

ACQUEDOTTO DELLA ROMAGNA - 4LSUB26/27

TERZA DIRETTRICE DELLA RETE DI ADDUZIONE
DELL'ACQUEDOTTO DELLA ROMAGNA

(CODICI ATERSIR 2014RAAC0005 e 2017RAAC0003)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA
ED ECONOMICA



ALPINA S.p.A.
Via Ripamonti, 2
20123 Milano, Italy
www.alpina-spa.it
+39.02.58305010

ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6
47121 Forlì (FC)
Tel. +39-(0543)-473892
E-mail: info@eltec-service.it

IL PROGETTISTA Ing. PAOLA ERBA R.T.O. ALPINA S.p.A. - ELTEC S.r.l.	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. PAOLO BALDONI ROMAGNA ACQUE - SOCIETA' DELLE FONTI S.p.A.
	

<p>INQUADRAMENTO GENERALE RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA</p>			<h1>1.04</h1>							
Revisioni	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rev.</th> <th>Descrizione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EMISSIONE</td> </tr> </tbody> </table>	Rev.	Descrizione	C		B		A	EMISSIONE	Data 06/08/2021
Rev.	Descrizione									
C										
B										
A	EMISSIONE									
Numero elaborato	P 1 G E N G E O 0 0 4 A	Scala -								

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
2.1	Normativa di riferimento	5
2.2	Bibliografia.....	5
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
4	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	8
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
5.1	Subsintema di Ravenna (AES ₈).....	9
5.2	Unità di Modena (AES _{8a}),	9
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	12
6.1	Subsidenza.....	12
7	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	14
8	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	16
8.1	Complessi idrogeologici.....	16
8.2	Piezometria	18
8.3	Ingressione del cuneo salino	19
9	CAMPAGNA GEOGNOSTICA ESEGUITA	21
9.1	Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU	21
9.2	Indagini geofisiche.....	22
10	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	24
10.1	Tratta a Sud di Ravenna, da Via Masullo sino all'attraversamento della SP101	24
10.2	Tratta a Sud di Ravenna, da Via Fosso Nuovo all'attraversamento SP254(a Sud di S. Zaccaria).....	24
10.3	Tratta a Sud di S. Zaccaria (RA), da Via Principessa Doria a S. Maria Nuova di Bertinoro	25
10.4	Area presso S. Pietro ai Prati (Forlimpopoli FC), Via Prati	25
10.5	Estremità Sud – Est del tracciato presso Forlimpopoli (FC) dalla Via Emilia (SS9) all'impianto di sollevamento di Forlimpopoli	26
10.6	Tratta centrale con direzione Nord Ovest ÷ Sud-Est (escluso l'attraversamento del Savio) da Via Fornace SS3bis / all'attraversamento di Via Calabria (Cesena).....	26
10.7	Attraversamento del fiume Savio, a Nord di Pievesistina (Cesena)	26



ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6

47121 Forlì (FC)

Tel. +39-(0543)-473892

E-mail: info@eltec-service.it

10.8	Tratta centro-orientale, con direzione Nord Ovest ÷ Sud-Est: da Via Mesola sino a Via Capannaguzzo (Cesena).....	27
10.9	Tratta orientale, con direzione Nord Ovest ÷ Sud-Est: da Via del Mare (Sala di Cesenatico FC) a Via Longana (RN)	27
10.10	Analisi di stabilità dello scavo.....	28
11	RISCHIO IDRAULICO	30
11.1	Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli	30
11.2	Autorità di Bacino Interregionale Marecchia-Conca	31
12	INQUADRAMENTO SISMICO.....	33
12.1	Sismicità storica	33
12.2	Sorgenti sismogenetiche	33
12.3	Magnitudo di riferimento.....	35
12.4	Classificazione sismica e pericolosità sismica di base.....	36
12.5	Definizione dell'azione sismica di progetto.....	37
12.5.1	Vita nominale e classe d'uso	38
12.5.2	Stati limite e probabilità di superamento	39
12.5.3	Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g	40
12.5.4	Risposta sismica locale	40
12.6	Analisi di pericolosità rispetto al fenomeno della liquefazione.....	42
13	CONCLUSIONI.....	45



1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Idrogeologica e Geotecnica che viene redatto nell'ambito della Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica per la realizzazione della Terza direttrice della rete di adduzione dell'Acquedotto della Romagna, tra le provincie di Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini.

Esso raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti dall'indagine geognostica eseguita nella precedente fase progettuale e, sulla base dei risultati disponibili, motiva le scelte progettuali adottate.

In sintesi, nei paragrafi seguenti, verranno approfondite le seguenti tematiche, di cui anche la *Relazione geologica e idrogeologica* redatta nell'ambito del progetto di fattibilità tecnica ed economica di prima fase e riportata nella sua interezza all'elaborato 1.45 del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica:

- Inquadramento geografico;
- Inquadramento dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici generali dell'area di intervento e di un suo congruo intorno significativo;
- Descrizione delle indagini geognostiche pregresse;
- Sintesi della caratterizzazione geotecnica;
- Analisi del rischio geomorfologico e idraulico;
- Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

Inoltre, saranno valutate le scelte progettuali in tema di compatibilità geologica con il tracciato, le modalità e sezioni di posa della tubazione e materiali della stessa, in base alle informazioni ad oggi disponibili.

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [3] "Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli", approvato dalla Giunta Regionale il 17 marzo 2003 (DGR 350/2003);
- [4] "Variante di Coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico", Approvazione dalla Giunta Regionale il 5 dicembre 2016 (DGR 2112/2016);
- [5] Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (Deliberazione n. 235 del 3 marzo 2016 dai Comitati Istituzionali Integrati).
- [6] Norme di Piano PAI - Progetto di Variante 2016 - Chiarimenti e precisazioni comma 2 art. 21;

2.2 Bibliografia

- [7] Carta Geologica d’Italia alla scala 1: 50.000 e Note illustrative. F240-241 “Forlì-Cervia”; Progetto CARG.
- [8] Carta Geologica d’Italia alla scala 1: 50.000 e Note illustrative. F255 “Cesena”. Progetto CARG.
- [9] Carta Geologica d’Italia alla scala 1: 50.000 e Note illustrative. F256 “Rimini”. Progetto CARG.
- [10] Fabris, M., Achilli, V., Borgstrom, S., Floris, M., Fiaschi, S., & Siniscalchi, V., 2014. Valutazione della subsidenza nell’area di Ravenna tramite un approccio integrato InSAR/livellazione classica. Conference paper, Asita 2014, pp. 517-524.
- [11] Kjekstad, O., Lunne, T., Clausen, C.J.F.; 1978. Comparison between in situ cone resistance and laboratory strength for overconsolidated North Sea clays, Marine Geotechnology, 3:1, pp. 23-36.
- [12] Geoportale della regione Emilia – Romagna <https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/catalogo/dati-cartografici/>
- [13] Idroser, 1978. Progetto di piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche in Emilia-Romagna, Convenzione Reg. Emilia-Romagna – ENI, Vol. 7, sez.1a.
- [14] Portale dell’agenzia prevenzione ambiente energia Emilia-Romagna – Arpae <https://www.arpae.it/it>
- [15] Regione Emilia-Romagna, ENI – AGIP, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. S.EL.CA, Firenze.
- [16] Cestari F., 1990. Prove Geotecniche in sito – ed. GEO-GRAPH.

- [17] Schmertmann, J.H., 1975. In-Situ measurement of shear strength. State-of-the-Art Paper, Session III, Proceedings of the Conference on In-Situ measurement of soil properties, Specialty Confererence of the Geotechnical Div., ASCE, North Carolina State University, raleigh, Volume 1, pp. 57-138.
- [18] “Campagna di indagine geognostica di 1° fase – Relazione geologica e idrogeologica” redatta Dott. Geol. Roncuzzi, Novembre 2019 di cui l’elaborato 1.45 del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica.
- [19] Ricci Lucchi, F., Colalongo, M.L., Cremonini, G., Gasperi, G., Iaccarino, S., Papani, G., Raffi, S., Rio, D., 1982. Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico. In: Cremonini, G., Ricci Lucchi, F. (Eds.), Guida Alla Geologia Del Margine Appenninico – Padano. Guida Geologica Regionale della Società Geologica Italiana, pp. 17–46.
- [20] Meyerhof, G. G., 1974. Penetration testing outside Europe. General Report, Proc. European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, 2.2, 40–48.
- [21] Lunne, P.K., Robertson, P.K., and Powell J.J.M., 1997. Cone Penetration Test in Geotechnical Praticce – Press Taylor&Francis Group.
- [22] Severi, P., e Bonzi, L., 2012. Introduzione all’idrogeologia della pianura emiliano-romagnola. Documento di sintesi del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli dell’Emilia-Romagna.
- [23] Durgunoglu, H.T and Mitchell, J.K., 1975. Static penetration resistance of soils: I-ANALYSIS. Proceedings, ASCE Specialty Conference on in-situ Measurement of Soil Parameters, Raleigh, Vol. 1.
- [24] Mitchell, J.K., and Gardner, W. S., 1975. In-situ measurement of volume change characteristics. State-of-the-Art Report, Proceedings of the Conference on in-situ Measurement of Soil Properties, Specialty Conference of the Geotechnical Division, North Carolina State University, Raleigh, Vol. 11.
- [25] INGV – Catalogo parametrico dei Terremoti Italiani 2015 version 3.0 https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/
- [26] INGV – Database delle sorgenti sismogenetiche italiane <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- [27] Meletti C., Valensise G. (a cura di) (2004). Zonazione sismogenica ZS9. In: Gruppo di Lavoro, Re-dazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, App. 2, 38 pp.
- [28] INGV – Modello di pericolosità sismica MPS04-S1 <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>
- [29] Distribuzione dei punti di monitoraggio dell’acquifero costiero <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/acque/risorse-idriche-pianura/pdf-acquifero-costiero>

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'infrastruttura progettata prevede lo sviluppo complessivo di m 52.927,05 di condotte di diametro DN800 e DN900 e quattro nuove Cabine denominate: Cabina di Via Masullo (in Comune di Ravenna), Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo (in Comune Cesena), Cabina di Macerone (in Comune Cesena) e Cabina di Via Longana (in Comune di Rimini).

La Terza direttrice si innesta in tre punti all'esistente Acquedotto della Romagna. Essi sono:

- in località Standiana (Fosso Ghiaia, Comune di Ravenna), sull'esistente condotta in ghisa DN900 della linea impianto di potabilizzazione NIP2 (o Impianto di potabilizzazione Standiana) – Cabina di Gramadora (4LSUB24), in corrispondenza di cui è progettata la Cabina di Via Masullo;
- in corrispondenza dell'impianto di sollevamento di Forlimpopoli (o serbatoio Maraldi, Comune di Forlimpopoli) collegato al Serbatoio di Monte Casale in Comune di Bertinoro (4LSUB16 e 4LSUB17) e al campo pozzi di Via Montaspro di Forlì (4LSUB13);
- in località Macerone (Comune di Cesena), sull'esistente condotta in acciaio DN1200 della linea Serbatoio Monte Casale – Cabina Cesenatico (4LSUB1) in corrispondenza di cui è progettata la Cabina di Macerone;
- in località Case Pedrera Grande (Comune di Rimini) sull'esistente condotta in ghisa DN900 della linea Cabina Bellaria – Cabina Rimini (4LSUB7) dove è progettata la Cabina di Via Longana.

L'organizzazione dei lavori è prevista in tre lotti funzionali per garantire una progressiva messa in esercizio dell'opera. Essi sono:

- I Lotto: collegamento tra l'impianto di sollevamento di Forlimpopoli e l'impianto di potabilizzazione NIP2

Lunghezza complessiva: m 25.409,84

- Tratta Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo (Comune di Cesena) – Cabina di Via Masullo

Lunghezza: m 15.804,21

Diametro condotta da utilizzare: DN800

- Tratta impianto di sollevamento di Forlimpopoli - Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo

Lunghezza: m 9.605,63

Diametro condotta da utilizzare: DN900

- Il Lotto: collegamento tra Cabina di Sant'Andrea in Bagnolo e Cabina di Macerone

Lunghezza: m 11.372,30

Diametro condotta da adottare: DN900

- III Lotto: collegamento tra Cabina di Macerone e Cabina di Via Longana

Lunghezza: m 16.144,91

Diametro condotta da adottare: DN800.

Oltre alle condotte ed alle cabine di nodo sopracitate sono previsti:

- opere connesse al loro funzionamento quali camerette di intercettazione e pozzetti di linea (sfiati e scarichi), protezione catodica quando il materiale costituente è acciaio e rete di trasmissione dati in fibra ottica;
- interventi puntuali

- allaccio al serbatoio di Monte Casale della tubazione già posata DN1000, con i lavori conclusi nel novembre 2002, per una lunghezza di circa m 130 che potrà quindi veicolare la risorsa all'impianto di sollevamento di Forlimpopoli (4LSUB17);
- veicolazione tramite nuova condotta dell'acqua grezza all'impianto di filtrazione adiacente a quello di sollevamento di Forlimpopoli;
- potenziamento dell'impianto di sollevamento di Forlimpopoli;
- potenziamento dell'impianto di sollevamento al NIP2.

Vengono indicati con gli ID ATERSIR: 2014RAAC0005 - 4LSUB26 il collegamento Standiana-Forlimpopoli-Macerone (I e II Lotto) e 2017RAAC0003 - 4LSUB27 il collegamento Macerone-Torre Pedrera (III Lotto).

4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Terza direttrice in progetto collega le tre province della Romagna (Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini), attraversando 10 comuni (da ord a ud): Ravenna; Bertinoro; Forlimpopoli; Cesena; Cesenatico; Gatteo; Savignano sul Rubicone; San Mauro Pascoli; Bellaria-Igea Marina e Rimini.

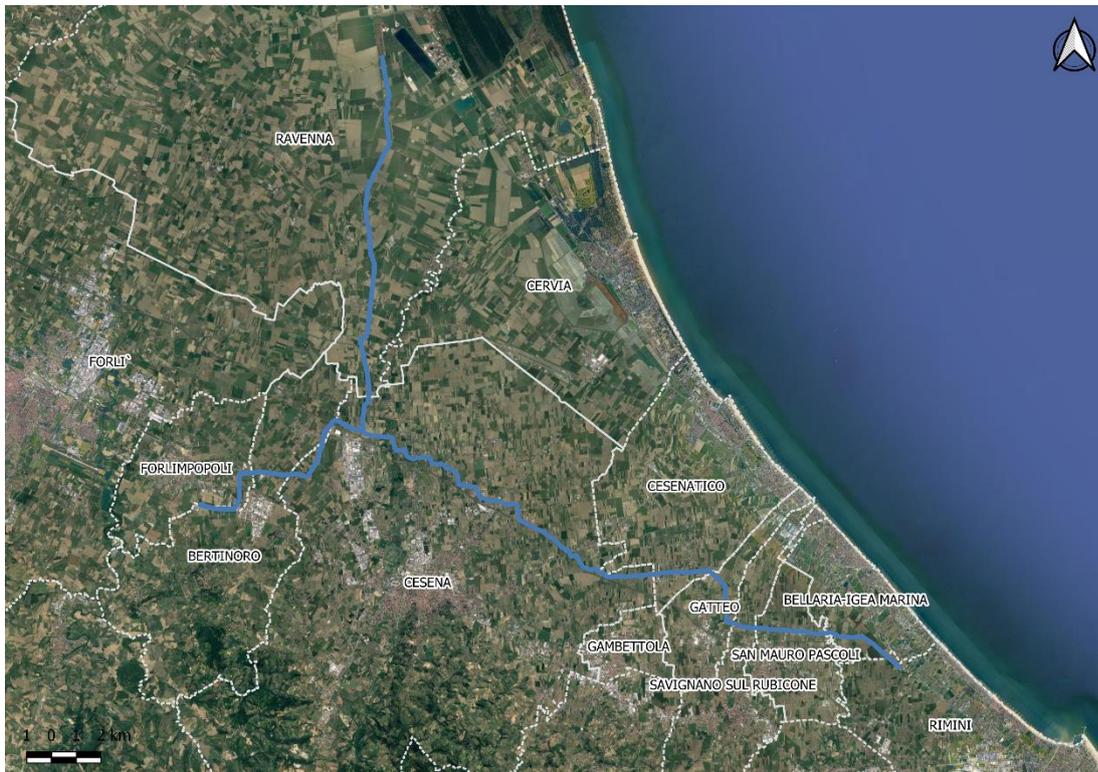


Figura 4-1: Inquadramento geografico della terza direttrice

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area interessata dal tracciato della condotta risulta compresa nei Fogli della Carta Geologica d'Italia in Scala 1.50.000: n° 240-241 "Forlì - Cervia", n° 255 "Cesena", n° 256 "Rimini".

Dal punto di vista geologico, il tracciato attraversa principalmente le unità stratigrafiche del Quaternario appartenenti al Supersistema Emiliano-Romagnolo.

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di Ricci Lucchi et alii, 1982) ed i sedimenti continentali e marini ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola.

Il limite inferiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo non affiora nell'area, ma affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi a sud. Quest'unità comprende due sistemi distinti: Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI); e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore non affiora mai, è individuabile soltanto nelle indagini di sottosuolo e costituisce la parte più antica del Sistema Emiliano-Romagnolo.

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore costituisce la porzione superiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Esso comprende depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. L'età della sua base è attribuita, per posizione stratigrafica e per confronto con i cicli climatico-eustatici, al Pleistocene.

Nell'area del tracciato di progetto sono affioranti il Subsistema di Ravenna (AES₈) appartenente a questo sistema e la sua sottounità, l'Unità di Modena (AES_{8a}).

5.1 Subsistema di Ravenna (AES₈)

Lungo il tracciato in progetto si riscontrano depositi composti da argille, limi e alternanze limoso-sabbiose di trascinamento fluviale (piana inondabile, argine e trascinamenti indifferenziati) bruni e giallastri riferibili ad una piana alluvionale drenata con suoli al tetto appartenenti a questo subsistema.

Il limite superiore è coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei possono contenere reperti archeologici di età del bronzo al Romano. I suoli calcarei appartengono all'Unità AES_{8a}. Il limite inferiore è sempre sepolto ed è dato dal contatto netto tra depositi fini, scuri, di piana non drenata, palude, laguna e barriera trasgressiva.

Nel territorio interessato dalla condotta di progetto, il Subsistema di Ravenna ha una geometria complessiva relativamente tabulare con spessori che variano dai 25m al limite Nord della condotta presso l'area della "Standiana" (a sud di Ravenna) sino 18÷20 m al limite Sud-Ovest, presso Forlimpopoli ed ai 16÷18m ad Est presso Torre Pedrera.

5.2 Unità di Modena (AES_{8a}),

Lungo il tracciato sono riconoscibili depositi di ghiaie e sabbie, di canale fluviale organizzate in unico ciclo di terrazzo e depositi costituiti da alternanze di sabbie, limi e argille di trascinamento fluviale distinti in depositi di argine e



ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6

47121 Forlì (FC)

Tel. +39-(0543)-473892

E-mail: info@eltec-service.it

depositi di piana inondabile. Il limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico è costituito, come detto in precedenza, da suoli calcarei, privo di reperti archeologici romani o più antichi è caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie. Il limite inferiore è rappresentato dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo di epoca romana (o più antica).

Con una potenza media stimata non superiore ai 3 metri al di sotto del riporto antropico; essa è quindi un'unità pellicolare, di pochi metri di spessore, che talora raggiunge gli 8 m solo in corrispondenza dei riempimenti dei principali canali fluviali (più a monte) o lungo le fronti deltizie.

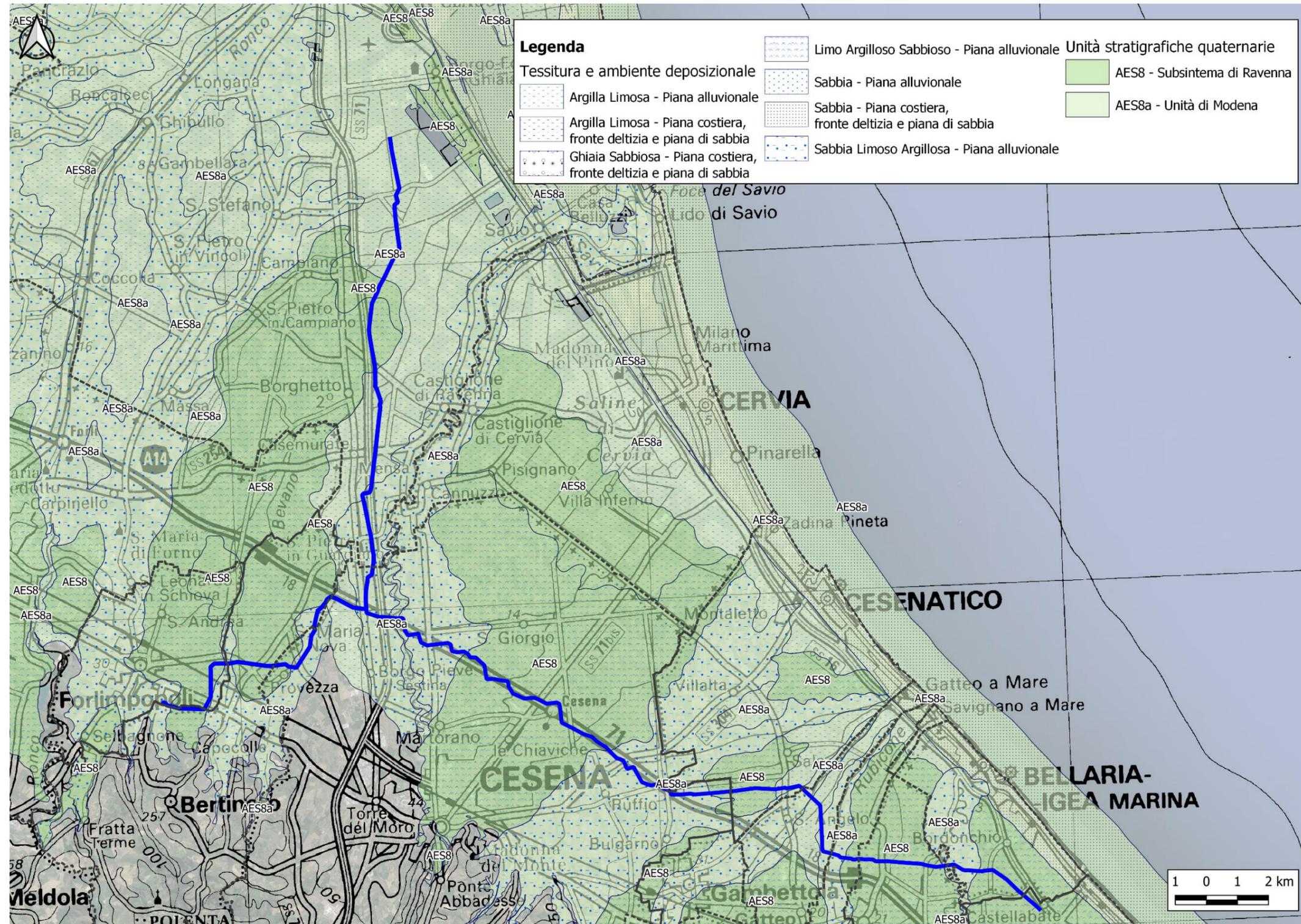


Figura 5-1: Carta geologica del tracciato (fonte: Geoportale Emilia-Romagna [12])

6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Tutta l'area in esame è occupata dai depositi tardo-quadernari della Pianura Padana. Le quote variano da -1.3 m s.l.m. in località Standiana (Ravenna) fino ai 30.5 m s.l.m. a Forlimpopoli.

Il piano topografico scende progressivamente verso nord-est fino a raggiungere il livello del mare nella zona costiera. L'unica area topograficamente depressa al di sotto del mare ha un'estensione limitata ed è presente a ridosso della Valle Standiana.

I processi morfogenetici caratteristici di questa zona sono principalmente di origine fluviale: infatti, tale territorio fa parte della Piana a copertura alluvionale nella quale i torrenti appenninici in occasione delle piene rompevano gli argini o tracimavano, spandendo le loro acque nelle aree basse adiacenti e modificando ripetutamente il loro corso.

I depositi sabbiosi ed i suoli a tessitura da media a moderatamente grossolana sono principalmente connessi con i paleoalvei e occupano le zone lungo i fianchi dei corsi d'acqua attivi o abbandonati, mentre i sedimenti a granulometria fine occupano generalmente le aree alluvionali in cui anche i suoli presentano una tessitura argillosa. Nelle aree di transizione si riconoscono suoli con tessitura da media a moderatamente fine. La zona in esame è caratterizzata da depositi connessi principalmente alla dinamica fluviale dei fiumi / torrenti.

Nell'area in esame, è presente un fitto reticolo di corso d'acqua. I fiumi principali, che scorrono da sud-ovest verso nord-est, seguendo il gradiente topografico regionale, sono: Ronco, Bevano, Savio, Pisciatello, Rubicone e Uso.

I corsi d'acqua secondari sono dati da una fitta rete di torrenti, fossi, scoli e canali di bonifica che drenano, in gran parte, la bassa pianura nord-orientale. L'area del tracciato è ampiamente inserita in un contesto di pianura alluvionale, in cui i processi di sedimentazione prevalgono rispetto a quelli erosivi ed infatti si riducono progressivamente le scarpate di terrazzo e, si riduce sensibilmente il dislivello tra le quote degli alvei dei fiumi principali e quelle della pianura circostante, mentre compaiono gli argini attorno agli alvei dei corsi d'acqua secondari.

6.1 Subsidenza

La subsidenza è un fenomeno di abbassamento del suolo che può avere sia cause naturali legate a processi geologici, sia cause artificiali legate all'azione dell'uomo.

L'Emilia-Romagna, in particolar modo la fascia costiera e la zona del delta del Po, è soggetta a un abbassamento naturale principalmente legato alla sedimentazione degli apporti fluviali legati all'attività del fiume Po e ai fenomeni tettonici profondi, ma a partire dal 1950 ha subito un drammatico abbassamento del suolo dovuto sia all'eccessivo prelievo di acqua dal suolo legato allo sviluppo economico e turistico, sia alla presenza di giacimenti metaniferi [10].

Per tali motivi, è stata installata una rete di monitoraggio per tenere sotto controllo il fenomeno. Dai report dell'Arpa degli ultimi anni si evince che questo fenomeno si stia riducendo.

In ogni caso, secondo i dati dell'ultimo monitoraggio di subsidenza nel periodo 2011-2016, lungo l'area di tracciato, l'abbassamento varia dai -7.5/-5 mm/anno nell'area di Mensa e Palazzone (Ravenna), vicino al fiume Savio e nei pressi della cabina di Sant'Andrea in Bagnolo (Cesena) ai -2.5/0 mm/anno costante nella maggior parte dell'area di studio.

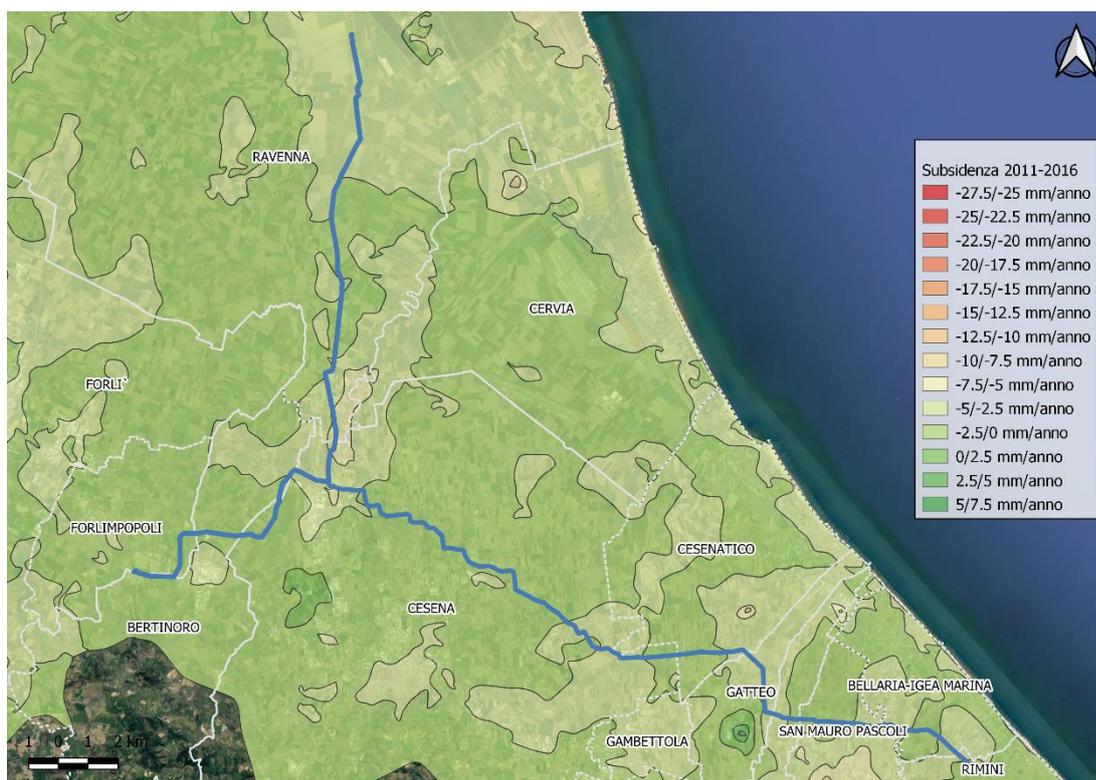


Figura 6-1: Subsidenza nell'area di studio – rilievo 2016 (fonte: Arpae [14]).

7 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Per quanto riguarda l'idrografia, il tracciato in progetto interferisce, come già accennato, con le aste fluviali dei fiumi e torrenti appenninici e con canali e scoli consorziali.

L'area oggetto di studio può essere suddivisa in diversi settori, caratterizzati da piane interfluviali separate dai fiumi principali:

- il settore settentrionale, ubicato a nord di San Zaccaria (Ravenna), tra i fiumi Uniti (formato dalla confluenza dei fiumi Montone e Ronco) e il torrente Bevano, il tracciato interferisce con lo Scolo Acquara Alta nei pressi del Podere San Giovanni (Ravenna);
- il settore compreso a sud di San Zaccaria e a ovest di Ronta (Cesena) tra il torrente Bevano e il fiume Savio, il tracciato corre parallelo allo Scolo consorziale Dismano, intersecandolo nella diramazione occidentale dello stesso. L'opera in progetto interseca: lo scolo Bevanella ad est di Podere Murano (Ravenna); il Canale Emiliano Romagnolo a nord ovest di Mensa (Ravenna) e lo Scolo Sant'Andrea del Saraceta in prossimità di Sant'Andrea in Bagnolo (Cesena);
- l'estremità sud-occidentale tra il torrente Bevano e il fiume Ronco, il quale non viene intercettato dal tracciato;
- la tratta centro-orientale compresa tra fiume Savio e il torrente Pisciatello nei pressi di Macerone (Cesena), in questo tratto il tracciato interferisce con Rio Mesola del Montaletto a sud-ovest di Gattolino (Cesena)
- il settore tra il torrente Pisciatello e il fiume Rubicone a nord di Fiumicino (Gatteo), l'opera interseca: lo Scolo Olca a sud-ovest di Macerone; il Canale Emiliano Romagnolo, a nord di Cascina Franchini (Cesena); lo Scolo Fossalta del Rigoncello, a sud-ovest di Sala di Cesenatico; il Fosso Gambettola a sud-est di Sala di Cesenatico; il Canale Rigossa nei pressi di località Bosca (Gatteo); lo Scolo Baldone nei pressi di Cascina Briganti (Gatteo);
- la tratta compresa tra il fiume Rubicone e il fiume Uso sul confine tra San Mauro Pascoli e Bellaria-Igea Marina, il tracciato interferisce con: lo Scolo Fossatone Cavaticcia nei pressi di Cascina Scarpellini (Savignano sul Rubicone); lo Scolo Rio Salto nei pressi de la Raschina (San Mauro Pascoli);
- infine, l'estremità sud-orientale tra il fiume Uso e il fiume Marecchia, che non interseca il tracciato in progetto, e interferisce con lo Scolo Fontanaccia sul confine tra Rimini e Bellaria.

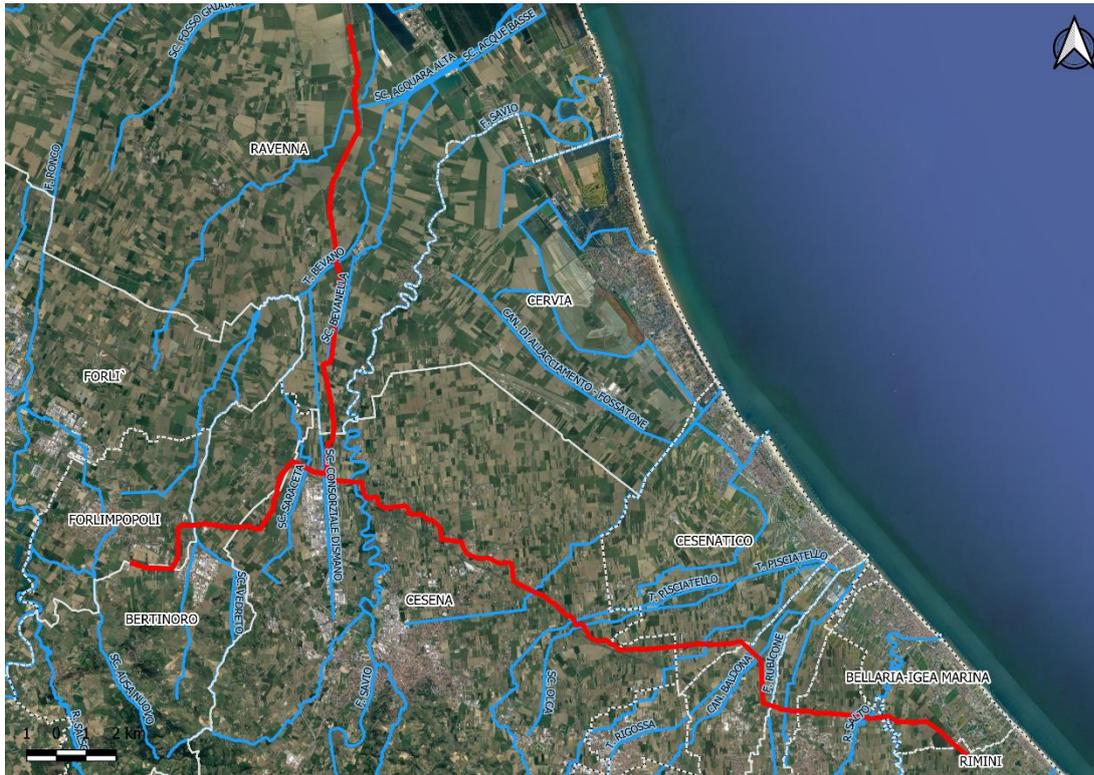


Figura 7-1: Inquadramento idrografico del tracciato (fonte: Geoportale Emilia-Romagna [12])

Esaminando le sezioni geologiche profonde del sopracitato studio [15], nell'area compresa tra i territori di Cesena, Cesenatico, Savignano S. Rubicone, S. Mauro Pascoli, Bellaria-Igea Marina e Rimini, è possibile osservare che il Complesso Acquifero A1, più superficiale, presenta nell'area di progetto uno spessore compreso tra i 60 e gli 80 m; mentre nel ravennate è valutata attorno ai 100 m di profondità e nell'alta pianura presso Forlimpopoli tra i 50 ed i 60 metri.

In particolare, nell'area interessata dalla condotta in progetto è possibile riconoscere una struttura idrogeologica, relativa all'acquifero superficiale, che interessa i primi 10-20 m di profondità ed un sistema di acquiferi profondi costituiti da falde acquifere in pressione il cui limite inferiore è rappresentato dall'interfaccia acqua dolce acqua salmastra [13]. È possibile ipotizzare la suddivisione del sistema nelle seguenti unità idrogeologiche, dall'alto verso il basso:

- acquifero freatico (superficiale):
Nonostante l'ampia area interessata dal tracciato della condotta, che si sviluppa dalla bassa pianura ravennate sino all'alta pianura presso Forlimpopoli (a sud ovest) e la media pianura (tratto dal comune di Cesena sino a Torre Pedrera), si può affermare che l'acquifero superficiale presenta mediamente una potenza compresa tra i 10 ed i 20 m di profondità ed è contenuto principalmente in terreni fini costituiti per lo più da limi argillosi o argille limose e limi sabbiosi o talora sabbie limose in secondo ordine (in corrispondenza dei paleoalvei); risulta comunque difficile identificare una struttura ben definita poiché i terreni alluvionali misti prevalgono su quelli ben classati (sabbie) infatti, questi ultimi presentano una limitata estensione laterale. L'acquifero superficiale è quindi legato ad una circolazione in terreni a tessitura mista (limi sabbioso-argillosi sabbie limose, argille sabbiose ecc.) passante localmente a lenti sabbiose alternate a terreni impermeabili o semipermeabili. È quindi ipotizzabile una natura semiconfinata degli acquiferi con scarsa circolazione idrica e di conseguenza scarsa potenzialità idrica dei pozzi superficiali. L'alimentazione avviene sia lateralmente in connessione con i canali e le aste fluviali (sia verticalmente grazie alle precipitazioni). Essa è regimata dalla rete di canali e scoli consorziali, per lo più controllata da impianti idrovori e, vista la scadente qualità, soggetta a modesti emungimenti.
- livello impermeabile argilloso di separazione:
Caratterizzato da sottili intercalazioni di sabbie alluvionali.
- sistema di acquiferi con falde in pressione:
Il sistema di acquiferi profondi con falde in pressione è formato da una serie di orizzonti permeabili sabbiosi riconducibili ad un unico acquifero multistrato a scala regionale, alimentato, per flusso sotterraneo, dalla retrostante pianura pedecollinare (conoidi).
L'assetto strutturale del letto dell'acquifero multistrato ricalca l'andamento delle strutture prequaternarie. I singoli acquiferi mostrano un andamento analogo e risultano articolati da blande pieghe anticlinaliche e sinclinaliche, che si smorzano progressivamente dal

basso verso l'alto, sino a raggiungere uno stato di quasi orizzontalità negli acquiferi superiori.

8.2 Piezometria

Relativamente all'assetto freaticometrico, la direzione generale del deflusso del settore romagnolo del bacino sedimentario padano è mediamente verso Nord-Est, e certamente il fiume Savio ed i torrenti appenninici, attraversati in area di media o alta pianura, hanno caratteristiche di drenaggio nei confronti della falda. Le oscillazioni stagionali della profondità della falda sono mediamente comprese tra 1,0 e 1,5 m.

Nell'ambito del progetto di fattibilità tecnica ed economica di prima fase, è stata misurata la profondità della falda freatica; nel periodo tra marzo 2019 e dicembre 2020 e, mediando le misure effettuate, è risultata compresa tra -1,10 m presso Ravenna (Da Via Masullo a Via Standiana) e -7,0÷-8,9 m in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Savio. A parte tali estremi, la profondità media è di circa 2,5÷2,8 m dal piano campagna.

Dai seguenti grafici, si può notare che:

- nella maggior parte dei fori di misurazione il livello piezometrico rimane costante per tutto il periodo di misura, a parte i casi eccezionali nei pressi del fiume Savio, in cui è variabile con periodi di rialzo e di abbassamento, molto probabilmente legato alla vicinanza del corpo idrico;
- per tutta la lunghezza del tracciato, la falda rimane prossima al piano campagna e difficilmente si abbassa a -4.60 m (tranne che nel sopracitato tratto in prossimità del fiume Savio), che è la profondità massima degli scavi per l'interramento della condotta, ciò indica che i lavori verranno eseguiti, per lo più, sottofalda.
- per tutta la lunghezza del tracciato, gli scavi potranno incontrare il livello di falda a profondità variabili in funzione delle zone interessate dal tracciato della condotta.

Tali indicazioni potranno essere determinate con maggior precisione nelle indagini geognostiche e piezometriche propedeutiche alle successive fasi progettuali.

In questa fase, i dati di falda risultano parziali, pertanto, una volta effettuata la campagna geognostica con il completo monitoraggio della falda, si potranno effettuare nuove valutazioni e definire le fasi di dettaglio del progetto definitivo.

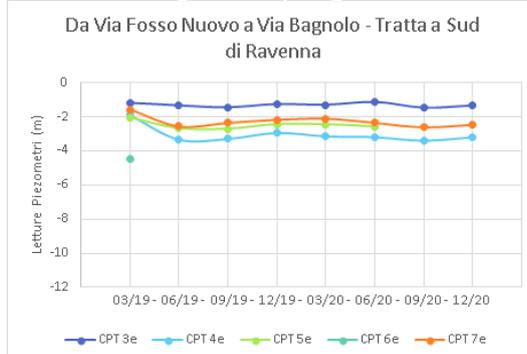
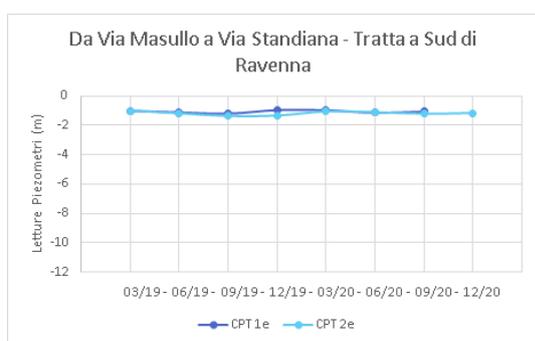




Figura 8-2: Andamento della falda nell'area di tracciato.

8.3 Ingressione del cuneo salino

Dato che lo sviluppo della direttrice in progetto è prossimo alla linea di costa, è stato valutato anche il rischio di ingressione di acqua salina in falda. In particolare, questo rischio è stato esaminato nel dettaglio nella parte di tracciato ubicato nel comune di Ravenna e nel comune di Rimini. Come si può osservare dall'immagine sottostante, il tracciato rimane al di fuori dell'area

dell'acquifero costiero sepolto. In ogni caso, le indagini propedeutiche alla fase di progettazione definitiva approfondiranno anche tale aspetto.

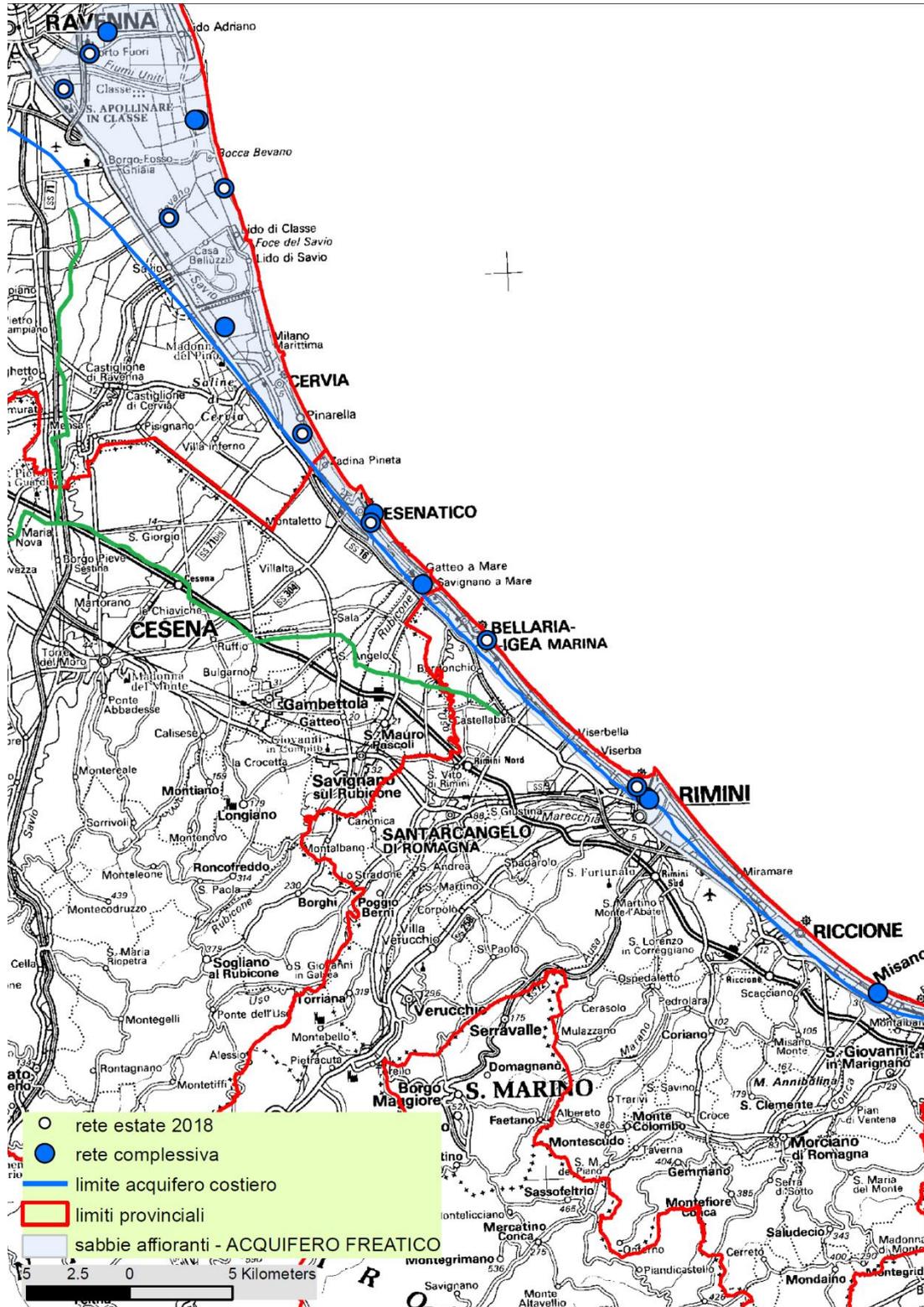


Figura 8-3: distribuzione dei punti di monitoraggio dell'acquifero costiero, in verde il tracciato della direttrice.

9 CAMPAGNA GEOGNOSTICA ESEGUITA

La campagna geognostica condotta nell'ambito del progetto di fattibilità tecnica ed economica di prima fase ha previsto:

- n° 35 prove penetrometriche statiche con punta piezocono "CPTU";
- n° 11 indagini geofisiche integrate "MASW + tromino (HWSR)";
- n° 11 prelievi di campioni di terre e rocce da scavo e di un campione d'acqua di falda in corrispondenza di alcuni punti di indagine CPTU.

Sono inoltre stati posizionati, in ciascun punto di indagine CPTU, piezometri a tubo aperto (tipo Norton) al fine di eseguire una campagna di misurazioni, con cadenza trimestrale, del livello della falda freatica nel periodo marzo 2019 – dicembre 2020.

Per ulteriori approfondimenti, si rimanda alla relazione [18].

9.1 Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU

Le prove penetrometriche sono state eseguite con un penetrometro statico-dinamico da 20 tonnellate in spinta ed estrazione (modello Pagani TG 63/200 cingolato) e sono riassunte nella seguente tabella, insieme ai prelievi di campioni di terre e rocce da scavo:

Sondaggio	profondità dal p.c. (m)	quota (m s.l.m.)	Coordinate WGS84	
			Longitudine (°)	Latitudine (°)
prelievo terre e rocce da scavo 1	2.20	0.30	12.2331	44.33695
CPTU1	15.00	0.30	12.23323	44.33693
CPTU2	15.00	0.20	12.23052	44.32194
CPTU3	15.00	0.90	12.23932	44.30753
prelievo terre e rocce da scavo 4	2.30	2.00	12.2289	44.2952
CPTU4	15.00	2.00	12.22872	44.2952
CPTU5	15.00	4.90	12.22564	44.27933
CPTU6	15.00	8.00	12.22472	44.26479
prelievo terre e rocce da scavo 7	3.00	10.50	12.22804	44.24761
CPTU7	15.00	10.50	12.22792	44.24758
CPTU8	15.00	15.50	12.2207	44.23157
CPTU9	15.00	20.60	12.22504	44.21568
CPTU10	15.00	21.00	12.21173	44.20331
prelievo terre e rocce da scavo 10	3.00	21.00	12.21182	44.20331
prelievo terre e rocce da scavo 11	2.30	26.00	12.20177	44.18784
CPTU11	15.00	26.00	12.2017	44.18775
CPTU12	15.00	25.00	12.18048	44.18836
CPTU13	15.00	24.20	12.15483	44.18975
CPTU14	15.00	27.50	12.15361	44.17545
prelievo terre e rocce da scavo 14	2.50	27.50	12.15362	44.17541

Sondaggio	profondità dal p.c. (m)	quota (m s.l.m.)	Coordinate WGS84	
			Longitudine (°)	Latitudine (°)
CPTU15	15.00	31.40	12.13401	44.17622
CPTU16	20.00	24.00	12.22555	44.1972
CPTU17	19.00	24.30	12.22868	44.19758
CPTU18	19.00	24.40	12.23082	44.19697
CPTU19	20.00	25.00	12.23288	44.19644
CPTU20	15.00	21.00	12.25181	44.18964
CPTU21	15.00	18.60	12.27089	44.17813
prelievo terre e rocce da scavo 21	3.00	18.60	12.27086	44.17811
CPTU22	15.00	17.20	12.28922	44.17272
CPTU23	15.00	16.10	12.30744	44.16106
CPTU24	15.00	19.30	12.32257	44.15353
prelievo terre e rocce da scavo 24	3.00	19.30	12.32249	44.1535
CPTU25	15.00	18.50	12.33714	44.14467
CPTU26	15.00	13.10	12.36209	44.14054
CPTU27	15.00	11.20	12.38702	44.14
prelievo terre e rocce da scavo 27	3.00	11.20	12.38692	44.14
CPTU28	20.00	18.00	12.39983	44.12633
CPTU29	20.00	15.00	12.40414	44.12685
prelievo terre e rocce da scavo 30	3.00	12.50	12.42533	44.11836
CPTU30	15.00	12.50	12.42521	44.11835
CPTU31	20.00	13.60	12.44776	44.11703
CPTU32	11.50	13.50	12.45219	44.11727
CPTU33	20.00	14.10	12.45523	44.1123
CPTU34	15.00	13.20	12.46883	44.10814
CPTU35	15.00	14.00	12.48466	44.10628
prelievo terre e rocce da scavo 35	4.30	14.00	12.48463	44.10627

Tabella 9-1: Riassunto delle prove CPT e prelievo di terre e rocce da scavo nella campagna indagine progressa.

9.2 Indagini geofisiche

Per la definizione delle caratteristiche di risposta sismica del terreno di si è tenuto conto dei risultati delle otto indagini geofisiche integrate "MASW + tromino".

La tabella sottostante riporta l'identificativo, la quota, le coordinate, i valori di Vs equivalente e la risultante categoria di suolo delle prove MASW eseguite.

ID	quota (m s.l.m.)	Coordinate WGS84		V _{s,eq} (m/s)	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)
		Longitudine (°)	Latitudine (°)		
MASW2	0.20	12.230571	44.321502	194	C
MASW5	4.90	12.238473	44.300950	202	C
MASW8	15.50	12.220525	44.232824	202	C
MASW11	26.00	12.201703	44.187745	189	C
MASW14	27.50	12.153608	44.175453	200	C
MASW18	24.40	12.230815	44.169710	192	C
MASW22	17.20	12.289222	44.172722	185	C
MASW25	18.50	12.337139	44.144667	204	C
MASW28	18.00	12.399833	44.126333	181	C
MASW32	13.50	12.452191	44.117271	221	C
MASW35	14.00	12.484656	44.106276	181	C

Tabella 9-2: Riassunto delle prove geofisiche nella campagna indagine progressa.

10 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Sulla base delle indagini geognostiche disponibili, eseguite nel periodo febbraio – aprile 2019, sono state distinte alcune tratte correlando ed omogeneizzando le litologie riscontrate, nell'area in cui sarà ubicata la condotta di progetto.

Per ciascuna tratta individuata, vengono individuate le litologie discretizzate associate alle caratteristiche litologico – stratigrafiche ed i parametri fisico - meccanici medi del terreno, presenti sino alla profondità di interesse della condotta (prevista a profondità comprese tra i 2.5 m e 5.0 m dal piano campagna).

Questi parametri sono stati determinati tramite correlazioni dai risultati della CPTU, le quali hanno fornito una prima ricostruzione stratigrafica, che è riassunta di seguito, suddivisa per tratte omogenee. Le sezioni di scavo di progetto sono state proposte in funzione dei parametri geotecnici ricavati.

Relativamente ai "parametri caratteristici" ed a valutazioni di dettaglio, essi andranno considerati a seguito della campagna di indagine nelle future fasi di progettazione.

10.1 Tratta a Sud di Ravenna, da Via Masullo sino all'attraversamento della SP101

Terreni limoso argillosi, debolmente sabbiosi (limo argilloso con possibile sabbia finissima nella CPTU1) teneri o di bassa consistenza.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	ν	Litologia
1-2	17.1÷17.7	17.8÷18.4	19÷24 [21.8]	23.5÷53.9 [33.3]	2.16÷5.39	0.40÷0.45	LA/ LAdeb.S
CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo) ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann] Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977] M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.] ν = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia [] = il valore medio							

10.2 Tratta a Sud di Ravenna, da Via Fosso Nuovo all'attraversamento SP254(a Sud di S. Zaccaria)

Terreni argillosi o argilloso-limosi di bassa o media consistenza, talora sovraconsolidati per essiccamento nel primo metro e mezzo di profondità.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	ν	Litologia
3÷7	17.5÷18.1	18.2÷19.0	19÷25 [23]	29.4÷68.6 [49]	3.43÷6.86	0.38÷0.42	AL/LA
CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo) ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann] Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977]							

M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.]
 v = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia
 [] = il valore medio

10.3 Tratta a Sud di S. Zaccaria (RA), da Via Principessa Doria a S. Maria Nuova di Bertinoro

Si incontrano ancora terreni limoso argillosi o argilloso-limosi di bassa o media consistenza ma meno omogenei e talora inframmezzati da alcuni livelli decimetrici di sabbia limosa o limo sabbioso.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	v	Litologia
8÷12	17.5÷17.9	18.2÷18.8	19÷31 [23.5]	25.5÷68.6 [47.1]	2.45÷6.86	0.30÷0.40	LA/ AL deb.S

CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta

γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo)

ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann]

Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977]

M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.]

v = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia

[] = il valore medio

10.4 Area presso S. Pietro ai Prati (Forlimpopoli FC), Via Prati

Rispetto alla tratta più a Nord e più a Sud-Est, in corrispondenza di tale punto a litologia riscontrata si differenzia dagli altri punti di indagine: sino a 2,5 m si ha terreno argilloso di media consistenza, quindi da 2,5 a 3,8 limo debolmente sabbioso di elevata consistenza, e tra 3,8 e 5,0 m (sino agli 8,5 m di profondità) ancora limo argilloso, talora debolmente sabbioso, molto tenero e con una intercalazione decimetrica sabbiosa a 4,7 m.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	v	Litologia
13	17.1÷18.1	17.8÷18.9	19÷30 [25.5]	24.5÷73.6 [34.3]	2.26÷8.34	0.30÷0.42	AL passante a LSA oltre i 2,0m di prof.

CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta

γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo)

ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann]

Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977]

M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.]

v = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia

[] = il valore medio

10.5 Estremità Sud – Est del tracciato presso Forlimpopoli (FC) dalla Via Emilia (SS9) all’impianto di sollevamento di Forlimpopoli

Escludendo il primo metro di profondità in corrispondenza della CPTU 14, poiché la prova penetrometrica è stata effettuata sul bordo di un fossato, i terreni riscontrati appaiono argilloso-limosi o limosi. si tratta di terreni coesivi di media consistenza, leggermente sovraconsolidati per essiccamento presso la CPT 15 dove la falda freatica è stata riscontrata a circa 3,2m di profondità.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	ν	Litologia
14-15	17.8÷18.1	18.6÷19.0	22÷26 [23.8]	39.2÷73.6 [56.9]	3.73÷6.86	0.35÷0.40	AL/LA
CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo) ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann] Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977] M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.] ν = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia [] = il valore medio							

10.6 Tratta centrale con direzione Nord Ovest ÷ Sud-Est (escluso l'attraversamento del Savio) da Via Fornace SS3bis / all'attraversamento di Via Calabria (Cesena)

Terreni argilloso-limosi o limoso-argillosi con buona omogeneità litostratigrafica e talora con alcuni intervalli maggiormente limosi.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	ν	Litologia
16, 19÷22	17.8÷18.2	18.6÷19.1	24÷26 [24.5]	63.7÷88.3 [73.6]	5.39÷7.36	0.35÷0.40	AL/ LA deb.S
CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo) ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann] Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977] M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.] ν = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia [] = il valore medio							

10.7 Attraversamento del fiume Savio, a Nord di Pievesistina (Cesena)

In sinistra idrografica (CPTU 17): terreno argilloso-limoso o limoso-argilloso, di media consistenza, sino a 2,0 m di profondità e quindi sabbia limosa, da debolmente a mediamente addensata, sino a 5,5 m di prof. dal p.c.; al di sotto, sino a 18,8 m (max prof. raggiunta) alternanza di intervalli sabbiosi di potenza 0,5÷2,0 m con livelli limoso-argillosi di potenza 0,3÷1,5 m.

In destra idrografica (CPTU 18): terreno argilloso-limoso o limoso-argilloso, di media consistenza, sino a 1,5 m di profondità e quindi sabbia limosa mediamente addensata sino a 8,5 m di profondità, interrotta tra 6,0 e 7,0 m da

uno strato coesivo limoso-argilloso di bassa consistenza. Da 8,5 a 17 m di prof.: argilla limosa e/o limo argilloso di consistenza da bassa a media con la profondità; infine, tra 17 e 19,5 m di prof (max prof. raggiunta) sottili livelli di sabbia limoso-argillosa con intercalazioni centimetriche limoso argillose.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	ν	Litologia
17-18	17.7÷17.9	18.6÷19.1	25÷33 [31.5]	49.0÷58.8 [53.9] (*)	6.86÷13.73	0.25÷ 0.35	AL passante a SL oltre 1,5÷2,0m di prof.
CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo) ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann] Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977] M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.] ν = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia [] = il valore medio (*): valori caratterizzanti solo fino a 1.5/2 m di profondità.							

10.8 Tratta centro-orientale, con direzione Nord Ovest ÷ Sud-Est: da Via Mesola sino a Via Capannaguzzo (Cesena)

In questa tratta, a cavallo del torrente Pisciatello, si riscontrano terreni misti costituiti da limi-sabbiosi, leggermente predominanti e con addensamento da debole a medio, alternati a livelli limoso-argillosi mediamente consistenti e spesso debolmente sabbiosi; questi ultimi appaiono maggiormente presenti in corrispondenza della CPTU 23.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	ν	Litologia
23÷25	17.7÷18.1	17.7÷19.0	25÷33 [27.8]	0÷58.8 [29.4]	4.90÷19.61	0.35÷0.40	LS / SL/ LAS
CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo) ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.,1975, e Schmertmann] Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977] M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.] ν = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia [] = il valore medio							

10.9 Tratta orientale, con direzione Nord Ovest ÷ Sud-Est: da Via del Mare (Sala di Cesenatico FC) a Via Longana (RN)

Terreni argilloso-limosi o limoso-argillosi mediamente consistenti o consistenti, con rare (solo in alcuni punti di indagini) intercalazioni sabbioso-limose di potenza compresa tra 0,1÷0,5 m.

CPTU	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	ϕ' (°)	Cu (kPa)	M (Ed) (MPa)	ν	Litologia
26÷35	17.8÷18.1	18.6÷19.0	23÷26 [24]	49.0÷88.3 [63.7]	4.90÷7.36	0.35÷0.40	AL/LA

CPTU di riferimento caratterizzanti la tratta
 γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo)
 ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c., 1975, e Schmertmann]
 Cu (su) = Coesione non drenata (terreni coesivi) [Cestari: e Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell, 1977]
 M=modulo Edometrico [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.]
 ν = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia
 [] = il valore medio

10.10 Analisi di stabilità dello scavo

Sono state eseguite delle analisi speditive preliminari di stabilità, sulla base dei dati della campagna geognostica esperita, per valutare che le pendenze degli scavi siano idonei alla tipologia del terreno riscontrato fino a questo momento. Per tali analisi è stato utilizzato il software SlopeW – GeoSlope ver. 7.17 - GEOSTUDIO 2007.

Le analisi di stabilità sono state condotte seguendo la normativa NTC2018 [1], e verificando che il fattore di sicurezza minimo sia maggiore di 1.1. il valore del fattore di sicurezza minimo è rappresentato nelle seguenti figure ed è sempre maggiore del valore esplicitato in normativa.

I tre tipi di analisi sono state svolte con le seguenti caratteristiche comuni:

- con i parametri del terreno in condizioni non drenate (condizioni che sono rappresentative del tipo di litologia), i valori rappresentativi scelti per la modellazione sono i più bassi trovati dalla caratterizzazione geotecnica per la litologia più rappresentativa del tracciato e fattorizzati secondo normativa [1];
- applicando un sovraccarico di 26 kN/m³ che rappresenta il sovraccarico dei mezzi di transito del cantiere, e fattorizzato secondo normativa [1];
- in condizioni statiche, cioè non tenendo conto del sisma, data la temporaneità dello scavo;
- in assenza di falda, sia per tener conto dell'attività dei well point che deprimono localmente la superficie piezometrica, sia per tener conto delle condizioni in cui la falda sia naturalmente al di sotto del fondo scavo; il metodo di calcolo impiegato è di Bishop.

Le analisi svolte differiscono le une dalle altre per le seguenti caratteristiche:

- 1- le probabili superfici di scorrimento sono ricercate a livello locale;
- 2- le probabili superfici di scorrimento sono ricercate a livello globale.

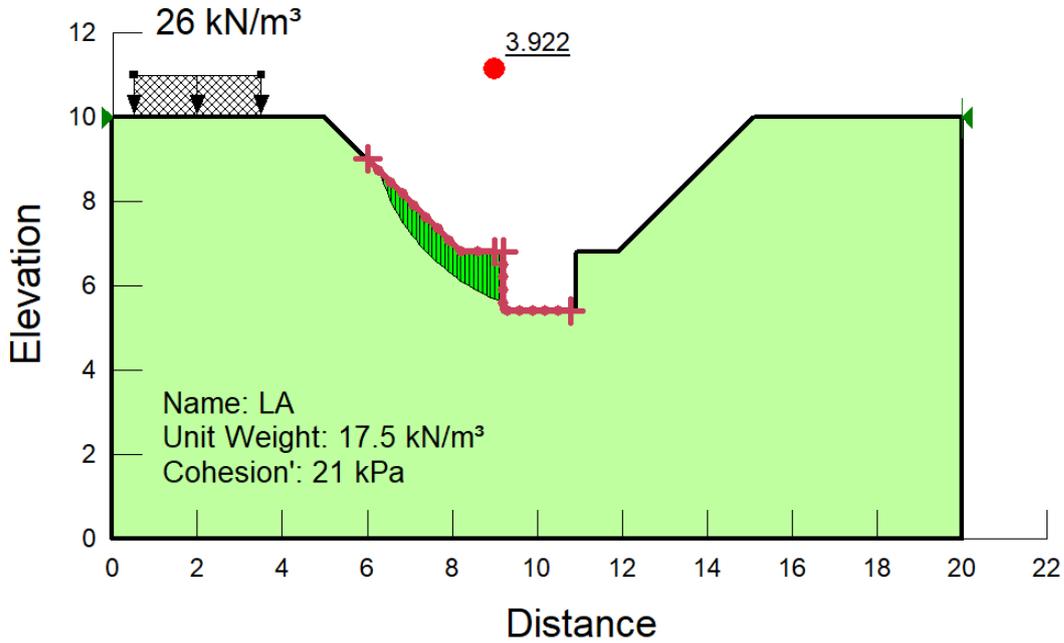


Figura 10-1: Analisi 1, stabilità locale.

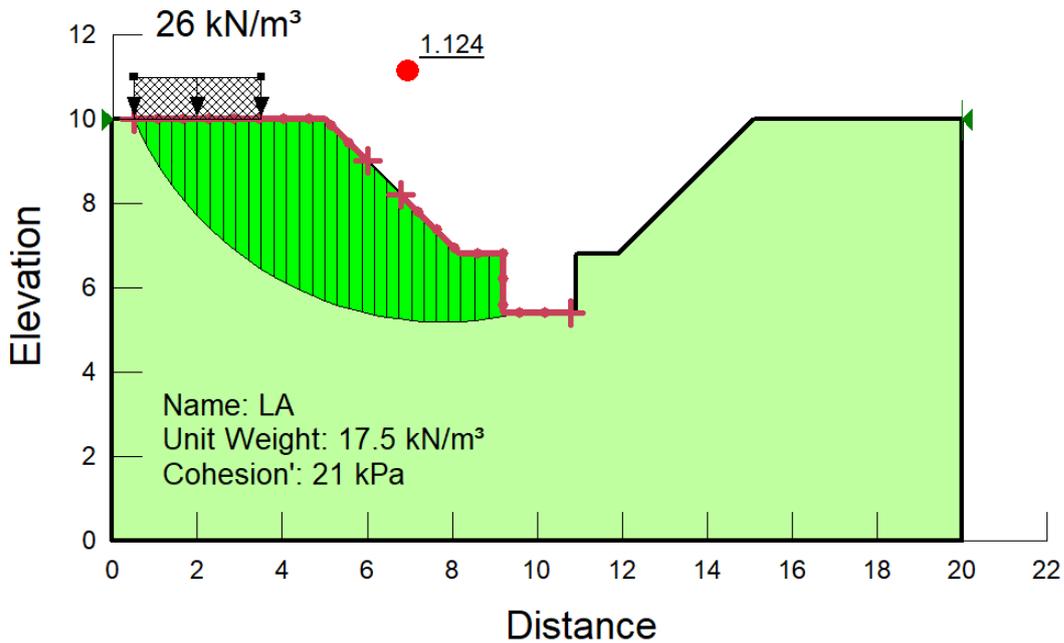


Figura 10-2: Analisi 3, stabilità globale.

Essendo i valori del fattore di sicurezza minimo di tutte le analisi maggiori e uguali a 1.1, le verifiche di stabilità risultano soddisfatte.

11 RISCHIO IDRAULICO

Per quel che riguarda il rischio idraulico, esso è legato alla dinamica dei corsi d'acqua rappresentato dalle possibili esondazioni, come conseguenza di tracimazioni o di collassi arginali; tale rischio è maggiorato per effetto della pensilità dei corsi d'acqua e per la morfologia pianeggiante delle aree adiacenti. È stato verificato quanto indicato dalla pianificazione di settore predisposto dalle:

- Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli,
- Autorità di Bacino Interregionale Marecchia-Conca, per il territorio dei Comuni di Rimini e Bellaria.

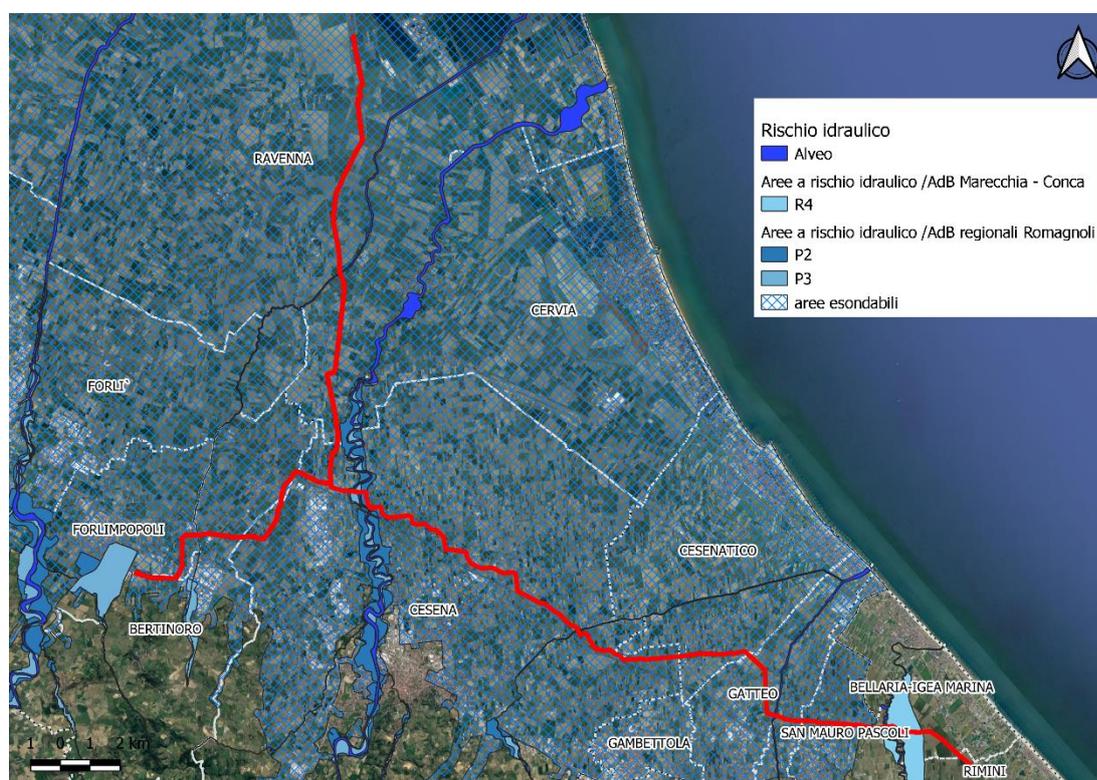


Figura 11-1: Rischio idraulico nell'area di tracciato (fonte: Geoportale Emilia-Romagna [12])

11.1 Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli

Il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, approvato con DGR n. 350 del 17 marzo 2003, è, ad oggi, sostituito dalla "Variante di coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico", approvata dalla Giunta Regionale con deliberazione n. 2112 del 5.12.2016.

Si tratta di una variante cartografica e normativa che ha allineato ed armonizzato i contenuti del Piano Stralcio previgente con le successive modifiche ed i contenuti integrati e derivati a seguito della approvazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (Del. 235/2016 dei Comitati Istituzionali Integrati).

Con la nuova Variante, l'area interessata dal progetto, così come tutta la pianura romagnola, ricade in "Aree di potenziale allagamento", normate

dall'art. 6, che identifica la zona a media probabilità (P2) di allagamento da parte della rete idrografica (retino azzurro della Figura 11-1).

Le uniche zone in cui sono interferiti altri articoli sono quelle di attraversamento dei principali corsi d'acqua, normati dall'art. 2 ter "Alveo", in particolare, da Nord verso Sud, il Torrente Bevano, il Fiume Savio, il Torrente Pisciatello e il Fiume Rubicone.

A Est di Sant'Andrea in Bagnolo, in corrispondenza del fiume Savio, la direttrice interseca anche le zone normate dall'art. 3 e dall'art. 4, rispettivamente "Aree con elevata probabilità di esondazione" e "Aree con moderata probabilità di esondazione".

É disponibile, inoltre, la "Direttiva inerente alle verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico ai sensi degli articoli 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano".

Tale "Direttiva idraulica" rappresenta un testo coordinato con gli adeguamenti introdotti fino alla "Variante di coordinamento PAI-PGRA" (DGR 2112/2016).

Il Piano di Bacino riconosce alla corretta verifica, valutazione e progettazione degli aspetti idrologici ed idraulici degli interventi, opere e attività di gestione del territorio, un ruolo fondamentale per garantirne il buon funzionamento, nel rispetto delle dinamiche e degli equilibri complessivi alla scala di bacino. Allo scopo di supportare le verifiche e le valutazioni idrologiche ed idrauliche richieste dalla applicazione del Piano Stralcio, la "Direttiva idraulica" contiene approfondimenti ed indicazioni tecniche di diretta applicazione in merito a diversi temi quali: calcolo delle portate di riferimento, verifiche idrauliche, prescrizioni per gli attraversamenti, criteri per la redazione degli studi di compatibilità idraulica, tiranti idrici di riferimento e accorgimenti tecnico-costruttivi per la protezione passiva dagli effetti di allagamento, accorgimenti tecnici per l'invarianza idraulica delle trasformazioni urbanistiche; oltre ad altri indirizzi di applicazione più generale.

In aggiunta, sono anche fornite informazioni puntuali relative ai Tiranti idrici (All. 6 Direttiva modificata), calcolati per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento.

Nelle aree interessate dall'art. 6 il tirante sarà definito da 0 ad un massimo di 50 cm.

11.2 Autorità di Bacino Interregionale Marecchia-Conca

Il tracciato oggetto di studio ricade nel Progetto di Piano in esame all'interno dei comuni di Bellaria e Rimini, per l'estremità sud-orientale dell'intervento.

In tale elaborato, in cui è stato recepito il rischio di alluvione del PGRA, sono evidenziati gli scenari di pericolosità ed in particolare il tracciato della condotta attraversa alcune aree classificate P2 e altre classificate P3, ovvero aree potenzialmente interessate da:

- alluvioni frequenti (P3) con un tempo di ritorno fino a 50 anni – elevata probabilità di allagamento,
- alluvioni poco frequenti (P2), con un tempo di ritorno fino a 200 anni – media probabilità di allagamento.

le norme relative a tali aree sono definite negli artt. 20 e 21 delle Norme di Piano dell'aprile 2016.



ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6

47121 Forlì (FC)

Tel. +39-(0543)-473892

E-mail: info@eltec-service.it

L'intervento in progetto, attraversando l'alveo del Fiume Uso, normato dall'art. 8, interferisce anche con tali fasce, normate dall'art. 9, oltre che dall'art. 20 e dal 21.

Il tipo di opera non impatta in alcun modo sulla capacità idraulica sia del fiume che delle aree allagabili. In ogni caso, gli attraversamenti fluviali e quindi delle aree sopraccitate sono previsti tramite TOC.

12 INQUADRAMENTO SISMICO

12.1 Sismicità storica

Il Database Macrosismico Italiano, la sismicità strumentale e l'Archivio Macrosismico GNDT riportano vari episodi di bassa magnitudo, compresa tra 2.22 e 4.5, e alcuni di magnitudo compresa tra 4.9 e 5.7 nell'area di progetto. Il terremoto più vicino al tracciato si è verificato l'11 marzo 1911 con magnitudo pari a 5.09 (in Figura 12-1 è indicato con un quadratino di color ciano).

Un altro episodio rilevante e molto vicino al tracciato è ubicato a Cesena (in Figura 12-1 è indicato con un quadratino di color blu, al centro dell'immagine) e si è verificato l'11 agosto 1483 con magnitudo pari a 5.69.



Figura 12-1: Sismicità storica da database macrosismico italiano 2015.

12.2 Sorgenti sismogenetiche

L'elemento principale di catalogazione del DISS [26] è costituito da sorgenti sismogenetiche rappresentate nelle tre dimensioni, ottenute parametrizzando la geometria e la cinematica di grandi faglie attive ritenute in grado di generare terremoti di magnitudo (M_w) superiore a 5.5. In altre parole, sin dalla loro prima formalizzazione le sorgenti sismogenetiche sono state definite tridimensionalmente all'interno della crosta terrestre, e descritte dal punto di vista geometrico (come la faglia è posizionata nello spazio) e cinematico (come la faglia si può muovere). Dati questi presupposti le sorgenti sono quindi sempre, necessariamente, frutto di una semplificazione e, in definitiva, di precise scelte modellistiche. 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: è usualmente considerata il valore “di soglia” oltre il quale la faglia responsabile dei terremoti 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’edificato.

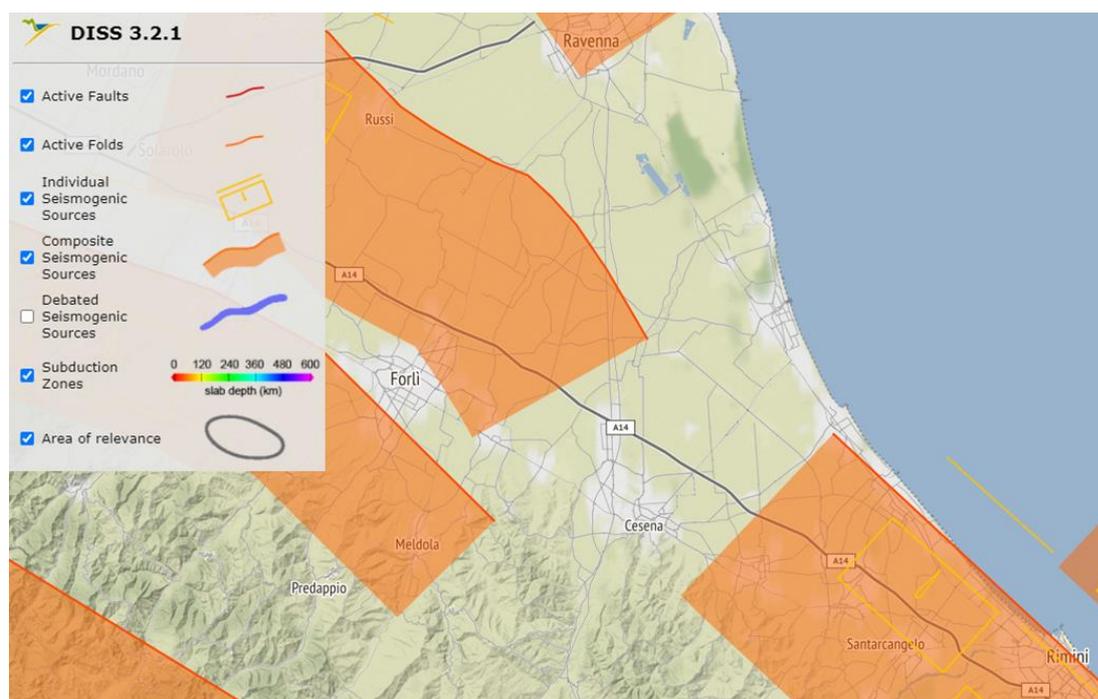


Figura 12-2: Database delle sorgenti sismogenetiche[26].

Dall’esame del database, si può notare come l’opera oggetto di studio sia compresa tra due sorgenti sismogenetiche composite che sono rispettivamente:

- Ascensione-Armaia (ITCS011) coinvolge la porzione meridionale della valle de Savio, tra le città di Ravenna (a nord est) e Forlì (a sud), e forma una parte del fronte del thrust di Ferrara. Questo sistema di faglie è la parte interna dell’arco a vergenza nord-orientale, nel settore nord-orientale della catena appenninica settentrionale, ubicata tra la fascia pedemontana romagnola e la pianura padana. Questa sorgente è capace di generare terremoti fino a 6.0 di magnitudo.
- Riminese onshore (ITCS039) coinvolge la zona tra Marche e Romagna, intorno alla città di Rimini, e fa parte del thrust esterno dell’Appennino umbro marchigiano. Questo fronte è composto da un sistema di faglie a vergenza nord-orientale ed è collocato nel confine esterno della catena appenninica settentrionale, parallela alla costa marchigiana. Questa sorgente è capace di generare terremoti fino a 5.9 di magnitudo.

Un’altra sorgente composita è ubicata nelle immediate vicinanze del tracciato e si tratta della Malalbergo-Ravenna (ITCS012) appartenente al fronte del thrust dell’arco di Ferrara, ed è ubicata nella bassa valle del Reno, vicino a Ravenna, anch’essa capace di generare terremoti di magnitudo pari a 6.0.

12.3 Magnitudo di riferimento

Una volta definite delle sorgenti sismogenetiche, è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i tassi di sismicità attesa zona per zona. Questo modello è la base della redazione della pericolosità sismica che è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 [27].

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento Mw.

Nel caso di siti che ricadono al di fuori di tali zone si dovrà eseguire un'analisi accoppiata magnitudo - distanza per il calcolo del valore di magnitudo in relazione alla distanza minima di ogni sito dalle zone sismogenetiche circostanti.

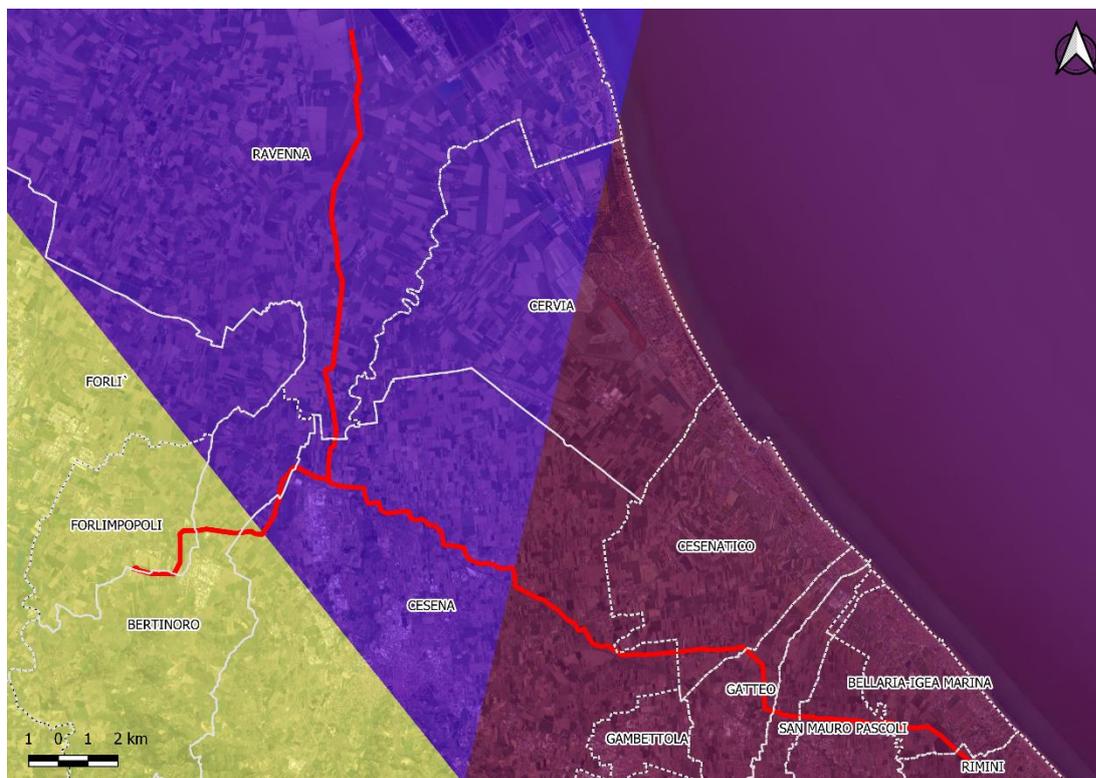


Figura 12-3: Zone sismogenetiche nell'area oggetto di studio

Il territorio in oggetto ricade in tre zone sismogenetiche, legate a faglie di tipo inverso appartenenti alla catena appenninica settentrionale:

- n. 912 – Dorsale Ferrarese (area di colore viola nella Figura 12-3);
- n. 914 – Forlivese (area di colore giallo nella Figura 12-3);
- n. 917 – Rimini-Ancona (area di colore prugna nella Figura 12-3).

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 12-4: Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9.

L'area oggetto di studio è compresa tra tre zone sismogenetiche aventi la stessa magnitudo riferimento, pari a $M_{wmax} = 6,14$.

12.4 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica della regione Emilia-Romagna, i comuni in cui è ubicato il tracciato in progetto appartengono alla zona sismica 2, solo il comune di Ravenna appartiene alla zona 3.

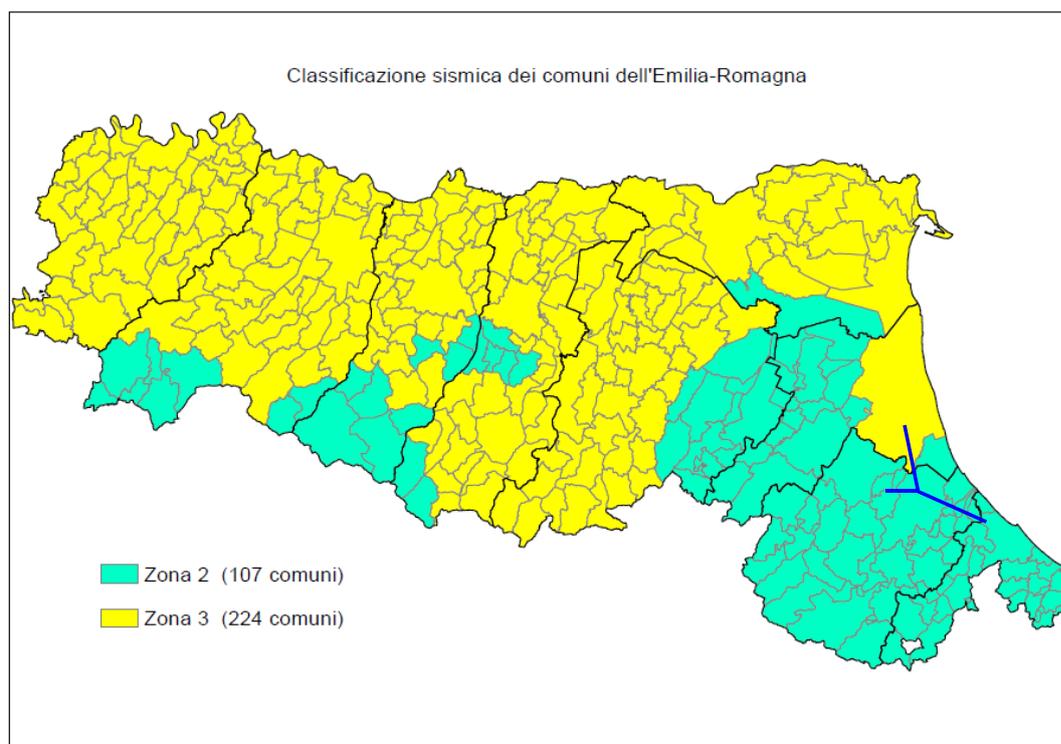


Figura 12-5: Classificazione sismica dei comuni 2018 Emilia-Romagna (il tracciato è stilizzato in blu).

Relativamente alla pericolosità sismica di base, in riferimento alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale [28], il range di accelerazione massima del suolo con probabile eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi, nell'area oggetto di studio è compreso tra 0.150 e 0.225.

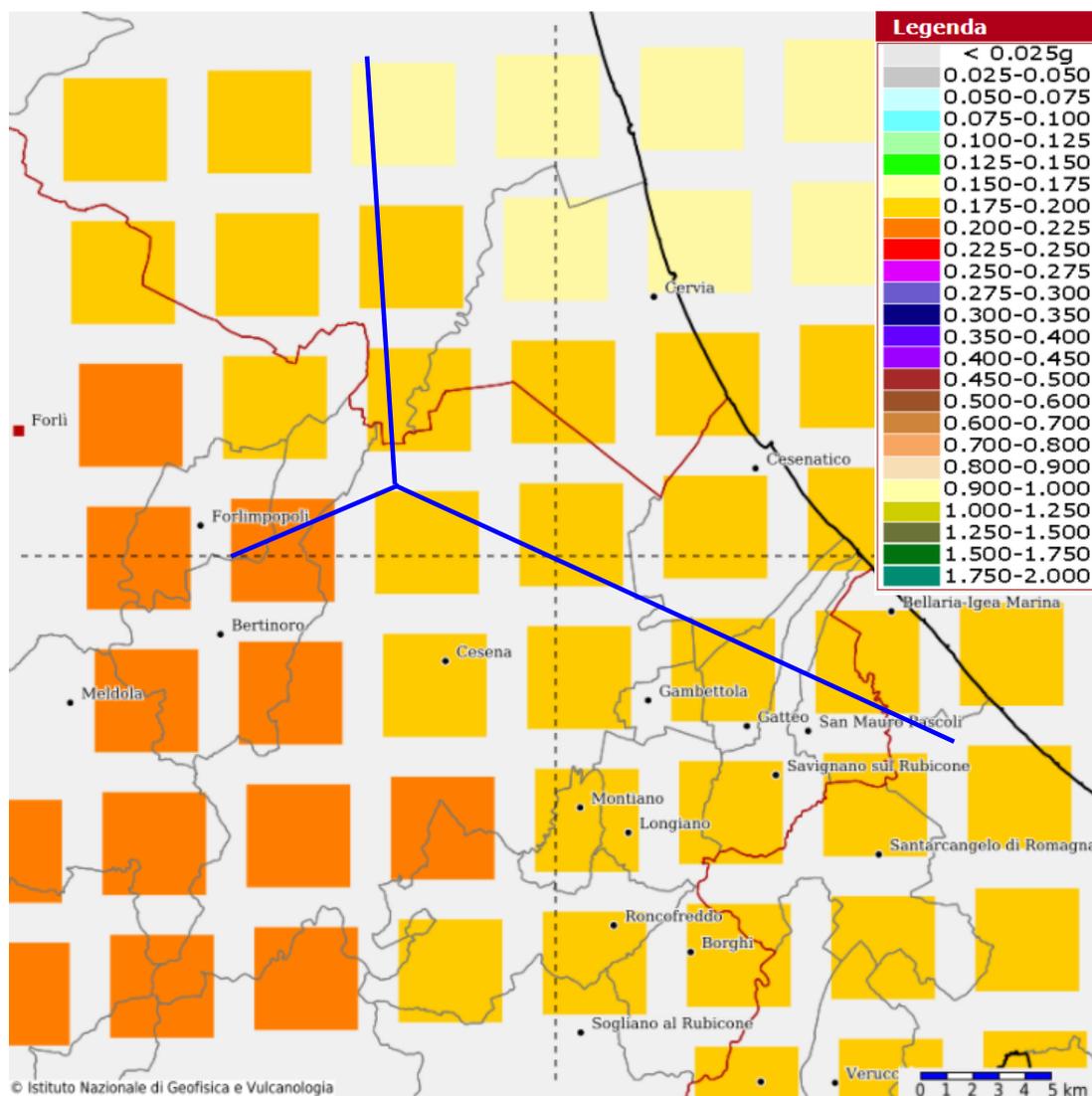


Figura 12-6: Mappa della pericolosità sismica dell'INGV, tracciato stilizzato in blu

12.5 Definizione dell'azione sismica di progetto

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi – SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima stabilito il periodo di riferimento per l'azione sismica, in base alla classificazione delle opere in progetto. Successivamente, verranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

12.5.1 Vita nominale e classe d'uso

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali;
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, per quanto riguarda la condotta dell'acquedotto ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stata assunta pari a:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso $C_U=0.7$.
- Classe II: Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Per le quali $C_U = 1.0$.
- Classe III: Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Per le quali $C_U = 1.5$.
- Classe IV: Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Per le quali $C_U = 2$.

Nel caso in esame si assume per tutta il tracciato di progetto la classe d'uso IV ($C_U = 2.0$)

Pertanto, nel caso in esame, l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento V_R pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

12.5.2 Stati limite e probabilità di superamento

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R sopra definito.

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

Stato Limite Ultimo (SLU):

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

Stato limite di Esercizio (SLE):

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.
- Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

I valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite e classi d'uso delle strutture sono riportati in tabella:

STATO LIMITE	T_R , anni
SLO	120
SLD	201
SLV	1898
SLC	2475

Tabella 12-1: Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto, in funzione delle opere considerate, per i diversi stati limite.

12.5.3 Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato alle NTC2018, i valori a_g , F_0 e T_c^* sono forniti per ognuno dei 10751 nodi di un reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi ai nodi di griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

Per definire i valori della pericolosità sismica di base, sono stati scelti 3 punti di riferimento aventi le coordinate geografiche riportate in Tabella 12-2, ove viene riportato l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

ID Punto	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
P1	12.233104	44.336948	
P2	12.135033	44.176076	
P3	12.337139	44.144667	

Tabella 12-2: Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno di punti scelti lungo il tracciato.

12.5.4 Risposta sismica locale

Per i fini del presente studio, gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sono stati valutati sulla base delle indicazioni delle NTC2018, le quali definiscono un fattore di sito S di amplificazione sismica come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_S), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

In particolare, il sottosuolo viene categorizzato a fini sismici in base alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) definita come:

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

dove:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = valore di 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.

I risultati delle indagini geofisiche effettuate (N. 11 profili MASW) indicano come il parametro $V_{S,eq}$ è compreso tra 181 m/s e 221 m/s. Di conseguenza, in accordo alla Tabella 3.2.II delle NTC2018 [1], si assumerà la categoria di suolo C per l'opera di progetto.

Il coefficiente S_s per la categoria di sottosuolo C si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018 [1]):

$$S_s = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50$$

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, i siti di progetto si collocano su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018 [1]), o comunque non sulle sezioni di cresta o mezza costa. Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 12-3.

Punto ID	SL	T_R (anni)	a_g (g)	S	a_{max} (g)
P1	SLO	120	0.095	1.50	0.142
	SLD	201	0.118	1.50	0.178
	SLV	1898	0.283	1.29	0.365
	SLC	2475	0.312	1.25	0.390
P2	SLO	120	0.121	1.50	0.181
	SLD	201	0.150	1.49	0.223
	SLV	1898	0.309	1.23	0.381
	SLC	2475	0.333	1.19	0.397
P3	SLO	120	0.105	1.50	0.158
	SLD	201	0.132	1.50	0.199
	SLV	1898	0.312	1.24	0.387

	SLC	2475	0.344	1.20	0.412
--	-----	------	-------	------	-------

Tabella 12-3: Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 200$ anni.

12.6 Analisi di pericolosità rispetto al fenomeno della liquefazione

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 [1] stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr. a_{max}) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 10-1 (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$) e Figura 10-2 (coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

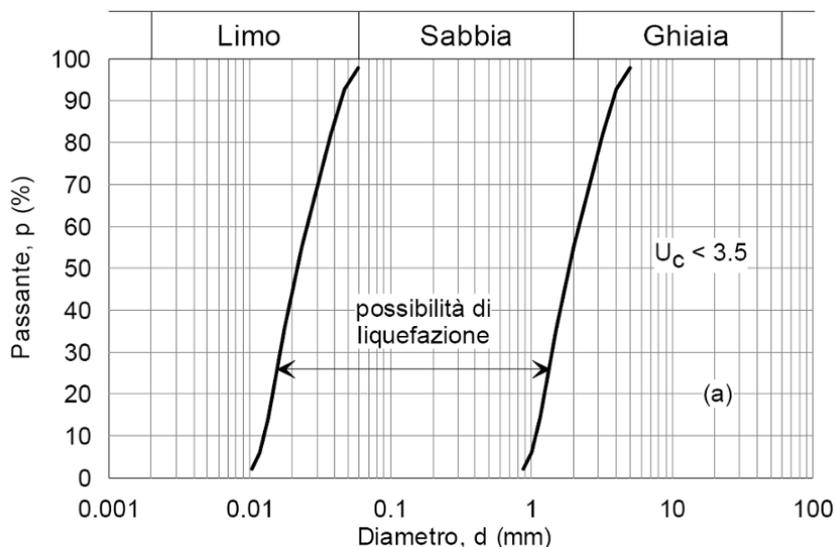


Figura 12-7: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c < 3.5$).

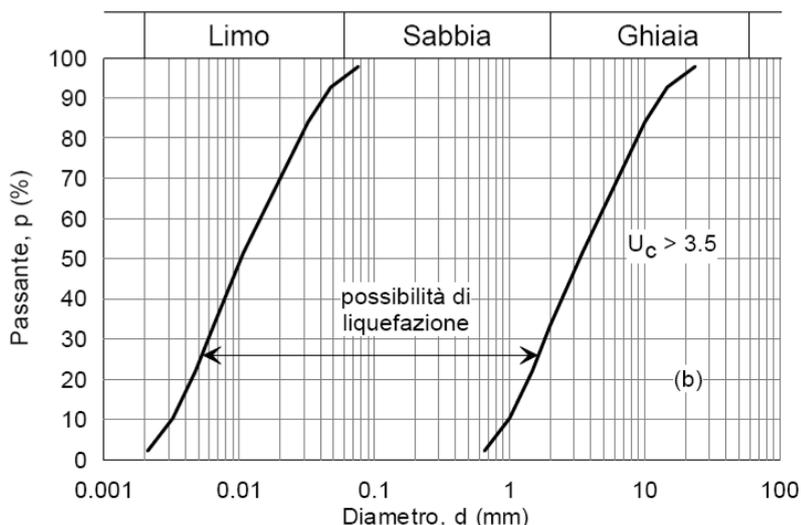


Figura 12-8: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c > 3.5$).

Dati i punti elencati sopra, non si può escludere a priori il fenomeno perché, già il primo punto non è escludibile dato che le accelerazioni massime attese in sito, al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr. a_{max}), sono maggiori di 0.1 g.

La presenza, seppur modesta di intercalazioni sabbiose, sabbioso-limose o limoso-sabbiose, è un altro elemento che non esclude il fenomeno.

L'opera in progetto è stata attribuita alla classe IV (NTC 2018: "funzioni strategiche o pubbliche importanti" con un tempo di ritorno allo Stato Limite di Vita Utile pari a 912 anni) le accelerazioni attese al suolo risultano molto elevate (0,30 ÷ 0,33 g) e, di conseguenza, la quasi totalità degli strati granulari o misti presenti risulta liquefacibile. Occorre dire che i terreni risultano, per buona parte del tracciato, principalmente coesivi, anche se in alcune aree i livelli granulari presenti appaiono significativi. Dato che la condotta è un'opera interrata e verrà realizzata o in acciaio o in ghisa sferoidale con giunto a bicchiere, o più verosimilmente in acciaio per alcuni tratti e in ghisa per altri, essa avrà un livello di elasticità tale da non subire danni per eventuali cedimenti post-sismici (vedi Tabella 12-4). Il rischio di liquefazione può risultare significativo soprattutto per camerette o pozzetti in progetto lungo il tracciato e dovrà comunque essere valutato con dettaglio nelle successive fasi progettuali.

Si riportano le analisi delle 23 verticali di indagine, ovvero tutte quelle con la presenza anche modesta di livelli granulari o misti (sabbioso-limosi) della Relazione geologica e idrogeologica di prima fase. L'analisi è stata effettuata considerando principalmente la falda a -1,0m di prof. dal p.c. (ad esclusione delle CPT 17, 18 in corrispondenza delle aree arginali del fiume Savio, dove la falda è stata considerata a - 3,0 m dal p.c., e la CPT n° 16 dove è stata considerata a -2,0 m ma rilevata a -4,5 m). Essa risulta:

Punto indagine	LPI	Cedimento verticale post-sismico	Pericolosità
CPTU4	1,75	2,12 cm	BASSA
CPTU6	2,40	8,0 cm	MODERATA
CPTU7	2,30	3,92 cm	MODERATA
CPTU8	3,72	4,83 cm	MODERATA
CPTU9	1,75	2,25 cm	BASSA
CPTU10	1,99	3,56 cm	BASSA
CPTU11	1,47	2,54 cm	BASSA
CPTU12	3,98	4,55 cm	MODERATA
CPTU13	10,17	14,63 cm	ALTA
CPTU14	2,57	4,61 cm	MODERATA
CPTU15	5,44	8,76 cm	ALTA
CPTU16	4,06	6,00 cm	MODERATA
CPTU17	14,79	35,76 cm	ALTA
CPTU18	6,08	15,76 cm	ALTA
CPTU20	8,81	10,61 cm	ALTA
CPTU21	9,53	11,53 cm	ALTA
CPTU22	14,33	17,30 cm	ALTA
CPTU23	21,36	28,31 cm	MOLTO
CPTU24	13,73	17,99 cm	ALTA
CPTU25	15,45	26,95 cm	MOLTO
CPTU26	4,49	6,31 cm	MODERATA
CPTU31	7,22	9,68 cm	ALTA
CPTU33	2,75	3,49 cm	MODERATA

Tabella 12-4: Analisi di liquefazione provenienti da [18]

Tutti i livelli sabbiosi o limoso-sabbiosi riscontrati presentano fattori di sicurezza alla liquefazione inferiori all'unità, indipendentemente dal loro stato di addensamento. Delle 23 verticali sopra analizzate, 10 presentano LPI superiore a 5 e, di queste, 5 con valori superiori a 10 e cedimenti significativi, tali da richiedere analisi di dettaglio. A tal proposito, sono state previste ulteriori e più approfondite indagini geognostiche che forniranno ulteriori dati che renderanno possibile una più dettagliata analisi nelle successive fasi progettuali.

13 CONCLUSIONI

Il tracciato in progetto, dal punto di vista geologico, attraversa depositi di origine alluvionale di età quaternaria; questi depositi sono composti principalmente da argille, limi e alternanze limoso-sabbiose appartenenti al Subsistema di Ravenna. All'interno di esso si sviluppano suoli calcarei e non calcarei (Unità di Modena).

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato è ubicato nell'estremità orientale della Pianura Padana, caratterizzata da numerosi corsi d'acqua sia naturali sia artificiali.

L'idrogeologia dell'area in oggetto è caratterizzata da un acquifero superficiale avente mediamente una potenza compresa tra i 10 ed i 20 m ed è legato ad una circolazione in terreni a tessitura mista. L'alimentazione avviene sia lateralmente (in connessione con i canali e le aste fluviali) sia verticalmente (grazie alle precipitazioni). La falda superficiale risente della regimazione dalla rete di canali e scoli consorziali, per lo più controllata da impianti idrovori e, vista la scadente qualità, è soggetta a modesti emungimenti.

La soggiacenza della falda freatica nell'area interessata dal progetto della condotta, misurata nel periodo tra marzo 2019 e dicembre 2020, è risultata compresa tra - 1,10 m presso Ravenna (CPTU1,2) e -7,0÷-8,9 m (CPTU17,18) in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Savio. A parte tali estremi, la soggiacenza media è di circa 2,5÷2,8 m dal piano campagna.

Essendo un'area caratterizzata da numerosi corsi d'acqua, il rischio idraulico è legato alla dinamica dei corsi d'acqua e rappresentato da possibili esondazioni, come conseguenza di tracimazioni o di collassi arginali; tale rischio è maggiorato perché i corsi d'acqua si trovano topograficamente più alti rispetto alla morfologia pianeggiante delle aree adiacenti.

Un'altra problematica è la subsidenza legata sia a cause naturali sia a cause antropiche, e nell'area oggetto di studio l'abbassamento è compreso tra 0 mm/anno e 7.5 mm/anno; in ogni caso, si sta osservando una progressiva riduzione dell'evoluzione di questo fenomeno negli ultimi anni.

A livello sismico, l'area oggetto di studio è interessata da una sismicità legata ai thrust nordorientali della catena appenninica. I sismi legati a quest'attività possono raggiungere anche valori di magnitudo pari a $M_w=5,84$. Data la pericolosità medio-alta dell'area oggetto di studio, è stata condotta un'analisi di liquefazione, dalla quale emerge che la quasi totalità degli strati granulari o misti presenti risulta liquefacibile, ma occorre considerare che la condotta è un'opera interrata e che il materiale di cui sarà costituita (acciaio o ghisa) garantirà un livello di elasticità tale da non subire danni per eventuali cedimenti post-sismici. Il rischio di liquefazione può risultare significativo soprattutto per camerette o pozzetti in progetto lungo il tracciato e dovrà comunque essere valutato con dettaglio nelle successive fasi, anche alla luce delle evidenze della campagna geognostica.

Per quanto riguarda la compatibilità dei materiali con il suolo e le acque, queste matrici saranno oggetto di approfondite analisi sia chimiche che di resistività, al fine di definire le leghe ed i mix design dei calcestruzzi più performanti in relazione all'aggressività degli ambienti.

La scelta di utilizzare la ghisa come materiale per le condotte nei primi 11,6 km di tracciato del lotto 1 e negli ultimi 3,4 km del lotto 3 è dettata dalla



ELTEC S.r.l.

Società di ingegneria

Via C. Seganti 73/F int. 5/6

47121 Forlì (FC)

Tel. +39-(0543)-473892

E-mail: info@eltec-service.it

possibilità di gestione dell'avanzamento del cantiere (apertura scavi) in modo più flessibile rispetto all'acciaio, in un contesto potenzialmente più complesso dal punto di vista geotecnico/idrogeologico.

Le tipologie di terreno che sono state incontrate e caratterizzate sinora, consentono l'adozione delle sezioni di scavo così come indicate nell'elaborato 3.27; in particolare, per quella a scavo aperto in terreni mediamente coesivi. Tali tipologie di terreno, al momento individuate a seguito delle indagini preliminari, consentono anche l'adozione di tecnologie "no dig". Si segnala, infine, che lungo il tracciato è riscontrabile la presenza di falda a livelli prossimi al piano campagna per gran parte del tracciato. Al fine di poter svolgere i lavori si prevede l'adozione di well-point.