



COMUNE di RIMINI

Dipartimento del TERRITORIO
Settore Infrastrutture, Mobilità e Qualità Ambientale

Piano Op. Fondo Sviluppo e Coesione (FSC) Infrastr. 2014-2020
Messa in sicurezza SS16 in corrispondenza dell'attraversamento
del Centro Abitato di Rimini

ROTATORIA SS16 -VIA VERENIN

CUP C91B17000720001 - Fascicolo 2018-245-016

PROGETTO di Fattibilità Tecnico Economica e DEFINITIVO

AII. C RELAZIONE GEOLOGICA di 2° Livello

Rev.

PROGETTISTA:
Ing. Paolo Vicini

IL RESPONSABILE DI PROCEDIMENTO:
Ing. Alberto Dellavalle

COLLABORATORI:
PROGETTISTA PUBBLICA ILLUMINAZIONE:
Ing. Luca Paganelli

IMPIANTISTICA IDRAULICA
Ing. Enrico Miani

STUDIO GEOLOGICO
Dott. Ronci Stefano -Geologo -Rimini

DISEGNATORE
Ing. Emanuele Tamburini
Ing. Giulio Zannoli

INDAGINI GEOLOGICHE
Intergeo S.R.L. - RSM

ANALISI RUMORE
NoRumore - Dott. Casadio - Forlì

RILIEVO TOPOGRAFICO e
PIANO PARTICOLAREGG. DI ESPROPRIO:
Geom. Mauro Ciavatta - Rimini

PAESAGGISTICA
Arch. Silvia Capelli

Rimini li. novembre 2019

Studio di Geologia Dott. Stefano Ronci

RELAZIONE GEOLOGICA
INDAGINE GEOTECNICA E GEOFISICA
PER VARIANTE URBANISTICA

Progetto: **FSC (FONDO COESIONE SOCIALE) 2014-2020 – PIANO
OPERATIVO INFRASTRUTTURE MESSA IN SICUREZZA SS16:
ROTATORIA SS16 - VIA VERENIN**

Ubicazione: Via Grazia Verenin, Strada Statale Adriatica n.16, Rimini (RN)

Committente : COMUNE DI RIMINI

Dott. Geol. Stefano Ronci

Collaboratore Dott. Geol. Giorgio Ciuffoli

Rimini Agosto 2018

Dott. Stefano Ronci Geologo
Viale Cordevole 21/a, 47921 RIMINI, Tel.Fax 0541/23043 Cell.0335/5894090
e-mail: stefanoronci@tin.it pec:stefanoronci@postalegale.net

SOMMARIO

1 – PREMESSA	1
2 – GEOLOGIA	1
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	1
2.2 IDROGEOLOGIA	9
2.3 MODELLO GEOLOGICO	10
3– INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	11
3.1 INDAGINI PENETROMETRICHE.....	13
3.2 CORRELAZIONI PARAMETRI GEOTECNICI DA PENETROMETRIE STATICHE	13
3.2 RILIEVO DEL LIVELLO DI FALDA.....	14
4 – STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	14
4.2 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE CONSULTATE.....	16
5 – RISCHIO SISMICO	19
5,1 SISMICITÀ DELL'AREA	19
5,2– MICROZONAZIONE SISMICA	20
5,3 AZIONE SISMICA: MAGNITUDO E ACCELERAZIONE SISMICA.....	26
5,4 EFFETTI LOCALI: LIQUEFAZIONE DEI TERRENI SABBIOSI E CEDIMENTI INDOTTI DAL SISMA.....	26
7 – ORIENTAMENTI GEOTECNICI.....	29
8 – CONCLUSIONI.....	30

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 PROVA PENETROMETRICA CPT
- ALLEGATO 2 VALUTAZIONE LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI POST-SISMICI
- ALLEGATO 3 SEZIONE STRATIGRAFICA

FIGURE NEL TESTO

Figura 1 Vista aerea (Google Maps)	1
Figura 2 Inquadramento cartografico	2
Figura 3 Dettaglio Elemento 256014 Viserbella	3
Figura 4 Carta Geologica RER (Sezione 256070 Torre Pedrera)	4
Figura 5 Sezione geologica RER 059 (Sezione parallela alla costa)	6
Figura 6 Sezione Geologica longitudinale alla valle del Marecchia.....	6
Figura 7 Carta dello Spessore delle Coperture del PSC	7
Figura 8 Sezione geologica n.149 dettaglio stratigrafia.....	8
Figura 9 Carta della Subsidenza (ARPAE)	8
Figura 10 PAI Var.2016 tav. 5.1 Mappa della pericolosità per il reticolo secondario.	9
Figura 11 PTCP Tavola D, Rischi Ambientali	10
Figura 12 Penetrometro Pagani TG63/200 nel corso della prova	11
Figura 13 Planimetria con ubicazione delle indagini.....	12
Figura 14 Grafici per l'interpretazione della litologia da prove CPT (Schmertmann e di Robertson)	13
Figura 15 Carta della litologia secondo Schmertmann	15
Figura 16 Profilo penetrometrico, Resistenza di Punta	15
Figura 17 Ubicazione indagini, Curve di dispersione degli array bidimensionali.....	16
Figura 18 Spettri H/V.....	17
Figura 19 Profilo Vs tratto dalle indagini del PSC (curva in rosso).....	17
Figura 20 PSC Comune di Rimini Carta della velocità delle onde di taglio (Tav. B.16a)	18
Figura 21 Istogramma degli eventi sismici.....	19
Figura 22 ITHACA Catalogo delle Faglie Capaci	22
Figura 23 Carta di microzonazione sismica: fattori di amplificazione di PGA.....	22
Figura 24 PSC Stralcio della Carta degli Ambiti Sismici Omogenei -B.14a -	24
Figura 25 D.A.L.112/2007, Tabelle All.2, punto A2.1.1 (Substrato marino con Vs<800 m/s)	25
Figura 26 DGR 2193 Tabelle All.2 punto A2.1.2.....	25

Dott. Stefano Ronci Geologo

Viale Cordevole 21/a, 47921 RIMINI, Tel.Fax 0541/23043 Cell.0335/5894090
e-mail: stefanoronci@tin.it pec:stefanoronci@postalegale.net

1 – PREMESSA

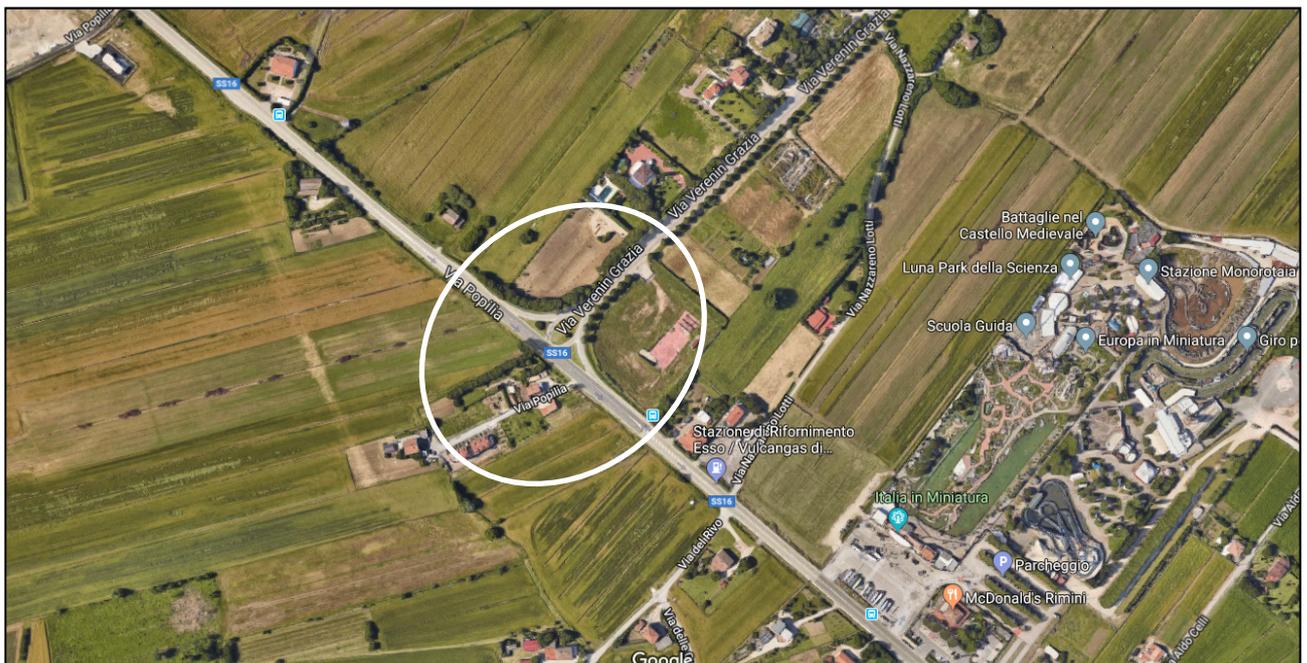
Si è eseguito, su incarico del Comune di Rimini, uno studio geologico ed un'indagine geognostica per acquisire gli elementi necessari alla *variante urbanistica* ed alla progettazione di una rotatoria ed un sottopassaggio pedonale, situati all'intersezione fra la Strada Statale n.16 Adriatica e la Via Grazia Verenin

Lo studio si è svolto in ottemperanza alla normativa regionale di Delibera Assemblea Legislativa RER n. 2193/2015 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (aggiornamento dell'Atto di Indirizzo n.112/2007), ed in riferimento al PTCP Provincia di Rimini ed al Piano Strutturale Comunale.

Lo scopo dello studio è quello di:

- a) *descrivere il contesto geologico e geomorfologico dell'area*
- b) *definire la stratigrafia del sottosuolo ed valutare le qualità geotecniche dei terreni*
- c) *descrivere l'assetto idrogeologico ed eventuali aspetti di vulnerabilità*
- d) *definire le caratteristiche sismiche del sito, così come prevista dalle normative sopra citate, quindi analizzare il rischio sismico locale*
- e) *fornire sommarie indicazioni sulle caratteristiche dei terreni del sottosuolo in relazione all'edificabilità*

Figura 1 Vista aerea (Google Maps)



Il lavoro si basa sulla ricerca e studio dei dati bibliografici, su un rilievo geologico geomorfologico speditivo e sull'indagine in sito condotta il giorno 29 Agosto 2018, quando è stata eseguita una penetrometria statica con punta meccanica.

Lo studio si avvale dei sondaggi stratigrafici del database geognostico regionale (https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia), dei rilievi geofisici del PSC del Comune di Rimini e delle indagini condotte personalmente nel corso di precedenti lavori.

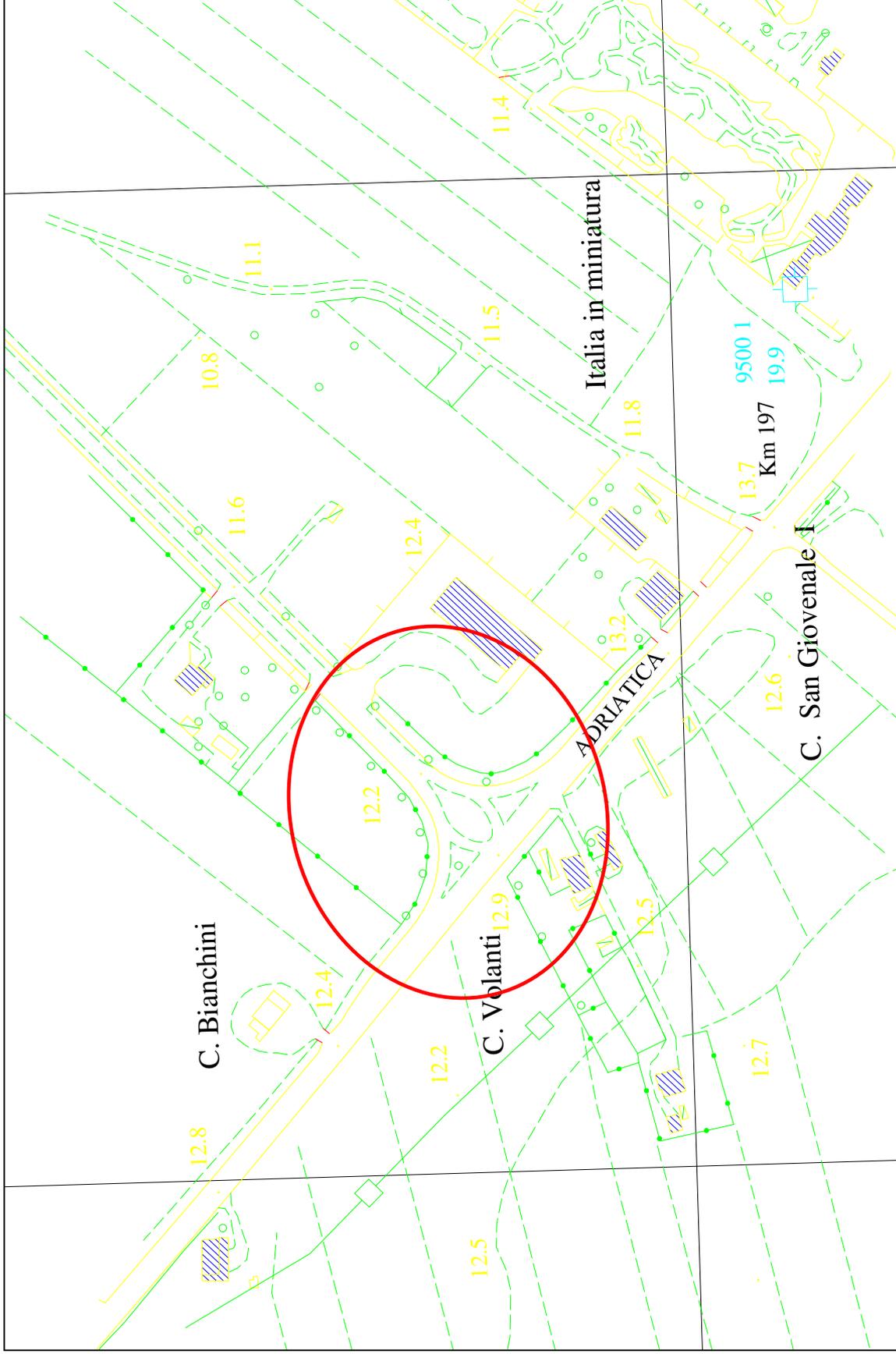
2 – GEOLOGIA

2.1 Inquadramento Geologico e Geomorfologico

L'area oggetto di intervento è descritta sull'Elemento CTR 256014 Viserbella e sulla Sezione 256110 Rimini della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna (fig.2, 3 e 4).

Si tratta di un lembo della pianura in sinistra idrografica della valle del Marecchia che ha quota di circa 12÷13 metri sul livello del mare.

Figura 3 Dettaglio Elemento 256014 Viserbella



Geologia e tettonica

La zona riminese è caratterizzata dal passaggio degli ultimi rilievi collinari costituiti prevalentemente da sedimenti marini plio-pleistocenici, alle pianure di origine alluvionale e quindi verso valle, alla pianura costiera. La pianura è quindi orlata dagli ultimi rilievi collinari appenninici che sono qui costituiti da sabbie e arenarie debolmente cementate (Sabbie di Imola). Queste con la loro origine in ambiente di transizione, marcano il passaggio fra i depositi francamente marini (Argille Azzurre) e i depositi continentali alluvionali. Lo spessore dei sedimenti alluvionali della pianura, nella zona centrale della valle del Marecchia, è dell'ordine delle centinaia di metri. Il substrato di origine marina, nella direzione trasversale alla valle, si assottiglia procedendo verso da ponente verso levante. Anche longitudinalmente alla valle del Marecchia si osserva una brusca rottura di pendenza del substrato (vedi figg. 5 e 6). La causa del profilo del substrato è da ricercarsi nella tettonica correlata all'orogenesi appenninica, in cui le spinte con direzione SW-NE hanno determinato la formazione di sistemi di accavallamenti ad embrici con l'emersione dei depositi marini della catena in emersione e, oltre alla zona di cerniera, le zone subsidenti. Il sistema di faglie con direttrice antiappenninica (SW-NE), conseguente a questa cinematica, è intercettato da faglie trasversali con direttrice appenninica che sono tuttora simicamente attive e sulle quali si sono instaurate le principali aste fluviali (Marecchia, Uso, Ausa). Il sovrapporsi dei fenomeni tettonici e dei processi deposizionali è all'origine della natura e della geometria dei sedimenti dei bacini dell'Avanfossa appenninica adriatica.

Stratigrafia

I depositi continentali hanno, come accennato, notevole spessore e sono quindi di interesse fondamentale ai fini di questo studio; vengono distinti formalmente, all'interno dell'unità stratigrafica detta Supersistema Emiliano-Romagnolo, in Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Ulteriori suddivisioni di questo ultimo (subsistemi) sono indicate come Subsistema di Villa Verucchio (AES7), Subsistema di Ravenna (AES8) e Unità di Modena (AES8a). Si tratta di terreni elencati in ordine di età decrescente e che possono quindi essere sovrapposti verticalmente.

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Comprende depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini. Nel sottosuolo della pianura è costituito da una successione di cicli trasgressivo-regressivi formati da argille, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale e, limitatamente al settore costiero, da sabbie litorali. In affioramento e nel sottosuolo prossimale alla catena il limite inferiore è erosivo e discordante sui depositi marini. Nel sottosuolo di pianura il limite è per discordanza angolare con AEI. Sintema parzialmente suddiviso in subsistemi (AES8, AES7 ed AES6) limitati, in affioramento, dalle principali scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e, nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino-marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. I depositi fini di tracimazione fluviale dei terrazzi del margine appenninico non sono differenziati in subsistemi. Nel sottosuolo presso lo sbocco vallivo del F. Marecchia i depositi grossolani di conoide si amalgamano fra loro ed i singoli subsistemi non sono più separabili. Nel sottosuolo della pianura alluvionale sono presenti 2 cicli deposizionali inferiori che non hanno corrispettivi in affioramento e perciò non sono stati formalizzati. Spessore massimo circa 200 m (sottosuolo della pianura). Pleistocene medio-Olocene

Il Subsistema di Ravenna è un'unità superficiale, il cui tetto coincide spesso col piano di campagna ed ha uno spessore massimo dell'ordine di venti metri. Un ciclo trasgressivo-regressivo è all'origine della natura dei suoi depositi: ai depositi fini grigi, di tracimazione o palustri ricchi di sostanza organica, succedono depositi fini di tracimazione fluviale che passano da grigi a giallastri e quindi più decisamente ossidati verso l'alto. Ciò a indicare il passaggio paleogeografico fra piane fluviali poco drenate e stagnanti a piane ben drenate di una pianura in aggradazione con progressiva sovra-incisione del reticolo idrografico. Nel settore costiero questa evoluzione deposizionale è troncata dallo sviluppo del cordone sabbioso litorale. Nella pianura alluvionale sono presenti, in affioramento, argille, limi e limi sabbiosi, di tracimazione fluviale (piana inondabile, rotta, argine...). Il sub sistema di Ravenna è così descritto dalla legenda della Carta geologica regionale

Subsistema di Ravenna (AES8) Deposito di tracimazione fluviale indifferenziato limo argilloso sabbioso. Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e

scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7. Pleistocene sup. – Olocene

Figura 5 Sezione geologica RER 059 (Sezione parallela alla costa)

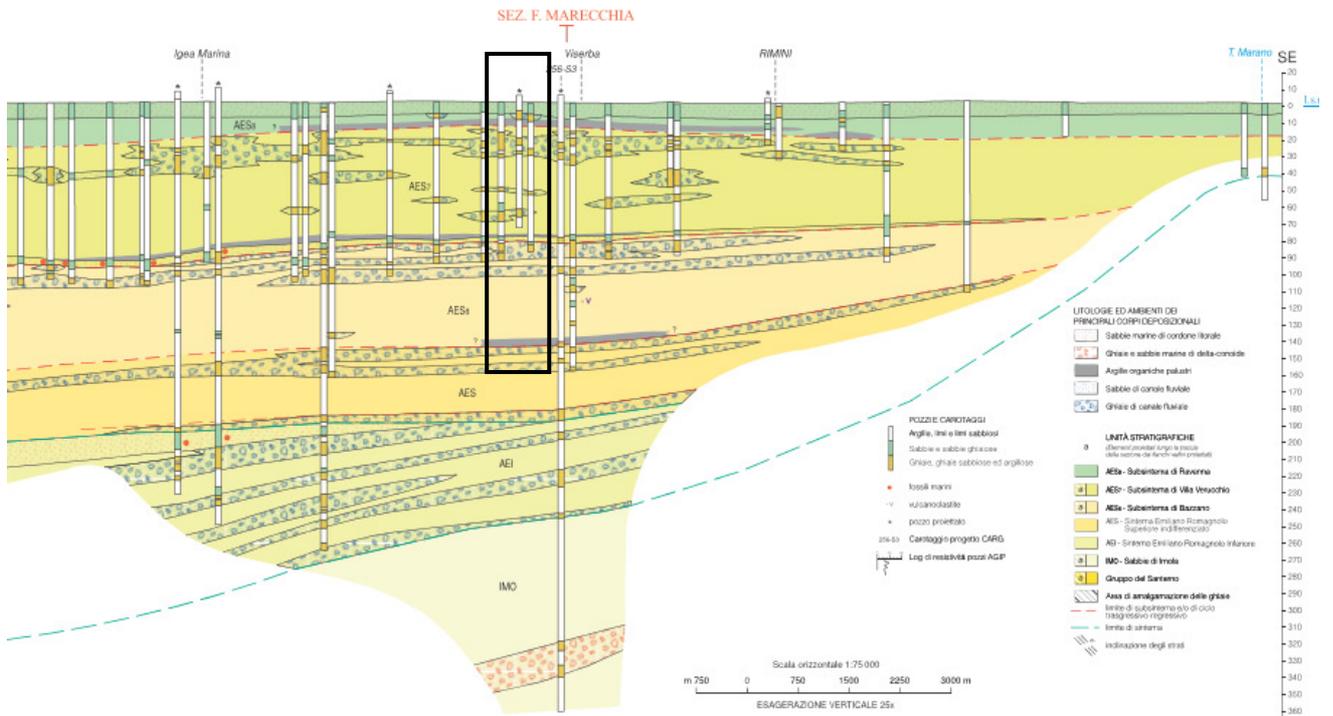
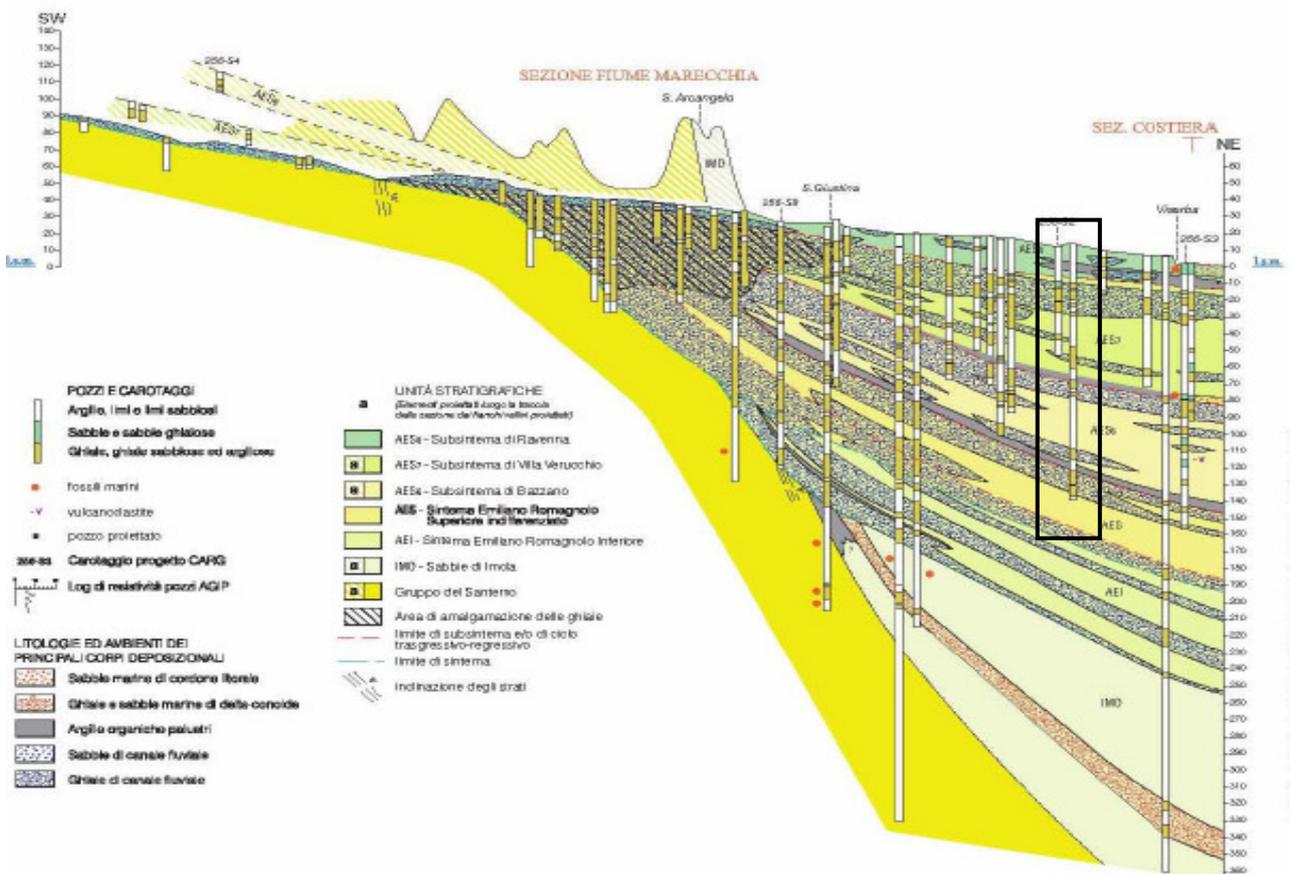


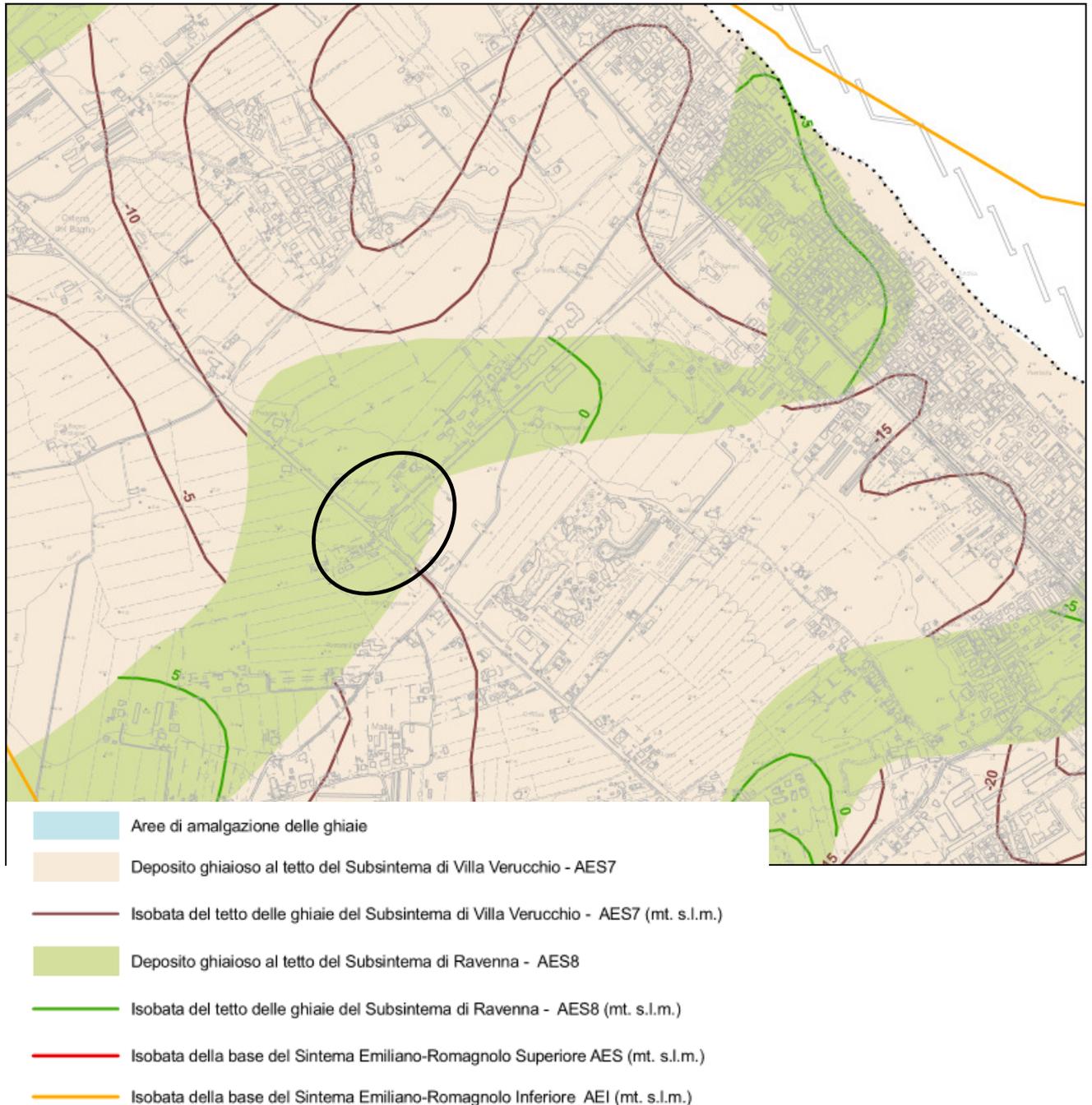
Figura 6 Sezione Geologica longitudinale alla valle del Marecchia



Il passaggio fra alluvioni del Subsistema AES8 e del Subsistema di Villa Verucchio può essere marcato da un orizzonte ghiaioso. Questo dato, che apparentemente ha di esclusivo interesse scientifico o per lo sfruttamento delle falde, può essere significativo per la valutazione dei fenomeni di amplificazione sismica stratigrafica.

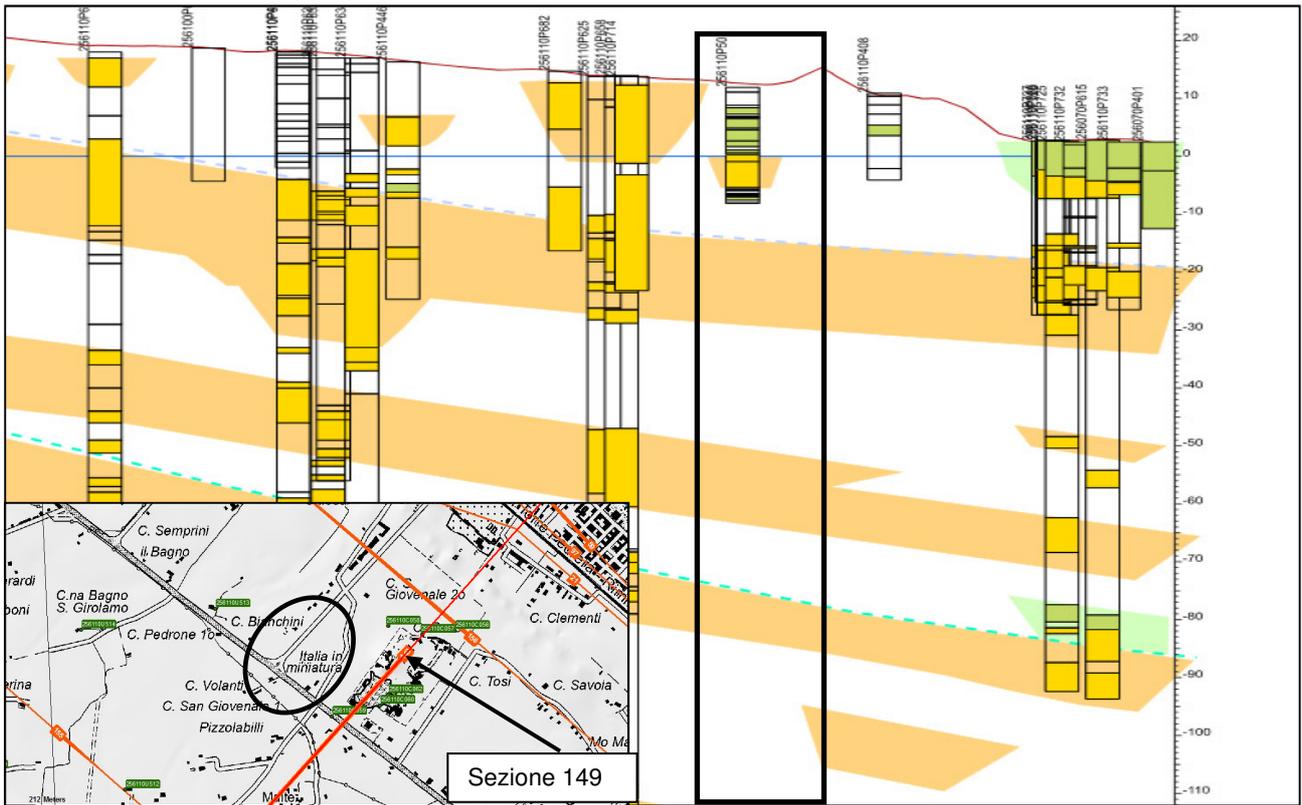
La Carta dello Spessore delle Coperture del PSC del Comune di Rimini, riportata in stralcio nella figura 7, indica l'andamento delle isobate del tetto delle ghiaie e in verde la presenza di ghiaie al tetto del Subsistema di Ravenna. Nella zona di interesse in realtà lo strato ghiaioso si rinviene a poco più di 13 metri dal pc

Figura 7 Carta dello Spessore delle Coperture del PSC



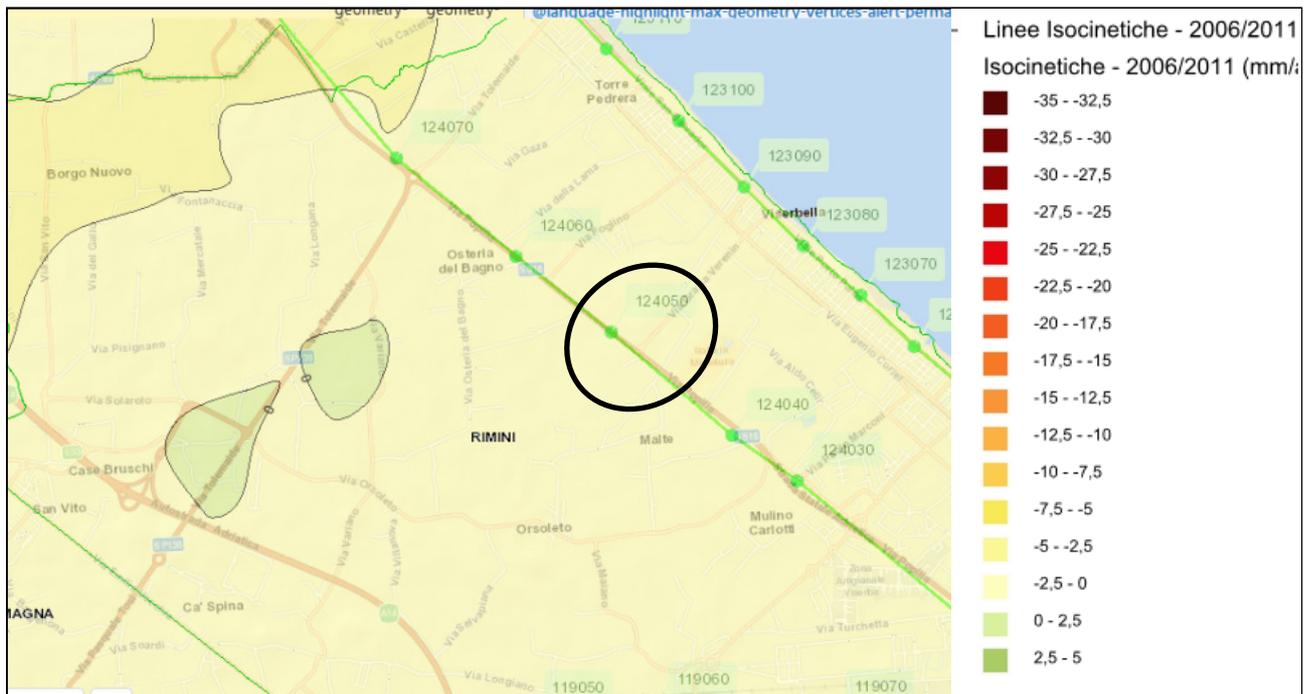
La sezione n.149 della carta geologica regionale offre maggiore dettaglio sulla stratigrafia profonda (Fig.8). Sono indicati nei primi cento metri di profondità tre importanti orizzonti ghiaiosi che si rinviengono indicativamente a 20/30, 60 e 90 metri rispetto al piano campagna.

Figura 8 Sezione geologica n.149 dettaglio stratigrafia



Un aspetto del territorio che merita una menzione è la subsidenza che interessa il territorio romagnolo. La subsidenza, che in realtà ha cause sia naturali sia artificiali (emunzione di fluidi dal sottosuolo), raggiunge l'entità di qualche millimetro all'anno. Dal sito cartografico dell'ARPA (<https://arpae.it/cartografia/>) è possibile verificare l'entità della subsidenza che per la zona in esame è stata stimata, nel periodo 2011-2016, fra 0.0÷2.5 mm/anno (fig.9).

Figura 9 Carta della Subsidenza (ARPAE)



Geomorfologia

La morfologia delle aree di pianura è caratterizzata da elementi poco marcati. Il micro rilievo e l'assetto della rete idrografica possono evidenziare paleoalvei e fornire informazioni sull'evoluzione della paleogeografica. Nel caso in esame è presente una rete idrografica che mostra alvei piuttosto incisi entro il piano di campagna fino a formare terrazzamenti lungo le scarpate d'argine; ciò è legato ad una fase di "ringiovanimento" della rete e quindi ad un abbassamento relativo del livello di base.

Seppure esterno all'area di interesse, merita una citazione l'elemento geomorfologico più evidente della pianura costiera romagnola; si tratta della paleofalesia che dista diverse centinaia di metri verso mare, dall'area in esame.

2.2 Idrogeologia

Il reticolo idrografico naturale è costituito da fossi e scoli consorziali che drenano la piana intermedia ai corsi d'acqua principali (Uso e Marecchia). Si tratta per esempio degli Scoli Sortie e Brancona.

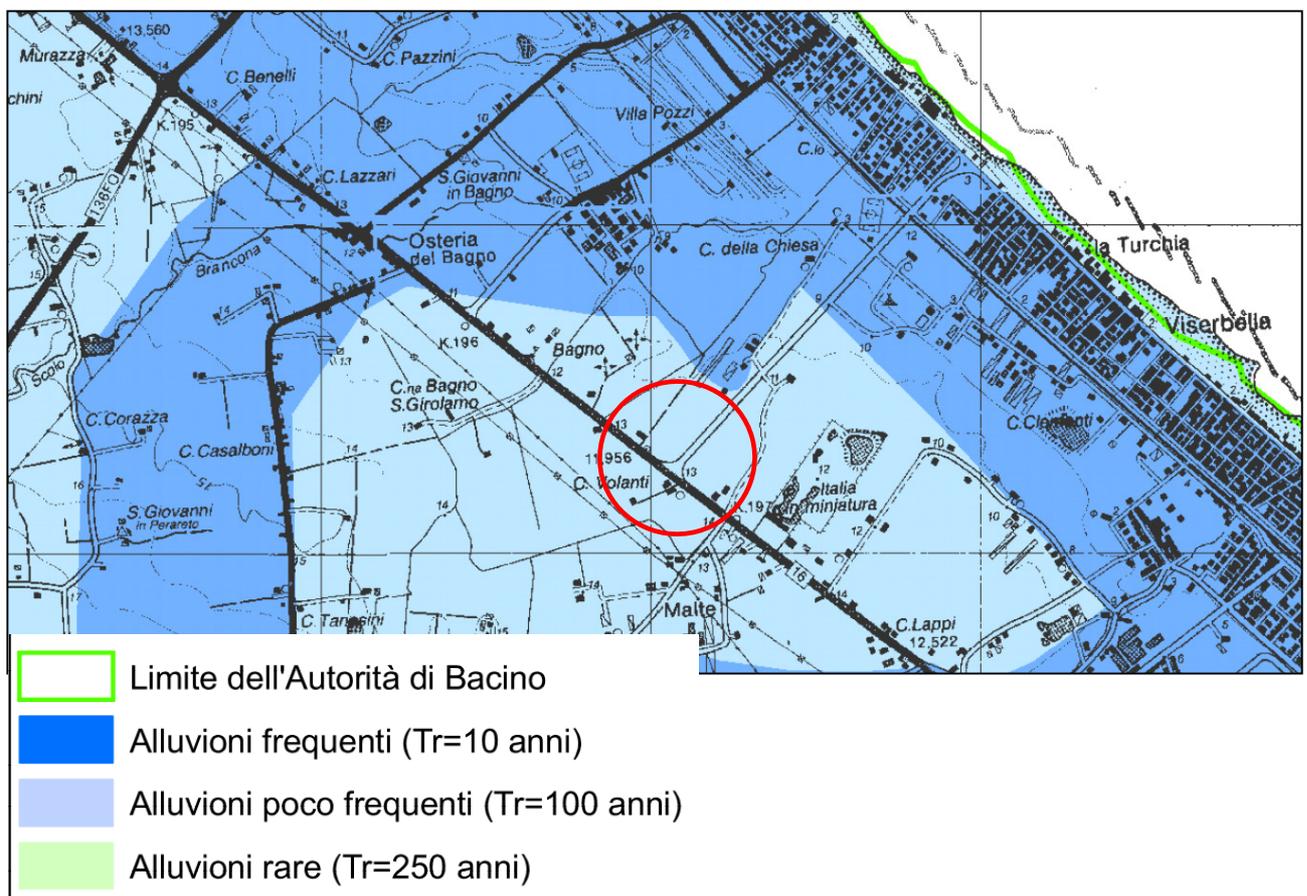
La circolazione idrica sotterranea è concentrata negli orizzonti ghiaiosi profondi che, come accennato, sono presenti da circa 30,60 e 90 metri dal pc; tali "corpi grossolani" indicati con A0, A1, A2, A3/4 definiscono complessi distinti acquiferi. E' presente un orizzonte ghiaioso più superficiale ma dovrebbe corrispondere ad un antico paleoalveo ed avere quindi una geometria nastriforme (vedi fig.7).

Gli acquiferi descritti, essendo confinati da sedimenti argillosi sostanzialmente impermeabili, assumono facilmente carattere di artesianità.

E' presente una falda freatica piuttosto superficiale che al momento delle indagini è stata rinvenuta a due metri dal pc; in relazione alle precipitazioni meteoriche è frequente rinvenire acqua a profondità anche inferiore al metro dal piano campagna.

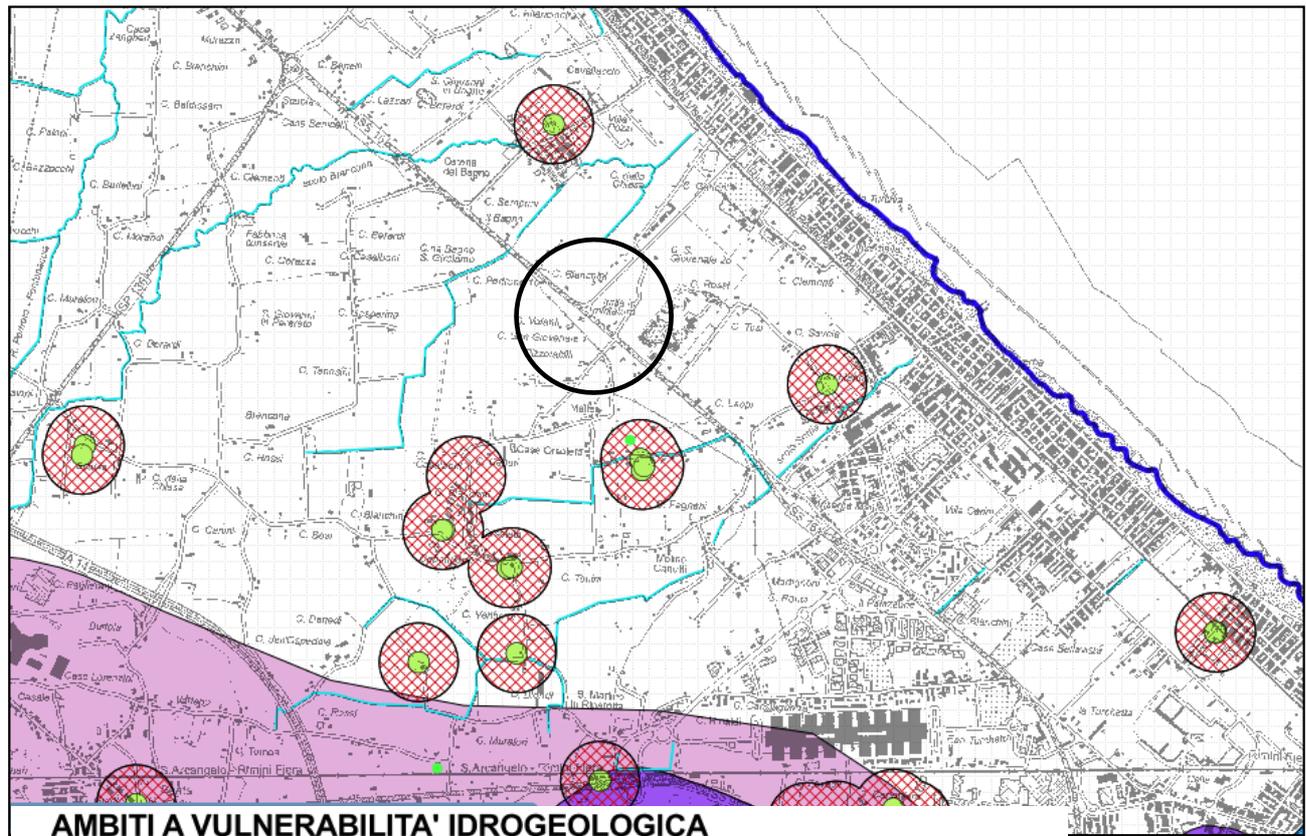
Il Progetto di Variante 2016 del Piano Stralcio di bacino per L'assetto Idrogeologico (P.A.I.) nelle *Mappa della pericolosità per il reticolo secondario* e (Tav.5-1 in stralcio in figura 9) annovera l'area in studio fra quelle con alluvioni poco frequenti (Tr=100 anni).

Figura 10 PAI Var.2016 tav. 5.1 Mappa della pericolosità per il reticolo secondario.



Dalla tavola D “Rischi ambientali” del PTCP della Provincia di Rimini non risultano vincoli relativi alla vulnerabilità idrogeologica

Figura 11 PTCP Tavola D, Rischi Ambientali



-  Bacino Marecchia e Conca (art. 3.6)
-  Aree di ricarica della falda idrogeologicamente connesse all'alveo - ARA (art. 3.3)
-  Aree di ricarica diretta della falda - ARD (art. 3.4)
-  Aree di ricarica indiretta della falda - ARI (art. 3.5)
-  Bacini imbriferi - BI (art. 3.5)



Pozzi Idropotabili

2.3 Modello geologico

Le Norme Tecniche per le Costruzioni definiscono il “modello geologico” come l’insieme dei caratteri litologici, stratigrafici strutturali, idrogeologici, geomorfologici; la comprensione di questi elementi consente di valutare le criticità e la “pericolosità geologica del territorio”.

Nel caso in esame gli elementi fondamentali che possono sintetizzare, la situazione geologica-geomorfologica sono:

- 1) morfologia pianeggiante con elevazione sul livello del mare di circa 12÷13 metri.
- 2) la presenza di sedimenti di origine alluvionale con spessori dell’ordine delle svariate centinaia di metri; si tratta prevalentemente di sedimenti fini (limi e argille) intervallati da importanti orizzonti ghiaiosi.
- 3) la presenza molto superficiale di acqua nel suolo (dell’ordine del metro dal pc)
- 4) rischio di allagamenti alluvionali

Un aspetto fondamentale relativo alla “*pericolosità geologica del territorio*” è la sismicità a cui è dedicato, nel prosieguo, un capitolo. Oltre alla intensità e ricorrenza degli eventi, il rischio sismico, deve essere correlato localmente a fenomeni di amplificazione locale. In assenza elementi topografici di rilievo (morfologia pianeggiante), l'eventuale amplificazione è legata agli effetti stratigrafici.

3– INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'indagine geognostica, svolta da INTERGEO srl, consta di una penetrometria statica con punta meccanica Begemann (CPT).

Si è impiegato un penetrometro da 20 tonnellate di spinta (Fig. 12, Pagani TG63/200) i cui dispositivi di misura (cella di carico) sono sottoposti a controllo e taratura periodica presso il costruttore.

Lo studio si avvale anche delle indagini del database geognostico regionale, del PSC comunale e dell'archivio personale.

Dall'archivio RER:

- tre penetrometrie con piezocono (256110U512, 256110U513 e 256110U514),
- due penetrometrie statiche meccaniche (256110C059 e 256110C301),
- un sondaggio stratigrafico (256110P501, i dati di quest'ultima indagine, che indica la presenza sabbie da 3.5 a 11.5 metri dal pc, sono discordanti rispetto alle stratigrafie desunte dai dati penetrometrici ed in generale alla situazione geologica, che acclarano presenza di sedimenti limo argillosi o argillosi).

Dal PSC sono tratti i risultati di indagini sismiche passive a stazione singola e in array bidimensionale (A4).

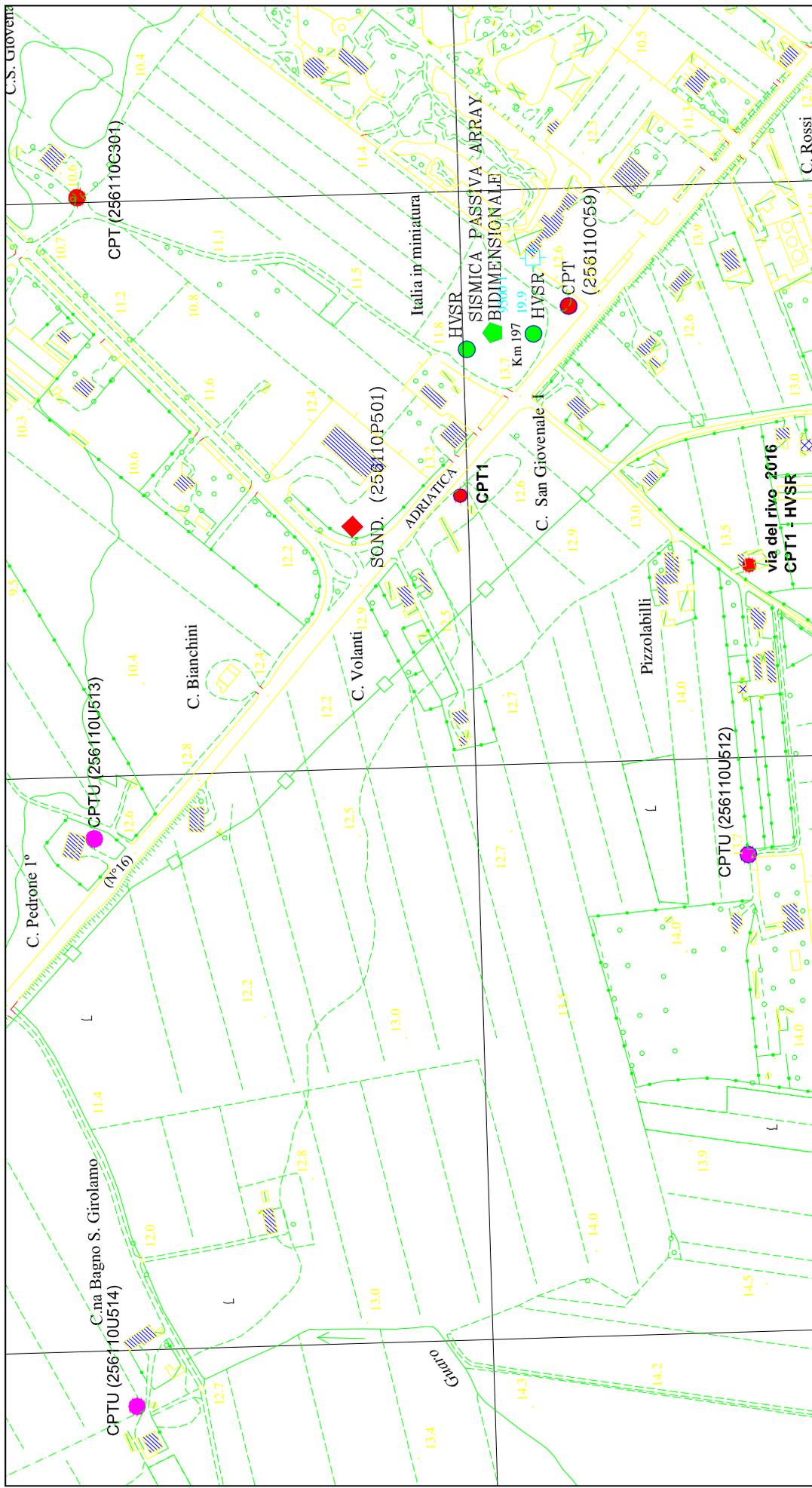
Dall'archivio personale l'indagine eseguita nel 2016 in via del Rivo, consistente in una penetrometria statica (CPT1 – 2016) ed un'indagine geofisica di tipo HVSR.

L'ubicazione delle prove è rappresentata nella figura 13 dove con CPT1 è indicata la penetrometria statica meccanica eseguita per il corrente studio (Agosto 2018).

Figura 12 Penetrometro Pagani TG63/200 nel corso della prova



Figura 13 Planimetria con ubicazione delle indagini



3.1 Indagini penetrometriche

Le penetrometrie statiche offrono informazioni di buona qualità sulla consistenza e sulla litologia dei terreni; esiste inoltre una consolidata tradizione d'uso ed una estesa bibliografia relativa all'elaborazione dei dati.

L'esecuzione delle prove rispetta le modalità indicate dalle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana del 1977.

Le penetrometrie statiche (CPT) consistono nella misura della resistenza alla penetrazione della punta conica e del manicotto di cui è corredato il puntale. Tali misure permettono una buona distinzione della stratigrafia grazie ai metodi, ad esempio di Schmertmann o Robertson; questi consentono, con l'ausilio di appositi grafici o algoritmi, di distinguere le litologie dal rapporto fra resistenza alla penetrazione e attrito sul manicotto di frizione (vedi Fig. 14). Determinata la litologia è possibile risalire, grazie ad indicazioni di numerosi autori, ai parametri geotecnici dei terreni. Sul rapporto di prova vengono riportati i valori ed i grafici di Resistenza di Punta (R_p), Resistenza del manicotto (R_l), il rapporto delle due grandezze (FR), la litologia orientativa, alcuni parametri geotecnici (Φ , D_r , C_u) e dove significativo, è riportato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione. Il metodo di Robertson consente in oltre una stima della percentuale di fini presenti nel sedimento (passante al setaccio con apertura 0.0075 mm).

3.2 Correlazioni parametri geotecnici da penetrometrie statiche

I dati ottenuti con le penetrometrie sono utilizzabili per la determinazione delle litologie e l'attribuzione dei principali parametri geotecnici; tali correlazioni sono di larga diffusione e proposte da numerosi Autori (Begemann, Michtell & Gardner, Sanglerat, Schmertmann, Robertson...).

Per questo studio si fa riferimento alle correlazioni proposte rispettivamente da Schmertmann, relativamente alla litologia, e da Begeman, per il valore della coesione non drenata, necessaria per classificare sommariamente i terreni anche sulla base della consistenza.

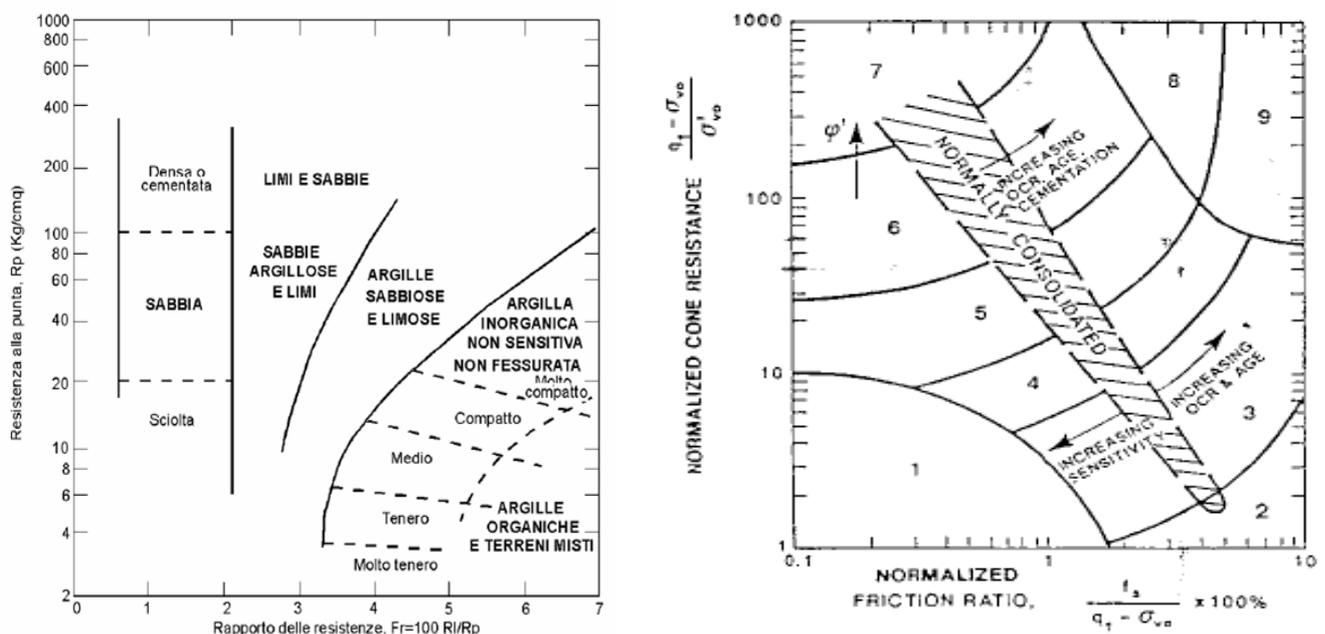
Schmertmann e Robertson

Il grafico Schmertmann (fig.14) ha sugli assi la Resistenza Punta R_p e Rapporto di Frizione F_r (percentuale della Resistenza di attrito su Resistenza di punta); analogamente quello di Robertson (calibrato su prove con punta elettrica (CPTe)) riporta la resistenza alla punta normalizzata Q e il rapporto fra le resistenze normalizzate F , che vengono calcolati con le seguenti equazioni:

$$Q = (R_p - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$$

$$F = 100 (R_l / (R_p - \sigma_{vo}))$$

Figura 14 Grafici per l'interpretazione della litologia da prove CPT (Schmertmann e di Robertson)



Robertson introduce l'indice di comportamento I_c

$$I_c = ((3.47 - \log Q)^2 + (\log F + 1.22)^2)^{1/2}$$

L'indice di comportamento consente di identificare il tipo di terreno adottando la tabella seguente

I_c	Area grafico Robertson	Litologia
< 1.31	7	Sabbie ghiaiose e sabbie addensate
1.31 ÷ 2.05	6	Sabbie da pulite a limose
2.05 ÷ 2.60	5	Sabbie limose e/o limi sabbiosi
2.60 ÷ 2.95	4	Limi argillosi e/o argille limose
2.95 ÷ 3.60	3	Argille
> 3.60	2	Suoli Organici

L'indice I_c può essere anche relazionato alla percentuale di fini del sedimento (F_c) con la relazione:

$$F_c (\%) = 1.75 I_c^{3.25} - 3.7$$

Correlazioni relative ai terreni coesivi

Sono di largo impiego, fra le altre, correlazioni fra Resistenza alla punta R_p , Resistenza d'attrito R_l e la coesione non drenata C_u , il modulo edometrico E_d , il rapporto di sovraconsolidazione OCR.

Coazione non drenata (C_u)

$$\text{Begemann: } C_u = (R_p - \sigma_v) / N_c$$

dove σ_v è la pressione litostatica alla profondità di misura della R_p ed $N_c = 13,4$; più cautelativamente o in ragione delle litologie, può essere adottato N_c compreso fra 15 e 25.

3.2 Rilievo del livello di falda

La stima dei livelli di falda avviene in prima approssimazione con il rilievo nei fori di sondaggio, quindi con successive misurazioni nei piezometri, in eventuali pozzi e/o da ricerche dati bibliografici. L'istallazione di piezometri e le verifiche successive per la valutazione delle oscillazioni del livello freatico richiedono tempi relativamente lunghi (almeno un ciclo idrologico annuale) quindi difficilmente conciliabili con le fasi progettuali.

Nel corso dell'indagine, svolta nell' Agosto 2018, si è riscontrata acqua a circa 2 metri dal pc. Nei periodi umidi dell'anno idrologico si rinviene facilmente l'acqua a profondità inferiori al metro e ristagni idrici prossimi alla superficie sono possibili in relazione ad intense precipitazioni o accumuli nevosi; questi, seppure abbiano carattere transitorio, devono essere debitamente tenuti in conto nelle scelte progettuali e nella gestione delle fasi di cantiere.

4 – STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

La stratigrafia del sottosuolo è stata ricostruita sulla base delle considerazioni di carattere geologico e dagli esiti delle indagini in sito.

Relativamente alle profondità indagate possono essere distinti tre orizzonti geotecnici fondamentali; che vengono meglio distinti nella sezione stratigrafica in Allegato 3.

- *un orizzonte superficiale sovraconsolidato per essiccazione che può mostrare consistenza variabile in relazione al tenore di umidità e quindi ai cicli meteorologici stagionali.*
- *argille ed argille limose da molli a mediamente compatte*
- *orizzonte ghiaioso; tale orizzonte presumibilmente ha, in pianta, un andamento nastriforme ed una profondità che varia da oltre i 13 metri della CPT1 e di Via del Rivo, a meno di 10 metri sulla SS16 in direzione Bellaria. Mantenendosi in prossimità della Strada Statale in direzione Rimini, dal log della penetrometria CPT 256110C059, non si riscontrano ghiaie entro i 15 metri dal pc.*

Nelle figure 15 e 16 il grafico di Schmertmann con la sovrapposizione dei punti ottenuti con la

prova penetrometrica ed il valore della resistenza di punta.

Figura 15 Carta della litologia secondo Schmertmann

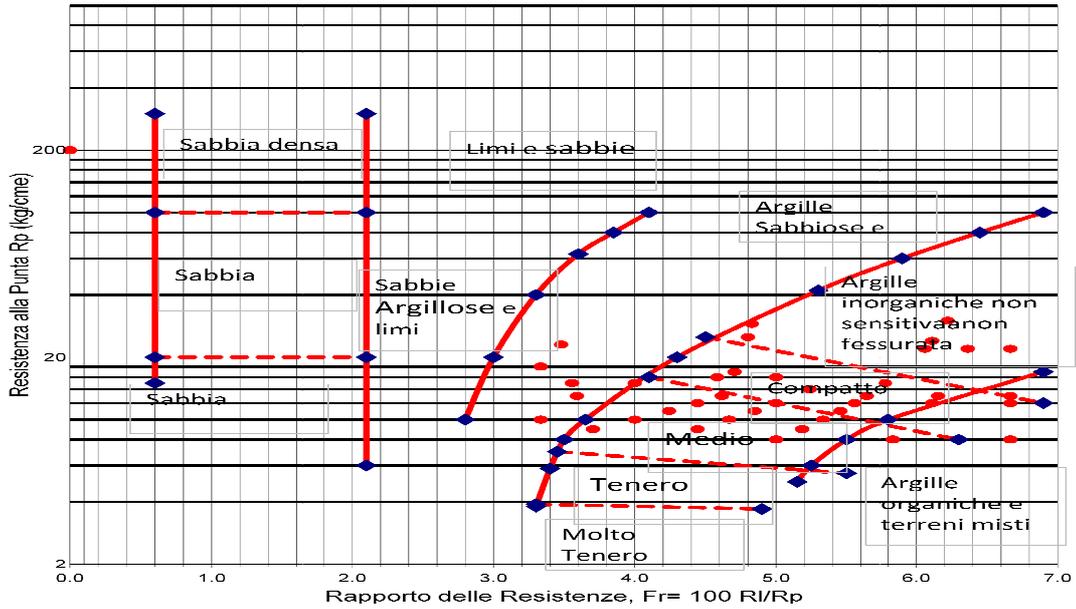
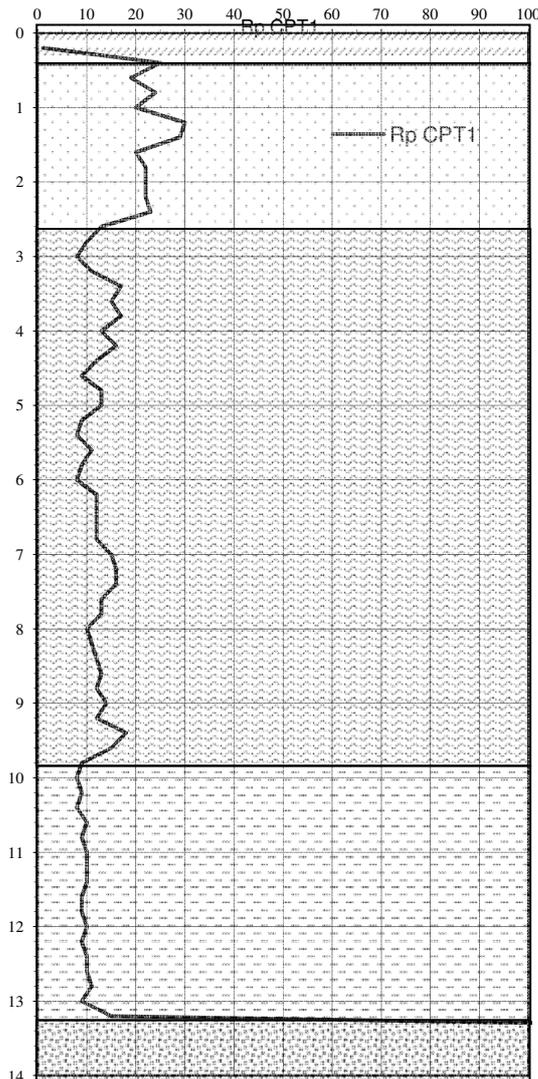


Figura 16 Profilo penetrometrico, Resistenza di Punta



Suolo agrario

A Coltre superfiale arillo-limosa soggetta ad essiccazione

B Argille e argille limose mediamente compatte

C Argille e argille limose da molli a mediamente compatte

D Ghiaie limoso sabbiose addensate

4.2 Risultati delle indagini geofisiche consultate

Non sono state eseguite nuove indagini geofisiche ma, come accennato, si sono consultate quelle disponibili sul PSC comunale e nell'archivio personale. Il fine di tali indagini è quello di definire il profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) per determinare il parametro V_{seq} definito dalla normativa vigente, ed evidenziare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico.

Si è fatto riferimento all'indagine, condotta dallo scrivente, in Via del Rivo consistente in un rilievo HVSR e penetrometria statica.

Dal PSC sono consultate le indagini relative all'area di Rimini Nord indicate con le sigle A2, A3, A4, A14, A19 (vedi fig.17); si tratta di rilievi HVSR ed antenne sismiche bidimensionale, che sembrerebbero "indicare un unico modello interpretativo" per tutta la zona.

Le curve di dispersione ed profili H/V dei rilievi citati mostrano infatti andamenti del tutto simili rendendo accettabile considerare per il sito in studio i valori di V_{seq} stimati nel corso delle precedenti indagini (vedi fig.17). La curva di dispersione dell'indagine A4 non è stata elaborata a causa della qualità del rilievo e non compare fra quelle di figura. I rilievi HVSR nello stesso sito (profili in Blu) sono del tutto simili a quelli eseguiti in Via del Rivo, mostrando un ben delineato picco alla frequenza di 2 Hz.

Figura 17 Ubicazione indagini, Curve di dispersione degli array bidimensionali

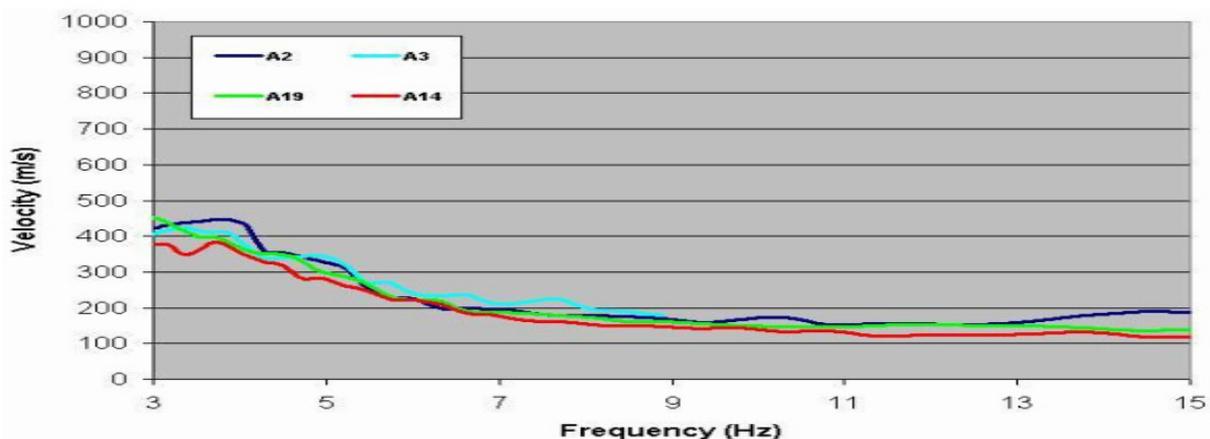
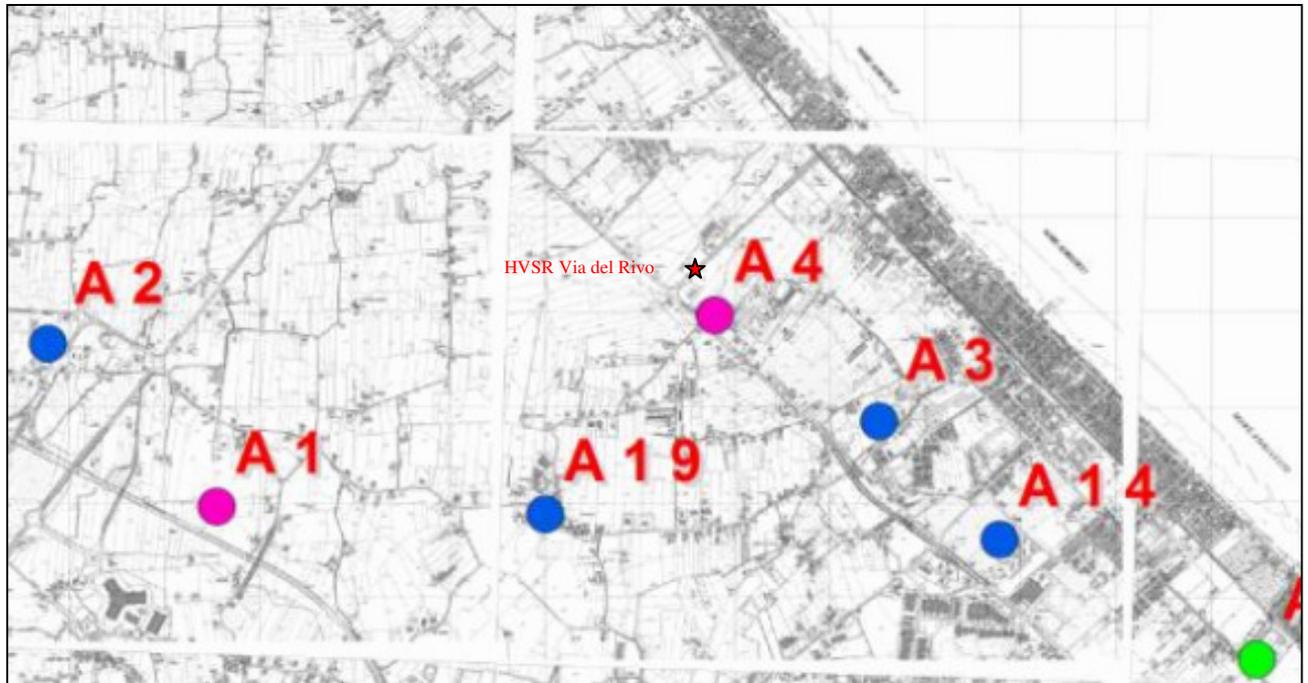


Figura 4: Confronto tra le curve di dispersione dei punti di misura A2, A3, A14 ed A19

Figura 18 Spettri H/V

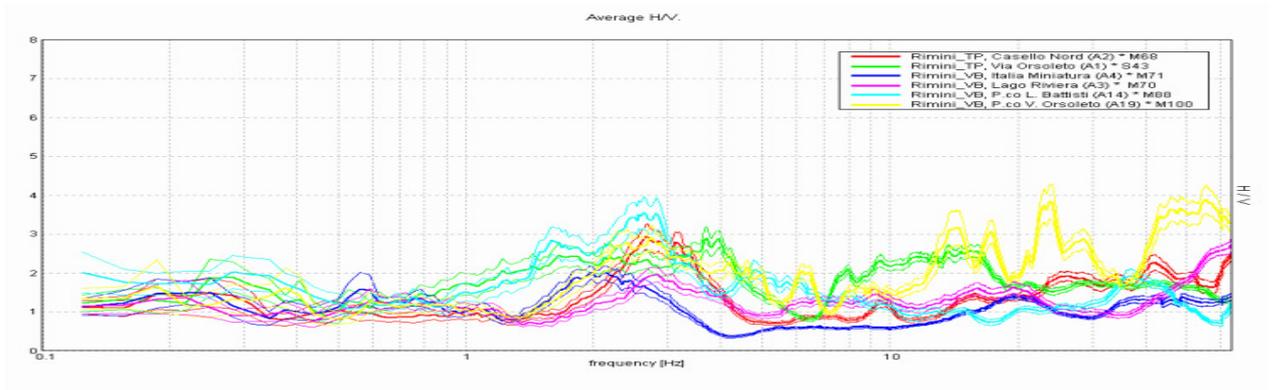
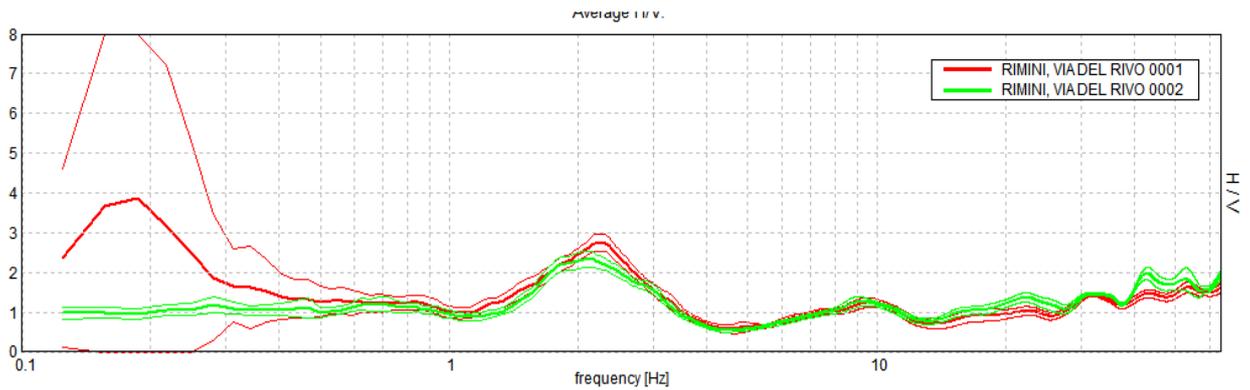
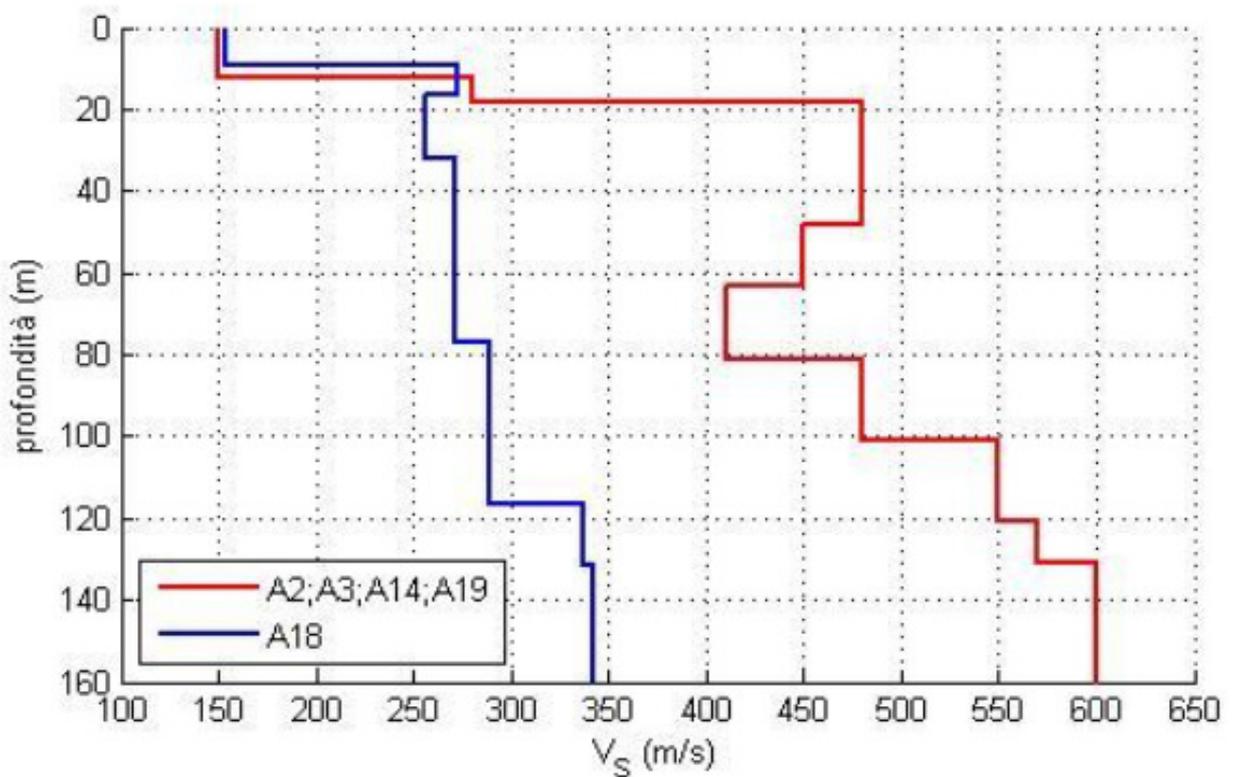


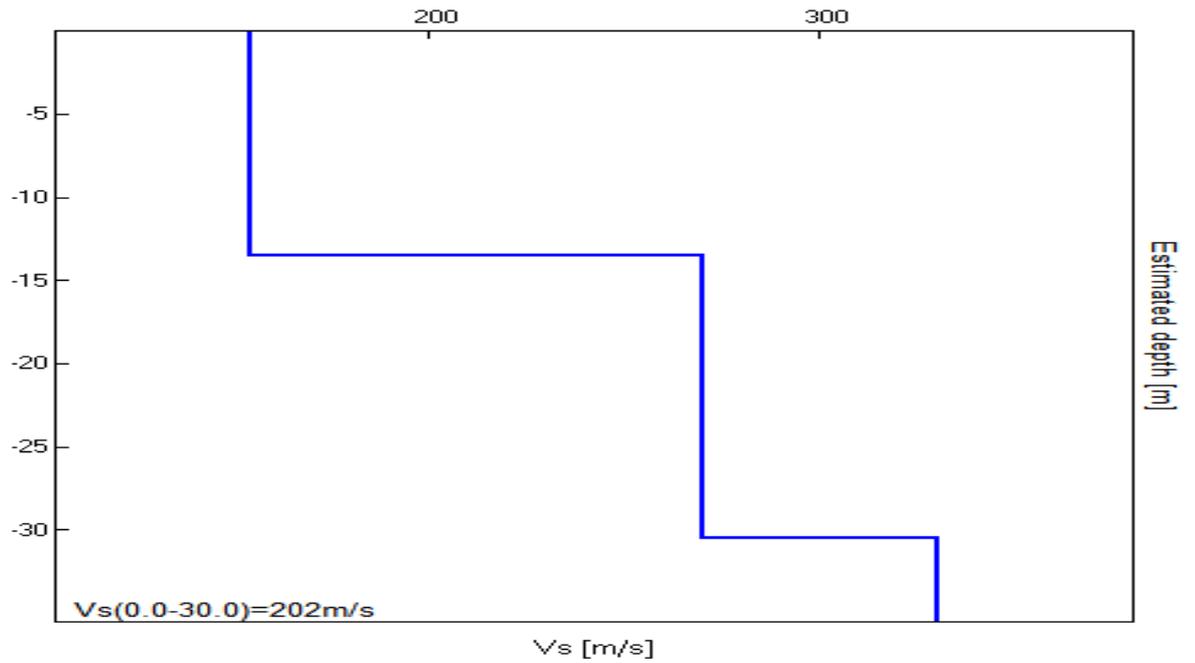
Figura 5: Confronto tra le curve di rapporti spettrali dei punti di misura A1, A2, A3, A4, A14 ed A19



I profili della velocità delle onde di taglio derivati da queste indagini sono sintetizzati nei grafici seguenti (Fig.19)

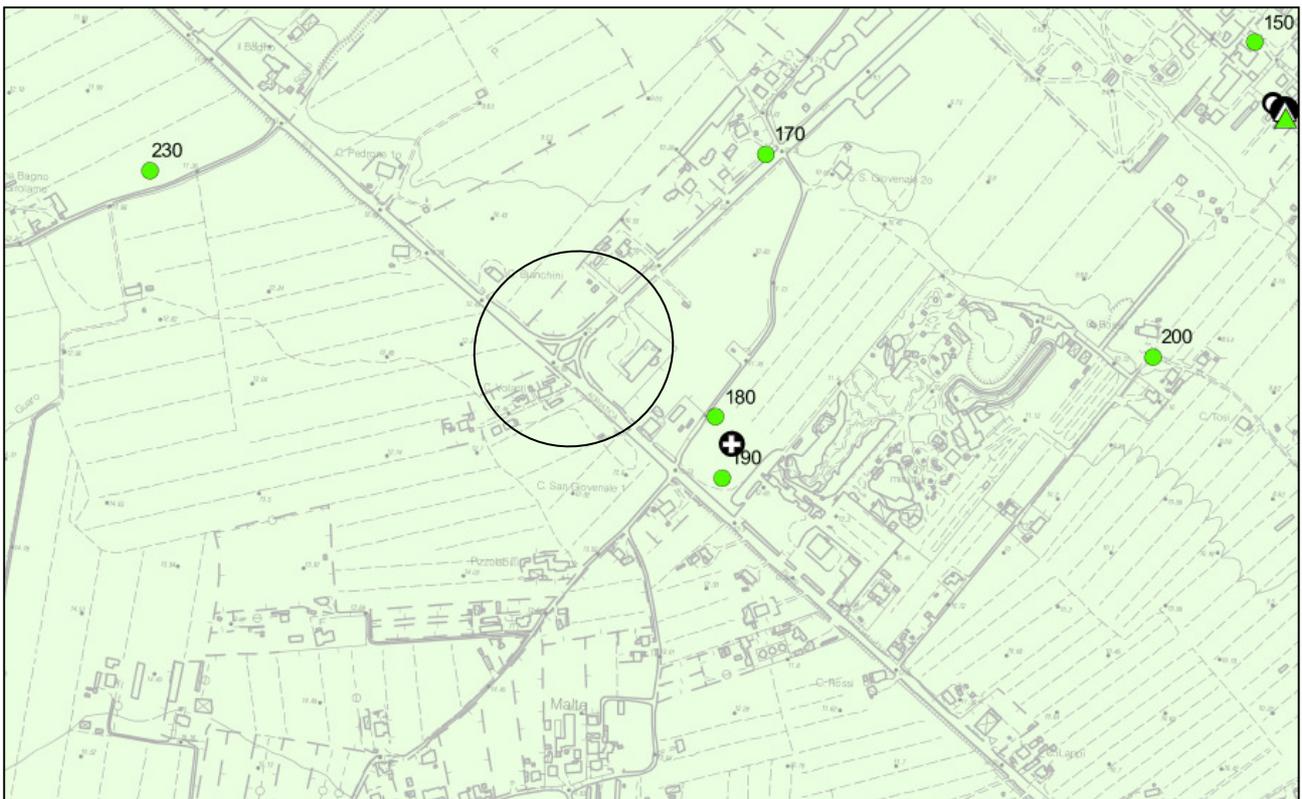
Figura 19 Profilo Vs tratto dalle indagini del PSC (curva in rosso) e, sotto, dal rilievo HVSR di Via del Rivo





La Carta della velocità delle onde di taglio V_s del PSC Comune di Rimini indica valori di V_{s30} (equivalente alla V_{seq}) di 180 e 190 m/s; l'indagine di Via del Rivo rende una $V_{s30}=202$ m/s (Fig.20).

Figura 20 PSC Comune di Rimini Carta della velocità delle onde di taglio (Tav. B.16a)



5 – RISCHIO SISMICO

5.1 Sismicità dell'area

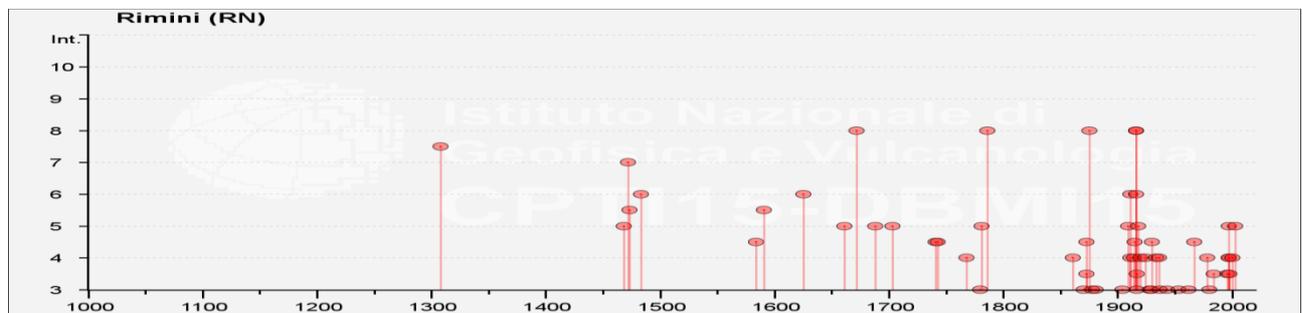
Il territorio della provincia di Rimini ha subito importanti terremoti che, anche in base a rilievi macrosismici (non basati cioè su rilievi strumentali ma sullo studio degli effetti dei terremoti stessi), sono stati ordinati nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (consultabile al sito dell'INGV). L'istogramma e la tabella che seguono sono un estratto del database dell'INGV DBM15, con i terremoti risentiti nell'area di Rimini con intensità Mercalli Cancani Sieberg all'epicentro pari almeno al 6° grado.

Scala Mercalli Cancani Sieberg

- 1° *Grado Sisma percepibile solo dagli strumenti, non dall'uomo;*
 2° *Percepibile da persone particolarmente sensibili, ai piani alti delle case;*
 3° *percepibile da più persone, con oscillazione di oggetti appesi e vibrazioni; provoca oscillazioni e vibrazioni, tintinnio di vetri, scricchiolio di pareti;*
 5° *Sveglia chi dorme, provoca scricchiolii, tintinnii, spavento e caduta di calcinacci;*
 6° *fa fuggire le persone all'aperto, produce rumori e boati, fa cadere oggetti pesanti, provoca qualche lesione agli edifici;*
 7° *Provoca caduta di intonaci, camini e tegole, rottura di vetri, danni di scarsa entità ai muri, suono di campane, onde sugli specchi d'acqua;*
 8° *Provoca danni anche a muri buoni (ma non di cemento armato), caduta di torri, alberi, apertura di crepe nel suolo; può essere avvertito anche da chi viaggia in auto; 1*
 9° *Distrugge edifici non particolarmente resistenti, rompe tubazioni sotterranee, provoca ampi crepacci nel terreno, con espulsione di sabbia e fango;*
 10° *Distrugge buona parte degli edifici, danneggia dighe e argini, può deviare fiumi e rotaie, provoca grandi frane, sposta orizzontalmente i terreni che si sono fessurati;*
 11° *Rovina completamente gli edifici, rompe tutte le tubazioni, interrompe le comunicazioni e può provocare un gran numero di vittime;*
 12° *Distrugge ogni opera dell'uomo, lancia in aria oggetti, sposta grandi masse rocciose o vasti tratti di terreno, provoca grandi frane e può causare migliaia di vittime.*

L'istogramma di figura 20 e la tabella che segue testimoniano una ricca storia sismica con ben 78 eventi registrati in epoca storica

Figura 21 Iistogramma degli eventi sismici



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015
 Seismic history of Rimini PlacelD: IT_41984
 Coordinates (lat, lon) 44.059, 12.568 No. of reported earthquakes 78

Intensità al sito	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io Intensità Epicentrale Scala MCS	Magnitudo Momento M
7-8	1308 01 25 17 15	Rimini	7-8	5.33
7	1472	Rimini	7	5.1
5-6	1473 02 02	Rimini	5-6	4.4
6	1483 08 11 19 40	Romagna	8	5.69
5-6	1591 07 10	Romagna	6-7	5.13
6	1625 12 05	Rimini	6	4.63
8	1672 04 14 15 45	Riminense	8	5.59
8	1786 12 25 01	Riminense	8	5.66
8	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	8	5.74

6	1911 03 26 13 51	Riminese	5	5.04
8	1916 05 17 12 50	Riminese	8	5.82
6	1916 06 16 01 27	Riminese	6	4.82
8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	8	5.82

(File downloaded from CPT115 - DBMI15) Fonte dati DBTI15: Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPT115, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT115>

5.2– Microzonazione Sismica

I fattori geomorfologici, stratigrafici e geotecnici (*condizioni locali*) possono modificare, talora amplificandolo, il moto sismico nella propagazione dalla roccia di substrato (bedrock) alla superficie.

Lo studio delle caratteristiche geologiche, la campagna geognostica con le prospezioni geofisiche, consentono di definire le *condizioni locali*, e quindi di indagare gli *effetti di sito*; in altri termini di quantificare la modificazione delle caratteristiche del segnale sismico nella propagazione verso la superficie.

Oltre ai fenomeni di amplificazione sismica vi possono essere *effetti locali* che dipendono dalle caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche del sito. I terremoti infatti, possono indurre ad esempio, frane e crolli, addensamento di terreni soffici, liquefazione dei terreni sabbiosi.

Per la valutazione degli effetti di sito (amplificazione sismica) e degli effetti locali (liquefazione e cedimenti post-sismici) si fa riferimento al citato Atto di Indirizzo regionale, D.A.L. 112/2007, al DGR 2193 del Dicembre 2015 ed al PSC del Comune di Rimini.

La delibera n.2193 del 21 Dicembre 2015 la Giunta Regionale ha approvato l'aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" in vigore dal 2007.

La microzonazione sismica, per l'indirizzo regionale, prevede due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento, che brevemente, possono essere così descritti:

Prima fase (individuazione delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali)

- **Primo livello** consiste nella localizzazione delle zone ove sono prevedibili in base agli elementi geologici e geomorfologici, geotecnici e topografici, effetti sismici di sito.

Seconda fase (microzonazione sismica del territorio indagato)

- **Secondo livello** nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività $\leq 15^\circ$, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso abachi e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;
- **Terzo livello** un'analisi più approfondita (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta per la definizione di indici di rischio nei seguenti casi (vedere Allegato A1): - - - analisi con diversi livelli di si identificano due fasi di aree soggette a liquefazione e densificazione; aree instabili e potenzialmente instabili; aree con rapida variazione della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, il cui modello stratigrafico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali.

Nell'ambito della pianificazione si può escludere il *Terzo Livello di approfondimento* qualora qualora non sussistano particolari condizioni di rischio che sono specificate al Punto 4.2 del DAL112 ed analogamente al Punto 4.2 del DGR2193.

Punto 4.2 dell'Atto di Indirizzo 112/2007:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;

- b) aree instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- d) aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Lettera a) i terreni del sottosuolo sono sostanzialmente argillosi e quindi non soggetti a rischio liquefazione/densificazione; l'analisi numerica condotta con metodo di Robertson 2015 restituisce un valore di $IPL=0$.

Lettera b) l'area di interesse è pianeggiante e quindi non sussistono problemi di stabilità

Lettera c) i versanti vallivi sono distanti dall'area in esame ed il substrato della copertura alluvionale digrada dolcemente verso valle; lo spessore dei sedimenti continentali è dell'ordine delle centinaia di metri ed alla luce delle indagini penetrometriche ed in base agli approfondimenti geofisici, si può ipotizzare che il modello geologico sia assimilabile ad un *modello fisico monodimensionale*.

Lettera d) la rilevanza dal punto di vista dell'interesse pubblico dell'opera da realizzare dovrà essere verificata in sede di pianificazione urbanistica e di progettazione e non è negli ambiti di competenza dello scrivente

Punto 4.2 DGR2193:

- a) aree suscettibili di liquefazione o densificazione;
- b) aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree con rapide variazioni della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali;
- d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).

Per i le Lettere a),b) e c), sono valide le considerazioni già esposte relative all'Atto 112, mentre per quanto concerne la lettera d si considera quanto segue:

Lettera d) Si esclude che l'area in esame ricada fra quelle dove possono essere riscontrati effetti differenziali legati al contatto laterale fra litotipi diversi e con importanti differenze fra le caratteristiche fisico meccaniche, alla presenza di cavità sepolte o ancora con faglie attive e capaci. In merito a questo ultimo punto si è consultato l'archivio informatico disponibile alla pagina dedicata del sito dell'ISPRA (<http://sqi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>). Indicativamente, nella zona di interesse, vengono segnalati sovrascorrimenti profondi (thrust) appartenenti all'Arco Romagnolo-Ferrarese. Si tratta quindi strutture che non inducono effetti locali ma che viceversa hanno rilevanza regionale (vedi fig.22) (L'effetto locale che distingue una faglia capace da una ordinaria è la "capacità" di indurre in superficie deformazioni permanenti o meglio secondo il glossario della Protezione Civile: "Faglia attiva ritenuta in grado di produrre fagliazione in superficie cioè la dislocazione istantanea – cosismica – verticale e/o orizzontale dei terreni lungo uno o più piani di taglio")

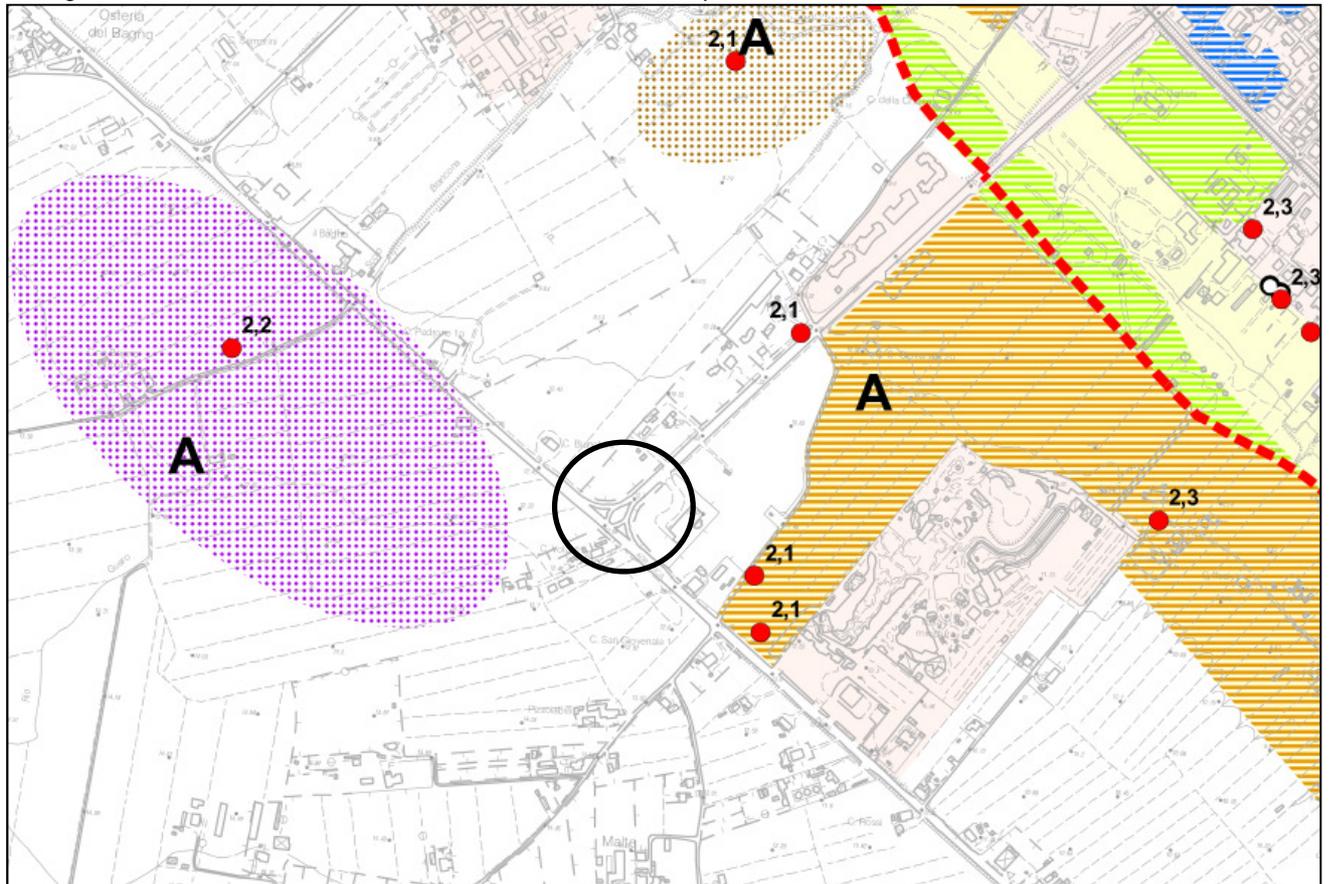
Alla luce di queste considerazioni è quindi possibile adottare un secondo livello di approfondimento della risposta sismica locale.

Figura 22 ITHACA Catalogo delle Faglie Capaci In rosso i sovrascorrimenti profondi appartenenti Sistema Comacchio-Ravenna (93798 e 93803)



L'analisi di secondo livello è contenuta nel PSC del Comune di Rimini a cui quindi si fa riferimento per la determinazione dei fattori di amplificazione (F.A.) dell'accelerazione sismica. In figura 23 la tavola della microzonazione con le indicazioni della PGA.

Figura 23 Carta di microzonazione sismica: fattori di amplificazione di PGA



Il PSC del comune di Rimini rimanda ai fattori di amplificazione contenuti nelle tabelle
Rimini, Settembre 2018

dell'Allegato 2 del vecchio atto di indirizzo regionale (D.A.L. 112/2007 per brevità A.112): tali tabelle sono state aggiornate dal DGR 2193 (figure 24 e 25).

In virtù delle indicazioni contenute nella Relazione di Microzonazione Sismica (B.REL.SIS.) del PSC, di cui si riporta uno stralcio, si è proceduto ad individuare la tabella di riferimento dei fattori di amplificazione dell'A.112 e la corrispondente tabella del DGR2193, in coerenza con la situazione locale e col PSC stesso.

La Relazione di Microzonazione Sismica del PSC al capitolo 7 (Stima dell'amplificazione – Secondo livello di approfondimento) individua gli ambiti territoriali per la valutazione dei fattori di amplificazione e relativamente all'area di interesse indica:

“ambito di pianura e costiero, (zona nord) caratterizzato da un profilo stratigrafico costituito, dall'alto, da sedimenti alluvionali fini e sabbie costiere, fino a profondità massima di 25 m, poggianti su depositi grossolani di conoide di spessore variabile tra 5 e 15 m; per questo ambito la stima dell'amplificazione è stata ottenuta utilizzando la tabella relativa alle coperture in ambito appenninico e margine appenninico padano su substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s”

Relativamente all' All.2, punto A2.1.1 dell' A.112, la Tavola PSC.1.3.2a Carta di Microzonazione Sismica, Fattori di Amplificazione di PGA (in fig.24 uno stralcio della Carta degli Ambiti Sismici Omogenei B.14a che restituisce la medesima informazione), indica che l' *Ambito di pianura e costiero è assimilabile ad Appennino e margine appenninico padano per substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec.*

La relazione sismica (B.REL.SIS.) giustifica la scelta apparentemente in contrasto con la situazione geografica e geologica in ragione della presenza dei corpi ghiaiosi presenti nel sottosuolo che indurrebbero un comportamento sismico più simile a quello del margine appenninico che non a quello delle pianure costiere.

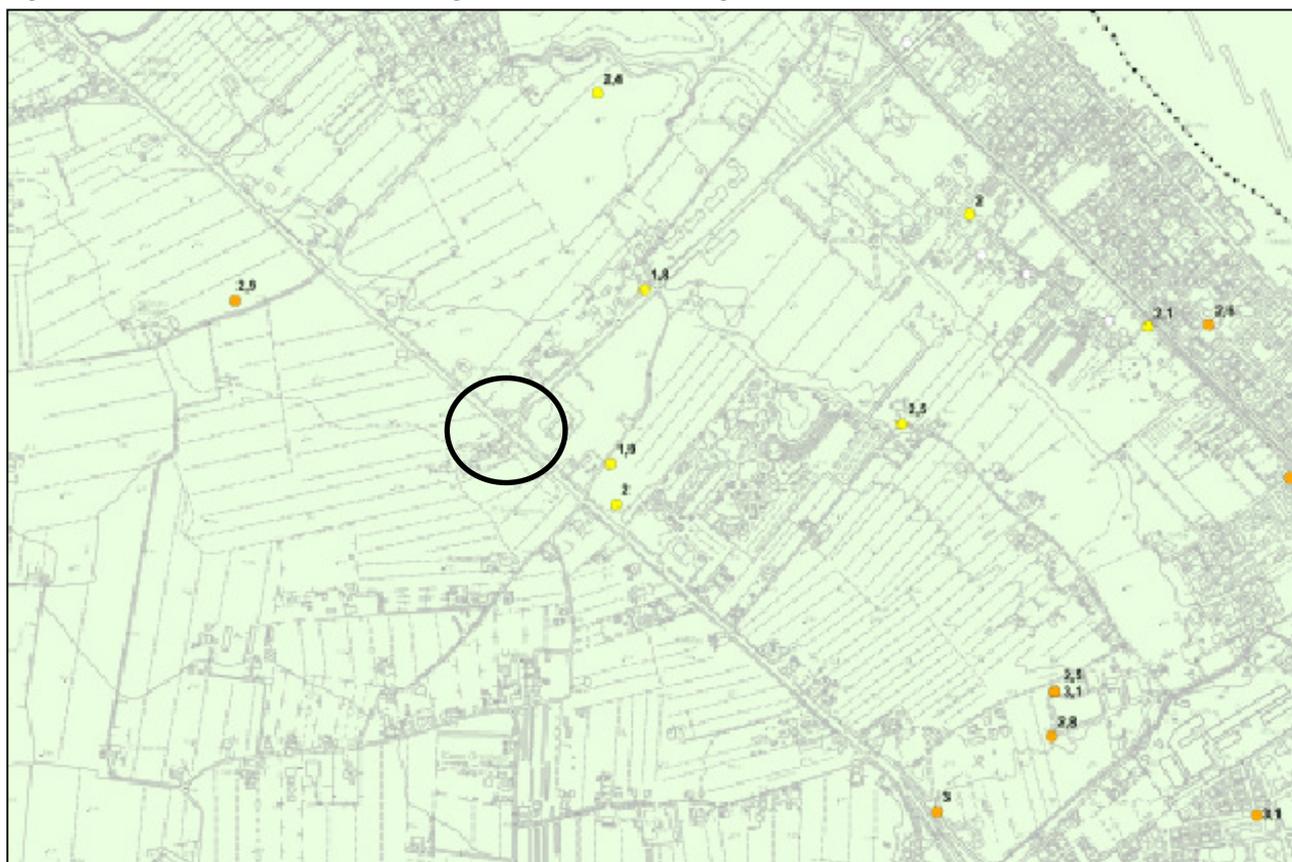
Le tabelle di riferimento dell'Atto di indirizzo A112 con i fattori di amplificazione, sono riportate in figura 25.

L'aggiornamento dell'atto di indirizzo regionale è frutto dell'evoluzione delle conoscenze ha portato alla rielaborazione delle tabelle di riferimento per le analisi di secondo livello di approfondimento della microzonazione sismica che sono riportate nelle figure successive.

Si ritiene, confortati dal parere espresso nel corso di precedenti lavori, del dott. Cupioli del Comune di Rimini, di adottare il fattore di amplificazione definito dal DGR 2193 che rispecchia contesto geologico e stratigrafico suggerito dal PSC ma tiene conto delle più recenti conoscenze tecnico-scientifiche.

In particolare si fa riferimento alle tabelle All.2 punto A2.1.2 del DGR2193 che vengono riportate in figura 24.

Figura 24 PSC Stralcio della Carta degli Ambiti Sismici Omogenei -B.14a -



Misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola HVSR

- Picchi di risonanza con frequenze comprese tra 1 - 2,5 Hz
- Picchi di risonanza con frequenze comprese tra 2,5 - 6 Hz
- Picchi di risonanza con frequenze maggiori di 6 Hz
- Nessun picco maggiore di 1 Hz
- Non interpretabile

Ambiti di cui all'all.2, punto A2.1 della del.Ass.Lgs RER n. 112 del 02/05/2007

- Ambito costiero caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sabbie costiere superficiali (con spessori fino a 10 m) e substrato poco profondo (25-60 m da p.c.) (COSTA 1)
- Ambito di pianura e costiero assimilabile ad appennino e margine appenninico padano per substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec
- Ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 2)
- Appennino e margine appenninico padano per copertura su substrato marino caratterizzato da V_s minore di 800 m/sec.
- Appennino e margine appenninico padano per copertura su substrato marino affiorante caratterizzato da V_s minore di 800 m/sec.

Figura 25 D.A.L.112/2007, Tabelle All.2, punto A2.1.1 (Substrato marino con $V_s < 800$ m/s)

F.A. P.G.A.

V_{SH} H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{SH} H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{SH} H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

Figura 26 DGR 2193 Tabelle All.2 punto A2.1.2

MARGINE: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido); questo settore è suddiviso in:

MARGINE di tipo A: caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico;

	150	200	250	300	350	400
5	2.3	2.1	1.8	1.5		
10	2.3	2.2	2.0	1.8		
15	2.1	2.1	2.0	1.8		
20	2.1	2.1	2.0	1.9		
25	2.0	2.0	2.0	1.9		
30	1.9	1.9	1.9	1.9		

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{SH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400
5	2.2	1.9	1.7	1.6		
10	2.6	2.4	2.0	1.8		
15	2.6	2.5	2.2	1.9		
20	2.5	2.5	2.3	2.0		
25	2.3	2.3	2.2	2.1		
30	2.1	2.1	2.1	2.0		

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{SH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400
5	1.8	1.7	1.6	1.6		
10	2.3	2.0	1.8	1.7		
15	3.2	2.6	2.1	2.0		
20	3.5	3.1	2.5	2.1		
25	3.7	3.4	2.8	2.4		
30	3.6	3.5	3.0	2.6		

Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{SH}(m/s)$

colonna con $V_s=200$ m/s, si adotta come “substrato” la profondità pari a 15 metri; questa corrisponde al tetto dello strato ghiaioso che genera il contrasto di impedenza ritenuto significativo dallo studio di microzonazione del PSC.

F.A. P.G.A. = 2.1

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 2.5 per $0,1 \text{ s} < T_0 < 0,5 \text{ s}$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE = 2.6 per $0,5 \text{ s} < T_0 < 1,0 \text{ s}$

5.3 Azione Sismica: Magnitudo e Accelerazione sismica

Per quanto riguarda il valore della **magnitudo (M_w)** da associare terremoto atteso si può fare riferimento alla “zonazione Sismogenetica ZS9” dell'INGV. Quest'ultima per la zona 917, a cui il territorio in studio appartiene, prevede valore massimo di **M_w pari a 6.14**

L'accelerazione orizzontale massima (o di picco) al suolo rigido (suolo di categoria A, affiorante), al period $T=0$, è riportata nella tabella 2 dell'allegato A4 dell'Atto di Indirizzo più volte citato (DAL112). Per il Comune di Rimini il valore di riferimento è:

$$a_{refg} (PGA_0) = 0.183 \text{ g}$$

DAL 112

L'accelerazione massima (A_{gmax}) attesa al suolo libero (al periodo $T=0$) si ottiene applicando il Fattore di Amplificazione FA precedentemente ricavato, ad A_g (corrispondente a PGA_0)

Quindi per Stato Limite Salvaguardia della Vita (SLV) si ottiene:

$$PGA = A_{max} = PGA_0 \times FA = 0.183 \times 2.1 = 0.384 \text{ g}$$

5.4 Effetti locali: Liquefazione dei Terreni Sabbiosi e Cedimenti indotti dal sisma

Liquefazione

Per liquefazione si intende il fenomeno di riduzione od annullamento di resistenza al taglio, che può avvenire in caso di forti sollecitazioni cicliche (sisma) nei terreni a prevalente granulometria sabbiosa, in falda. La perdita di resistenza, che si manifesta come fluidificazione dei terreni, è dovuta all'aumento progressivo delle pressioni interstiziali che giungono a contrastare o ad eguagliare la pressione di confinamento.

Nel caso in esame, in coerenza con le evidenze di tipo geologico, le indagini hanno messo in luce la presenza di alluvioni prevalentemente argillose o limo argillose a comportamento coesivo oppure suoli granulari grossolani (ghiaie); si ritiene quindi improbabile il rischio di liquefazione. Ciò nonostante si è eseguita l'analisi con metodo semplificato basato su dati penetrometrici.

Il metodo di valutazione utilizzato è quello di Robertson (2015) basato sui risultati delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica. E' stata qui utilizzata la tradizionale punta meccanica Begemann ma si ritiene, in virtù della natura litologica dei terreni presenti, che i risultati ottenuti siano comunque accettabili.

Stima del fattore di sicurezza FS e metodo di Robertson

La valutazione approssimata della resistenza dei terreni alla liquefazione espressa quindi come fattore di sicurezza F che è il rapporto fra capacità di resistenza alla liquefazione espresso nel Rapporto di Resistenza Ciclica (CRR) e la domanda di resistenza alla liquefazione indotta dalla sollecitazione del sisma espressa come Rapporto di Tensione Ciclica (CSR) (Seed & Idriss 1982, Robertson e Wride 1998, Robertson 2015, Idriss e Boulanger 2014)

$$F = CRR/CSR$$

Stima del Rapporto di Tensione Ciclica CSR

Il valore dello sforzo indotto dal sisma è legato all'intensità dell'accelerazione che esso produce nel terreno. Secondo Seed & Idriss (1982) è opportuno ridurre il valore dello sforzo massimo τ_{max} indotto dall'accelerazione massima ad un valore medio τ_{av} ($\tau_{av} = 0.65 * \tau_{max}$)

Il rapporto di sforzo (o tensione) ciclico τ_{av}/σ' indotto dal sisma può essere stimato con l'equazione (Seed & Idriss 1971):

$$CSR = \tau_{av} / \sigma' = 0.65 * (a_{max} / g) * rd * (\sigma / \sigma') * (1 / msf) * (1 / K\sigma)$$

dove: a_{max} accelerazione massima indotta dal sisma
 g accelerazione di gravità

- rd fattore riduttivo di profondità secondo Iwasaki 1978, per profondità z , inferiori a 9.15 metri $rd = 1 - 0.00765 * z$; per profondità z comprese fra 9 e 23 metri
- $rd = 1.174 - 0.0267 * z$; per profondità z superiori a 23 metri $rd = 0.774 - 0.008 * z$
- σ, σ' pressione litostatica totale ed efficace
- msf correzione per la magnitudo del terremoto secondo le raccomandazioni NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research 1997) media dei valori ottenuti dalle equazioni di Idriss 1990, $msf = 10^{2.24/M^{2.56}}$ per $M > 7.5$ e Andrus & Stokoe 1998 $msf = (M/7.5)^{-3.3}$ per $M < 7.5$.
- $K\sigma$ Coefficiente di correzione per la pressione litostatica.

$$K\sigma' = 1 - C\sigma \ln(\sigma' / pa) \leq 1.1$$

Dove pa è la pressione atmosferica e $C\sigma$ dipende dal tipo di prova in sito e nel caso di CPT si calcola con la seguente equazione

$$C\sigma = 1 / ((18.9 - 8.27(qc1N, cs)^{0.264}) \leq 0.3$$

Stima del Rapporto di Resistenza Ciclica CRR

L'algoritmo per la valutazione della proposto da Robertson 2105 è piuttosto complesso e si basa sulle seguenti relazioni:

$$CRR = 0.883 * ((q_{c1n})_{cs}) + 0.05 \longrightarrow \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50$$

$$CRR = 93 * ((q_{c1n})_{cs})^{1/3} + 0.08 \longrightarrow \text{per } (q_{c1n})_{cs} > 50$$

Dove: $Qc1cs$ rappresenta la resistenza alla penetrazione normalizzata per tenere conto della profondità e della percentuale di fini presenti nel sedimento.

Per ottenerlo si segue una procedura riassunta nel seguito:

$$Q_{c1} = (Rp - \sigma_{vo})(1/\sigma'_{vo})^n \quad F = 100 (RI / (Rp - \sigma_{vo}))$$

Con $n = 0.381 (Ic) + 0.05 (sv/pa) - 0.15$

In cui l'indice di comportamento è così stimato: $Ic = ((3.47 - \log Q)^2 + (\log F + 1.22)^2)^{1/2}$

Le equazioni sono interdipendenti; si procede quindi con processo iterativo per determinare le variabili ed infine si ottiene $Q_{c1ncs} = Kc * Q_{c1n}$

Dove Kc è il coefficiente che tiene conto della presenza di fini nel sedimento e vale 1 se $Ic < 1.64$, ed è ottenuto dalla seguente relazione se $Ic > 1.64$

$$Kc = -0.403 Ic^4 + 5.581 Ic^3 - 21.63 Ic^2 + 33.75 Ic - 17.88$$

Grazie a Q_{c1ncs} così ottenuto con le prime due relazioni esposte, si ricava il valore di CRR e quindi il fattore di sicurezza F . Secondo un approccio deterministico è non liquefacibile il deposito con $F > 1$; in realtà nella valutazione dell'Indice del Potenziale di Liquefazione, che segue, si considerano i livelli con F_s inferiori o uguali a 1.2 (vedi qui sotto calcolo ILP).

Indice del Potenziale di Liquefazione IPL

Per stabilire il rischio di insorgenza di liquefazione si ricorre all'Indice del potenziale di Liquefazione IPL così calcolato (Iwasaki et al. 1984):

$$(1) \quad IPL = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

Dove: $w(z) = 10 - 0.5z$

z è la profondità dal piano di campagna

la funzione $F(z)$, che esprime il potenziale di liquefazione, è calcolata con la metodologia proposta da Sonmez (2003):

$$F(z) = 0 \text{ se } F_s \geq 1.4$$

$$F(z) = 1 - F_s \text{ se } F_s < 0.95$$

$$F(z) = 2 * 10^6 \exp(-18.427 * F_s) \text{ se } 1.4 \geq F_s \geq 0.95$$

Dove F_s è il fattore di sicurezza alla profondità z

La tabella che segue fornisce l'interpretazione dei valori numerici dell' IPL

IPL	Potenziale di liquefacibilità
0	Pericolosità alla liquefazione Nulla
0 ÷ 2	Pericolosità alla liquef. Molto Bassa (Bassa per ICMS 2008 Prot.Civ.)
2 ÷ 5	Pericolosità alla liquef. Moderata (Bassa per ICMS 2008 Prot.Civ.)
5÷15	Pericolosità alla liquefazione Alta
>15	Pericolosità alla liquefazione Molto Alta

Cedimenti indotti dal sisma nei terreni argillosi

I cedimenti postsismici possono manifestarsi nei sedimenti coesivi soffici ($C_u < 70$ kPa -0.7 kg/cmq), con Indice Plastico $IP \geq 30\%$ e in cui si sviluppino sovrappressioni interstiziali nel corso dell'azione sismica $ru = \Delta u / \sigma'_{v0} \geq 0.3$.

La deformazione volumetrica è stimata con la relazione seguente:

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha \cdot C_r}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{p_0}} \right)$$

Dove:

C_r indice di ricomprensione (assunto come l'indice di rigonfiamento da prove edometriche) oppure nel caso in oggetto, con la relazione suggerita da Crespellani e Facciorusso:

$$C_c = 0.0348 + 0.0162 IP\%$$

$$\alpha = 1.5$$

e_0 = Indice dei vuoti

$$\Delta u / \sigma'_{v0} = ru \quad \Delta u / \sigma'_{vm} = \beta \log (\gamma_{c,max} / \gamma_v)$$

(Matsui et Al. 1980)

con $\beta = 0.45$

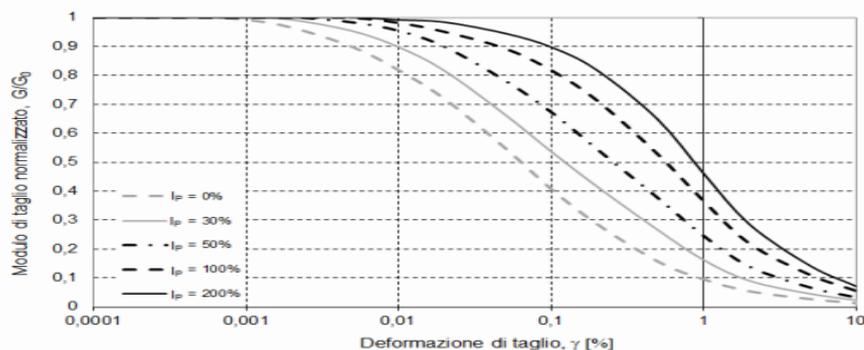
$$\gamma_v = \text{deformazione di soglia volumetrica} \quad \gamma_v = A (OCR - 1) + B$$

Tabella 1 - Valori suggeriti per i coefficienti A e B

I_p (%)	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

il valore di γ_{max} = deformazione di taglio massima in ampiezza, determinabile per via iterativa noto il modulo di taglio iniziale G_0 dal grafico sottostante. (Noti: $\tau_{max} = (a_{max}/g) \cdot r_d \cdot \sigma_{v0}$, G_0 (da R_p o V_s), si assume un valore iniziale di G/G_0 e si ricava dal grafico sottostante il valore γ equivalente %. Da quest'ultimo si ottiene un nuovo valore di G sfruttando la relazione $\gamma = 0.65 \tau_{max} / G$. Si ricalcola G/G_0 e si ripete il ciclo fino a convergenza.)

$$\gamma = 0,65 \tau_{max} / G \quad \gamma_{max} = \frac{a_{max}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$



I risultati dell'analisi eseguita

L'indice del potenziale di Liquefazione risultante dall'analisi è zero; Pericolosità alla liquefazione Nulla.

I cedimenti indotti dal sisma potrebbero interessare i sedimenti argillosi con consistenza mediocre presenti fra i 10 ed i 13 metri dal piano campagna; esistono poi limitati livelli decimetrici sparsi in maniera disordinata nella colonna stratigrafica. Si è proceduto alla verifica fino al tetto delle ghiaie.

Per la stima della C_u si è adottata la relazione di Beghemann $C_u = (R_p - \sigma_v) / N_c$ con $N_c = 13.4$. I valori dell'indice plastico sono ottenuti mediando i risultati ricavati da analisi di laboratorio eseguite nel corso di precedenti lavori. Si è utilizzato cautelativamente $IP=35$ per i primi orizzonti compresi fino 10 metri dal pc, e $IP=55$ per le argille più profonde.

Si è considerata la falda a un metro dal pc, una accelerazione di 0,384 g (corrispondente alla condizione SLV con il Fattore di Amplificazione ottenuto dalla micro zonazione del PSC) ed una magnitudo di 6.14 (in accordo con la Mappa della Zonazione Sismogenetica ZS9, area 917).

I cedimenti Cedimenti post sismici risultano dell'ordine di 7 centimetri. In Allegato 2 le tabelle ed i grafici riepilogano i dati di ingresso ed i risultati delle elaborazioni.

7 – ORIENTAMENTI GEOTECNICI

Il progetto prevede la realizzazione di una rotonda all'intersezione fra la via Grazia Verenin la Strada Statale n°16 Adriatica, e di un sottopassaggio pedonale.

I terreni presenti hanno caratteristiche geotecniche mediocri ma comunque sufficiente a garantire la stabilità delle fondazioni di strutture ordinarie.

Per la progettazione della struttura stradale l'esecuzione di prove di piastra e di classificazione del terreno in posto come sottofondo (granulometrie, limiti di Atterberg, umidità naturale..) sono indispensabili per il dimensionamento della sovrastruttura stradale.

8 – CONCLUSIONI

- Dall'analisi degli *aspetti geologici, geomorfologici e geotecnici* esaminati nel presente lavoro non sono emersi elementi sfavorevoli alla realizzazione del progetto. Il lotto in esame giace sulla pianura alluvionale sub-orizzontale.
- Il sottosuolo è formato da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, argille e argille limose, di medie caratteristiche geotecniche, che da poco più di 13 metri dal pc sono avvicinati da un orizzonte ghiaioso.
- E' stata rilevata acqua durante l'esecuzione dell'indagine a circa 2 metri dal pc, nel corso di precedenti indagini si è rinvenuta acqua a circa un metro dal pc. Stagionalmente o in concomitanza dei periodi piovosi il livello idrico può facilmente innalzarsi fino in prossimità del piano di campagna; di ciò si deve tenere conto nelle scelte progettuali e nella gestione delle fasi di scavo.
- Il PAI annovera l'area in studio fra quelle con alluvioni poco frequenti ($T_r=100$ anni).
- Le indagini eseguite hanno consentito di definire la stratigrafia di interesse ai fini progettuali. I terreni hanno generalmente caratteristiche geotecniche da medie a mediocri.
- I rilievi geofisici disponibili indicano che il valore della velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} , è generalmente superiore a 180-190 m/s e quindi il sottosuolo è compatibile con un Sottosuolo di Categoria C.
- I rilievi HVSR evidenziano decisi fenomeni di amplificazione delle onde elastiche con frequenze di circa 2Hz.
- *La microzonazione sismica di secondo livello del PSC del Comune di Rimini (ammessa dal DGR 2193) consente di ricavare i valori del Fattore di Intensità Spettrale e del Fattore di Amplificazione (FA). Quest'ultimo parametro è fondamentale per attribuire il valore di PGA da adottare nelle verifiche di liquefazione. Nel caso in esame si è adottato un $FA = 2.1$ da cui scaturisce una $PGA = 0.384 g$.*
- I terreni del sottosuolo essendo di natura prevalentemente argillosa e coesiva non sono soggetti al fenomeno della liquefazione ($IPL=0$); i cedimenti indotti dal sisma sulle argille tenere sono stimati nell'ordine di 7 centimetri.

Allegato 1

PROVA PENETROMETRICA CPT

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT CON PUNTA MECCANICA BEGEMAN

Prova CPT1

Località: RIMINI, SS16 - VIA VERRENIN

Data: 29/08/2018

Lavoro: COMUNE DI RIMINI ROTONDA VIA VERENIIN

Passo acquisizione dati: 20 cm

FALDA = 1.2m

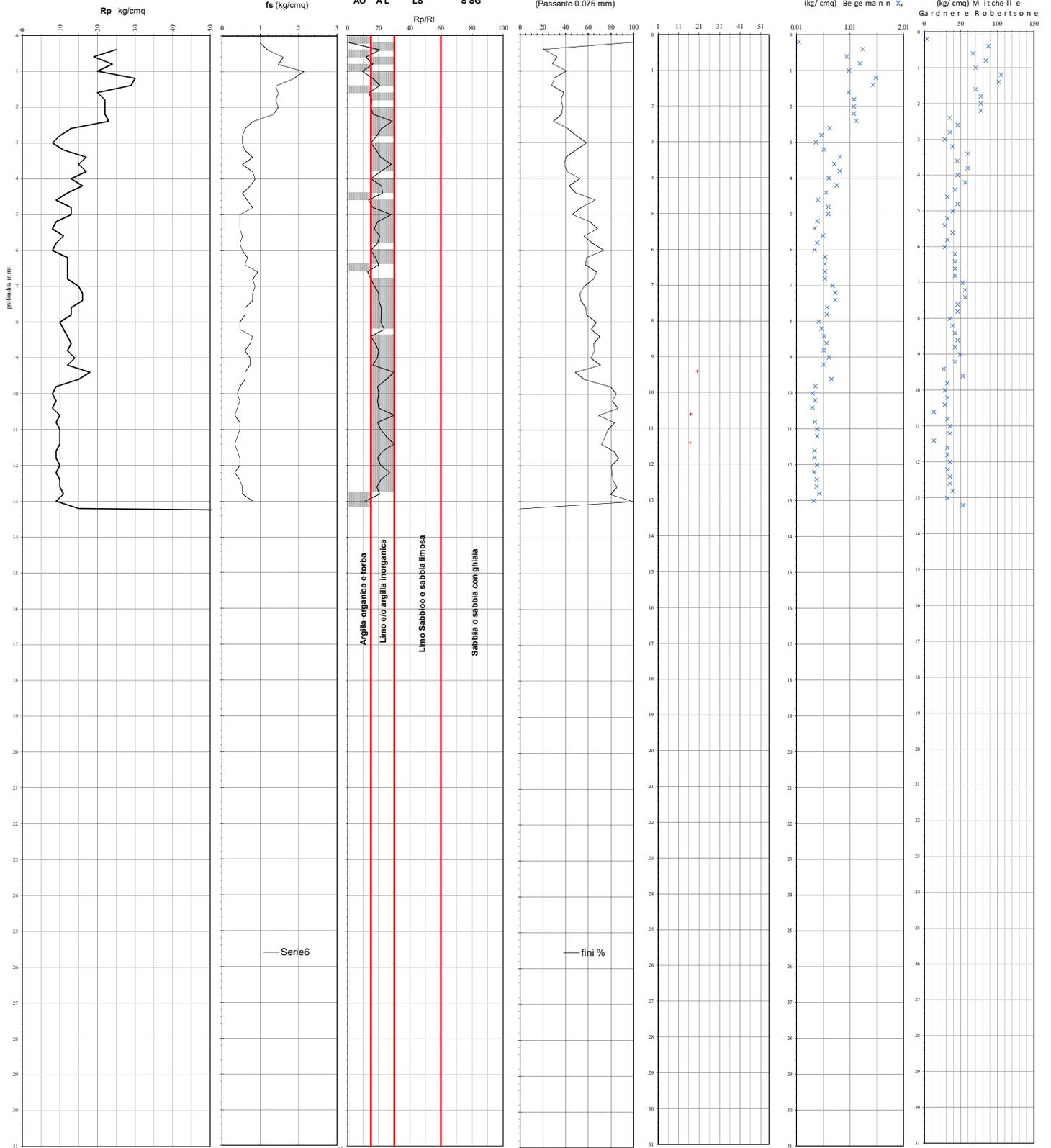
Litologia secondo Begeman

Fini %
(Passante 0.075 mm)

ϕ Angolo di attrito

Cu Coesione non drenata
(kg/cm²) Bege man n \times

Ed Modulo edometrico
(kg/cm²) M itche ll e
Gardnere Robertso ne

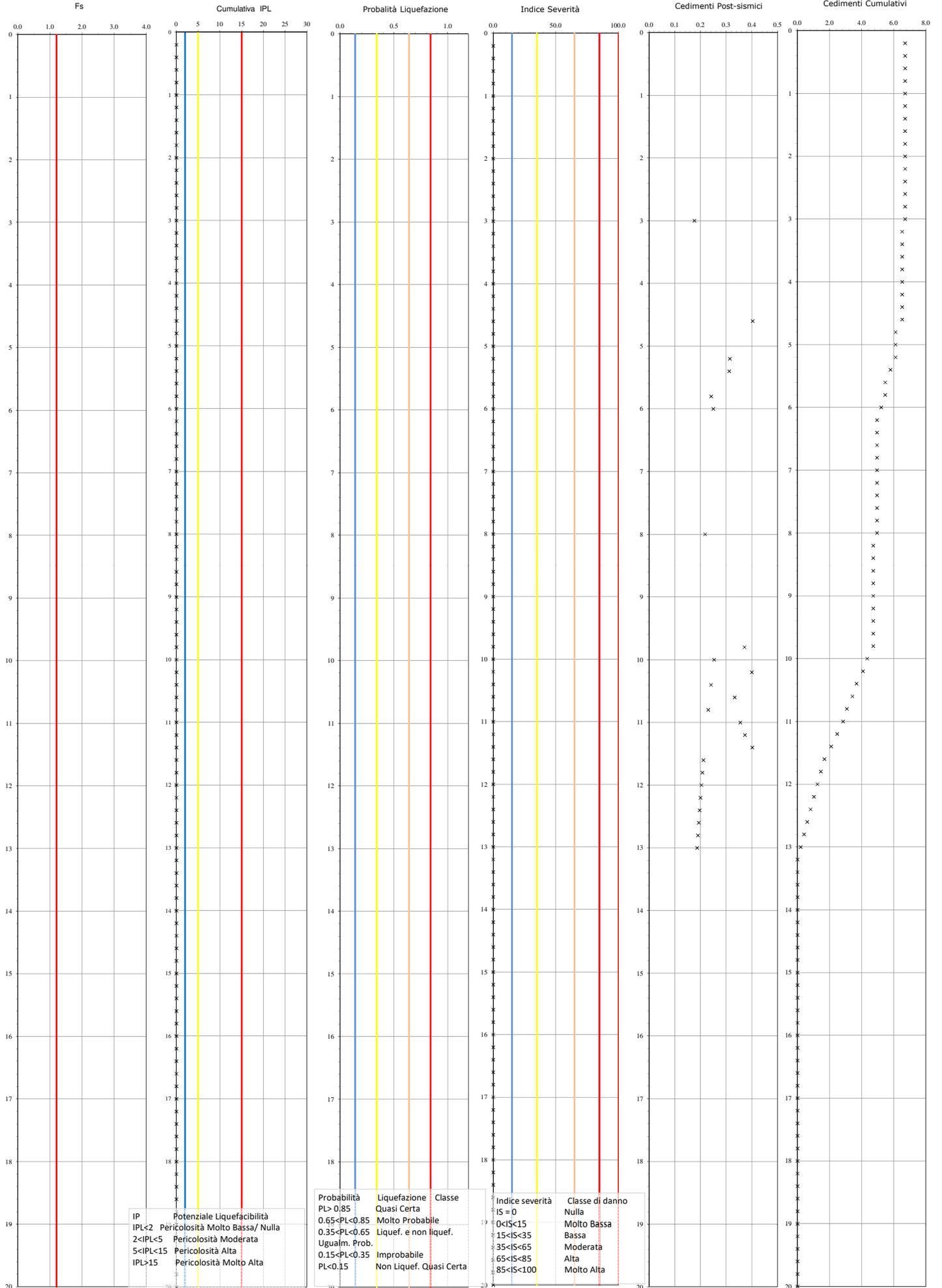


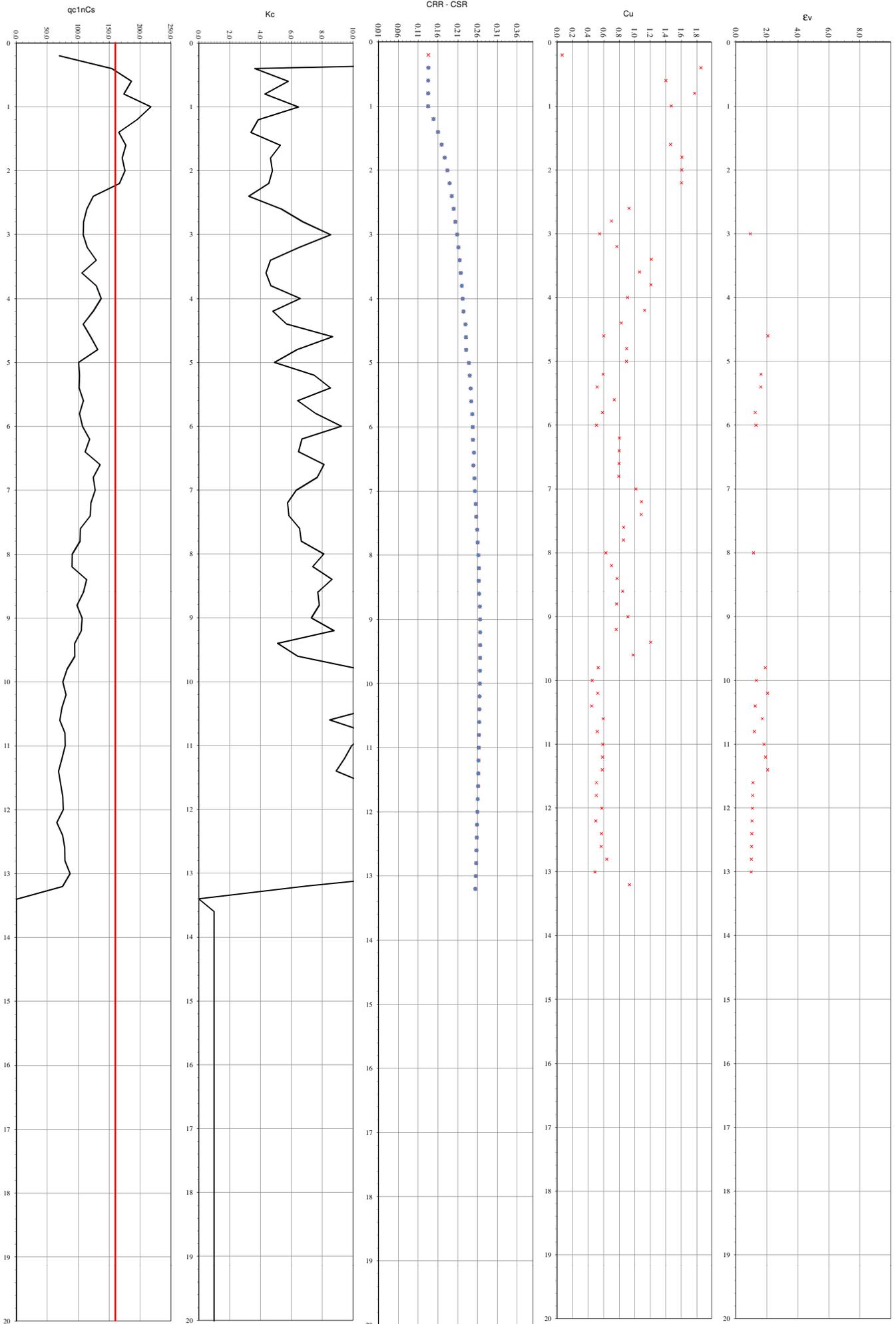
mt.	Rp (kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Fr (%)	Peso di Volume (Robertson e Cabal et al. 2010)	Angolo di attrito φ° ("De Beer")	Densità relativa Dr Lancellotta 1993	Cu Kg/cmq Coesione non drenata (Begemann)	Modulo di Young -Schmertmann- per sabbie E=2.5 Rp (kg/cm2)	Modulo edometrico Sanglerat, Mitchell&Gardner o Robertson e Campanella per le sabbie Nspst -Indicativo-	MF	Mauromachi e Kubayashi 1982 %fini	OCR	Mayne 2012	OCR=0.33*(Rp-sv)^m con % fini	Roberts on	FS	Liq.	Litologia
																		SCHMERTMANN
0.20	1	1.0	100	1.8			0.0	4				18	100	NI			Arq. Org. terre Miste	
0.40	2.5	1.2		1.6			1.2	88				31	20	NI			Arq. Molto Compatte	
0.60	19	1.5		1.6			0.9	67				15	32	NI			Arq. Org. terre Miste	
0.80	24	1.5		1.9			1.2	84				12	28	NI			Arq. Molto Compatte	
1.00	20	2.1		2.0			1.0	70				12	41	NI			Arq. Molto Compatte	
1.20	30	1.9		2.0			1.5	105				9	30	nl			Arq. Molto Compatte	
1.40	29	1.4		1.9			1.4	102				8	28	nl			Arq. Molto Compatte	
1.60	20	1.4		1.9			1.0	70				7	39	nl	69.4		Arq. Molto Compatte	
1.80	22	1.4		1.9			1.1	77				7	36	nl	47.9		Arq. Molto Compatte	
2.00	25	1.4		1.9			1.1	77				6	37	nl	55.1		Arq. Molto Compatte	
2.20	22	1.3		1.9			1.1	77				6	37	nl	48.6		Arq. Molto Compatte	
2.40	22	0.8		1.9			1.1	35				4	29	nl	2.7		Argille Sabbiose e Limose	
2.60	15	0.6		1.8			0.6	46				3	42	nl			Arq. Compatte	
2.80	10	0.5		1.8			0.5	35				3	49	nl			Arq. Mediamente Tenera	
3.00	8	0.5		1.8			0.4	28				2	59	nl			Arq. Org. terre Miste	
3.20	11	0.6		1.8			0.5	39				2	49	nl			Arq. Mediamente Tenera	
3.40	17	0.8		1.9			0.8	60				3	40	nl	65.0		Arq. Compatte	
3.60	15	0.5		1.8			0.7	45				4	39	nl	54.3		Argille Sabbiose e Limose	
3.80	17	0.8		1.9			0.8	60				3	41	nl			Arq. Compatte	
4.00	13	0.9		1.9			0.6	46				4	2	53	nl		Arq. Org. terre Miste	
4.20	16	0.7		1.8			0.8	56				5	2	43	nl		Arq. Compatte	
4.40	12	0.5		1.8			0.6	42				4	2	49	nl		Arq. Mediamente Tenera	
4.60	9	0.7		1.8			0.4	3				3	2	66	nl		Arq. Org. terre Miste	
4.80	13	0.8		1.9			0.6	46				4	2	54	nl		Arq. Org. terre Miste	
5.00	13	0.5		1.8			0.6	39				4	1	46	nl		Argille Sabbiose e Limose	
5.20	9	0.5		1.8			0.4	32				3	1	61	nl		Arq. Mediamente Tenera	
5.40	8	0.5		1.8			0.4	28				3	1	68	nl		Arq. Org. terre Miste	
5.60	11	0.5		1.8			0.5	39				3	2	56	nl		Arq. Mediamente Tenera	
5.80	9	0.5		1.8			0.4	32				3	1	64	nl		Arq. Mediamente Tenera	
6.00	8	0.5		1.8			0.3	28				3	1	74	nl		Arq. Org. terre Miste	
6.20	12	0.7		1.8			0.5	42				4	2	59	nl		Arq. Compatte	
6.40	12	0.6		1.8			0.5	42				4	2	57	nl		Arq. Compatte	
6.60	12	0.9		1.9			0.5	42				4	1	67	nl		Arq. Org. terre Miste	
6.80	12	0.8		1.8			0.5	42				4	1	65	nl		Arq. Org. terre Miste	
7.00	15	0.9		1.9			0.7	53				5	2	57	nl		Arq. Mediamente Tenera	
7.20	16	0.8		1.9			0.7	53				5	1	53	nl		Arq. Compatte	
7.40	16	0.8		1.9			0.7	56				5	1	53	nl		Arq. Compatte	
7.60	13	0.6		1.8			0.6	46				4	1	58	nl		Arq. Compatte	
7.80	13	0.6		1.8			0.6	46				4	1	58	nl		Arq. Compatte	
8.00	10	0.5		1.8			0.4	35				3	1	67	nl		Arq. Mediamente Tenera	
8.20	11	0.5		1.8			0.5	39				4	1	63	nl		Arq. Mediamente Tenera	
8.40	12	0.8		1.8			0.5	42				4	1	70	nl		Arq. Org. terre Miste	
8.60	13	0.7		1.8			0.6	46				4	1	65	nl		Arq. Compatte	
8.80	12	0.6		1.8			0.5	42				4	1	65	nl		Arq. Compatte	
9.00	14	0.7		1.8			0.6	49				4	1	62	nl		Arq. Mediamente Tenera	
9.20	12	0.7		1.8			0.5	42				4	1	71	nl		Arq. Org. terre Miste	
9.40	18	0.6		1.8	20		0.7	26				5	1	49	nl		Argille Sabbiose e Limose	
9.60	15	0.6		1.8			0.7	53				5	1	57	nl		Arq. Mediamente Tenera	
9.80	9	0.5		1.8			0.4	32				3	1	80	nl		Arq. Mediamente Tenera	
10.00	8	0.4		1.7			0.3	28				3	1	85	nl		Arq. Mediamente Tenera	
10.20	9	0.5		1.8			0.4	32				3	1	81	nl		Arq. Mediamente Tenera	
10.40	8	0.4		1.7			0.3	28				3	1	86	nl		Arq. Mediamente Tenera	
10.60	10	0.3		1.7	17		0.4	13				3	1	69	nl		Sabbie Argillose. Limi. Arq. Sabbiose	
10.80	9	0.5		1.8			0.4	32				3	1	83	nl		Arq. Mediamente Tenera	
11.00	10	0.5		1.8			0.4	35				4	1	77	nl		Arq. Mediamente Tenera	
11.20	10	0.4		1.8			0.4	35				3	1	75	nl		Arq. Mediamente Tenera	
11.40	10	0.3		1.7	17		0.4	13				3	1	72	nl		Sabbie Argillose. Limi. Arq. Sabbiose	
11.60	9	0.4		1.8			0.3	32				3	1	83	nl		Arq. Mediamente Tenera	
11.80	9	0.5		1.8			0.3	32				3	1	87	nl		Arq. Mediamente Tenera	
12.00	10	0.5		1.8			0.4	35				4	1	80	nl		Arq. Mediamente Tenera	
12.20	9	0.3		1.7			0.3	32				3	1	81	nl		Arq. Mediamente Tenera	
12.40	10	0.5		1.8			0.4	35				4	1	82	nl		Arq. Mediamente Tenera	
12.60	10	0.5		1.8			0.4	35				4	1	85	nl		Arq. Mediamente Tenera	
12.80	11	0.5		1.8			0.4	39				4	1	80	nl		Arq. Mediamente Tenera	
13.00	9	0.8		1.8			0.3	32				4	0	100	nl		Arq. Org. terre Miste	
13.20	15	-13.3		#NUM!				53					#NUM!	#NUM!			Sabbia Sciolta	
13.40	200	0.0		#####									#NUM!	#NUM!				
13.60	0												0					
13.80	0												0					
14.00	0												0					
14.20	0												0					
14.40	0												0					
14.60	0												0					
14.80	0												0					
15.00	0												0					
15.20	0												0					
15.40	0												0					
15.60	0												0					
15.80	0												0					
16.00	0												0					
16.20	0												0					
16.40	0												0					
16.60	0												0					
16.80	0												0					
17.00	0												0					
17.20	0												0					
17.40	0												0					
17.60	0												0					
17.80	0												0					
18.00	0												0					
18.20	0												0					
18.40	0												0					
18.60	0												0					
18.80	0												0					
19.00	0												0					
19.20	0												0					
19.40	0												0					
19.60	0												0					
19.80	0												0					
20.00	0												0					
20.20	0												0					
20.40	0												0					
20.60	0												0					

Allegato 2

VERIFICA LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI POSTSISMICI

Condizioni di verifica: Magnitudo $M_w=6.14$; $a_{max}(g)=0.384$; Falda =1 mt dal pc; Soglia Fattore di sicurezza $F_s=1.2$; Profondità Fondazione $D=0.8$
 Indice del Potenziale di liquefazione $IPL=0$; IPL alla prof. fondazione $IL=0$ Pericolosità alla liquefazione Nulla; Pericolosità alla liquefazione alla prof. fondazione ; Nulla
 Probabilità di Liquefazione Complessiva $PL=0.04$; PL alla prof. fond. $=0.04$; Indice di Severità $IS=0$; IS alla prof. fondazione $=0$; Classe di danno alla prof. fondazione ; Nulla





VERIFICA LIQUEFAZIONE METODO DI ROBERTSON 2015

Prova CPT 1

Località: RIMINI, SS16 - VIA VERRENIN

Valutazione basata su PL
calcolato secondo Robertson
PL > 0.85 Liquef. Quasi Certa
0.65 < PL < 0.85 Liquef. Molto Probabile
0.35 < PL < 0.65 Liquef. e non liquef. Ugualm. Prob.
0.15 < PL < 0.35 Liquef. Improbabile
PL < 0.15 Non Liquef. Quasi Certa

Prof. (m)	Rp (kg/cmq)	Indice di Comportamento Ic	% Fini	qc (N/s)	CRR	CSR	Fs	Indice Potenziale Liquefazione IPL Cumulativa	Prob. Liquef. PL	Indice Severità IS Cumulativa	ev (%)	dh (cm)	dh (cm)	
0.20	1	4.6	100	70	nl	0.14	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
0.40	25	2.6	38	154	7.36	0.14	54.38	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
0.60	19	2.9	53	186	nl	0.14	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
0.80	24	2.7	43	174	nl	0.14	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
1.00	20	3.0	57	218	nl	0.13	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
1.20	30	2.7	39	195	9.02	0.15	60.75	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
1.40	29	2.6	36	166	5.76	0.16	36.04	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
1.60	20	2.9	49	177	nl	0.17	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
1.80	22	2.8	45	171	nl	0.18	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
2.00	22	2.8	46	176	nl	0.18	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
2.20	22	2.8	44	166	nl	0.19	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
2.40	23	2.6	35	124	4.96	0.19	25.49	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
2.60	13	2.9	50	114	nl	0.20	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
2.80	10	3.0	58	109	nl	0.20	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.7	Non Liquef. Quasi certa
3.00	8	3.1	69	108	nl	0.21	nl	0.00	0.000	0.0	0.9	0.2	6.7	Non Liquef. Quasi certa
3.20	11	3.0	57	115	nl	0.21	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.5	Non Liquef. Quasi certa
3.40	17	2.8	45	129	nl	0.21	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.5	Non Liquef. Quasi certa
3.60	15	2.7	43	106	nl	0.22	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.5	Non Liquef. Quasi certa
3.80	17	2.8	45	129	nl	0.22	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.5	Non Liquef. Quasi certa
4.00	13	3.0	57	137	nl	0.22	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.5	Non Liquef. Quasi certa
4.20	16	2.8	46	124	nl	0.22	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.5	Non Liquef. Quasi certa
4.40	12	2.9	52	108	nl	0.23	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.5	Non Liquef. Quasi certa
4.60	9	3.2	70	120	nl	0.23	nl	0.00	0.000	0.0	2.1	0.4	6.5	Non Liquef. Quasi certa
4.80	13	3.0	56	132	nl	0.23	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.1	Non Liquef. Quasi certa
5.00	13	2.8	47	101	nl	0.24	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	6.1	Non Liquef. Quasi certa
5.20	9	3.1	63	102	nl	0.24	nl	0.00	0.000	0.0	1.6	0.3	6.1	Non Liquef. Quasi certa
5.40	8	3.1	69	102	nl	0.24	nl	0.00	0.000	0.0	1.6	0.3	5.8	Non Liquef. Quasi certa
5.60	11	3.0	56	109	nl	0.24	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	5.5	Non Liquef. Quasi certa
5.80	9	3.1	63	102	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	1.3	0.3	5.5	Non Liquef. Quasi certa
6.00	8	3.2	73	107	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	1.3	0.3	5.2	Non Liquef. Quasi certa
6.20	12	3.0	58	118	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
6.40	12	3.0	57	111	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
6.60	12	3.1	67	135	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
6.80	12	3.1	64	124	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
7.00	15	3.0	56	128	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
7.20	16	2.9	52	121	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
7.40	16	2.9	53	119	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
7.60	13	3.0	57	104	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
7.80	13	3.0	58	103	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.9	Non Liquef. Quasi certa
8.00	10	3.1	66	91	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.1	0.2	4.9	Non Liquef. Quasi certa
8.20	11	3.1	62	90	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
8.40	12	3.2	70	114	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
8.60	13	3.1	64	108	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
8.80	12	3.1	65	98	nl	0.27	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
9.00	14	3.0	62	107	nl	0.27	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
9.20	12	3.2	70	105	nl	0.27	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
9.40	18	2.8	48	94	nl	0.27	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
9.60	15	3.0	56	95	nl	0.27	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	4.7	Non Liquef. Quasi certa
9.80	9	3.3	79	82	nl	0.27	nl	0.00	0.000	0.0	1.9	0.4	4.7	Non Liquef. Quasi certa
10.00	8	3.3	84	75	nl	0.27	nl	0.00	0.000	0.0	1.3	0.3	4.3	Non Liquef. Quasi certa
10.20	9	3.3	81	81	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	2.0	0.4	4.1	Non Liquef. Quasi certa
10.40	8	3.4	86	74	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.3	0.3	3.7	Non Liquef. Quasi certa
10.60	10	3.1	69	70	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.7	0.3	3.4	Non Liquef. Quasi certa
10.80	9	3.3	83	79	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.2	0.2	3.1	Non Liquef. Quasi certa
11.00	10	3.2	77	79	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.8	0.4	2.8	Non Liquef. Quasi certa
11.20	10	3.2	74	74	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.9	0.4	2.5	Non Liquef. Quasi certa
11.40	10	3.2	71	68	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	2.1	0.4	2.1	Non Liquef. Quasi certa
11.60	9	3.3	82	72	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.1	0.2	1.7	Non Liquef. Quasi certa
11.80	9	3.4	86	75	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.1	0.2	1.4	Non Liquef. Quasi certa
12.00	10	3.3	80	76	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.1	0.2	1.2	Non Liquef. Quasi certa
12.20	9	3.3	80	66	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.1	0.2	1.0	Non Liquef. Quasi certa
12.40	10	3.3	81	75	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.0	0.2	0.8	Non Liquef. Quasi certa
12.60	10	3.3	85	78	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.0	0.2	0.6	Non Liquef. Quasi certa
12.80	11	3.3	79	79	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.0	0.2	0.4	Non Liquef. Quasi certa
13.00	9	3.6	100	87	nl	0.26	nl	0.00	0.000	0.0	1.0	0.2	0.2	Non Liquef. Quasi certa
13.20	15	3.0	60	75	nl	0.25	nl	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	Non Liquef. Quasi certa
13.40	200	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	0.00	0.000	0.0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
13.60	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
13.80	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
14.00	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
14.20	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
14.40	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
14.60	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
14.80	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
15.00	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
15.20	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
15.40	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
15.60	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
15.80	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
16.00	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
16.20	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
16.40	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
16.60	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
16.80	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
17.00	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
17.20	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
17.40	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
17.60	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
17.80	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
18.00	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
18.20	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
18.40	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM!	Non Liquef. Quasi certa
18.60	0	0.0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	#NUM	

Allegato 3

SEZIONE STRATIGRAFICA

