

PROVINCIA DI FORLÌ'-CESENA – COMUNE DI FORLIMPOPOLI



COMMITENTE:

GESCO S.R.L.

LOCALITA':

Forlimpopoli, via Paganello

RELAZIONE GEOLOGICA nuova area logistico industriale sita nel Comune di Forlimpopoli denominata "AREA EX SAPRO

Geologo Paride Antolini

Iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna al n. 524

Via Albisola 41, 47522 - Cesena FO cell. 335 6780120

E-mail: geoparide@libero.it PEC: paride.antolini@epap.sicurezzapostale.it

Cesena 14 Settembre 2021

INDICE

pag.	cap.	
pag. 3	1.	INTRODUZIONE
pag. 4	2.	ELENCO ELABORATI
pag. 4	3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE E TETTONICA
pag. 5	3.1.	STRATIGRAFIA DELLE UNITA' PRESENTI NELL'AREA D'INDAGINE
pag. 5	3.2	GEOMORFOLOGIA
pag. 6	4.	IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA
pag. 6	5.	PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'
pag. 7	6.	MODELLO GEOLOGICO
pag. 7	6.1	CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI
pag. 8	6.2.	ANALISI DEI RISULTATI nelle verticali di indagine S1-CPTu7 e S2-CPTu5
pag. 10	6.3	DEFIIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO AI FINI DELLA MICROZONAZIONE DI TERZO LIVELLO.
pag. 10	7.	SISMICITA'
pag. 15	7.1	NTC 2018 RSL SEMPLIFICATA
pag. 19	8.0	DGR 630 - SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO – ANALISI SEMPLIFICATA
pag. 25	9.0	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE
pag. 38	9.3	STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL'AZIONE SISMICA
pag. 39	10.0	MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
pag. 44	11.0	CONCLUSIONI

1. INTRODUZIONE

Su incarico della Committenza, GESCO S.R.L. è stata redatta la seguente relazione geologica per la nuova area logistico industriale sita nel Comune di Forlimpopoli denominata "AREA EX SAPRO". L'intervento principale consiste nella costruzione di uno stabilimento accorpando diversi edifici con le seguenti funzionalità e dimensioni:

- Logistica, opzione monopiano, pallettizzatore – Celle; dimensioni m107xm80, altezza 24m.
- Produzione + Logistica, opzione bipiano/tripiano - PT Produzione, P1 Stoccaggio imballaggi; dimensioni m175xm107, altezza massima 23m.
- Logistica, opzione bipiano – PT Celle, P1 Stoccaggio; m30xm107, altezza massima 24m.
- Servizi dipendenti, opzione tripiano; dimensioni m167xm14,70, altezza massima 23m.
- Impianti tecnologici, opzione monopiano - Centrale Termica, Cogeneratore.
- Zona parcheggi.
- Pesa.
- Accesso al sito.

Lateralmente sono presenti depressioni per l'invarianza idraulica.

Lo studio procede come se si trattasse di una costruzione in cui si prevedono normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, sulla scorta del D.M. 17.01.2018 la Classe d'Uso, specificato dal progettista, è la Classe II (NTC2018 2.4.2.). Questa relazione pertanto, seguendo i dettami della normativa vigente e dello stato dell'arte, è finalizzata alla costruzione del modello geologico, che è imprescindibile per la redazione del successivo modello geotecnico, facente parte della relazione d'opera geotecnica.

Per quanto concerne la conoscenza e la caratterizzazione geo-meccanica del terreno sono state effettuate le seguenti indagini.

- ✓ N. 8 prove penetrometriche CPTu con piezocono, CPTu1-8, di cui 7 spinte fino al rifiuto (incontro del primo orizzonte ghiaioso situato alla profondità variabile tra m27.20 e m29.80m, mentre la CPTu8 ha una profondità di 15 metri (zona destinata a parcheggio).
 - ✓ N. 2 sondaggi a carotaggio continuo ($\varnothing$ 101mm) con rivestimento metallico ($\varnothing$ 127mm) spinti a circa 35m.
 - ✓ N. 8 campioni prelevati con campionatore Osterberg e determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dal laboratorio GEODE di Rimini.
 - ✓ N.1 HVSR + N. 1 MASW + indagini geofisiche inserite nella microzonazione sismica di II livello.
- Nel presente studio sono stati consultati ed utilizzati dati prelevati da:
- ✓ Microzonazione Sismica del Comune di Forlimpopoli; Febbraio 2019.
 - ✓ Indagini ed immagini scaricate dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna.

Le prove penetrometriche, CPTu1-8, sono state elaborate in una prima fase con il sistema di acquisizione Pagani, Allegato A1, in cui sono riportate le informazioni strumentali ed una prima lettura dei Test riportando i log di Qc, Fs, U2, Rf, il Tilt e lo Speed.

In Allegato A2, le stesse indagini sono state elaborate con software P.G.S di Alberto Bruschi. In base agli autori di riferimento citati nelle tabelle (formule di calcolo), i parametri geotecnici stimati sono i seguenti:

- o Grafici Qc, Qt, Fs, Rf, U
- o Stratigrafia
- o Angolo d'attrito drenato (sforzi efficaci)
- o Contenuto di fini %
- o OCR
- o Indice di compressibilità
- o Indice di densità
- o Modulo confinato
- o Modulo di taglio
- o Modulo di m Jambu
- o Peso di Volume
- o Resistenza al taglio non drenata

Nell' Allegato A3 sono riportate le elaborazioni delle prove CPTu1-8 mediante software della ProgramGeo. Per ogni punto indagine è riportato:

- o Grafico della prova
- o Grafico del profilo stratigrafico (si consiglia di stamparlo in A3)
- o Colonna stratigrafica
- o Grafici dei principali parametri geotecnici
- o Grafico del profilo stratigrafico per strati accorpati
- o Tabelle con i parametri geotecnici per strati accorpati
- o Tabella riassuntiva con i metodi di calcolo dei parametri geotecnici.

I parametri riportati negli strati accorpati sono stimati con il valore caratteristico della media.

In Allegato 4 sono riportate le stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti fino alla profondità di circa 35 metri e relativa documentazione fotografica. Sono indicate le profondità di prelievo dei campioni, il tipo di campionatore usato, SPT.

Nell'Allegato 5 sono presenti i risultati delle prove di laboratorio sui 8 campioni prelevati:

S1C1 – S1C2 – S1C3 – S1C4; S2C1 – S2C2 – S3C3 – S4C4

Infine nell'allegato Allegato 6 sono riportate le indagini geofisiche effettuate.

2. ELENCO ELABORATI

Alla seguente relazione si allega:

- Inquadramento, Tavola 240SO, scala 1:25.000; Fig.1.
- Elemento 240143, planimetria con posizione delle indagini, , scala 1:5.000; Fig.2.
- Carta Geologica della Regione Emilia Romagna 240140, scala 1:10.000; Fig. 3.
- Planimetria sezioni geologiche e prove geognostiche banca dati RER, scala 1: 10.000; Fig. 4.
- Sezioni Geologiche n. 85 estratta dalla banca dati RER; Fig. 5.
- Planimetria sezioni geologiche e prove geognostiche banca dati RER, scala 1: 30.000; Fig. 6.
- Sezioni Geologiche n. 58 estratta dalla banca dati RER; Fig. 7.
- Planimetria posizioni indagini CPTu e S1-2, traccia della sezione, scala 1:1.500; Fig. 8.
- Sezione Geologica A-A'; Fig. 9.
- Allegato A1 – Dati di acquisizione con software Pagani
- Allegato A2 – Elaborazione prove CPTu1-8 con software Alberto Bruschi
- Allegato A3 - Elaborazione prove CPTu1-8 con software ProgramGeo
- Allegato A4 - Sondaggi S1, S2 con stratigrafia e documentazione fotografica.
- Allegato A5 - Laboratorio Geotecnico
- Allegato A6 – Indagini sismiche.
- TABELLA 1, 2 con riassunto dei parametri geotecnici per punto di indagine CPTu7-S1 e CPTu5-S2 (in relazione)

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE E TETTONICA

Nel territorio comunale di Forlìmpopoli affiora una successione sedimentaria di terreni relativamente recente della successione plio-pleistocenica con copertura olocenica nelle zone intravallive e nella pianura.

L'assetto strutturale dell'area e la sua evoluzione presenta evidenti differenziazioni paleogeografiche, con conseguente influsso sulle caratteristiche deposizionali della successione.

Le strutture che interessano le successioni sedimentarie del Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo (prevalentemente presente nel sottosuolo) hanno mediamente una direzione NO-SE (appenninica). Si tratta sostanzialmente di pieghe e sovrascorrimenti a dominante vergenza NE. Lo studio delle strutture mostra che il substrato carbonatico Mesozoico, in particolare la Formazione dello Schlier, rappresenta uno dei maggiori livelli di scollamento.

In generale tutti gli autori concordano che i raccorciamenti della catena aumentano verso SO e decrescono andando a NE verso l'avampaese. Le strutture si presentano tipicamente come pieghe-faglie, con anticlinali generalmente strette e spesso col fianco frontale rovesciato e tagliato da sovrascorrimenti e con sinclinali ampie. I terreni della FMA sono scollati alla base della successione clastica (Formazione dello schlier). Sia i sedimenti della FMA sia le sottostanti unità carbonatiche meso-cenozoiche sono poi state

successivamente coinvolte in un piegamento a grande scala (plurichilometrico) che è collegabile alla crescita delle strutture più esterne delle pieghe romagnole.

3.1. STRATIGRAFIA DELLE UNITA' PRESENTI NELL'AREA D'INDAGINE

Le Unità litostratigrafiche presenti nel sottosuolo del territorio comunale appartengono al Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo: esse possono essere distinte, per comodità di esposizione, in tre grandi gruppi: Formazione Marnosa Arenacea, la successione messiniana e la successione plio-pleistocenica. Tutte sono ricoperte dalla successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano.

L'intervento in oggetto si sviluppa nella successione quaternaria del margine appenninico padano, Subsintema di Ravenna, Unità di Modena AES8a.

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES - Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

Unità costituita da depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, di conoide alluvionale ghiaiosa e di interconoide, passanti lateralmente a limi più o meno sabbiosi e argillosi di piana alluvionale. In affioramento comprende anche depositi litorali e marini. L'unità è suddivisa in subsintemi, sulla base dell'individuazione di deboli discordanze angolari o di scarpate erosive particolarmente ampie, e, nel sottosuolo della pianura, di bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino-marginali e palustri su dep Nel sottosuolo della pianura l'unità è costituita dall'alternanza di cicli trasgressivo-regressivi di depositi grossolani e fini, di ambiente alluvionale e subordinatamente di ambiente deltizio e litorale, nelle porzioni sommitali dei quali frequentemente. Pleistocene medio – Olocene

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 alluvioni 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.

Unità di Modena (AES8a)

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometria lenticolari, nastroforni, tabulari e cuneiformi. Depositati 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 in conforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonatato a parzialmente carbonatato contenete resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Olocene.

3.2 GEOMORFOLOGIA

Il sito ricade in una zona di pianura, in destra idrografica del fiume Ronco e sinistra del rio Ausa; la quota sul livello del mare (rilevata nella CTR) è pari a 25,6-25,7m.; i sedimenti sono ascrivibili a depositi alluvionali

della pianura. Le curve di livello della tavola 255 indica un deflusso naturale superficiale delle acque verso nord.

4. IDROGEOLOGIA

L'attività idrogeologica si manifesta all'interno dei sedimenti alluvionali. Il tetto delle ghiaie del primo acquifero sono poste ad una profondità variabile da m27.20 a m29.80m

L'attività idrogeologica si manifesta all'interno dei sedimenti alluvionali; nei fori lasciati dall'estrazione delle aste utilizzate per le CPTu, sono state inserite delle canne piezometriche in plastica appositamente fessurate, al fine di misurare il livello della falda freatica monitorata dal 3/11/2020 al 13/01/2021 i cui risultati sono qui sotto esposti:

Piezometro	Profondità in data 3/11/20	Profondità in data 11/11/20	Profondità in data 13/01/21
CPTu1	3,20	3,05	2,89
CPTu2	3,80	3,15	2,94
CPTu3	3,10	2,80	2,69
CPTu4	3,10	2,60	2,43
CPTu5	3,30	2,90	2,74
CPTu6	3,40	3,05	2,84
CPTu7	3,50	3,25	3,05
CPTu8	3,20	2,60	2,40

I dati sopra riportati sono limitati al periodo di monitoraggio. Non si conosce il massimo ravvenamento della falda, che si presume venga raggiunto nel periodo primaverile, quindi con un ulteriore innalzamento e avvicinamento al piano campagna. Si tratta di un acquifero libero.

5. PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

Per la valutazione della Pericolosità e della Fattibilità si è fatto riferimento alla Direttiva Alluvioni della Regione Emilia-Romagna. Nelle mappe di pericolosità di alluvione, allagamento temporaneo di aree normalmente non coperte d'acqua, alluvioni causate da corsi d'acqua naturali e artificiali, il sito ricade in uno scenario di alluvioni poco frequenti MP2.

La probabilità che si manifestino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se è verificata almeno una delle seguenti condizioni:

1. Magnitudo attesa inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Terreni sabbiosi 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 $qc_{1N} > 120$ oppure $VS1 > 200$ m/s;

- $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 160$ oppure $VS1 > 220$ m/s ($(N1)_{60}$, qc_{1N} , $VS1$ sono i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta qc della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche).

4. Distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato in Figura 1a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c \leq 3.5$.

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

Sulle verticali delle CPTu1-8 sono state eseguite le opportune verifiche i cui risultati sono esposti nel capitolo Liquefazione in 6 verticali su 8 il potenziale di liquefazione è > 5 . Il metodo usato per la verifica è il Boulanger & Idriss.

6. MODELLO GEOLOGICO

Il modello geologico è stato costruito utilizzando le prove penetrometriche CPTu, i sondaggi S1 e S2, le prove di laboratorio, le indagini geofisiche e la banca dati della Regione Emilia-Romagna.

La sequenza stratigrafica è stata suddivisa in diversi orizzonti accorpati per punto di indagine i cui parametri sono presenti nelle tavole allegate. In corrispondenza delle verticali CPTu7-S1 e CPTu5-S2 gli orizzonti litotecnici sono riportati rispettivamente nella tabella n. 1 e n. 2, con i parametri desunti dalle indagini CPTu e di laboratorio.

Essendo i sedimenti formati da depositi alluvionali, sabbie di riempimenti di canale fluviale, di argine prossimale, argille e limi di piana inondabile, alternanze di sabbie limi ed argille di tracimazione fluviale indifferenziata, in una alternanza variabile e fortemente eteropica ha reso difficoltoso la ricostruzione della sezione geologica A-A' cercando di correlare delle litofacies eteropiche con orizzonti litotecnici.

Pertanto la descrizione per orizzonti, relativamente alla loro profondità, è senz'altro legata alla verticale di indagine, sono sempre riconoscibili ma a profondità talora molto diversa dal piano campagna.

Facendo riferimento alla sezione geologica A-A' si osserva:

Orizzonte A: da m0,00 a m1,81÷3,00; in tutte le indagini si riscontra un orizzonte superficiale (A) costituito da sabbia limosa, limo sabbioso talora con intercalazioni di limo argilloso, di cui i primi 60-80 cm costituito da terreno agrario.

Orizzonte B: da m1,81÷3,00 a m5,62÷m7,00; argilla limosa e argilla, generalmente molle, poco consistente. In alcune verticali di indagine alla sommità sono presenti terreni sovraconsolidati per essiccamento. Per quanto riguarda i parametri (a cui si rimanda alle apposite tabelle) i valori di cui variano da 0,044MPa a 0,058MPa e il valore E_{edom} varia da 2,69MPa a 4,1MPa.

Orizzonte B3÷B4: da m5,62÷m7,00m a m8,34÷m12,51; al tetto presenti limo argilloso ed argilla limosa consistente con uno spessore modesto fino a qualche decimetro, al di sotto limo argilloso ed argilla limosa con intercalazioni di diffusi orizzonti centimetrici e decimetrici di sabbia limosa e limo sabbioso. Questo orizzonte, nell'accorpamento degli strati centimetrici, viene interpretato come prevalentemente coesivo o come prevalentemente incoerente; a seconda dell'interpretazione mediata dal software i parametri saranno di conseguenza relativi all'uno o all'altro tipo di terreno. In alternativa vi è la tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici elaborati per singoli strati centimetrici.

Orizzonte C: m8,34÷m12,51 a m12,18÷m16,35; sabbia, sabbia limosa, limo sabbioso, talora con intercalazioni sottili di limo argilloso. Presenta forte variabilità laterale e verticale (eteropia di facies); confrontando la CPTu7 con la CPTu5, si può constatare come l'orizzonte sia a quote completamente diverse, il tetto del corpo sabbioso in CPTu7 corrisponde alla base dello stesso in CPTu5. E' evidente che ci troviamo in un ambiente deposizionale molto dinamico.

Orizzonte D: da m12,18÷m16,35 a m22,49÷m24,53; limo argilloso, argilla limosa, argilla, con intercalazioni di mini sequenze con presenza di livelli centimetrici/decimetrici di sabbia limosa-limo sabbioso. Presenti orizzonti molli.

Orizzonte E: da m22,49÷ m24,53 a m26,77÷m29,78; argilla limosa e argilla compatta.

Orizzonte F: da m27,76÷m29,22; sabbia limosa e limo sabbioso.

Orizzonte G: da m28,6÷m35; ghiaia, ghiaia grossolana con sabbia limosa, argille limose e limi, sabbie fini limose, frustoli vegetali e frammenti di tronchi, sabbie fini medie prevalenti con ghiaietto in matrice limosa. Questo orizzonte indicato come prettamente ghiaioso nelle sezioni geologiche della RER è risultato (nei sondaggi eseguiti fino a 35 m.) con ghiaie subordinate a sabbie e limi.

6.1. CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI

Nelle Tabelle 1 e 2 allegate alla fine della presente relazione, sono rappresentati i parametri ottenuti nelle due verticali di indagine CPTu7-S1, CPTu5-S2

La tabella è così rappresentata:

Nella prima colonna sono indicati gli orizzonti litostratigrafici/litotecnici accorpati individuati; nella seconda colonna il tipo di indagine da cui è scaturito il dato, CPTu (prova penetrometrica), S1C1 (Sondaggio n. 1 campione n. 1), TD (prova di taglio diretto); nella terza colonna è indicata la profondità in metri a cui si riferisce il parametro, nelle colonne successive sono indicati i parametri.

In orizzontale i valori dei parametri ricavati. Sotto il rispettivo orizzonte litotecnico di appartenenza sono riportati i campioni prelevati con indicato TD prova di taglio diretto, a seguire la profondità di prelievo e il sommario delle caratteristiche fisico meccaniche. Le caratteristiche Cc e OCR sono state calcolate manualmente in base ai valori disponibili. Nelle prime righe dello schema (tabelle 1 e 2) sono rappresentate le caratteristiche fisico-meccaniche e in colonna riportati i valori ottenuti con le varie metodologie, laboratorio o software di calcolo da CPTu.

Per una più facile comprensione si rappresenta questa tabella di corrispondenza fra le litofacies e gli orizzonti litotecnici lungo le verticali CPTu7 e CPTu5 rappresentati nei profili stratigrafici e parametri geotecnici con software ProgramGeo.

Litofacies presenti In Tabella 1	Orizzonti litotecnici Presenti in CPTu7		Litofacies presenti In Tabella 2	Orizzonti litotecnici Presenti in CPTu5
A	1		A	1
B1	2		B1	2
B2	3		B2-3	3
B3	4			
B4	5		B4	4
C	6		C	5
D1	7		D1	6
D2	8		D2	7
D3	9		D3	8
D4	10		D4	9
D5	11		D5	10
E	12		E	11
F	13		F	12
GHI			GHI	

6.2. ANALISI DEI RISULTATI nelle verticali di indagine S1-CPTu7 e S2-CPTu5

La notevole mole di dati esige una analisi globale per alcuni parametri.

Cu - coesione non drenata

Orizzonte B1 da m2,03 ÷ m4: limi argillosi ad argilla; ha uno spessore di circa 1 metro, la cu varia da 55 a 66 kPa; ha un valore di OCR che indica una sovraconsolidazione per essiccazione.

Orizzonte B2 da m2,97 ÷ m7,00: argille limose, argille; talora accorpato con B3; ha valori di cu variabili da 49 a 53 kPa; nel campione S1C1 cu=40 kPa, nel campione S2C2 cu=19,6 kPa.

Orizzonte B3 da m6,28 ÷ m7,85: limi argillosi, argille limose; quando non accorpato con altri orizzonti cu > 80÷90 KPa con valori di OCR da 4 a 6.

Orizzonte B4 da m7,00 ÷ m12,51: limi argillosi, argille limose, con intercalazioni di diffusi orizzonti centimetrici/decimetrici di sabbia limosa e limo sabbioso. Nell'accorpamento dei singoli orizzonti centimetrici il software interpreta l'orizzonte a comportamento prevalentemente coesivo. Cu variabile da 80÷110 kPa, O.C.R da 4 a 6. Nel Campione S1C2, il valore della cu è pari a 18 kPa, con una percentuale di sabbia pari al 40,9% e un angolo di attrito $\phi'=29,7^\circ$, a testimoniare l'alternanza fra limi e sabbie.

Orizzonte D1-5 da m12,38 ÷ m24,53: Limi argillosi, argille limose, argille, con intercalazioni di mini sequenze con presenza di livelli centimetrici/decimetrici di sabbie limose e limi sabbiosi: il valore di cu variabile a seconda dell'orizzonte; in D1 e D3 i valori più bassi da 62 a 84 KPa. Nei campioni prelevati i valori ottenuti in laboratorio sono i seguenti, S1C4 cu=44,2 kPa; S2C3 cu=36,6 kPa; S2C4 cu=29,5 kPa.

Orizzonte E da m23,83 ÷ m28,96: argille limose e argille, valori di cu prossimi a 100 kPa.

Ovviamente va sempre considerato che il campione è puntuale mentre gli orizzonti sono rappresentati dal valore caratteristico della media su più metri di stratigrafia della CPTu. Inoltre va considerata la scelta del metodo di calcolo per ricavare i valori dalla CPTu, da un autore ad autore vi è una sostanziale differenza.

C' - Coesione efficace:

Nella tabella 1 e 2 sono riportati i valori ottenuti in laboratorio; nelle tabelle dei parametri geotecnici per strati accorpati vi è un tentativo di stima effettuato tramite il software, occorre precisare che tale valore va preso con molta attenzione e critica in quanto è tendenzialmente sovrastimato.

Ed - Modulo Edometrico:

Gli orizzonti superficiali B1-B2 presentano un modulo edometrico basso a testimonianza delle modeste caratteristiche geomeccaniche.

Cc - Indice di compressione:

Fra i valori ottenuti da elaborazione delle CPTu e i valori ottenuti dalla curva delle prove edometriche in laboratorio, vi è scarsa corrispondenza. I valori di laboratorio sono tendenzialmente più alti.

O.C.R - Grado di sovraconsolidamento:

Vi è una tendenza alla diminuzione verso il basso della successione; i terreni maggiormente sovraconsolidati, a causa dei fenomeni di essiccamento, sono nella parte alta della successione.

 ϕ' - Angolo di attrito drenato:

Negli orizzonti B2-B3, B4, C, D3, D5, sono state eseguite indagini su campione in laboratorio (Taglio Diretto). I valori ottenuti in laboratorio non sempre sono consoni con i valori ottenuti dalla prova CPTu per singolo Orizzonte.

Guardando i log dell'angolo di attrito drenato elaborati dal programma di Bruschi si nota una generale diminuzione di valori al di sotto dell'orizzonte sabbioso C, con picchi in aumento nelle sequenze con presenza di sottili livelli sabbiosi.

Negli orizzonti D ed E i valori più diffusi variano da ϕ' 20° a ϕ' 25° talora 26°, esclusi ovviamente i livelli più sabbiosi.

Limiti di Atterberg e granulometria:

I risultati ottenuti dagli 8 campioni mostrano una ampia variabilità a seconda del contenuto sabbioso e limoso. Una percentuale di sabbia è stata rilevata in tutti i campioni; negli orizzonti prettamente sabbiosi (C) la percentuale varia dal 71,40% in S1C3 al 77,30% in S2C2. Presenza del 40,9% nel campione S1C2 orizzonte B4.

S1C1 limo argilloso sabbioso; è un terreno poco plastico, $I_p=9,3$; nella Carta della Plasticità ricade al limite fra Argille inorganiche di media plasticità e limi inorganici di media compressibilità e limi organici.

S1C2 limo con sabbia debolmente argilloso; nella Carta della Plasticità ricade nel campo dei limi inorganici di bassa compressibilità.

S1C3 sabbia con limo.

S1C4 limo con argilla; è un terreno plastico, $I_p=16,3$; nella Carta della Plasticità ricade al limite fra Argille inorganiche di media plasticità e limi inorganici di media compressibilità e limi organici.

S2C1 limo con argilla debolmente sabbioso; è un terreno plastico, $I_p=18,5$; nella Carta della Plasticità ricade al limite fra Argille inorganiche di media plasticità e limi inorganici di media compressibilità e limi organici.

S2C2 sabbia limosa debolmente argillosa.

S2C3 limo con argilla debolmente sabbioso; è un terreno plastico, $I_p=18,2$; nella Carta della Plasticità ricade nelle Argille inorganiche di media plasticità.

S2C4 limo debolmente argilloso, debolmente sabbioso; terreno poco plastico, $I_p=9,7$; nella Carta della Plasticità ricade al limite fra i campi argille inorganiche di bassa plasticità e argille inorganiche di media plasticità.

6.3 DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO AI FINI DELLA MICROZONAZIONE DI TERZO LIVELLO.

La stratigrafia profonda oltre che dalle sezioni allegate 58 e 85 è stata desunta dalle stratigrafie dei pozzi 240140P601, 240140P621 240140P622 e 240140P632 posizionati ad una distanza di 600-70 metri a nord, nord-ovest dell'area. In particolare la stratigrafia adottata è la seguente:

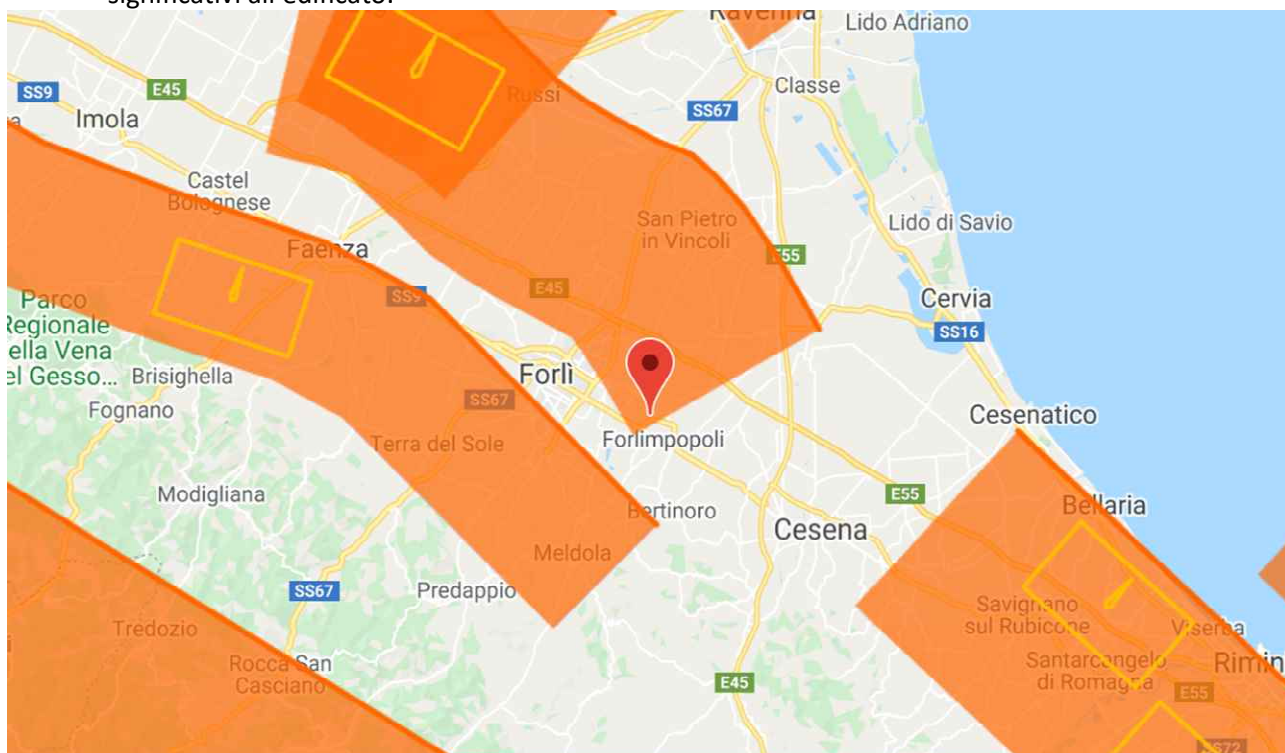
profondità alla base dello strato m	Spessore m	Vs (m/s)	Litologia prevalente
28	28	180	Limo
38	10	280	Sabbia
68	30	210	Argilla
88	20	350	Ghiaia
188	100	450	Argilla
258	70	550	Argilla
308	50	700	Limo
Ind.	Ind.	800	Sabbia

7. SISMICITÀ

La raccolta delle potenziali fonti per i terremoti più grandi di 5,5 M in Italia e nelle aree circostanti è presente nel database accessibile al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © [INGV– Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia](#) di cui qui vediamo uno stralcio dell'area di interesse per il sito di intervento di Forlimpopoli.

Nel **DISS** si è scelto sin da subito di caratterizzare esclusivamente sorgenti ritenute in grado di generare terremoti di magnitudo superiore a 5.5 per due motivi principali:

- la magnitudo 5.5 è usualmente considerata il valore “di soglia” oltre il quale la faglia responsabile del terremoto assume dimensioni tali da poter essere identificata attraverso le metodologie geologiche;
- in Italia, per via delle tipologie costruttive prevalenti, la magnitudo 5.5 viene usualmente vista come il limite inferiore per cui un terremoto crostale può causare scuotimento tale da creare danni significativi all'edificio.



Il sito ricade all'interno della sorgente sismogenetica ITCS011 Ascensione-Armaia, sulla base del più forte terremoto avvenuto in regione la magnitudo momento è pari a 6 (Max Magnitude [Mw]).

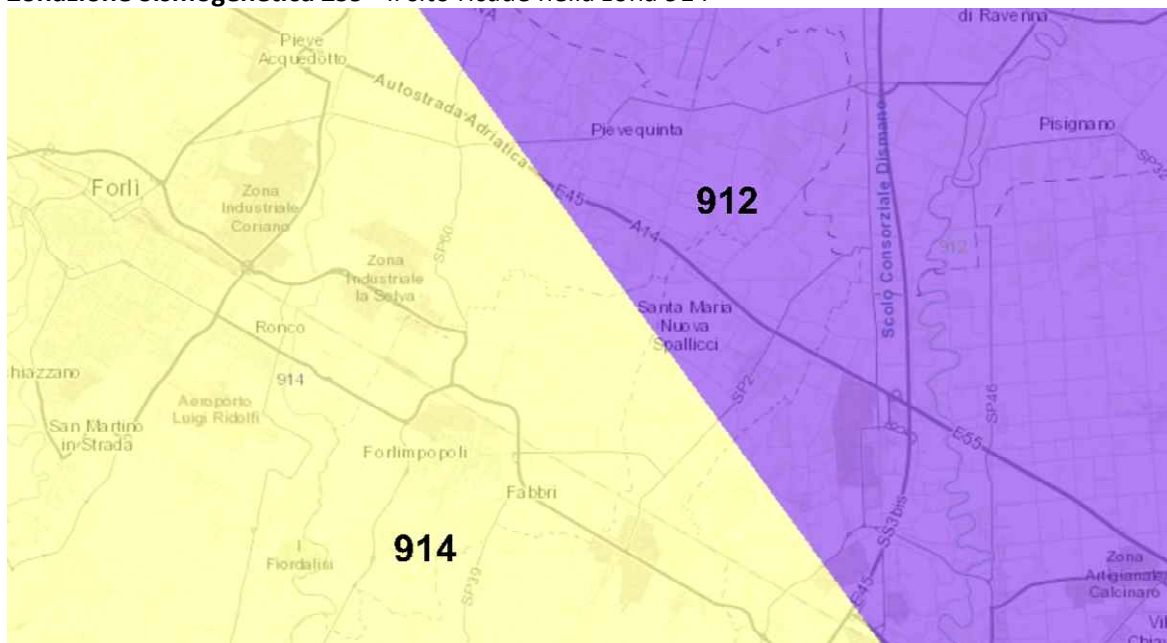
Questa sorgente composita si trova a cavallo della regione a sinistra della bassa valle del Savio, tra le città di Ravenna (a nord-est) e Forlì (a sud), formando una parte del fronte di spinta dell'Arco ferrarese. Questo sistema di faglie è l'arco interno tendente a NE nel settore nord-orientale della catena dell'Appennino settentrionale, compreso tra la pedemontana romagnola e la pianura padana.

Cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità intermedia sparsa ($4,5 < Mw < 5,0$) nella regione, con notevole eccezione del terremoto dell'11 aprile 1688 (Mw 5,9, Romagna) all'interno dell'area, e del 725 d.C. (Mw 5.6, Classe-Ravenna) a nord-est della regione. Si potrebbe includere anche l'evento del 10 luglio 1570 (Mw 5.2, Forlì). Appena a sud-est dell'area si è verificato l'evento dell'11 agosto 1483 (Mw 5.7, Romagna Meridionale).

I dati del sottosuolo (Pieri e Groppi, 1981; Cassano et al., 1986) e l'evidenza di una deformazione attiva apparentemente rapida alla superficie descritta da numerosi autori, suggeriscono l'attività tettonica delle anticlinali sepolte nella parte posteriore dell'Arco di Ferrara. Un segmento di questa sorgente è stato associato al terremoto della Romagna del 1688.

Due sorgenti sismogenetiche vicine che vanno prese in considerazione sono la ITCS001: Castel San Pietro Terme-Meldola Max Mag: 5.8, situata a sud ovest e rappresenta il fronte appenninico emerso più avanzato, e la ITCS039: Riminese onshore Max Mag: 5.9 che si estende nella zona del riminese fino a Cesenatico e alle porte di Cesena.

Zonazione Sismogenetica ZS9 - Il sito ricade nella zona 914



Nella zona 914 si verificano terremoti prevalentemente compressivi probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia di quanto non siano nella fascia più esterna. L'individuazione della zona 914 (Forlivese) è motivata dalle peculiari caratteristiche di rilascio della sismicità (nella fattispecie la frequenza degli eventi). Magnitudo momento massima di 6,14 Mw max.

Infine la zona 912 rappresentano la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po) "Dorsale ferrarese". Magnitudo momento massima di 6,14 Mw max.

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15

Versione 3.0 (gennaio 2021)

Citazione della fonte: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2021). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). *The Italian earthquake catalogue CPTI15*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>

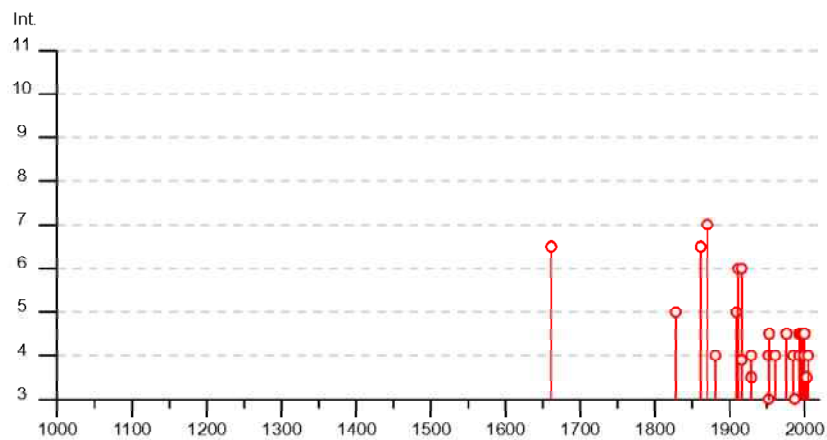
La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. La magnitudo utilizzata è la magnitudo momento (M_w) e in tutti i casi è riportata la relativa incertezza. Include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente (secondo i metodi e le conversioni descritte nel seguito) a M_w 4.0 o superiore.

Forlimpopoli

PlaceID IT_41780
 Coordinate (lat, lon) 44.188, 12.126
 Comune (ISTAT 2015) Forlimpopoli
 Provincia Forlì-Cesena
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 43

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
6-7	1661	03	22	12	50		Appennino forlivese	79	9	6.05			
5	1828	10	08	22	30		Romagna	8	5-6	4.57			
6-7	1861	10	16				Romagna	10	6-7	5.13			
7	1870	10	30	18	34		Forlivese	41	8	5.61			
4	1881	09	28				Cesena	24	6-7	4.71			
NF	1895	03	23				Comacchio	33	6	4.65			
NF	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59			
NF	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6	4.59			
NF	1899	07	08	22	56	55	Bagno di Romagna	37	4	4.02			
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36			
6	1911	02	19	07	18	30	Forlivese	181	7	5.26			
6	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8	5.82			
F	1916	06	16	01	27		Riminese	17	6	4.82			
3-4	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05			
4	1929	07	18	21	02		Mugello	56	6-7	4.96			
4	1952	07	04	20	35	12	Appennino forlivese	64	7	4.94			
3	1952	12	02	06	13	22	Appennino forlivese	53	5	4.42			
4-5	1953	12	14	07	11	06	Appennino forlivese	48	5-6	4.70			
NF	1956	04	26	03	00	03	Appennino bolognese	89	6	4.74			
2	1956	05	26	18	40		Appennino forlivese	76	7	4.99			
NF	1960	04	30	00	52	06	Appennino forlivese	16	5	4.28			
4	1961	05	08	22	45	51	Forlivese	40	5	4.37			
4-5	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10	6.45			
4	1985	11	24	06	54	0	Appennino forlivese	29	5-6	4.29			
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43			
3	1987	07	05	13	12	3	Montefeltro	90	6	4.44			
4	1993	11	05	02	01	0	Cesenate	10		3.99			
4	1993	11	07	23	21	1	Cesenate	36	4-5	3.95			
4-5	1993	11	09	13	46	2	Cesenate	28	4-5	3.93			
4-5	1995	12	27	23	44	2	Forlivese	37	5	3.97			
4-5	1997	09	26	09	40	0	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97			
4-5	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36			
3-4	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08			

Effetti										In occasione del terremoto del		
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			NMDP	Io	Mw
4	2000	05	08	12	29	0	Faentino			126	5	4.67
4	2000	05	10	16	52	0	Faentino			151	5-6	4.82
4-5	2000	08	01	02	34	31	Montefeltro			84	5-6	4.27
NF	2001	11	26	00	56	5	Casentino			211	5-6	4.63
NF	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese			79	4	4.21
3-4	2003	01	26	20	15	0	Appennino forlivese			63	5-6	4.50
3-4	2003	01	29	23	50	1	Appennino forlivese			71	4-5	4.06
3-4	2003	12	07	10	20	3	Forlivese			165	5	4.18
4	2005	07	15	15	17	18	Forlivese			173	4-5	4.29
NF	2006	10	21	07	04	1	Anconetano			287	5	4.21



Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Sant'Andrea	1	2
Santa Maria delle Grazie di Fornò	2	5
Bertinoro	71	5
Capocolle	1	5
Carpina	1	5
Santa Maria Nova	1	5
Fratte Terme	1	6
Diegaro	1	6
Forlì	121	8
Polenta	2	8
Collinello	1	8
Meldola	60	9
San Mauro in Valle	1	9
Casemurata	1	10

7.1 NTC 2018 RSL SEMPLIFICATA

Il territorio comunale di Forlimpopoli con l'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 è classificato sismico in zona 2. Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
1	>0.25	0.35
2	0.15 - 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	<0.05	0.05

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limiti presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO - INDAGINE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE SISMICHE NEI PRIMI 30 METRI DI TERRENO

Per l'indagine è stata incaricata la ditta specializzata INTERGEO s.r.l. – Servizi Geologici di San Marino che ha eseguito un'indagine sismica consistente in una prova HVSR a stazione singola ed una prova MASW al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio (nel nostro caso V_{s30}), fornire la categoria di suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018). La velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri a partire dalla profondità di metri 4 dal piano campagna sono risultate rispettivamente:

- indagine MASW **186÷196 m/sec (V_{s30})** per una profondità variabile da 0÷30 - 4÷34.
- indagine HVSR **184÷194 m/sec (V_{s30})** per una profondità variabile da 0÷30 - 4÷34.

e congruentemente con la descrizione stratigrafica secondo la tab. 3.2.II. delle NTC 2018, il sito in esame ricade nella **categoria di sottosuolo C**.

Per le cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche definite mediante un approccio "sito dipendente" e non più un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limiti* presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

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

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

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

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

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

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

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	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 maggiore di 30 m.

Nel caso specifico si può collocare nella categoria T1, zona pianeggiante.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

CALCOLO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SISMICO

Il valore di a_g (accelerazione massima orizzontale), si ricava dalla seguente relazione:

$a_{max} = S a_g = S_s S_t a_g$. Dove S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t). a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,204553
 longitudine: 12,11457
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18073	Lat: 44,2267	Lon: 12,0951	Distanza: 2907,290
Sito 2	ID: 18074	Lat: 44,2275	Lon: 12,1648	Distanza: 4742,732
Sito 3	ID: 18296	Lat: 44,1775	Lon: 12,1659	Distanza: 5079,830
Sito 4	ID: 18295	Lat: 44,1767	Lon: 12,0963	Distanza: 3428,615

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 a_g : 0,063 g
 Fo: 2,416
 Tc*: 0,264 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 a_g : 0,080 g
 Fo: 2,403
 Tc*: 0,273 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]
 ag: 0,201 g
 Fo: 2,393
 Tc*: 0,309 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,253 g
 Fo: 2,451
 Tc*: 0,320 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
 Cc: 1,630
 St: 1,000
 Kh: 0,019
 Kv: 0,009
 Amax: 0,924
 Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
 Cc: 1,610
 St: 1,000
 Kh: 0,024
 Kv: 0,012
 Amax: 1,179
 Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,410
 Cc: 1,550
 St: 1,000
 Kh: 0,079
 Kv: 0,040
 Amax: 2,777
 Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,330
 Cc: 1,530
 St: 1,000
 Kh: 0,094
 Kv: 0,047
 Amax: 3,294
 Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.203613
 longitudine: 12.113600

Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la microzona in prospettiva sismica MOPS zona 8

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI FORLIMPOPOLI (FC)	Secondo
Studio di microzonazione sismica	

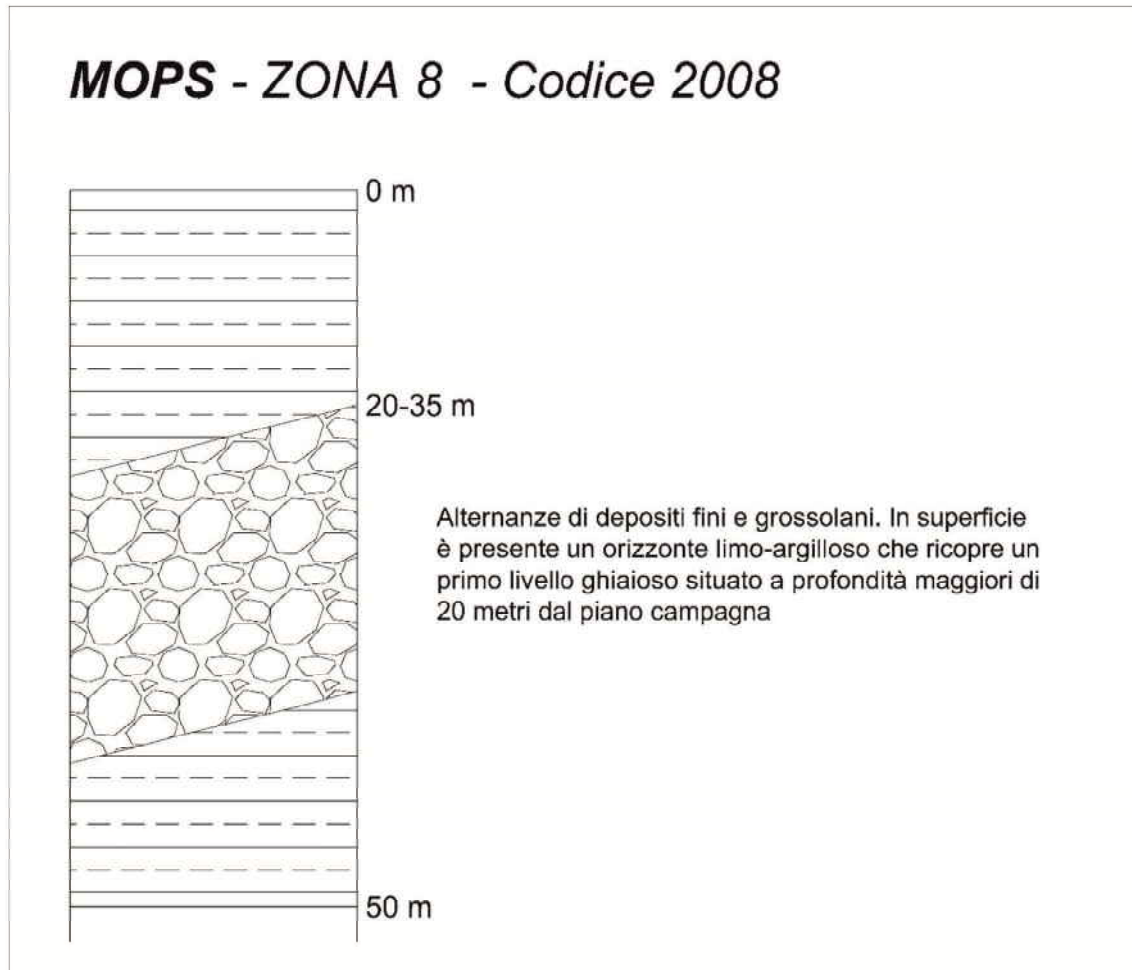


Figura n. 21 - Colonna stratigrafica sintetica rappresentante la MOPS: ZONA 8 Cod. 2008

Le carte di microzonazione sismica di secondo livello delle aree individuate, suscettibili di effetti locali, costituisce l'elaborato principale di questo livello di approfondimento. La stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate (utilizzo di tabelle) è possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale. L'amplificazione è quantificata in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2, SI3 che esprimono l'amplificazione per motivi stratigrafici eventualmente incrementati con il fattore di amplificazione per cause topografiche S_T . Tali coefficienti di amplificazione vengono stimati impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (punti A2.1 e A2.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

La scelta delle tabelle per la stima dell'amplificazione non dipende dalle sole caratteristiche litologiche e morfologiche dell'area ma deve essere attentamente valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità e del tipo di substrato.

Per il sito di intervento, Zone stabile suscettibile di amplificazione locale (MOPS zona 8), sono state impiegate le tabelle degli indirizzi regionali denominate "Margine di tipo B", caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini.

TABELLE PER LA STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA –
SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e
SA4 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

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

In base alle seguenti tabelle riferite al margine di tipo B, in cui ricade il sito di intervento, i singoli valori dei fattori di amplificazione sono i seguenti:

PGA = 1,6 (FA PGA Microzonazione Forlimpopoli = $1,5 \div 1,6$)

SA1 = 1,8

SA2 = 2,6

SA3 = 2,9

SA4 = 2,9

SI1 = 1,9 (FA I.S. 0,1-0,5s = 1,9 - 2,0 - Microzonazione Forlimpopoli)

SI2 = 2,8 (FA I.S. 0,5-1,0s = 2,5 - 3,0 - Microzonazione Forlimpopoli)

SI3 = 3,1

I valori numerici relativi al sito di intervento sono ricavati dall'allegato A2, A2.1.2 Pianura Padana e Costa Adriatica, Delibera Giunta Regionale Num. 630 del 29/04/2019

VALORE DI H_{SM} (Naso et al., 2019)

Con la DGR630 viene inserita per la prima volta anche la carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , parametro che esprime lo scuotimento atteso del sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro *Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso

pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

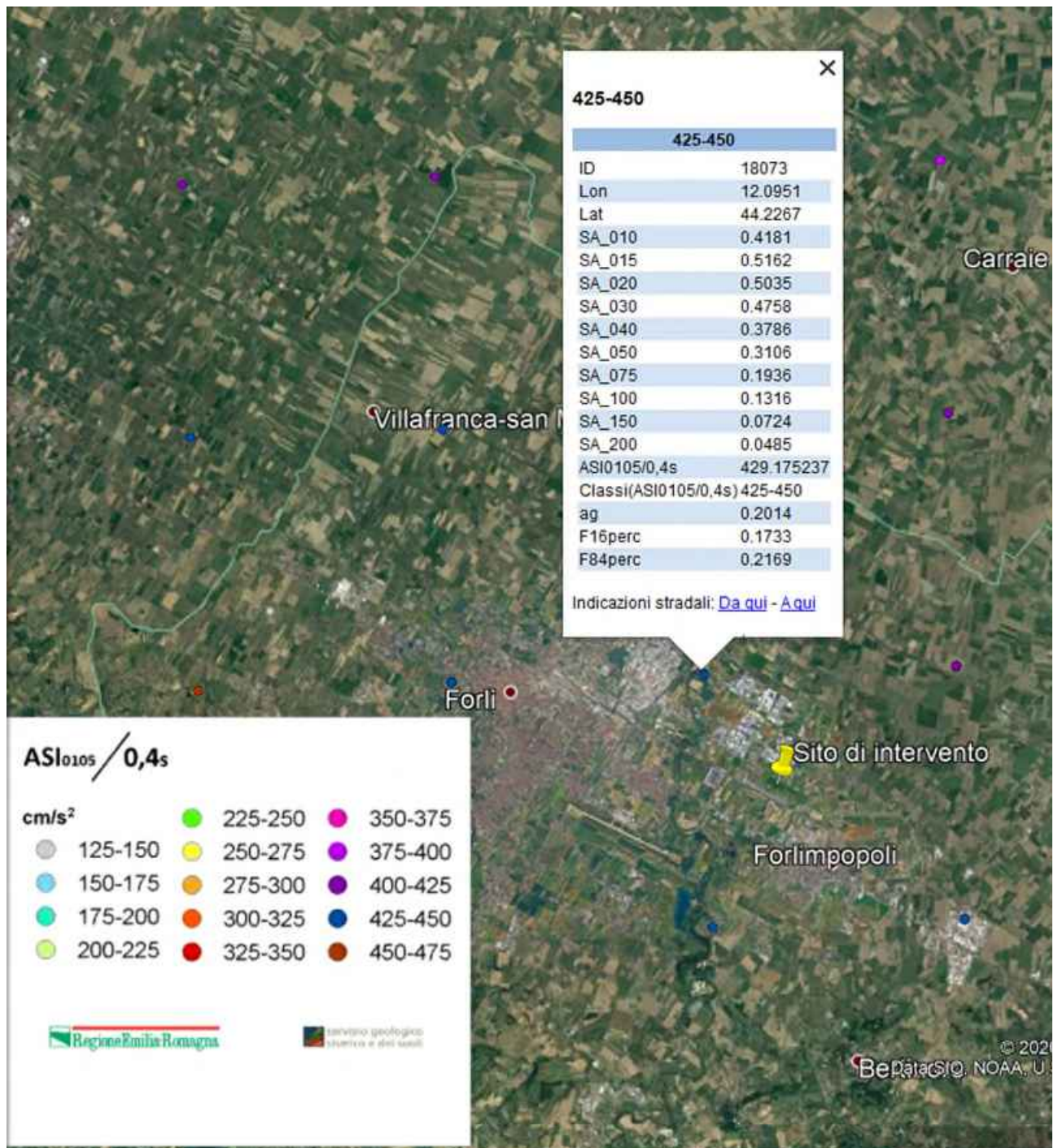
$$HSM = ASI_{UHS} / \Delta T \times FA$$

I valori di $ASI_{UHS} / \Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (v. anche Allegato A4).

Valori $ASI_{UHS} / \Delta T$ calcolati per ogni punto della griglia INGV

Nel sito di intervento il valore desunto $ASI_{0105} / 0,4s = 429 \text{ cm/s}^2$ che va moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso periodo

Pertanto: $429 \times 1,8 = 772 \text{ cm/s}^2$.



9.0 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

9.1 Distribuzione nel fuso granulometrico

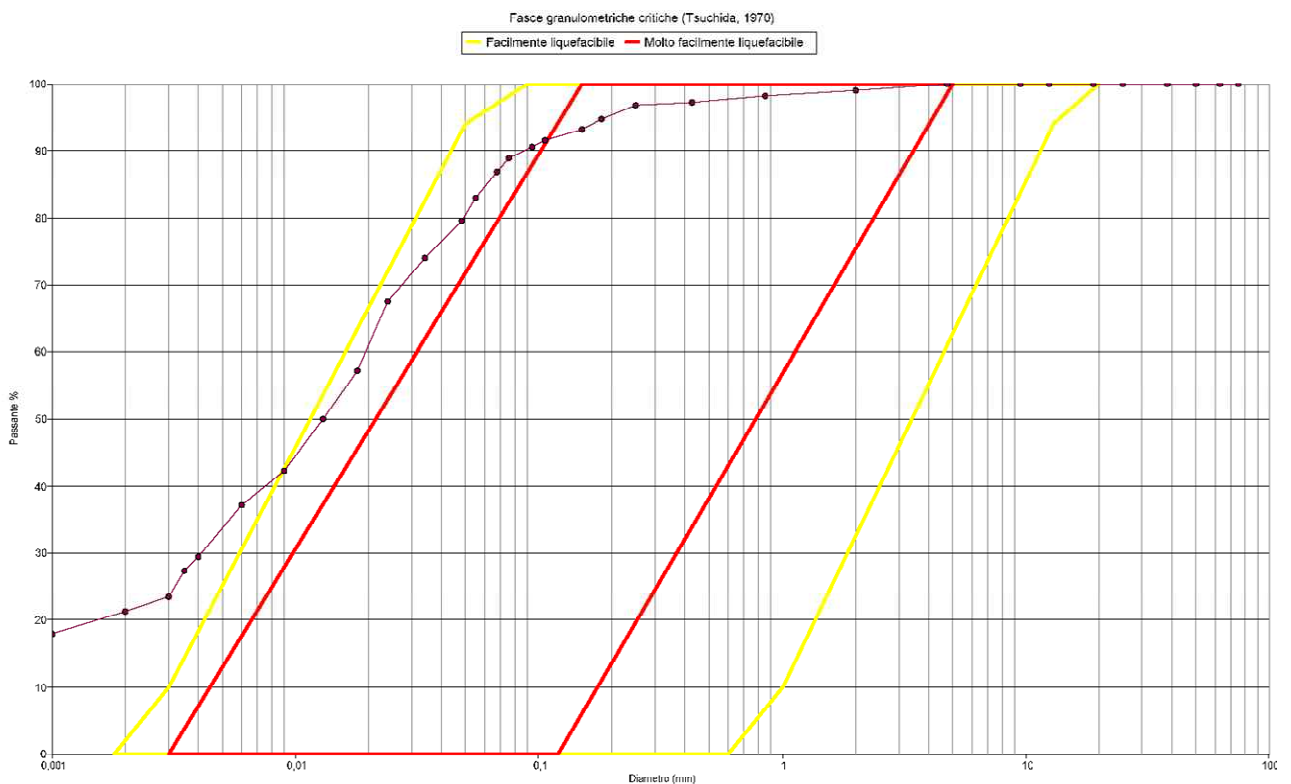
Il metodo richiede che siano condotte su campioni dello strato potenzialmente liquefacibile analisi granulometriche. Le curve ricavate vanno confrontate con due profili granulometrici di riferimento (Tsuchida, 1970), uno per granulometrie uniformi, l'altro per granulometrie estese (presenza di frazioni argillose o ghiaiose).

Verificato che la granulometria dello strato sia predisponente al manifestarsi di fenomeni di liquefazione, per poter emettere un giudizio definitivo sulla vulnerabilità del deposito occorre prendere in considerazione il suo grado di addensamento, valutato attraverso prove SPT o SCPT.

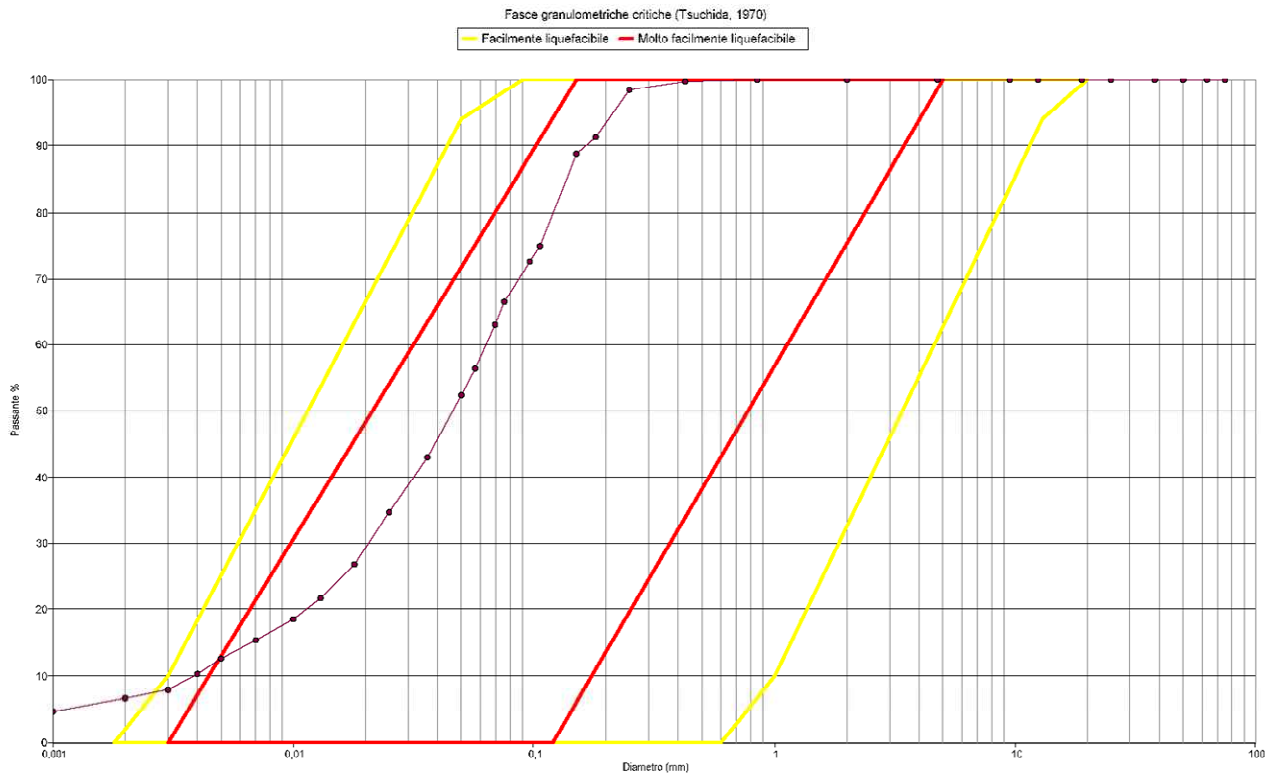
I fusi granulometrici sotto riportati presentano in più di un caso evidenti criticità con $IP < 10-12$

Fusi granulometrici

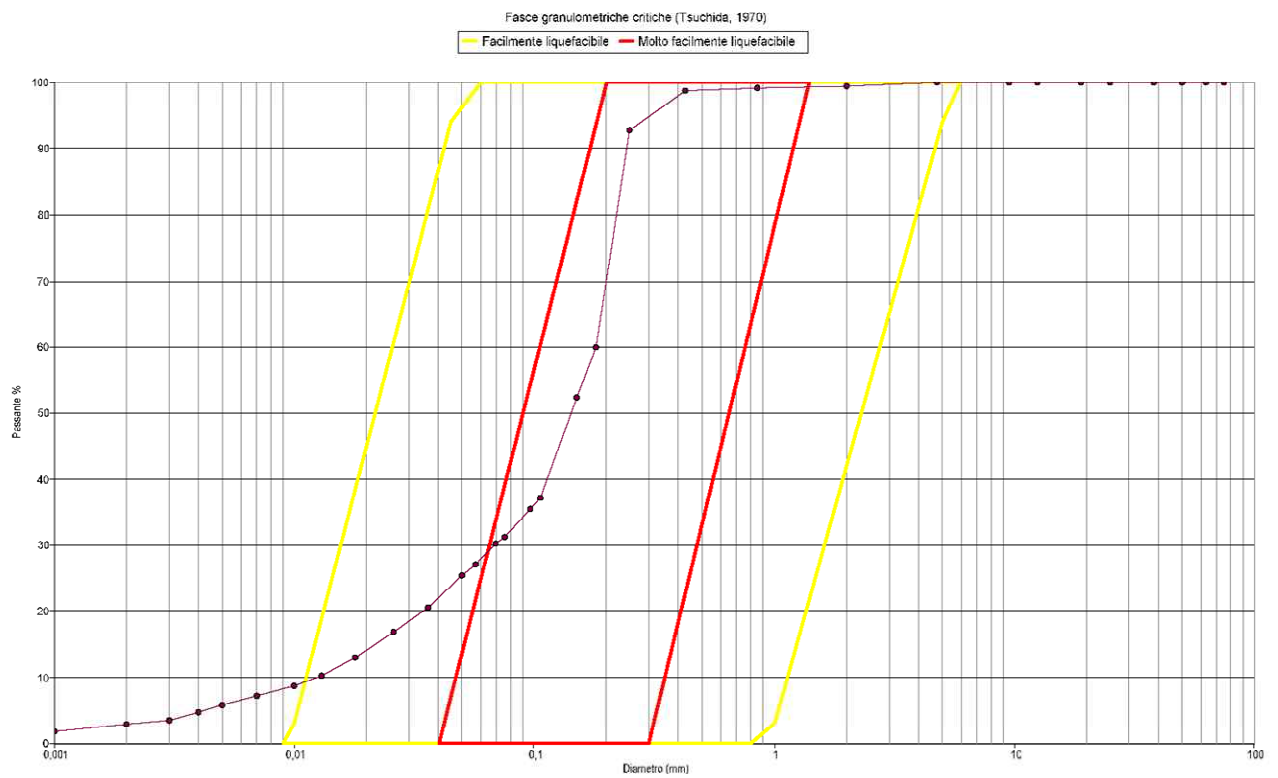
Campione S1C1 da m4,60 a m5,10



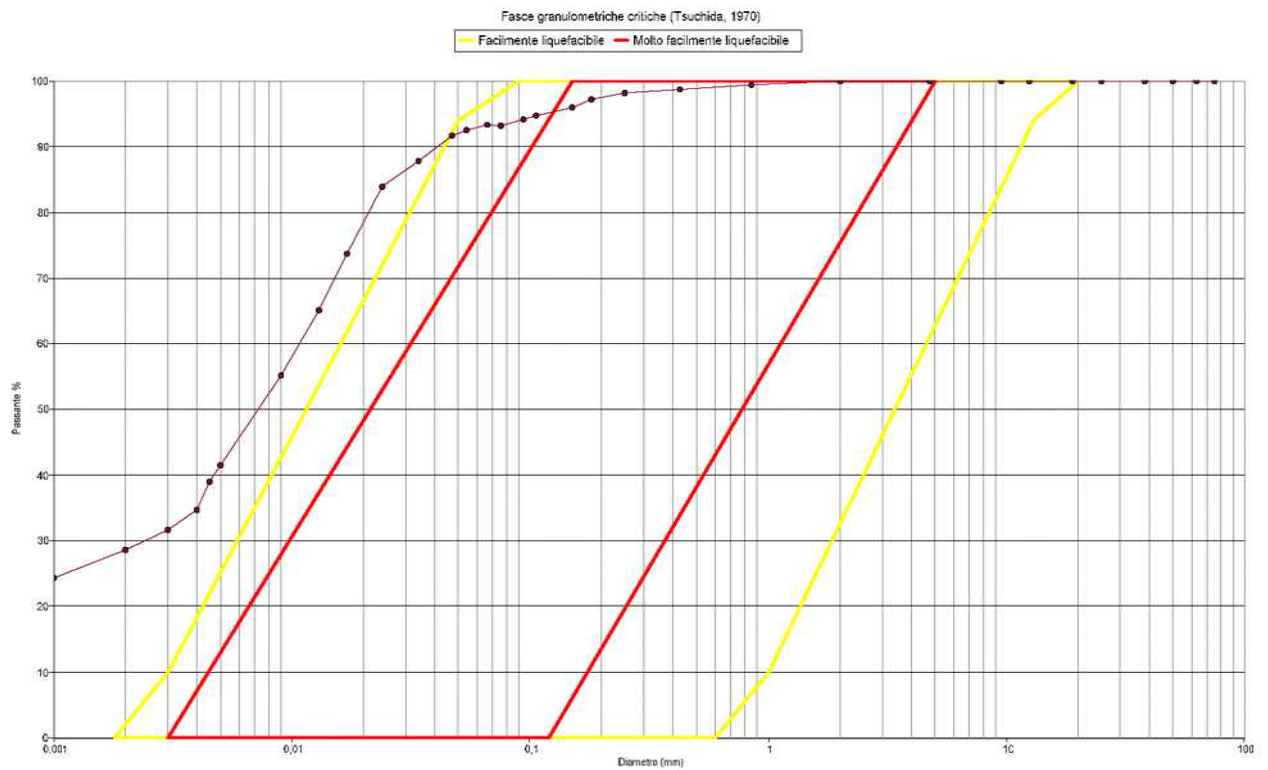
Campione S1C2 da m9,50 a m10,10



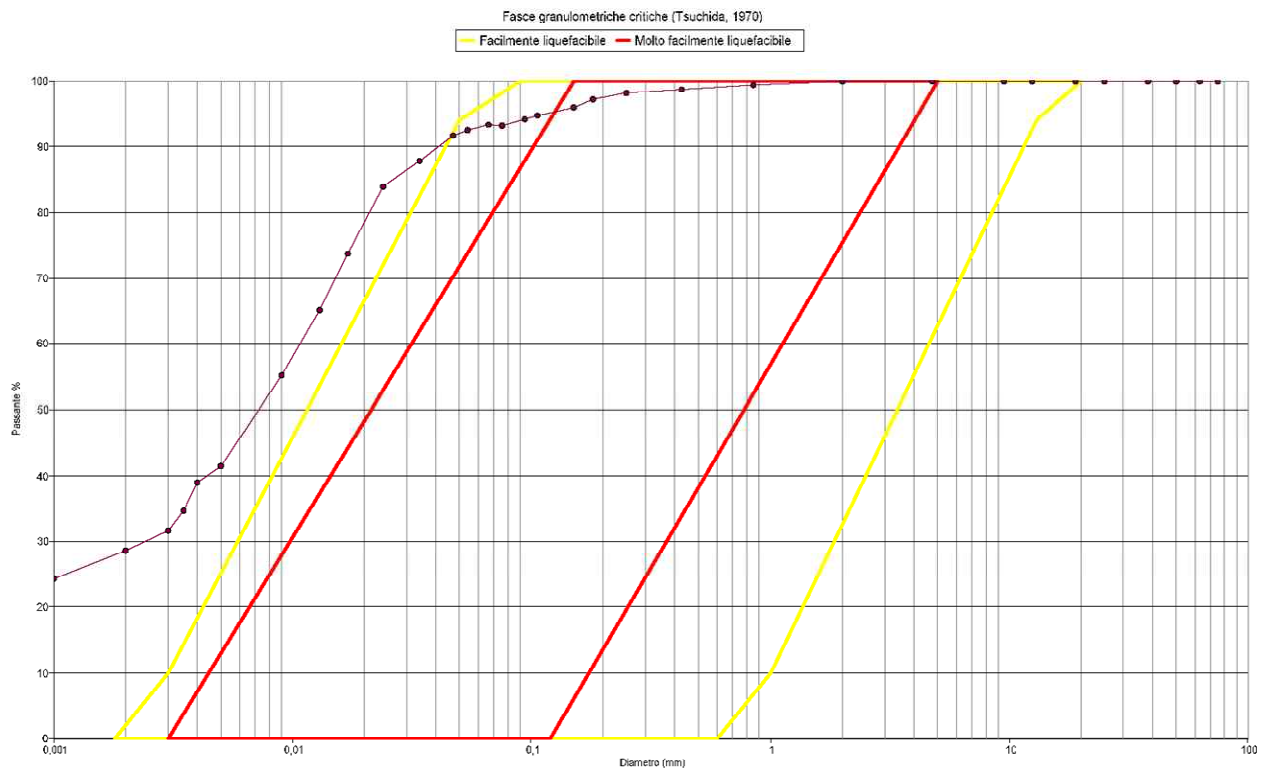
Campione S1C3 da m13,50 a m14,00



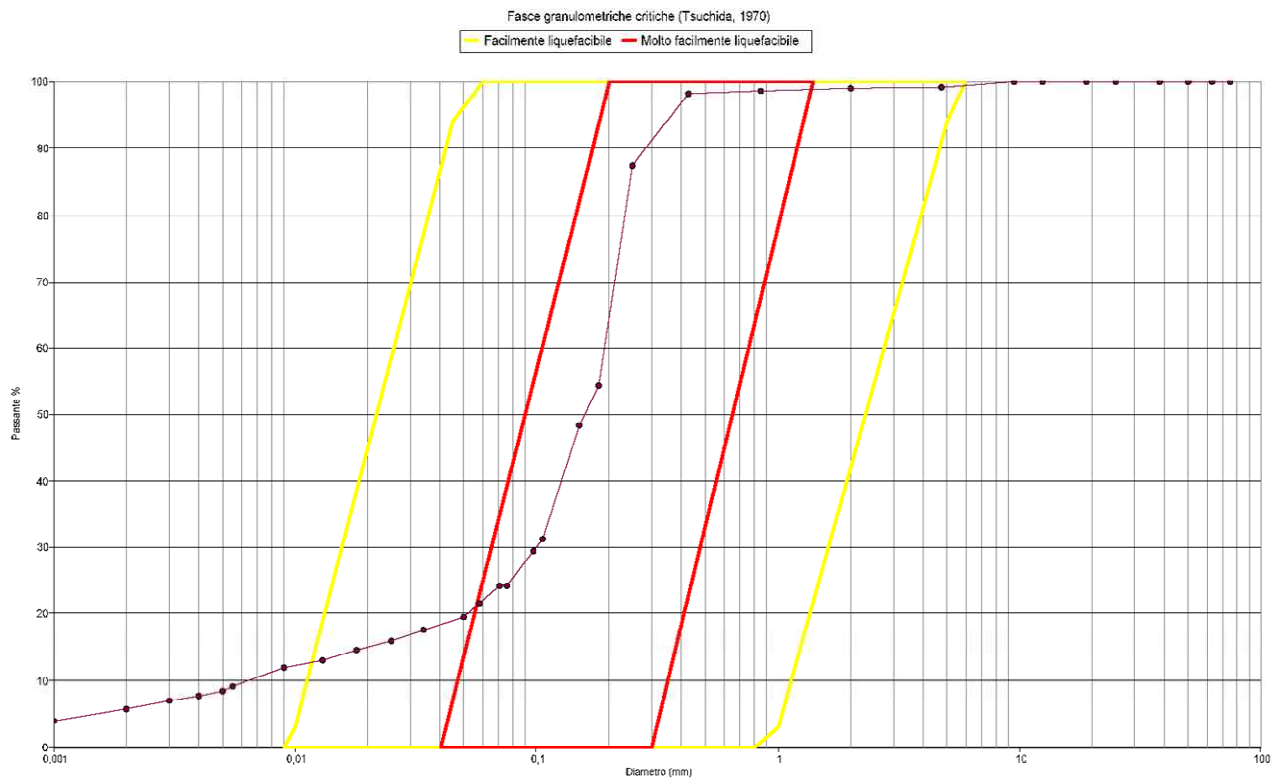
Campione S1C4 da m21,10 a m21,60



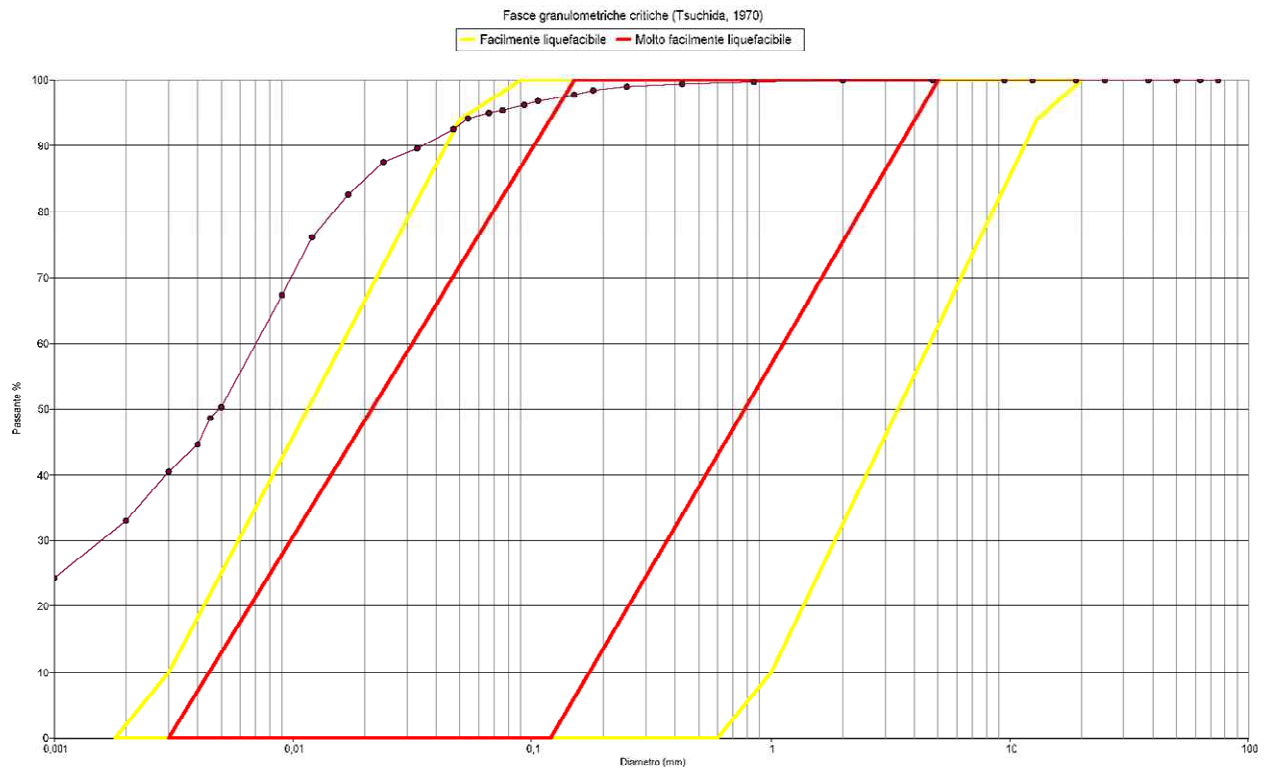
Campione S2C1 da m4,10 a m4,60



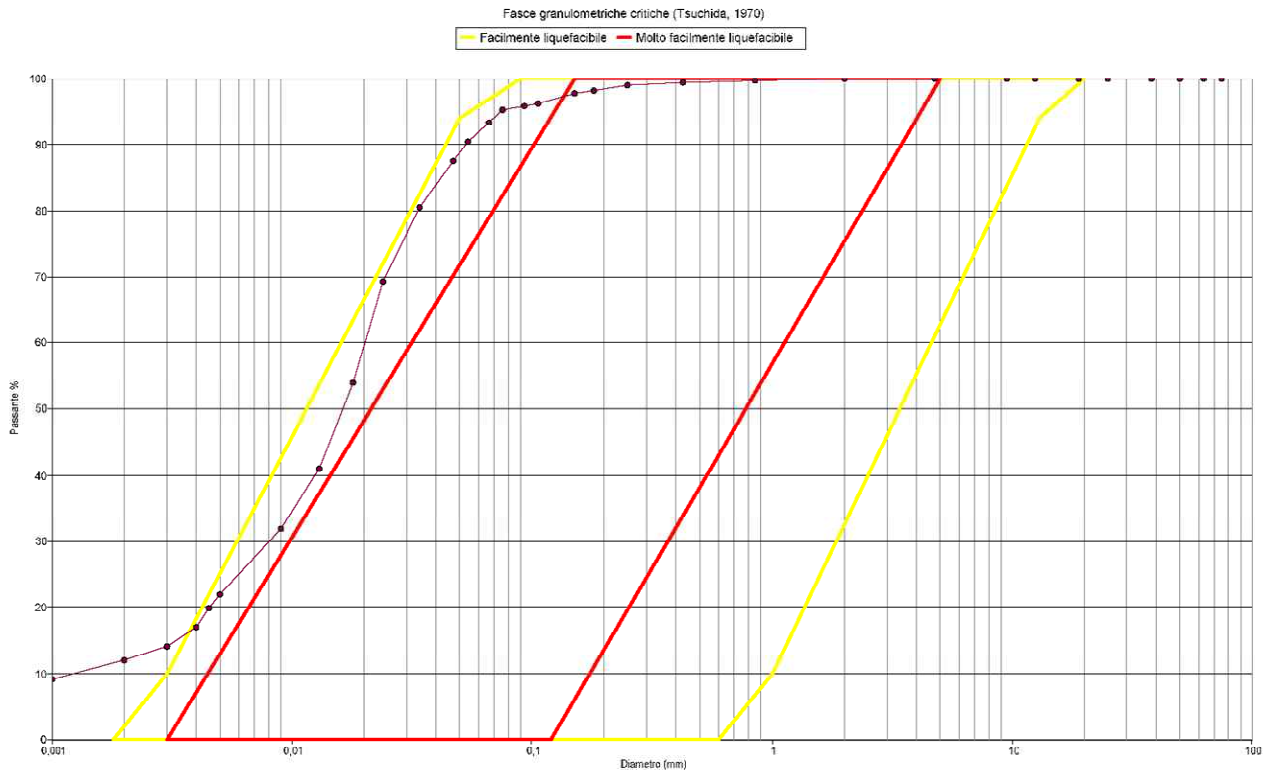
Campione S2C2 da m10,50 a m11,10



Campione S2C3 da m16,30 a m16,80



Campione S2C4 da m21,40 a m22,00



9.2 Verifica di liquefazione con metodi semplificati

Valutazione del sisma di progetto - Stima dell'accelerazione sismica di riferimento

La valutazione della massima magnitudo attesa stimata, Magnitudo momento massima, è pari 6,14 Mw; nel seguente capitolo è stata eseguita una verifica alla liquefazione considerando il valore di accelerazione risultante dalla microzonazione di II livello, ag 0,201 x 1,6 (fattore di amplificazione) = ag 0,32

Metodi semplificati

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (CRR) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CSR). Cioè in pratica si ha:

$F_s = CSR/CRR$. Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1,25 secondo l'Eurocodice 8). La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche e statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da indagine geofisica.

Il metodo usato è il Boulanger & Idriss.

Per una migliore comprensione del fenomeno si è utilizzata la stratigrafia desunta dalla CPT con strati centimetrici.

L'elaborazione è stata effettuata con il programma di calcolo Liquef3 della ProgramGeo.

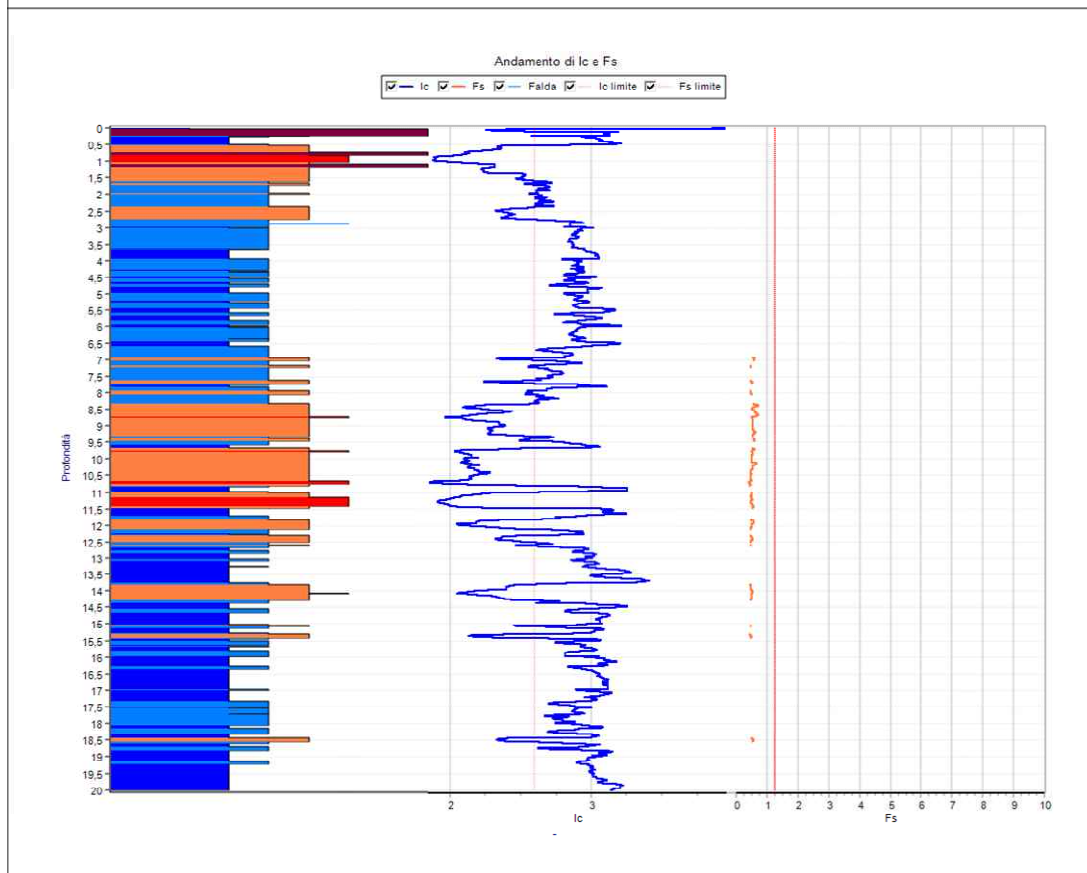
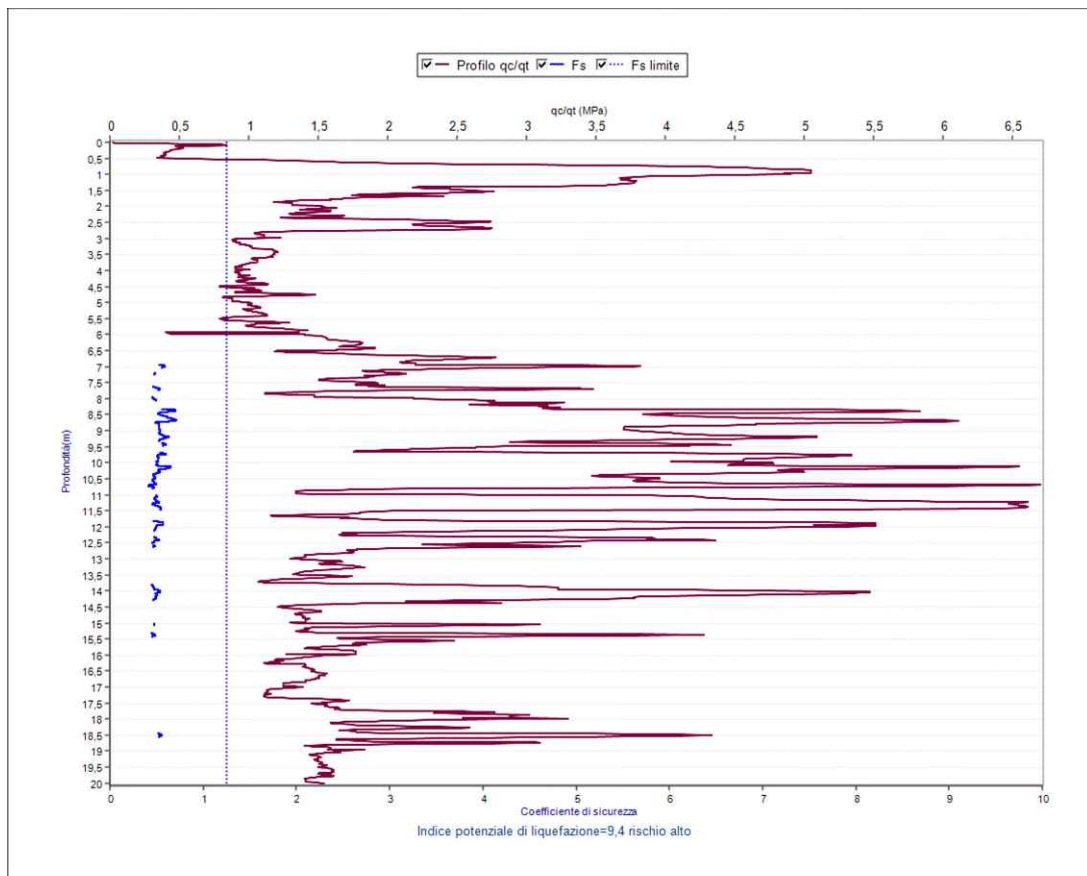
In sei punti di indagine CPTu, l'indice del potenziale di liquefazione supera il valore 5.

Di seguito i valori per punto di indagine:

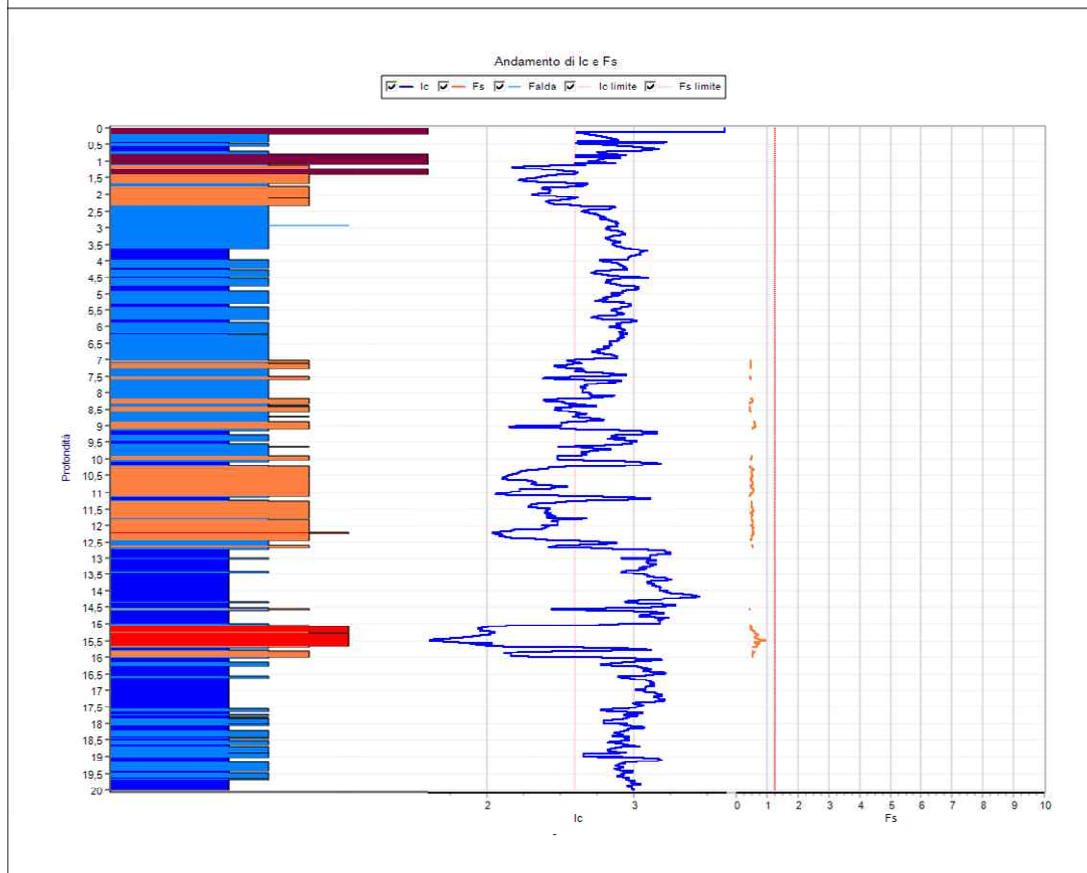
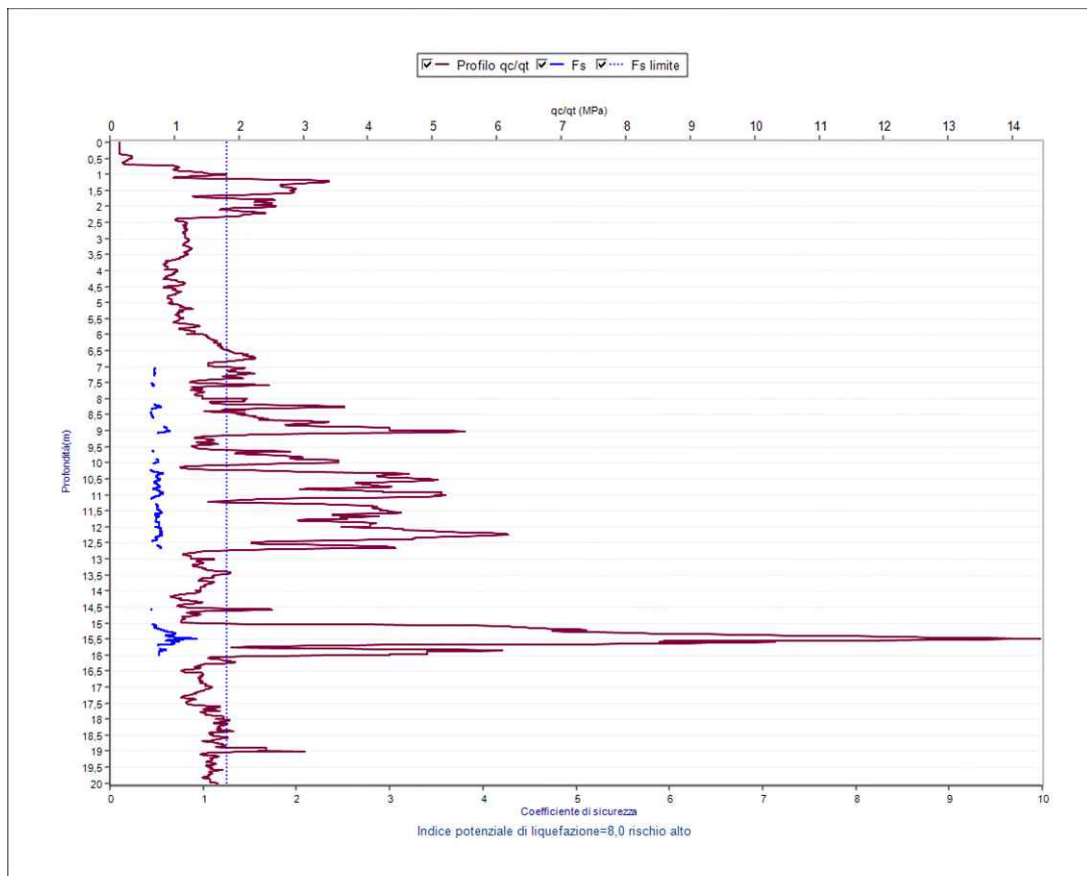
CPTu1 = 10,4 CPTu2 = 8,9 CPTu3 = 4,9 CPTu4 = 9,2 CPTu5 = 11,9
CPTu6 = 3,6 CPTu7 = 6,4 CPTu8 = 10,3

La microzonazione di terzo livello ha permesso di stabilire valori di amplificazione e di PGA inferiori a quanto ottenuto dalla microzonazione di II livello; pertanto si è provveduto a ripetere la verifica alla liquefazione con la PGA in superficie (g) = 0,2906 e la magnitudo (Mw) pari a 6,14. La metodologia adottata è sempre Boulanger & Idriss, i risultati indicano un potenziale di liquefazione > 5 in sei verticali di indagine.

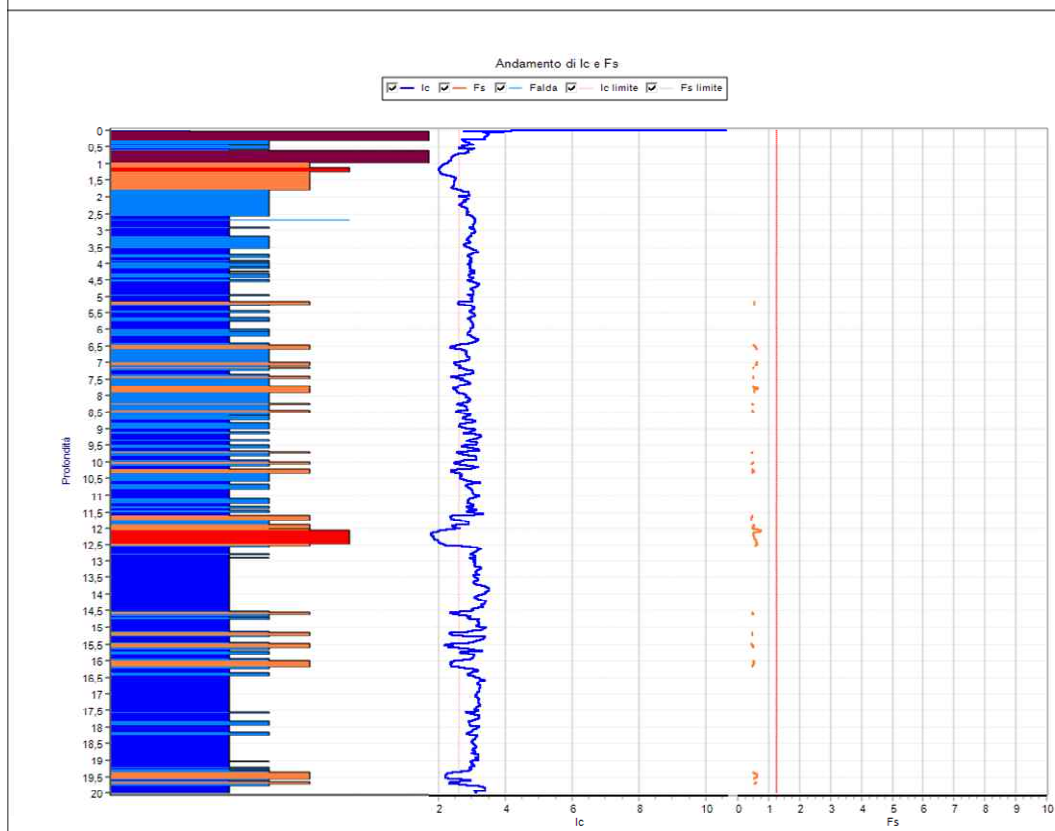
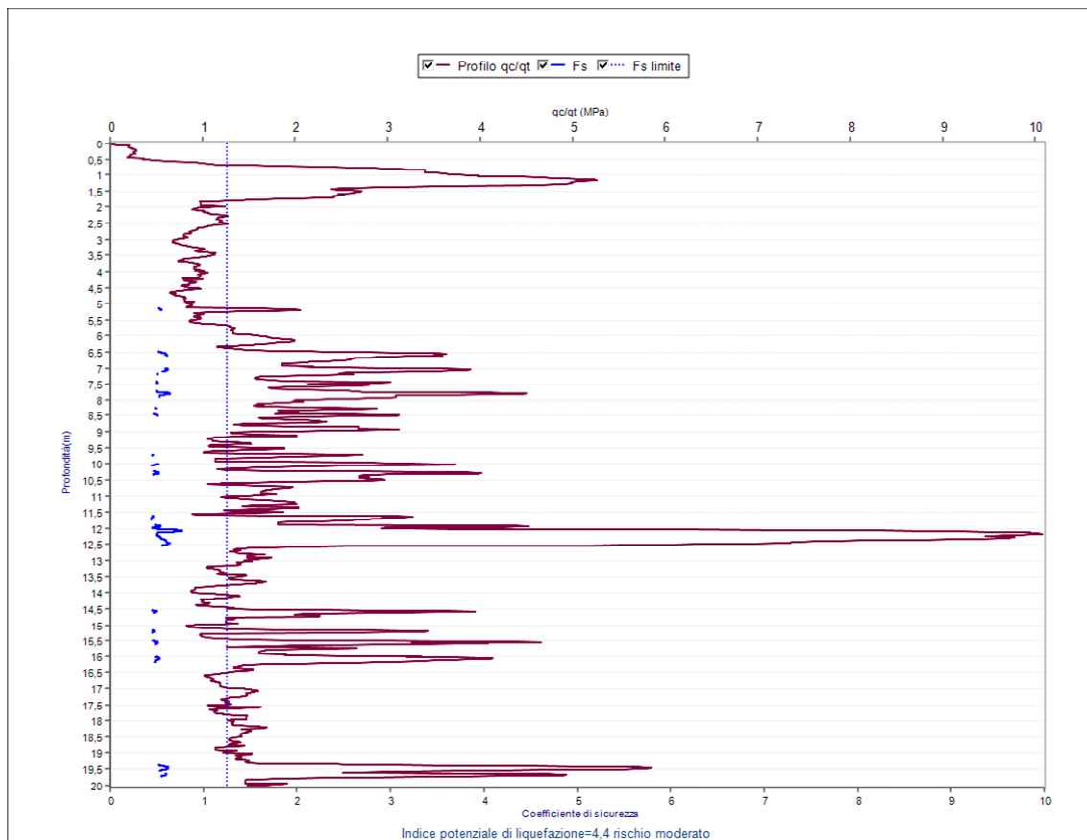
CPTu1: Indice potenziale di liquefazione = 9,4 rischio alto



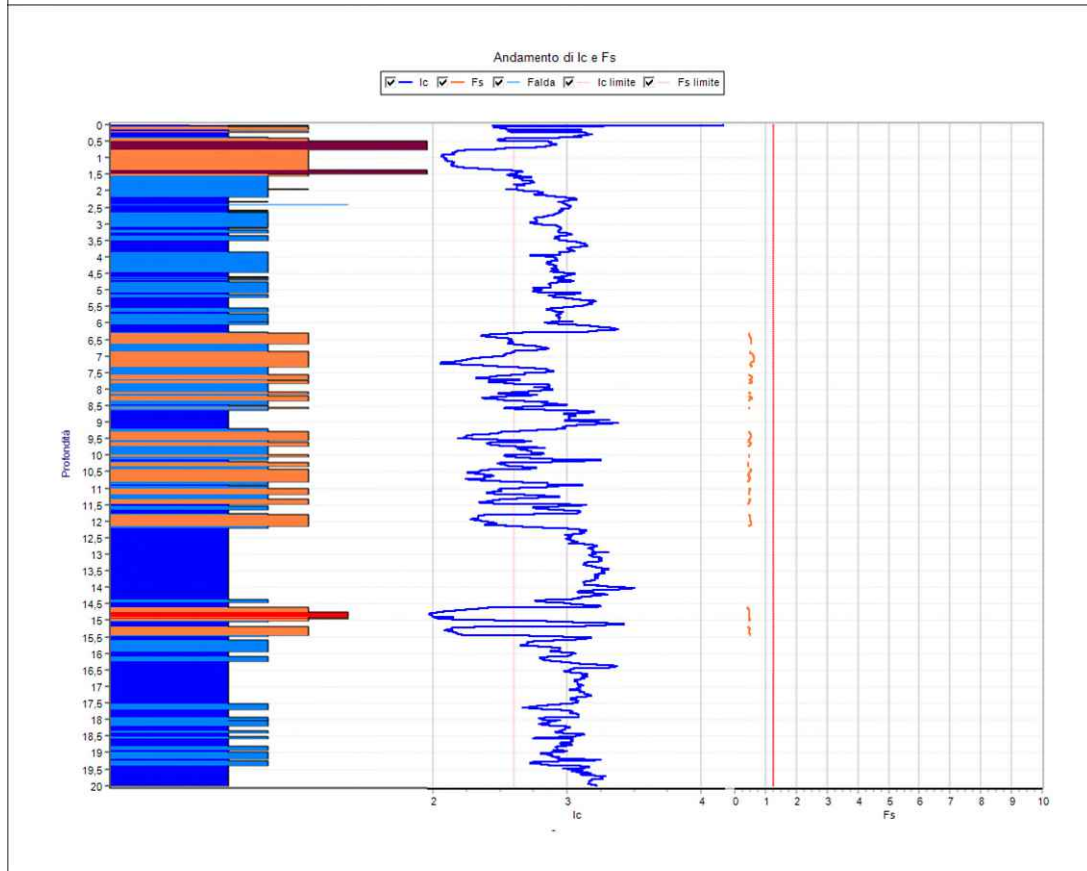
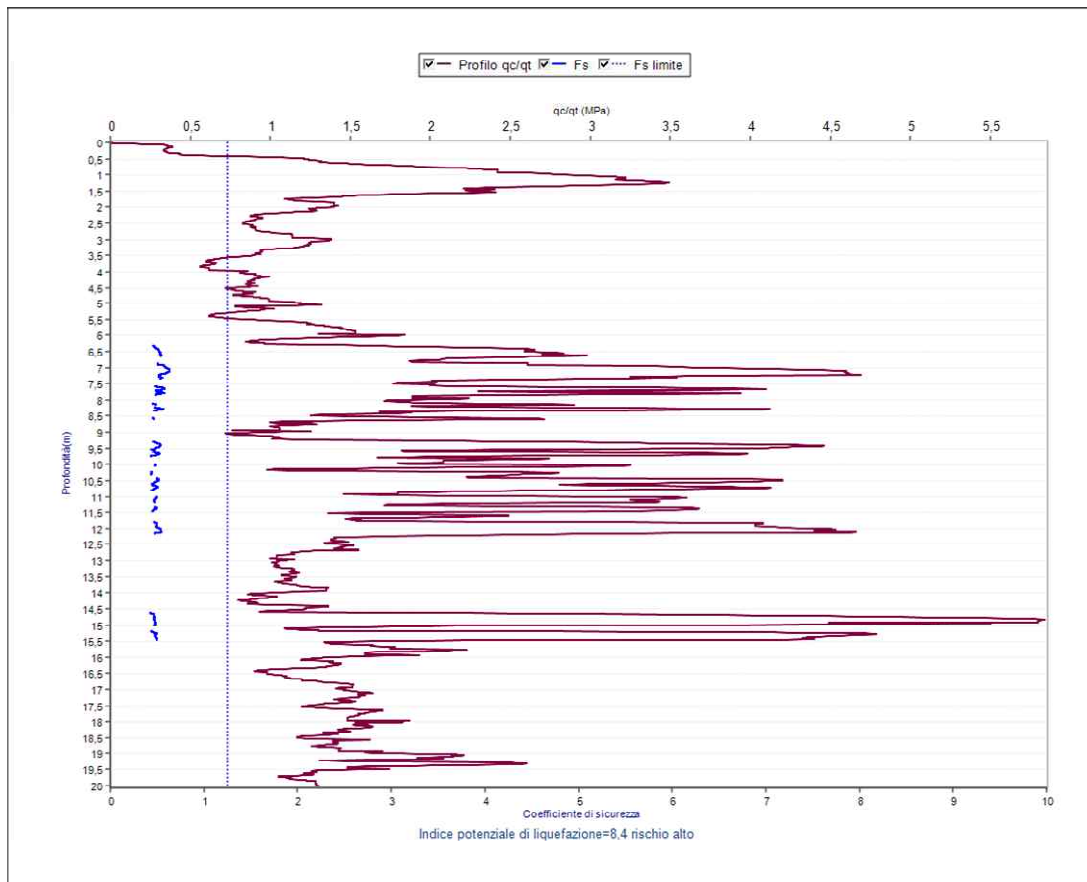
CPTu2: Indice potenziale di liquefazione = 8 rischio alto



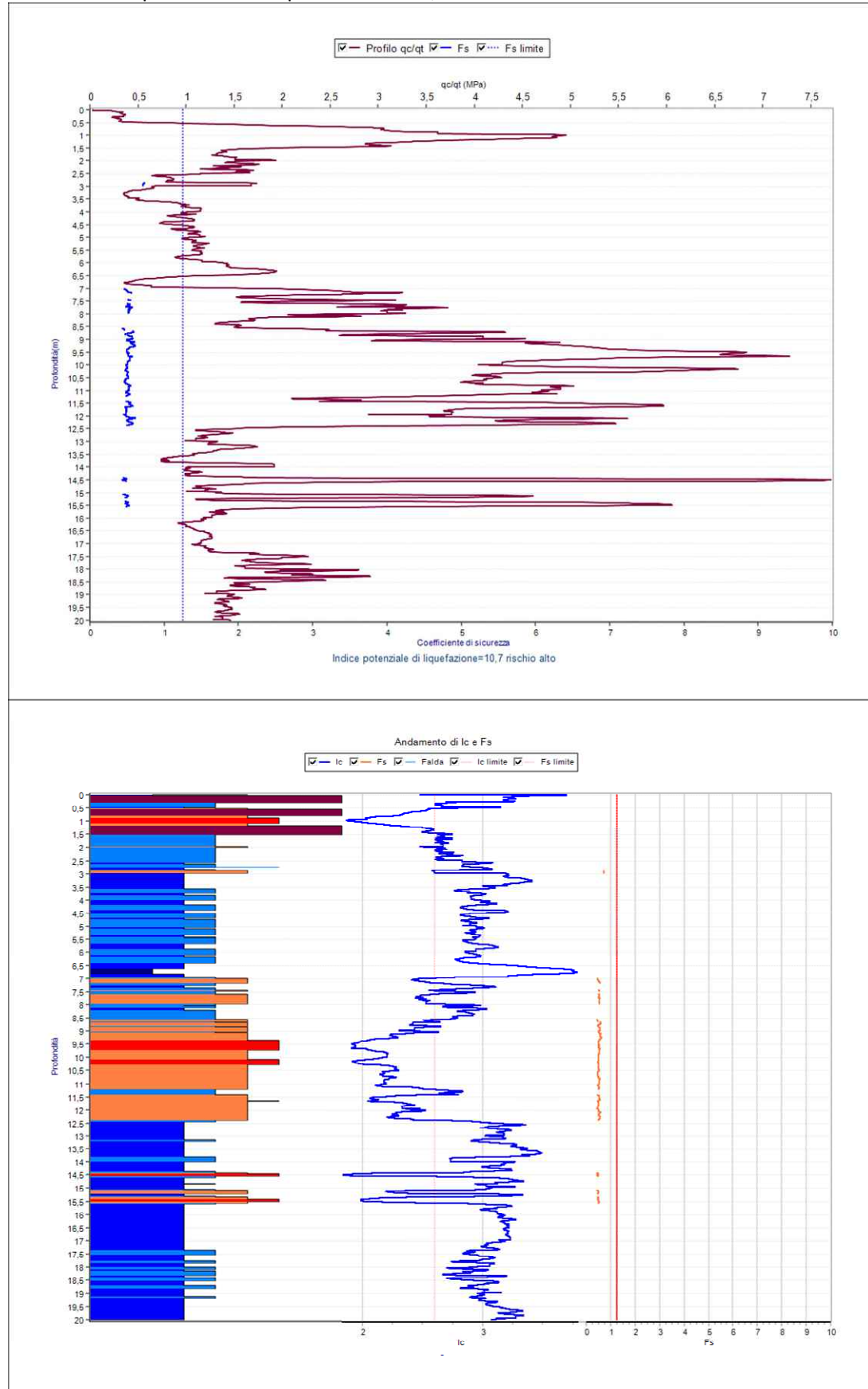
CPTu3: Indice potenziale di liquefazione = 4,4 rischio moderato



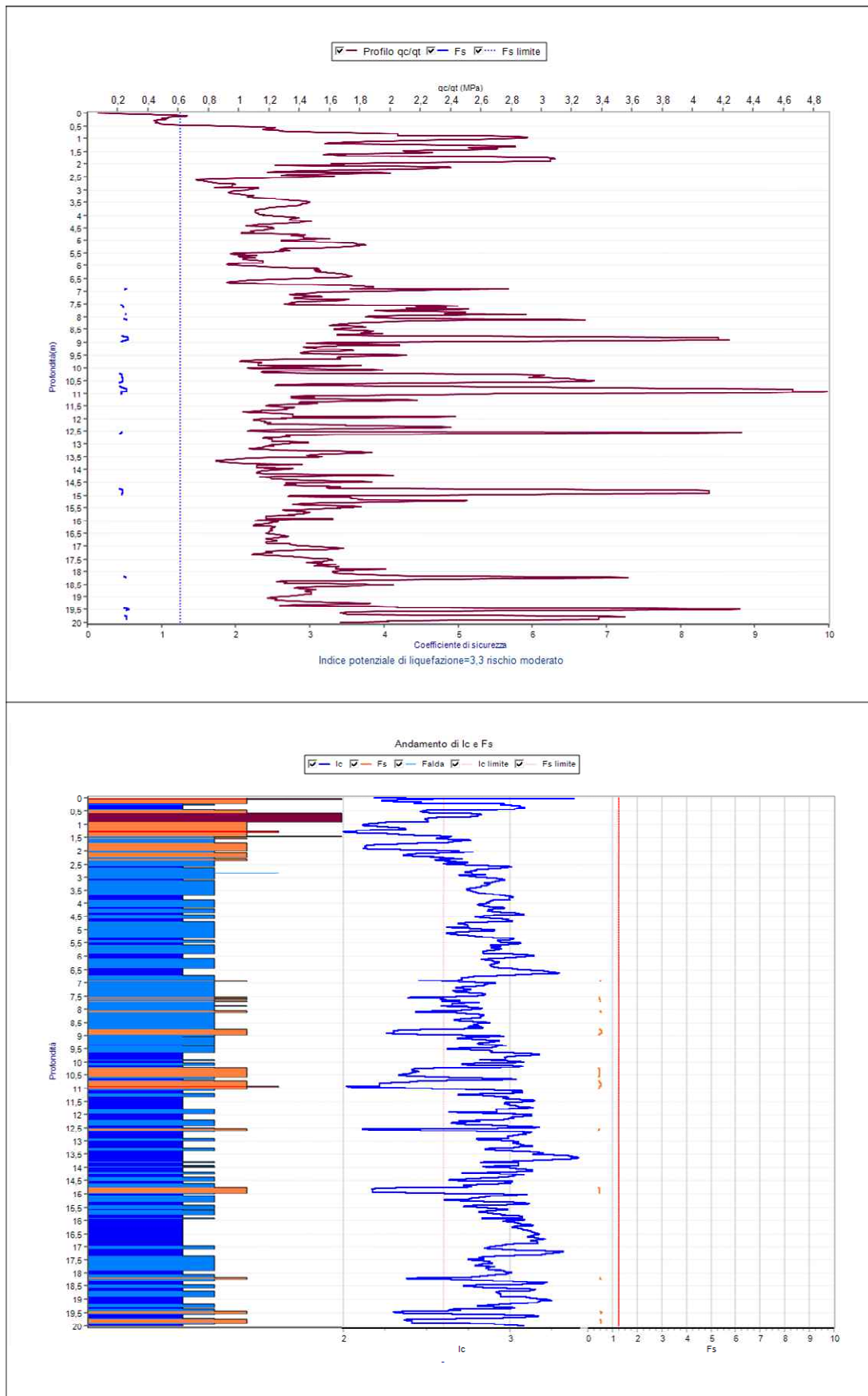
CPTu4: Indice potenziale di liquefazione = 8,4 rischio alto



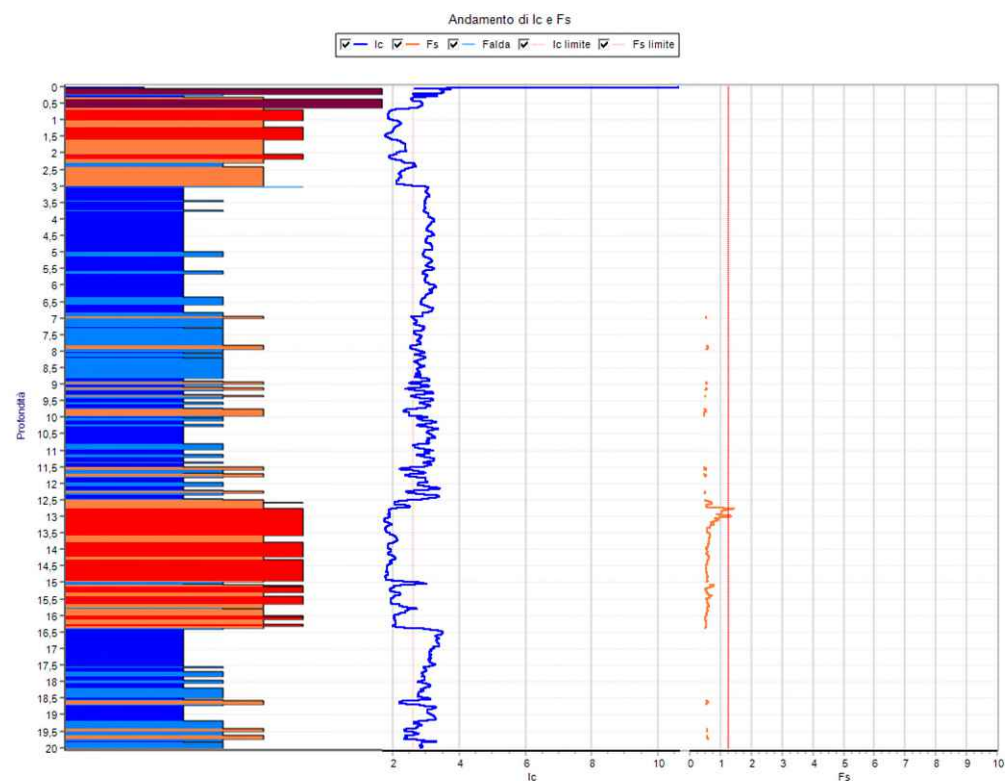
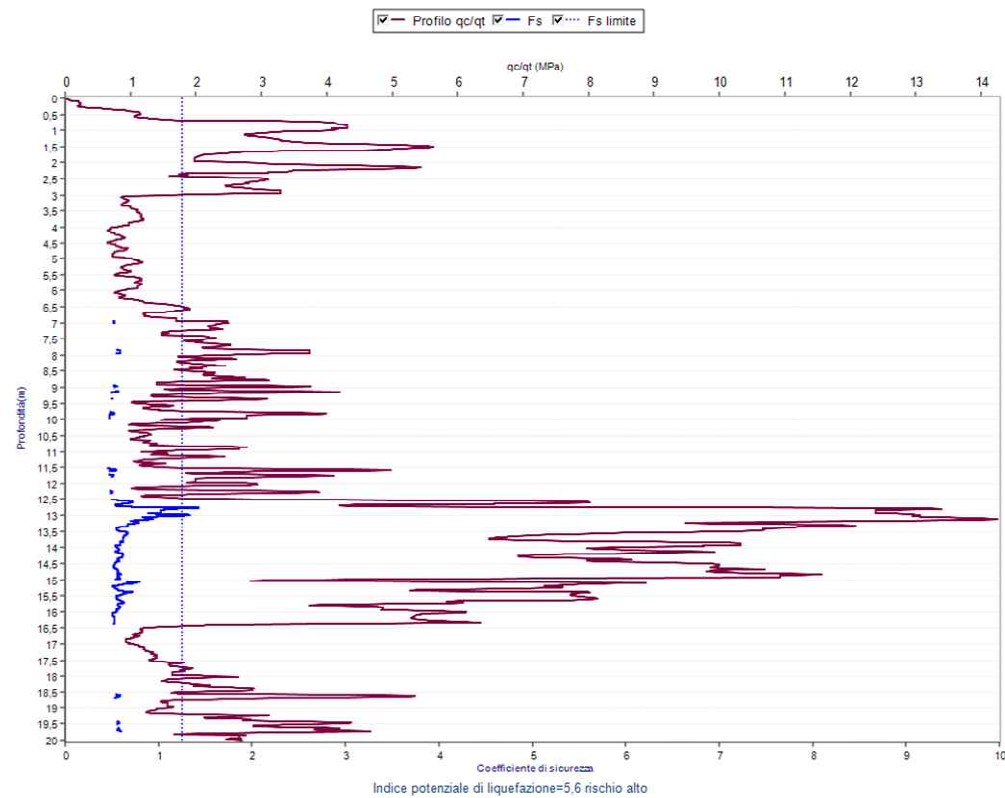
CPTu5: Indice potenziale di liquefazione = 10,7 rischio alto



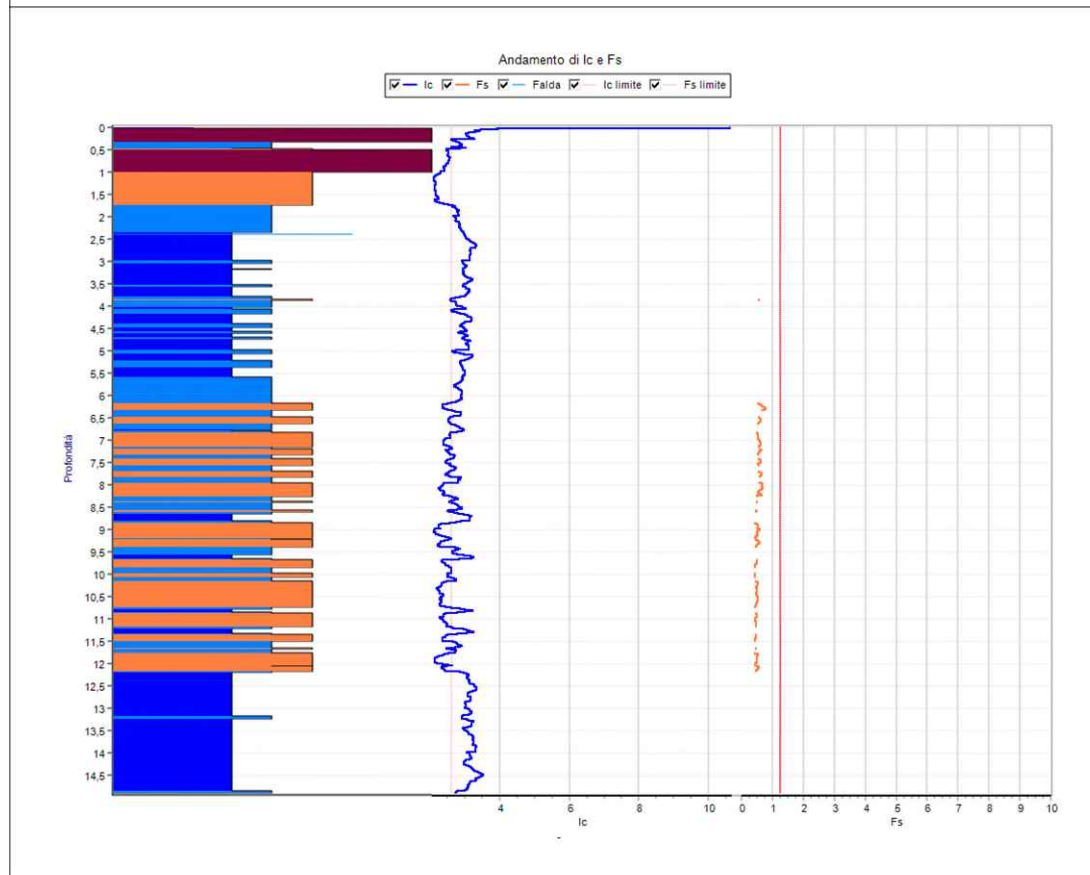
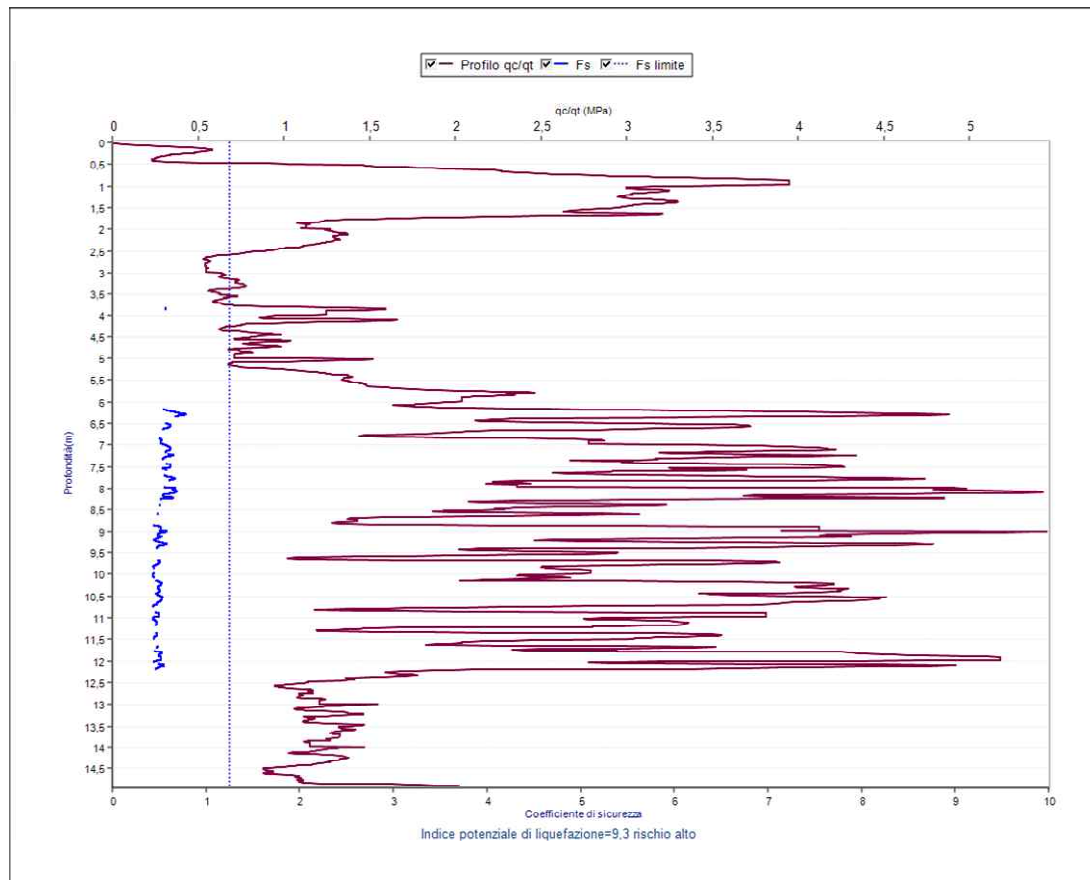
CPTu6: Indice potenziale di liquefazione = 3,3 rischio moderato



CPTu7: Indice potenziale di liquefazione = 5,6 rischio alto



CPTu8: Indice potenziale di liquefazione = 9,3 rischio alto



9.3 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è affetta da notevoli incertezze. I valori che si ottengono applicando le procedure nel seguito descritte devono intendersi solo orientativi.

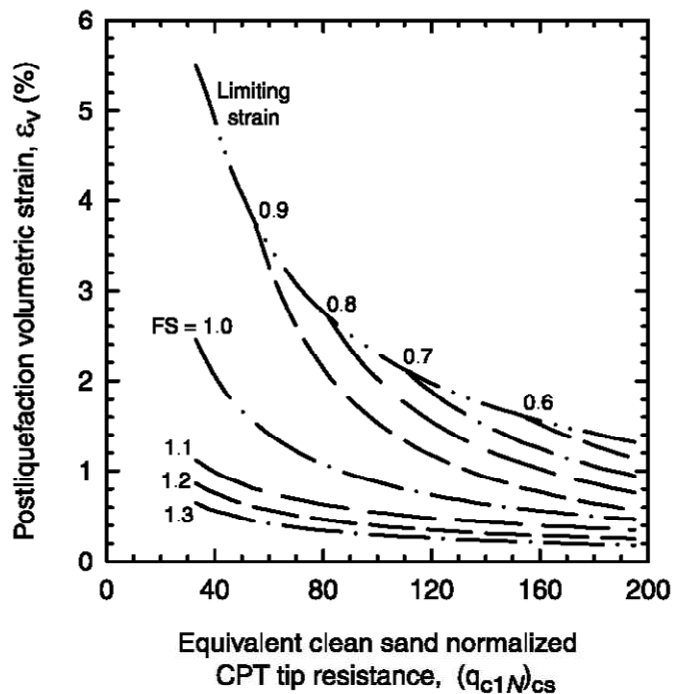
Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi.

Si procede alla stima dei cedimenti sulla verticale CPTu5 che risulta la più penalizzante sotto il punto di vista della liquefazione con un Indice potenziale di liquefazione = 10,7 rischio alto.

Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari saturi

La deformazione volumetrica (e verticale) ε_v nei terreni granulari saturi può essere stimata da prove CPT in funzione della resistenza penetrometrica di punta normalizzata e corretta, $(q_{c1N})_{cs}$ e del coefficiente di sicurezza alla liquefazione FL con il grafico di Figura 3a (Zhang et al., 2002).

Fig. 3. Relationship between postliquefaction volumetric strain and equivalent clean sand normalized CPT tip resistance for different factors of safety (FS).



Applicando tale metodologia con una falda stimata prudenzialmente prossima al piano campagna, per gli orizzonti con sabbia computati da m 0,00 a m -3,00 e da m -7,00 a dal piano campagna a m -12 dal p.c. si ottiene un cedimento stimato in cm 8÷10 per la sola componente sabbiosa.

Sommando il contributo dei rimanenti orizzonti coesivi intercalati da sottili livelli sabbiosi, si devono aggiungere ulteriori 4 cm, per un totale variabile da 12 a 14 cm. In riferimento alla stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni soffici (DGR 630) occorre specificare che la c_u è spesso superiore a 70 kPa, la $V_s \geq 180$ m/s e $IP \leq 30\%$.

10.0 MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Gli accelerogrammi di riferimento da utilizzare per il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello di approfondimento sono disponibili nella piattaforma WebGIS

<http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html>

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 (D.M. 14.01.2008) e NTC18 (D.M. 17.01.2018). 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 NTC08. Nella sezione dedicata agli indirizzi per la microzonazione sismica del sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale,

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/sismica/indirizzi-per-studi-microzonazione-sismica>

è disponibile un documento che illustra la procedura utilizzata per la definizione degli accelerogrammi e come scaricare gli accelerogrammi dalla piattaforma WebGIS.

Nel nostro caso l'ID (nodo del reticolo di riferimento) che contiene le informazioni sui sette accelerogrammi selezionati è TR475_ID18073. Il file di testo info.txt contiene le informazioni sui 7 accelerogrammi selezionati:

```
% Magnitude(Mw) Epic.Distance(km) Scaling_Factor Source File_Name
6.90 62.90 0.79 % ESM EU.HRZ..HNE.D.19790415.061941.C.ACC.ASC
5.74 12.57 1.72 % NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
6.93 94.31 2.17 % NGA RSN797_LOMAP_RIN090.AT2
6.69 38.07 1.34 % NGA RSN1091_NORTHR_VAS000.AT2
6.60 31.00 0.81 % KiKnet SMNH100010061330.EW2
6.60 62.00 1.44 % KiKnet SAGH050503201053.EW2
6.10 97.00 1.65 % KiKnet MYGH041103280724.EW2
```

Questo file è formato da 1 riga di intestazione e da 7 righe, ciascuna riferita ad uno degli accelerogrammi selezionati. Ciascuna riga contiene i seguenti campi: magnitudo (Mw) dell'evento che ha generato l'accelerogramma, distanza epicentrale (km) alla quale è avvenuta la registrazione, fattore di scala rispetto all'accelerogramma originario, nome della banca-dati alla quale appartiene l'accelerogramma originario (ESM, NGA-West2 o KiK-net) e nome dell'accelerogramma all'interno della banca-dati.

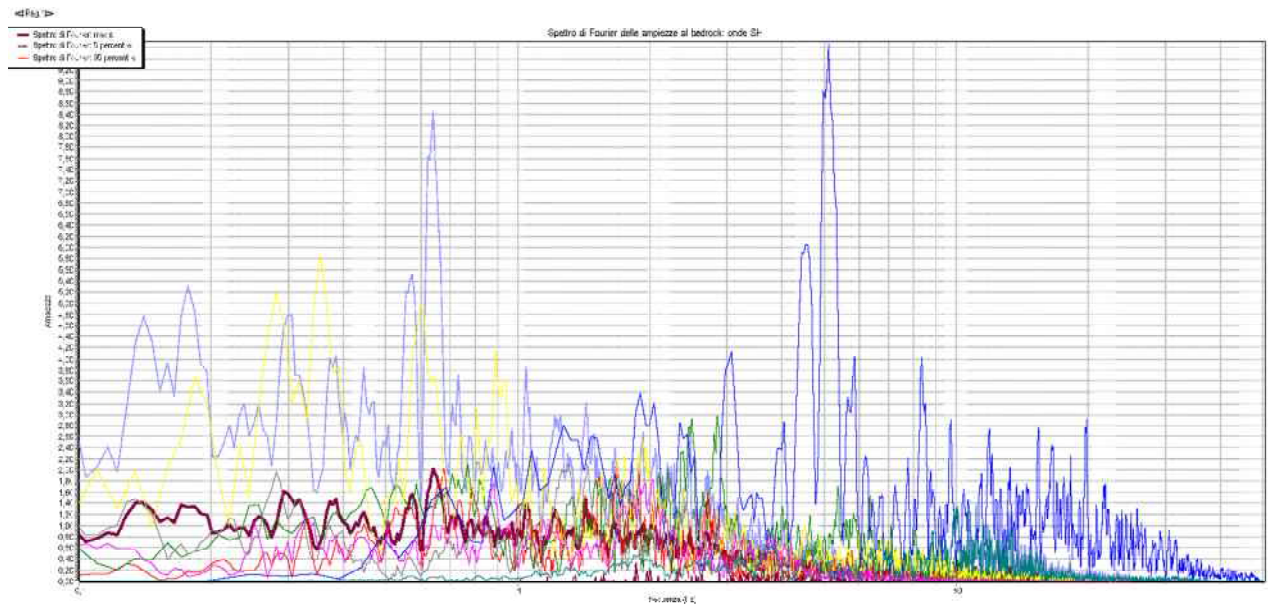
Si passa poi al caricamento ed elaborazione dei dati con il software FAD1 della ProgramGeo.

Nella prima fase si generano gli spettri di Fourier. Il programma crea tutti gli spettri di Fourier relativi agli accelerogrammi caricati e poi calcola lo spettro medio e gli spettri 5 e 95 percentile.

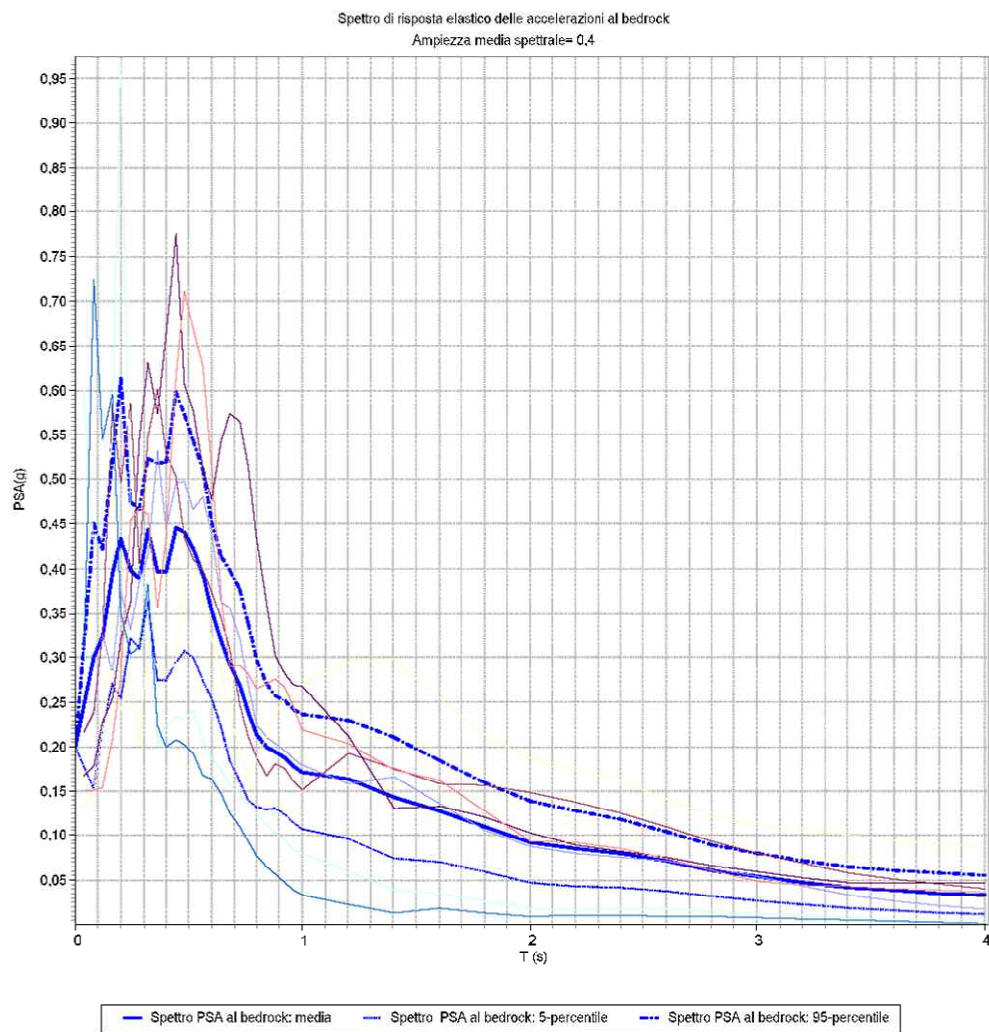
Nella seconda fase si visualizza lo spettro di risposta elastico delle accelerazioni al bed-rock. Il programma genera gli spettri di risposta delle accelerazioni e velocità per il coefficiente di smorzamento e la durata inserita e calcola le corrispondenti ampiezze spettrali medie. Nello spettro di velocità mostra l'intensità di Housner per l'intervallo definito. Il programma richiede inizialmente la selezione delle curve G (y) / G0 (decadimento del modulo di taglio in funzione del livello di deformazione) e D (y) (aumento del rapporto di smorzamento in funzione del livello di deformazione) associate a gli strati di terreno.

Si inseriscono il numero di strati di suolo individuati lungo la colonna stratigrafica, comprensivo dello strato di riferimento rispetto al quale si calcola l'amplificazione del suolo.

Il programma visualizza il periodo fondamentale della colonna stratigrafica, il picco dell'accelerazione orizzontale (PGA) sul substrato roccioso e sulla superficie del suolo, il fattore di amplificazione del PGA, la velocità di picco e lo spostamento del picco sulla superficie del suolo.

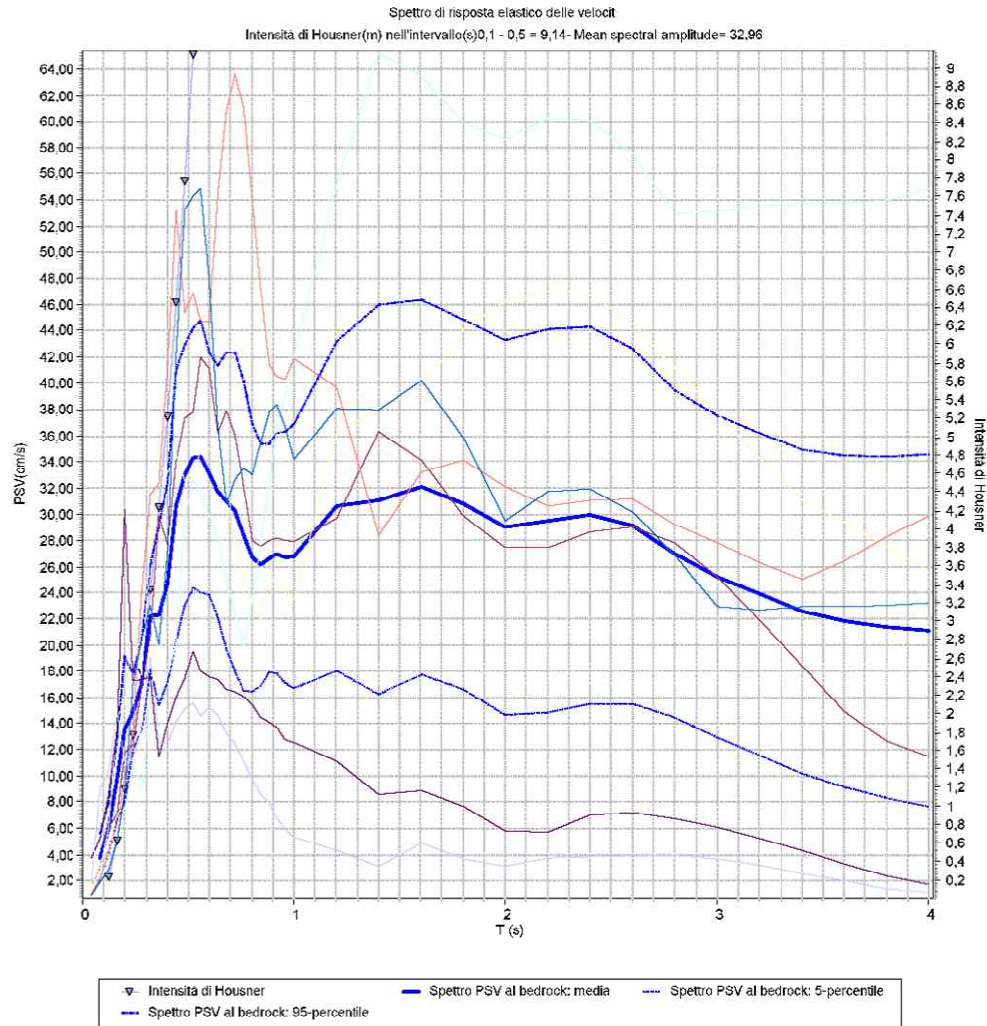


Spettro di Fourier delle ampiezze al bedrock: onde SH

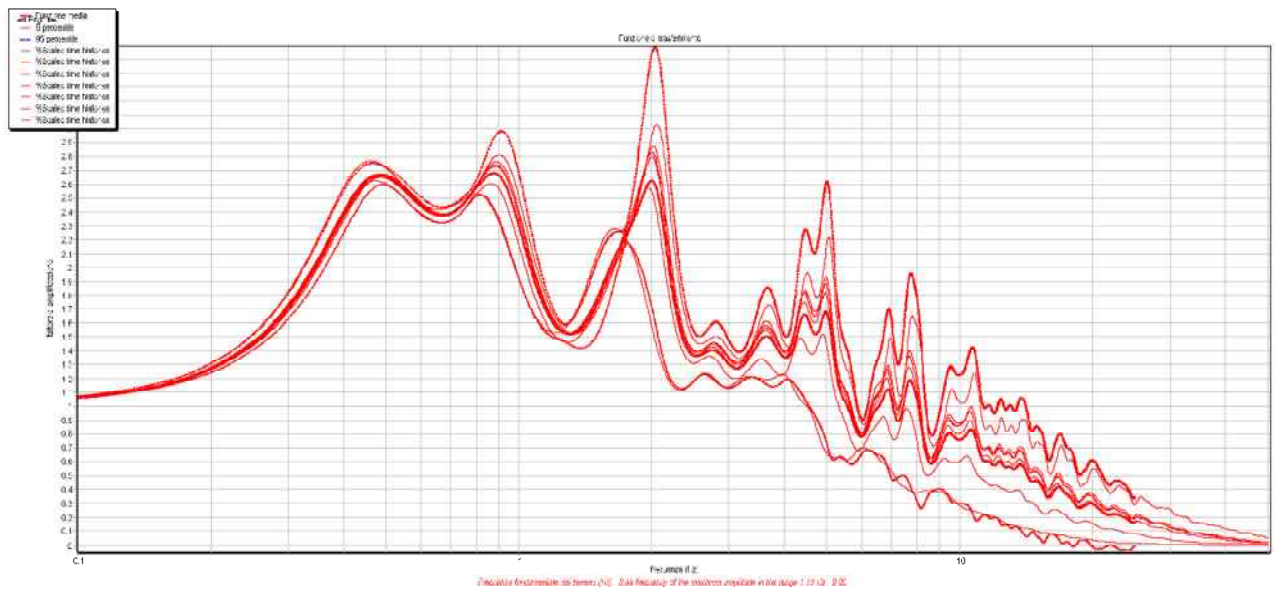


Spettro di risposta elastico delle accelerazioni al bedrock

Fig. 12



Spettro di risposta elastico delle velocità al bedrock



Funzione di trasferimento: funzione fondamentale del terreno (Hz) = 0,88

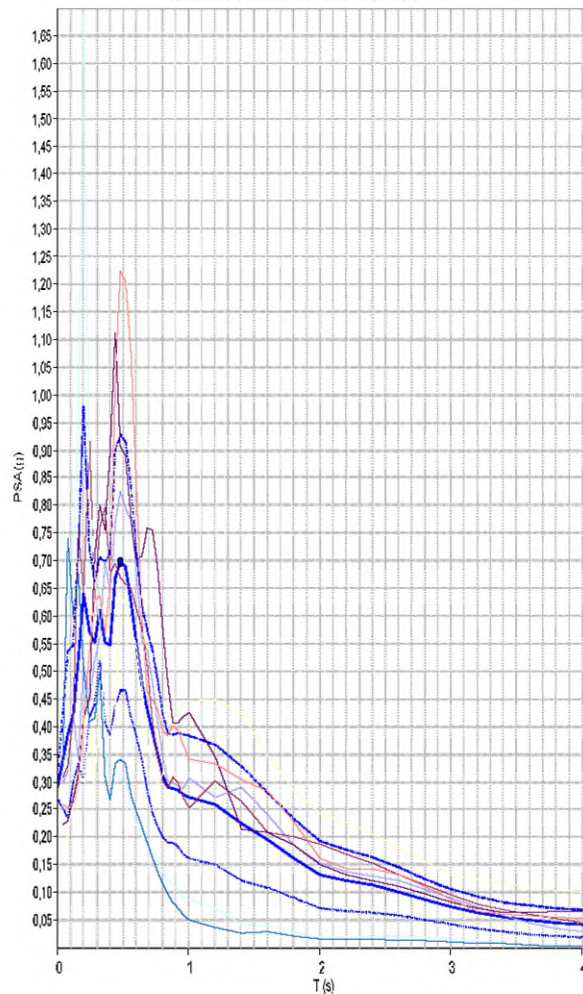
Frequenza dell'ampiezza massima nel range 1-10 Hz = 2,00

Tabella stratigrafia del sito

N.	Prof.base(m)	Curva n.	Gamma(kN/mc)	Vs(m/s)	D0%
1	28,0	2	18,0	180,0	0,0
2	38,0	3	19,0	280,0	0,0
3	68,0	1	19,0	210,0	0,0
4	88,0	4	20,0	350,0	0,0
5	188,0	1	20,0	450,0	0,0
6	258,0	1	20,0	550,0	0,0
7	308,0	2	20,0	700,0	0,0
8		3	21,0	800,0	0,0

Fundamental period (s):	2,717
Maximum acceleration at the bedrock (g):	0,2013
Maximum acceleration at the soil surface (PGA) (g):	0,2906
PGA amplification:	1,44337
Maximum relative velocity at the soil surface (PGV)(cm/s):	2,8356
Maximum relative displacement at the soil surface (PGD)(cm):	0,3973

Spettro di risposta elastico delle accelerazioni in superficie
 Ampiezza media spettrale= $0,77 \cdot F_a$ nell'intervallo(0,1-0,5)(s) = 1,43

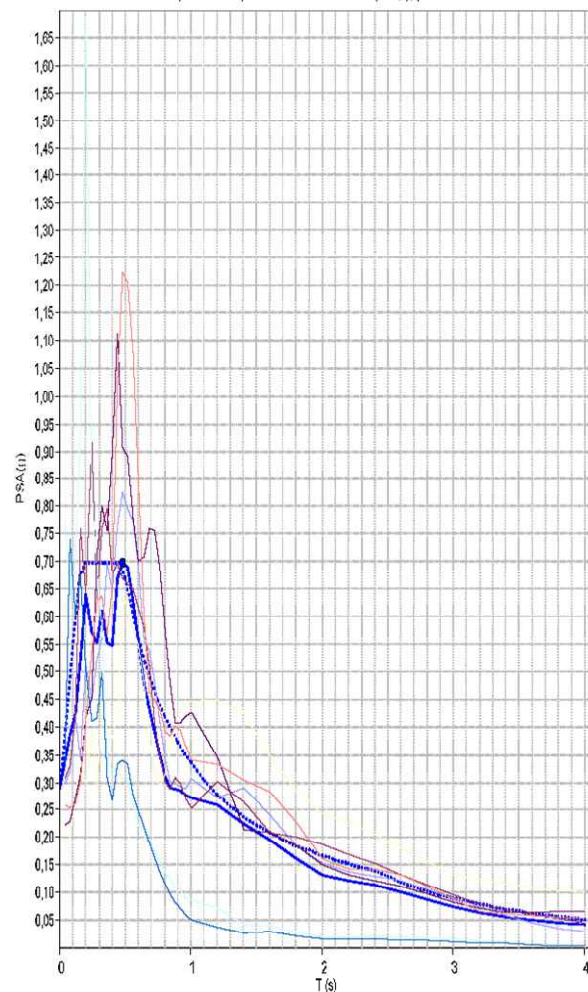


— Spettro PSA in superficie: media
 - - Spettro PSA in superficie: 5-percentile
 ... Spettro PSA in superficie: 95-percentile
 ... Spettro di Normativa adattato
 ● Max PSA
 — Spettro PSA al bedrock: media

Parametri spettro D.M.14.01.2018 adattato:

PGA al bedrock(g)=0,2013 $F_0=2,40$ $S_s=1,44337$ $S_l=1$ $T_b(s)=0,16$ $T_c(s)=0,48$

Spettro di risposta elastico delle accelerazioni in superficie
 Ampiezza media spettrale= $0,77 \cdot F_a$ nell'intervallo(0,1-0,5)(s) = 1,43



— Spettro PSA in superficie: media
 - - Spettro PSA in superficie: 5-percentile
 ... Spettro PSA in superficie: 95-percentile
 ... Spettro di Normativa adattato
 ● Max PSA
 — Spettro PSA al bedrock: media

Parametri spettro D.M.14.01.2018 adattato:

PGA al bedrock(g)=0,2013 $F_0=2,40$ $S_s=1,44337$ $S_l=1$ $T_b(s)=0,16$ $T_c(s)=0,48$

Valori ottenuti:

Periodo fondamentale del terreno = 2,717

PGA max al bedrock (g) = 0,2013

PGA in superficie (g) = 0,2906

PGV i superficie (cm/s) = 2,8356

PGD i superficie (cm) = 0,3973

Fattore di amplificazione PGA = 1,44337

Parametri spettro D.M. 14.01.2018 adattato:

PGA al bedrock (g) = 0,2013

F0 = 2,40

Ss = 1,44337

St = 1

Tb(s) = 0,16

Tc(s) = 0,48

SA1 (0,1s-0,5s) = 1,43

SA2 (0,4s-0,8s) = 1,54

SA3 (0,7s-1,1s) = 1,49

SA4 (0,5s-1,5s) = 1,55

SI1 (0,1s-0,5s) = 1,47

SI2 (0,5s-1,0s) = 1,52

SI3 (0,5s-1,5s) = 1,54

Carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (Naso et al., 20191)

Viene analizzato il parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1\text{s} \leq T \leq 0,5\text{s}$, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{sm} = \text{ASIUHS} / \Delta T \times \text{FA}$$

I valori di $\text{ASIUHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Tenuto conto di un valore di $\text{ASIUHS}/\Delta T = 429 \text{ cm/s}^2$ vengono restituiti i seguenti dati di HSM e H0408, H0711, H0515

Hsm = 613

H₀₄₀₈ = 660

H₀₇₀₁₁ = 639

H₀₅₁₅ = 665

11. CONCLUSIONI

Nelle 8 verticali di indagini che si sono spinte fra i 20 ed i 30 metri, in un caso a 15 m, si è riscontrata una stratigrafia variabile con un contenuto in sabbia, limo sabbioso e sabbia limosa oltre che variabile, importante. Il livello della falda freatica superficiale è prossimo alla superficie. Il valore da normativa di A_{max} è pari a 2,77 (PGA (g) 0,28 per un tempo di ritorno di 475 anni. Con lo sviluppo della microzonazione di III livello si è ottenuto una PGA (g) pari a 0,29 di poco superiore al valore da normativa (0,28).

Conseguentemente alla prima fase della microzonazione sismica di II livello si è eseguita una verifica alla liquefazione consistente nella costruzione di 8 fusi granulometrici in cui in almeno tre di essi la potenziale liquefazione è evidente e in altri tre non vi è rischio di liquefazione. La verifica è poi proseguita con i valori ottenuti dalla microzonazione di secondo livello (Magnitudo momento massima pari 6,14 Mw e $a_g 0.201 \times 1,6$ (fattore di amplificazione) = 0,32) adottando il metodo Boulanger & Idriss. Su 8 verticali di indagine il potenziale di liquefazione ha superato il valore di 5 in 6 casi.

La microzonazione di terzo livello ha permesso di stabilire valori di amplificazione e di PGA inferiori a quanto ottenuto dalla microzonazione di II livello; pertanto si è provveduto a ripetere la verifica alla liquefazione con la PGA in superficie (g) = 0,2906 e la magnitudo (Mw) pari a 6,14. La metodologia adottata è sempre Boulanger & Idriss. Il potenziale di liquefazione ha superato il valore di 5 in 6 verticali di indagine su 8.

Pertanto in fase di progettazione strutturale si dovranno prevedere interventi per la riduzione del rischio, una delle soluzioni è il trasferimento del carico dell'opera in profondità con l'adozione di fondazioni su pali. Sarà compito della relazione geotecnica determinare la scelta progettuale che più si addice al modello geologico qui esposto con gli opportuni accorgimenti.

Cesena 14 settembre 2021

Geologo Paride Antolini

TABELLA 1																														
SONDAGGIO 1 - CPTu7			Caratter. Volumet.			Limiti di Attemberg					Granulometria					PP-VT			TX/TD			Prova edometrica								
Orizzonte	CPTu/SON.	Profondità (m)	W _n (%)	Y (g/cm³)	Y _d (g/cm³)	LL (%)	LP (%)	IL (%)	IP (%)	IC (%)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	Coeff. Unif.	PP (Kpa)	VT (KPa)	Cu (KPa)	C' (Kpa)	φ' (°)	Ed (MPa)	Cv (cmq/sec)	Mv (mq/KN)	K (m/sec)	Cc	Dr (%)	O.C.R.	Young (Mpa)	G0 (Mpa)	
A	CPTu7	0÷3		1,8																32÷40	2,74					40÷58		5,16	20,25	
B1	CPTu7	3÷4		1,8														55		26	3,5				0,16		3,91		11,35	
B2	CPTu7	4,00÷6,28		1,85														49		26	3,08				0,16		2,88		10,49	
	S1C1 TD	4,6÷5,10	29,85	1,97	1,51	31,8	22,5	1,79	9,3	0,21	1	13,5	65,9	19,6		120÷200	50÷80	40	23,8	25,1	5,7	0,00055	0,18	1E-10	0,2		3,58			
B3	CPTu7	6,28÷7,85		1,85														94		24-25	6,37				0,16		4,53		16,36	
B4	CPTu7	7,85÷12,51		1,9														101		25	3,38				0,15		3,79		17,28	
	S1C2 TD	9,50÷10,10	32,44	1,88	1,42	25,1	N.P.					40,9	53,6	5,6	164,5	40÷80	10÷20	18	0,8	29,7	5	0,012	0,2	2E-09	0,22		4,82			
C	CPTu7	12,51÷16,38																		37	4,89					51÷54		16,18	40,7	
	S1C3 TD	13,50÷14,00	18,95	1,97	1,65	N.L.	N.P.				0,6	71,4	25,7	2,3		110÷200	20÷30	8,5	2,1	26,3	18,7	0,01	0,05							
D1	CPTu7	16,38÷17,21		1,85														62		22-23	3,99				0,17		1,56		12,29	
D2	CPTu7	17,21÷20,13		1,85														111		26	3,74				0,16		2,59		18,37	
D3	CPTu7	20,13÷21,95		1,85														84		24	5,67				0,17		1,8		15,24	
	S1C4 TD	21,10÷21,60	31,92	1,99	1,51	40,7	24,4	0,46	16,3	0,54	0,6	4,1	62,8	33,1		80÷70	30÷50	44,2	34,1	20,9	8,3	0,00038	0,12	4E-11	0,23		1,9			
D4	CPTu7	21,95÷22,8		1,9														153		27	5,41				0,15		3,12		23,01	
D5	CPTu7	22,80÷24,53		1,9														90		24	6,09				0,17		1,75		15,92	
E	CPTu7	24,53÷27,76		1,9														105		24-25	3,54				0,17		1,89		17,75	
F	CPTu7	27,76÷28,22		2																34÷36	5,88					42÷51		16,1	40.58	
GHI	S1	SPT 29,6m 24 38 22		2																	35									
GHI	S1	SPT 32,7m 16 20 24		2																	34									



Provincia di Forlì-Cesena Comune di Forlimpopoli
Committente: GESCO S.R.L. - Inquadramento scala 1:25.000 - TAVOLA 240 SO-255 NO



Nuovo stabilimento

Fig. 1

✚ CPTu7

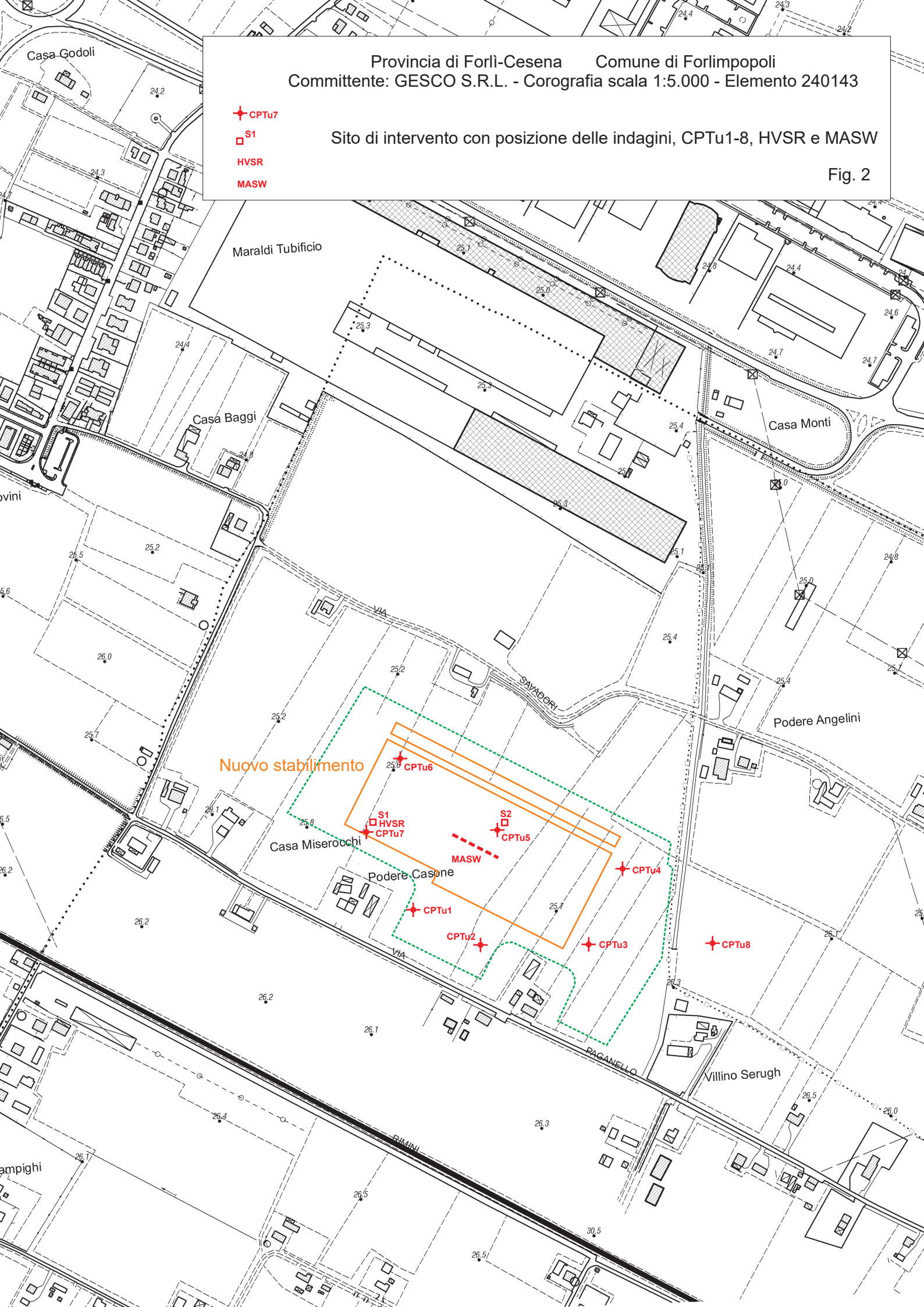
□ S1

HVSR

MASW

Sito di intervento con posizione delle indagini, CPTu1-8, HVSR e MASW

Fig. 2



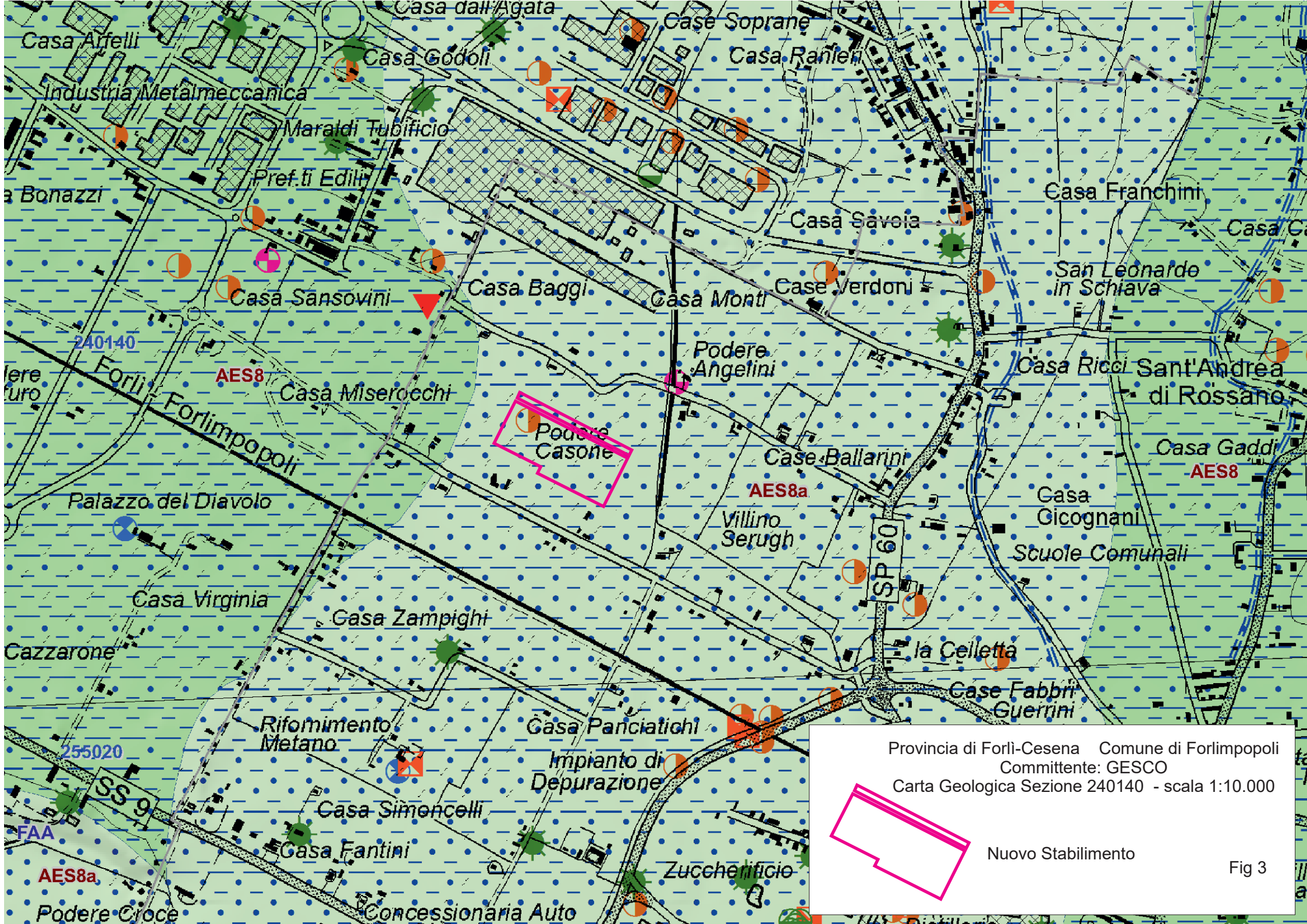


Fig 3

Legenda

Province



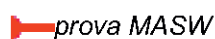
Comuni



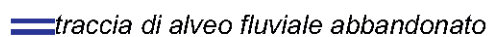
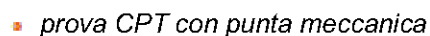
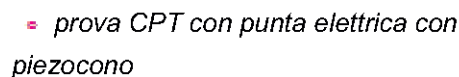
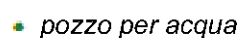
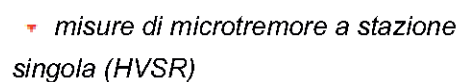
Griglia 10.000



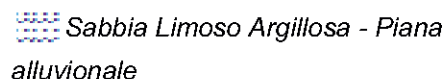
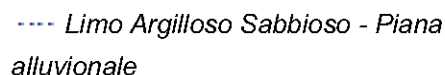
Prove lineari



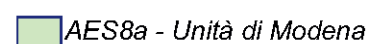
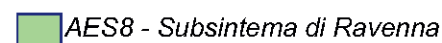
Prove puntuali



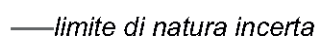
Ambienti deposiz. e litologie (10K)



Coperture quaternarie (10K)



Limiti di unità geologiche (10K)



Unità geologiche (10K)



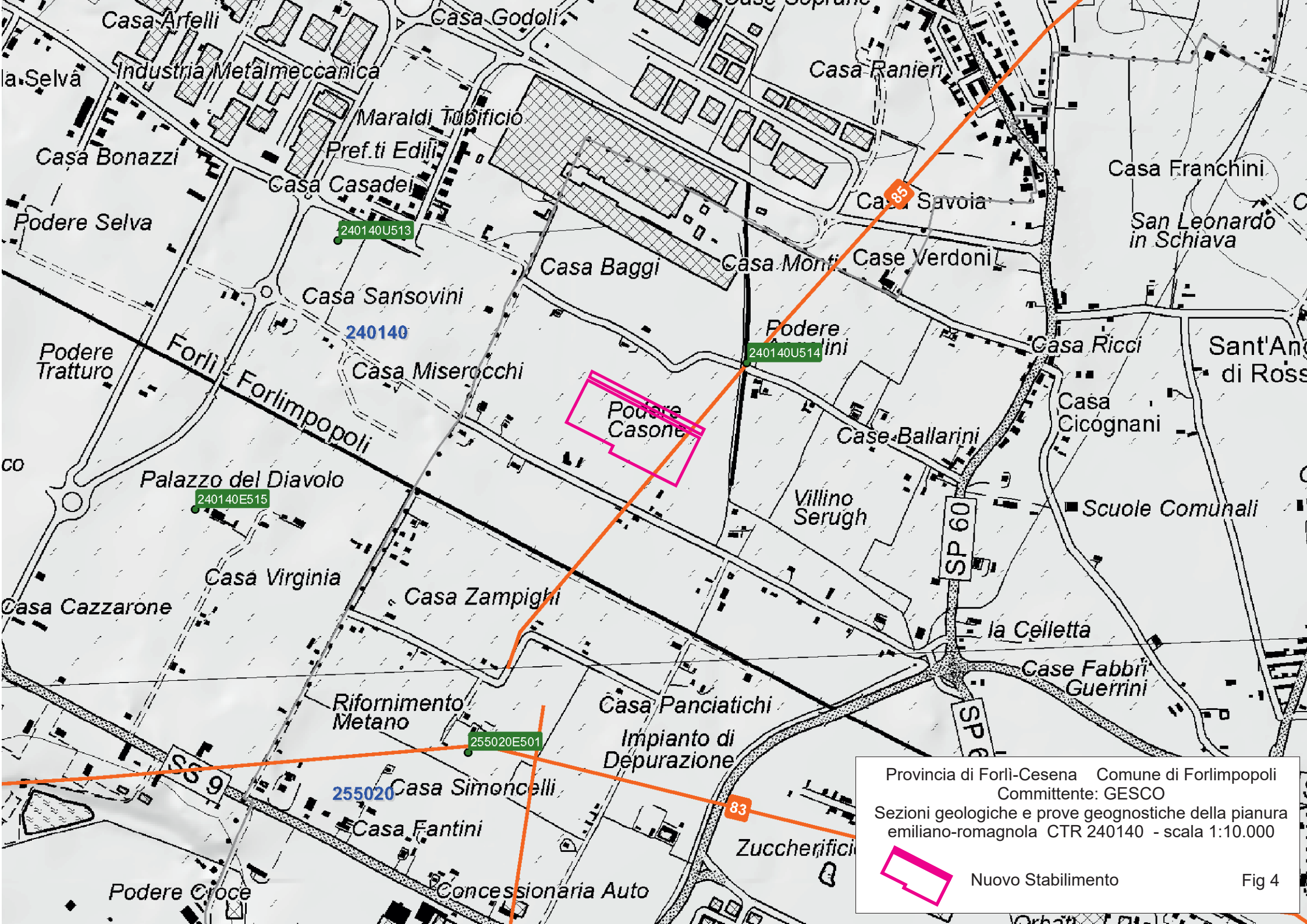


Fig 4

Legenda

Penetrometrie



Datazioni C14



Sezioni pubblicate



Province ita



Province

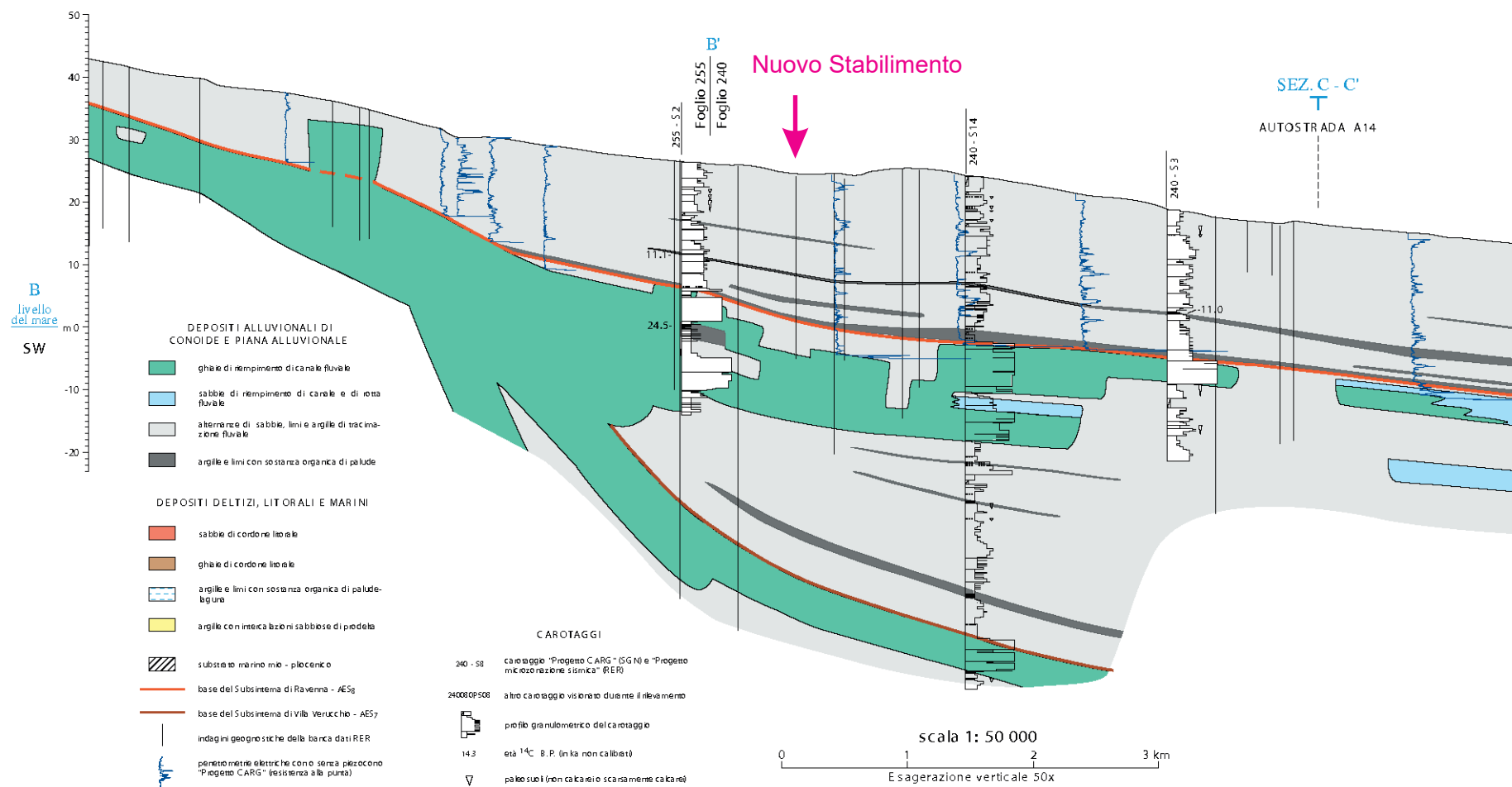


Comuni



Griglia 10.000





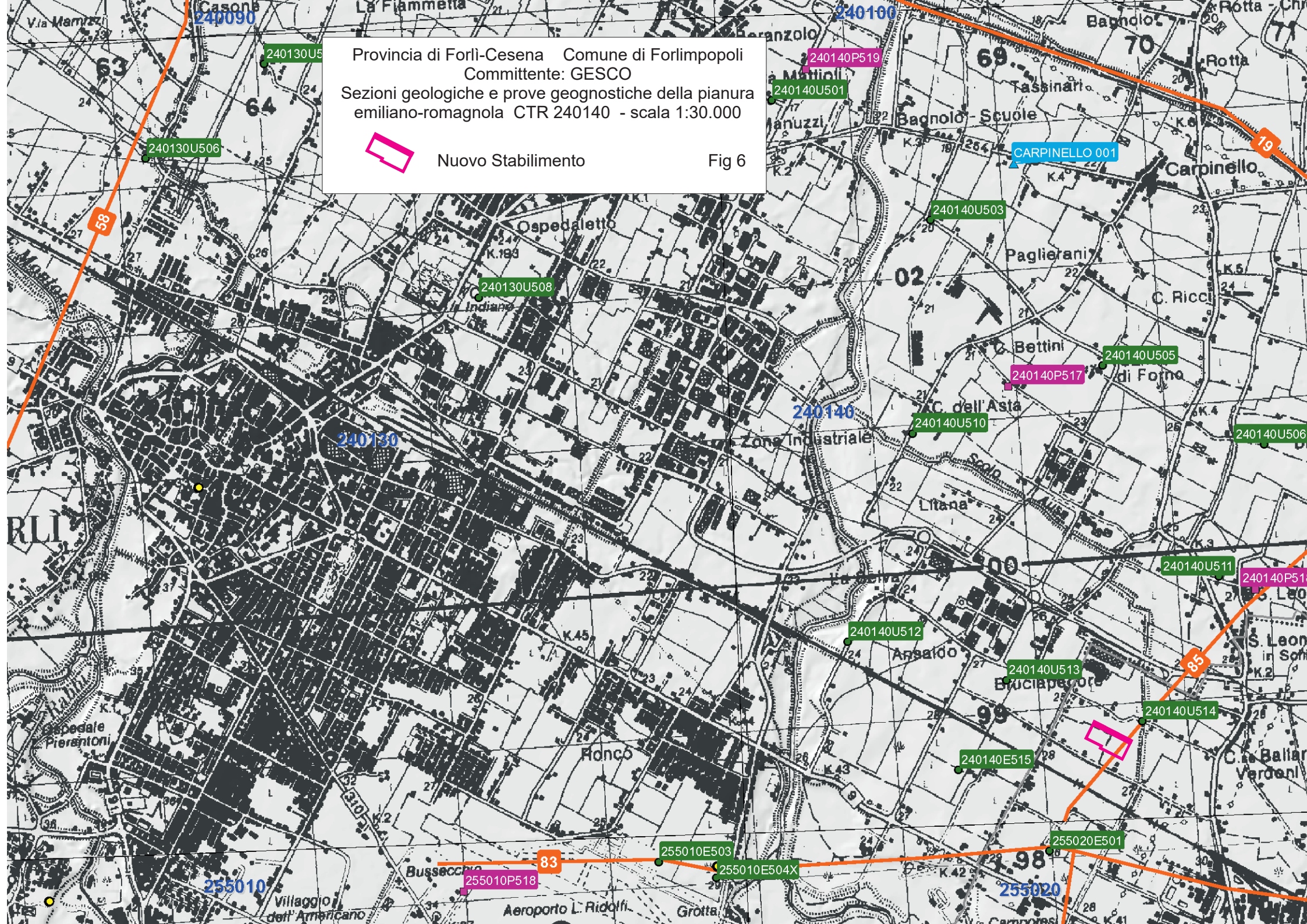
Provincia di Forlì-Cesena Comune di Forlimpopoli
 Committente: GESCO
 Sezione geologica n. 85 (ingrandimento)
 scala delle altezze: 1cm=10m
 scala delle lunghezze: 1cm=200m

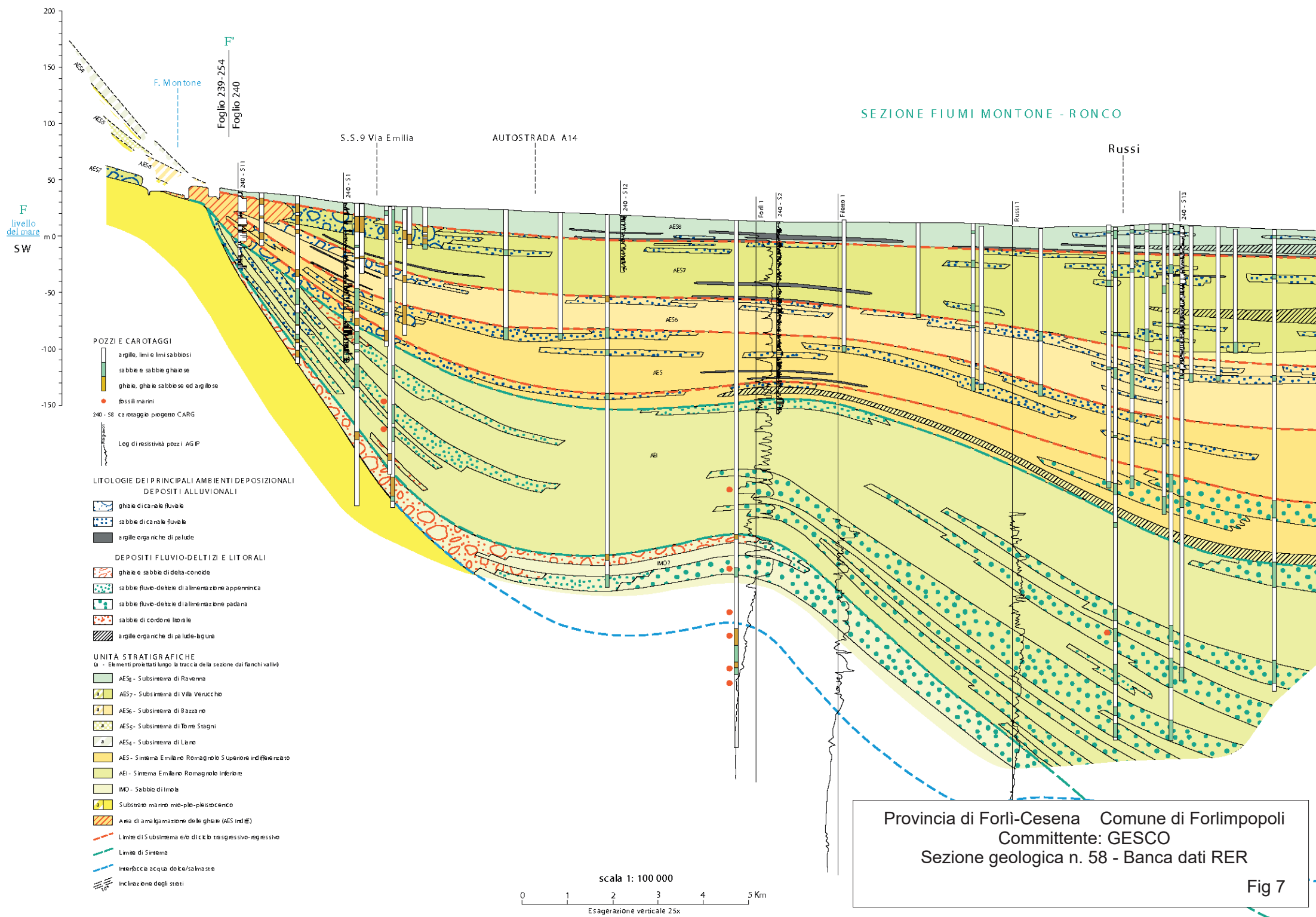
Provincia di Forlì-Cesena Comune di Forlimpopoli
Committente: GESCO
Sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura
emiliano-romagnola CTR 240140 - scala 1:30.000

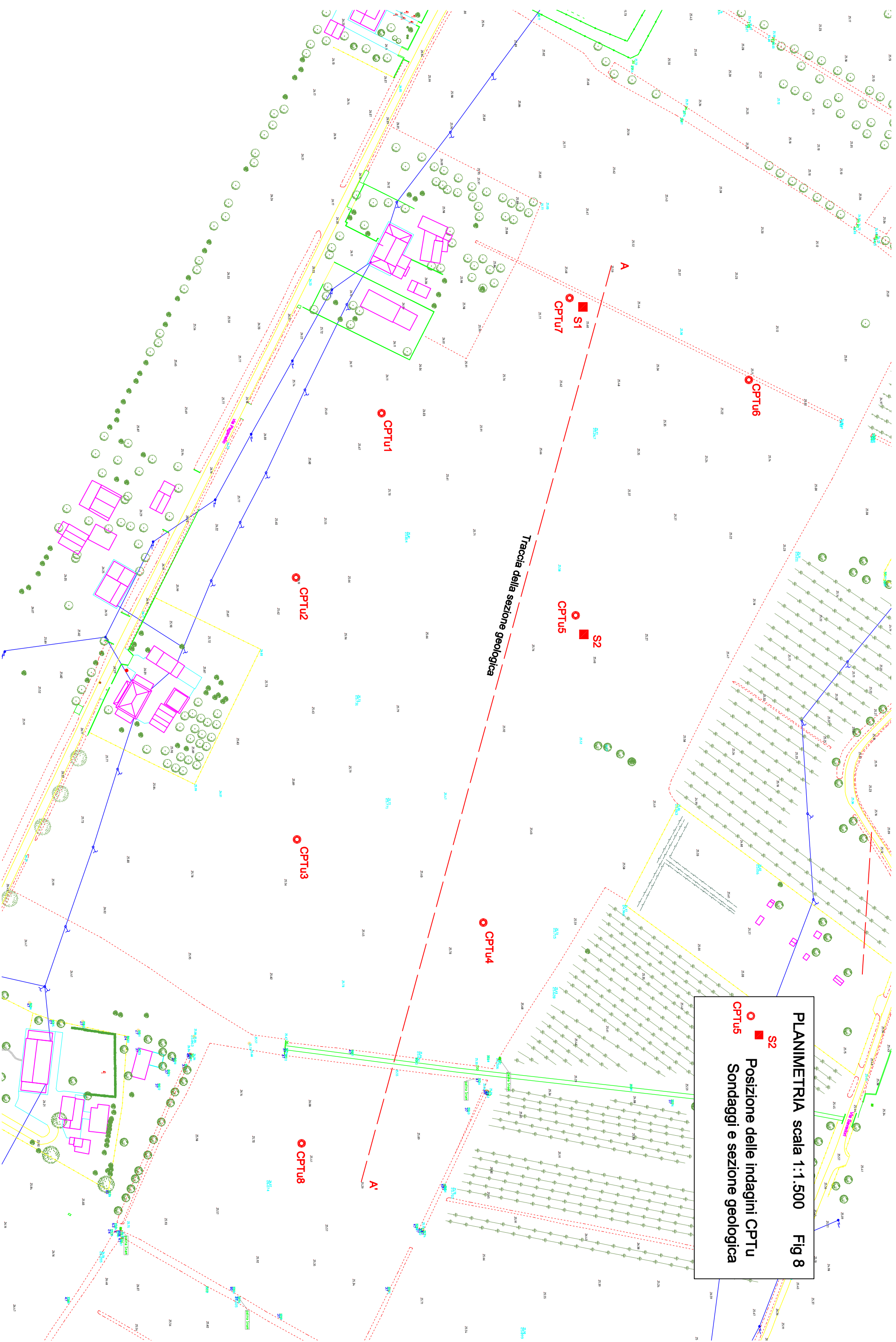


Nuovo Stabilimento

Fig 6







SEZIONE GEOLOGICA A-A'

Fig. 9

