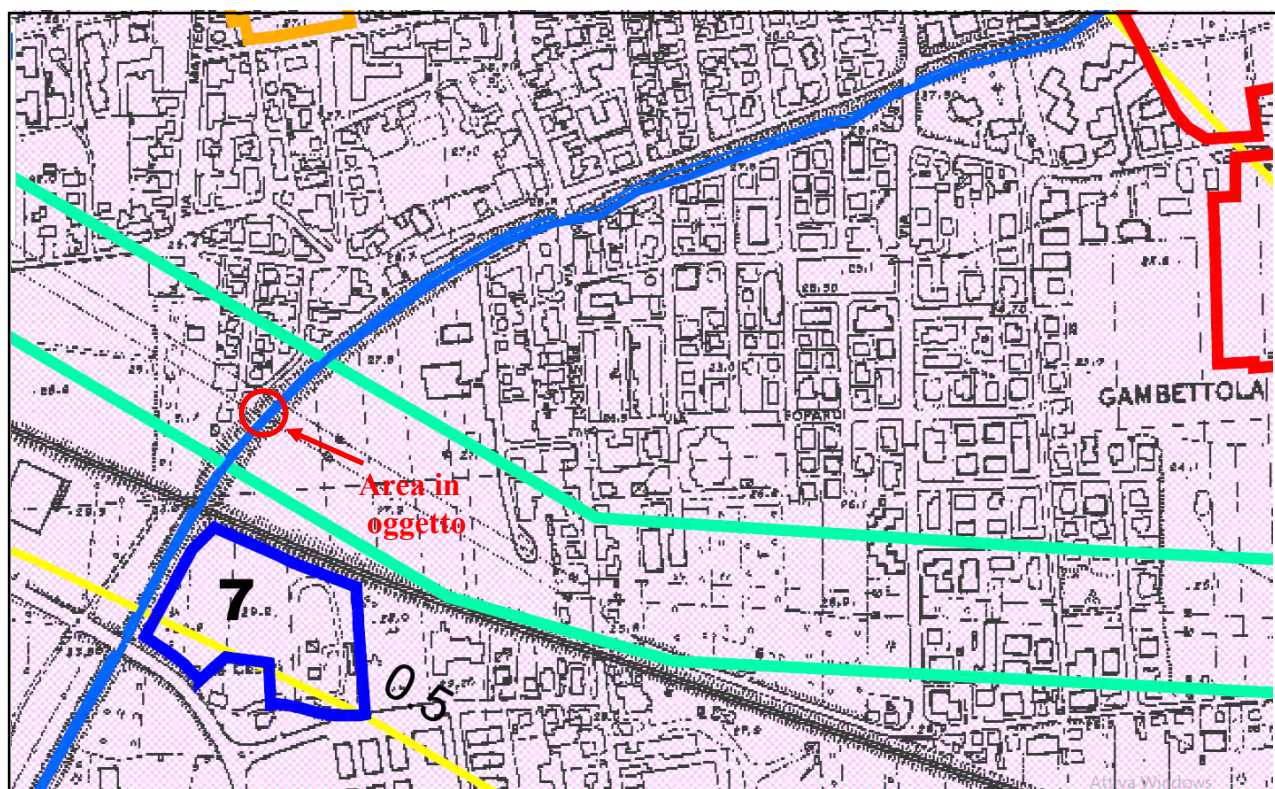
Come previsto al comma 6 dell'Art.6 "Aree di potenziale allagamento" nella tavola dei Tiranti idrici di riferimento sopra riportata, l'area in oggetto è classificata come "Tirate idrico di riferimento" fino a 50 cm.

6) Piano Territoriale Coordinamento Provinciale (PTCP) – Provincia di Forlì-Cesena. - Carta del Dissesto e della Vulnerabilità Territoriale

L'area in oggetto è presente nella Tavola 4 del PTCP approvata nel 2006 ed integrata nel 2010, ma non soggetta alla Variante specifica al Piano Strutturale del dicembre 2015, Tavola denominata Carta del dissesto e della vulnerabilità territoriale.



Come si evince dallo stralcio della Tavola 4 foglio B3 7 scala 1:10.000 del PTCP di Forlì-Cesena 2015, di seguito riportata, l'area in oggetto è classificata come “Area caratterizzata da ricchezza di falde idriche” e non presenta vincoli per l'intervento in esame.

TAVOLA 4 –PTCP Forlì Cesena - Carta del dissesto e della vulnerabilità territoriale






Legenda

Zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei

-  Aree di alimentazione degli acquiferi sotterranei
-  Aree caratterizzate da ricchezza di falde idriche

Ambiti da riqualificare

-  Ambiti da riqualificare a destinazione residenziale (Art. A-11)
-  Ambiti da riqualificare - dotazioni territoriali di qualità urbana (Art. A-11)
-  Ambiti da riqualificare - destinazione terziario-commerciale (Art. A-11)

In giallo le linee di uguale subsidenza

7) Caratteristiche geologiche geomorfologiche

Il territorio del Comune di Gambettola è costituito da una pianura alluvionale, pressoché del tutto pianeggiante, generata dai depositi di numerosi fiumi e torrenti provenienti dall'Appennino romagnolo, ma che non transitato nel territorio comunale.

Questi corsi d'acqua appenninici sono ad ovest il torrente Pisciatello a 3,5 Km. ed il fiume Savio a 8,5 Km dall'area in oggetto e ad ovest il fiume Rubicone a 5 km. ed il fiume Marecchia a 13,5 Km. dall'area in esame.

L'area in oggetto si trova nelle vicinanze delle prime propaggini collinari dei Comuni confinanti e ed in particolare a circa 2,5 Km. di Montiano e a circa 2,0 Km. di Longiano dove affiorano terreni del Pliocene (Formazione Argille Azzurre), come evidenziato in Tavola 7.

La formazione del territorio della pianura di Gambettola è connessa strettamente alle vicende geologiche e climatiche rappresentate dalle alternanze di periodi glaciali e interglaciali, avvenute a partire dall'inizio del Pleistocene, all'ultima glaciazione denominata "Wurmiana", fino ai depositi più recenti, nella parte finale del Quaternario/Olocene con depositi avvenuti a partire principalmente dal periodo post romano ad oggi.

Questi periodi sono stati caratterizzati da eventi climatici che determinarono l'alternarsi di periodi o fasi glaciali e interglaciali (fasi regressive/trasgressive). con avanzamenti massimi raggiunti in corrispondenza del culmine delle fasi glaciali (Gunz, Mindel, Riss e per ultima la fase Würm) e, di contro, arretramenti massimi in corrispondenza degli *optima* climatici interglaciali.

Queste alternanze dell'abbassamento ed innalzamento del livello del mare ha prodotto la variazione degli ambienti deposizionali, da continentali a marini.

In sostanza l'area in oggetto consiste in un segmento trasversale e geograficamente omogeneo del versante settentrionale dell'Appennino Romagnolo, che si estende verso nord sino a comprendere anche una discreta porzione dell'antistante pianura, zona dove è ubicata l'area in oggetto di studio.

In particolare, la porzione montana-collinare è integralmente modellata sui litotipi della cosiddetta Successione autoctona Umbro-Romagnola la cui età geologica va dal Miocene inferiore al Pleistocene inferiore (da circa dieci milioni di anni a poco meno di un milione di anni fa), per i cui dettagli descrittivi si rimanda alla ricca bibliografia esistente e alla Legenda delle Carte geologiche.

Si può concettualmente considerare come termine di chiusura della medesima Successione Umbro-Romagnola il complesso di depositi alluvionali antichi costituenti la porzione medio-inferiore del cosiddetto Sintema Emiliano-Romagnolo superiore (AES p.p.) cronologicamente ascrivibili a una età compresa tra 600/700 e 200/300.000 anni fa. pur essendo una composita unità morfologica di alta pianura che funge da graduale raccordo tra la fascia collinare appenninica e la pianura comunemente intesa.

Per quanto concerne le aree di fondovalle e di pianura vera e propria, nell'area in esame si posizionano gli ambiti dei conoidi e delle alluvioni intravallive che i fiumi e torrenti sopra riportati hanno costruito negli ultimi 200/300.000 anni, spagliando a ventaglio le proprie alluvioni a partire dal loro sbocco in pianura e successivamente nella pianura in s.s..

I corpi alluvionali più antichi di conoide, che si caratterizzano per una percentualmente discreta componente ghiaiosa e sabbiosa, costituiscono terrazzi fluviali litostratigraficamente ascrivibili al Subsistema di Bazzano (AES 6), cioè alla penultima glaciazione, il cosiddetto Riss.

I terrazzi più recenti, sono invece ascrivibili al Subsistema di Villa Verucchio (AES 7) e al Subsistema di Ravenna (AES 8), essendo cronologicamente compresi tra dall'ultima glaciazione (Würm) a circa 100.000/5.000 anni).

Nelle fasce di piana di fondovalle e nel territorio della bassa pianura sono presenti, in affioramento, le alluvioni dell'Unità di Modena (AES8a).

Nell'area in oggetto di studio sono presenti i depositi alluvionali del torrente Pisciatello, dei fiumi Rubicone, Savio e Marecchia e dei Rii Rigossa e Baldone.

In Tavola 5 si riporta la Carta Geologica on line della Regione Emilia Romagna mentre in Tavola 6 sono riportate anche le litologie superficiali prevalenti presenti, denominate "Tessiture".

TAVOLA 5 – CARTA GEOLOGICA ON LINE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

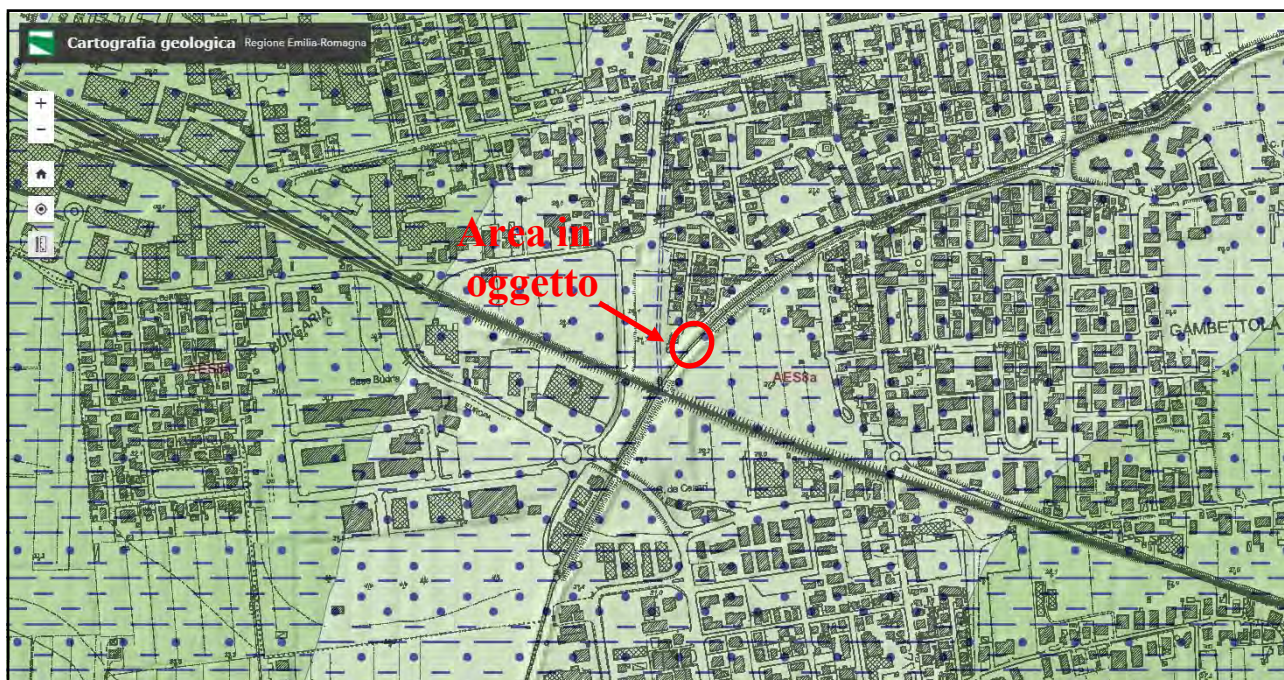
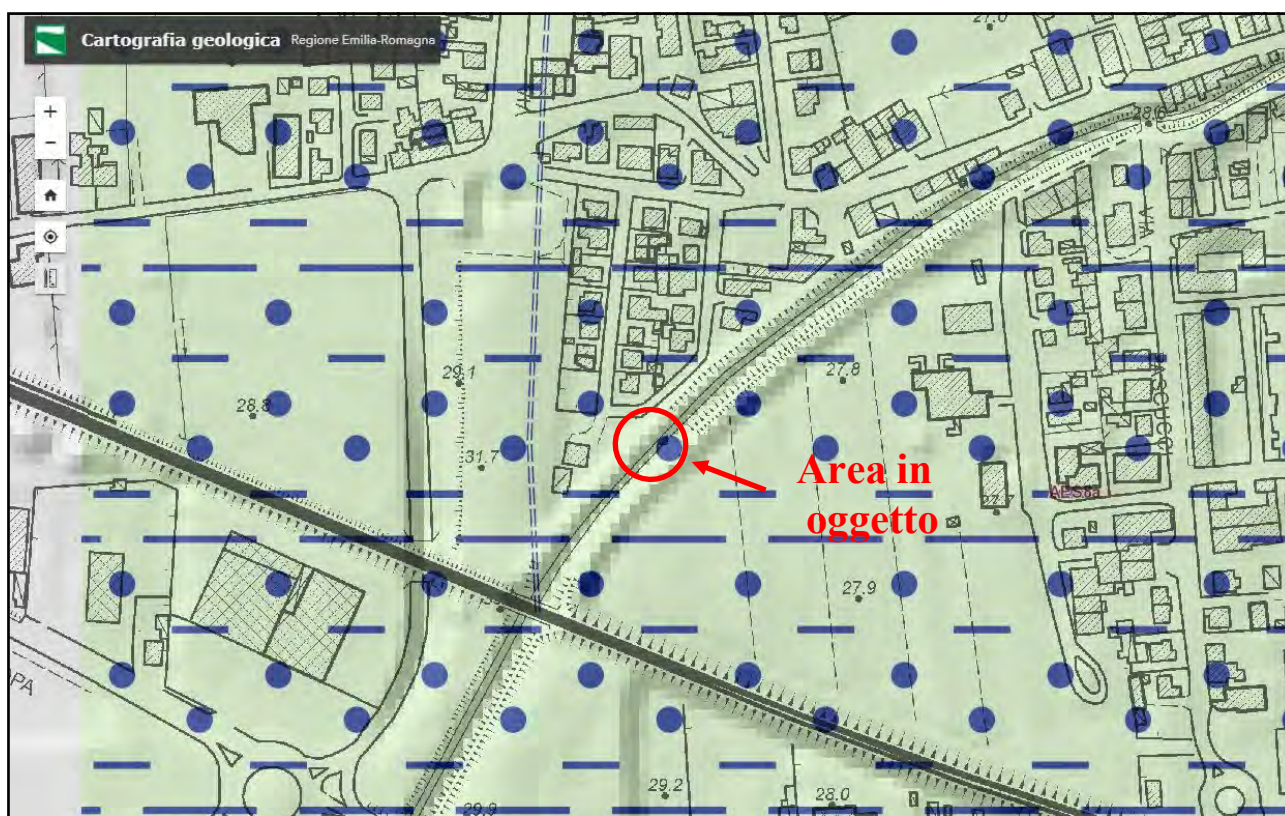


TAVOLA 6 – DETTAGLIO DELLA CARTA GEOLOGICA ON LINE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA




L'area in oggetto appartiene al Subsistema di Ravenna (AES8) - AES8a - Unità di Modena. Nell'area si evidenzia come litologia superficiale "Sabbia limoso argillosa", depositi terrazzati e di piana alluvionale, terreni che necessitano del calcolo della liquefazione.

Tessiture:



Di seguito si riporta testualmente quanto descritto in merito al “Subsintema di Ravenna AES8 - AES8a - Unità di Modena.

Legenda

 AES8 – Subsintema di Ravenna

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallobruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvionale ben drenata con suoli calcarei e non calcarei al tetto; depositi deltizi, litorali e, localmente, marini. I depositi di piana alluvionale includono ghiaie di canale fluviale e geometria nastriforme; lungo la fascia costiera passano con contatto netto ed erosivo a sabbie litorali. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità circa 28 metri. (*Pleistocene sup. - Olocene*)

 AES8 - Subsintema di Ravenna - AES8a - Unità di Modena.

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi.

Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonatato a parzialmente carbonatato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano.

Come si evince dalla legenda sotto riportata i terreni presenti nell'area in oggetto sono costituiti n terreni sabbioso limoso argillosi,
di piana alluvionabile, terreni che necessitano di calcolo/verifica a liquefazione.

7.3) Caratteristiche tettoniche

In sintesi l'assetto tettonico della pianura di Gambettola presente nell'area oggetto di studio, rappresenta una porzione della catena appenninica sepolta.

In quest'area sono presenti strutture tettoniche denominate “archi di pieghe ed adriatiche/romagnole” caratterizzate da una sequenza di grandi strutture tettoniche: pieghe, pieghe fagliate e sovrascorrimenti, tettonicamente attive fino al Pleistocene.

Nei terreni o Formazioni geologiche neogeniche il piegamento è avvenuto in due fasi distinte la prima tra il Miocene (circa 5 milioni di anni fa) e Pliocene e prima del Pliocene medio ed è proseguita a partire dal Pliocene.

Le fasi compressive si esplicano accavallando “sovrascorrendo” unità geologiche più antiche (flysch marnosi e marnoso arenacei miocenici, calcari, calcari marnosi paleogenici, ed anche unità del basamento carbonatico mesozoico) su termini più giovani (Pliocene inferiore e medio).

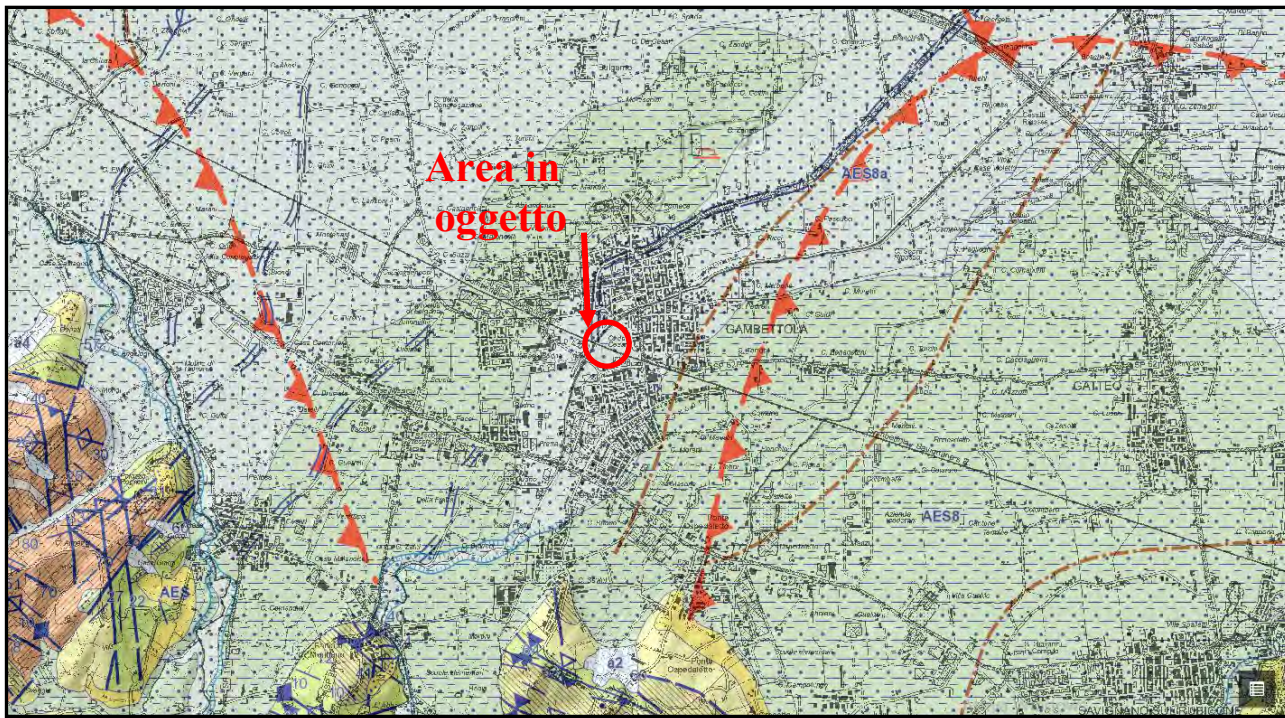
Questo andamento ad archi di pieghe del “fronte sepolto” dell'Appennino con la loro messa in posto di strutture tettoniche sempre più recenti e attuali, man mano che si muovono sulle aree più esterne, sono da correlarsi al movimento di rotazione dell'Appennino in senso antiorario e con i relativi “accorciamenti” crostali succeduti nel tempo.

Le fasi compressive sopraesposte sono intervallate da fasi “distensive” spesso di notevoli dimensioni, presenti dal Miocene ma attive principalmente nel Pliocene/Pleistocene che producono strutture tettoniche (generalmente faglie) con direzione antiappenninica (NE-SO), strutture con rigetto prevalentemente orizzontale, che “tagliano” i sovrascorrimenti e i sistemi di pieghe compressive.

Ai fenomeni plicativi si sovrappone la subsidenza differenziale, con deposizione più intensa nelle sinclinali e minore al culmine delle anticlinali.

Di seguito, in Tavola 7, si evidenziano i principali lineamenti strutturali presenti nell'area in oggetto.

TAVOLA 7 – STRALCIO DELLA “CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA” – LINEAMENTI STRUTTURALI PRESENTI NELL'AREA IN OGGETTO

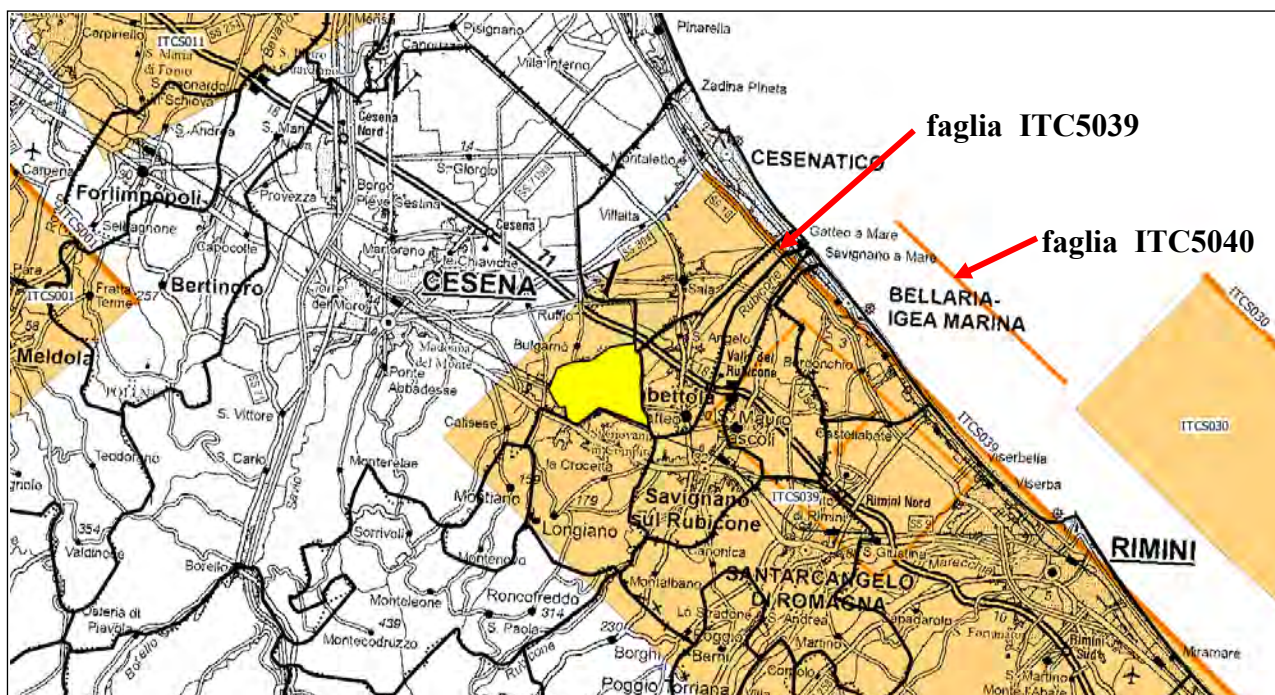


Nella zona di pianura, dove è ubicata l'area in esame, sono evidenziate, in rosso strutture tettoniche sepolte che consistono in “sovrascorrimenti” ad andamento appenninico (NW - SE).
Nella Tavola 7 sono presenti le prime propaggini collinari confinanti con il Comune di Gambettola, dove affiorano terreni del Pliocene (FAA - Formazione Argille Azzurre).

Di seguito si riporta la Tavola 8 dove si riporta il dettaglio delle le faglie costiere attive, di natura compressiva, relative alle 2 sorgenti sismogenetiche che interessano il Comune di Gambettola indicato con il colore giallo, ricavate dalla Microzonazione Sismica del Comune di Gambettola.

Le due sorgenti sismogenetiche DISS3 denominate “Rimini on-shore” e “Rimini of-shore”, attive nell'area oggetto di studio, sono riportate nella relazione sismica,

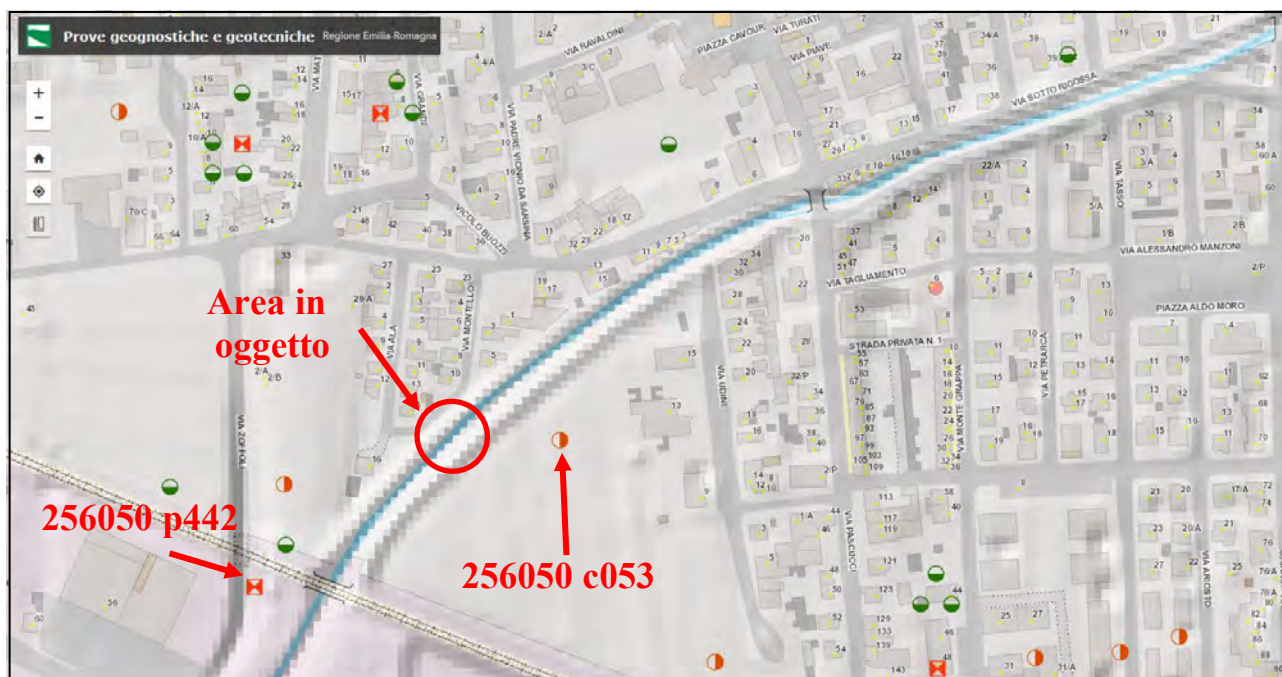
***TAVOLA 8 - DETTAGLIO DISS3 FAGLIE COSTIERE ED APPENNINICHE ATTIVE
NELL'AREA IN OGGETTO***



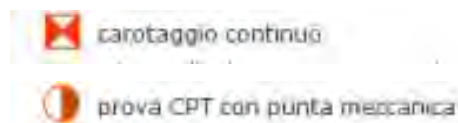
Sulla base dei dati storici del Comune di Gambettola, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna e su più approfondite informazioni storico-scientifiche e di studi su modelli geodinamici e crostali, l'INGV ha sviluppato un database delle sorgenti sismogenetiche attive, denominato DISS3, contenente potenziali fonti per i terremoti più grandi, di Magnitudo a partire da valori di 5.5, in Italia e nelle aree circostanti.

In base alla disposizione degli epicentri, nonché da una verifica sul database DISS 3.2 (Database of Individual Seismogenic Sources) realizzato dall'INGV, è possibile risalire alle aree sismogenetiche che hanno contribuito alla sismicità storica della zona in studio ed alla pericolosità sismica dell'area (vedi fig. 3.4); in tal caso, a parte il risentimento lontano del sisma dell' “Appennino umbro-marchigiano” del 1997, si tratta di sistemi di faglia appenninici e costieri prevalentemente di natura compressiva.

TAVOLA 9 - UBICAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA



Legenda

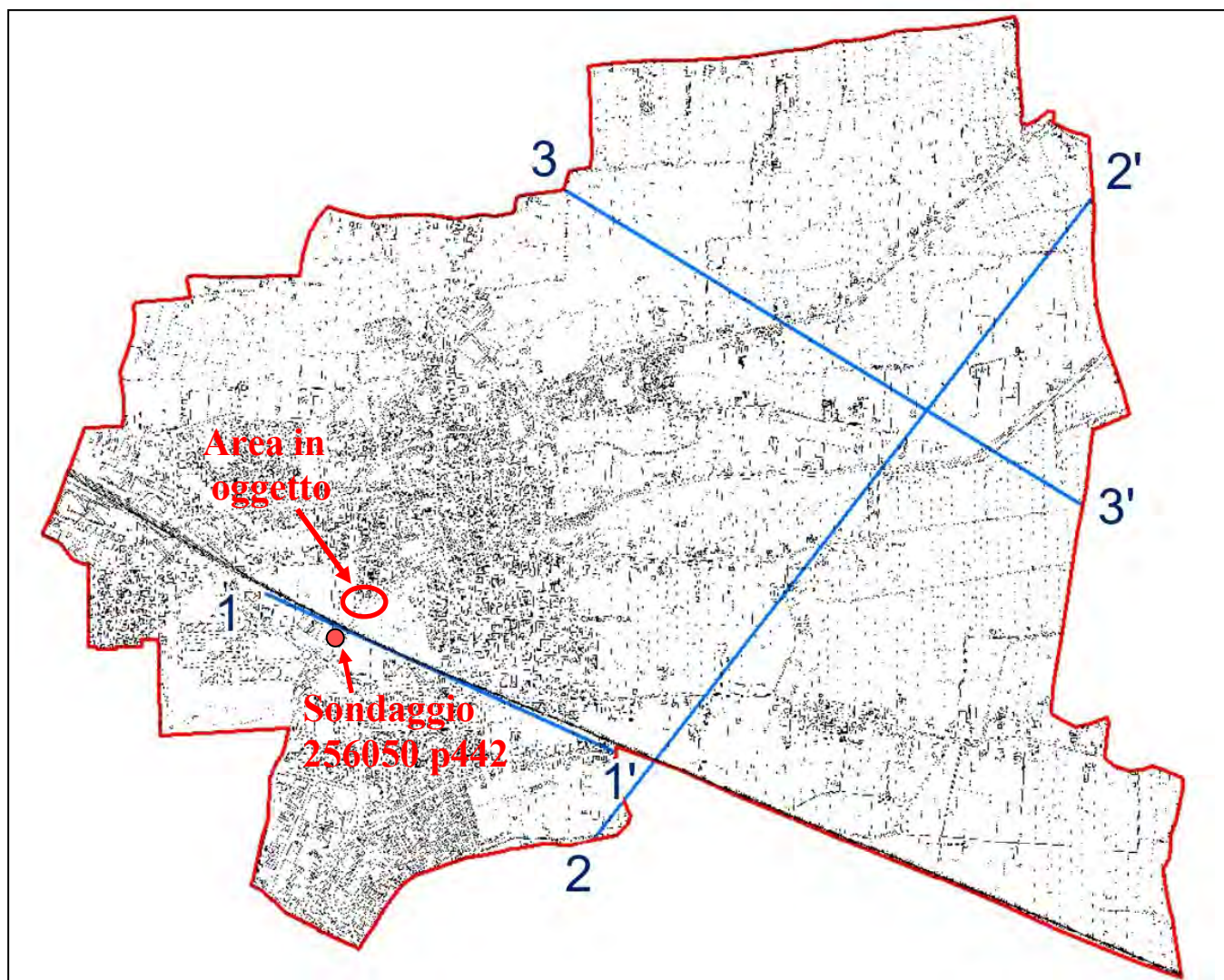


Nella tavola 9 si riportano i dati delle prove geognostiche ubicate in prossimità del sito in oggetto. Le prove presenti nelle vicinanze dell'area oggetto di studio sono

- la CPT 256060 c0530, spinta fino a 15 metri di profondità ed ubicata a circa 70 metri dall'area in esame. Le caratteristiche litologiche stratigrafiche di questa prova sono riportate nel successivo capitolo numero 8.
- Il sondaggio a carotaggio continuo 256050 p442, spinto fino a 40,7 metri di profondità ed ubicato a circa 120 metri dall'area in oggetto, utilizzato nel modello sismo stratigrafico per la Risposta Sismica Locale RSL con approfondimento al III livello effettuato nel presente studio, ed in particolare per i terreni presenti da 22,6 a 40,7 metri che presentano le seguenti caratteristiche
 - da -22,6 a - 28,0 metri argille;
 - da -28,0 a - 29,8 metri sabbie;
 - da -29,8 a - 36,4 metri sabbie, sabbie limoso argillose. Da circa 35 metri diminuisce la frazione sabbiosa;
 - da -36,4 a - 39,0 metri limo argilloso;
 - Da -39,0 a - 40,7 metri argille.

Di seguito si riporta in Tavola 10 l'ubicazione delle sezioni della Regione Emilia Romagna presenti nell'allegato 2 della Relazione Illustrativa della Microzonazione Sismica del Comune di Gambettola.

TAVOLA 10 - UBICAZIONE SEZIONI REGIONE EMILIA ROMAGNA



Di seguito si riportano nelle tavole 11 e 12 gli stralci delle sezioni 1-1' e 2-2' presenti nell'allegato 2 della Microzonazione Sismica del Comune di Gambettola.

TAVOLA 11. STRALCIO SEZIONE N. 1-1'

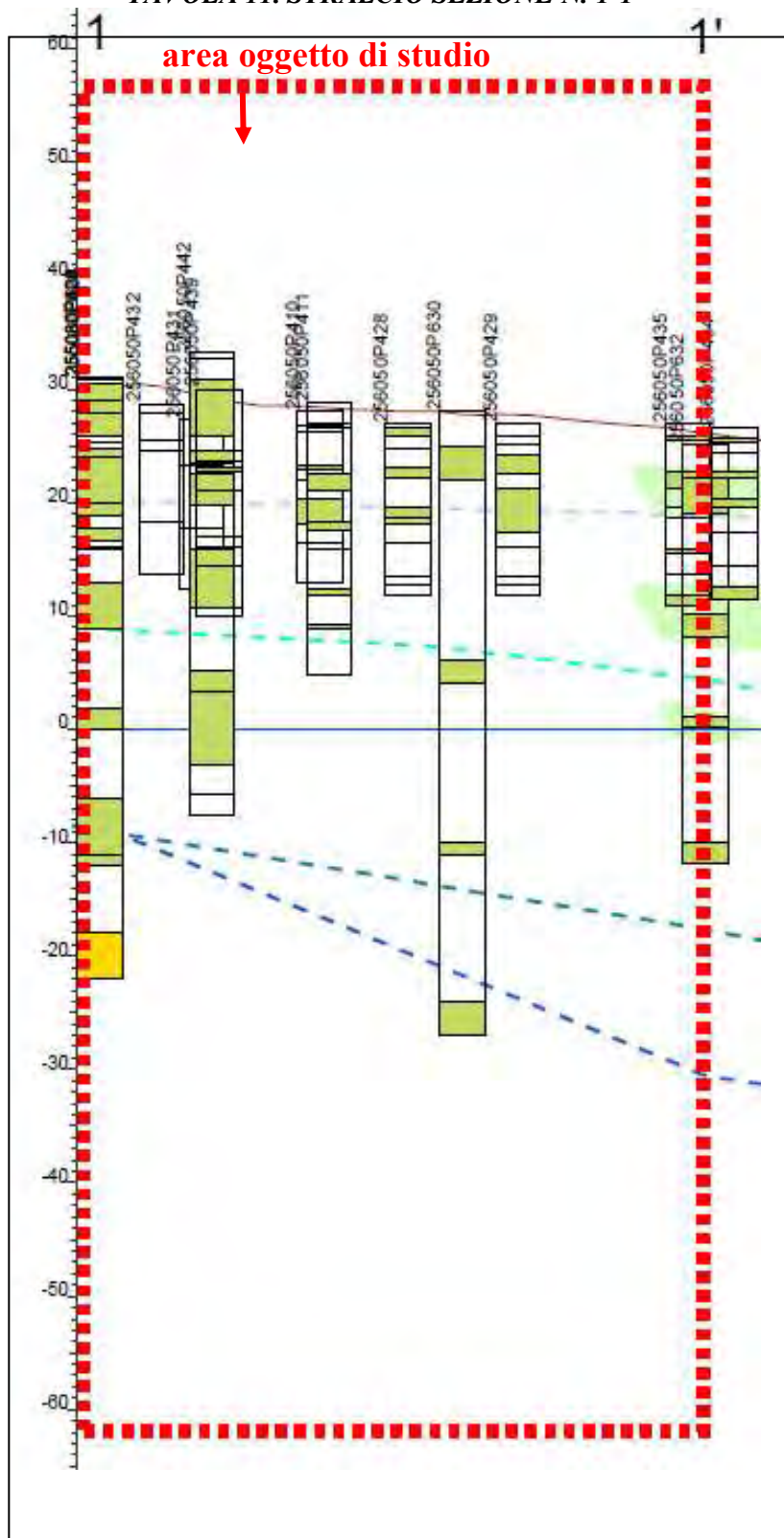
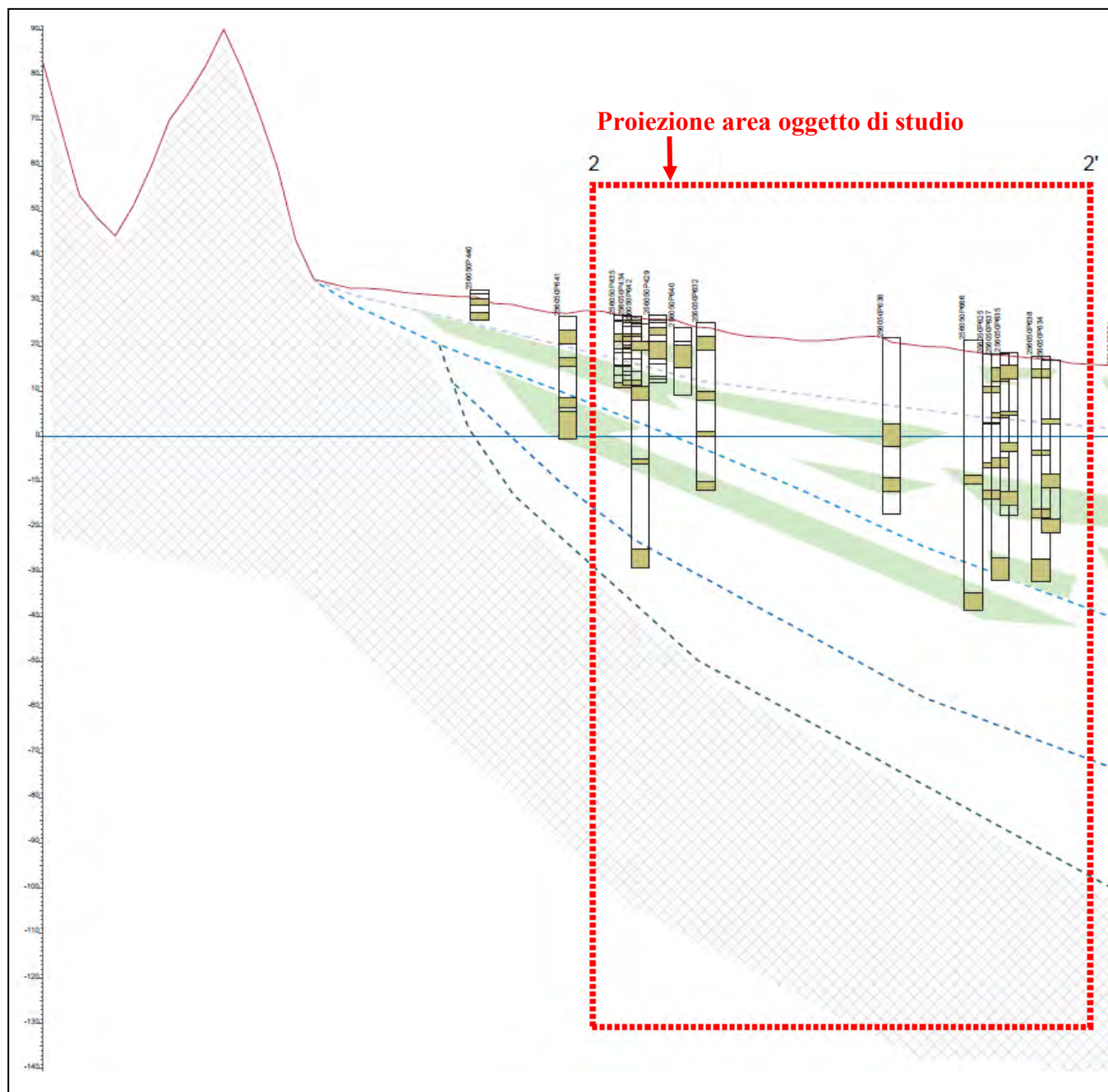


TAVOLA 12 - STRALCIO SEZIONE NUMERO 2 – 2'



La legenda delle sezioni 1-1' e 2-2' sono identiche.



L'area in oggetto è ubicata a circa 90 metri dalla sezione longitudinale numero 1-1', orientata SE-NW e a circa 2 km dalle prime propaggini collinari del Comune di Longiano, dove affiorano terreni del Pliocene (FAA - Formazione delle Argille Azzurre), terreni che rappresentano il substrato roccioso.

Lungo la sezione 1-1' (a circa 25/30 metri dalla sezione stessa) è ubicato il sondaggio 256050 p442, spinto fino a 40,7 metri di profondità, utilizzato per la stratigrafia del modello sismo stratigrafico del sito in oggetto, utilizzata per l'analisi della RSL al III livello di approfondimento, riportata nel capitolo 11.5 della presente relazione.

Dalla sezione 1-1' si evince:

- Presenza di sabbie da circa 24,0 metri a 34,0 metri di profondità, che identifica la base del Subsistema di Ravenna (AES8 e AES8a Unità di Modena);
- Il Subsistema di Villa Verucchio (AES 7) non è ben definito. Il Subsistema di Bazzano (AES 6) non è presente;

L'area in oggetto non è ubicata lungo la sezione 2-2', orientata SW-NE, ma la sua proiezione si trova a circa 700 metri dalla sezione stessa e a circa 1,5 km dalle prime propaggini collinari del Comune di Longiano, dove affiorano gli stessi terreni del Pliocene della sezione 1-1', il substrato roccioso.

La sezione 2-2' è stata riportata perché offre informazioni dettagliate in merito a:

- Nella proiezione dell'area in esame è identificabile il Subsistema di Ravenna (AES 8) mentre il Subsistema di Villa Verucchio (AES 7) è definito in una zona distante dell'area in oggetto. Il Subsistema di Bazzano (AES 6) non è presente;
- A circa 70 metri di profondità è presente il substrato roccioso del Pliocene.

L'area in oggetto non è ubicata lungo la sezione 3-3', orientata SW-NE e la sua proiezione si trova a circa 1,6 Km dalla sezione stessa, a nord del Comune di Gambettola e a circa 3,6 Km dalle prime propaggini collinari del Comune di Longiano. Per questi motivi la sezione non è stata riportata, ma si evince presenza di sabbie da circa 25,0 metri a 30/31 metri di profondità, che identifica la base del Subsistema di Ravenna (AES8 e AES8a Unità di Modena), profondità simili alla sezione 1-1'.

8) Caratteristiche stratigrafico – litologiche

Le caratteristiche litologiche stratigrafiche di seguito riportate, dal piano campagna attuale fino a – 20,0 metri di profondità sono state ricavate dai valori riscontrati delle prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2 effettuata nel sito in progetto nel corso della presente indagine.

Le caratteristiche litologiche stratigrafiche evidenziano l'alternarsi di terreni coesivi (argille, argille sabbioso limose) e terreni incoerenti (sabbie, sabbie argilloso limose).

La prova CPT2 si differenzia dalla CPT1 per la prevalenza di terreni coesivi rispetto ai terreni incoerenti, in particolare nei primi 6,8 metri dal piano campagna attuale.

STRATIGRAFIA PROVA PENETROMETRICA CPT1

Profondità	Litologia prevalente
Da piano campagna attuale a – 0,6 metri	Terreno superficiale
Da - 0,6 a – 20,0 metri	Argille con strati e livelli di sabbie argilloso limose e sabbie alle profondità di 1,6/2,0 – 4,0/4,4 – 5,0/6,4 - 8,6/8,8 – 9,8/10,0 – 10,8/11,0 -11,8/12,0 – 16,0/16,6 metri.

STRATIGRAFIA PROVA PENETROMETRICA CPT2

Profondità	Litologia prevalente
Da piano campagna attuale a – 0,6 metri	Terreno superficiale / terreni di riporto del piazzale del punto vendita carburanti
Da - 0,6 a – 6,8 metri	Argille, argille limose
Da -6,8 a – 20,0 metri	Argille con strati di sabbie argilloso limose e sabbie alle profondità di 6,8/7,4 – 8,0/8,6 – 15,2/16,2 - 18,0/18,8 – 16,0/16,6 – 19,4/20,0 metri

Dal Catalogo dati “Prove geognostiche e geotecniche della Regione Emilia Romagna” nelle vicinanze dell'area in esame è stata riscontrata la prova penetrometrica “CPT 256050 c053” spinta fino a 15 metri di profondità, che evidenzia argille prevalenti con strati di sabbie argilloso limose e sabbie alle profondità di 1,0/1,4 – 4,4/5,2 – 6,6/7,0 - 9,2/10,0 metri con il livello della falda freatica alla profondità di 2,5 metri, prova che presenta caratteristiche litologiche simili a quelle riscontrate nella prova CPT1 effettuata nel sito in progetto nel corso della presente studio.

9) Caratteristiche geotecniche

I valori riportati nei modelli geotecnici delle prove penetrometriche CPT1 e CPT2 effettuate nel corso del presente studio non sono ricavati da analisi di laboratorio su campioni indisturbati, assumono valori diversi a seconda sia del tipo litologico presente, sia dei valori di resistenza alla punta R_p che il rapporto fra resistenza alla punta R_p e resistenza laterale (R_p / F_s) espresse in kg/cm^2 .

I valori riportati, in prima analisi sono stati elaborati in base ad esperienze di campagna effettuate con il penetrometro statico utilizzato per la prova in oggetto, tarato con sondaggi a carotaggio continuo e prove di laboratorio, in particolare per i valori drenati “C’ e ϕ ”.

I valori geotecnici “Cu, γ , ϕ e Ed” di seguito riportati non sono stati calcolati con il 5° percentile della distribuzione media della serie di dati ottenuti dalle prove penetrometriche statica secondo l’Eurocodice 7 e 8 perché sono stati riportati sia i valori cautelativi fra le diverse interpretazioni proposte dai vari autori presenti in bibliografia e di seguito riportati in legenda, sia i valori medi più cautelativi di R_p .

I valori dei parametri geotecnici riportati nella tabella dei “Parametri geotecnici ricavati con il software Stating Probing della Ditta Geostru” sono valori ricavati in base all’interpretazione redatte dagli autori più indicati in relazione alla natura dei terreni presenti (coesiva ed incoerente/granulare).

Di seguito si riporta la tabella dei parametri geotecnici principali riscontrati nelle prove penetrometriche effettuate, con tutti gli strati e/o i singoli livelli decimetrici riscontrati.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PROVA CPT 1

N. Strat o	Profondità	Litologia	H	R_p	**Cu _k	ϕ_k	Ed _k	γ_k	C’ _k	ϕ'_k
1	Da – p.c. a – 0,4 m	Terreno superficiale	0.4	-	-	-	-	-	-	-
2.	Da – 0,4 a – 1,6 m.	Argille medio compatte	0.8	13	0.65	-	38.5	1.77	0.06	19°
3	Da – 1,6 a – 2,0 m.	Sabbie limoso argillose	0.4	50	-	35°	64,0	1.82	0,00	37°
4	Da – 2,0 a – 3,2 mt.	Argille molto compatte	1.2	40	2,0	-	73,8	1.95	0,18	20°
5	Da – 3,2 a – 4,0 mt.	Argille compatte	0.8	20	1,0	-	46,0	1,84	-	-
6	Da – 4,0 a – 4,4 mt.0	Sabbie sciolte	0.4	22	-	25°	40,0	1,65	-	-
7	Da – 4,4 a – 5,0 mt.	Argille molto compatte	0.6	22	1,1	-	48,5	1,86	-	-
8	Da – 5,0 a – 6,2 mt.	Sabbie limoso argillose,	1.2	22	-	25°	42,5	1,67	-	-
9	Da – 6,2 a – 6,4 mt.	Sabbie	0.2	44	-	35°	50,0	1,84	-	-
10	Da – 6,4 a – 8,6 mt.	Argille compatte	2.2	18	0,9	-	43,8	1.82		
11	Da – 8,6 a – 8,8 mt.	Sabbie limoso argillose	0.2	39	-	31°	52,0	1,85	-	-
12	Da – 8,8 a – 9,8 mt.	Argille compatte	1.0	18	0,9	-	43,8	1.82	-	-
13	Da – 9,8 a – 10,0 mt.	Sabbie limoso argillose	0.2	55	0,1/0,15	35°	70,0	1,84	-	-
14	Da – 10,0 a – 10,8 mt.	Argille compatte	0.8	18	0,9	-	43,8	1.82	-	-
15	Da – 10,8 a – 11,0 mt.	Sabbie limoso argillose	0.2	65	0,15/0,2	38°	78,0	1,9	-	-
16	Da – 11,0 a – 11,8 mt.	Argille medio compatte	0.8	12	0,6		37,5	1,76	-	-
17	Da – 11,8 a – 12,2 mt.	Sabbie	0.4	62	-	38°	61,8	1,94	-	-
18	Da – 12,2 a – 13,6 mt.	Argille medio compatte	1.4	13	0.65	-	38.5	1.77		
19	Da – 13,6 a – 16,0 mt.	Argille molto compatte	2,4	34	1,7	-	66,7	1.94		
20	Da – 16,0 a – 16,6 mt.	Sabbie limoso argillose	0.6	55	0,1/0,15	35°	70,0	1,84		
21	Da – 16,6 a – 17,6 mt.	Argille molto compatte	1.0	44	2,2	-	78,2	1.97		
22	Da – 17,6 a – 17,8 mt.	Sabbie sciolte	0.2	24	-	26°	42,5	1,66		
23	Da – 17,8 a – 20,0 mt.	Argilla molto compatte	2.2	30	1,5	-	61,8	1,90	-	-

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PROVA CPT 2

N. Strat o	Profondità	Litologia	H	Rp	**Cu _k	φ _k	Ed _k	γ _k	C' _k	φ' _k
1	Da – p.c. a – 0,4 m	Terreno superficiale	0.4	-	-	-	-	-	-	-
2.	Da – 0,4 a – 1,8 m.	Argille medio compatte	1.4	15	0.75	-	40,6	1.79	0.07/	19°
3	Da – 1,8 a – 2,6 m.	Argille molto compatte	0.4	36	1,8	-	69,0	1,94	0,18	20°
4	Da – 2,6 a – 5,6 mt.	Argille compatte	3.0	18	0,9	-	43,8	1.82	0,10	19°
5	Da – 5,6 a – 6,2 mt.	Argille molto compatte	0.6	36	1,8	-	69,0	1,94	-	-
6	Da – 6,2 a – 6,8 mt.	Argille medio compatte	0.6	15	0.75	-	40,6	1.79	-	-
7	Da – 6,8 a – 7,4 mt.	Sabbie sciolte	0.6	24	-	26°	42,5	1,66	-	-
8	Da – 7,4 a – 8,0 mt.	Argille medio compatte	0.6	15	0.75	-	40,6	1.79	-	-
9	Da – 8,0 a – 8,4 mt.	Sabbie sciolte	0.4	24	-	26°	42,5	1,66	-	-
10	00Da – 8,4 a – 8,6 mt.	Sabbie limoso argillose,	0.2	64	0,15/0,2	38°	79,5	1,9		
11	Da – 8,6 a – 9,0 mt.	Argille molto compatte	0.4	40	2,0	-	73,8	1.95	-	-
12	Da – 9,0 a – 10,4 mt.	Argille compatte	1.4	18	0,9	-	43,8	1.82	-	-
13	Da – 10,4 a – 12,0 mt.	Argille medio compatte	1.6	10	0,5	-	35,4	1,74	-	-
14	Da – 12,0 a – 15,2 mt.	Argille molto compatte	3.2	30	1,5	-	61,8	1,90	-	-
15	Da – 15,2 a – 16,2 mt.	Sabbie limoso argillose	1.0	55	0,1/0,15	35°	70,0	1,84	-	-
16	Da – 16,2 a – 18,0 mt.	Argille molto compatte	1.8	20	1,0	-	46,0	1,84	-	-
17	Da – 18,0 a – 18,4 mt.	Sabbie limoso argillose	0.4	42	-	32°	55,0	1,86	-	-
18	Da – 18,4 a – 18,8 mt.	Sabbie	0.4	82		40°	91,5	1,95		
19	Da – 18,8 a – 19,4 mt.	Argille molto compatte	0,6	44	2,2	-	78,2	1.97		
20	Da – 19,4 a – 20,0 mt.	Sabbie limoso argillose	0.6	55	0,1/0,15	35°	70,0	1,84	-	-

Legenda:

N = Numero progressivo strato

H (metri) = Spessore strato

Rp (Kg/cm²) = Resistenza alla punta del penetrometro statico ;

Ed (Kg/cm²): = Modulo Edometrico ricavato dalla formula $Ed = \alpha * Rp$ dove Rp:è la resistenza alla punta del penetrometro statico ed α rappresenta un coefficiente adimensionale tabulato in funzione della litologia e della resistenza alla punta dei terreni riscontrati.

γ (Kg/cm³ - ton/m³) = peso specifico di volume del terreno naturale. I valori di γ sono stati valutati secondo valori presenti in letteratura e sulla base di conoscenze acquisite.

Cu = (Kg/cm² - ton./m²) = Coesione non drenata solo per terreni coesivi non drenati, valutata in funzione di Rp, σ_{vo} e σ'_{vo} e della litologia elaborata dalle prove penetrometriche secondo Schmertmann e/o Searle. I valori di Cu sono calcolati secondo le teorie di Terzaghi, Cestari ed altri.

φ = angolo di attrito interno espresso in gradi (°).

C' (Kg/cm² - ton./m²) = Coesione drenata e consolidata ricavata da analisi di laboratorio comparabili con i valori delle prove penetrometriche.

φ' = angolo di attrito interno drenato e consolidato, espresso in gradi (°) ricavato da analisi di laboratorio comparabili con i valori delle prove penetrometriche.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PROVA CPT1 SOFTWARE "STATING PROBING"

Nr.	Prof.	Tipo	Rp	Eu	G	OCR	Dr	Ey
1	0,40	--	--	--	--	--	--	--
2	1,60	C	13	432,4	134,2	6	--	--
3	2,00	I	50	--	305,7	>9	52,5	100,0
4	3,20	C	40	1459,4	266,7	9	--	--
5	4,00	C	20	678,7	174,6	9	--	--
6	4,40	I	22	--	185,1	6,87	25,2	44,0
7	5,00	C	22	799,5	185,1	9	--	--
8	6,20	I	22	--	185,1	>9	25,2	44,0
9	6,40	I	44	--	292,7	>9	48,1	88,0
10	8,60	C	18	639,4	163,7	9	--	--
11	8,80	I	39	--	262,6	8,4	45,1	78,0
12	9,80	C	18	632,9	163,7	9	--	--
13	10,00	I	55	--	324,0	>9	56,5	110,0
14	10,80	C	18	628,8	163,7	9	--	--
15	11,00	I	65	--	378,8	>9	61,5	130,0
16	11,80	C	12	400,2	127,8	8,79	--	--
17	12,20	I	62	--	348,6	>9	52,5	124,0
18	13,60	C	13	432,4	134,2	9	--	--
19	16,00	C	34	1212,8	241,5	9	--	--
20	16,60	I	55	--	324,0	7,98	56,5	110,0
21	17,60	C	44	1571,2	282,7	9	--	--
22	17,80	I	24	--	195,2	2,4	27,2	48,0
23	20,00	C	30	1046,3	223,7	9	--	--

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PROVA CPT2 SOFTWARE "STATING PROBING"

Nr.	Prof.	Tipo	Rp	Eu	G	OCR	Dr	Ey
1	0,40	--	--	--	--	--	--	--
2	1,80	C	15	536,1	146,5	7	--	--
3	2,60	C	36	1320,2	250,1	9	--	--
4	5,60	C	18	628,8	163,7	9	--	--
5	6,20	C	36	1320,2	250,1	9	--	--
6	6,80	C	15	536,1	146,5	9	--	--
7	7,40	I	24	--	195,2	7,37	27,2	48,0
8	8,00	C	15	536,1	146,5	9	--	--
9	8,40	I	24	--	195,2	>9	27,2	48,0
10	8,60	I	64	--	355,4	>9	55,5	128,0
11	9,00	C	40	1459,4	266,7	9	--	--
12	10,40	C	18	628,8	163,7	9	--	--
13	12,00	C	10	326,1	114,3	7,07	--	--
14	15,20	C	30	1063,3	223,7	9	--	--
15	16,20	I	55	--	324,0	>9	56,5	110,0
16	18,00	C	20	678,7	174,6	9	--	--
17	18,40	I	42	--	274,8	6	50,4	84,0
18	18,80	I	82	--	413,5	7,73	84,5	164,0
19	19,40	C	44	1571,2	282,7	9	--	--
20	20,00	I	55	--	324,0	7,08	56,5	110,0

Legenda: parametri geotecnici software “Stating Probing” della Ditta Geostru

Nr = Numero progressivo strato

Prof = Profondità strato (m)

Rp (Kg/cm²) = Resistenza alla punta del penetrometro statico ;

Tipo = C: Coesivo, I: Incoerente, CI: Coesivo - Incoerente

Eu = Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)

G = Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)

OCR = Grado di sovraconsolidazione

Dr:(%) = Densità relativa calcolata solo per terreni granulari/incoerenti, o terreni misti coesivi/incoerenti, espressa in percentuale

Ey = Modulo di Young (Kg/cm²)

9.1) Analisi caratteristiche geotecniche

Dall'analisi delle tabelle sopra riportate emerge la presenza di terreni coesivi nei primi 4,8 metri sotto il piano campagna, che in relazione alla tipologia di struttura in progetto, sono i terreni principalmente interessati sia alla capacità portante sia ai cedimenti primari. Questi terreni presentano buone caratteristiche meccaniche dovute a terreni coesivi argillosi sovra consolidati compatti.

10) Indagine Geofisica

L'indagine geofisica realizzata per il presente studio consiste in una prova sismica superficiale attiva denominata M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), che consiste nella determinazione della velocità delle onde di taglio (V_s) in profondità, eseguita per determinare la Categoria di sottosuolo, come previsto dalle NTC 2018 e per ottenere un modello sismo stratigrafico dei terreni indagati, confrontandolo con le prove geognostiche effettuate.

I risultati della prova M.A.S.W. sono riportati in allegato.

Inoltre sono state effettuate due prove superficiali passive denominate HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) che consiste nel rilievo dei microtremori, eseguite per ricavare la frequenza di vibrazione naturale del sito o frequenza caratteristica di risonanza del sito (f_0).

10.1) Teoria relativa all'indagine geofisica HVSR

La tecnica HVSR è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e viene definita "sismica passiva indiretta" perchè non necessita ne di nessun tipo di energizzazione esterna ne di stendimenti geofonici o strumenti di misura in foro.

Il sismografico posizionato sul piano campagna registra il rumore sismico ambientale che in natura è presente ovunque ed è prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Al naturale rumore ambientale viene registrato e si sovrappone anche il rumore dovuto all'attività antropica (traffico veicolare, industrie, ferrovie, attività agricole ma anche il semplice camminare di una persona nei pressi dello strumento).

Le onde elastiche (dei microtremori come dei terremoti) nel tragitto dalla sorgente al sito subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che durante la registrazione dei microtremori l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica o attiva, basata sulla tecnica e/o teoria di ray tracing, ma resta comunque presente una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare dati relativi alla struttura sismostratigrafica dei terreni presenti sotto il punto rilevato con il sismografo.

Questo debole rumore sismico (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s²), che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica o attiva (Masw, Dowhole ecc ecc), contiene informazioni che sono però sepolte all'interno del rumore casuale e che possono essere estratte attraverso la tecnica dei rapporti spettrali H/V o rapporto tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR).

Il metodo HVSR considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e di Love, presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro:

- quelle orizzontali di superficie (H_s) e quelle orizzontali al bedrock (H_b);
- quelle verticali di superficie (V_s) e quelle verticali al bedrock (V_b).

L'indagine geofisica HVSR permette di estrapolare la stratigrafia sismica passiva del sito indagato, basata sul concetto di impedenza sismica ovvero differenti densità e/o velocità delle onde sismiche fra differenti strati di terreni o rocce.

- **frequenza caratteristica di risonanza del sito (f_0)** che consiste nel picco o frequenza più alta ricavata dalla curva caratteristica H/V – analisi delle frequenze principali riscontrate;
- **velocità media delle onde di taglio V_s** da cui si ricava il valore delle V_{seq} e/o delle V_{s30} , per definire la categoria di sottosuolo come previsto dalle NTC 2018.

La velocità media delle onde di taglio V_{eq} e/o V_{s30} è stata calcolata con la prova MASW che produce un valore più attendibile rispetto alla prova HVSR.

Le prove HVSR permettono di analizzare il sito sotto l'aspetto delle frequenze di risonanza, valutarne l'anisotropia aerale e verticale, e definire, con sufficiente approssimazione, la profondità del bedrock geofisico la cui conoscenza è importante per l'analisi numerica puntuale in oggetto ed in particolare per la Risposta Sismica Locale (RSL), per approfondimenti al III livello.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito (f_0), che consiste nella frequenza caratteristica di picco, si ottiene solo con prove HVSR e di conseguenza di seguito si riportano solo le elaborazioni delle curve H/V - frequenze ricavate da 0.50 a 20 Hz con il software Geopsy e da 0.50 a 15 Hz ricavate con il software Easy HVSR della Geostru.

Le prove HVSR sono state eseguite mediante il sismografo/tromografo "SR04C3" della Ditta SARA Electronics Instrument.

10.2) Elaborazione prove HVSR

Dati generali prova HVSR1

Località:– Argine destro Rio Rigossa – Comune di Gambettola

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Inizio registrazione: 11/11/2024/11.27.31 Fine registrazione: 11/11/2024 11.47:31 Durata 20 minuti.

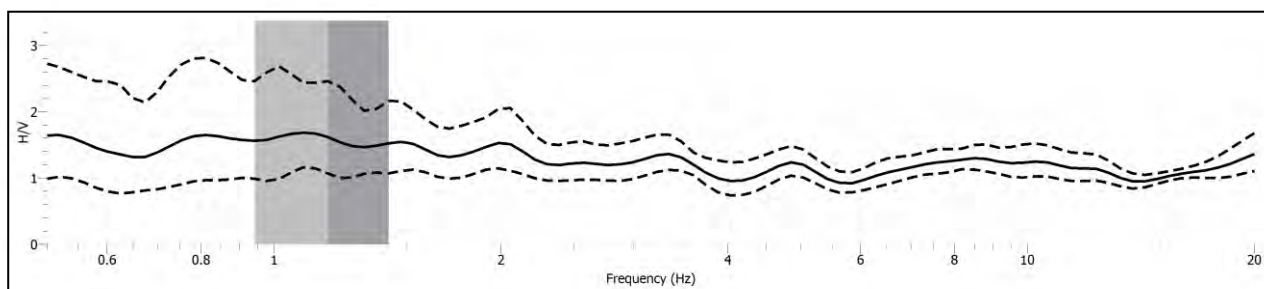
Coordinate WGS84: Latitudine: 44.114953 - Longitudine: 12.336476

Coordinate ED50: Latitudine: 44.115893 - Longitudine: 12.33744

Analisi effettuata sull'intera traccia delle registrazioni. Freq. campionamento: 300 Hz

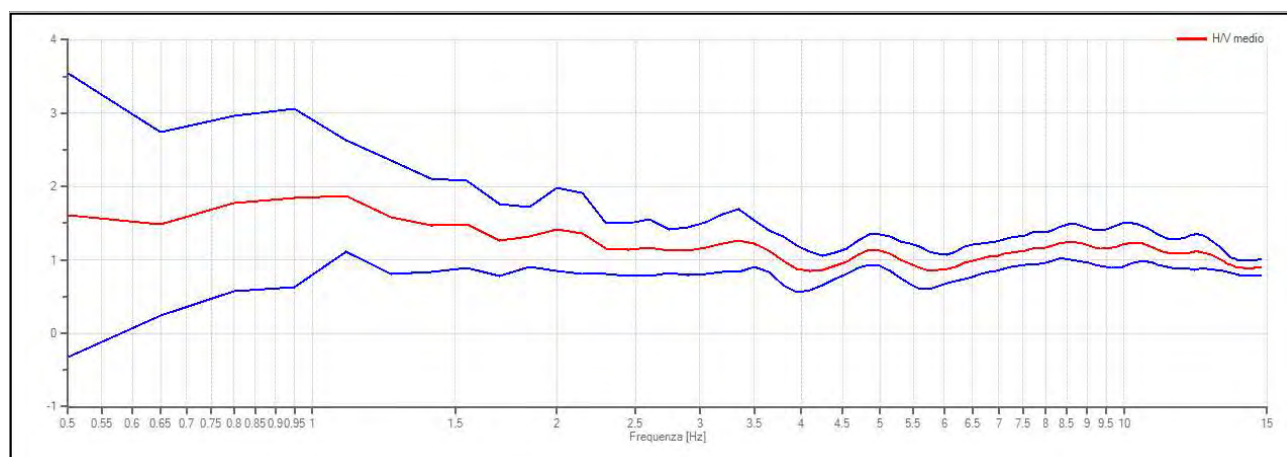
La prova è stata effettuata in un punto adiacente alla prova CPT1.

Grafico rapporto spettrale (frequenze- H/V) prova HVSR 1 software Geopsy



Dal grafico si evidenzia, nell'area grigia, la frequenza di picco (f_0) è pari a 1.18 Hz \pm 0.20 Hz.

Grafico rapporto spettrale (frequenze- H/V) prova HVSR 1 software Easy HVSR



Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.10 Hz \pm 0.40 Hz

Le frequenze caratteristiche 1,184 Hz e 1,10 Hz rappresentano rispettivamente un orizzonte sismostratigrafico fra 90 metri e 95 metri di profondità

Dati generali prova HVS2

Località:– Argine sinistro Rio Rigossa – Comune di Gambettola

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Inizio registrazione: 11/11/2024/12.11.46 Fine registrazione: 11/11/2024 12.31:46 Durata 20 minuti.

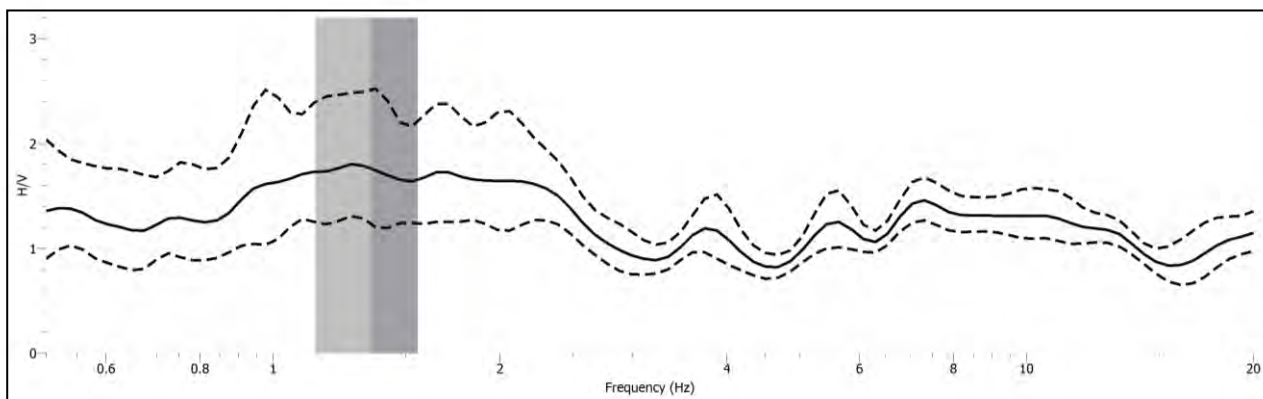
Coordinate WGS84: Latitudine: 44.114864 - Longitudine: 12.336639

Coordinate ED50: Latitudine: 44.115804 - Longitudine: 12.337643

Analisi effettuata sull'intera traccia delle registrazioni. Freq. campionamento: 300 Hz.

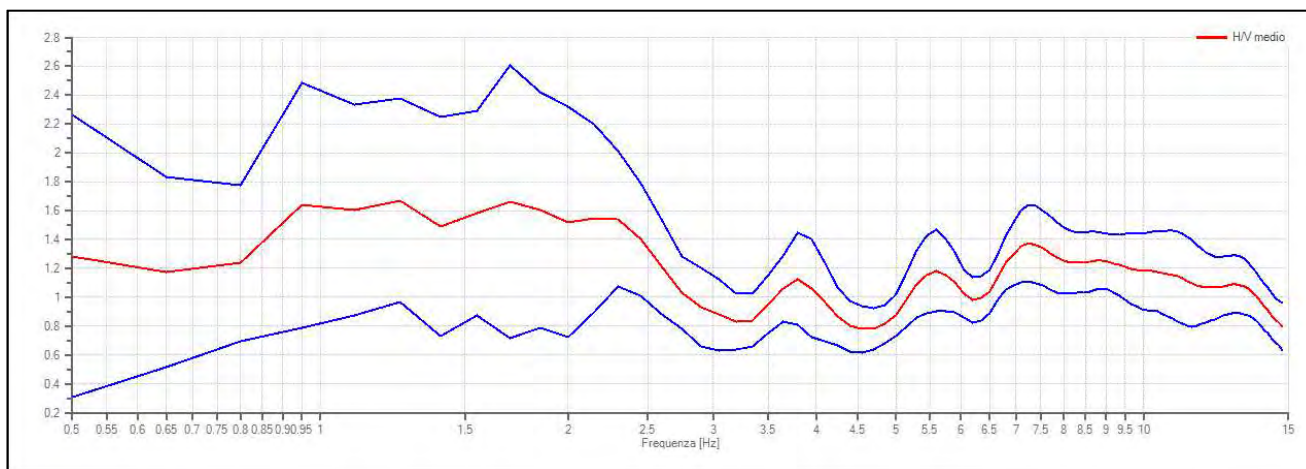
La prova è stata effettuata in un punto adiacente alla prova CPT2

Grafico rapporto spettrale (frequenze- H/V) prova HVS2 software Geopsy



Dal grafico si evidenzia, nell'area grigia, la frequenza di picco (f_0) è pari a $1.34 \text{ Hz} \pm 0.20 \text{ Hz}$.

Grafico rapporto spettrale (frequenze- H/V) prova HVS2 software Easy HVS2



Frequenza del picco del rapporto H/V: $1.25 \text{ Hz} \pm 0.40 \text{ Hz}$.

Le frequenze caratteristiche 1,34 Hz e 1,25 Hz rappresentano rispettivamente un orizzonte sismo stratigrafico fra 75 metri e 85 metri di profondità

In relazione sia alla configurazione geologica riscontrata nelle sezioni 1-1' e 2-2' riportate nelle tavole 11 e 12 sia alla curva di regressione riportata nel capitolo 11.5 ed utilizzata per il modello sismo stratigrafico, la profondità di 85 metri consistono nel bedrock sismostratigrafico ($V_s > 800 \text{ m/s}$) del sito in oggetto, in accordo con le due prove HVS2 effettuate.

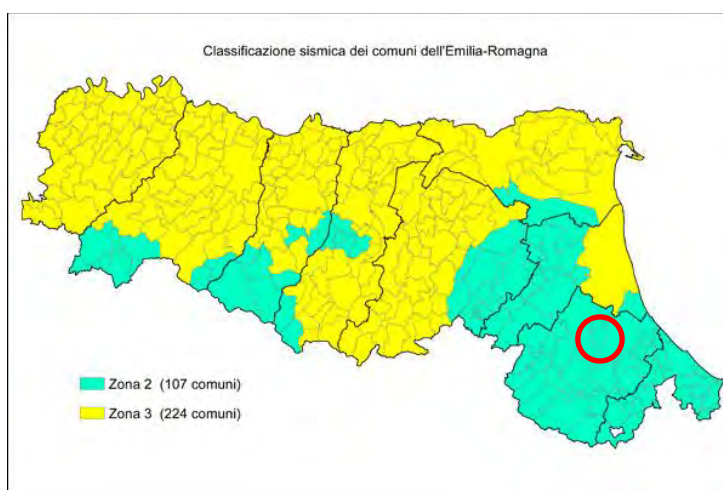
11) RELAZIONE SISMICA

1.1) Caratteristiche sismiche di base

Il DGR n. 1164 del 23 luglio 2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna, 'OPCM 3274/03 e OPCM 3519/06 " ha provveduto alla riclassificazione sismica del territorio emiliano-romagnolo. Sulla base della nuova classificazione il territorio del comune di Gambettola ricade nella zona sismica di seconda categoria (Zona 2) a cui corrisponde un valore dell'accelerazione orizzontale massima pari a $0.25a_g$.

Con il cerchio rosso è identificata l'area del Comune di Gambettola, dove è ubicata l'area in esame.

TAVOLA 13 - SUDDIVISIONE DELLE ZONE SISMICHE IN RELAZIONE ALL'ACCELERAZIONE DI PICCO SU TERRENO RIGIDO (OPCM 3519/06 – DGR 1164/18)



LEGENDA

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

La pericolosità sismica rappresenta lo scuotimento del suolo, in condizioni di campo libero, atteso in un dato punto del territorio. Questo dipende da molti fattori legati fra cui:

- la sorgente del terremoto;
- il mezzo in cui si propagano le onde sismiche.

La pericolosità sismica di base di un sito può essere valutata "prevedendo i terremoti" con un modello fisico che simuli esattamente l'intero fenomeno e dia la possibilità di valutarne l'evoluzione nel tempo.

Nell'attuale normativa (NTC2018), la pericolosità sismica, è intesa in senso probabilistico e viene definita come: 'lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo', ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo.

Le carte di pericolosità sismica come quelle dell'IGV (Istituto di Geofisica e Vulcanologia) sono costruite sulla base di un approccio statistico- probabilistico nel quale il ruolo delle informazioni

geologiche è marginale, come previsto dalle INTC2018. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input quali:

- catalogo dei terremoti;
- zone sorgenti;
- relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc..
- parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

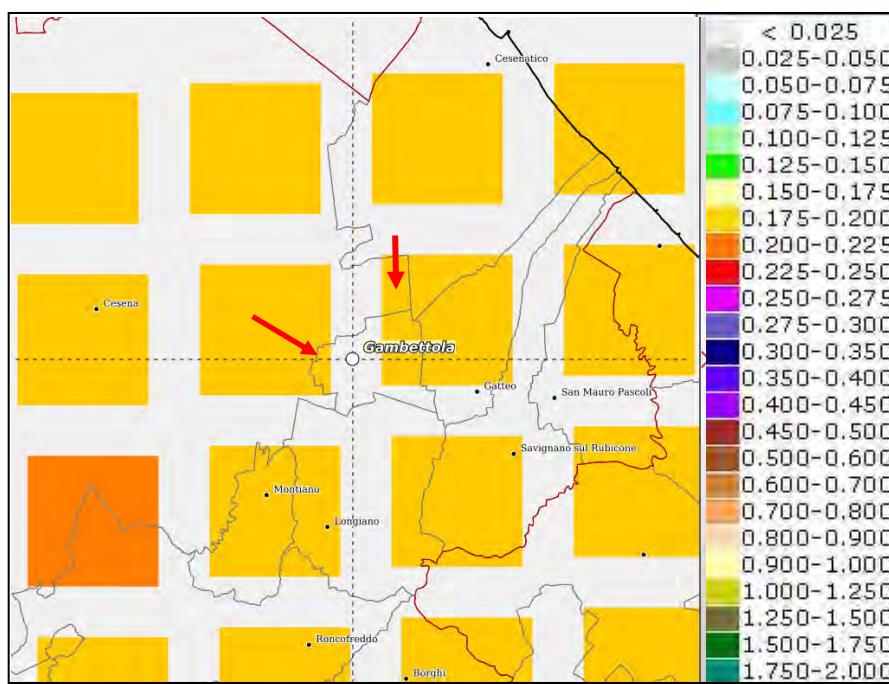
I valori dei parametri che definiscono la pericolosità sismica sono calcolati su una griglia di punti che ha una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati dall'IGV per il territorio nazionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi, ricavabili dal sito <http://essel.mi.ingv.it/> e resi disponibili per il territorio regionale, nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica".

Eventuali differenti pericolosità sismiche (classificazioni regionali) sono approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria effettuata dal Dipartimento per la Protezione Civile, al fine di valutarne l'attendibilità scientifica e l'idoneità applicativa in relazione ai criteri di verifica adottati nelle NTC 2018.

Nella tavola 14 è riportata la tipica schermata della Mappa interattiva della Pericolosità Sismica dell'IGV, riferita al sito oggetto di studio in cui si possono ricavare i parametri selezionabili per la generazione dei dati di pericolosità relativi ai punti della griglia nazionale, ed hanno come parametro l'accelerazione spettrale massima orizzontale dello scuotimento, $Se(T)$, espressa come $a(g)$ m/sec², valore riportato come legenda nella destra della Mappa stessa.

TAVOLA 14 - MAPPA INTERATTIVA PER LA PERICOLOSITÀ SISMICA. PERIODO 475 ANNI (10% PERCENTILE - PROBABILITÀ IN 50 ANNI)



Nella mappa interattiva di pericolosità sismica tutto il Comune di Gambettola ricade nel fra 0.175 - 0.200 a(g) nel punto giallo, come indicato dalla freccia di ubicazione,

I risultati riassunti in forma tabellare e di grafico della disaggregazione della pericolosità sismica ed evidenziano fra i vari valori la profondità dell'epicentro del sisma.

Nell'area in esame, ubicata fra le 2 aree indicate con le 2 frecce, la profondità dell'epicentro varia fra 8.72/ 9.0 km viene assunta pari a 8,72 Km.

Questo è il valore da utilizzare nei calcoli della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello, nei calcoli della capacità portate dei terreni e nei calcoli della liquefazione.

Per le simulazioni di della risposta sismica locale (RSL), è necessaria la rappresentazione della pericolosità sismica di base del sito tramite l'uso di accelerogrammi rappresentativi del moto sismico atteso su sito di riferimento rigido affiorante (sottosuolo di categoria A delle NTC2018).

Per la scelta degli accelerogrammi da utilizzare alcuni dei parametri più importanti che entrano in gioco sono:

- La massima accelerazione orizzontale attesa al sito, condizione soddisfatta ammettendo lo spettro di compatibilità del set di accelerogrammi con lo spettro di risposta elastico rappresentativo della pericolosità sismica di base del sito per un determinato tempo di ritorno
- TR; la magnitudo e la distanza dalla sorgente, che generano la pericolosità sismica del sito.

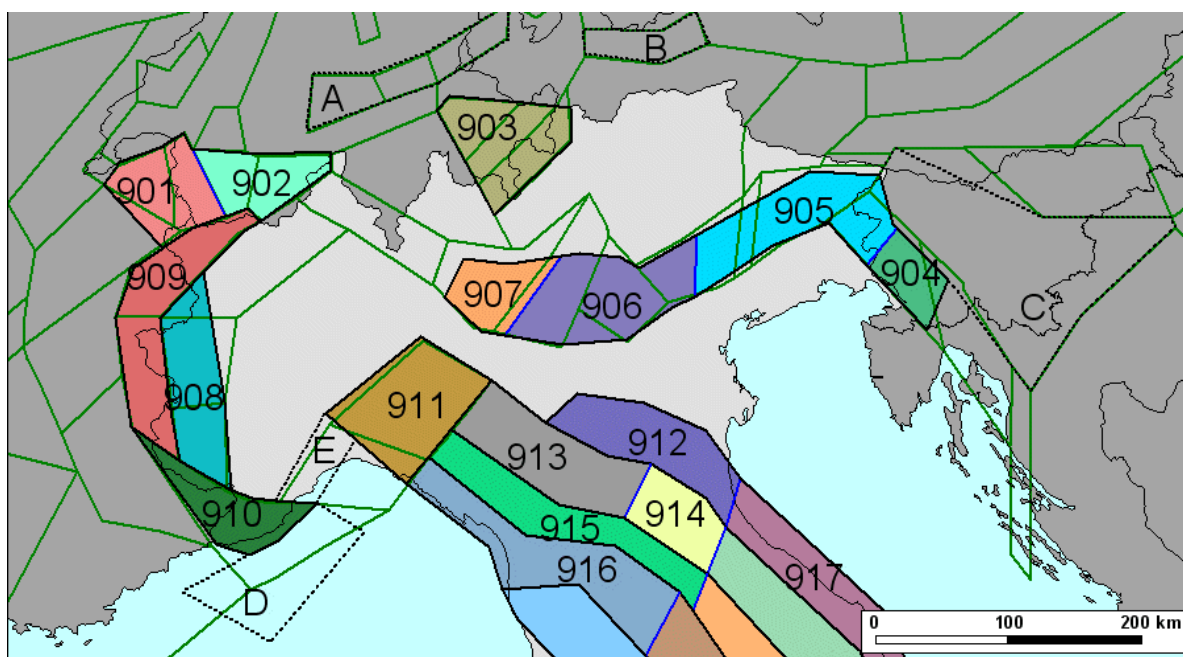
Nel presente studio gli accelerogrammi di riferimento utilizzati per il calcolo della risposta sismica locale nell'analisi di terzo livello di approfondimento sono stati quelli disponibili nella piattaforma WebGIS della Regione Emilia Romagna come prescritto nella DGR n.564 del 21/04/2021.

Dalla piattaforma è possibile scaricare l'input sismico selezionato per ciascun nodo del reticolo di riferimento per il territorio dell'Emilia-Romagna considerato dalle NTC08 e dalle NTC18.

L'input sismico è disponibile per i periodi di ritorno di 101, 475 e 975 anni ed è espresso in termini di un gruppo di 7 accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC2008 e nelle NTC2018.

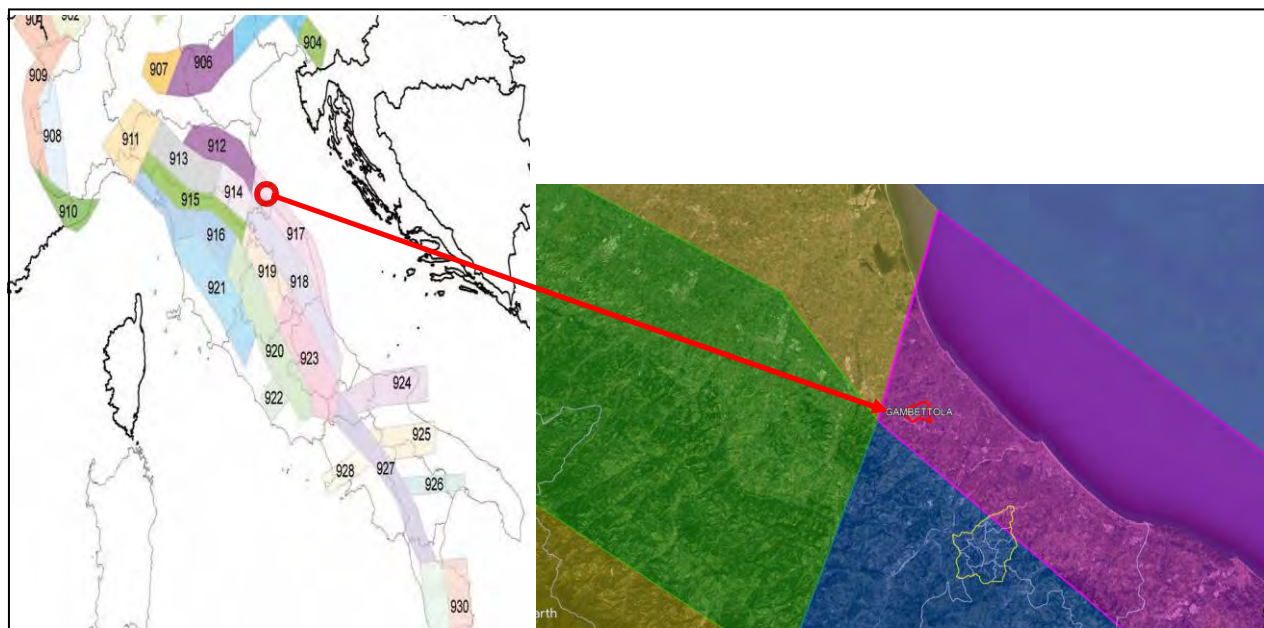
Di seguito si riporta la carta ricavata dalla Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista nell'O.P.C.M. 20/03/2003, n. 3274, che consiste nella zonazione sismogenetica del territorio nazionale denominata ZS9, documento dove, fra vari parametri sismici, si ricavano i valori di Magnitudo.

TAVOLA 15 - ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9



L'area oggetto di studio è ubicata nella Zona Sismogenetica 917 "Rimini-Ancona".
Di seguito riporta il dettaglio della Zonazione sismogenetica ZS9.

**TAVOLA 16 – DETTAGLIO ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 DELL'AREA IN ESAME
RICAVATO DALLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI GAMBETTOLA**



Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo. Sulla base di tali zone, per tutto il territorio italiano, sono state sviluppate le carte della pericolosità sismica.

L'area in esame è ubicata nella Zona Sismogenetica 917 "Rimini-Ancona" al confine con la Zona 912 "Dorsale Ferrarese" che sulla base dei meccanismi focali, la Zonazione Sismogenetica ZS, riporta, in entrambe le Zone, valori di massima magnitudo massima ($M_{w,max}$) uguale a 6,14 della scala Richter.

In pratica la sismicità massima del territorio cesenate è paragonabile a quella della scossa più forte della crisi sismica del settembre 1997 che ha colpito l'Umbria e le Marche con Magnitudo di 6.0 della scala Richter.

La Magnitudo ricavata dalla Zonazione Sismogenetica ZS9 non coincide con quella riscontrata nella Tavola 12 relativa alle Sorgenti Sismogenetiche secondo il DISS3.

Il valore è quella ricavata secondo il DISS3, ma, a favore della sicurezza si utilizza il valore più cautelativo, quello, ricavato dalla Zonazione Sismogenetica ZS9 che prevede Magitudo $M_w=6.14$.

Nella microzonazione sismica del Comune di Gambettola si riporta considerati i cataloghi storici e le relative incertezze, gli studi dell'INGV, la zonazione ZS9 e le indicazioni I.C.M.S. nonché la recente Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, in relazione alle finalità e tipologia di studio, si ritiene adeguata una magnitudo momento massima di riferimento pari a $M_w = 6.16$.

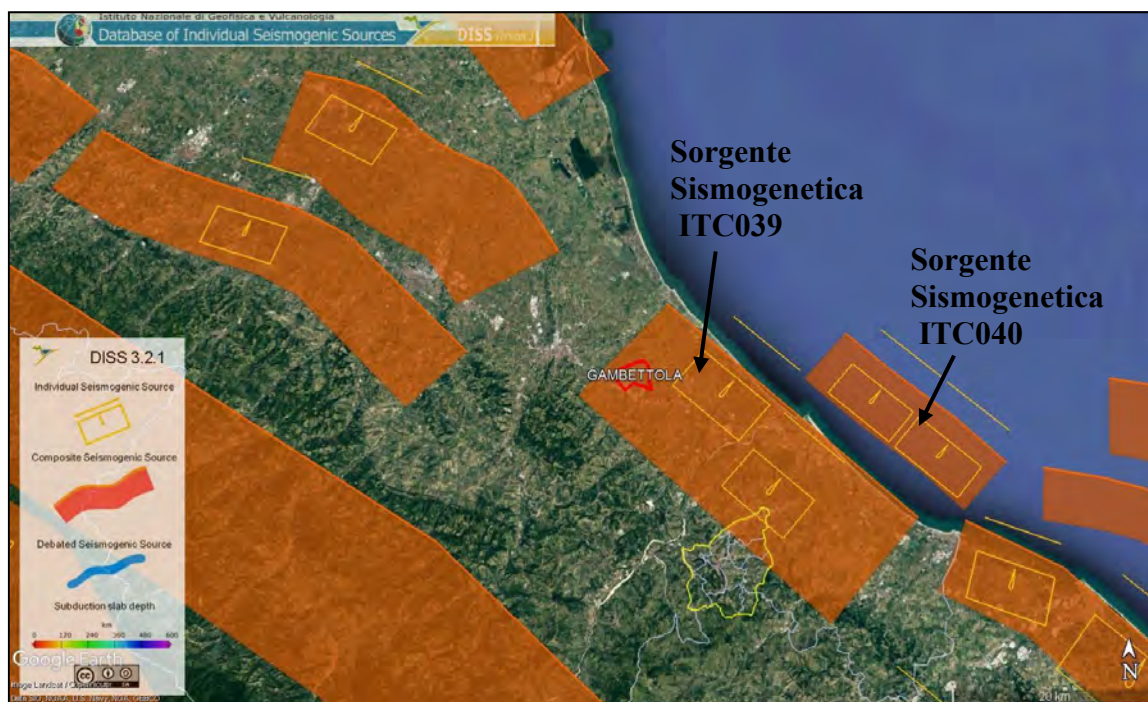
Si conclude quindi che il valore di Magitudo M_w utilizzato nei calcoli della RSL con approfondimento al III livello e nei calcoli della liquefazione è $= 6.16$.

Sulla base dei dati storici del Comune di Gambettola, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna e su più approfondite informazioni storico-scientifiche e di studi su modelli geodinamici e crostali, l'INGV ha sviluppato un database delle sorgenti sismogenetiche attive, denominato DISS3, contenente potenziali fonti per i terremoti più grandi, di Magnitudo a partire da valori di 5.5, in Italia e nelle aree circostanti.

In base alla disposizione degli epicentri, nonché da una verifica sul database DISS 3.2 (Database of Individual Seismogenic Sources) realizzato dall'INGV, è possibile risalire alle aree sismogenetiche che hanno contribuito alla sismicità storica della zona in studio ed alla pericolosità sismica dell'area (vedi fig. 3.4); si tratta di sistemi di faglia appenninici e costieri prevalentemente di natura compressiva.

Si tratta sorgenti sismogenetiche DISS3 ITCS039 "Rimini on-shore" e ITCS040 "Rimini of-shore". Di seguito si riporta la Tavola delle sorgenti sismogenetiche DISS3 attive nell'area oggetto di studio.

TAVOLA 17 - SORGENTI SISMOGENETICHE DISS3 ATTIVE NELL'AREA IN OGGETTO



11.2) La microzonazione sismica del Comune di Gambettola

Il comune di Gambettola, essendo in possesso dei requisiti indicati dall' O.C.D.P.C. 09 Maggio 2016, n. 344, ha ottenuto il relativo finanziamento e gli studi che sono stati previsti per le aree urbanizzate e urbanizzabili del comune destinatario del contributo sono relativi per studi di Microzonazione Sismica (MS) e analisi della Condizione Limite per l’Emergenza (CLE).

Tali studi ed analisi sono stati eseguiti secondo le indicazioni/prescrizioni di cui alla Delibera di G.R. 630/2019, come aggiornata dalla DGR 476/2021 e successiva integrazione DGR 564/2021 ovvero in ottemperanza agli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica dei dati di MS e CLE, rispettivamente 4.2 del 2020 e 3.2 del 2019.

L’ultimo aggiornamento in merito alle Delibera di Giunta Regionale relative agli studi di microzonazione sismica è rappresentato dalla DGR n. 564 del 21 aprile 2021 dando attuazione alle precedenti delibere, la DGR n. 630/2019 e la DGR n.2193 del 2015.

La microzonazione sismica, cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base alla differente risposta rispetto ad un ipotetico terremoto, è uno degli strumenti più efficaci per la riduzione del rischio sismico in quanto permette, fino dalle prime fasi della pianificazione urbanistica, di valutare la pericolosità sismica nelle aree urbane e urbanizzabili, indirizzare i nuovi interventi verso quelle zone a minore pericolosità e programmare interventi di mitigazione del rischio nelle zone in cui sono presenti particolari criticità.

La microzonazione sismica effettuata sul territorio del comune di Gambettola ha consentito di valutare la pericolosità sismica sia nelle aree urbane che in quelle di prevista urbanizzazione. Inoltre data anche l’abbondanza delle conoscenze litostratigrafiche e vista la estesa campagna geognostica/geofisica di riferimento, lo studio è stato esteso anche a porzioni del territorio rurale limitrofo.

Non sono state individuate zone stabili con assenza di effetti amplificativi.

Pertanto sono presenti zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, con effetto dell’assetto litostratigrafico e zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a possibili deformazioni permanenti nel territorio e nel primo sottosuolo.

In tal caso si tratta di zone soggette ad instabilità per potenziale rischio per liquefazione, a cui risultano soggette soprattutto le aree prospicienti e limitrofe allo Scolo Rigossa, le quali nella carta delle MOPS vengono individuate con il codice 30502003 e 30502004, le quali interessano una significativa parte dell’urbanizzato e delle strutture/infrastrutture strategiche (viabilità, linea ferroviaria, stazioni ferroviarie, scuole, ecc.).

Per situazioni di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non sono previsti studi di approfondimento di III° livello.

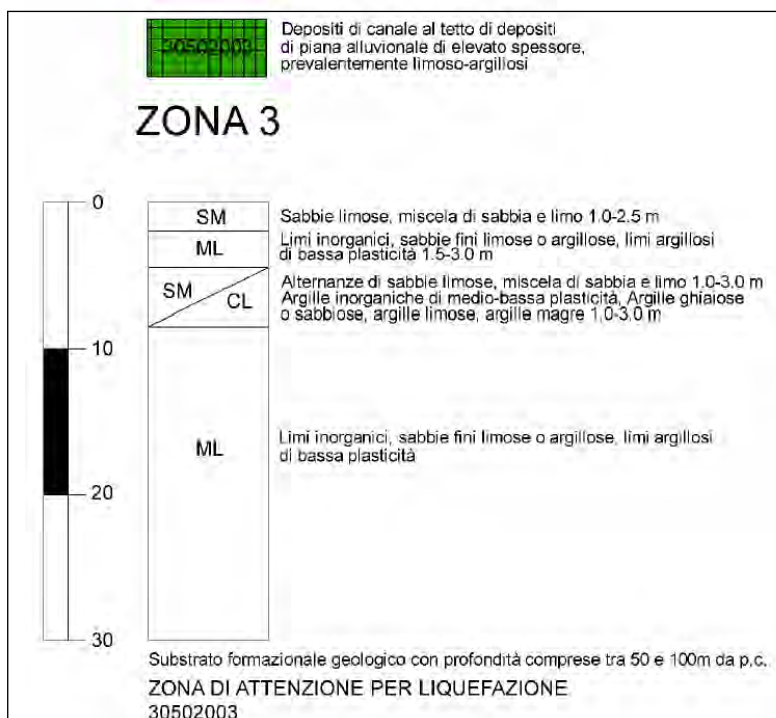
Diversamente nelle zone suscettibili di instabilità all’occorrenza sarà necessario eseguire studi di III° livello di approfondimento, con particolare attenzione al rischio liquefazione, soprattutto in considerazione del significativo grado di interferenza con l’area urbanizzata e la presenza di strutture/infrastrutture strategiche.

Di seguito si riporta la “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - MOPS” presente nella Microzonazione sismica del Comune di Gambettola.

TAVOLA 18 - STRALCIO CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA “MOPS”



legenda



l'area in esame è classificata come "ZONA 3 depositi di canale al tetto di depositi di piana alluvionale di elevato spessore prevalentemente limoso argillosi".

La zona in oggetto ricade nelle "Zone di attenzione per liquefazione 30502003" e necessita di uno studio di III° livello di approfondimento, con particolare attenzione al rischio liquefazione.

Il substrato roccioso è compreso fra 50 e 100 metri di profondità

Nella “Carta geologico - tecnica” presente nella Microzonazione sismica di Gambettola, non riporta, l’area in esame è classificata “SCes sabbie argillose, miscela di sabbie e argille – di canali”

Di seguito si riportano le principali classificazioni dell’area in oggetto presenti nelle Carte della Microzonazione sismica del Comune di Gambettola non riportate nella presente relazione.

In particolare si riportano i valori dei Fattori di Amplificazione (FA) individuati per tutto il territorio comunale a cui riferirsi anche per eventuali studi di approfondimento di III° livello e, comunque, di riferimento generale per tutte le valutazioni di carattere urbanistico

In tutte le carte di microzonazione sismica di seguito riportate l’area in oggetto è classificata come “Z_{ALQ} – Zone di attenzione per in instabilità”.

In base alle condizioni stratigrafiche e topografiche locali ed ai relativi profili di Vs il moto sismico atteso è stato definito secondo specifici fattori di amplificazione della PGA (FA_PGA), accelerazione massima orizzontale al sito o al suolo dello spettro elastico in accelerazione:

- $FPGA = 1,7 - 1,8$ In sostanza il parametro il fattore di amplificazione FPGA consiste nel rapporto di accelerazione massima orizzontale fra il PGA del sito e quello del bedrock (PGA / PGA_0);
- $FA_{0105} = 1,7 - 1,8$ nell’intervallo di accelerazione massima al sito compreso tra $0,1s \leq T \leq 0,5s$. ;
- $FA_{0408} = 2,5 - 3,0$ nell’ intervallo di accelerazione massima al sito compreso tra $0,4s \leq T \leq 0,8s$. ;
- $FA_{0711} = 3,1 - 3,5$ nell’intervallo di accelerazione massima al sito compreso tra $0,7s \leq T \leq 1,1s$. ;
- e localmente anche $FA_{0515} = 2,5 - 3,0$ nell’intervallo di accelerazione massima al sito o al suolo compreso tra $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

Di seguito si riportano i valori di amplificazione dell’Intensità di Housner per i vari periodi:

- $FH_{0105} = 1,9 - 2,0$ nell’intervallo compreso tra 0,1 e 0,5 s. dell’intensità di Housner;
- $FH_{0510} = 2,5 - 3,0$ nell’intervallo compreso tra 0.5 e 1.0 s. dell’intensità di Housner;
- e localmente $FH_{0515} = 3,1 - 3,5$ nell’intervallo compreso tra 0.5 e 1.5 s. dell’intensità di Housner.

Infine per una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica del territorio si è definita anche una zonazione del territorio in termini di intensità sismica assoluta H_{SM} , al fine di consentire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed una più diretta valutazione semi-quantitativa del rischio sismico.

$H_{SM} = 0,71g \leq H_{SM} \leq 0,85g$.

11.3) Caratteristiche sismiche secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC 2018)

Di seguito si riportano le Categorie di sottosuolo e le Categorie topografiche del sito in oggetto utilizzati nella presente relazione, come previsto nel paragrafo 3.2 “AZIONE SISMICA” Capitolo 3.2.2 delle NTC 2018.

11.3.1) Categorie di sottosuolo

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

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

dove

h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato ;

V_{Seq} velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N Numeri di strati

H Profondità del substrato definito come quella formazione o terreno molto rigido caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreno naturali la profondità è riferita alla testa dell'opera.

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30} ottenuto ponendo $H=30$ metri nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le Categorie di sottosuolo, che permettono l'approccio semplificato sono definite nella Tabella 3.2 II. e sono determinati dalle velocità delle onde di taglio V_s come di seguito riportato.

Categorie di sottosuolo

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

dove :

la velocità equivalente rappresenta la velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri di spessore sotto il piano di fondazione (definite dalla normativa in oggetto Vs30).

Per queste cinque categorie di sottosuolo le azioni sismiche sono definibili come descritto nel capitolo 3.2.3 delle presenti norme.

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

I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove (indagini geofisiche).

Nel presente studio sono state eseguite una indagine geofisica MAW e due prove HVSR.

In funzione della prova geofisica MAW, riportata in allegato, dal piano campagna attuale a – 30,0 metri di profondità, si evincono Vs30 pari a 208,4 m./s..

Nell'ipotesi di fondazioni su pali impostati a 7,0 metri di profondità dal piano campagna attuale, i valori di Vs30 sono compresi fra 225,7 m./s. se si considerano i valori della MAW e 234,9 m./sec se si considerano i valori della curva di regressione riportata nel capitolo 11.5.

Nell'ipotesi di fondazioni su pali impostati a 14,0 metri di profondità dal piano campagna attuale, i valori di Vs30 sono compresi fra 240,2 m./s. se si considerano i valori della MAW e 277,8 m./sec se si considerano i valori della curva di regressione riportata nel capitolo 11.5.

Si evince che i terreni nei primi 37,0/44,0 mt. di spessore sotto il piano fondazione, appartengono alla categoria. C.

11.3.2) Caratteristiche topografiche

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

Per configurazioni superficiali semplici, come l'area in oggetto, si può adottare la seguente classificazione

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 $i > 30^\circ$

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

Gli argini del Rio Rigossa, dopo i lavori di sistemazione, presentano una inclinazione di circa 30° e di conseguenza l'area in progetto appartiene alla categoria T2.

11.4) Parametri e coefficienti sismici dell'area in oggetto secondo le NTC 2018

I valori dei parametri e coefficienti principali, ricavati dal sito on line "Parametri sismici Geoapp" della Società Geostru, utilizzati nella relazione geotecnica del presente studio sono di seguito riportati.

In primo luogo occorre stabilire a quale Stato Limite si vuole ricavare parametri e coefficienti sismici.

Il capitolo 3.2.1 delle NTC2018 definisce quattro "Stati Limite e Relative Probabilità di Superamento".

Nel progetto in esame i valori dei parametri ed i coefficienti sismici principali sono stati calcolati secondo lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), testualmente definito:

" a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali; "

In secondo luogo occorre stabilire a quale Classe appartiene l'opera in progetto.

Nel caso in oggetto l'edificio in progetto appartiene alla Classe 2, in estrema sintesi *" Affollamento normale ... Assenza funzioni pubbliche e sociali .."*

Considerando lo Stato Limite SLV si ottiene il valore di VN (Vita Nominale) pari a 50 anni e di Tr (Tempo di riferimento) pari a 475 anni, con Probabilità di superamento di tali valori pari al 10 %.

Con i dati sopra riportati il coefficiente di progetto CU è = 1,0

Con i dati sopra descritti è possibile calcolare i parametri sismici, come riportato nel Capitolo 3 delle NTC2018 Azioni sulle Costruzioni ed in particolare al paragrafo 3.2 Azione Sismica,

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,190	g
F0:	2,452	
Tc*:	0,308	[s]

dove:

ag = accelerazione orizzontale massima attesa, in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido o bedrock (Categoria sottosuolo A delle NTC 2018) e con Categoria topografica orizzontale;

F0 = valore massimo del fattore d'amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC*= periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori e parametri sismici di seguito riportati, ricavati dal sito on line "Parametri sismici Geoapp della Società Geostru", sono calcolati come funzione della tipologia di progetto in esame, tipologie di seguito riportate:

- Muri di sostegno;
- Stabilità dei pendii e Fondazioni;
- Paratie ;
- Fronti di scavo e rilevati.

L'opera in progetto prevede la costruzione di una passerella lungo il Rio Rigossa nel Comune di Gambettola e la presente relazione è stata svolta per i terreni di fondazione della struttura stessa. Quindi i valori e parametri sismici sono calcolati secondo la tipologia Fondazioni.

In base ai valori sopra riportati e ai parametri ricavati nel Capitolo 11.2 quali la Categoria di sottosuolo C e la Categoria topografica T2 è possibile ricavare i coefficienti sismici di seguito riportati, calcolati secondo lo Stato Limite SLV.

SLV:

Ss: 1,420

Cc: 1,550

St: 1,200

Kh: 0,078

Kv: 0,039

Amax: 3,167

Beta: 0,240

dove:

Ss = Coefficiente di amplificazione stratigrafica;

Cc = Coefficiente variabile in funzione della Categoria di sottosuolo secondo le NTC2018;

St = Coefficiente di amplificazione topografica;

Kh = Coefficiente di spinta orizzontale;

Kv = Coefficiente di spinta verticale;

Amax = accelerazione massima al suolo;

Beta = Coefficiente adimensionale.

Definiti i parametri del Paragrafo 3.2 “Azione sismica” Capitolo 3.2.2 delle NTC 2018 quali la Categoria di sottosuolo “C” e la Categoria topografica “T2”, è stato possibile, tramite la Risposta Sismica Locale, calcolata secondo lo Stato Limite SLV, ricavare i parametri sismici da utilizzare per il progetto in esame fra i quali il valore di Amax da utilizzare per il calcolo della liquefazione.

11.5) Risposta Sismica Locale con analisi di terzo livello di approfondimento

In relazione a quanto previsto dalle NTC 2018 e dal DGR 564/2021 per l'area in esame è previsto effettuare Analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) con approfondimento al III livello.

Con il termine di Risposta Sismica Locale (RSL) si intende quell'insieme di modifiche che un moto sismico generato ad una determinata profondità subisce attraversando gli strati sovrastanti fino alla superficie ed è finalizzato alla previsione del moto sismico atteso in superficie, da applicare alle strutture.

Per il presente studio è stato utilizzato il software RSL III – ID della Geostru, di cui si riporta lo schema riassuntivo della varie fasi previste :

- inserimento dei "Dati Generali" possibilmente con un file "geostruPS" che contiene le coordinate geografiche del sito oggetto ed i relativi parametri richiesti. Inserire come Stato Limite di Riferimento SLV ed il fattore dello spettro elastico $\eta = 1$ che corrisponde ad un fattore di smorzamento al 5 %;
- caricamento dei 7 accelerogrammi disponibili nella piattaforma WebGIS della Regione Emilia Romagna come prescritto nella DGR n.564 del 21/04/2021;
- scalatura degli accelerogrammi in base allo scale factor SF del grafico degli spettri relativi
- al set di accelerogrammi trovato;
- introduzione della stratigrafia, dal piano campagna fino al bedrock ($V_s = 800$ m/s) con i parametri minimi richiesti dal software. Per ogni strato occorre inserire lo spessore, il peso per unità di volume, la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . Le curve di degrado del modulo di taglio G e dello smorzamento D in funzione della deformazione di ogni strato sono fornite dalla banca dati del software. Se uno o più strati non sono presenti nella banca dati del software questi ultimi parametri possono essere inseriti dall'utente ;
- avvio del calcolo della funzione di trasferimento;
- calcolo degli spettri di Fourier e della loro modificazione tramite la funzione di amplificazione;
- calcolo, degli spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento, sia di input (bedrock) che in output (superficie).
- esportazione dei risultati, sia di input che di output, sotto forma di spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento ed accelerogrammi. Calcolo del Fattore di intensità spettrale che corrisponde al Fattore di Amplificazione FA calcolato dal rapporto fra l'intensità di Housner in input o superficie ed l'intensità di Housner in output o al bedrock;
- calcolo degli spettri di risposta in accelerazione normalizzati (spettro medio, di normativa con ξ pari al 5 % che corrisponde allo Spettro elastico o spettro di progetto.
- calcolo dello spettro verticale di progetto.
- Relazione finale

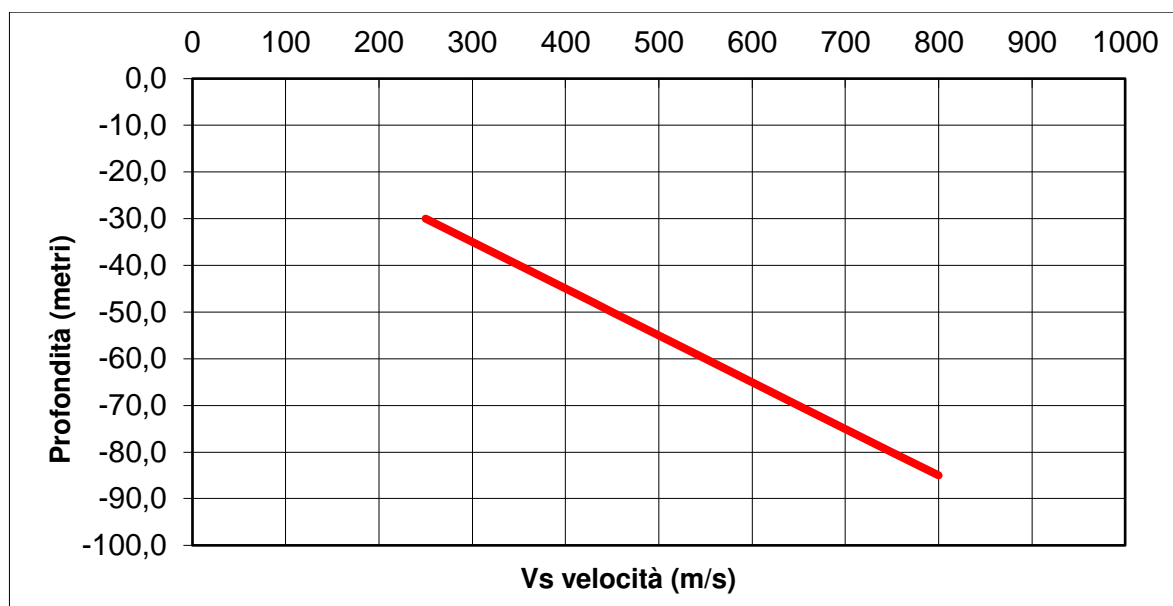
In allegato si riportano tutte le fasi sopradescritte nella relazione integrale della Risposta Sismica locale (RSL) effettuata, mentre di seguito si riportano solo le caratteristiche principali e le conclusioni della relazione stessa.

In prima analisi occorre identificare la profondità del bedrock sismico ($V_s = 800$ m./s.) poiché le prove geofisiche effettuate nel presente studio non hanno raggiunto il bedrock è stata effettuata una curva di regressione, come previsto dalla Delibera n.112/2007 della Regione Emilia-Romagna Allegato paragrafo 4.1.2, che cita testualmente *“Qualora le prove disponibili non abbiano raggiunto il bedrock, il profilo di V_s sarà estrapolato in profondità fino a valori di $V_s = 800$ m/s mantenendo lo stesso gradiente dell’ultimo tratto della curva sperimentale”*.

In sostanza si ipotizza un aumento lineare della velocità delle onde V_s con la profondità.

In pratica si considera un aumento del carico litostatico costante e proporzionale all’aumento della profondità, ipotesi verosimile nei primi 100/150 mt. di profondità).

Per la curva di regressione è stata considerata la tabella dati della prova MASW dove l’ultimo strato riscontrato è quello che presenta V_s di 248 m/s da 18,2 a 30 mt., con uno spessore di 11,8 metri. Considerando un aumento per ogni 10 metri di profondità di 100 V_s m/s la curva di regressione intercetta il bedrock alla profondità di 85,0 metri, in accordo con la prova HVSr 2.



Curva di regressione

Dopo aver inserito i parametri sismici riportati nel paragrafo 11.4) della presente relazione, in primo luogo sono stati ricavati i 7 accelerogrammi di progetto disponibili nella piattaforma WebGIS della Regione Emilia Romagna e sono stati inseriti nel software di elaborazione e successivamente è stata effettuata la loro scalatura o filtro.

In secondo luogo occorre definire il modello sismo stratigrafico che consiste nel definire stratigrafia e relativi valori delle onde V_s dal piano campagna o suolo fino al bedrock sismico, a 85,0 metri.

La stratigrafia ed i relativi valori delle onde V_s da utilizzare nel modello sismo stratigrafico, nei primi 40 metri di profondità, sono ricavati, dalla prova MASW, dalla prova CPT 2 e dal sondaggio a carotaggio continuo 256050 p442 ricavato dal “Catalogo dati Prove geognostiche e geotecniche della Regione Emilia Romagna”.

La stratigrafia ed i relativi valori delle onde V_s nei terreni presenti dalla profondità di 30 metri fino a 85 metri sono stati ricavati utilizzando curva di regressione sopra riportata e dalle sezioni litologico/stratigrafiche numero 1-1' e 2-2' della Regione Emilia Romagna, presenti nell'allegato 2 della Relazione Illustrativa della Microzonazione Sismica del Comune di Gambettola riportate nelle Tavole 11 e 12 della presente relazione.

Di seguito si riporta il modello sismo stratigrafico del sito in oggetto da utilizzare per l'analisi della RSL al III livello di approfondimento.

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO

Interpretazione stratigrafica effettuata dalla prova CPT2 e dal sondaggio 256050 p44. Vs ricavate dalla prova MASW					
N. Strato	Profondità	Litologia	H	γ	Vs
1	Da – p.c. a – 0,60 mt	Terreno superficiale e argille	0,6	16,5	160
2	Da – 0,6 a – 6,8 mt.	Argille/argille limose	6,2	17,8	180
3	Da – 6,8 a – 8,8 mt.	Sabbie	2,0	18,0	185
4	Da – 8,8 a – 15,0 mt.	Argille/argille limose	6,2	18,2	195
5	Da – 15,0 a – 18,0 mt.	Argille/argille limose	3,0	18,4	205
6	Da – 18,0 a – 28,0 mt.	Argille/argille limose	10,0	18,6	248
Interpretazione stratigrafica effettuata dalle sezioni 1-1' e 2-2' e dal sondaggio 256050 p44. Vs ricavate dalla curva di regressione					
N. Strato	Profondità	Litologia	H	γ	Vs
7	Da – 28,0 a – 35,0 mt.	Sabbie	7,0	19,0	300
8	Da – 35,0 a – 40,0 mt.	Argille/argille limose	5,0	19,5	350
Interpretazione stratigrafica effettuata dalle sezioni 1-1' e 2-2'. Vs ricavate dalla curva di regressione					
9	Da – 40,0 a – 50,0 mt.	Argille/argille limose	10,0	20,5	450
10	Da – 50,0 a – 55,0 mt.	Argille/argille limose	5,0	21,0	500
11	Da – 55,0 a – 60,0 mt.	Sabbie	5,0	21,5	550
12	Da – 60,0 a – 70,0 mt.	Terreni rocciosi	10,0	22,5	650
13	Da – 70,0 a – 80,0 mt.	Substrato roccioso	10,0	23,5	750
14	Da – 80,0 a – 85,0 mt.	Substrato roccioso	5,0	23,7	775
15	Da – 85 mt.	Bedrock Sismico.	-	24,0	800

Legenda:

H (metri) = Spessore strato ;

γ (KN /m³) = peso specifico di volume del terreno naturale.

Vs (m/s) = Velocità onde Vs

La profondità del substrato o bedrock sismico ricavato dalla la curva di regressione alla profondità di 85 metri corrisponde al bedrock sismico riscontrato nelle prove geofisiche HVSR riportate nel capitolo 10.2.

La fase successiva consiste nell'inserimento del modello sismo stratigrafico sopra riportato.

La definizione del tipo di materiale del modello sismo stratigrafico, e quindi dei modelli di decadimento (curva G/Gmax e smorzamento), è stata effettuata utilizzando l'archivio di curve di decadimento del modulo di taglio e dello smorzamento presenti nel software utilizzato.

Nel dettaglio sono stati utilizzati per gli strati di sabbie il modello "Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)", per le argille "Lombardia – Argille limose" ed infine per i terreni rocciosi "Idriss (1990) Rock".

I valori di G/Gmax e dello smorzamento con i relativi grafici o curve dei materiali utilizzati sono riportati nell'allegato relativo alla relazione della Risposta Sismica Locale.

Con questi dati è possibile effettuare il modello sismo stratigrafico da utilizzare per l'analisi della RSL al III livello di approfondimento, effettuata con il software RSLIII-ID della Geostru, riportato in allegato.

Le fasi successive consistono in;

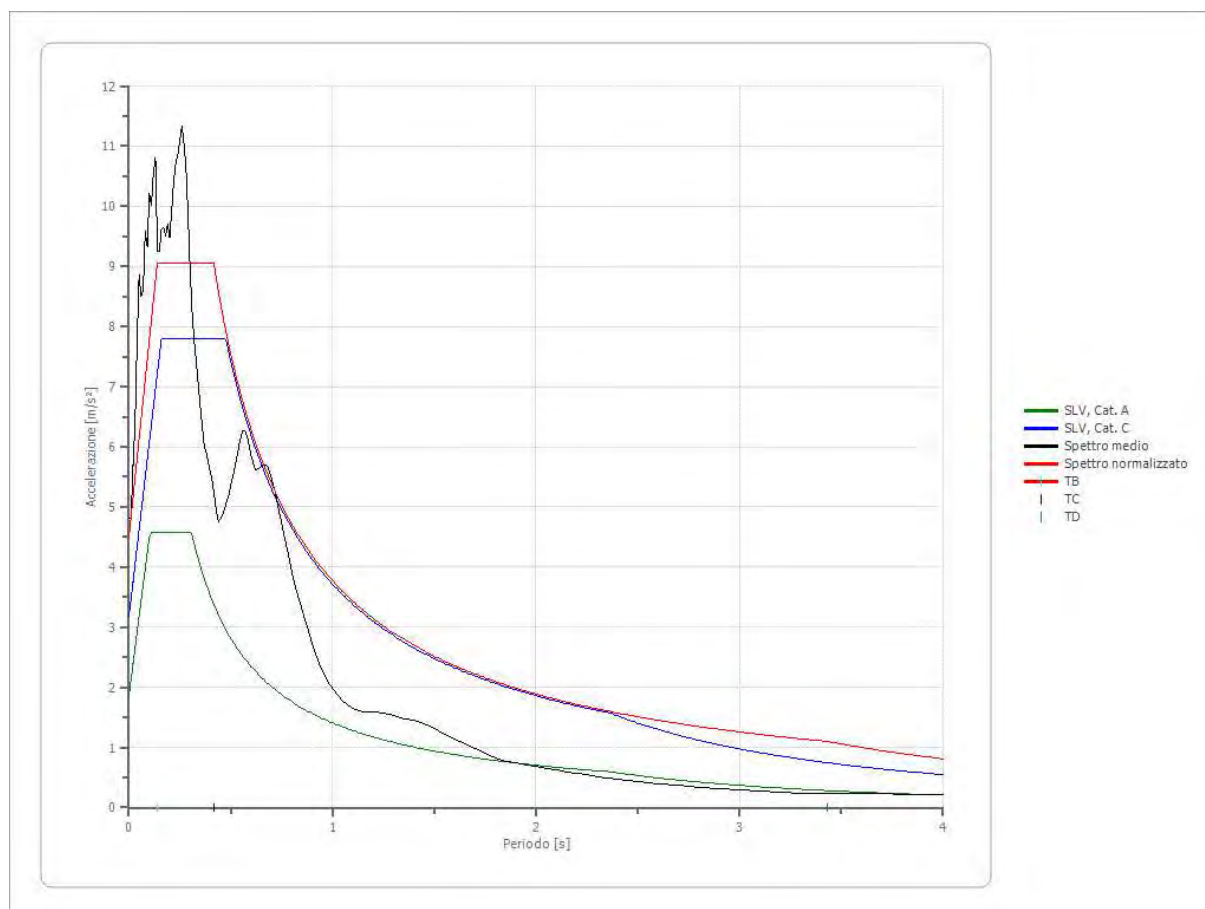
- utilizzo della funzione di amplificazione. Nei grafici non riportati è mostrata l'ampiezza ed il rapporto di amplificazione tra il bedrock ed il piano campagna per ognuno dei 7 accelerogrammi utilizzati;
- calcolo, degli spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento, sia di input (bedrock) che in output (superficie);
- calcolo, degli spettri di risposta in deformazione, tensione ed energia dissipata, sia di input (bedrock) che in output (superficie).

Le fasi finali successive consistono in:

- calcolo degli spettri di Fourier e della loro modificazione tramite la funzione di amplificazione. Fourier è un passaggio intermedio ovvero un'operazione che trasforma l'accelerazione dal dominio del tempo (vedi accelerogrammi) al dominio delle frequenze;
- calcolo, degli spettri di risposta per ogni accelerogramma, spettro medio e spettro normalizzato in accelerazione, velocità e spostamento, riportati in allegato;
- calcolo degli spettri di risposta in accelerazione normalizzati (spettro medio, di normativa con ξ pari al 5 % che corrisponde allo Spettro elastico o spettro di progetto. I singoli grafici ed i relativi valori di accelerazione sono riportati in allegato e calcolo dei "Fattori di amplificazione ICMS 2018", riportati in allegato;
- calcolo del Fattore di intensità spettrale che corrisponde al Fattore di Amplificazione FA calcolato dal rapporto fra l'intensità di Housner in input o superficie ed l'intensità di Housner in output o al bedrock, riportato in allegato;

Di seguito si riportano i grafici della RSL, dove sono riportati i 4 grafici normalizzati conclusivi.

Dalla comparazione fra i 4 grafici normalizzati, quello al bedrock "Categoria di suolo A (curva verde)", quello allo Stato Limite SLV "Categoria di suolo C e Categoria topografica T2 (curva blu)", quello normalizzato (curva rossa), ed infine il grafico dello spettro medio di risposta elastico (curva nera)", si evince che l'elaborazione è corretta.



.

12) Analisi della liquefazione

Si definisce liquefazione la diminuzione di resistenza al taglio causata dall'azione sismica che provoca l'aumento di pressione interstiziale in terreni saturi non coesivi, tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulli, fino a indurre cedimenti del terreno tali da provocare lesioni, anche molto significative, alle strutture presenti in sito

12.1) Normativa vigente in materia di liquefazione dei terreni

Secondo quanto testualmente riportato nel DGR 2193 del 2015 della Regione Emilia Romagna la probabilità che si manifestino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se è verificata almeno una delle seguenti condizioni testualmente riportate:

1. Magnitudo attesa inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - Frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 20$ oppure $q_{c1N} > 95$ oppure $V_{S1} > 200$ m/s;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 25$ oppure $q_{c1N} > 160$ oppure $V_{S1} > 220$ m/s.

$(N1)_{60}$, q_{c1N} , V_{S1} sono, rispettivamente, i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta q_c della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche.

In prima approssimazione tali valori possono essere calcolati con le seguenti equazioni:

$$N1_{60} = NSPT \cdot (p_a / \sigma'_{v0})^{0.5}$$

$$q_{c1N} = q_c \cdot (p_a / \sigma'_{v0})^{0.5}$$

$$V_{s1} = V_s \cdot (p_a / \sigma'_{v0})^{0.25}$$

essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{v0} la pressione efficace litostatica verticale.

4. Distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato in Figura 1a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1b per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.

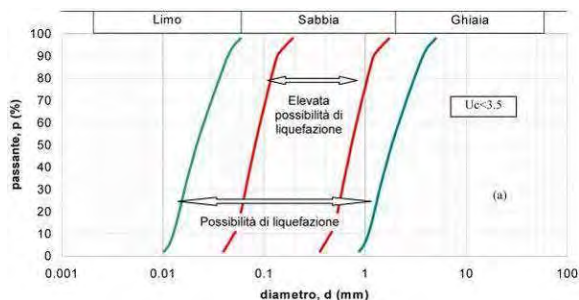


Figura 1a

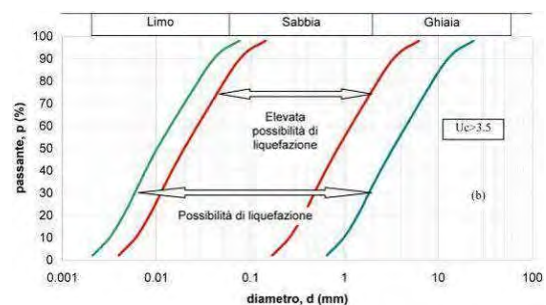


Figura 1b

5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

Anche nelle NTC 2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 "Esclusione dalla verifica a liquefazione", la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifestino le stesse circostanze presenti nel DGR della Regione Emilia Romagna sopra riportate.

12.2) I Metodi semplificati per il calcolo della liquefazione

Per verificare la possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione possono essere impiegate le procedure, che nell'Ingegneria Geotecnica Sismica, sono denominate 'Metodi semplificati'.

Tali metodi, applicabili solo nelle condizioni di piano di campagna orizzontale o con deboli pendenze e depositi olocenici, richiedono la valutazione, fino alla profondità critica da p.c., del coefficiente di sicurezza:

I metodi semplificati per il calcolo della liquefazione potenziale si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione, come quelle indotte dal terremoto e la resistenza a tali sollecitazioni e si basano sulla valutazione dei parametri relativi sia all'evento sismico sia alle caratteristiche del deposito o dei terreni esaminati.

In sintesi la resistenza dei terreni o depositi alla liquefazione viene determinata con parametri desunti da prove in sito e viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione (FSL o FS):tramite la seguente espressione generale

$$FS = (CRR / CRS) * MSF * K_0$$

dove:

FS = Fattore di sicurezza alla liquefazione:

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} , per terremoto di magnitudo $M=7.5$ e pressione efficace di riferimento $\sigma'_v = 1 \text{ atm.}$ ($CRR_{7.5} = \tau_{ult} / \sigma'_{v0}$)

In sostanza CRR indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico (resistenza alla liquefazione)

MSF è il fattore di scala della Magnitudo che è funzione, oltre che del valore della magnitudo dell'azione sismica di riferimento, anche del metodo di stima di CRR;

K_0 è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza può essere semplificata come

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

dove:

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio ciclica media indotta dall'azione sismica di riferimento, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} : In sostanza CSR indica la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma (sforzo che provoca la liquefazione dei terreni);

$a_{max s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna,;

g è l'accelerazione di gravità;

σ_{v0} e σ'_{v0} sono le tensioni verticali rispettivamente totale e efficace alla profondità considerata;

r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica per effetto della deformabilità del terreno che può essere stimato con relazioni empiriche associate ai diversi metodi di stima di CRR (e di MSF);

Il valore della tensione tangenziale media $\tau_{media} = 0.65 \tau_{max}$ al variare della profondità può essere più precisamente determinato con analisi di risposta sismica locale (analisi al III livello).

I vari metodi semplificati utilizzati per valutare il fattore di resistenza alla liquefazione (FSL o FS) differiscono fra loro sia per il modo di calcolare CSR, ma soprattutto per la metodologia con cui viene ricavata la resistenza del terreno alla liquefazione "CRR".

I principali parametri utilizzati sono il numero dei colpi nella prova SPT, il valore delle onde di taglio Vs, ma in genere si utilizzano le resistenze alla punta e laterale (q_c o R_p ed f_s) ricavate

utilizzando prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT), prove penetrometriche statiche elettriche (CPTE), che prevedono avanzamenti della punta di 1,0 cm. con relative letture delle resistenze alla punta e laterale e prove elettriche piezoconiche (CPTU), con lo stesso avanzamento della punta ma con la lettura anche della pressione dell'acqua (U) .

Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

In allegato sono riportati i Metodi semplificati previsti nel software CLiq della Società GEOLOGISMIKI, utilizzato per il presente studio.

Nella presente relazione il calcolo della liquefazione è stato effettuato con il di Metodo di "Boulanger e Idriss 2014", basato sui valori delle prove CPT, CPTE e/o CPTU,

I metodi semplificati sopra riportati possono essere utilizzati per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna.

12.3) Definizione e calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI o I_L)

Il calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI o I_L) viene utilizzato per interpretare i calcoli di valutazione della liquefazione in termini di gravità rispetto alla profondità.

Per stimare la gravità dell'estensione della liquefazione in un determinato sito, l'indice del potenziale di liquefazione, I_L o LPI, viene calcolato in base alla seguente equazione, riportata nel DGR 564/2021:

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

dove

$$W(z) = 200 / z_{crit} * (1 - z / z_{crit})$$

z_{crit} è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assuma pari a 20 m. nelle zone liquefacibili.

La variabile $F(z)$ vale (Sonmez, 2003):

$F(z) = 0$	Per	$FL \geq 1.2$
$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot FL)$	Per	$1.2 > FL \geq 0.95$
$F(z) = 1 - FL$	Per	$FL \leq 0.95$

In sostanza una volta ottenuto il valore del fattore di sicurezza FS o FL si calcola l'indice del potenziale di liquefazione IPL o IL che è una misura degli effetti e/o della pericolosità di liquefazione del sito,

IPL si calcola sulla base della larghezza e profondità delle zone liquefacibili e normalmente viene valutato fino a 20 mt. di profondità dal piano campagna ed è indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel sito in esame.

In base al valore stimato dell'indice del potenziale di liquefazione IL si definiscono le seguenti classi di pericolosità (Iwasaki), utilizzate nel presente studio:

$I_L = 0$	Non liquefacibile ($FL \geq 1,2$)
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$I_L > 15$	Potenziale molto alto

L'indice del potenziale di liquefazione LPI può essere ricavato anche tramite l'espressione di calcolo basata sulla metodologia sviluppata da Iwasaki (1982) ed adottata dall'AFPS.

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0,5_z) \times F_L \times d_z$$

dove

$F_L = 1$ quando FS è inferiore ad 1

$F_L = 0$ quando FS è maggiore di 1

Z è la profondità in metri

Iwasaki ha proposto quattro categorie discrete, basate sul valore numerico di LPI di seguito riportate.

$LPI = 0$	Il rischio di liquefazione è molto basso
$0 < LPI \leq 5$	Il rischio di liquefazione è basso
$5 < LPI \leq 15$	Il rischio di liquefazione è alto
$LPI > 15$	Il rischio di liquefazione è molto alto

12.4) Calcolo dei cedimenti indotti dall'azione sismica

Il calcolo dei cedimenti indotti dall'azione sismica eseguito con i Metodi semplificati, è soggetta ad incertezze.

Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna del terreno che consiste nella sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati.

In condizioni edometriche, ovvero in presenza di strati di terreno orizzontali ed omogenei, e con tensione costante in direzione orizzontale, le deformazioni laterali sono nulle e pertanto la deformazione verticale coincide con la deformazione volumetrica.

Tuttavia, con il software utilizzato, è possibile calcolare anche la deformazioni laterale, che nel sito oggetto di studio è poco significativa.

Per semplicità e con approssimazione accettabile, salvo casi di stratigrafie molto variabili in direzione orizzontale, per la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si può fare quindi riferimento alle condizioni edometriche.

In generale il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione, come una prova CPT, si ottiene dalla somma dei contributi dei cedimento stimati per i diversi strati liquefacibili del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi, che consiste in una profondità massima di 20 metri dal piano campagna.

Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione generale:

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta Z_i$$

in cui ε_{vi} è la deformazione volumetrica (e verticale) dello strato i-esimo e ΔZ_i il suo spessore.

I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche (e quindi verticali) di:

1. terreni granulari saturi,
2. terreni coesivi soffici, in genere organici .

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno,

I cedimenti per consolidazione di terreni coesivi molli o soffici saturi possono comportarsi come i terreni granulari saturi o possono richiedere tempi anche più o meno lunghi, in funzione sia delle proprietà geotecnico - meccaniche dei terreni stessi, sia delle condizioni stratigrafico - geotecniche presenti nel sito indagato. I terreni coesivi soffici o "molli" saturi presenti nell'area in oggetto di studio si comportano come i terreni granulari saturi,

I risultati devono essere localizzati nelle verticali esplorate ed a ciascuna di esse deve essere associato il valore del cedimento totale stimato.

Questi dati sono riportati nella relazione o report finale dell'analisi della liquefazione effettuata nel sito in oggetto, riportata in allegato.

Qualora il cedimento totale sia dovuto a più di uno dei meccanismi in precedenza elencati, dovrà essere specificato il valore di ciascuno dei due contributi. .

Si evidenzia, che per un accurato calcolo dei cedimenti, sia quelli edometrici che quelli indotti dall'azione sismica, occorre basarsi su valori ottenuti da prove di laboratorio effettuate su campioni indisturbati prelevati nel sito oggetto di studio .

Il calcolo dei cedimenti post sismici indotti dalle forze di taglio del sisma di progetto, ovvero con le caratteristiche riportate nei capitoli precedenti, effettuato nei terreni risultati liquefacibili, nel presente studio è stato eseguito utilizzando il metodo sviluppato da Bray e Macedo (2017),

In allegato si riporta tale metodologia di calcolo, presente nel software di elaborazione utilizzato..

12.5) Analisi della liquefazione sui terreni in esame

Per il calcolo della liquefazione sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- Magnitudo pari a 6.16;
- Accelerazione massima al suolo pari a 0,492g;
- FS = 1,20 invece di 1,0, come previsto dalle NTC2018.

Il livello della falda, parametro fondamentale per la liquefazione, (in assenza di falda i terreni non sono mai liquefacibili), è stato assunto pari a 1.0 metri dal piano campagna.

Nella prova CPT2 da - 0,6 a - 6,8 metri sono stati riscontrati terreni coesivi di natura argillosa/argilloso limosa, terreni non liquefacibili. Da - 6,8 a - 20,0 metri sono stati riscontrati terreni coesivi di natura argillosa con strati di sabbie argilloso limose e sabbie alle profondità di 6,8/7,4 - 8,0/8,6 - 15,2/16,2 - 18,0/18,8 - 16,0/16,6 - 19,4/20,0 metri, potenzialmente liquefacibili.

Nella prova CPT1 da - 0,6 a - 20,0 metri sono stati riscontrati terreni coesivi di natura argillosa/argilloso limosa, terreni non liquefacibili con strati e livelli di sabbie argilloso limose e sabbie alle profondità di 1,6/2,0 - 4,0/4,4 - 5,0/6,4 - 8,6/8,8 - 9,8/10,0 - 10,8/11,0 - 11,8/12,0 - 16,0/16,6 metri potenzialmente liquefacibili.

Dai calcoli effettuati sui valori delle prove CPT1 e CPT2 di seguito si riportano i valori dei principali parametri.

Valori di IPL (Indice del Potenziale di Liquefazione):

- 8,198 nella CPT 1 che corrisponde ad un rischio di liquefazione alto;
- 6,642 nella CPT 2 che corrisponde ad un rischio di liquefazione alto.

Valori di Cedimenti post - sismici:

- 6,51 cm. nella CPT 1;
- 6,50 cm. nella CPT 2.

Di seguito si riportano i grafici di IPL (Indice del Potenziale di Liquefazione) e dei Cedimenti post sismici, relativi alle prove CPT.

In allegato si riporta il Report del calcolo della liquefazione e dei vari parametri collegati, relativo all'analisi effettuata con i parametri sopra riportati e la falda impostata a quota 1.0 metri dal p.c. attuale.

13) CONCLUSIONI

Su incarico della Comune di Cesenatico (FC) è stata svolta la presente indagine geologico sismica per individuare le caratteristiche dei terreni di fondazione per il progetto di passerella ubicata sulla pista ciclabile negli argini del Rio Rigossa, nel Comune di Gambettola (FC).

Le prove geognostiche effettuate per individuare le caratteristiche geotecniche dei terreni oggetto di studio consistono nell'esecuzione di 2 prove penetrometriche statiche (CPT) alla profondità di 20,0 mt. dal piano campagna attuale,

e indagini geofisiche consistono in una prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e due prove HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio),

Le caratteristiche litologico/stratigrafiche e geotecniche, emerse dalle prove CPT, evidenziano al di sotto del terreno superficiale, la prevalenza di terreni coesivi (argille, argille sabbiose limose) alternati a strati e livelli decimetrici di terreni incoerenti (sabbie, sabbie argilloso limose).

Nel PAI Piano Stralcio di bacino per l'assetto Idrogeologico – PRGA Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - Variante 2016 – l'area in oggetto è classificata "Art. 6 - Aree di potenziale allagamento" con un "Tirante idrico di riferimento" fino a 50 cm. non prevede vincoli.

Dal punto di vista geologico - geomorfologico i terreni nell'area in esame consistono in depositi terrazzati e di piana alluvionale, appartenenti al Subsistema di Ravenna (AES8) - AES8a - Unità di Modena.

La falda freatica è stata riscontrata alla profondità di 3,6/3,7 metri dal piano campagna attuale, ma è stata considerata nel calcolo della liquefazione alla profondità di 1,5 metri.

I terreni presenti nell'area in progetto presentano un alto rischio di liquefazione e cedimenti post sismici calcolati in 6,5 cm.

In relazione alla tipologia di struttura in progetto, alla capacità portante ed ai cedimenti devono essere impostate fondazioni su pali

Dalla presente relazione, effettuata secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni, risulta quanto segue:

- I terreni in esame sono classificabili come appartenenti alla categoria di sottosuolo "C" ed alla categoria topografica "T2".

Come previsto nella Microzonazione Sismica del Comune di Gambettola i parametri sismici sono stati ricavati tramite la Risposta Sismica Locale con analisi di terzo livello di approfondimento effettuata per il presente studio e riportata in allegato.

Cesena, Dicembre 2024

Relazione tecnica firmata digitalmente

Dott. Geol. Andrea Nisi

Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna

n. 793 Albo - Sezione A

ALLEGATI



Software RSL III - ID

.

**Progetto di passerella ubicata sulla pista ciclabile negli argini
del Rio Rigossa - Comune di Gambettola (FC)
Risposta Sismica Locale (RSL)
Approfondimento al III Livello**

INTRODUZIONE

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:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. 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;
3. 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:

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

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:

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

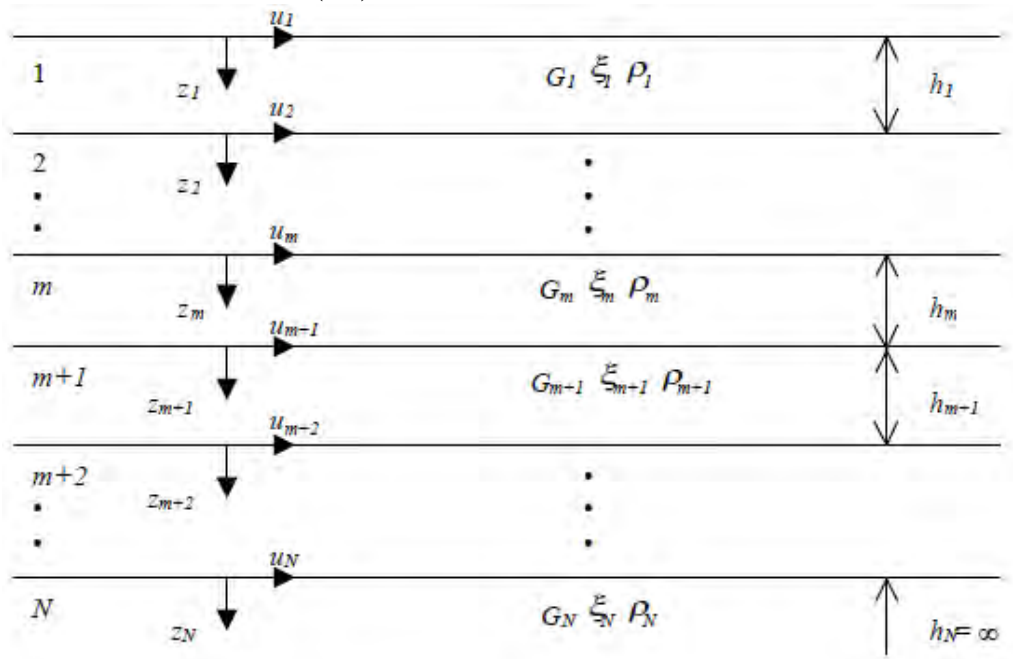


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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

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:

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

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

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.

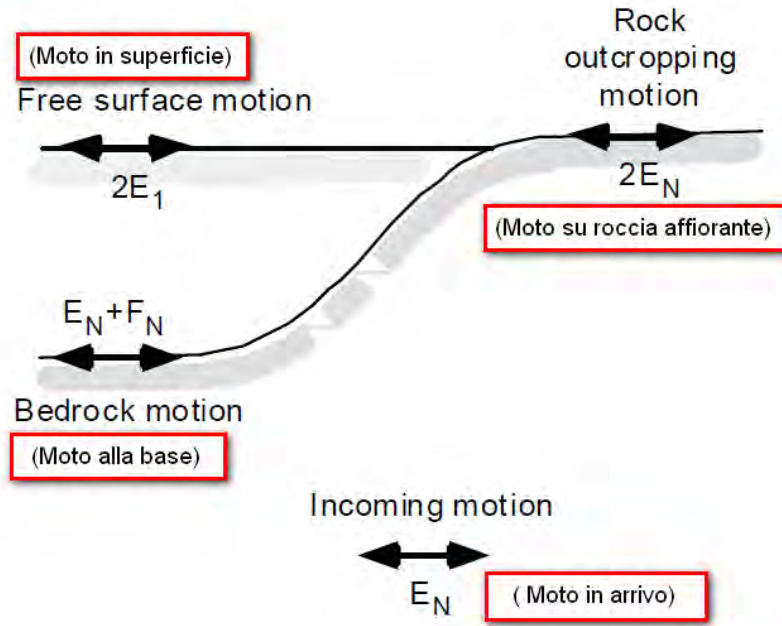


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

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

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

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

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

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.

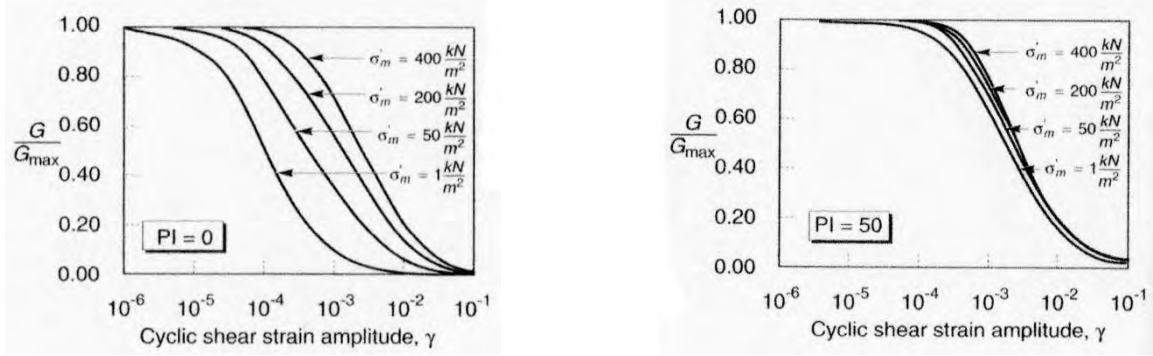


Figura 3: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

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

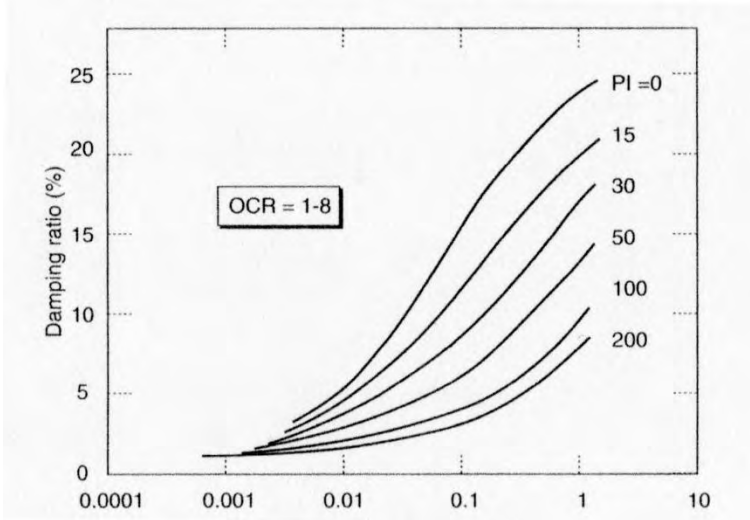


Figura 4: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

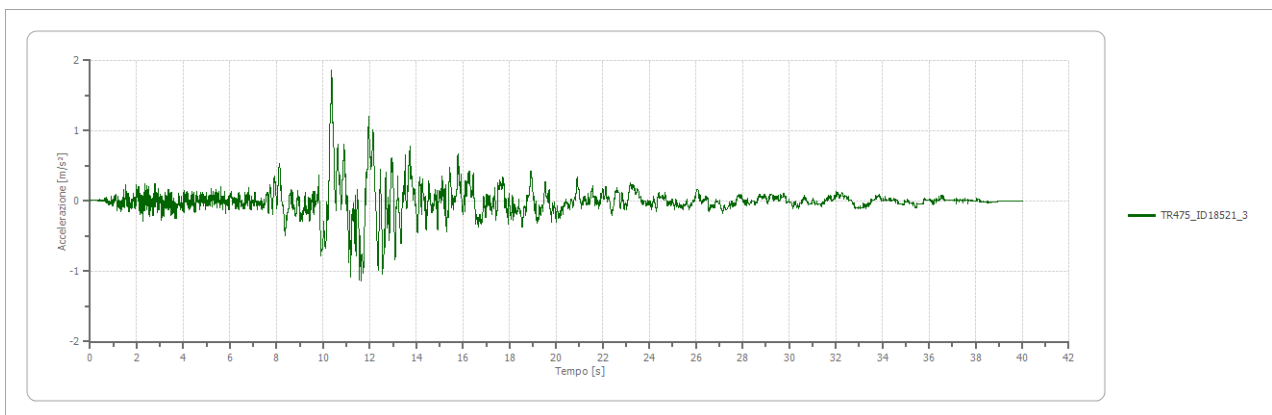
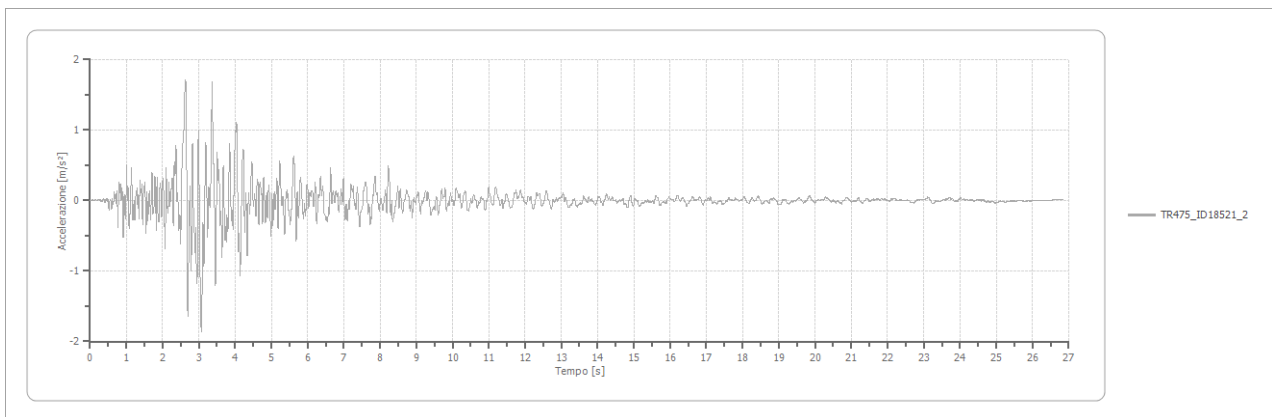
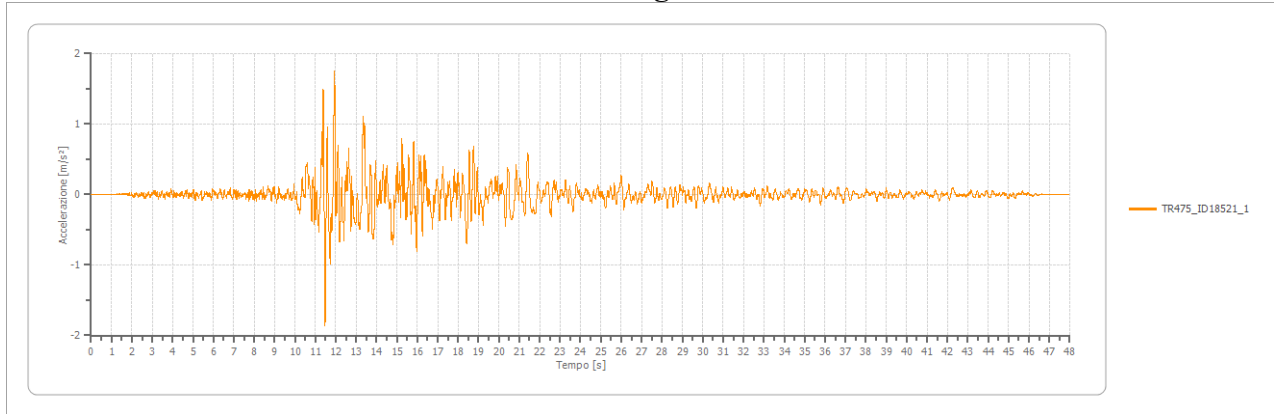
Dati generali

Progetto di passerella sulla pista ciclabile negli argini del Rio Rigossa, nel Comune di Gambettola (FC).

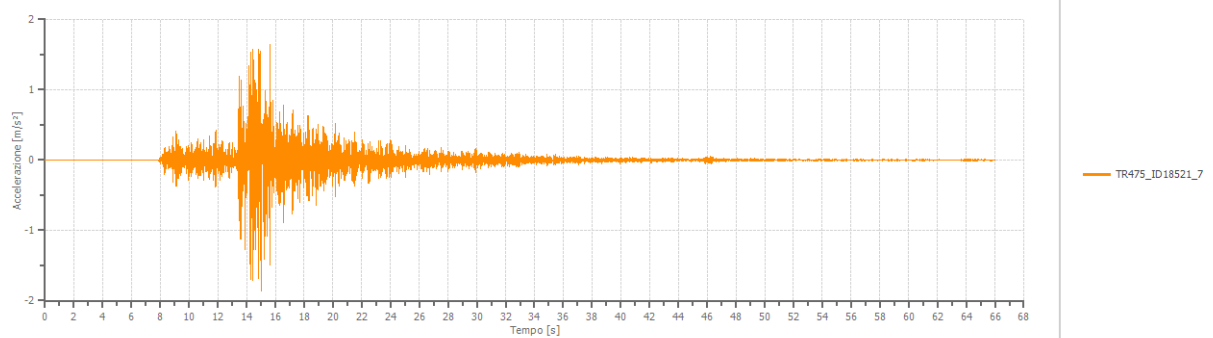
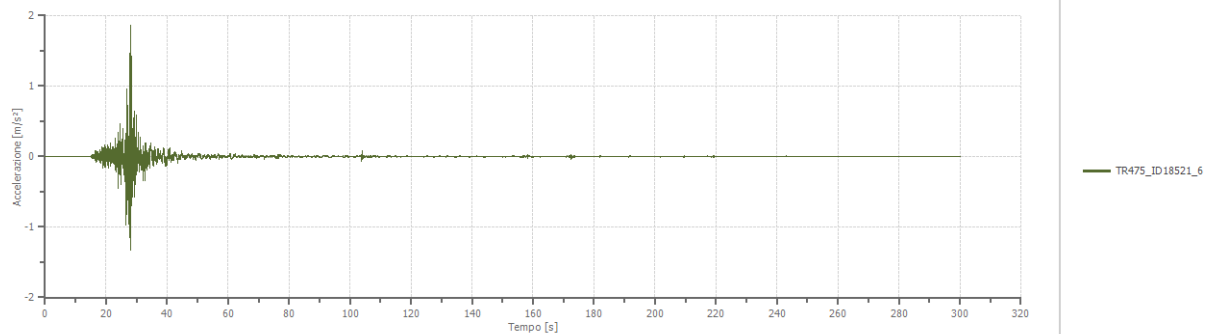
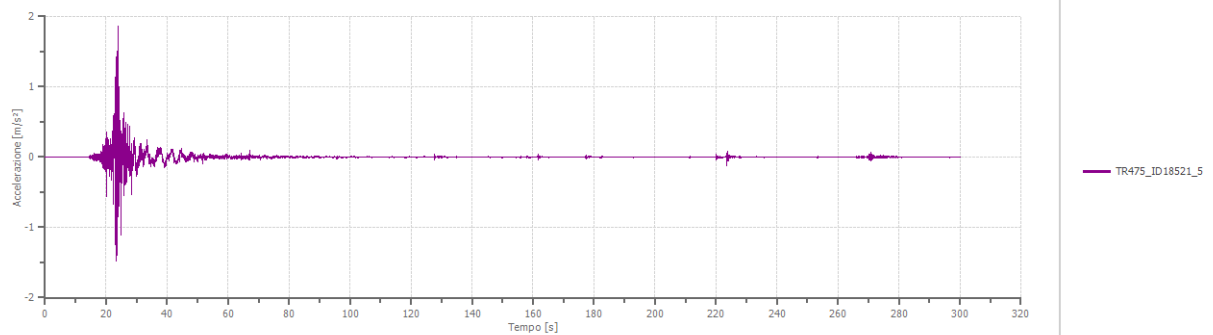
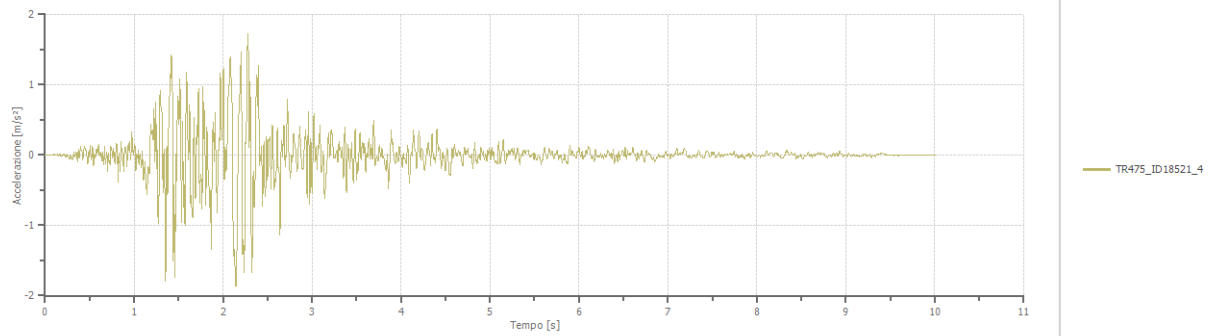
Argine destro Rio Rigossa – Coordinate WGS84: Latitudine: 44.114953 - Longitudine: 12.336476

Argine sinistro Rio Rigossa – Coordinate WGS84: Latitudine: 44.114864 - Longitudine: 12.336639

Accelerogrammi



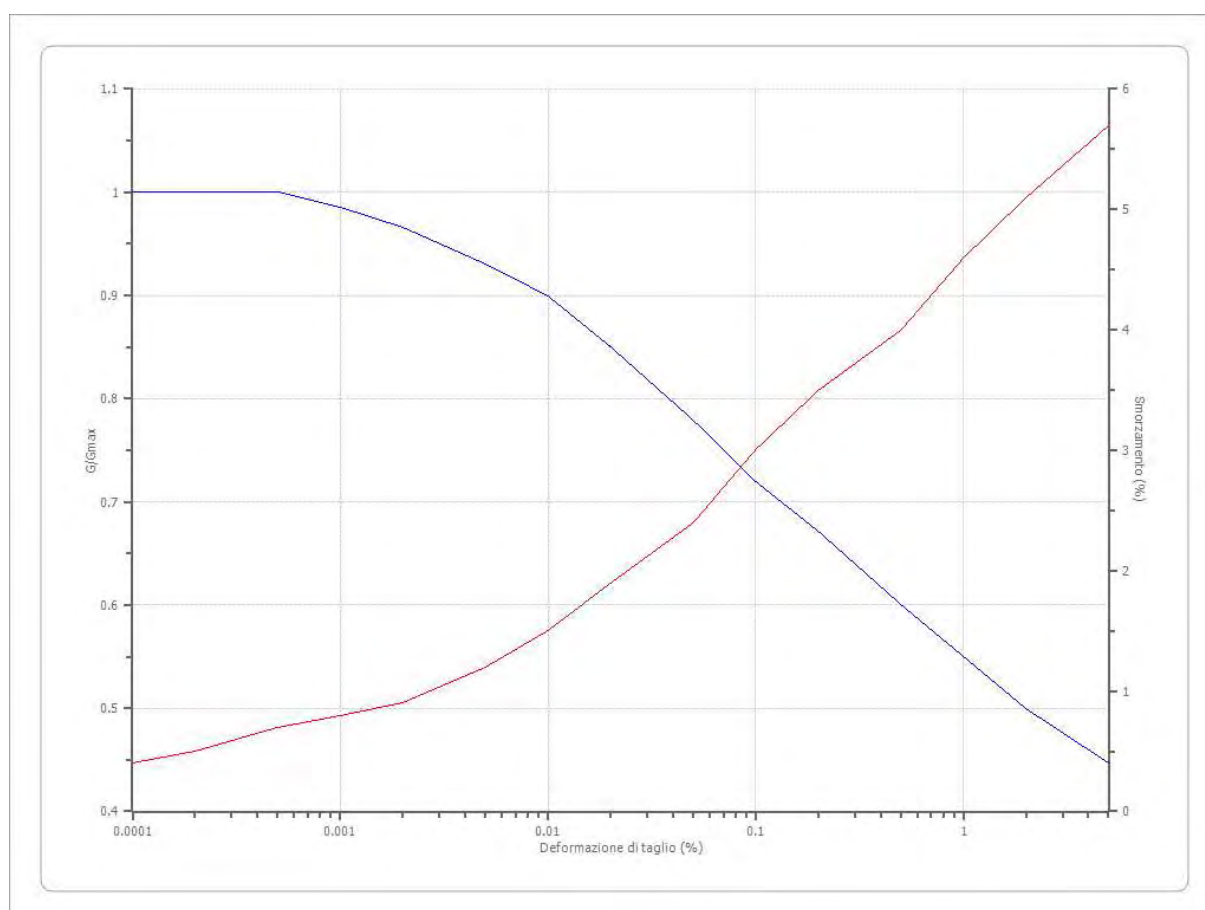
Relazione geologico sismica per passerella ubicata sulla pista ciclabile sul Rio Rigossa - Gambettola (FC)



Terreni

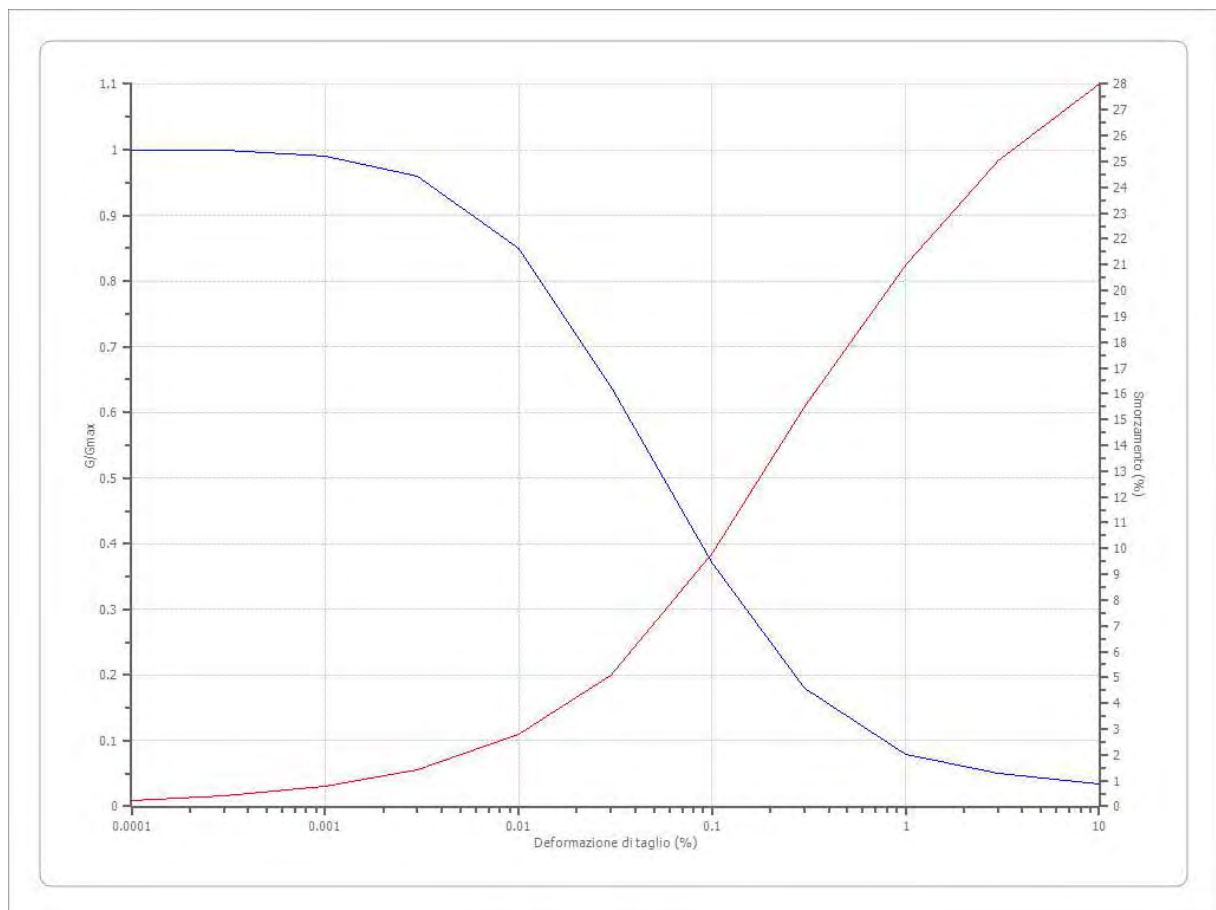
Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



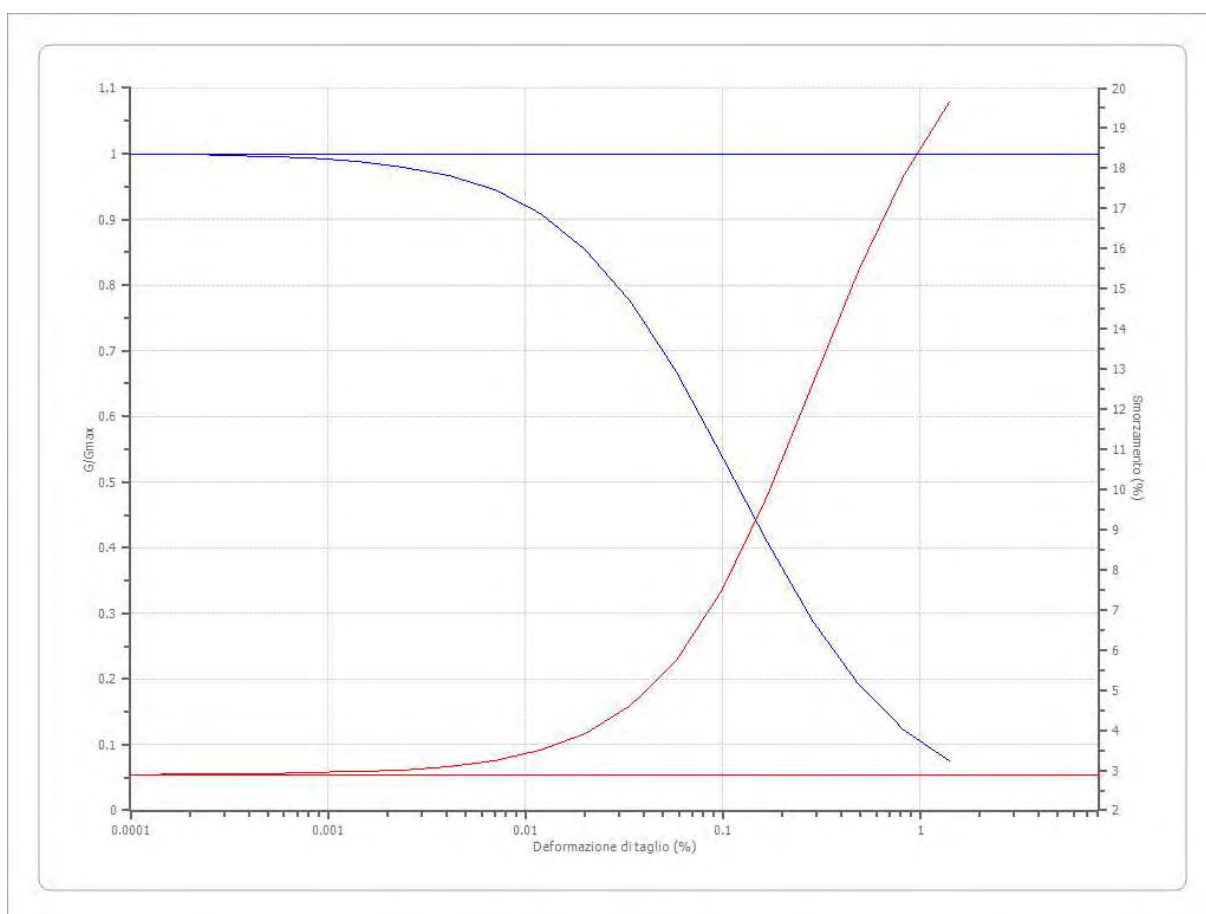
Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

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



Lombardia - Argille limose

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
8.000	1.000	8.000	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



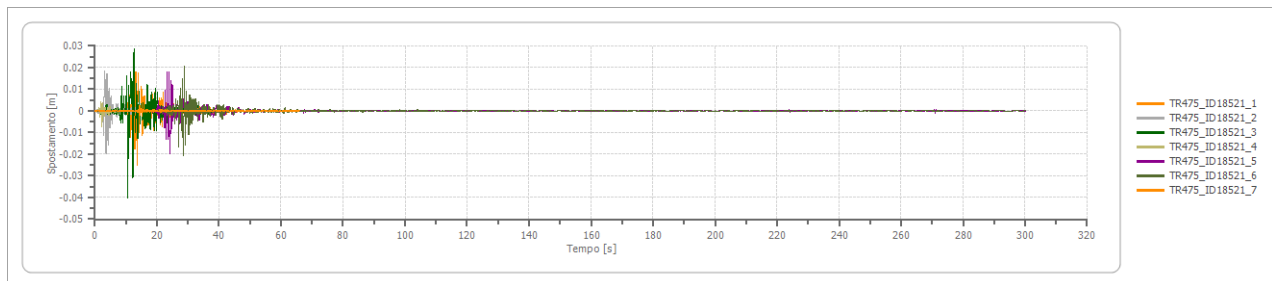
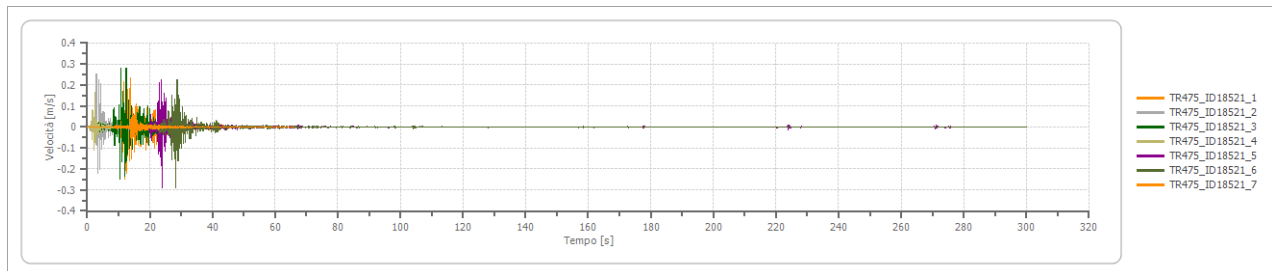
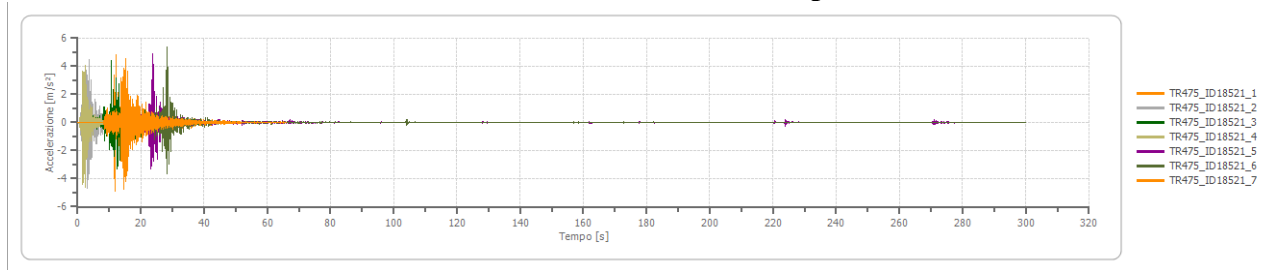
Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol.[kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione Verticale [kPa]
1	--	0.6	Lombardia – Argille limose	43.06	16.5	160.0	5.0
2	6.8	6.2	Lombardia – Argille limose	58.79	17.8	180.0	65.1
3	8.8	2.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	62.80	18.0	185.0	138.3
4	15.0	6.2	Lombardia – Argille limose	70.55	18.2	195.0	212.7
5	18.0	3.0	Lombardia – Argille limose	78.82	18.4	205.0	296.7
6	28.0	10.0	Lombardia – Argille limose	117.24	18.7	248.0	417.8
7	35.0	7.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	174.31	19.0	300.0	577.8
8	40.0	5.0	Lombardia – Argille limose	243.50	19.5	350.0	693.1
9	50.0	10.0	Lombardia – Argille limose	423.17	20.5	450.0	844.3
10	55.0	5.0	Lombardia – Argille limose	535.17	21.0	500.0	999.3
11	60.0	5.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	662.97	21.5	550.0	1105.6
12	70.0	10.0	Idriss (1990) Rock	969.04	22.5	650.0	1271.8
13	80.0	10.0	Idriss (1990) Rock	1347.48	23.5	750.0	1501.8
14	85.0	5.0	Idriss (1990) Rock	1451.05	23.7	775.0	1678.6
15	oo	--	Smorzamento costante	1565.75	24.0	800.0	1737.8

Strato rilevamento accelerogramma: 15 Affiorante

Profilo	Velocità onde di taglio	Tensione verticale
0.60 [m]	160.0 [m/s]	5.0 [kPa]
6.80 [m]	180.0 [m/s]	65.1 [kPa]
8.80 [m]	185.0 [m/s]	138.3 [kPa]
15.00 [m]	195.0 [m/s]	212.7 [kPa]
18.00 [m]	205.0 [m/s]	296.7 [kPa]
28.00 [m]	248.0 [m/s]	417.8 [kPa]
35.00 [m]	300.0 [m/s]	577.8 [kPa]
40.00 [m]	350.0 [m/s]	693.1 [kPa]
50.00 [m]	450.0 [m/s]	844.3 [kPa]
55.00 [m]	500.0 [m/s]	999.3 [kPa]
60.00 [m]	550.0 [m/s]	1105.6 [kPa]
70.00 [m]	650.0 [m/s]	1271.8 [kPa]
80.00 [m]	750.0 [m/s]	1501.8 [kPa]
85.00 [m]	775.0 [m/s]	1678.6 [kPa]
oo	800.0 [m/s]	1737.8 [kPa]

Grafici Accelerazione - Velocità - Spostamento



Grafici Deformazione - Tensione – Energia dissipata

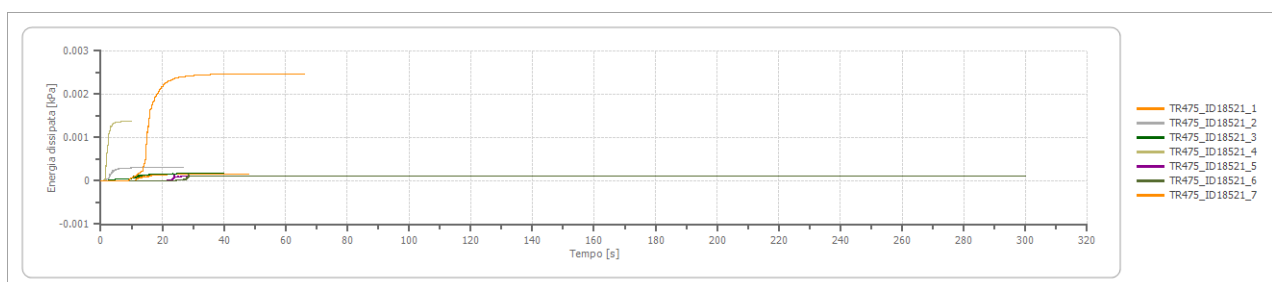
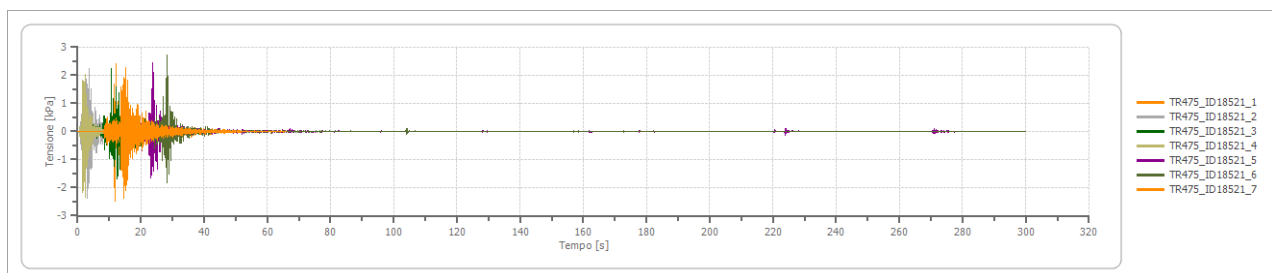
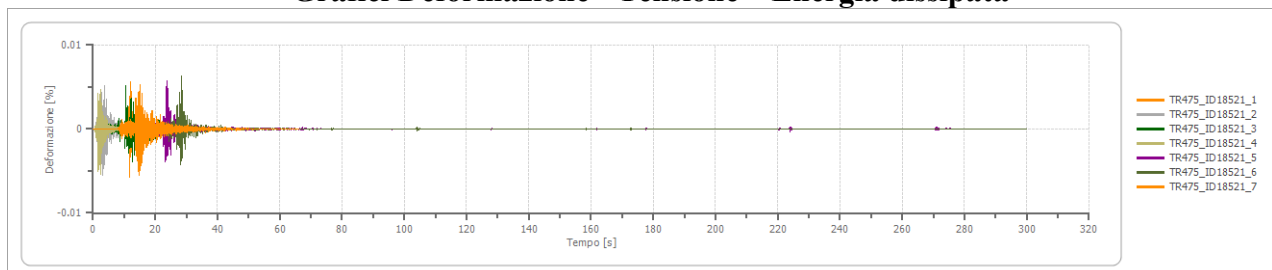
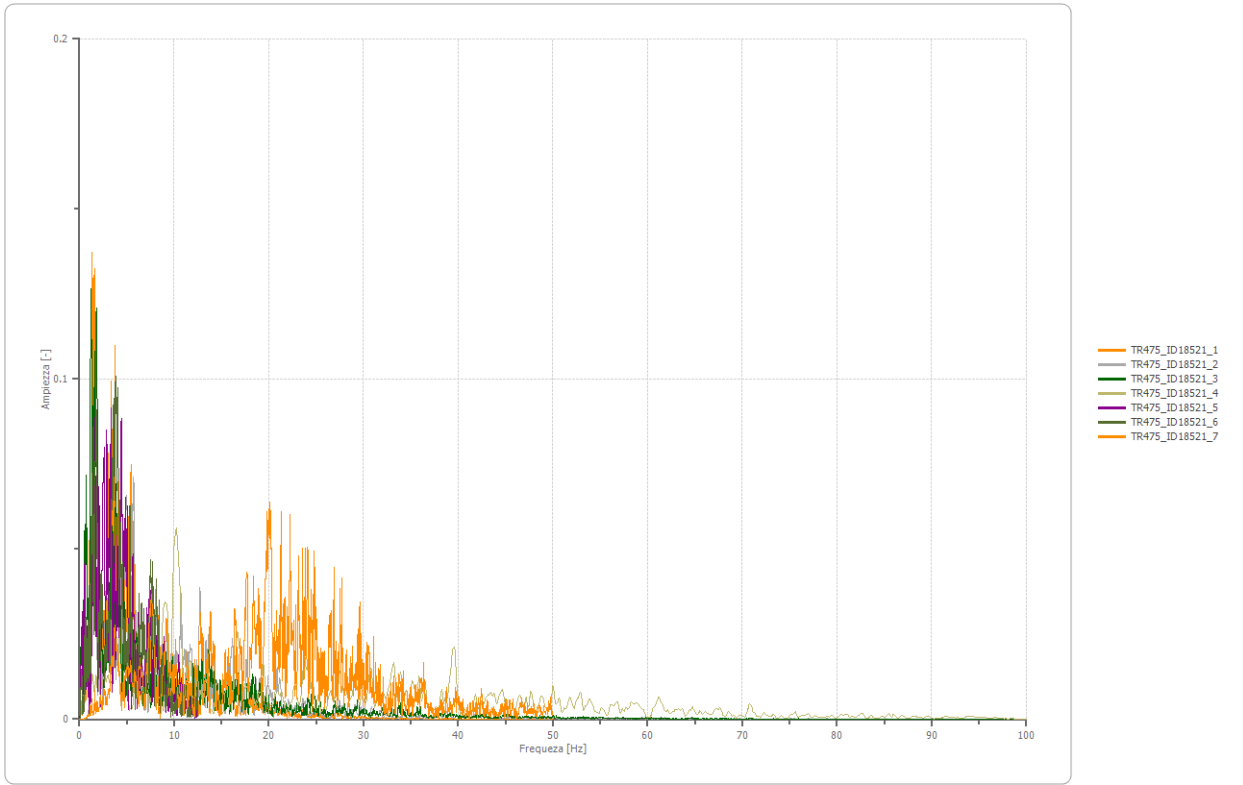
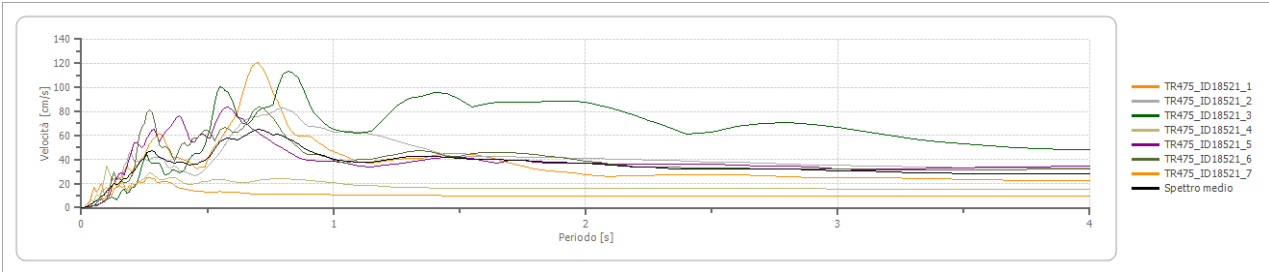
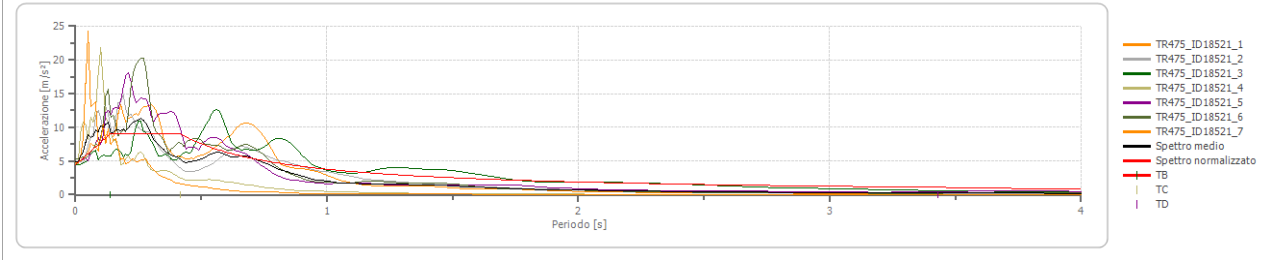
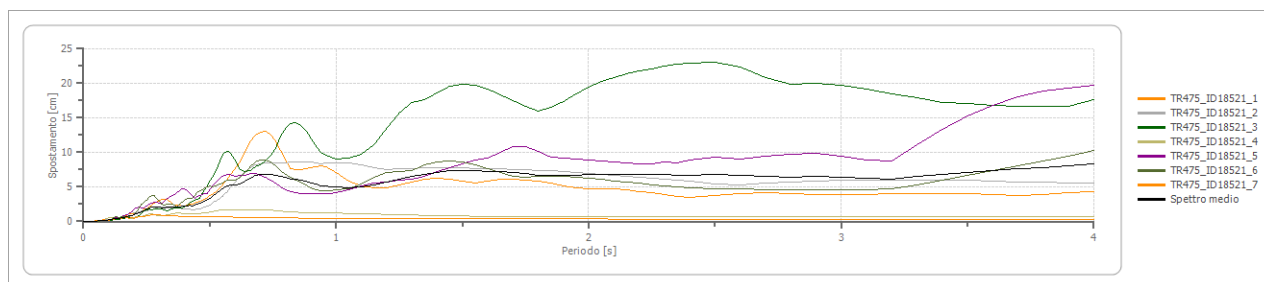


Grafico Trasformata di Fourier



Grafici degli spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento,





Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Accelerazione spettro medio [m/s ²]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	Accelerazione spettro normalizzato [m/s ²]
0.100	0.500	0.055	0.138	0.200	2.488
0.500	1.000	0.091	0.272	0.500	2.985
0.500	1.500	0.190	0.475	0.333	2.504

Elaborazione

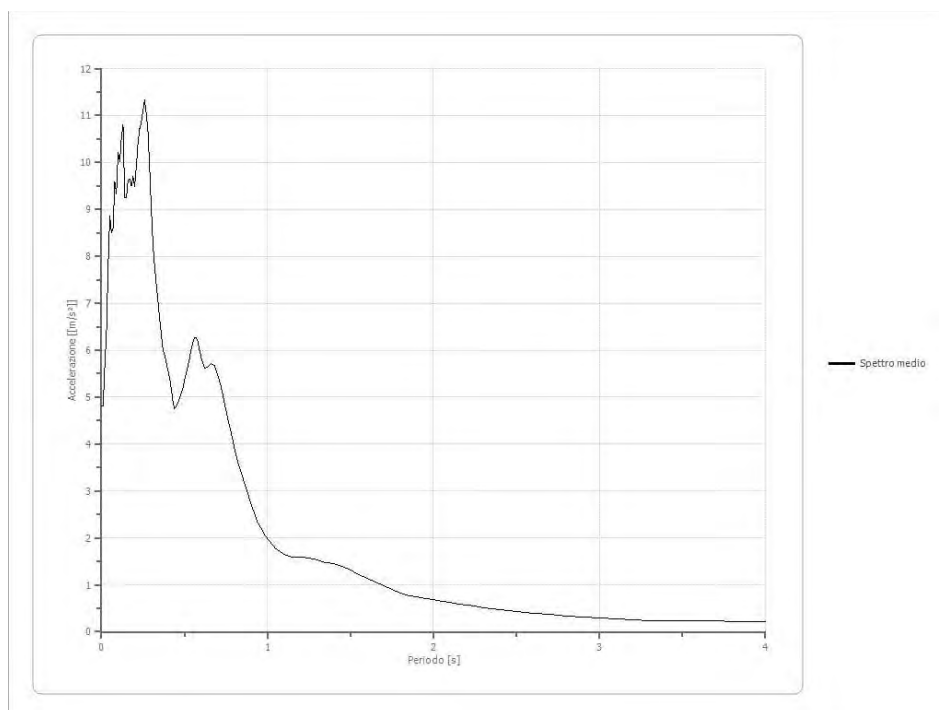
Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza --

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.240 [s]
Tvi	1.550 [s]
Tao	0.260 [s]
Tvo	0.700 [s]
Sami	3.750 [m/s ²]
Svmi	0.225 [m/s]
Samo	9.045 [m/s ²]
Svmo	0.601 [m/s]
Fa	2.412 [-]
Fv	2.668 [-]
TB	0.139 [s]
TC	0.417 [s]
TD	3.431 [s]
SA(0)	4.490 [m/s ²]
SA(TB)	9.045 [m/s ²]

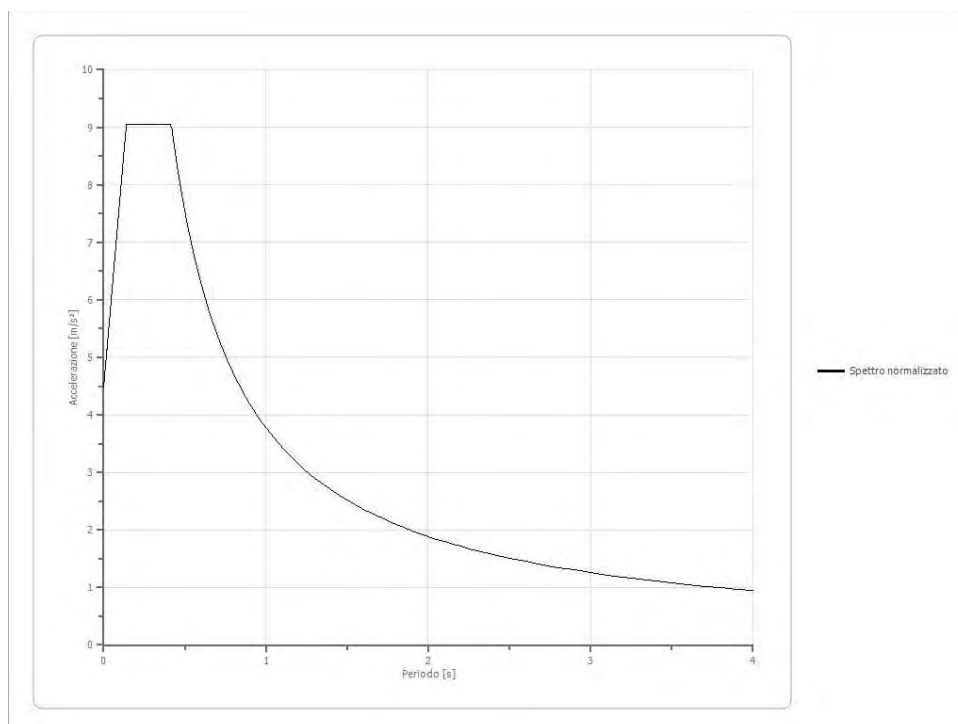
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]
0.00	4.8181	0.26	11.3273	0.52	5.6581	0.98	2.0907	2.25	0.5405
0.01	4.8176	0.27	11.0426	0.53	5.8215	1.00	1.9834	2.30	0.5179
0.02	5.7053	0.28	10.6683	0.54	6.0147	1.05	1.7678	2.35	0.4923
0.03	6.3877	0.29	9.8765	0.55	6.1654	1.10	1.6534	2.40	0.4736
0.04	7.7954	0.30	8.9891	0.56	6.2579	1.15	1.5995	2.50	0.4416
0.05	8.8590	0.31	8.2415	0.57	6.2622	1.20	1.5868	2.60	0.4006
0.06	8.4953	0.32	7.7958	0.58	6.1785	1.25	1.5717	2.70	0.3641
0.07	8.5971	0.33	7.4235	0.60	5.8593	1.30	1.5241	2.80	0.3349
0.08	9.5846	0.34	7.0595	0.62	5.6092	1.35	1.4773	2.90	0.3140
0.09	9.3336	0.35	6.6833	0.64	5.6409	1.40	1.4443	3.00	0.2915
0.10	10.2102	0.36	6.3471	0.66	5.7123	1.45	1.3913	3.10	0.2693
0.11	10.0183	0.37	6.0164	0.68	5.6824	1.50	1.3093	3.20	0.2511
0.12	10.5182	0.38	5.9214	0.70	5.4880	1.55	1.2145	3.30	0.2434
0.13	10.7952	0.39	5.7433	0.72	5.2221	1.60	1.1301	3.40	0.2406
0.14	9.2585	0.40	5.5690	0.74	4.8997	1.65	1.0533	3.50	0.2370
0.15	9.2425	0.41	5.4135	0.76	4.5607	1.70	0.9792	3.60	0.2324
0.16	9.6222	0.42	5.1824	0.78	4.2526	1.75	0.9054	3.70	0.2271
0.17	9.6512	0.43	4.9044	0.80	3.9263	1.80	0.8287	3.80	0.2202
0.18	9.5098	0.44	4.7623	0.82	3.6250	1.85	0.7752	3.90	0.2140
0.19	9.7027	0.45	4.8181	0.84	3.4079	1.90	0.7386	4.00	0.2109
0.20	9.4924	0.46	4.8616	0.86	3.1890	1.95	0.7080		
0.21	9.9245	0.47	4.9781	0.88	2.9618	2.00	0.6819		
0.22	10.4265	0.48	5.0956	0.90	2.7357	2.05	0.6540		
0.23	10.7203	0.49	5.1761	0.92	2.5254	2.10	0.6258		
0.24	10.8651	0.50	5.3580	0.94	2.3405	2.15	0.5971		
0.25	11.0921	0.51	5.4948	0.96	2.2108	2.20	0.5678		



Spettro normalizzato di risposta elastico

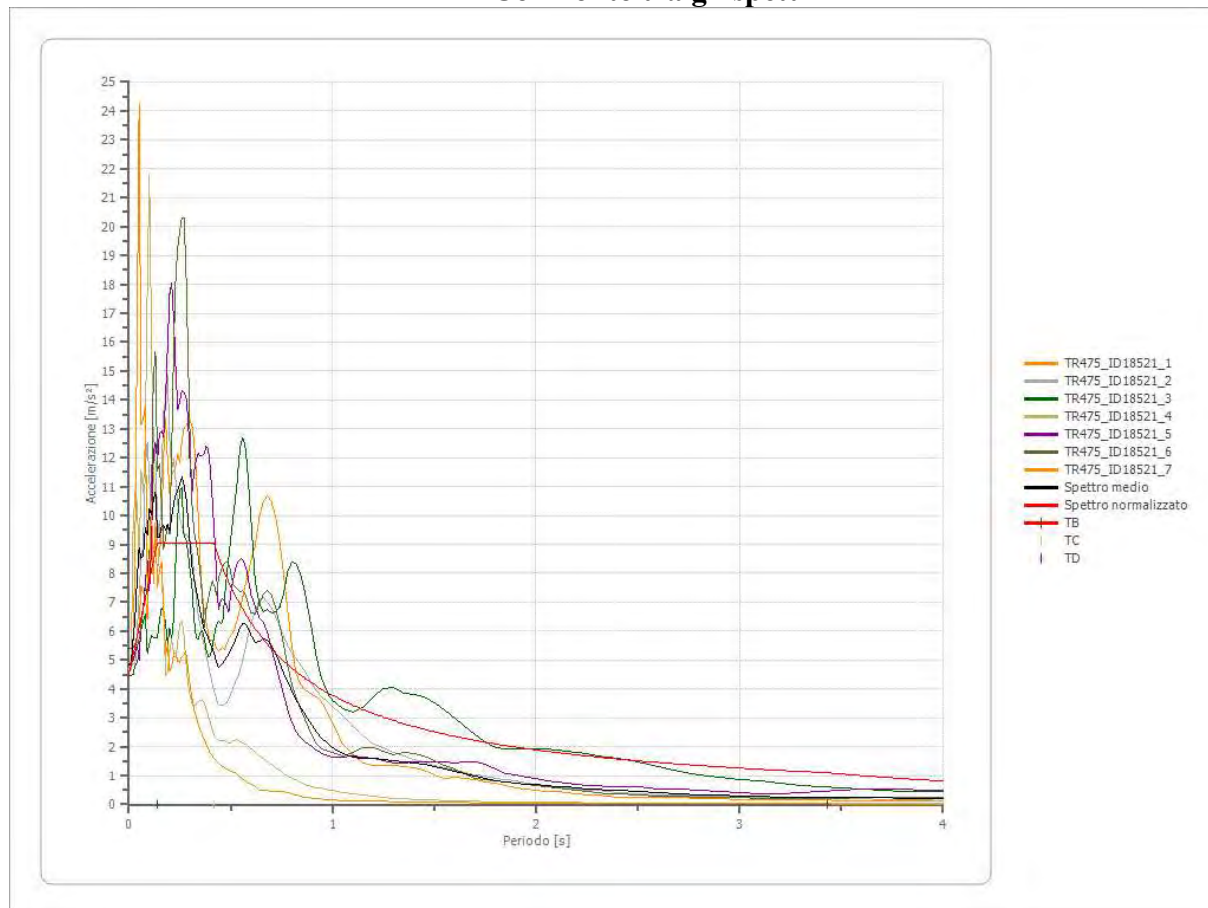
Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]
0.00	4.4901	0.26	9.0449	0.52	7.2580	0.98	3.8512	2.25	1.6774
0.01	4.8176	0.27	9.0449	0.53	7.1211	1.00	3.7742	2.30	1.6409
0.02	5.1451	0.28	9.0449	0.54	6.9892	1.05	3.5944	2.35	1.6060
0.03	5.4726	0.29	9.0449	0.55	6.8621	1.10	3.4311	2.40	1.5726
0.04	5.8000	0.30	9.0449	0.56	6.7396	1.15	3.2819	2.50	1.5097
0.05	6.1275	0.31	9.0449	0.57	6.6213	1.20	3.1451	2.60	1.4516
0.06	6.4550	0.32	9.0449	0.58	6.5072	1.25	3.0193	2.70	1.3978
0.07	6.7824	0.33	9.0449	0.60	6.2903	1.30	2.9032	2.80	1.3479
0.08	7.1099	0.34	9.0449	0.62	6.0874	1.35	2.7957	2.90	1.3014
0.09	7.4374	0.35	9.0449	0.64	5.8971	1.40	2.6958	3.00	1.2581
0.10	7.7648	0.36	9.0449	0.66	5.7184	1.45	2.6029	3.10	1.2175
0.11	8.0923	0.37	9.0449	0.68	5.5502	1.50	2.5161	3.20	1.1794
0.12	8.4198	0.38	9.0449	0.70	5.3917	1.55	2.4349	3.30	1.1437
0.13	8.7472	0.39	9.0449	0.72	5.2419	1.60	2.3589	3.40	1.1100
0.14	9.0449	0.40	9.0449	0.74	5.1002	1.65	2.2874	3.50	1.0783
0.15	9.0449	0.41	9.0449	0.76	4.9660	1.70	2.2201	3.60	1.0484
0.16	9.0449	0.42	8.9861	0.78	4.8387	1.75	2.1567	3.70	1.0200
0.17	9.0449	0.43	8.7771	0.80	4.7177	1.80	2.0968	3.80	0.9932
0.18	9.0449	0.44	8.5776	0.82	4.6026	1.85	2.0401	3.90	0.9677
0.19	9.0449	0.45	8.3870	0.84	4.4931	1.90	1.9864	4.00	0.9435
0.20	9.0449	0.46	8.2047	0.86	4.3886	1.95	1.9355		
0.21	9.0449	0.47	8.0301	0.88	4.2888	2.00	1.8871		
0.22	9.0449	0.48	7.8628	0.90	4.1935	2.05	1.8411		
0.23	9.0449	0.49	7.7024	0.92	4.1024	2.10	1.7972		
0.24	9.0449	0.50	7.5483	0.94	4.0151	2.15	1.7554		
0.25	9.0449	0.51	7.4003	0.96	3.9314	2.20	1.7155		



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
4.490	2.014388	(0.417)	0.139	0.417	3.431	4.490	9.045	2.409

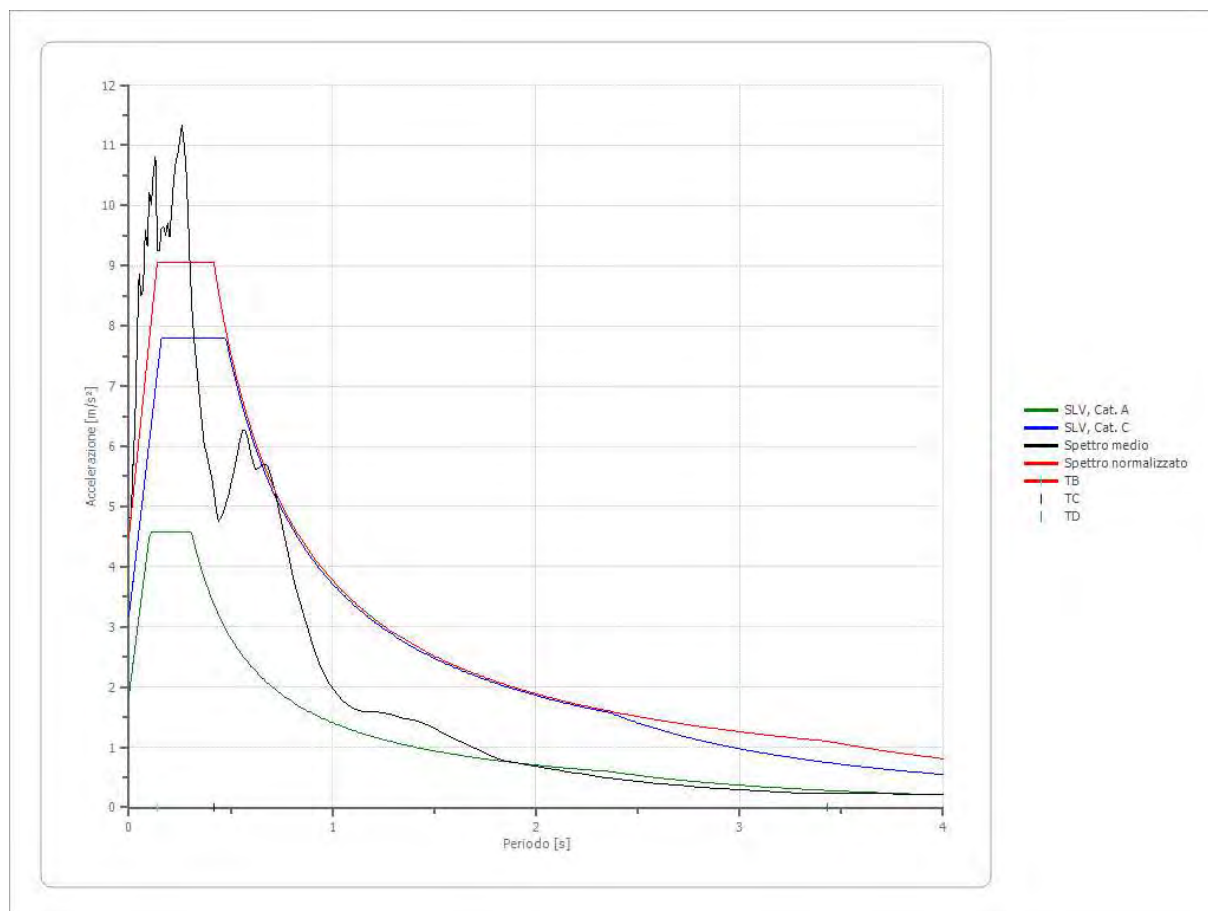
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguar dia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [m/s ²]	0.540	0.687	1.864	2.433	0.540	0.687	1.864	2.433
Fo	2.448	2.43	2.452	2.471	2.448	2.43	2.452	2.471
Tc* [s]	0.266	0.284	0.308	0.316	0.266	0.284	0.308	0.316
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.42	1.33
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.63	1.59	1.55	1.54
TB [s]	0.089	0.095	0.103	0.105	0.144	0.151	0.159	0.162
TC [s]	0.266	0.284	0.308	0.316	0.432	0.452	0.477	0.485
TD [s]	1.820	1.880	2.360	2.592	1.820	1.880	2.360	2.592
Se(0) [m/s ²]	0.540	0.687	1.864	2.433	0.972	1.237	3.177	3.890
Se(TB) [m/s ²]	1.322	1.669	4.571	6.012	2.379	3.005	7.791	9.612

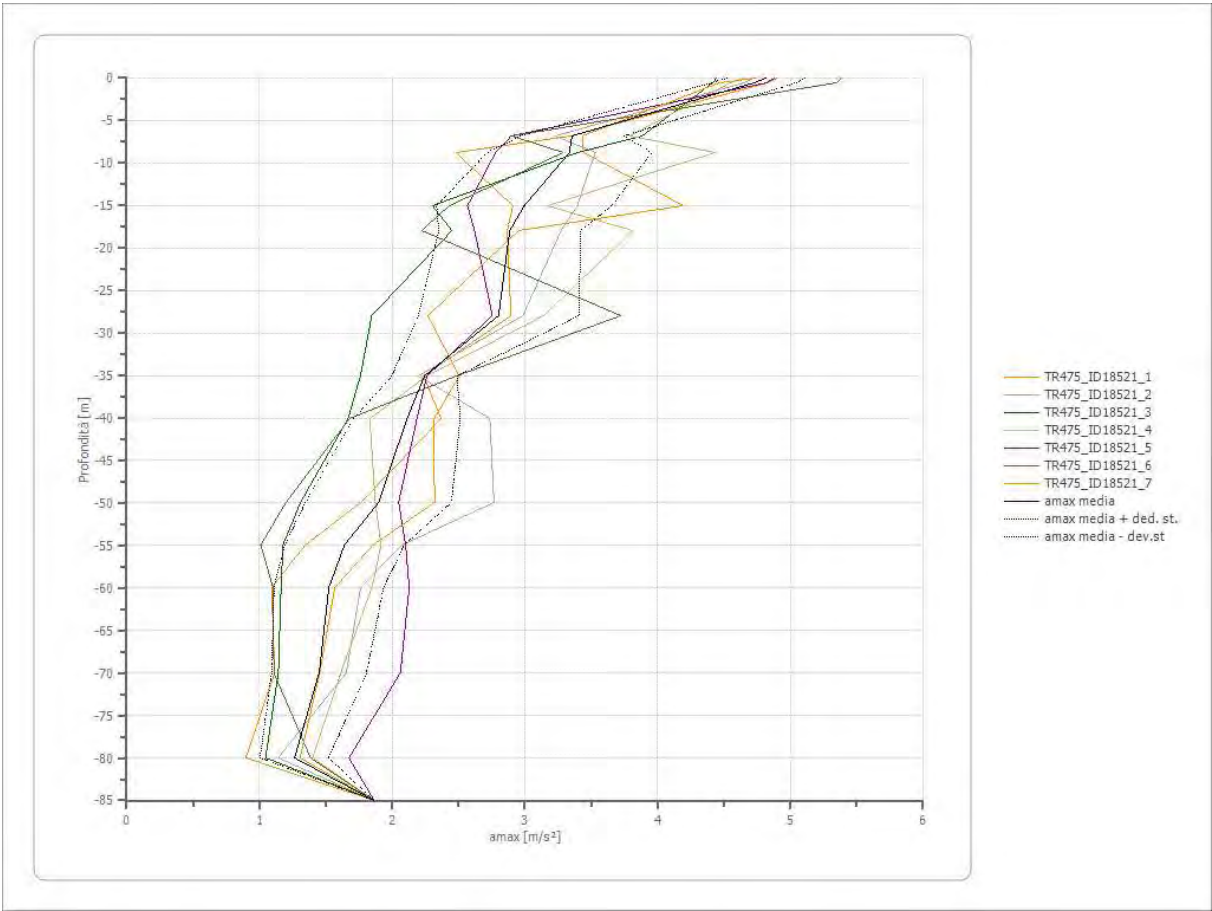


Profilo a max

.	0.0	0.6	6.8	8.8	15.0	18.0	28.0	35.0	40.0	50.0	55.0	60.0	70.0	80.0	85.0
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
TR4 75_I D18 521_ 1 [m/s ²]	4.90 3	4.82 9	3.34 7	2.48 0	2.91 0	2.86 7	2.89 5	2.23 6	2.36 9	1.76 3	1.34 5	1.09 2	1.11 5	0.89 7	1.86 4
TR4 75_I D18 521_ 2 [m/s ²]	4.72 3	4.65 3	3.22 8	3.53 0	3.39 3	3.27 3	2.98 4	2.19 7	2.73 6	2.76 7	2.07 3	1.76 1	1.65 5	1.14 0	1.86 4
TR4 75_I D18 521_ 3 [m/s ²]	4.44 5	4.41 5	3.88 4	3.39 7	2.30 3	2.45 0	1.84 6	1.76 1	1.66 8	1.31 0	1.17 7	1.16 3	1.14 2	1.04 6	1.86 4
TR4 75_I D18 521_ 4 [m/s ²]	4.65 0	4.54 8	3.79 0	4.43 4	3.16 9	3.81 2	3.14 1	2.25 8	1.83 1	1.87 4	1.91 7	1.84 8	1.61 3	1.40 1	1.86 4
TR4 75_I D18 521_ 5 [m/s ²]	4.88 0	4.82 1	2.89 7	2.77 9	2.56 7	2.62 1	2.75 5	2.26 1	2.18 7	2.04 9	2.10 2	2.12 8	2.06 2	1.67 4	1.86 4
TR4 75_I D18 521_ 6 [m/s ²]	5.38 5	5.34 7	2.90 0	3.28 9	2.43 0	2.22 2	3.72 3	2.48 3	1.67 9	1.19 9	1.01 0	1.10 3	1.10 9	1.38 5	1.86 4
TR4 75_I D18 521_ 7	4.74 0	4.46 5	3.43 2	3.44 2.	4.19 3	2.95 3	2.26 9	2.50 6	2.31 6	2.31 9	1.85 5	1.56 8	1.45 5	1.30 5	1.86 4

Relazione geologico sismica per passerella ubicata sulla pista ciclabile sul Rio Rigossa - Gambettola (FC)

[m/s ²]															
media	4.81	4.72	3.35	3.33	2.99	2.88	2.80	2.24	2.11	1.89	1.64	1.52	1.45	1.26	1.86
[m/s ²]	8	5	4	6	5	6	2	3	2	7	0	3	0	4	4
Dev. St.	0.29	0.31	0.38	0.62	0.66	0.53	0.60	0.24	0.40	0.54	0.45	0.41	0.35	0.25	0.00
[m/s ²]	3	8	9	0	0	4	6	6	1	9	1	3	7	8	0



..

CALCOLO DELLA LIQUEFAZIONE



