

COMUNE DI PORTOMAGGIORE (Ferrara)

Piano Particolareggiato di Iniziativa Pubblica IL PERSICO

**(Rinnovo con variante PPIP approvato con
delibera C.C. n.10 del 07.02.2005)**

Allegato D

**Estratto 2° POC - Relazione geologica
ed analisi sismica di III livello**

**Allegato alla delibera di Giunta Unione
Valli e Delizie n. 31 in data 24.05.2018
"APPROVAZIONE rinnovo con variante
PPIP di iniziativa pubblica IL PERSICO"**

Il Segretario Generale
D.ssa Rita Crivellari

GRUPPO DI LAVORO

Progettista: *Ing. Luisa Cesari*
Dirigente del Settore Tecnico del Comune di
Portomaggiore
Dirigente del Settore Programmazione Territoriale
dell'Unione dei Comuni Valli e Delizie



COMUNE DI PORTOMAGGIORE
(Provincia di Ferrara)

Collaboratori: *Ing. Federico Gessi – Geom. Massimo Dallafina*
Cartografia: *Geom. Patrizia Foschini*

Unione dei Comuni

Valli e Delizie
ARGENTA | OSTELLATO | PORTOMAGGIORE

Collaboratori: *Geom. Claudia Benini, Geom. Gabriella Romagnoli*

2° PIANO OPERATIVO COMUNALE (2017-2022)

Relazione geologica e sismica di analisi degli interventi programmati

Allegato alla delibera di Consiglio
Unione Valli e Delizie
n.2 del 16.03.2017
APPROVAZIONE 2° POC
Comune di Portomaggiore

Il Segretario Generale
D.ssa Rita Crivellari



Unione dei Comuni

Valli e Delizie

ARGENTA | OSTELLATO | PORTOMAGGIORE

Sindaco di Argenta *Antonio Fiorentini*

Sindaco di Ostellato *Andrea Marchi*

Sindaco di Portomaggiore *Nicola Minarelli*

GRUPPO DI LAVORO:

Unione dei Comuni

Valli e Delizie

ARGENTA | OSTELLATO | PORTOMAGGIORE

Progettista: *Ing. Luisa Cesari* - responsabile dell'Ufficio di Piano Intercomunale

Collaboratori: *Geom. Claudia Benini, Geom. Gabriella Romagnoli*

Cartografia: *Geom. Paolo Orlandi*

Studio geologico e sismico:

Raggruppamento temporaneo di professionisti:

Mandataria Engeo s.r.l.



EN GEO S.r.l.
ENGINEERING GEOLOGY
www.engeo.it

Direttori Tecnici Geol. Carlo Caleffi – Geol. Francesco Cerutti

Mandante Geol. Stefano Castagnetti

Collaboratore: Geol. Marco Baldi

INDICE

1.	PREMESSE.....	1
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.	MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	6
4.	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	11
5.	ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	24
6.	COMPARTI OGGETTO DI APPROFONDIMENTI	25
6.1	ambito urbano AC4 e ambito riqualificazione AR3-a – “Pilona” ... Omissis ..	25
6.2	espansione produttiva ASP2-3 – “Ripapersico”	34
6.3	espansione produttiva ASP2-2 – “Parmeggiana”	Omissis ..45
6.4	ambito rurale artigiano IPR – “Gambulaga”	Omissis ..54
6.5	ambito rurale AVP – “Portorotta”	Omissis ..63

Allegato 1 – prove penetrometriche statiche con piezocono

Allegato 2 - verifiche alla liquefazione

1. PREMESSE

Su incarico dell'Unione dei Comuni Valli e Delizie¹ (Provincia di Ferrara) sono stati eseguiti gli approfondimenti geologico-sismici degli ambiti di trasformazione urbanistica inseriti nel 2° Piano Operativo Comunale (POC) del Comune di Portomaggiore.

Lo studio è stato realizzato nel rispetto delle seguenti disposizioni normative:

- L.R. n° 20 del 24.03.2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" e ss.mm.ii.;
- Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e ss.mm.ii.;
- D.G.R. n° 1677 del 24.10.2005 "Prime indicazioni applicative in merito al decreto ministeriale 14 settembre 2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 14.01.2008 "approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni";
- L.R. 30 ottobre 2008, n° 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" e s.m.i..
- D.G.R. 21 dicembre 2015, n° 2193 "Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112";

Il presente studio risulta complementare agli studi di microzonazione sismica di III livello, riguardanti il territorio dell'Unione Valli e Delizie, affidati con Determinazione Dirigenziale n° 356 del 29.08.2016 e in fase di completamento. Tale studio di microzonazione sismica beneficia dei contributi di cui alla OCDPC n° 171/2014 "Attuazione dell'art. 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n° 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n° 77. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013" e redatto nel rispetto delle indicazioni di cui alla D.G.R. n° 1227/2015: "Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile N. 171/2014. Attribuzione contributi a favore degli Enti Locali. Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione" e relativi allegati tecnici.

Tutte le attività sono state condotte in stretto raccordo con il Personale tecnico del Settore Programmazione Territoriale – Ufficio di Piano Intercomunale, in particolare per quanto riguarda la scelta degli areali da sottoporre ad analisi e la tipologia delle indagini.

¹ Determinazione Dirigenziale n° 423 del 12.10.2016

Gli approfondimenti geologico-sismici condotti a supporto del POC si sono avvalsi delle indagini e delle risultanze dello studio di MS di Livello 3 al momento disponibili e delle risultanze dello Studio di MS di Livello 2 eseguito nel 2015 dall'ATI composta da Geotema S.r.l., Studio di geologia Tarabusi e Progeo S.r.l.. Tale studio è stato validato dalla Commissione Tecnica Nazionale e certificato dalla Regione Emilia-Romagna.

Ai fini dello studio si è fatto altresì riferimento alla Relazione geologica, a firma dott.ssa geol. Roberta Luetti e dott. geol. Thomas Veronese, collaboratore dott. geol. Raffaele Brunaldi, prodotta in data gennaio 2010 a corredo dell'analisi dei nuovi ambiti di espansione previsti dal PSC in forma associata dei Comuni di Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera.

Entrando nel dettaglio del presente lavoro sono stati sottoposti ad analisi i seguenti comparti (cfr. Fig. 1):

- ambito urbano AC4 – “Pilona”
- ambito riqualificazione AR(3)a – “Pilona”
- espansione produttiva ASP2(3) – “Ripapersico”
- espansione produttiva ASP2(2) – “Parmeggiana”
- ambito rurale artigiano IPR – “Gambulaga”
- ambito rurale AVP – “Portorotta”

Si precisa che per i due comparti adiacenti ricadenti in località Pilona (AC4 e AR(3)a) è stata prodotta un'unica scheda di analisi (cfr. Cap. 5.1).

Si ricorda che, nel rispetto della vigente normativa (D.M. 14.01.2008 “*Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni*”), tutti gli interventi edificatori conseguenti alle scelte e ai contenuti del nuovo Piano Strutturale dovranno comunque essere corredati da specifiche analisi geologiche e da adeguate indagini geognostiche, la cui natura e approfondimento dovranno essere proporzionate al tipo di intervento e al livello di progettazione.

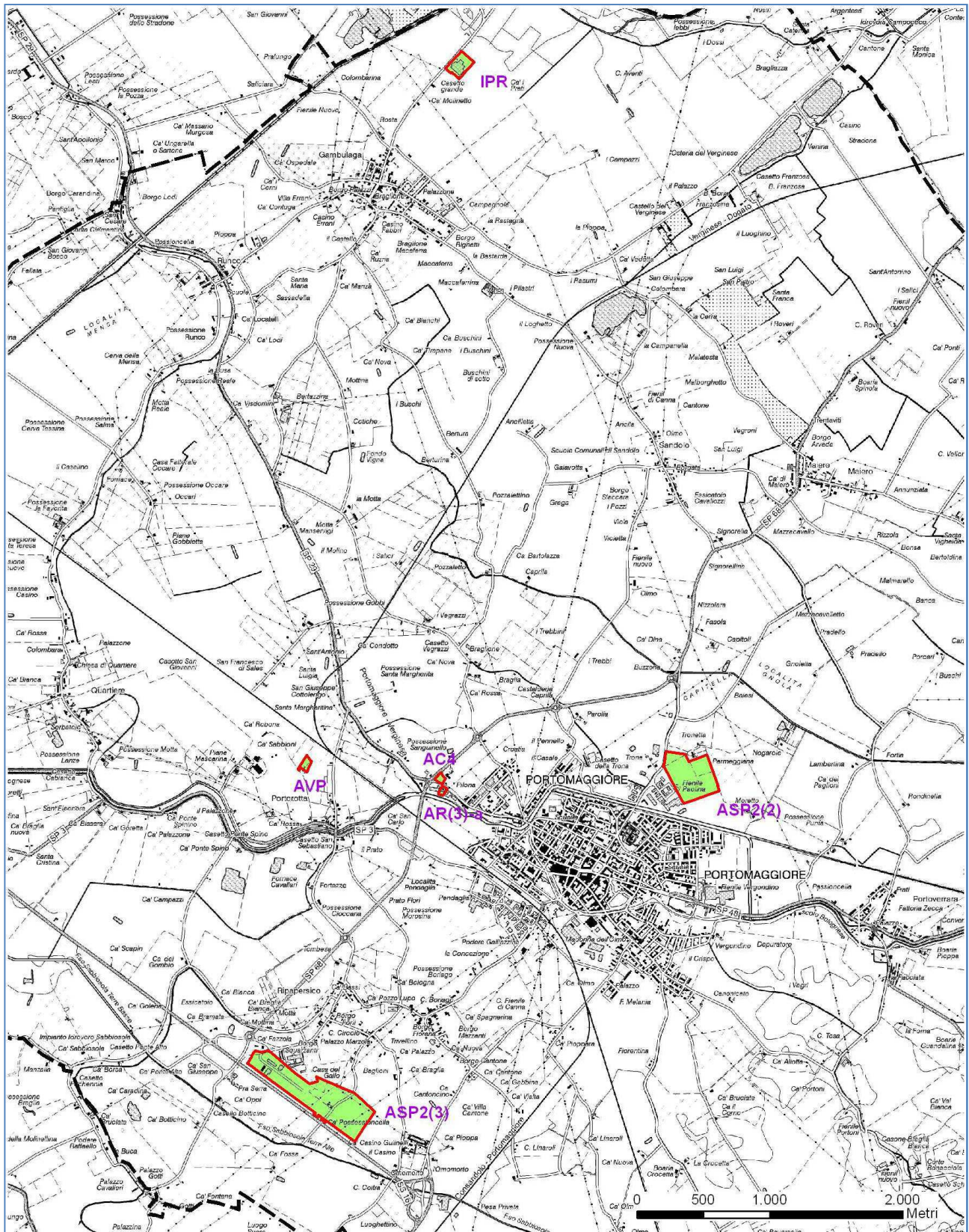


Fig. 1 – Mappa Indice

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini, avvenuto attraverso un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

L'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (Pieri & Groppi, 1982).

Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Tale riempimento non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Sotto il profilo tettonico le ricerche svolte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici (Fig. 1).

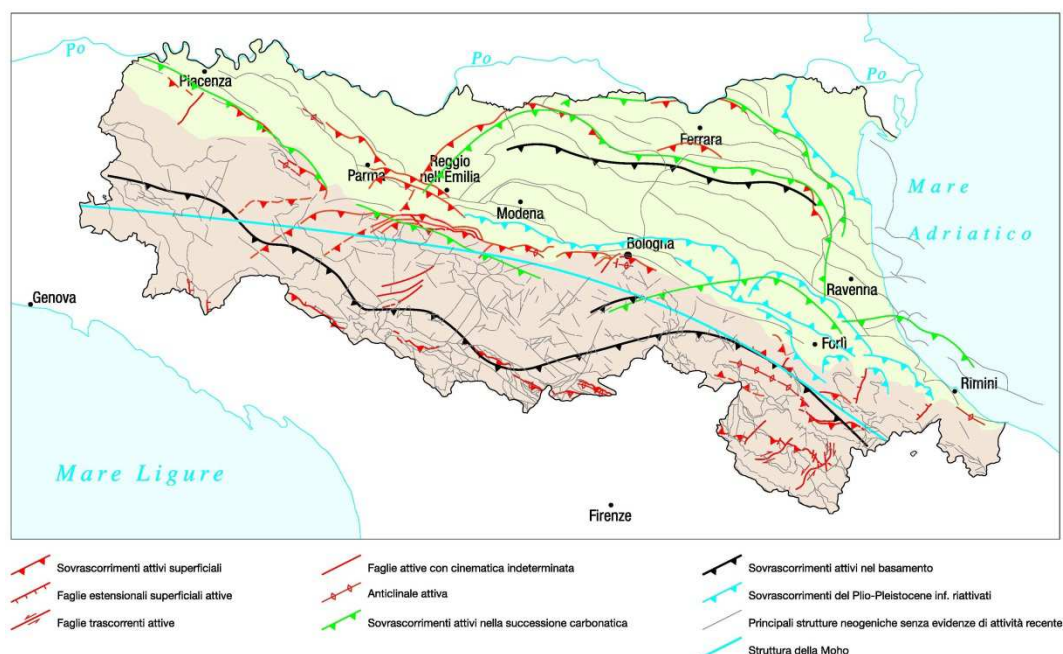


Fig. 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

La fascia di alta pianura si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano.

Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria (Boccaletti et al., 1985).

Il fascio più settentrionale, denominato *Fronte di accavallamento esterno* (External Thrust Front = ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

Il fascio meridionale, coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani ed è denominato *Fronte di accavallamento pedeappenninico* (Pedeapenninic Thrust Front = PTF). Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, tra i quali il F. Panaro, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

3. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Il sottosuolo del territorio comunale di Portomaggiore è costituito da uno spessore di alcune centinaia di metri da sedimenti di pianura alluvionale e deltizia, non litificati e non è presente un contatto netto fra unità rocciose rigide e i depositi sciolti di copertura che, di norma, consente di individuare il substrato rigido "*bedrock*".

Le unità nel sottosuolo sono caratterizzate da un graduale aumento della rigidità, spazialmente non uniforme, a causa di superfici di non deposizione e discordanze stratigrafiche. Tali superfici spesso corrispondono ai limiti tra Sintemi e Subsintemi.

La buona correlazione tra i dati geologici e geofisici raccolti nello studio di MS di Livello 2² ha consentito di identificare alcune di queste superfici ed in particolare di individuare il passaggio tra i depositi del Quaternario Continentale (Qc) e quelli del Quaternario Marino (Qm) come superficie al di sotto della quale può essere definita la presenza del substrato sismico (*seismic bedrock*).

Infatti è stato determinato che nelle zone di alto strutturale, i depositi del Qm, presenti a profondità di almeno 250 metri, sono caratterizzati da una velocità di almeno 650 m/s, che si può supporre anche più elevata in zone di sinclinale. I dati di HVSR disponibili, tuttavia, con frequenza caratteristiche comprese tra 0.8 e 1.0 Hz, fanno ritenere che esista un significativo contrasto di impedenza anche a profondità inferiori, variabili dai 50 ai 60 m da p.c., con velocità Vs dello strato riflettente prossimo ai 500 m/s.

In Fig. 2 è riportato lo schema riassuntivo delle unità stratigrafiche che costituiscono i terreni di copertura e del sottostante substrato sismico.

I depositi di copertura sono costituiti dal Supersistema Emiliano-Romagnolo, che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi *et al.*, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nel settore orientale, includono depositi alluvionali che passano verso est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo affiora esclusivamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi dove è fortemente discordante sui depositi marini di età variabile tra il Miocene e il Pleistocene medio. Verso NE, la superficie di discordanza diviene sepolta e passa ad una superficie di continuità stratigrafica e/o paraconcordanza, ad eccezione delle zone di anticlinale delle pieghe ferraresi dove la discordanza è netta. Il limite superiore coincide con la superficie topografica. L'età

² Studio di Microzonazione Sismica - Livello 2 di Geotema srl, Studio di geologia Tarabusi e Progeo srl, 2015

dell'unità è compresa tra Pleistocene medio - Attuale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

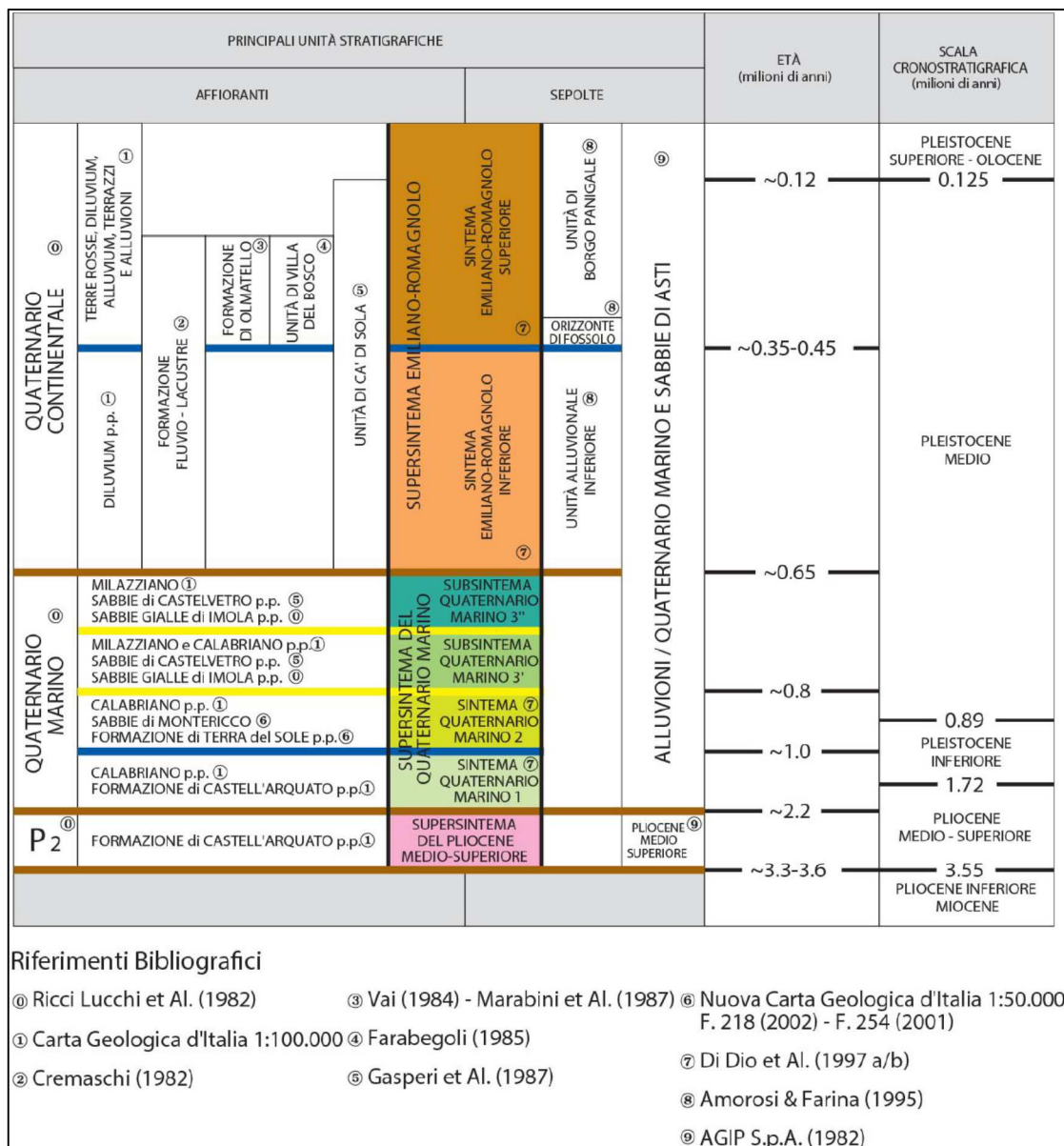


Fig. 2 – Schema geologico-stratigrafico regionale dei depositi quaternari di sottosuolo tratto da Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna (RER-ENI/AGIP, 1998) e recentemente rivisto ed aggiornato nella stesura delle Note Illustrative del Foglio 199 “Parma Sud”. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia - 1:50.000. Foglio 202 “San Giovanni in Persiceto”)

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è composto da due unità principali: una unità inferiore, denominata “Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore” (AEI) ed un'unità superiore detta “Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore” (AES), separate da una superficie di discontinuità stratigrafica, individuata in affioramento e seguita nel sottosuolo tramite l'interpretazione dei profili sismici.

Le analisi petrografiche e composizionali eseguite in vari Fogli della Carta Geologica d'Italia hanno consentito di individuare l'area di provenienza delle unità sabbiose. I corpi sabbiosi

tabulari continui (decine di chilometri) con tendenza a chiudersi verso il margine appenninico, spessore pluridecamentrico e granulometria medio-grossolana, registrano una provenienza alpina e di Po.

Viceversa i corpi sabbiosi più discontinui e sottili, di granulometria più fine, con geometrie più variabili e tendenza a saldarsi verso il margine appenninico con i corpi ghiaiosi di conoide, mostrano una chiara provenienza appenninica.

Le sezioni geologiche profonde della cartografia ufficiale CARG della Regione Emilia-Romagna evidenziano che il Supersistema mostra la progradazione delle facies deposizionali alluvionali da SO verso NE ed il conseguente arretramento di quelle deltizie e marine. Due fasi principali di avanzamento delle facies deposizionali sono attribuite rispettivamente ai due Sintemi AEI e AES.

Nell'area in questione il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) è dominato dalle facies marine, mentre quello superiore (AES) da facies continentali e deltizie, inizialmente formate esclusivamente da sedimenti di provenienza padana, e successivamente anche da sedimenti a provenienza appenninica, particolarmente sviluppati nella parte meridionale.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la parte più antica del Supersistema Emiliano-Romagnolo riconosciuto nel sottosuolo dell'area di studio sulla base di sondaggi profondi, di profili sismici ENI-AGIP e delle geometrie delle unità stratigrafiche ricostruite attraverso le sezioni geologiche ed il suo limite inferiore coincide con quello del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Al suo interno l'unità è costituita da alternanze cicliche di prevalenti depositi di fanghi marini, argille e limi, e depositi grossolani sabbiosi organizzati spesso in sequenze di tipo *coarsening-upward*, di circa 30÷40 metri di spessore, costituite da facies deltizie e di piattaforma del sistema padano.

Lo spessore dell'unità varia arealmente a causa della subsidenza fortemente differenziale, raggiungendo gli spessori massimi, pari a circa 130 metri, tra Budrio e la porzione meridionale del territorio dell'Unione Valli e Delizie, in corrispondenza dell'asse della sinclinale. Gli spessori minimi, dell'ordine degli 80 metri, sono presenti in corrispondenza delle culminazioni strutturali, tra Consandolo ed Argenta. L'Unità è attribuita al Pleistocene Medio, tra 650.000 e 350.000 anni (Regione Emilia-Romagna RER & ENI-AGIP, 1998).

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione superiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo. In affioramento AES è costituito da depositi di piana deltizia ed alluvionale. Viceversa nel sottosuolo è formato da un'alternanza di depositi di ambiente deltizio, marino e continentale. Il limite inferiore del Sintema affiora esclusivamente nelle aree più prossime al margine appenninico.

Nel sottosuolo di vasti settori di alta pianura, il limite inferiore è marcato dalla sovrapposizione di corpi ghiaiosi di conoide alluvionale su una discordanza erosiva, incisa in depositi fluviodeltizi di AEI. Procedendo verso NE, in porzioni più distali della pianura, il limite risulta meno marcato e paraconcordante. Nel sottosuolo del territorio dell'Unione Valli e Delizie, il limite fra i due Sintemi corrisponde alla brusca sovrapposizione di sedimenti fluviali (AES) su depositi prevalentemente deltizi e marine (AEI).

Lo spessore di AES varia da poche decine di metri, nei pressi della fascia pedeappenninica, fino ad oltre 500 m in corrispondenza del margine costiero. Gli spessori medi si aggirano sui 200÷300 m in corrispondenza delle zone di bassa pianura (ex. Foglio 204 "Portomaggiore").

La base del Sintema è attribuita al Pleistocene medio (350- 450.000 anni) mentre il limite superiore corrisponde all'attuale superficie topografica (Olocene).

L'intero Sintema è organizzato in 4/5 cicli deposizionali trasgressivo-regressivi, ciascun avente uno spessore massimo di circa un centinaio di metri, in corrispondenza delle aree di sinclinale denominati Subsintemi.

Il Subsintema di Ravenna (AES8) forma la parte sommitale di AES e comprende i sedimenti affioranti e formanti le prime decine di metri di sottosuolo dell'area in studio. Esso è attraversato dalla maggioranza delle indagini della Banca Dati Geognostica Regionale e di conseguenza risulta il deposito Quaternario meglio noto dell'interna pianura emiliano-romagnola. I depositi di AES8 poggiano in contatto netto sui corpi di canale e di tracimazione fluviale del ciclo sottostante e costituiscono la porzione trasgressiva e quella iniziale regressiva di un ciclo simile a quelli precedenti, ma incompleto poiché ancora attualmente in corso di evoluzione deposizionale.

Nell'area di studio i depositi affioranti del Subsintema sono in gran parte costituiti da argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose da tracimazione fluviale, intercalate a sabbie di riempimento di canale di piana deltizia del fiume Po. Nelle aree centro orientali sono invece molto sviluppati fanghi organici di laguna salmastra, che al limite sud-orientale sono in contatto con sabbie costiere di piana e fonte deltizio.

Nel margine sud-occidentale la porzione affiorante dell'unità è formata da argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di piana inondabile, e palude di Reno ed altri fiumi appenninici minori. Nei terreni affioranti sono ovunque assenti suoli maturi, a causa della recente bonifica e della messa a coltura di molte aree.

Nel sottosuolo dei settori centrale, orientale e settentrionale i depositi inferiori e trasgressivi di AES8 sono costituiti da argille e limi con abbondante sostanza organica che testimoniano lo sviluppo di estesi ambienti di palude e laguna della piana deltizia e costiera. Viceversa nei settori

occidentale e meridionale i depositi inferiori del Subsistema sono costituiti da alternanze di argille limi e sabbie di piana alluvionale meglio drenata, con paleosuoli decarbonatati, scarsamente differenziabili dalle facies alluvionali di provenienza appenninica dell'unità sottostante.

Nella zona costiera, la parte inferiore di AES8 è caratterizzata da depositi di pianura alluvionale mal drenata che sfumano verso l'alto e verso mare in sedimenti di palude salmastra e laguna, con faune da ipoaline a mesoaline. Questi depositi costieri sono troncati dalla superficie eterocrona di rimaneggiamento trasgressivo, a cui seguono sabbie di cordone litorale e depositi fini marini.

La transizione alla porzione regressiva del ciclo è generalmente graduale ed è rappresentata dalla progradazione dei depositi di palude-laguna sui depositi litorali e di retrobarriera nel settore orientale e da quella dei depositi di piana alluvionale sui depositi di palude-laguna nel settore sud-orientale.

Lo spessore del Subsistema varia dai 15 ai circa 25 metri, nei settori settentrionali ed orientali del territorio del Comune di Portomaggiore, mentre spessori ancora maggiori sono raggiunti nell'area meridionale di Campotto.

Nella porzione più recente del Subsistema di Ravenna, è stata ulteriormente distinta l'Unità di Modena (AES8a), un'unità di età post-romana, definita sulla base di eventi di riorganizzazione idrografica, accelerazione dei processi sedimentari e cambiamenti nei caratteri archeologici associati alla fine dell'Impero Romano.

4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La fascia di territorio in cui ricade il Comune di Portomaggiore si inserisce in un vasto contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica di tipo compressivo, conseguenza della convergenza tra la placca africana che si muove verso nord-est e la placca euro-asiatica.

Gli studi sulla pericolosità sismica promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio nazionale denominata "ZS9" (Fig. 3), che prevede l'individuazione di 36 "zone-sorgente", i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

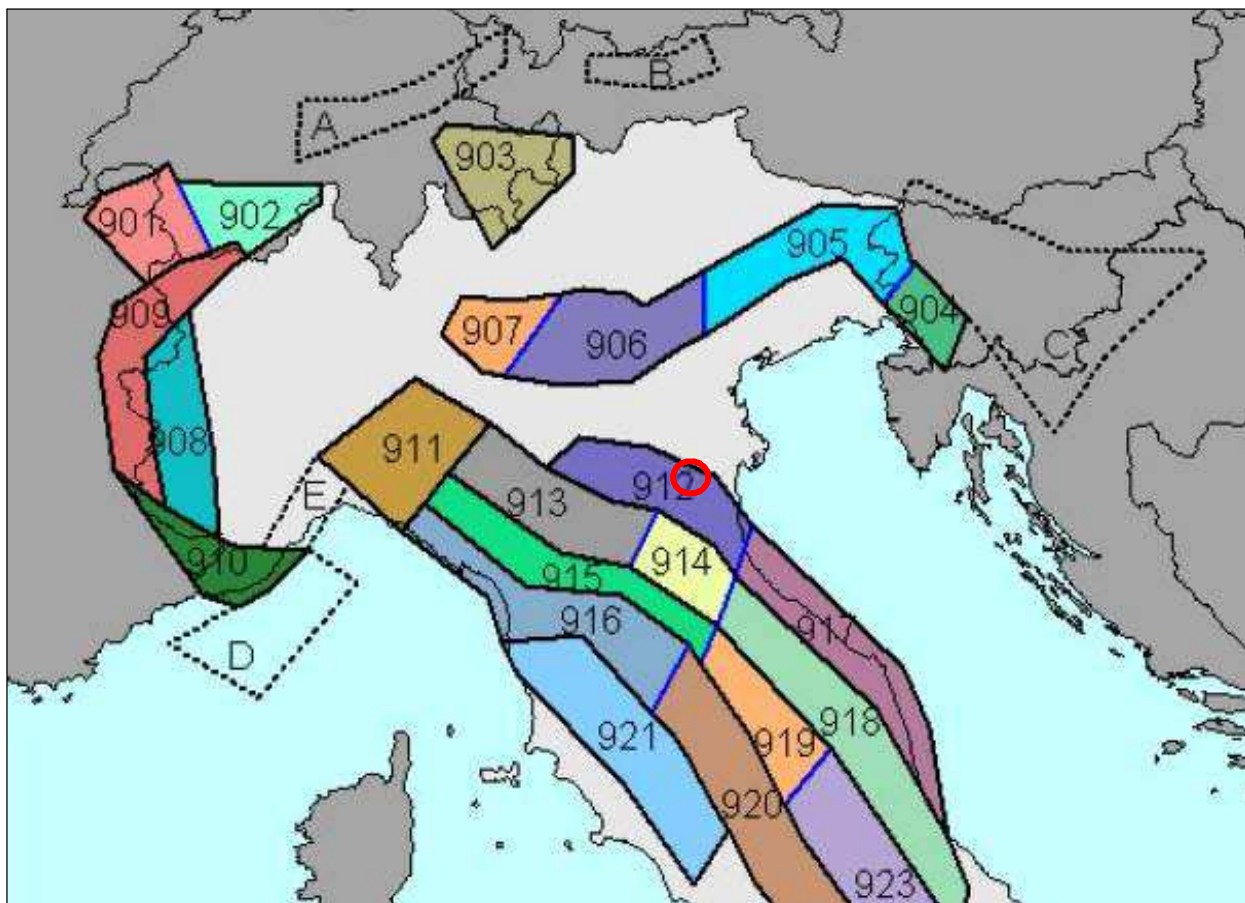


Fig. 3 – Zonazione sismogenetica ZS9. Da: "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo, aprile 2004" – INGV. Il cerchio rosso individua approssimativamente il territorio del Comune di Portomaggiore

Il territorio del Comune di Portomaggiore ricade nella zona sismogenetica "912" denominata "Dorsale Ferrarese".

La ZSS 912 rappresenta la porzione più esterna, sepolta dai sedimenti alluvionali, della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, ed è caratterizzata da terremoti che

avvengono in genere a profondità comprese tra 5 e 8 km. Sulla base dei meccanismi focali, i valori di magnitudo massima previsti sono pari a $M_{wmax} = 6,14$.

Nell'area in studio il database DISS (*DISS Working Group, 2015*) individua due strutture sismogenetiche composite orientate circa ESE-WNW e denominate rispettivamente "Malalbergo-Ravenna" (ITCS012) e "Poggio Rusco-Migliarino" (ITCS050)(Fig. 4).

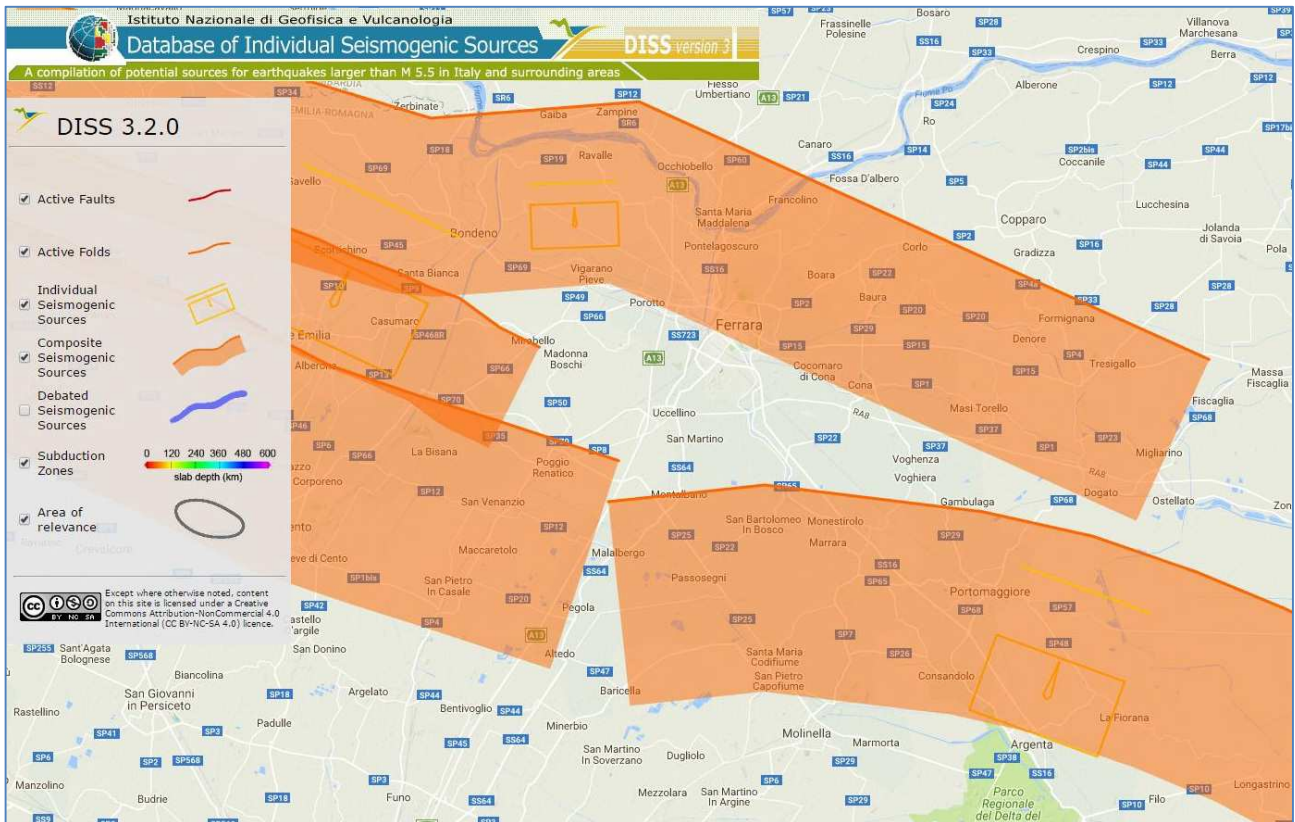


Fig. 4 - Sorgenti sismogenetiche composite (poligoni arancioni) e individuali (rettangoli gialli) presenti nel database DISS 3.2.0, nell'intorno dell'area di studio.

Queste strutture fragili sono soggette ad un attivo campo di stress tettonico compressivo, che induce movimenti inversi o inverso-trascorrenti, associati ad una attività sismica relativamente frequente.

La fascia corrispondente alla sorgente composta ITCS050 delimita il settore esterno dell'Arco Ferrarese; in essa rientra la sorgente individuale di Ferrara (ITIS090), a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.5, profondità tra 1.4 e 4.5 km e slip-rate compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno. L'ubicazione della sorgente è stata proposta anche sulla base di anomalie del reticolo idrografico, in particolare in relazione alla deviazione dell'alveo del fiume Po in prossimità di Stellata, interpretata come possibile conseguenza della deformazione cosismica indotta dall'attività tettonica di tale struttura sepolta.

Viceversa nella struttura sismogenetica composta ITCS012 rientra la sorgente individuale di Argenta (ITIS141) a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.8, profondità tra 3 e 6.3 km e slip-rate compreso tra 0.49 e 0.55 mm/anno.

Il territorio del Comune di Portomaggiore è posizionato per la quasi totalità in corrispondenza della struttura sismogenetica "Malalbergo-Ravenna" (ITCS012), mentre l'estremità settentrionale del proprio territorio risente della sorgente composta Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050).

Dall'analisi della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale elaborata dall'INGV nel 2004 (Fig. 5) si può osservare che il territorio del Comune di Portomaggiore si colloca in un areale, in cui si possono registrare valori di accelerazione massima del suolo pari a $0.125 \div 0.175$ g, con un tempo di ritorno (T_r) pari a circa 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

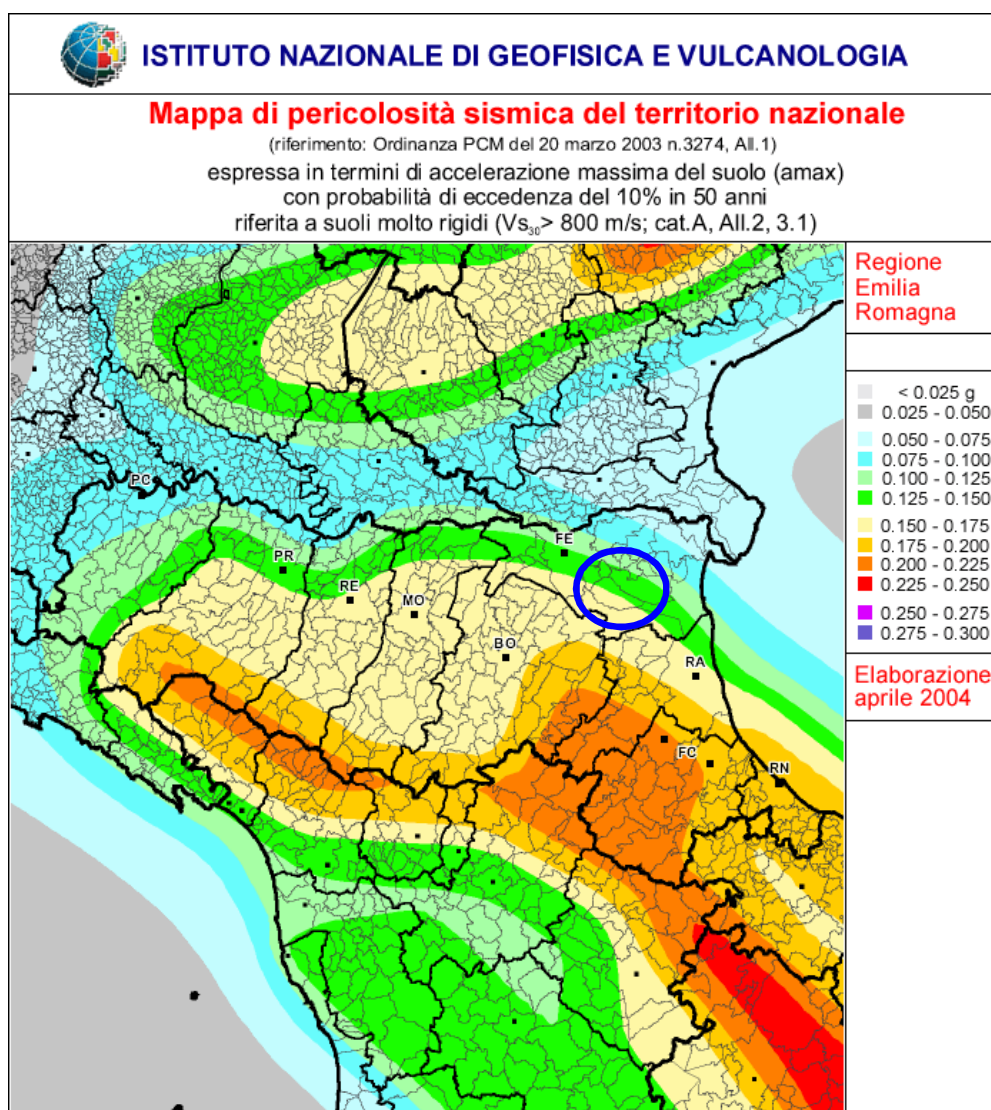


Fig. 5 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV). Dettaglio per la Regione Emilia-Romagna. L'ubicazione del Comune di Portomaggiore è evidenziata dal cerchio di colore blu

Tali valori sono coerenti con quanto riportato nell'Allegato A2 della DAL Regione Emilia-Romagna 112/2007, aggiornata con DGR 2193/2015 che attribuisce al Comune di Portomaggiore un valore di accelerazione di picco al suolo a_g (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di 0.152 g.

In Fig. 6 si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo).

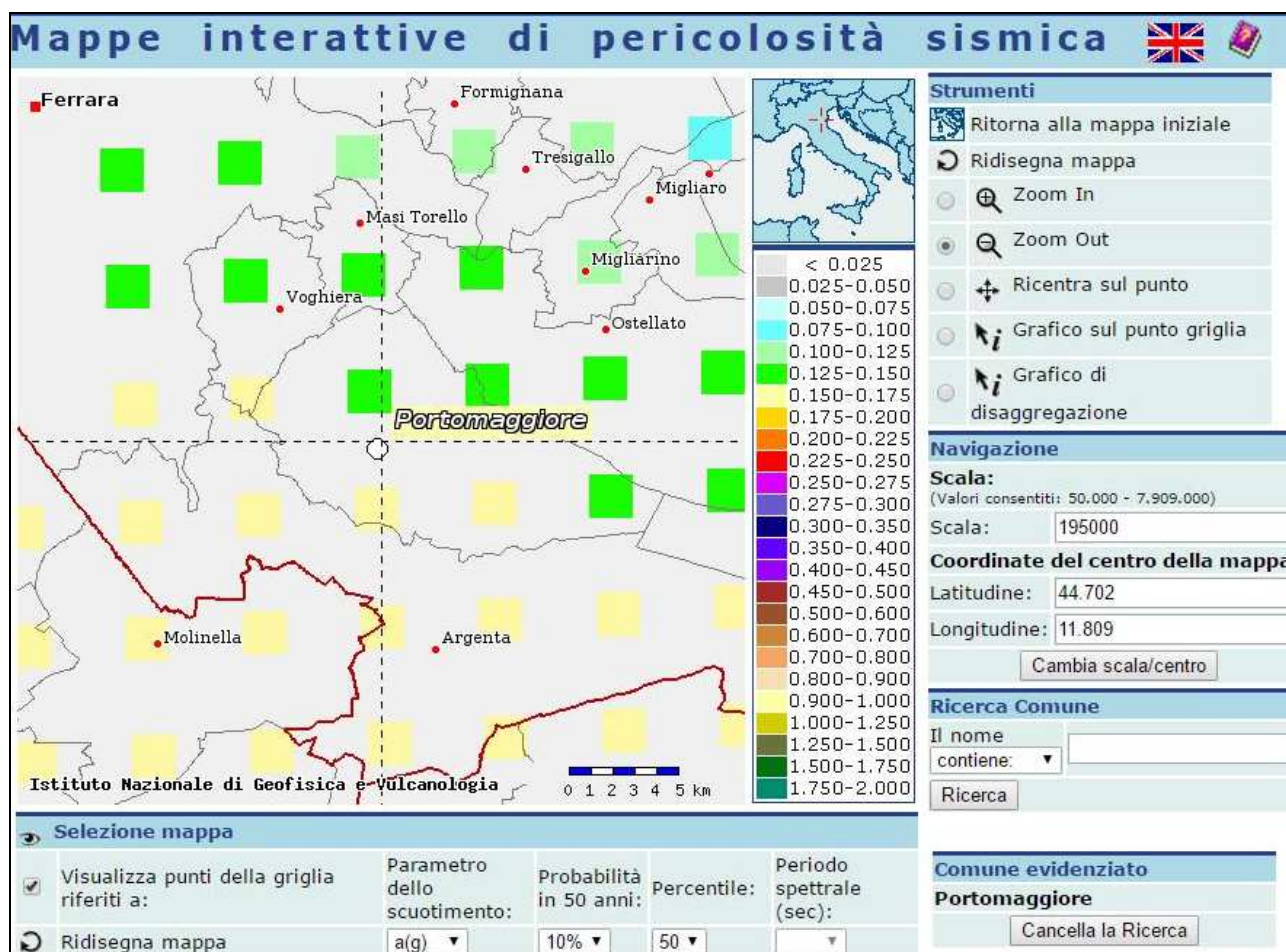


Fig. 6 – Stralcio della Mappa di pericolosità sismica del Comune di Portomaggiore espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni

La consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti (PTI15) e del relativo database macrosismico (DBMI15), con riferimento alla vicina città di Ferrara tra l'anno 1000 e il 2014 (Tab. 1 e Fig. 7) ha restituito numerosi eventi, che hanno prodotto un significativo risentimento sulle strutture antropiche.

Is	data	epicentro	Io	Mw
8	1570 11 17 19 10	Ferrarese	7-8	5,44
7	1234 03 20	Ferrara	7	5,1
7	1285 12 13	Ferrara	7	5,1
7	1411 01 09 02	Ferrara	7	5,1
7	1425 08 10	Ferrarese	6	4,63
7	1796 10 22 04	Emilia orientale	7	5,45
6-7	1410 05 09 22 30	Ferrara	6-7	4,86
6-7	1561 11 24 01 25	Ferrarese	5-6	4,4
6-7	1743 05 29	Ferrara	6-7	4,86
6-7	1787 07 16 10	Ferrara	5-6	4,4
6-7	1787 07 26 07 15	Ferrara	6-7	4,86
6	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	7-8	5,68
6	1339 11 16 14 10	Ferrara	6	4,63
6	1505 01 03 02	Bolognese	8	5,62
6	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	9	6,32
6	1536 08 17 00 05	Appennino settentrionale	6-7	5,12
6	1624 03 19	Argenta	7-8	5,43
6	1695 02 25 05 30	Asolano	10	6,4
6	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	6-7	5,36
5-6	1117 01 03 15 15	Veronese	9	6,52
5-6	1483 03 03 22	Ferrara	5-6	4,4
5-6	1695 02 28	Ferrara	5-6	4,4
5-6	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	8	5,74
5	1304 10 23 00 45	Pianura emiliana		
5	1365 03 04	Pianura Veneta	5	4,63
5	1483 08 11 19 40	Romagna	8	5,69
5	1487 01 11 15 40	Ferrara	4	3,7
5	1504 12 31 04	Bolognese	6	5,02
5	1505 01 20 23 50	Bolognese	5-6	4,76
5	1508 10 26	Ferrarese	5	4,16
5	1591 07 10	Romagna	6-7	5,13
5	1594 10 03	Ferrara	5	4,16
5	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	9	6,05
5	1672 04 14 15 45	Riminese	8	5,59
5	1678 07 15	Ferrara	5	4,16
5	1688 04 11 12 20	Romagna	8-9	5,84
5	1781 07 17 09 40	Faentino	8	5,61
5	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5,51
5	1870 10 30 18 34	Forlivese	8	5,61
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	7	5,63
5	1915 10 10 23 10	Reggiano	6	4,87
5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	10	6,53
5	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	8	5,51
5	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	6-7	5,04

Tab. 1 – Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Ferrara tra il 1000 e il 2014 (A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolli e P. Gasperini (a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15> - parzialmente modificato)

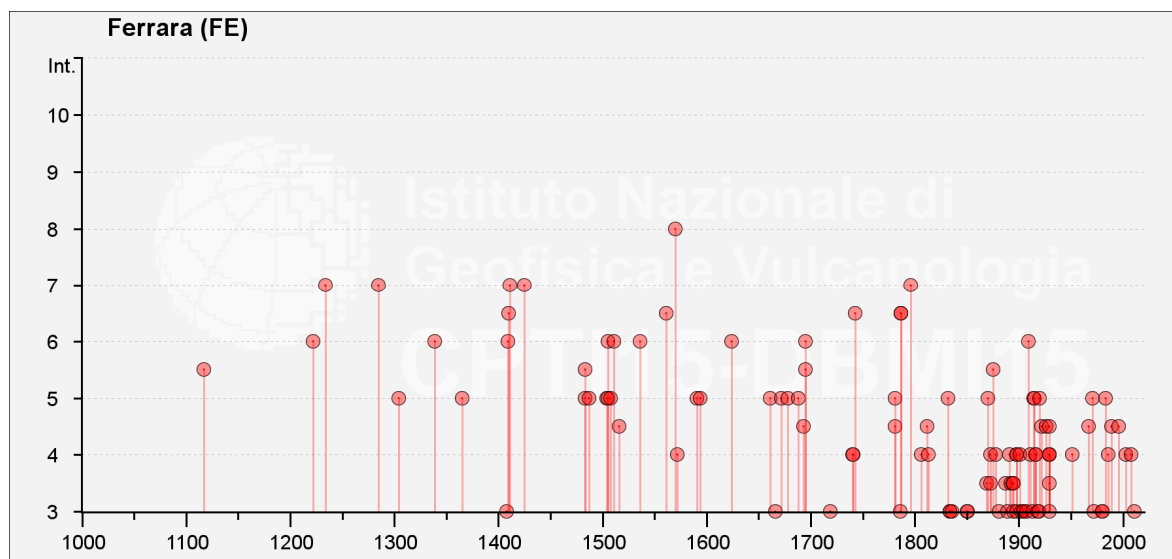


Fig. 7 – Rappresentazione grafica della storia sismica di Ferrara limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3 (cfr. Tab. 1). A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Loli e P. Gasperini (a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>

Per quanto concerne il profilo normativo, a seguito dell'emanazione dell'Ordinanza PCM n° 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., il Comune di Portomaggiore è stato classificato sismico in **ZONA 3**. Tale classificazione è riprodotta in Fig. 8 in cui i comuni classificati sismici in zona 2 sono rappresentati con il colore arancione in caso di nuova classificazione oppure azzurro, qualora sia stata confermata la precedente classificazione; i comuni classificati sismici in zona 3 sono rappresentati con il colore giallo ed infine i comuni sismici in zona 4 con il bianco.

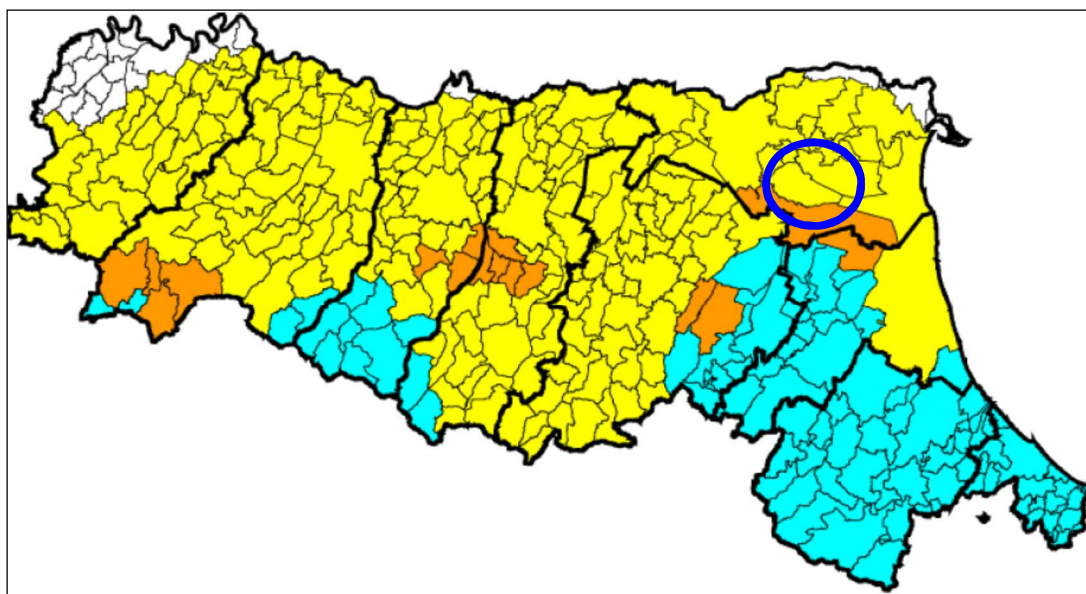


Fig. 8 – Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna a seguito dell'OPCM n° 3274/2003. Regione Emilia-Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Il cerchio blu individua il territorio del Comune di Portomaggiore

5. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per ciascun comparto sono stati eseguiti gli approfondimenti sismici di terzo livello.

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale. Le risultanze della RSL per ciascun punto indagato saranno illustrati nelle rispettive schede d'ambito.

5.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della citata DGR 2193/2015 Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112

In particolare l'Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- i valori di a_{refg} (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni comune dell'Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.

Come ricordato nel capitolo precedente, per il Comune di Portomaggiore il parametro a_{refg} risulta pari a 0.152.

Di conseguenza, lo spettro elastico di risposta in accelerazione (S_a) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, ed il conseguente spettro di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner (S_v), sono i seguenti:

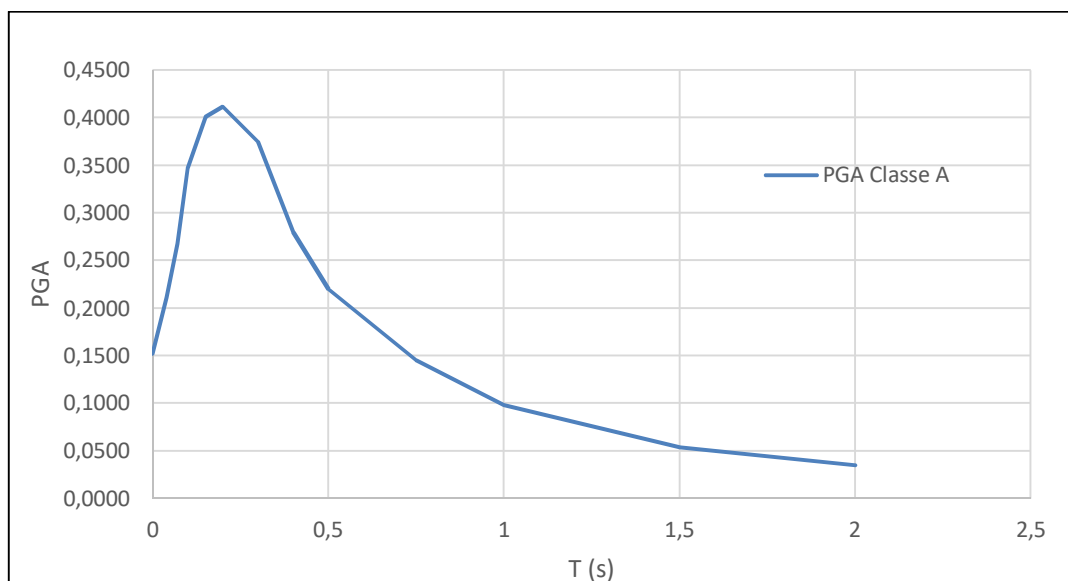


Fig. 9 – Spettro di risposta elastico in accelerazione su suolo A (475Y)

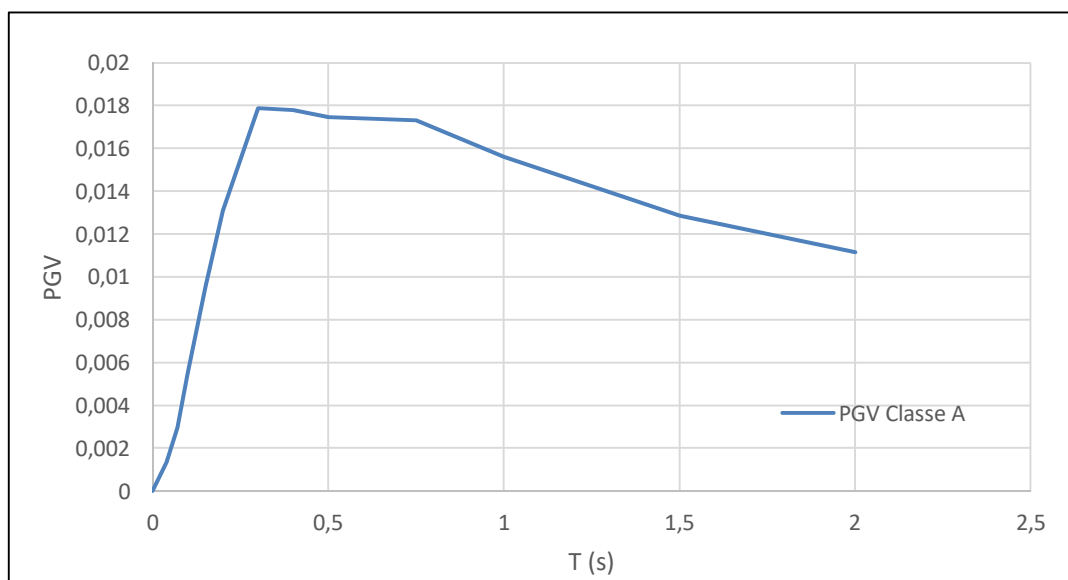


Fig. 10 – Spettro di risposta elastico in velocità su suolo rigido (475Y)

5.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati i segnali quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015³.

³ disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in . Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune.

5.3 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio (V_s);
- curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G_0) in funzione della deformazione e densità in situ,

Tale modellazione andrebbe spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità $V_s > 800$ m/s, difficilmente raggiungibile nelle zone in questione. Attualmente si tende a considerare accettabile un bedrock sismico laddove il rapporto tra le velocità V_s di due strati a contatto sia superiore a 2.

5.4 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati, principalmente, i dati delle stratigrafie delle prove realizzate in ciascun sito. L'integrazione della stratigrafia fino al bedrock sismico (le prove nelle aree raggiungono profondità di 20 m) è stata effettuata mediante l'utilizzo di dati al contorno, tipicamente stratigrafie di pozzi.

5.5 Determinazione della V_s e del *bedrock* sismico

La determinazione della V_s in funzione della profondità è stata effettuata mediante le prove MASW o HVSR disponibili. Le prove HVSR sono state utilizzate anche per verificare che la frequenza caratteristica dei terreni registrata da queste prove corrisponda al picco della funzione di trasferimento ricavata dalla modellazione della risposta sismica locale.

5.6 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G₀) in funzione della deformazione

La mancanza di campioni sui terreni studiati non ha consentito di utilizzare curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G₀) in funzione della deformazione ricavate appositamente nelle aree di studio. Pertanto sono state utilizzate curve derivanti da dati bibliografici riferite a terreni il più possibile simili a quelli analizzati. In particolare si è fatto riferimento a studi eseguiti dagli scriventi nell'ambito di microzonazioni sismiche di 3° livello in depositi del fiume Po.

5.7 Codice di calcolo per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata⁴ sviluppato da A. Kottke e E. Rathje⁵. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer⁶, 2001), con esito soddisfacente.

Strata calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- La risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel *bedrock* verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- Le superfici di stratificazione sono orizzontali;
- Le superfici del *bedrock* e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- La stratificazione è lateralmente omogenea;
- La superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidezza e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

5.8 Risultati della modellazione numerica

I risultati della analisi condotte con il codice STRATA, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire, per ciascun sito comunale:

⁴ Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

⁵ Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

⁶ Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula $PSV(T_i) = T_i \cdot PSA(T_i) / 2\pi$, lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FA_{PGA}), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FA_{IS}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido (cfr.). In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

- Lo sforzo ciclico di taglio (CSR) in funzione della profondità da utilizzare per le verifiche a liquefazione

5.9 Verifica del rischio di liquefazione

Il rischio di liquefazione è stato valutato prendendo in considerazione le verticali indagate mediante prove CPTU (v. Allegato 1).

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

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una

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

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI di *Iwasaki et al.* (1982). Le prove CPTU sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI è un parametro di sintesi che, mediante un valore numerico compreso tra 0 e 100, quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto di severità dell'azione sismica, e di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per poter valutare la severità degli effetti *Iwasaki* ha proposta la scala riportata in

Valori di LLI	Rischio di liquefazione
IL = 0	Molto basso
$0 < IL \leq 5$	Basso
$5 < IL \leq 15$	Alto
$15 < IL$	Molto alto

Tab. 2 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo *Iwasaki*

Valutazioni più recenti riportate da *Sonmez* (2003), basate su sismi di magnitudo inferiore a quelli utilizzati da *Iwasaki* consigliano tuttavia di rimodulare le classi di pericolosità come riportato in :

LPI
LPI = 0.00 - Liquefaction risk nul
LPI between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low
LPI between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Tab. 3 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo *Sonmez*

L'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova. Gli effetti bi- e tri-dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e "*lateral spreading*" anche

per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione.

L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{20} F W(LPIz) dz$$

Dove:

- $F(z)$ è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità $0 \leq z \leq 20_{\text{rit}}$ in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL
- $w(z)$ è un fattore di peso della profondità.

In sostanza il rischio di liquefazione tiene conto del fattore di sicurezza calcolato strato per strato, ma ne valuta la significatività su tutto lo spessore del deposito.

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

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot k_{\sigma}$$

dove:

$CRR_{7.5}$ = Rapporto di resistenza ciclica per $M=7.5$ (*Cyclic Resistance Ratio*)

MSF = fattore di scala della magnitudo (*Magnitude Scale Factor*)

k_{σ} = Fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR^7 = rapporto di tensione ciclica (*Cyclic Stress Ratio*) = $CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d$

Nelle verifiche effettuate nel presente studio, per il calcolo del CRR è stato utilizzato il metodo Boulanger & Idriss (2014) implementato dal programma CLIQ2 della *Geologimiki*.

⁷ Come illustrato in precedenza per il presente studio il valore di CSR è stato ottenuto direttamente dalla RSL

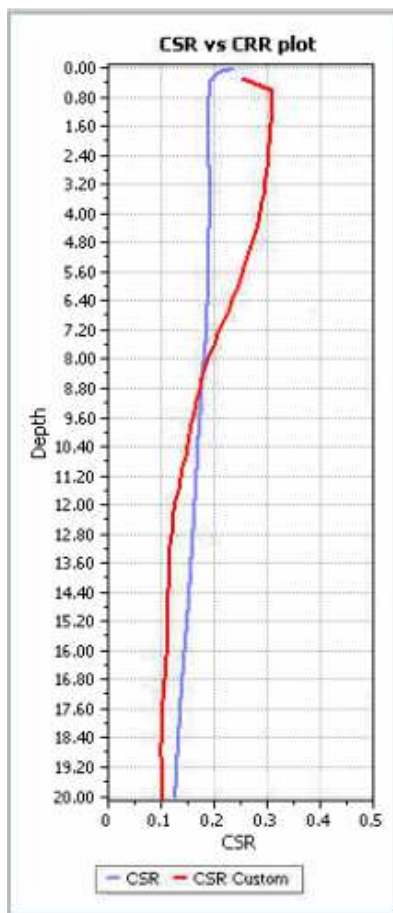


Fig. 11 – diagramma di confronto CSR - CRR

In tali verifiche, come valori di CSR, sono stati utilizzati quelli calcolati mediante la RSL.

Per la verifica, oltre ai dati delle prove CPTU, è necessario fornire al programma la magnitudo attesa al sito. Per la magnitudo è stato utilizzato il valore massimo della più prossima zona di riferimento (Zona 912) della classificazione ZS9 dell'IMCS, che è pari a $M_w = 6.14$.

5.10 Analisi dei risultati

Per ciascuna prova è stato prodotto un report che contiene sia i grafici interpretativi della prova stessa (resistenze penetrometriche, litologia, ecc.), sia i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare (vedi allegato 2):

- il confronto tra CSR e CCR
- la variazione del fattore di sicurezza
- la cumulata del valore di LPI
- la cumulata dei cedimenti

I risultati sintetici delle verifiche sono riportati nelle schede di analisi dei comparti (Cap. 6).

6. COMPARTI OGGETTO DI APPROFONDIMENTI

OMISSIS

6.2 Espansione produttiva ASP2(3) – Ripapersico

6.2.1 Inquadramento geografico

L'intervento in questione ricade a sud-ovest dell'abitato di Ripapersico, ove sorge la zona produttiva di Via del Persico (cfr. Fig. 1).

6.2.2 Dati geognostici di riferimento

Per la definizione delle caratteristiche del sottosuolo è stata eseguita una prova penetrometrica statica con piezocono (PO_CPTU_3), spinta sino alla profondità di -20.00 m da p.c..

Inoltre si è fatto riferimento alle indagini contenute in:

- “Relazione Geologica – Analisi dei nuovi ambiti di espansione”, redatta per il PSC in forma associata di Argenta-Migliarino-Ostellato-Portomaggiore-Voghiera dalla Dr.ssa Geol. Roberta Luetti e dal Dr. Geol. Thomas Veronese in data Gennaio 2010;
- Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Portomaggiore, redatto in data 07/09/2015 dalla A.T.I. composta da Geotema s.r.l., Studio di Geologia Tarabusi e Progeo s.r.l..

L'ubicazione dei dati geognostici utilizzati è riportata in Fig. 20

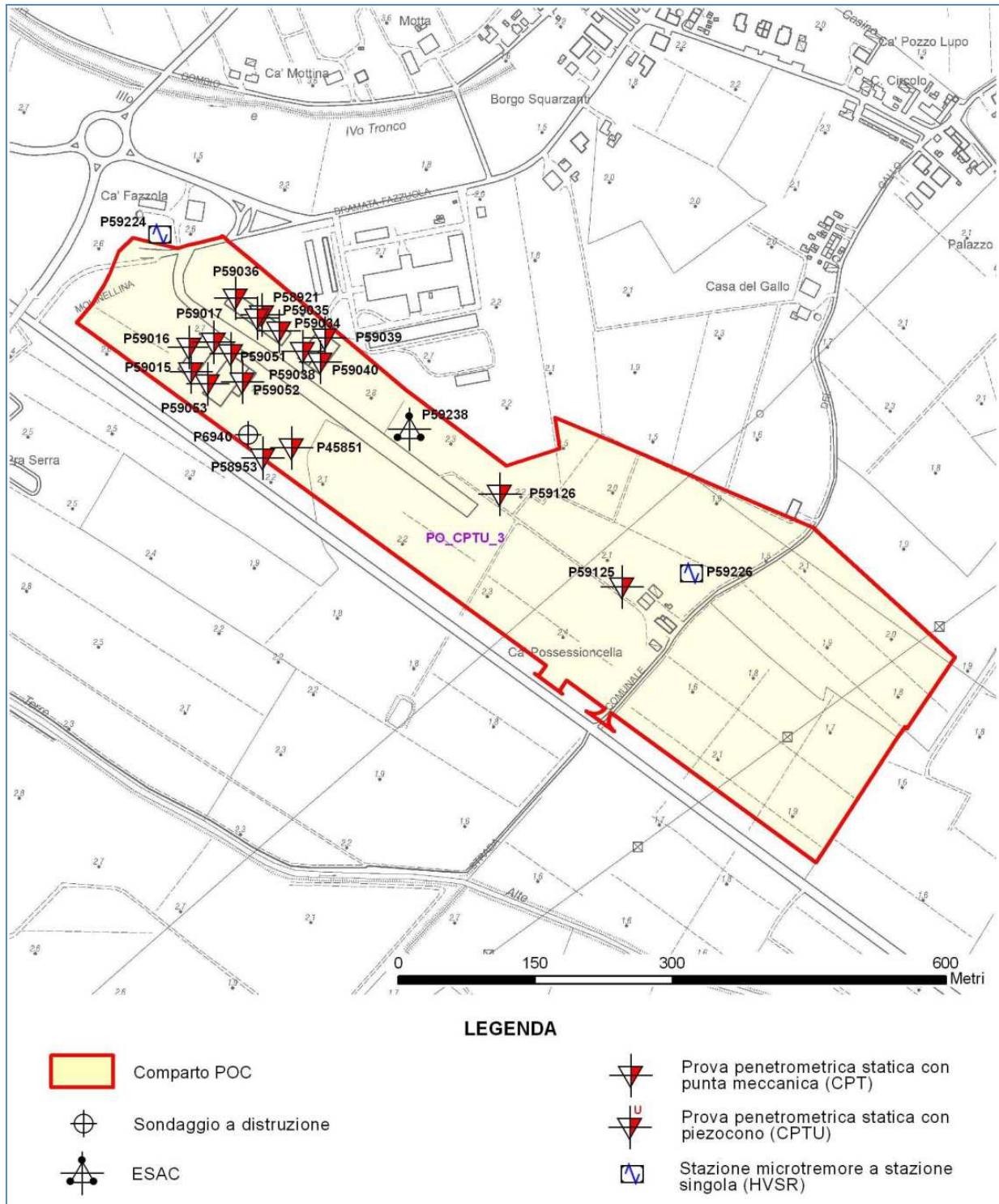


Fig. 20 – Carta delle indagini

6.2.3 Geologia e Litologia di superficie

Sotto il profilo geologico, con riferimento alla Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna “Progetto CARG”, i depositi affioranti sono attribuiti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore – Subsintema di Ravenna – Unità di Modena. Si tratta di depositi riconducibili ad un

ambiente deposizionale di piana deltizia, originatasi in seguito alla sedimentazione dei materiali trasportati dai fiumi che attraversavano l'attuale Pianura Padana. I depositi che ne sono derivati, sono invariabilmente costituiti dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana.

Le prove eseguite all'interno del comparto infatti hanno evidenziato la presenza di prevalenti sedimenti argillosi nei primi 20 metri di profondità, con locali intercalazioni sabbiose e sabbioso-limose nastriformi di spessore 1.00 ÷ 2.00 m rivenute a quote variabili e generalmente oltre -7.00 m da p.c..

Per quanto riguarda la litologia superficiale, con riferimento alla *Carta delle Litologie di Superficie* del Quadro Conoscitivo del PSC, l'ambito ricade principalmente in un areale caratterizzato dall'affioramento di argille limoso sabbiose (Fig. 21)

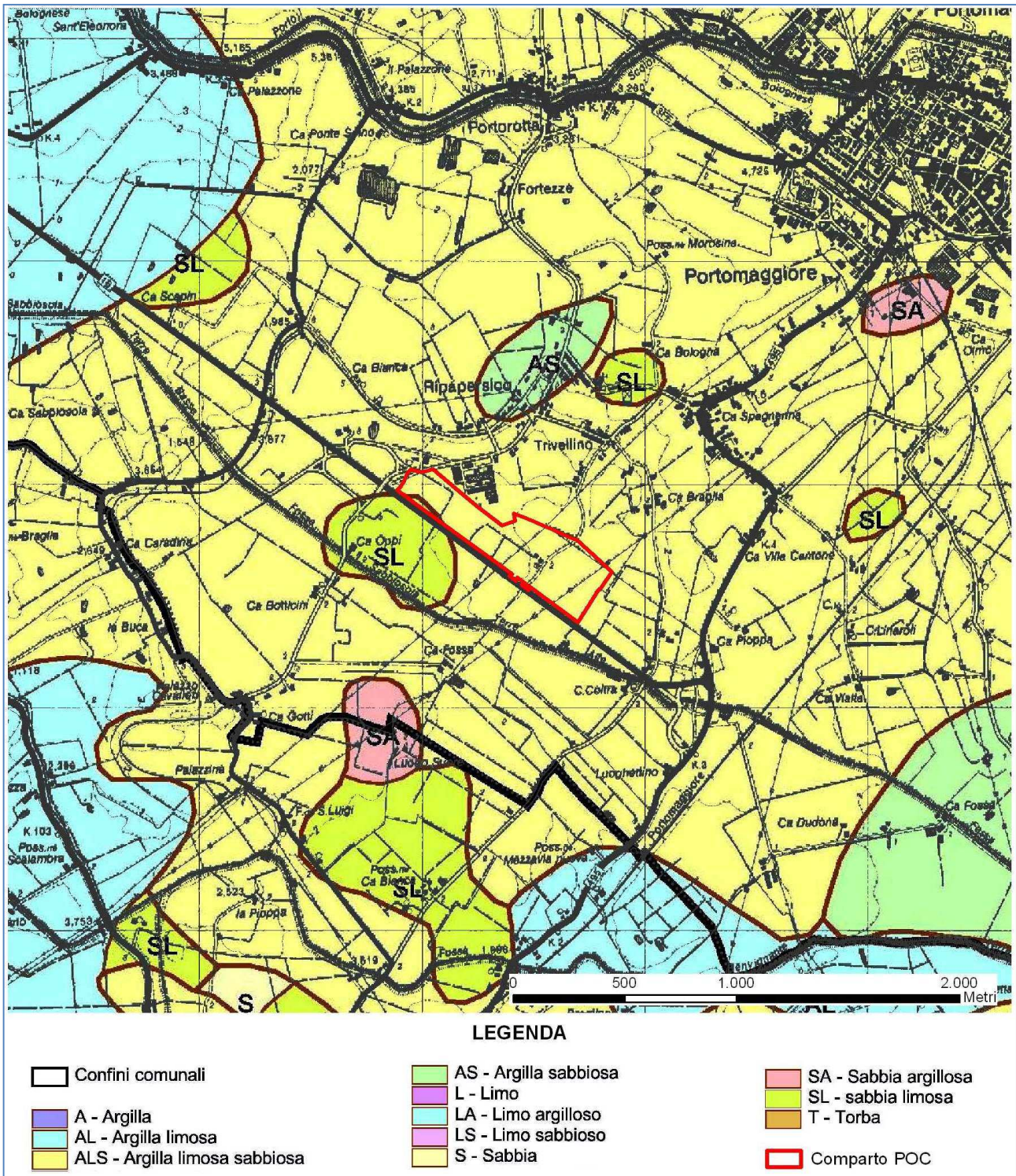


Fig. 21 – Carta delle litologie di superficie. Stralcio della Tav. B.2.2 “Carta delle litologie di superficie – 1:50.000” del Quadro Conoscitivo del PSC (giugno 2005)

6.2.4 Geomorfologia

L’assetto morfologico di questo settore di pianura, con riferimento alla *Carta Geomorfologica* del Quadro Conoscitivo del PSC, è caratterizzato da ambienti deposizionali ad elevata dinamica fluviale, testimoniati dalla presenza di numerosi paleoalvei.

In particolare l'ambito in oggetto risulta esterno alle tracce di paleoalvei noti (Fig. 22).

L'area, con riferimento alla cartografia tecnica regionale, si sviluppa su quote variabili da +2.60÷2.70 m s.l.m. nella porzione NW, a +1.60÷1.80 m s.l.m. in quella SE.

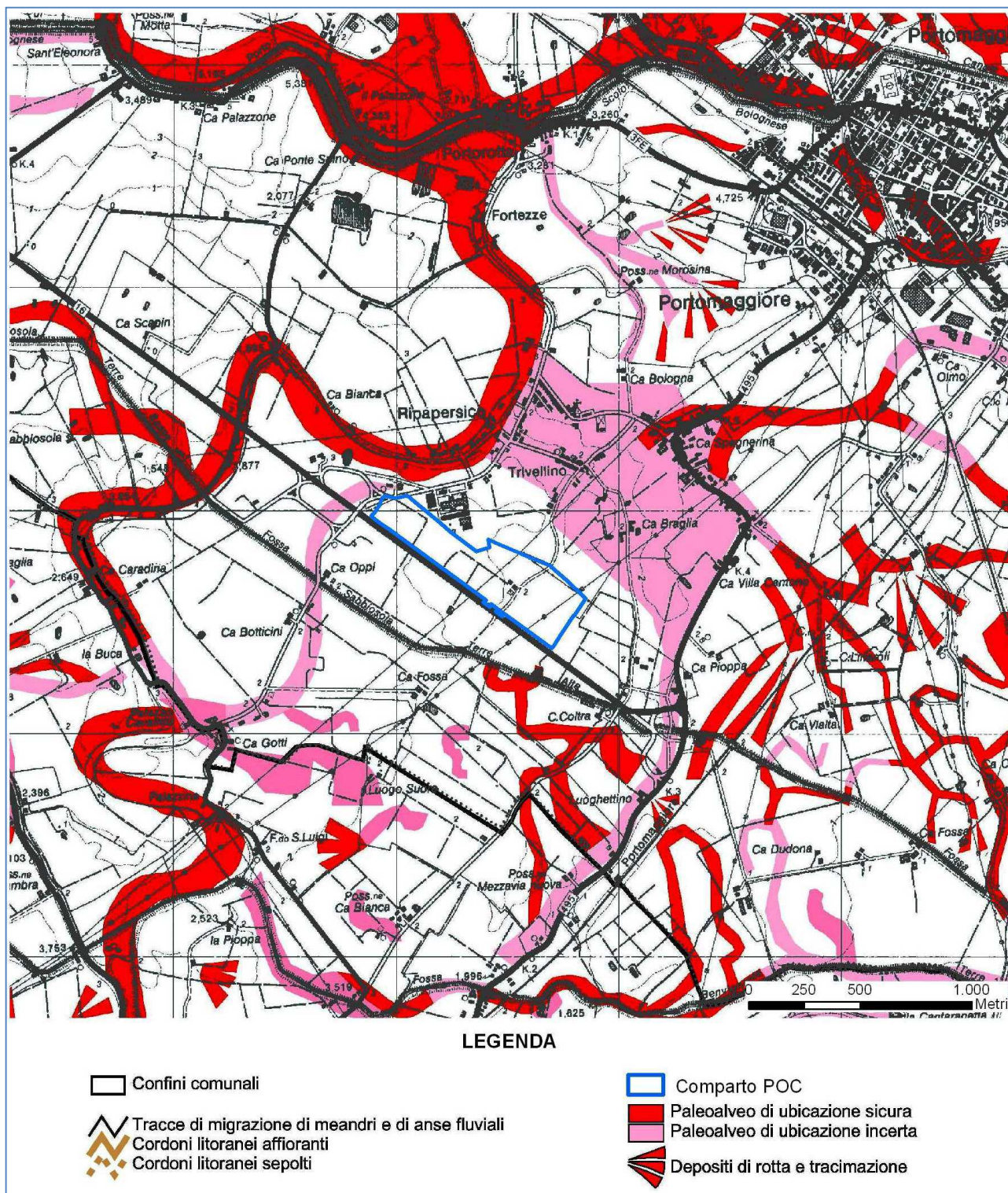


Fig. 22 – Carta Geomorfologica. Stralcio della Tav. B.2.1b “Carta geomorfologica – 1:25.000” del Quadro Conoscitivo del P.S.C. (giugno 2005)

6.2.5 Idrogeologia

Sotto il profilo idrogeologico, in riferimento alla *Carta delle Criticità Idrauliche* a corredo del Quadro Conoscitivo del PSC, il comparto risulta esterno ad aree storicamente allagate.

Mediante la consultazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è stata accertata la classificazione dell'areale in classe P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi).

In base alle risultanze delle prove penetrometriche, le misure del livello di falda rilevate nel corso delle indagini eseguite in epoche differenti, evidenziano soggiacenze minime pari a -1.00 m da p.c..

6.2.6 Caratteristiche geomeccaniche

Le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame risultano discrete nella porzione superficiale, con valori di resistenza alla punta (R_p) compresi tra 10 e 30 kg/cm² nei primi due metri di profondità, per poi ridursi sensibilmente sino alla profondità di -14.00 m in corrispondenza di depositi argillosi, con valori di R_p pari a 3÷6 kg/cm².

Locali aumenti di R_p si rinvencono lungo le verticali di indagine in corrispondenza delle intercalazioni di corpi con frazione predominante sabbiosa, dove si registrano valori di 50÷60 kg/cm².

In questi terreni si attendono cedimenti medio-alti, per cui ogni intervento va valutato attentamente dal punto di vista della soluzione progettuale.

6.2.7 Velocità delle onde di taglio

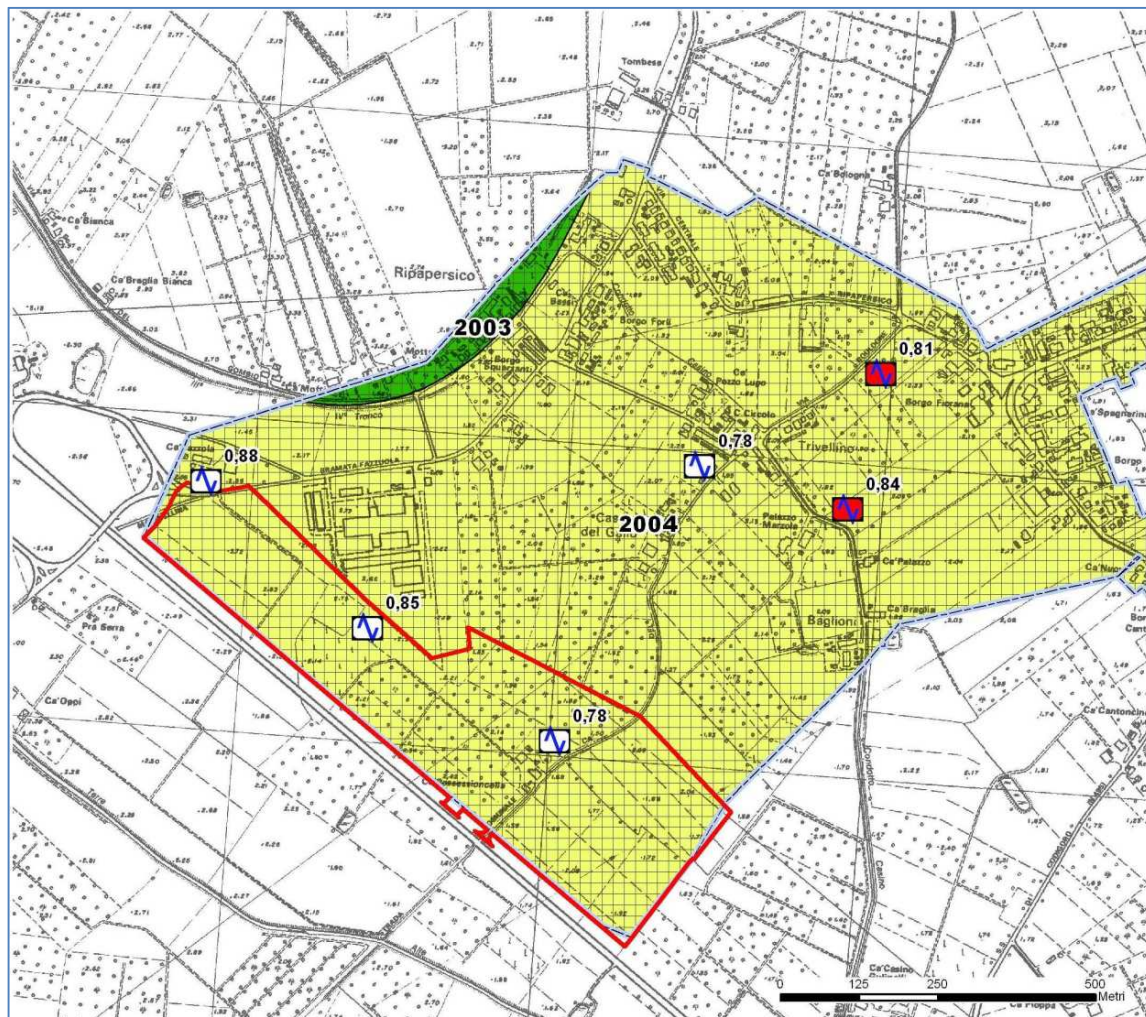
Il profilo di velocità delle onde di taglio, ottenuto attraverso una indagine ESAC eseguita in passato nell'area, indica un valore delle velocità delle onde di taglio entro i primi trenta metri di profondità (V_{s30}) pari a 162 m/s. Di conseguenza il sottosuolo di fondazione può essere attribuito alla categoria D di cui al D.M. 14.01.2008 *“Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni”* ovvero: *“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/sec (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)”*.

6.2.8 Microzonazione sismica

La studio di MS di Livello 1 ha individuato in corrispondenza dell'ambito in oggetto una zona omogena in prospettiva sismica denominata 2004, le cui caratteristiche sono illustrate nella legenda della Fig. 23

L'area ricade in zone di attenzione per liquefazione tipo 1, essendo presenti intercalazioni sabbiose in falda nei primi 15 metri di profondità, per le quali sono prescritti approfondimento di Livello 3.

Le misure di microtremori a stazione singola disponibili per questo ambito, indicano frequenze fondamentali del terreno comprese tra 0.78 e 0.88 Hz che, in ragione delle velocità molto basse delle coperture, possono essere associati a discontinuità presenti entro i 100 metri di profondità dal piano compagna.




LEGENDA

Zone suscettibili di amplificazioni locali

- 2003** Terreni di copertura costituiti da un primo intervallo di 3-5 metri di depositi in prevalenza limo-sabbiosi, a cui seguono spessori di almeno 7 metri di argille e limi a consistenza da media a bassa, con rare intercalazioni limo-sabbiose di spessore decimetrico. Oltre i 10 metri sono presenti livelli almeno metrici di limi sabbiosi e sabbie ad addensamento da medio ad elevato, intervallati da spessori variabili e in genere in aumento con la profondità, di limi argillosi e argille a consistenza media.
- 2004** Terreni di copertura costituiti da un primo intervallo di almeno 10 metri di depositi in prevalenza limo-argillosi a consistenza da media a bassa seguiti da livelli almeno metrici di limi sabbiosi e sabbie ad addensamento da medio ad elevato, intervallati da spessori variabili e in genere in aumento con la profondità, di limi argillosi e argille a consistenza media.

Zone di attenzione per instabilità

-  ZALQ1 - Zona di attenzione per liquefazioni tipo 1

Punti di misura di rumore ambientale




-  Misura di microtremore a stazione singola con valore della frequenza di risonanza fondamentale f_0 . Ampiezza massima < 3.
-  Misura di microtremore a stazione singola con valore della frequenza di risonanza fondamentale f_0 . Ampiezza massima ≥ 3 .
-  Comparto POC

Fig. 23 – Carta delle MOPS. Stralcio della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – 1:10.000” dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello II (settembre 2015)

6.2.9 Risposta Sismica Locale

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi alla prova CPTU PO_CPTU_3, integrata dai dati di un pozzo posto nelle vicinanze fino al bedrock. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte da una prova MASW realizzata all'interno del perimetro dall'area. Anche per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con una prova HVSR esistente nel perimetro.

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types

	Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model
1	Argille superficiali	18.00	Bassa Reggiana Argille superficiali	Bassa Reggiana Argille superficiali
2	Argille profonde	19.00	Bassa Reggiana Argille profonde	Bassa Reggiana Argille profonde
3	Sabbie superficiali	19.50	Bassa Reggiana Sabbie superficiali	Bassa Reggiana Sabbie superficiali
4	Sabbie profonde	20.00	Bassa Reggiana Sabbie profonde	Bassa Reggiana Sabbie profonde

Fig. 24 – Tipi di suolo del modello geofisico

Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.50	Argille superficiali	145.00
2	1.50	2.50	Argille superficiali	170.00
3	4.00	3.60	Argille superficiali	140.00
4	7.60	1.00	Sabbie superficiali	135.00
5	8.60	6.60	Argille superficiali	135.00
6	15.20	1.20	Sabbie superficiali	150.00
7	16.40	7.60	Argille profonde	180.00
8	24.00	8.00	Sabbie profonde	230.00
9	32.00	20.00	Argille profonde	280.00
10	52.00	Half-Space	Bedrock	500.00

Fig. 25 – Modello geofisico

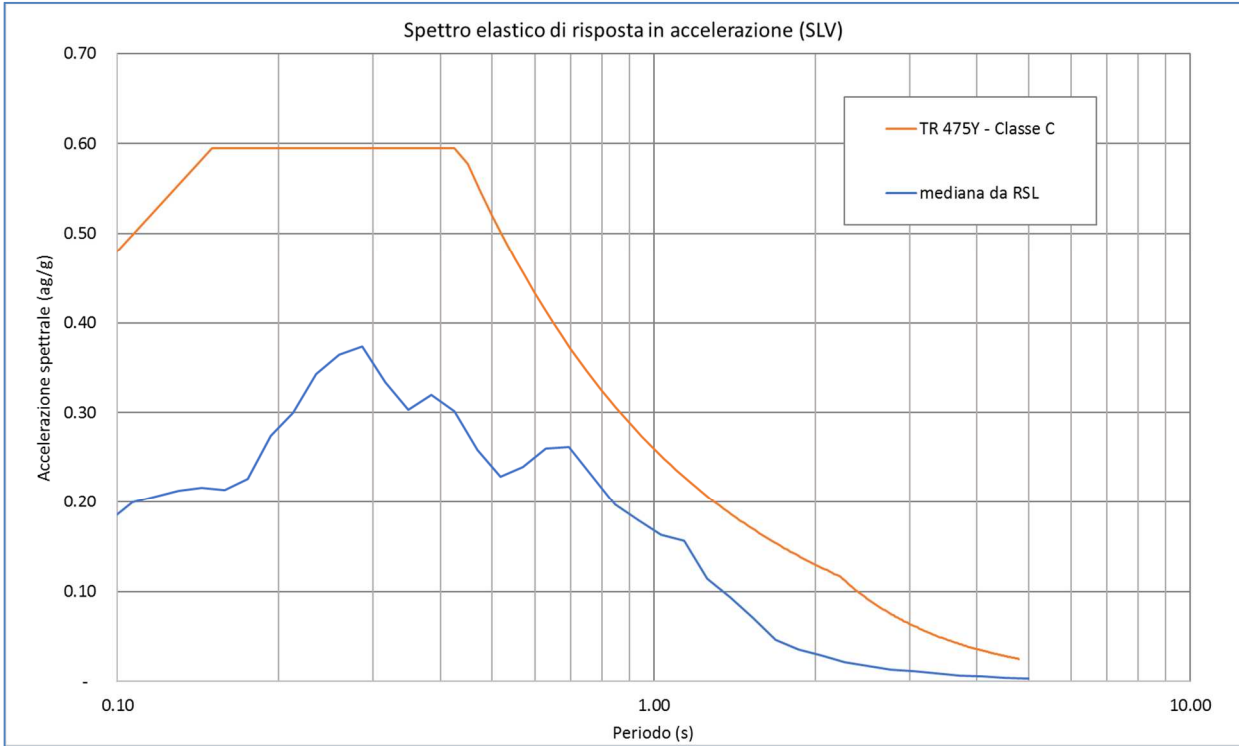


Fig. 26 – Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

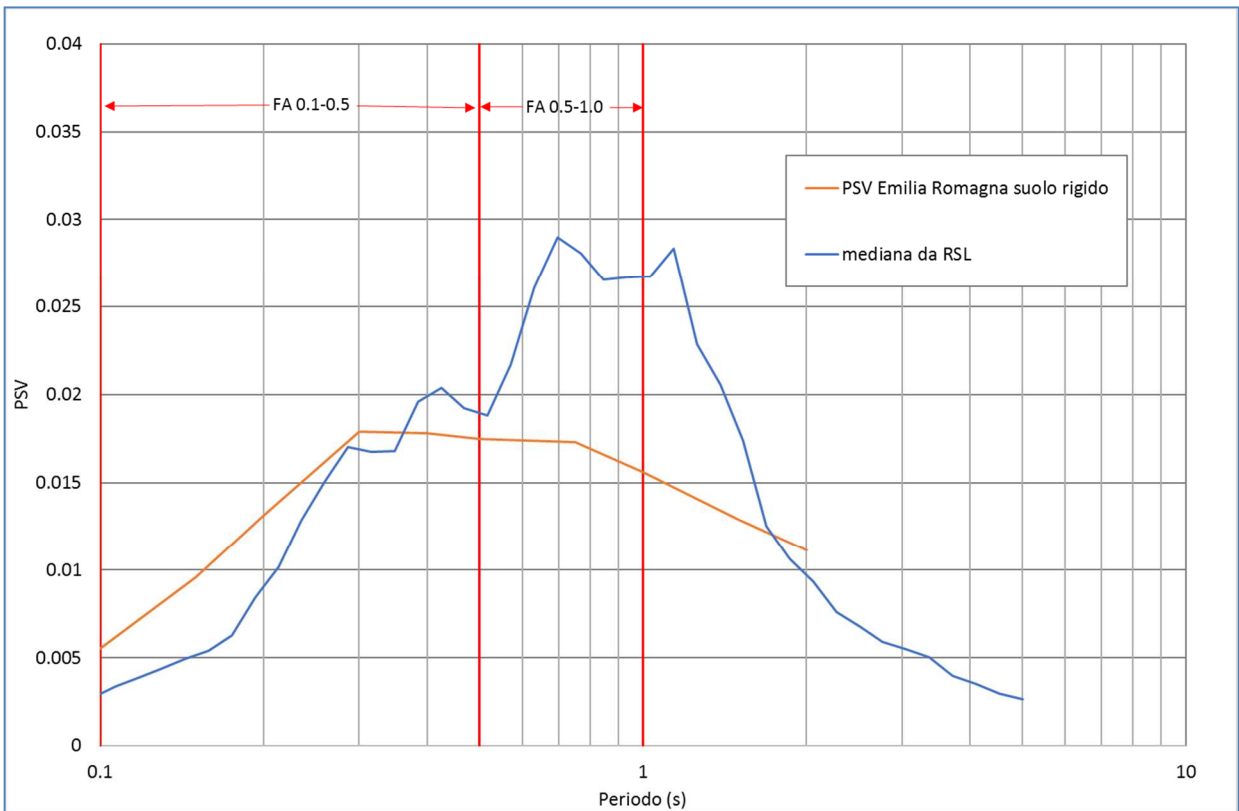


Fig. 27 – Confronto tra gli spettri elastici in velocità

Fattori di Amplificazione	RSL
$F_{A_{PGA}}$	0.95
$F_{A_{IS\ 0.1-0.5}}$	0.91
$F_{A_{IS\ 0.5-1.0}}$	1.59

Tab. 6 – Fattori di amplificazione

6.2.10 Verifica alla liquefazione

La verifica alla liquefazione, eseguita per la verticale di indagine PO_CPTU_03, è riassunta nel report riportato in Allegato 2, che contiene sia i grafici interpretativi della prova stessa (resistenze penetrometriche, litologia, ecc.), sia i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare:

- il confronto tra CSR e CCR
- la variazione del fattore di sicurezza
- la cumulata del valore di LPI
- la cumulata dei cedimenti

Le risultanze della verifica alla liquefazione sono riportate in Tab. 7:

Prova	LPI	Rischio di liquefazione	Cedimento atteso (cm)
PO_CPTU_3	2.9	medio	4.55

Tab. 7 – Sintesi delle verifiche alla liquefazione nel sito ASP2-3a “Ripapersico”

Allegato 1

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO

COMMITTENTE: ENGE S.r.l. - Via Suor Maria Adorni, 2 - 43121 Parma

CANTIERE: Indagini geostatiche per la Microzonazione di III livello nei comuni di Argenta, Portomaggiore e Ostellato - Ferrara.

PROVA N°: PO CPTU 03 PROF. FALDA (m da p.c.): 2.80 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 06/10/16 PROF. (m da p.c.): LAT. (WGS 84): 44.683739° LONG. (WGS 84): 11.779188°

COMMESSA: 15699/16 C. SITO N°: OPERATORE: L. Zanirato

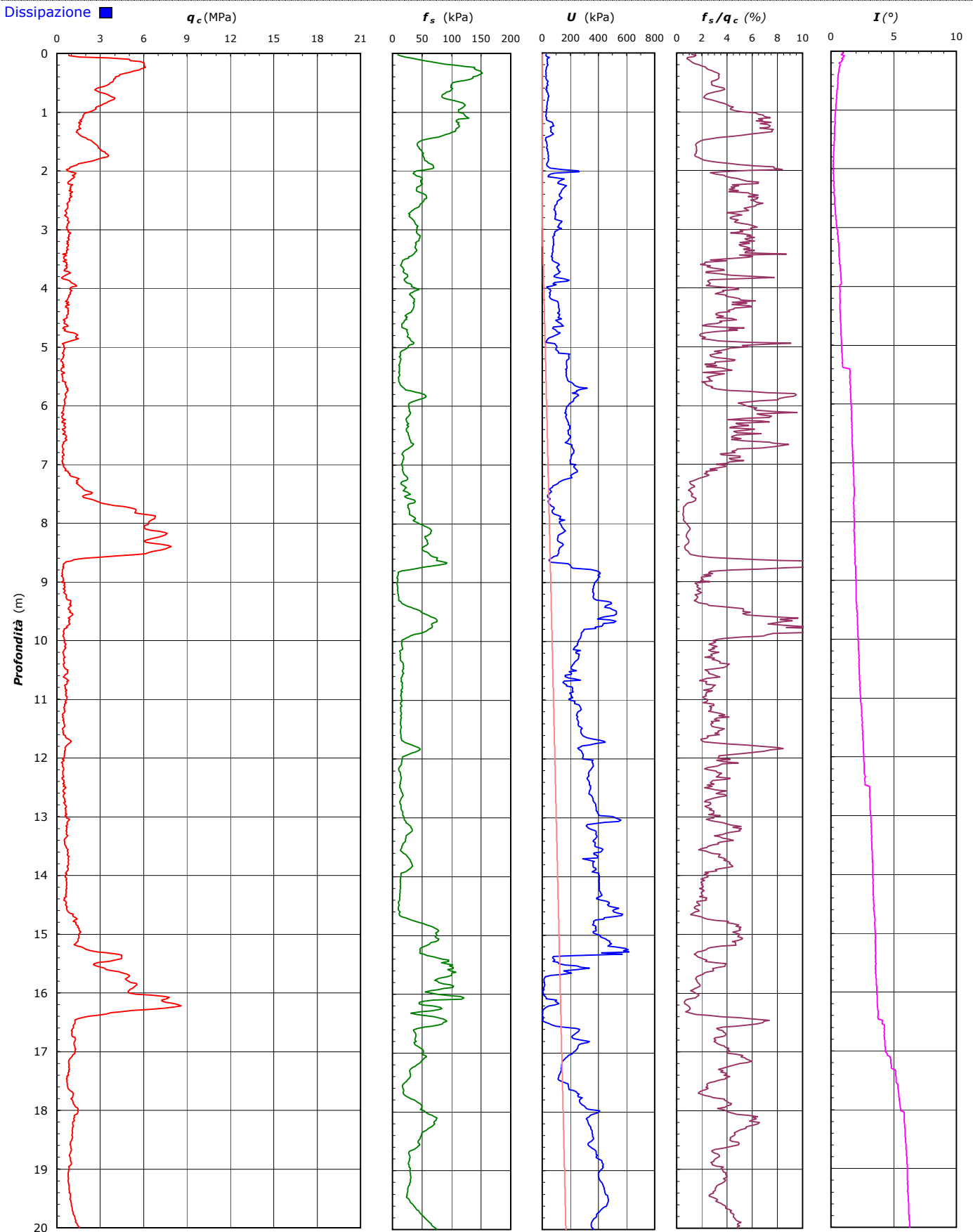
Table with columns: prof. m, qc Mpa, fs kPa, U kPa, incl. gradi. It contains three identical data blocks for different soil samples.

COMMITTENTE: ENGEO S.r.l. - Via Suor Maria Adorni, 2 - 43121 Parma
CANTIERE: Indagini geostatiche per la Microzonazione di III livello nei comuni di Argenta, Portomaggiore e Ostellato - Ferrara.

PROVA N°: PO CPTU 03 PROF. FALDA (m da p.c.): 2.80 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 06/10/16 PREFORO (m da p.c.): LAT. (WGS 84): 44.683739° LONG. (WGS 84): 11.779188°

COMMESSA: 15699/16 C. SITO N°: OPERATORE: L. Zanirato



COMMITTENTE: **ENGEO S.r.l. - Via Suor Maria Adorni, 2 - 43121 Parma****CANTIERE:** Indagini geognostiche per la Microzonazione di III livello nei comuni di Argenta, Portomaggiore e Ostellato - Ferrara.

PROVA N°: PO CPTU 03 PROF. FALDA (m da p.c.): 2.80 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 06/10/16 PREFORO (m da p.c.): LAT. (WGS 84): 44.683739° LONG. (WGS 84): 11.779188°

COMMESSA: 15699/16 C. SITO N°: OPERATORE: L. Zanirato

UBICAZIONE

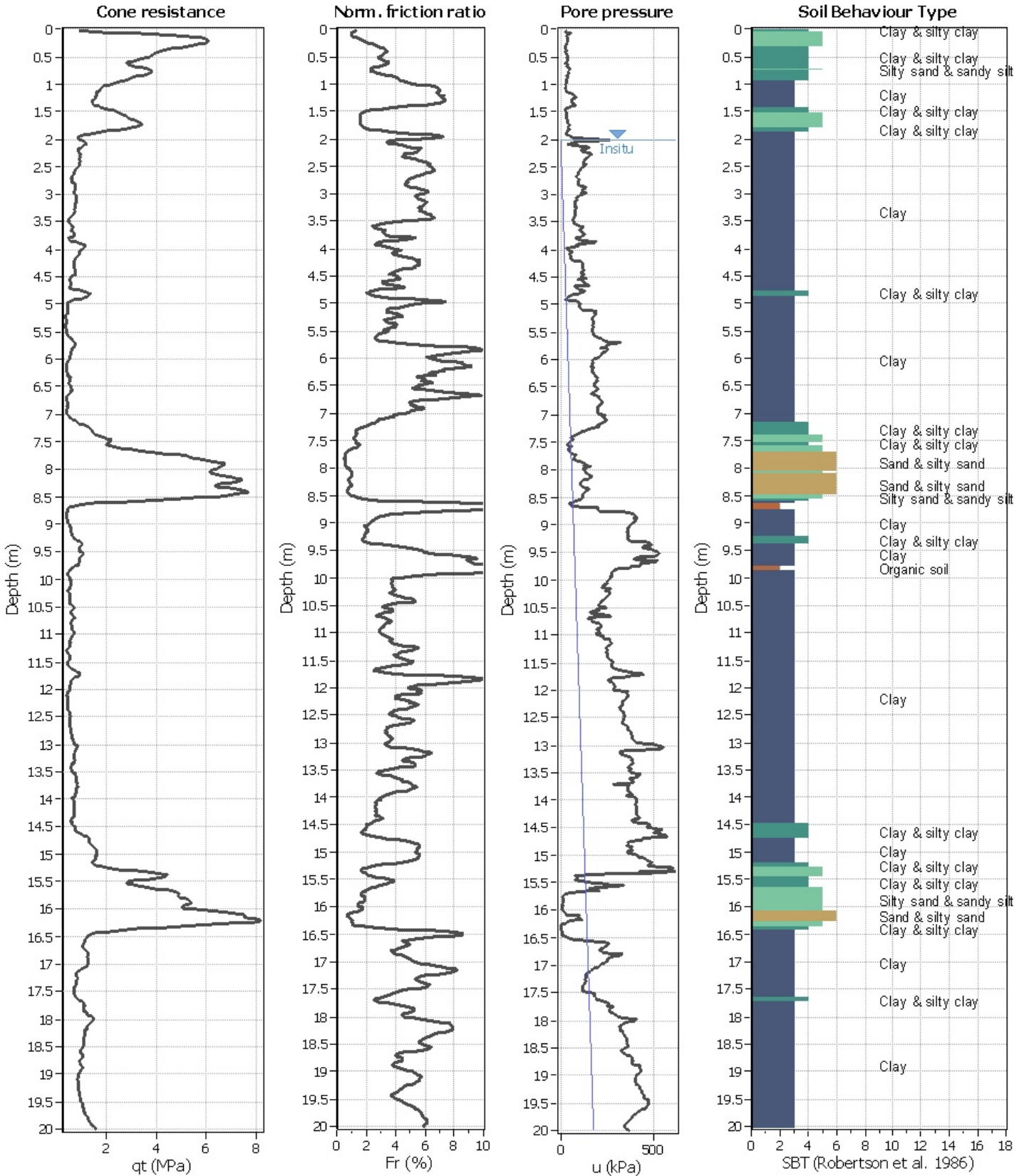
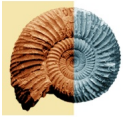
Località: Via del Persico - Portomaggiore (FE)



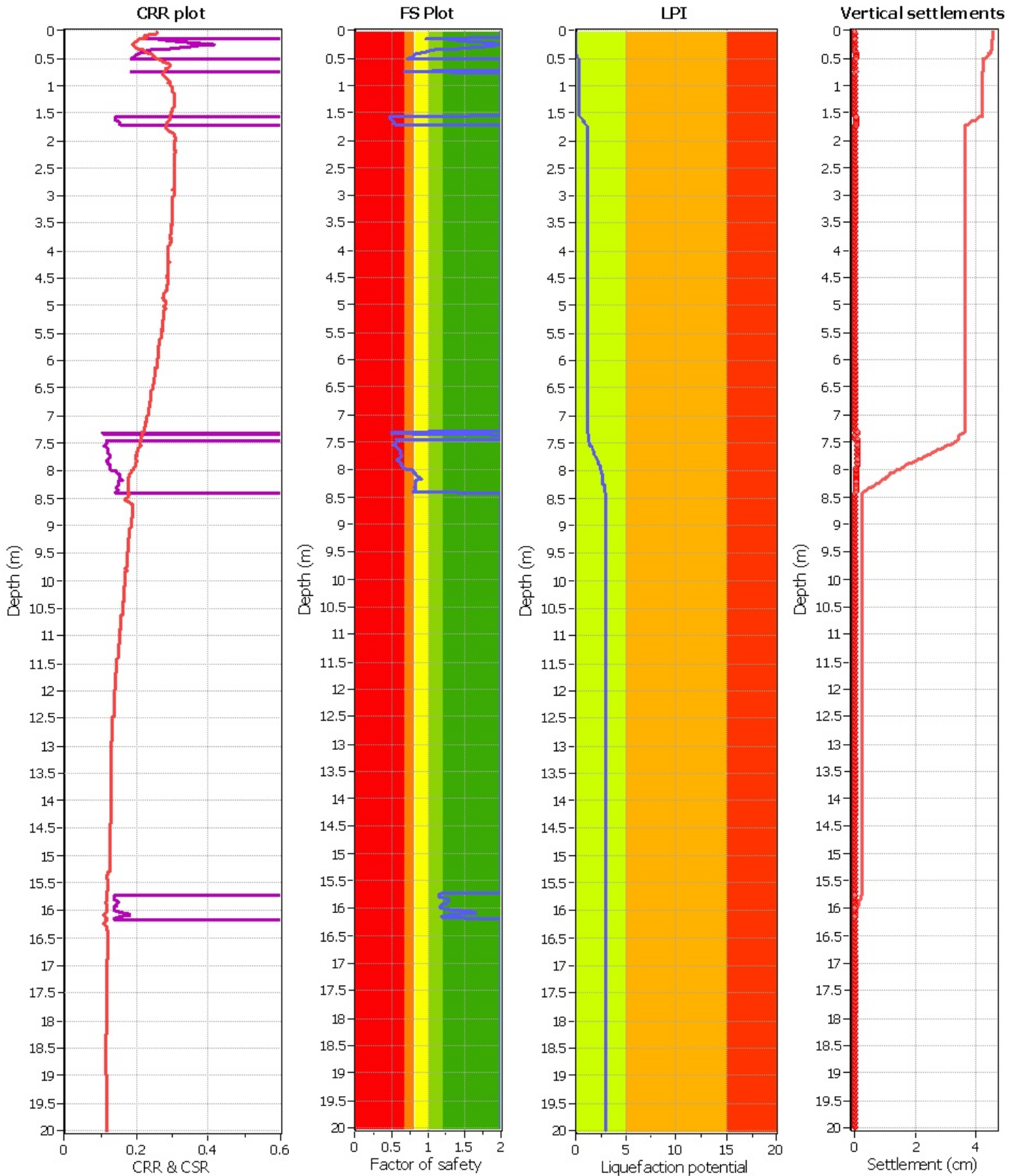
NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

Allegato 2

VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE



Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	0.00 m	Fill height:	N/A	applied:	.
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	5	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	.	MSF method:	Method based



Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	.
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	0.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	5	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	.		