



COMMITTENTE:

Provincia di Modena

Viale Martiri della Libertà, 34 - 41121 Modena

Tel. 059.209.111

PEC: provinciadimodena@cert.provincia.modena.it

C.F. 01375710363 - P.IVA 01375710363

CICLOVIA DEL SOLE

VERONA - FIRENZE

TRONCHI 7 E 9

TRATTI IN PROVINCIA DI MODENA



PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

Relazione geologica

PROT. -	SCALA -	FORMATO A4
CODICE RSP 1-1	N. REV A	DATA 08/2023

Progettisti:

Arch. Irene Esposito

Arch. Enrico Guaitoli Panini

Il Responsabile Unico

del Procedimento:

Ing. Daniele Gaudio

Collaboratori:

Arch. Alberto Coppi

Arch. Michela Gessani

Dott. Paes. Sara Martignoni

Arch. Eleonora Vaccari

Supporto al Responsabile Unico del

Procedimento:

Consulenti:

Geol. Gianluca Vaccari

Ing. Marco Monaci

Ing. Michele Baratta

FAHRE
ASSOCIATI

Enrico Guaitoli Panini e Irene Esposito architetti associati

Viale Marcello Finzi, 597 - 41122 - Modena

tel. 328/7421242 - 335/6058479

sito: www.fahreassociati.it mail: info@fahreassociati.it

P.IVA e C.F. 03224820369

**REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI MODENA**

**CICLOVIA DEL SOLE VERONA FIRENZE TRONCHI 7 E 9
TRATTI IN PROVINCIA DI MODENA**

PROGETTO ESECUTIVO - RSP 1-1-A RELAZIONE GEOLOGICA

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA



Dott. Geol. Gianluca Vaccari

Strada Cavidole 12/C41126 Portile (Mo)

Tel. 059-3971911 -Cell. 3474935672

e-mail: vaccari.gianluca@gmail.com

AGOSTO 2023



Dott. Gianluca Vaccari
Geologo

Studio:

Strada Cavidole 12/C
41126 Portile (Mo)
Tel. 059-3971911
Cell. 3474935672
e-mail: vaccari.gianluca@gmail.com

CICLOVIA DEL SOLE VERONA FIRENZE TRONCHI 7 E 9

TRATTI IN PROVINCIA DI MODENA

PROGETTO ESECUTIVO - RSP 1-1-A RELAZIONE GEOLOGICA

Indice

PREMESSA.....	3
1. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	9
4. INQUADRAMENTO SISMICO DELLA ZONA IN STUDIO.....	15
4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA.....	15
4.2 RISCHIO SISMICO ED EFFETTI LOCALI – MICROZONAZIONE SIMICA	16
5. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE GENERALI.....	22
6. RACCORDO PONTE SUL FIUME SECCHIA CENTRO ABITATO DI CONCORDIA SS.....	28
6.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	28
6.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	30
6.3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU.....	31
6.4 INDAGI GEOFISICHE MASW E HVSR.....	32
6.5 MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	34
6.6 DETERMINAZIONE DELLA CLASSE SISMICA DI SOTTOSUOLO	36
6.7 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	43
7. CONCLUSIONI	46

ELENCO ALLEGATI

ALLEGATO 1 – CARTA COROGRAFICA

ALLEGATO 2 – CARTA DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE

ALLEGATO 3 – PROVE PENETROMETRICHE CPTU

ALLEGATO 4 – REPORT INDAGINI SISMICHE

ALLEGATO 5 – VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

PREMESSA

Il presente studio geologico è stato redatto a supporto del progetto esecutivo di un tratto della Ciclovia del Sole Eurovelo7 che attraversa i comuni di Concordia sulla Secchia, Mirandola, San Possidonio e San Felice sul Panaro, nella Provincia di Modena – Regione Emilia Romagna.

Scopo dello studio è stato, oltre alla verifica della fattibilità dell'intervento in progetto dal punto di vista geologico e geomorfologico, l'esame delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni presenti nel sottosuolo che sono interessati dal progetto dalla ciclovia.

La ciclovia si sviluppa per la maggior parte del suo percorso su strade extraurbane a basso traffico, piste ciclopedonali esistenti in ambito urbano ed extraurbano, sulle carreggiate di servizio presenti sull'argine del fiume Secchia e in alcuni tratti su piste ciclopedonali di nuova costruzione.

Considerato che la ciclovia verrà realizzata per la quasi totalità del suo percorso sfruttando la rete viaria esistente, la caratterizzazione geologica, geomorfologica e sismica si è basata su dati bibliografici; mentre per il tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale, per il quale è prevista la realizzazione di un rilevato in terra su cui verrà costruita la pista, sono state effettuate gli opportuni approfondimenti geognostici e geofisici per la raccolta dei dati necessari alla progettazione dell'intervento.

Sulla base delle indagini e considerazioni svolte si è quindi valutata la fattibilità geologica e geomorfologica dell'area oggetto di intervento, al fine di stabilire se il progetto è compatibile con le caratteristiche del territorio.

1. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La Ciclovia del Sole in Provincia di Modena è costituita da un tracciato principale, o prioritario, che l'attraversa da nord a ovest nel territorio della bassa pianura e da un tracciato secondario che l'attraversa da nord a sud, dalla bassa pianura alla montagna e si ricollega al tracciato principale a Vergato, nella valle del Reno.

Il tracciato principale è costituito da parte del tronco 9, dal confine tra Emilia-Romagna e Lombardia, e parte del tronco 7, dal ponte di Concordia sul Secchia al ponte di Camposanto, sul Panaro. Il tracciato secondario è costituito dai tronchi 8 e 5. Una parte del tronco 7 del territorio modenese è stata realizzata nel progetto curato dalla Città Metropolitana di Bologna e inaugurato nell'aprile scorso. Questo tratto già realizzato segue la linea ferroviaria Bologna – Verona, da Camposanto a Mirandola, tranne l'attraversamento del centro urbano di San Felice sul Panaro, stralciato per motivi di acquisizione di aree private.

Restano quindi da realizzare e sono parte del progetto in studio:

- 1) il tronco 9 dal confine con la Lombardia fino al ponte di Concordia, di 4,3 km.
- 2) il tronco 7 dal ponte di Concordia alla stazione di Mirandola, di 15,6 km.
- 3) il tronco 7 nel tratto urbano di San Felice, di 1,9 km.

Per quanto riguarda le caratteristiche del tracciato, esse si compongono delle seguenti tipologie:

- 1) tracciato su argine del fiume Secchia, il tronco 9 sull'argine sinistro e il tronco 7 sull'argine destro. Lunghezza 6.238 m.
- 2) tracciato su strade extraurbane a basso traffico, via Chiavica Mari e via Molinetto a San Possidonio. Via Diversivo, via Prati e via Sabbioni a Mirandola. Via Borgo a San Felice sul Panaro. Lunghezza 5.689 m
- 3) tracciato su piste ciclopedonali esistenti in ambito urbano, via Chiavica Mari, Piazza Don Andreoli a San Possidonio. Via San Martino Carano, via Piave, via Circonvallazione, via Martiri, via Gramsci a Mirandola. Via Campi, piazza Piva, via Circondaria e via Garibaldi a San Felice sul Panaro. Lunghezza 6.930 m.
- 4) tracciato su piste ciclopedonali esistenti in ambito extraurbano: via Gramsci dall'intersezione con via Borghetto alla stazione FS a Mirandola. Lunghezza 791 m.
- 5) tracciato su piste ciclopedonali di nuova costruzione: collegamento con centro di Concordia, a Concordia. Via Chiavica Mari, Piazza Don Andreoli, via XXV Aprile, via Federzoni e via Molinetto a San Possidonio. Via Piave a Mirandola. Via Ascari, area RFI a San Felice sul Panaro. Lunghezza 1.787 m.

Complessivamente la ciclovia di progetto misura 21,8 km considerando gli attraversamenti di strade con regolazione del traffico.

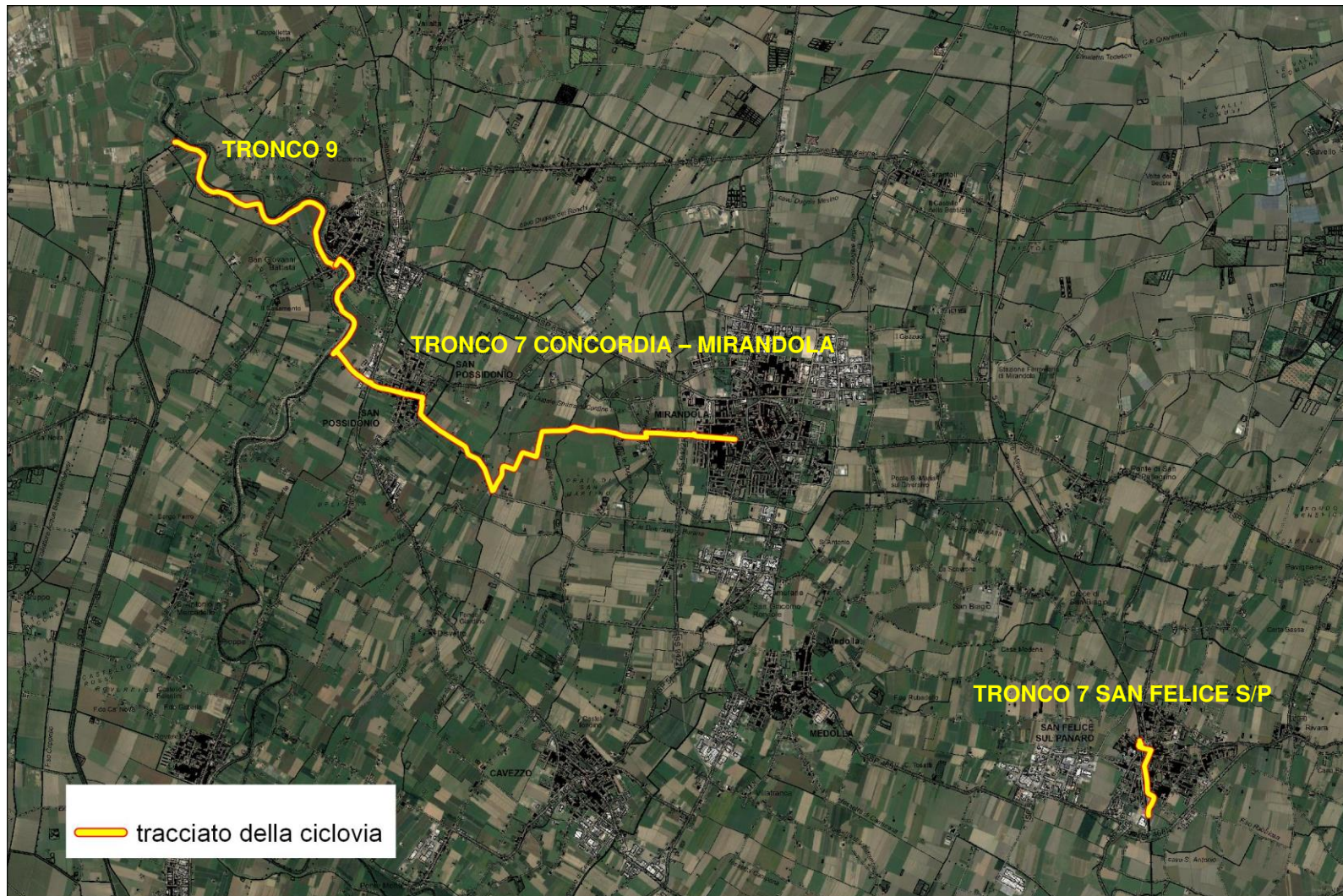


Figura 1 – Tracciato della ciclovía – Scala 1:100.000

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio comprende parte dei territori comunali di Concordia sulla Secchia, San Possidonio, San Felice sul Panaro e Mirandola, nella Provincia di Modena. I tronchi 7 e 9 della ciclovia in progetto, oggetto del presente studio, seguono un percorso che si estende in direzione ovest-est, a partire dall'argine del Secchia nella zona sud dell'abitato di Concordia, proseguendo poi in direzione sud-est verso l'abitato di San Possidonio; da qui prosegue ulteriormente in direzione est verso il centro di Mirandola, per terminare infine alla Stazione ferroviaria di Mirandola. A ciò si aggiunge un ulteriore tratto del tronco 7 che percorre in direzione nord-sud il centro di San Felice sul Panaro.

L'area in oggetto è compresa nella seguente cartografia:

- Foglio 183 *Novi di Modena*, scala 1:50.000
- Foglio 184 *Mirandola*, scala 1:50.000
- Tavola 183NE *Concordia sulla Secchia*, scala 1:25.000
- Tavola 184SO *Mirandola*, scala 1:25.000
- Tavola 183SE *Novi di Modena*, scala 1:25.000

Nelle figure 2 e 3 è rappresentato l'inquadramento geografico delle aree di studio su base CTR in scala 1:50.000 e 1:25.000.

Nell'allegato 1 sono riportate le carte topografiche relative alle aree di studio in scala 1:25.000.

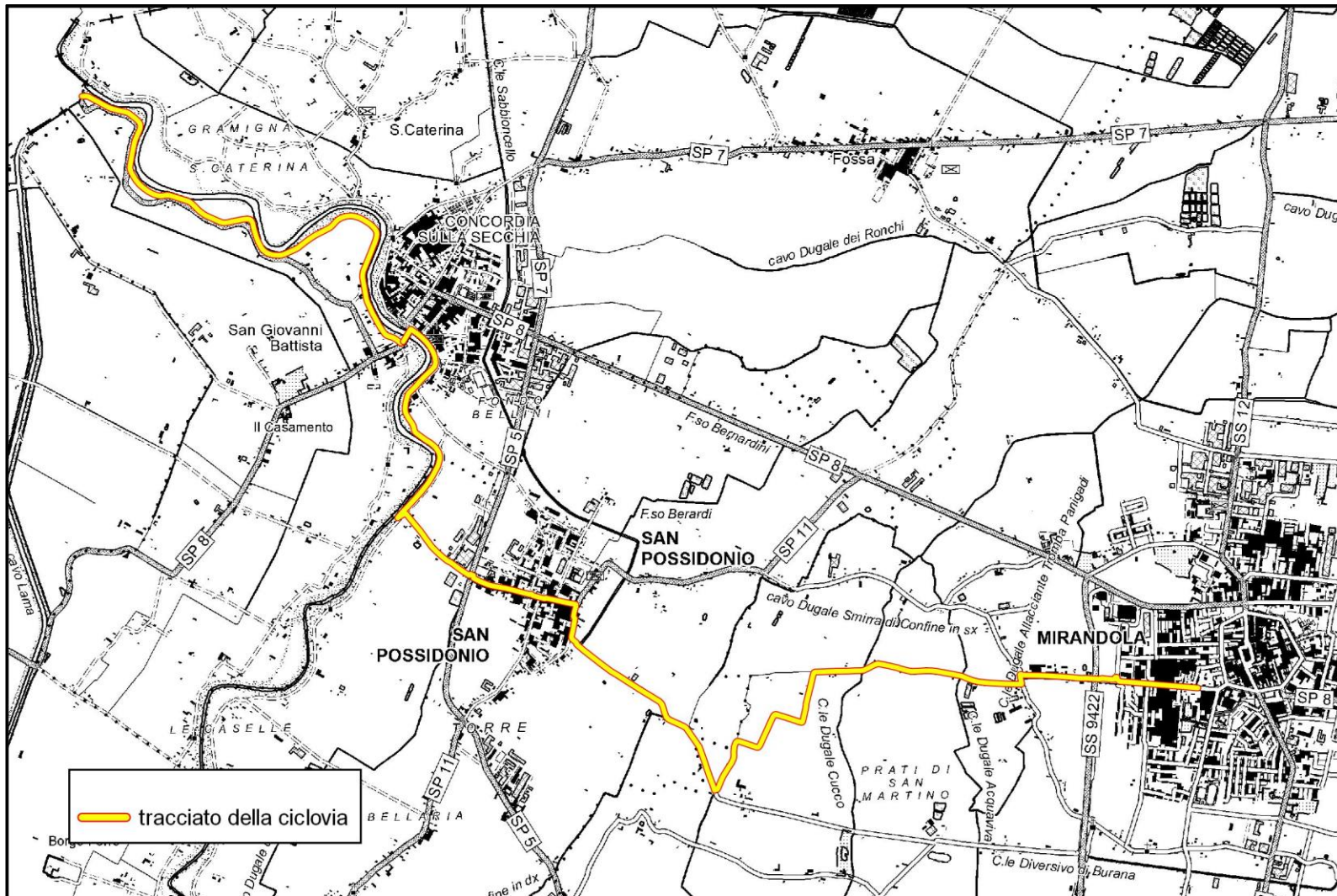
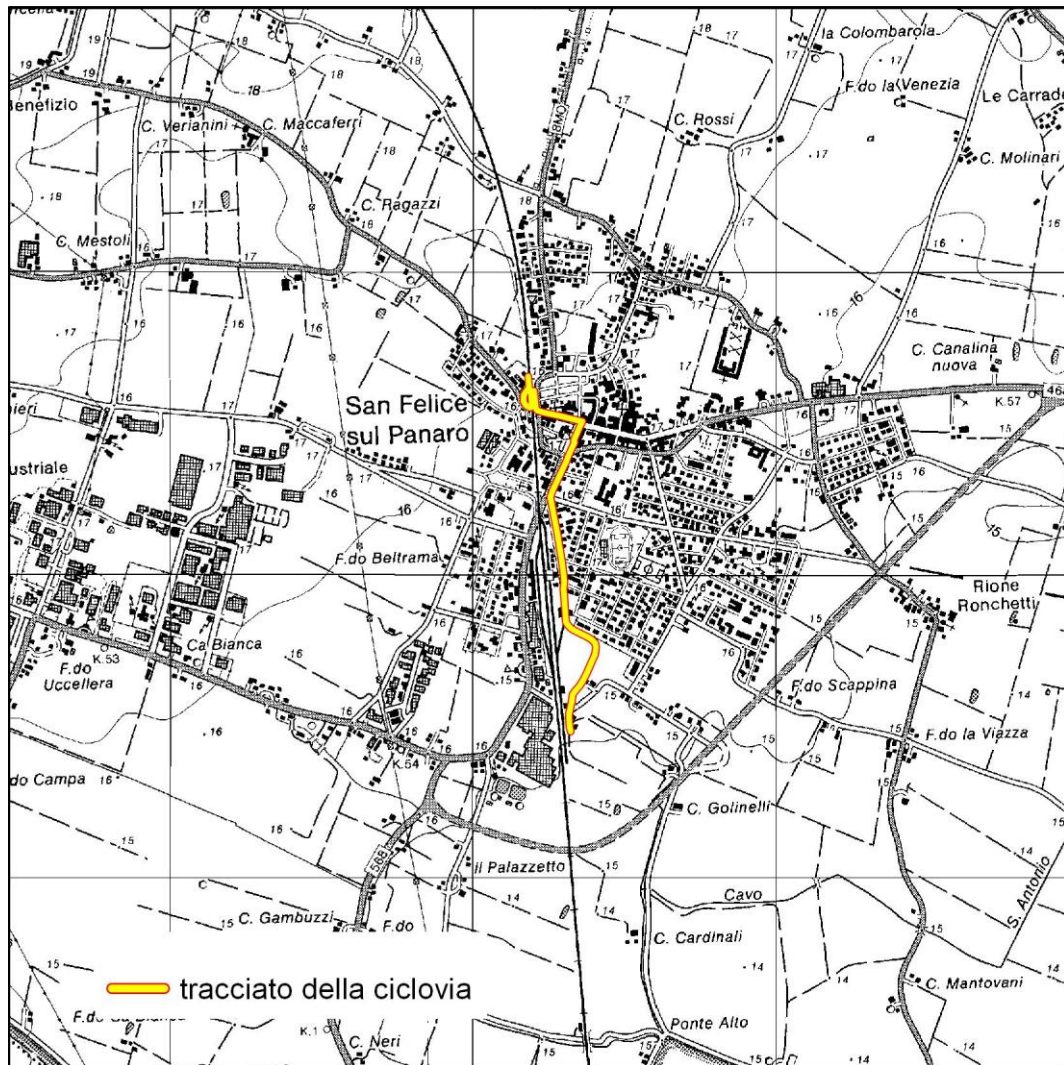


Figura 2 – COROGRAFIA - Carta Tecnica Regionale –Scala 1:50.000. Tronco 9 e Tronco 7 Concordia-Mirandola.



**Figura 3 – COROGRAFIA - Carta Tecnica Regionale –Scala 1:25.000.
Tronco 7 San Felice sul Panaro.**

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La caratterizzazione geologica-geomorfologica della Regione Emilia Romagna abitualmente si basa sui dati riportati nella Cartografia Geologica a scala 1:10.000 redatta, nell'ambito del Progetto CARG, dal Servizio Geologico e Sismico e dei Suoli non copre attualmente il settore di bassa pianura emiliana in cui è compresa l'area oggetto del presente studio.

Per questo motivo per la caratterizzazione geologica generale dell'area di studio si è fatto riferimento alla cartografia esistente su scala maggiore, nello specifico sono state utilizzate le seguenti carte:

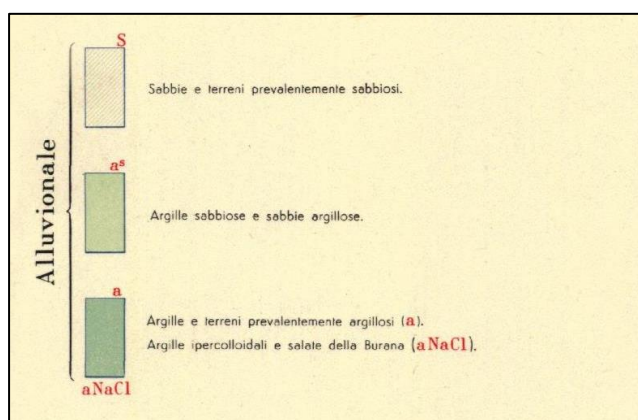
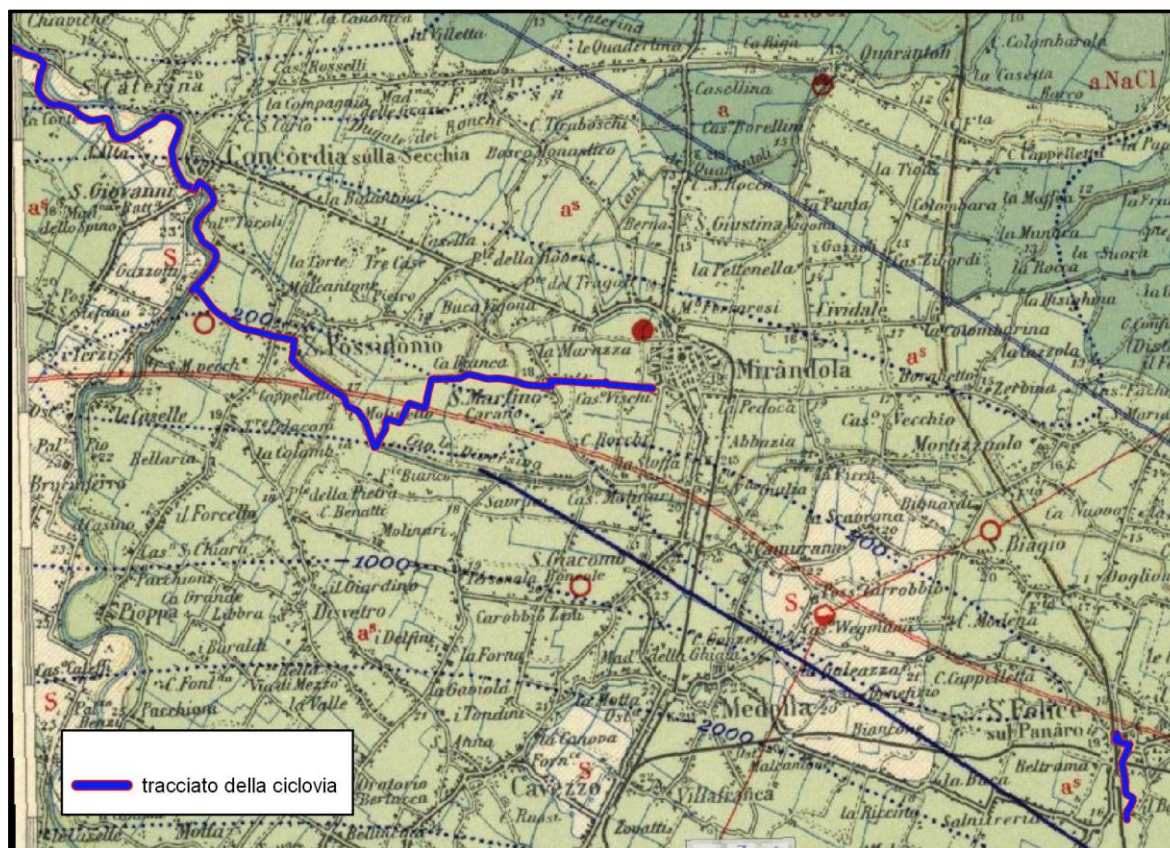
- **Carta Geologica d'Italia** in scala 1:100.000 a cura di ISPRA (Foglio 75 Mirandola), di cui si riporta un estratto in figura 4;
- **Carta Geologica di Superficie** redatta a corredo dello Studio di Microzonazione Sismica realizzato a seguito *dell'Ordinanza n. 70 del Commissario Delegato alla Ricostruzione del 13/11/2012*, di cui si riportano gli estratti in figure 5 e 6;
- **Carta Geologico-Tecnica** redatta a corredo dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Mirandola (2018) di cui si riporta un estratto in figura 7;
- **Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna** (a cura di Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse di Firenze), di cui si riporta un estratto in figura 8.

Sulla base della suddetta cartografia è stata realizzata la **Carta della Litologia di superficie** relativa all'area di studio, in scala 1:25.000, riportata in allegato 2.

Il territorio dei comuni di Concordia sulla Secchia, San Possidonio, San Felice sul Panaro e Mirandola si estende in un settore di bassa pianura padana in cui la litologia di superficie è rappresentata da depositi fluviali, vale a dire interdigitazioni di sedimenti a granulometria variabile da media (sabbie) a fine (limi e argille), depositi durante il Quaternario. In generale, i depositi più superficiali sono caratterizzati da sedimenti di piana alluvionale appenninica, prevalentemente argillosi e argilloso-limosi, con talvolta intercalazioni di sabbie, e/o sabbie prevalenti di argine, canale e ventagli di rotta. Nel tratto di ciclovia che ricade all'interno del Comune di Mirandola, secondo lo Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Mirandola, tali depositi di superficie sono definiti come "sedimenti fini di piana inondabile" così descritti: *argille limose e limi organici, a plasticità generalmente medio-bassa, depositi in ambienti di piana inondabile, stagno e palude dolce. Queste aree erano soggette a consistenti apporti sedimentari fini, durante gli episodi di piena e tracimazione fluviale.*

Quando i sedimenti di questa unità fiancheggiano direttamente corpi di paleoalveo del territorio comunale, possono inglobare subordinate intercalazioni di limi e imi sabbiosi.

Al di sotto dei depositi di superficie, a profondità leggermente maggiori, si possono eventualmente rinvenire i depositi sabbiosi del fiume Po; nell'area di Mirandola, ad esempio, il tetto di tali depositi si attesta tipicamente tra i 6÷15 m di profondità.



**Figura 4 – CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (ISPRA) Foglio 75 "Mirandola"
 Scala 1:100.000**

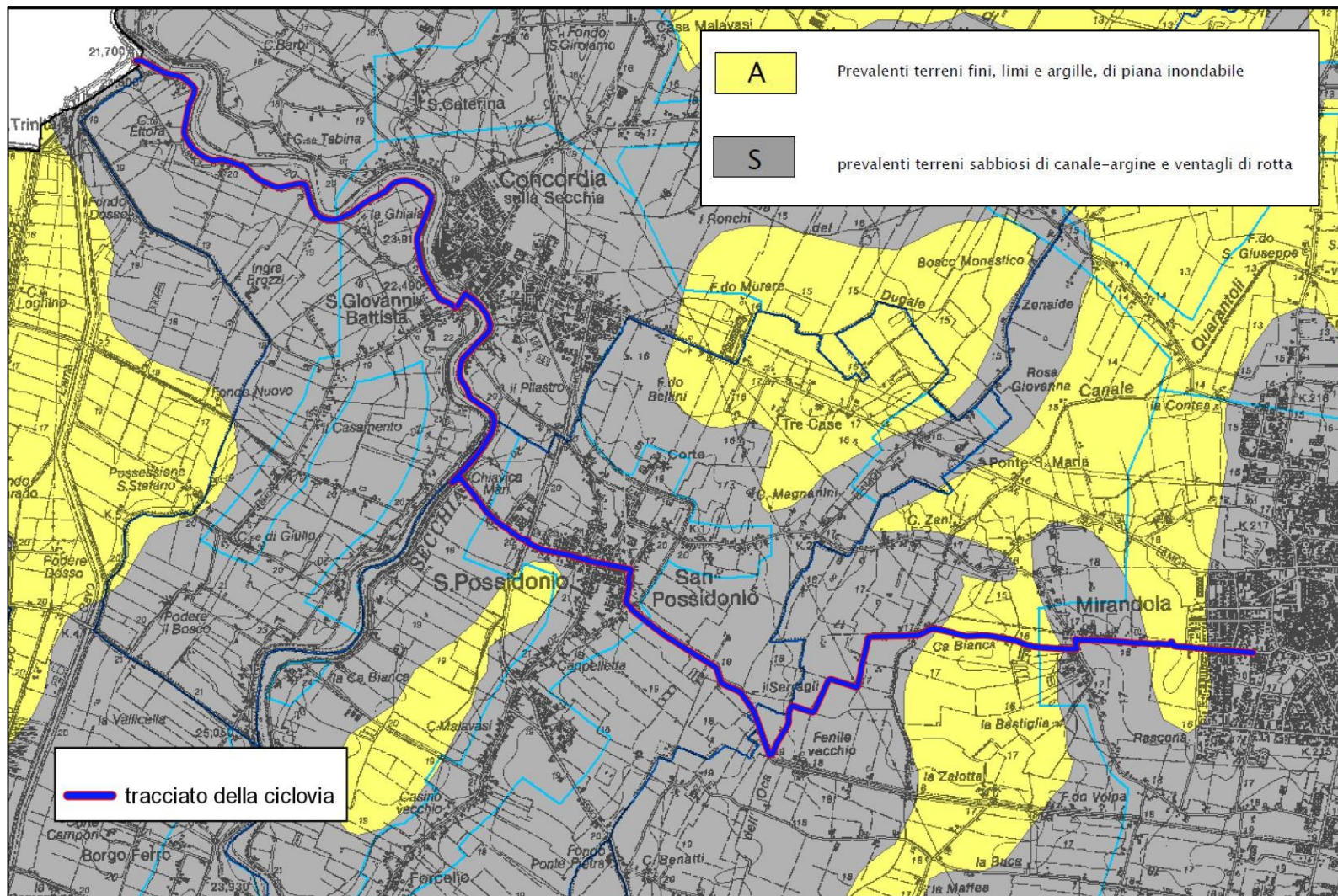


Figura 5 – CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE – Scala 1:50.000. Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato della Ricostruzione. Tronco 9 e Tronco 7 Concordia-Mirandola

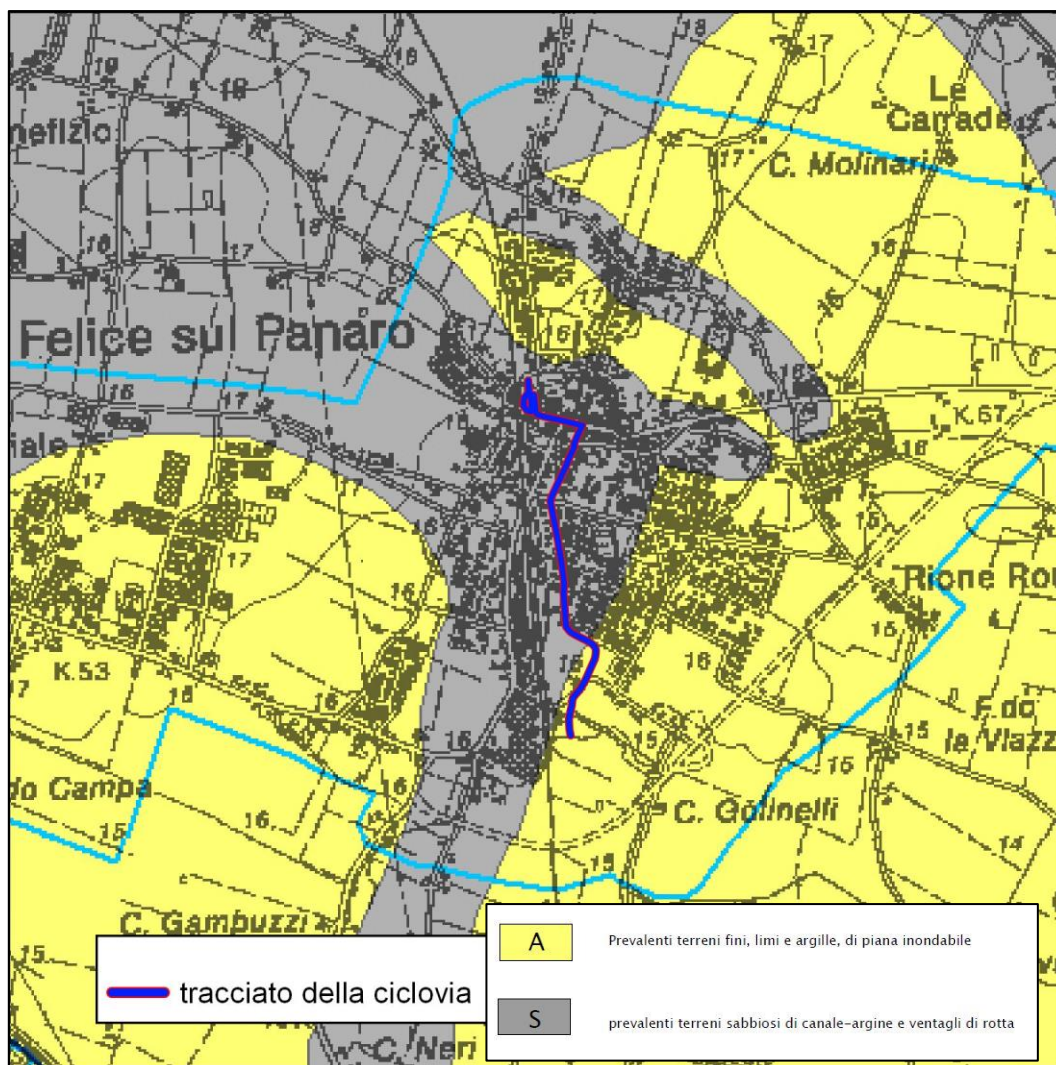
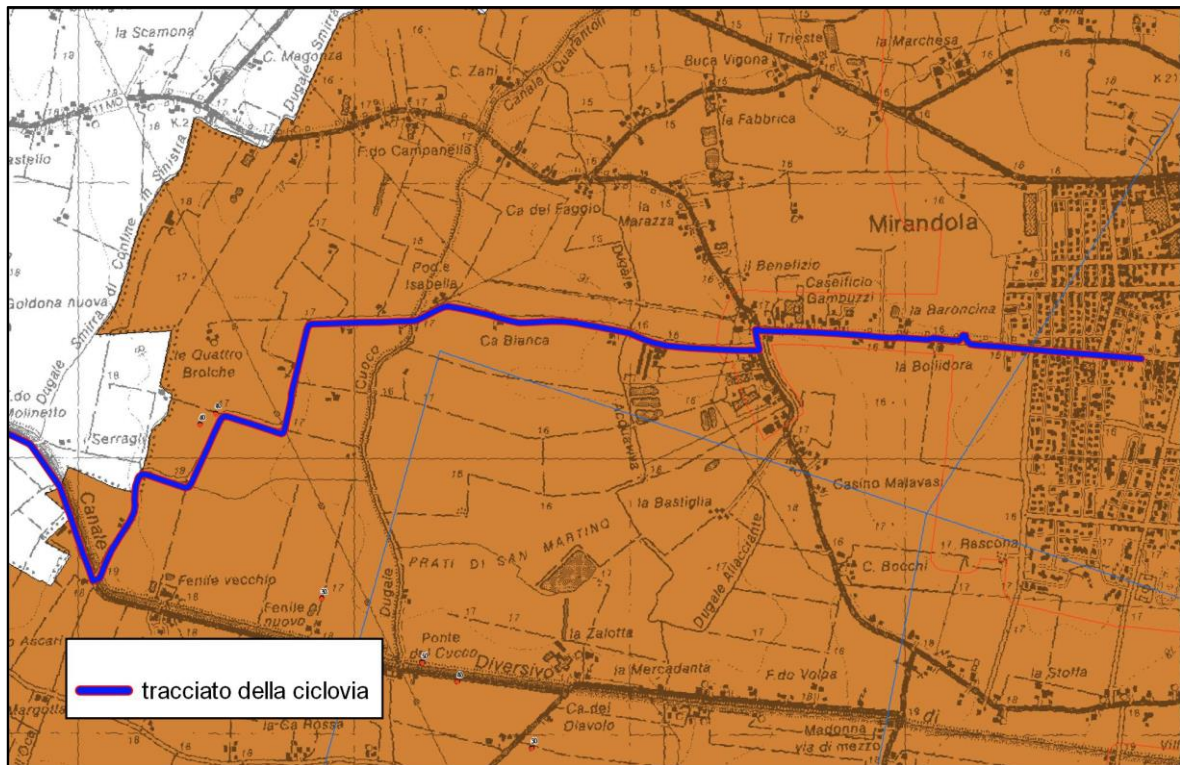


Figura 6 – CARTA GEOLOGICA DI SUPERFICIE – Scala 1:25.000 (Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato della Ricostruzione). Tronco 7 San Felice sul Panaro



Geotec

OL

SP

SM

pi = piana inondabile

es = Argine/barre/canali

Elineari

— 5301 - Asse di paleoalveo

— 8001 - Traccia della sezione geologica

Geoidr

● 21 - Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)

● 22 - Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)

Figura 7 – CARTA GEOLOGICA - TECNICA – Scala 1:25.000 (Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Mirandola). Tronco 7, area di Mirandola

Per quanto riguarda, invece, il substrato geologico, in tutta la pianura emiliano-romagnola esso è generalmente identificato alla base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS), datata a 0,45 Ma (Pleistocene medio); il SERS è costituito da depositi marini e transizionali del Pleistocene inferiore e medio, riferibili alle Sabbie Gialle o Sabbie di Imola del margine appenninico-padano. Inoltre, è noto che questo settore di bassa pianura emiliana si trovi al di sopra dell'arco delle Pieghe Ferraresi, la cosiddetta Dorsale Ferrarese, che presenta qui una zona di alto strutturale dove la base del SERS si colloca a una profondità inferiore a -100 metri sul livello del mare (addirittura inferiore a -50 metri ad ovest di Mirandola). Come si osserva nella *Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna*, di cui si riporta un estratto in figura 8, gran parte dell'area interessata dalla realizzazione della ciclovía ricade in una zona in cui la base del SERS è stimata a profondità non superiori a -50 m sul livello del mare.

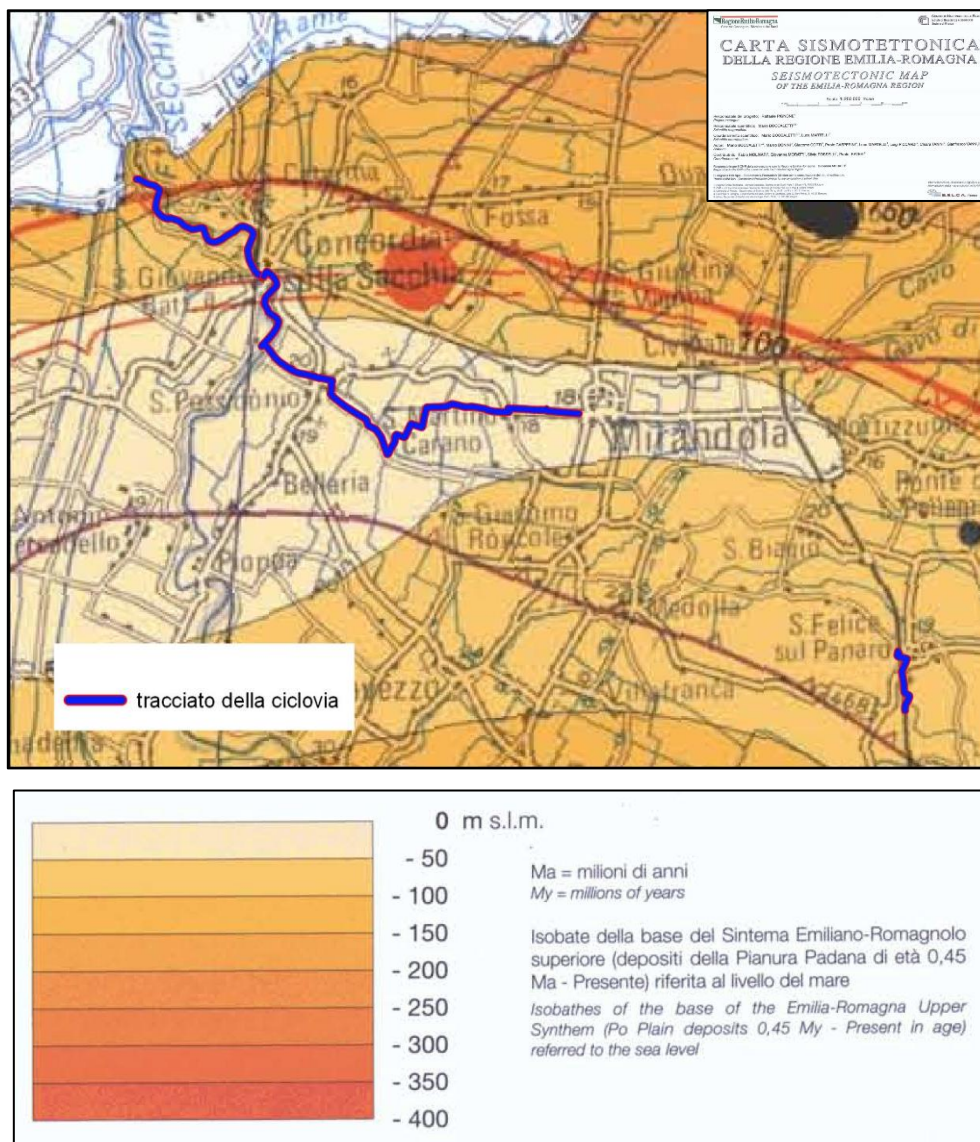


Figura 8 – CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA
 Scala 1:100.000

4. INQUADRAMENTO SISMICO DELLA ZONA IN STUDIO

Nel presente capitolo è stato effettuato un approfondimento della pericolosità sismica della zona interessata dall'attraversamento della Ciclovía del Sole.

In particolare si è fatto riferimento ai dati forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ed ai dati riportati negli Studi di Microzonazione Sismica dei comuni attraversati.

4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

In riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9 realizzata da INGV (marzo 2004) che riassume il quadro sismotettonico del territorio italiano, l'area in cui sarà realizzata la ciclovía ricade all'interno della zona sismogenetica 912, caratterizzata dalla presenza della cosiddetta Dorsale Ferrarese, a regime tettonico compressivo, e la cui magnitudo di riferimento M_w (max) corrisponde a un valore di 6.14 (*Gruppo di Lavoro (2004). Redazione 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, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici; Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo*).

La pericolosità sismica di base, espressa in termini di accelerazione massima al suolo, per l'area in oggetto è stata definita nell'intervallo 0.150 g - 0.175 g, come illustrato nella Mappa della Pericolosità Sismica fornita da INGV e illustrata di seguito.

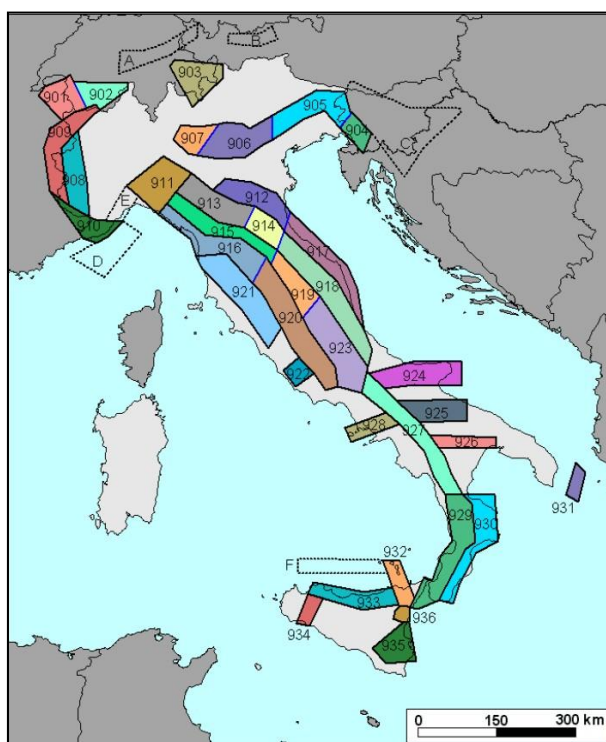


Figura 9 – Zonazione sismogenetica ZS9 (*Gruppo di Lavoro (2004)*) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, appendice 2)

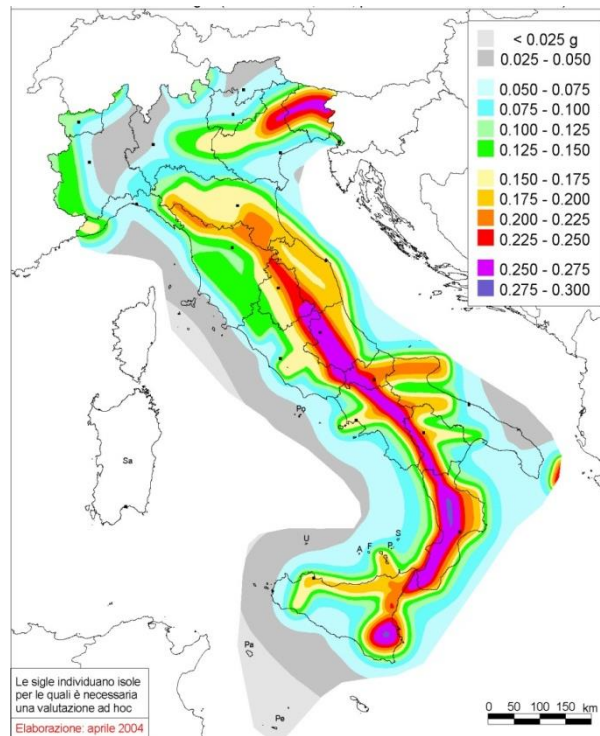


Figura 10 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressa in termini di accelerazione massima del suolo (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi, $V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005) – INGV, aprile 2004

4.2 RISCHIO SISMICO ED EFFETTI LOCALI – MICROZONAZIONE SIMICA

Per quanto riguarda il rischio sismico, come si osserva nelle Carta delle MOPS redatte nell'ambito dell'Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato per la Ricostruzione, di cui sono riportati degli estratti in figura 12 e figura 13, le aree attraversate dalla ciclovia in progetto si classificano come zone suscettibili di fenomeni di amplificazione del moto sismico, legato in primo luogo alla profondità della base del SERS, e di fenomeni di liquefazione dei terreni. In particolare, a seconda della litologia di superficie prevalente, si distinguono zone con terreni potenzialmente liquefacibili nei primi 10 m dal piano campagna e zone con terreni potenzialmente liquefacibili nei primi 10 e 20 m dal piano campagna. Secondo la Carta delle MOPS dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Mirandola, di cui si riporta un estratto in figura 16, il tratto di ciclovia compreso nel Comune di Mirandola ricade in una **"zona di attenzione per instabilità"**, caratterizzata da: "Argille e argille limose mediamente consistenti di spessore inferiore a 10 m, con intercalazioni di limi argillosi. Seguono alternanze di sabbie limose e limi sabbiosi ad addensamento medio, che passano in breve a sabbie ad addensamento e granulometria crescente con la profondità, le quali si estendono fino alla fine della successione."

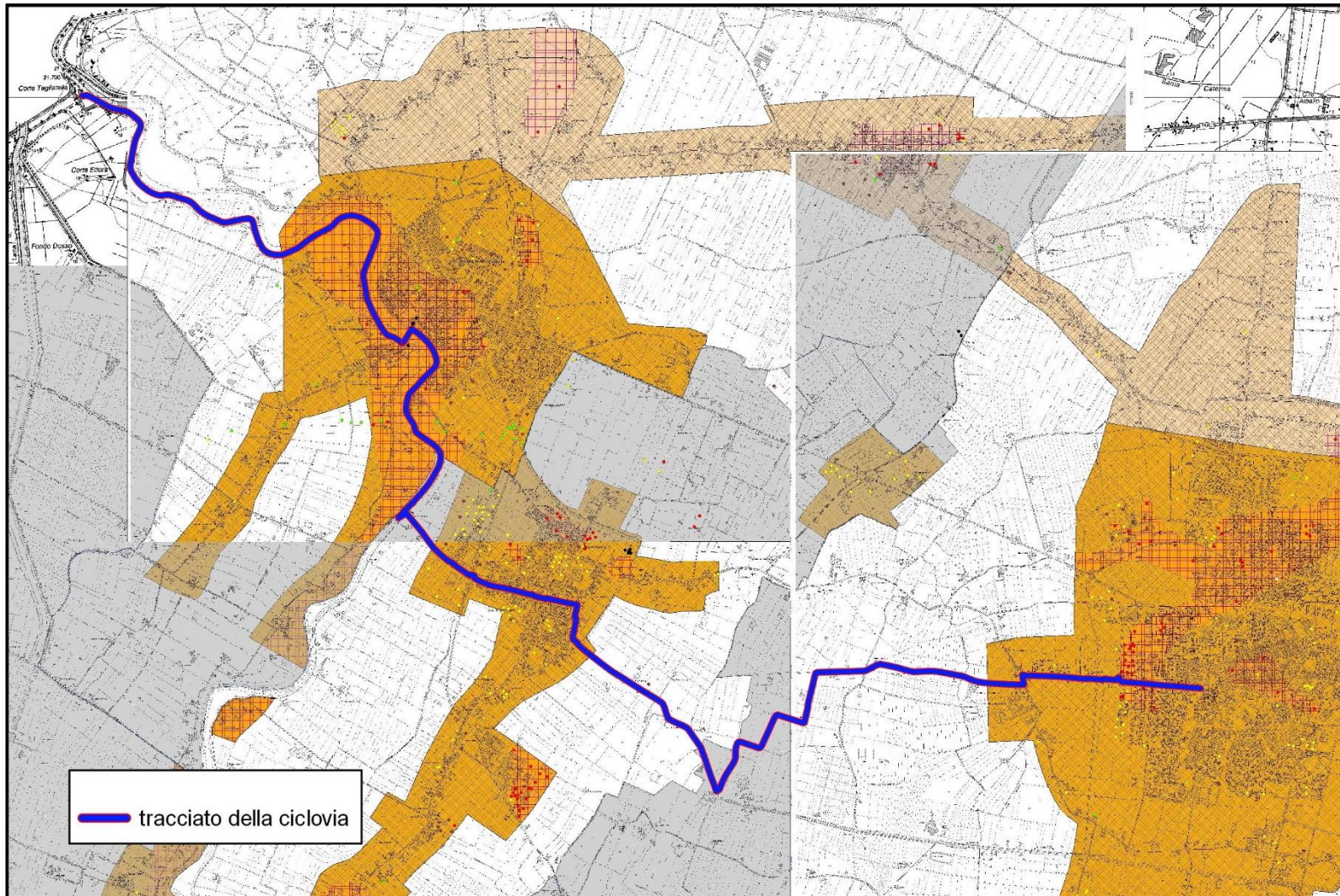


Figura 11 – CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA – Scala 1:50.000.
(Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato della Ricostruzione). Tronco 9 e Tronco 7 Concordia-Mirandola

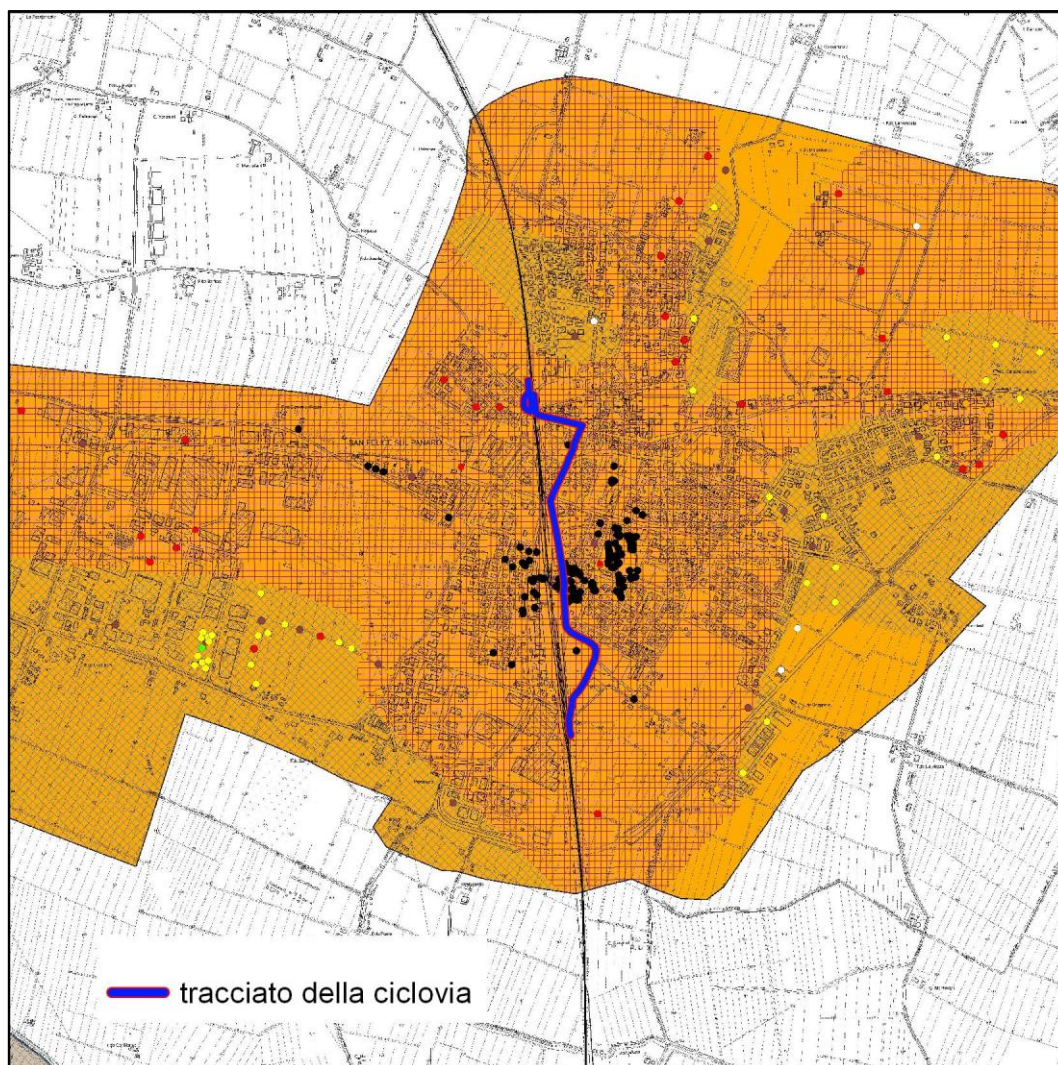


Figura 12 – CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA – Scala 1:25.000. (Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato della Ricostruzione) Tronco 7 San Felice sul Panaro

Per quanto riguarda, nel dettaglio, **il tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale**, sempre in riferimento alla Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) dell'Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato per la Ricostruzione di cui si riporta un estratto in figura 14, l'area in oggetto risulta appartenere alla "LQ1 – Substrato a profondità <120 m. Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna".

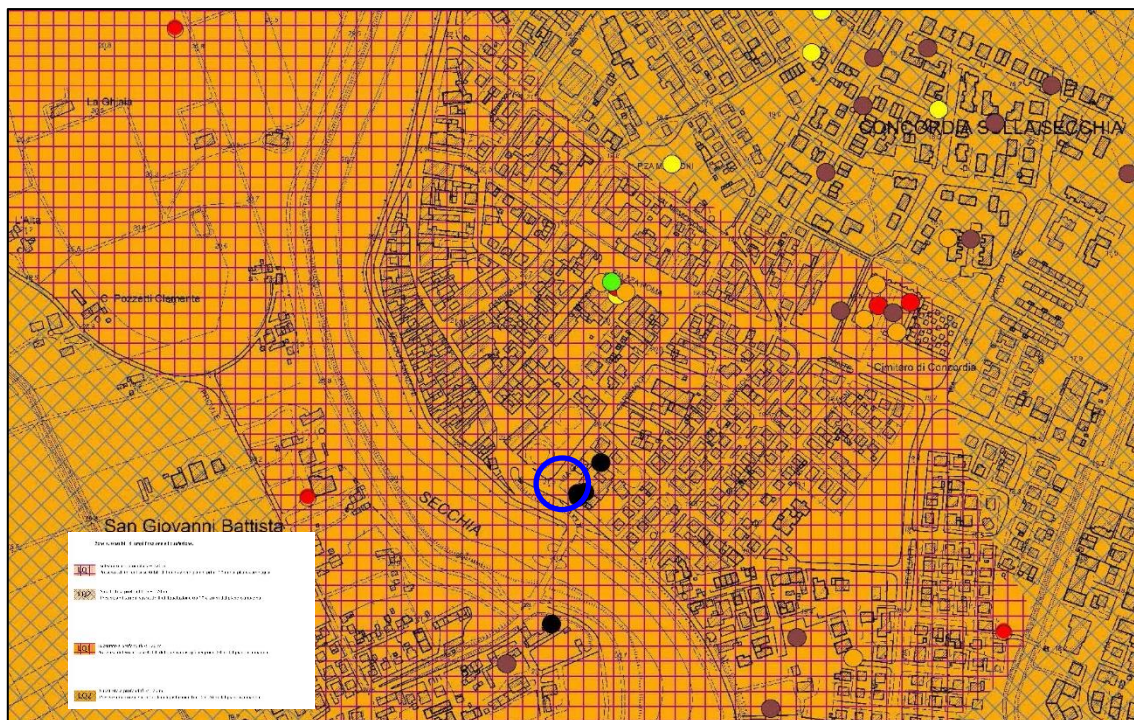


Figura 13 – Stralcio “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” relativo al tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale . (*Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato della Ricostruzione*). Fonte: Servizio Geologico sismico e dei suoli dell’Emilia-Romagna Versione 2.1 del 02/03/2015. Scala 1:10.000.

A2 Zona suscettibile di amplificazione.
A2 Substrato a profondità < 120 m

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.

LQ1 Substrato a profondità \geq 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 Substrato a profondità \geq 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

LQ1 Substrato a profondità < 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2 Substrato a profondità < 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

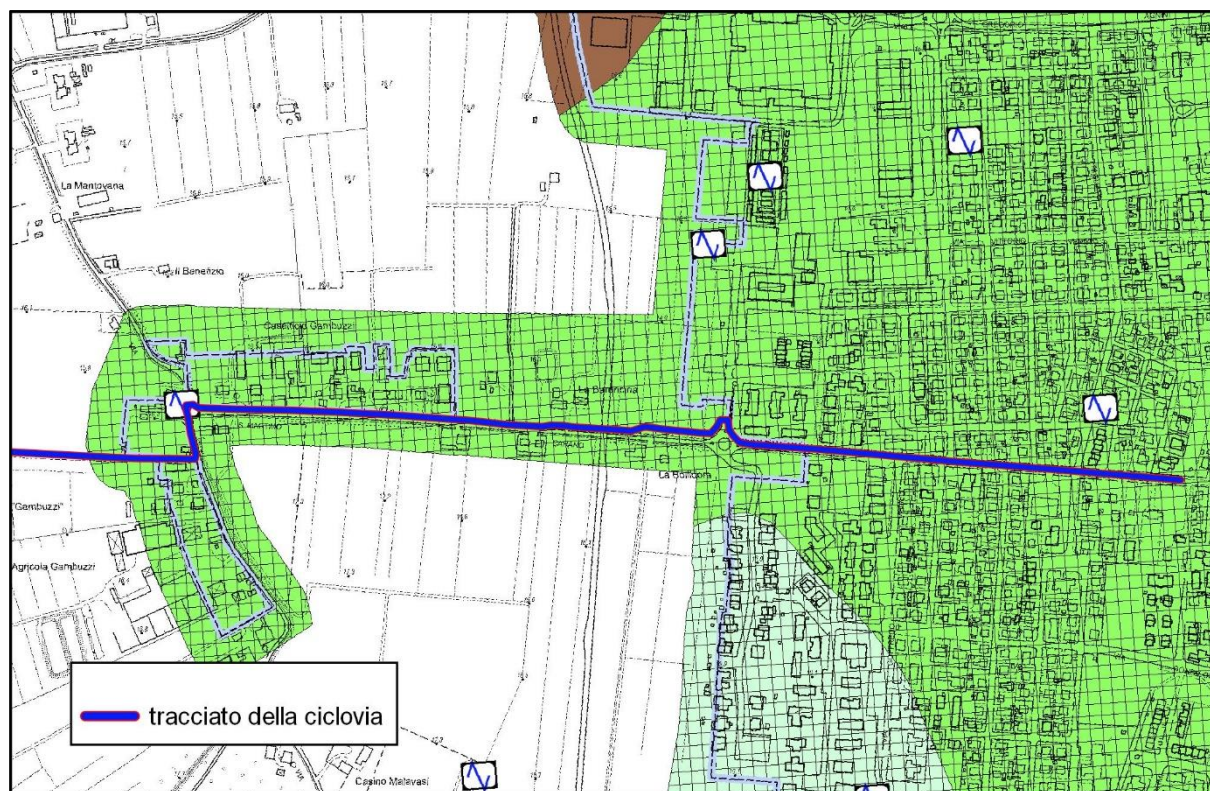
Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Prove geotecniche utilizzate per la stima della profondità degli orizzonti liquefacibili

- L1 - orizzonti liquefacibili (minimo 20 cm) presenti sotto falda già nei primi 5 m dal piano campagna
- L2 - orizzonti liquefacibili (minimo 1 m) presenti tra 5 m e 10 m dal piano campagna
- L3 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 10 m e 15 m dal piano campagna
- L4 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 15 m e 20 m dal piano campagna
- N - assenza di orizzonti liquefacibili (valutazione nei primi 20 m)
- X - dato non interpretabile
- punti di liquefazione

— fratture o allineamenti di punti di liquefazione

Figura 14 – LEGENDA - CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA - (Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Commissario Delegato della Ricostruzione).



Legenda

Zone di attenzione per instabilità

- 30502001** Argille e argille limose mediamente consistenti di spessore inferiore a 10 m, con intercalazioni di limi argillosi. Seguono sabbie, inizialmente anche limose, ad addensamento e granulometria crescente con la profondità. A profondità comprese tra 15 e 28 m si rinviene uno spessore variabile di argille e argille limose consistenti.
- 30502002** Argille e argille limose mediamente consistenti di spessore inferiore a 10 m, con intercalazioni di limi argillosi. Seguono alternanze di sabbie limose e limi sabbiosi ad addensamento medio, che passano in breve a sabbie ad addensamento e granulometria crescente con la profondità, le quali si estendono fino alla fine della successione.
- 30502003** Argille e argille limose mediamente consistenti, intervallate già nei primi metri di profondità da limi sabbiosi e sabbie limose poco o mediamente addensate. Seguono limi e sabbie ad addensamento e granulometria crescente con la profondità. A profondità comprese tra 15 e 28 m si rinviene uno spessore variabile di argille e argille limose consistenti.
- 30502004** Argille e argille limose mediamente consistenti, intervallate già nei primi metri di profondità da limi sabbiosi e sabbie limose poco o mediamente addensate. Seguono, generalmente oltre i 10 m di profondità, sabbie ad addensamento e granulometria crescente con la profondità, le quali si estendono fino alla fine della successione.
- 30502005** Argille e argille limose mediamente consistenti di spessore superiore a 10 m, con intercalazioni di limi e limi argillosi. Seguono sabbie, inizialmente anche limose, ad addensamento e granulometria crescente con la profondità. A profondità comprese tra 15 e 28 m si rinviene uno spessore variabile di argille e argille limose consistenti.
- 30502006** Argille e argille limose mediamente consistenti di spessore superiore a 10 m, con intercalazioni di limi e limi argillosi. Seguono sabbie ad addensamento e granulometria crescente con la profondità, con rare intercalazioni limose, le quali si estendono fino alla fine della successione.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2007** Argille e argille limose mediamente consistenti di spessore superiore a 10 m, con rare intercalazioni di limi argillosi. Seguono sabbie ad addensamento e granulometria crescente con la profondità, con rare intercalazioni limose, le quali si estendono fino alla fine della successione.

Figura 15 – CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA – Scala 1:10.000. Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Mirandola (2018)

5. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE GENERALI

Il tracciato della ciclovia in progetto sarà caratterizzato da diverse tipologie infrastrutturali, di seguito descritte e discusse in merito alle implicazioni geologiche e geotecniche.

Tracciato della ciclovia su tratti arginali del Fiume Secchia

Parte del tracciato della ciclovia si sviluppa sugli argini Fiume Secchia, in particolare tutto il tronco 9 che percorre l'argine sinistro e parte del tronco 8 che percorre l'argine destro dal ponte di Concordia fino all'innesto su via Chiavica Mari.

In Fotografia 1 sono riportate due immagini che riprendono la strada carraia esistente sugli argini del Fiume Secchia, attualmente utilizzata per le attività di monitoraggio e manutenzione da parte del personale addetto.



Fotografia 1 ARGINE DEL FIUME SECCHIA IN CORRISPONDENZA DELLA ZONA DI CONCORDIA SULLA SECCHIA

Le arginature del Fiume Secchia nel tratto interessato dal passaggio della ciclovia sono state oggetto di recenti interventi nell'ambito dei lavori di miglioramento delle condizioni di sicurezza del Fiume Secchia, effettuati dall'Agenzia Interregionale del Fiume Po' (AIPO) finanziati con il DL74/2014.

Sono stati effettuati lavori di adeguamento strutturale e funzionale del sistema arginale difensivo tramite interventi di adeguamento in quota e in sagoma a valle della cassa fino al confine regionale per garantire il franco di 1 metro, rispetto alla piena di TR20 nello stato attuale e la stabilità e resistenza dei rilevati (Fotografia 2).



Fotografia 2 Veduta aerea del tratto del Fiume Secchia a Concordia sS



Fotografia 3 Mantellata su arginatura



Fotografia 4 Ringrosso arginale

In località San Giovanni e a Concordia sulla Secchia sono stati effettuati degli interventi di ripristino di frane e dissesti della struttura arginale. In corrispondenza sempre di Concordia sulla Secchia sono stati effettuati e conclusi di recente degli interventi di ringrosso arginale (Fotografia 4) e di posa in opera di una mantellata (Fotografia 3).

Alla luce di quanto sopra descritto è possibile affermare che gli argini si trovano in ottimo stato di conservazione e sono caratterizzati da una sostanziale stabilità. Gli stessi rientrano inoltre

nel programma di monitoraggio periodico predisposto da AIPO e la loro salvaguardia è di fondamentale importanza per la pubblica incolumità.

Le sommità arginali attualmente occupate da strade carraie di servizio risultano idonee dal punto di vista geologico geomorfologico alla realizzazione della ciclovia. Non sono previsti interventi particolarmente invasivi per la realizzazione dell'infrastruttura viaria che saranno limitati alla scotico della coltre superficiale dell'ordine di 10-20 cm, per consentire la realizzazione di un adeguato pacchetto stradale. Non sono previsti scavi o opere che possano compromettere la loro funzionalità. L'asfaltatura delle strade carraie favorirà inoltre la circolazione dei mezzi degli addetti alla manutenzione del corso d'acqua.

Tracciato della ciclovia su strade extraurbane a basso traffico e piste ciclopedonali in ambito urbano

Per quanto riguarda il tracciato della ciclovia che percorrerà strade extraurbane a basso traffico (via Chiavica Mari e via Molinetto a San Possidonio; via Diversivo, via Prati e via Sabbioni a Mirandola; via Borgo a San Felice sul Panaro), verrà sfruttata la rete viaria esistente, pertanto non si evidenziano controindicazioni nella realizzazione della ciclovia in questi tratti dal momento che le strade sono già presenti.

Stesso discorso si può fare per i tratti che percorreranno piste ciclopedonali esistenti in ambito urbano (via Chiavica Mari, Piazza Don Andreoli a San Possidonio; via San Martino Carano, via Piave, via Circonvallazione, via Martiri, via Gramsci a Mirandola; via Campi, piazza Piva, via Circondaria e via Garibaldi a San Felice sul Panaro) e per i tratti che percorreranno su piste ciclopedonali esistenti in ambito extraurbano (via Gramsci dall'intersezione con via Borghetto alla stazione FS a Mirandola).

Infine, alcune parti del tracciato avranno sede su piste ciclopedonali di nuova costruzione (Via Chiavica Mari, Piazza Don Andreoli, via XXV Aprile, via Federzoni e via Molinetto a San Possidonio. Via Piave a Mirandola. Via Ascari, area RFI a San Felice sul Panaro). Per le piste ciclopedonali che verranno realizzate in aree urbane o in corrispondenza dell'area di sedime di strade esistenti non si ravvisano particolari problematiche dal punto di vista geologico geomorfologico e si ritiene che tali aree siano idonee alla realizzazione dell'opera.

Di seguito si riportano alcune immagini che riprendono il percorso della ciclovia nei tratti su strade extraurbane e urbane.



Fotografia 5 VEDUTA DI ALCUNI TRATTI DI PISTE CICLABILI ESISTENTI E STRADE EXTRAURBANE A BASSO TRAFFICO



Fotografia 6 VEDUTA DI ALCUNI TRATTI DI PISTE CICLABILI ESISTENTI E AREE DESTINATE ALLA REALIZZAZIONE DI NUOVI TRATTI

Raccordo ciclovia Ponte sul Fiume Secchia centro abitato di Concordia sS

Nel tratto di collegamento tra il ponte sul Fiume Secchia ed il centro abitato di Concordia sS la Strada P. Novi non è sufficientemente larga per ospitare la ciclovia, per questo motivo nel tratto in questione il progetto prevede la realizzazione di un rilevato in terra, in affiancamento alla sede stradale esistente, sul quale verrà costruito il collegamento ciclabile.

Considerato che l'intervento in questione prevede la realizzazione di un'opera che necessita di studi più approfonditi a livello geologico, geomorfologico e sismico, rispetto agli altri tratti, sono state effettuate opportune indagini geognostiche e geofisiche per la raccolta dei dati necessari alla progettazione.

Vista la notevole quantità di dati ed elaborazioni effettuate è stato dedicato un apposito capitolo per la trattazione del raccordo in questione.

6. RACCORDO PONTE SUL FIUME SECCHIA CENTRO ABITATO DI CONCORDIA SS

6.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Come precedentemente accennato la Strada Provinciale Novi non presenta la larghezza necessaria per consentire la realizzazione della ciclovia in affiancamento della Provinciale sfruttando la sede stradale esistente; per questo motivo si prevede la realizzazione di terre armate in affiancamento alla sede stradale esistente (lato nord) su cui verrà costruita la ciclovia.

In Fotografia 7 è riportata un'immagine aerea dell'area oggetto di intervento dove si osserva il ponte sul Secchia e la strada che conduce al centro abitato di Concordia sulla Secchia.



Fotografia 7 Veduta aerea dell'area oggetto di intervento

Nelle figure sottostanti sono riportate le planimetrie e relative sezioni dello stato di fatto e di progetto.



Figura 16 STATO DI FATTO

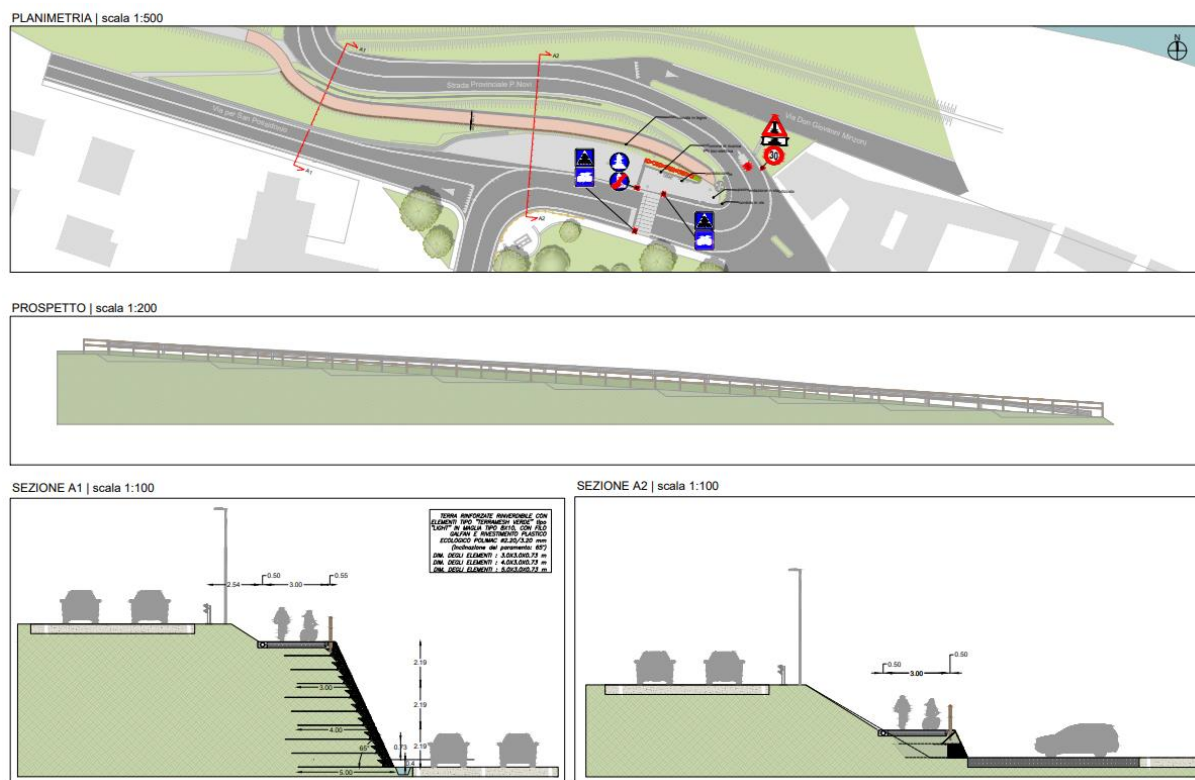


Figura 17 STATO DI PROGETTO

Considerato che per la realizzazione del manufatto sarà necessaria la realizzazione di un rilevato in terra sostenuto da un'opera in terre armate è stata predisposta una campagna di

indagini geognostiche e geofisiche finalizzata alla raccolta dei dati necessari alla progettazione dell'intervento.

6.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Per la caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica e sismica dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area interessata dal tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche e geofisiche:

- n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU.
- n. 1 indagine a sismica attiva con metodo MASW
- n. 1 acquisizione di microtremore a stazione singola con elaborazione HVSr

In Figura 18 è riportata l'ubicazione delle indagini eseguite.

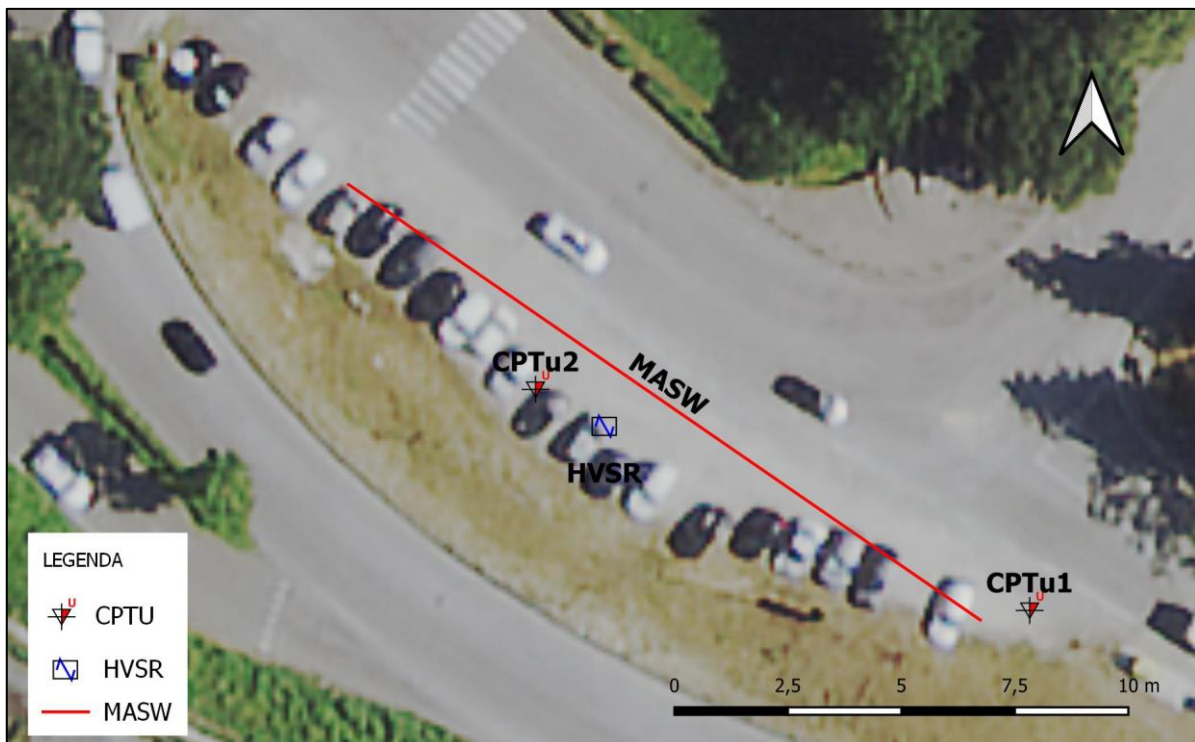


Figura 18 – UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Le indagini sono state eseguite dalla Geo Group srl e i certificati di prova compaiono in allegato.

6.3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU

Per la raccolta dei parametri litostratigrafici e geotecnici della zona oggetto d'intervento sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono CPTU spinte sino alla profondità massima di -20.35 metri di profondità dal piano campagna.

Le prove sono state eseguite con penetrometro Gouda da 200 KN montato su camion, utilizzando una punta elettrica con piezocono Pagani MKS.

Le prove sono state elaborate utilizzando i software Static della Geostru.

Legenda:	
Y (t/m ³)	Peso dell'unità di volume del terreno, Ys: saturo (Meyerhof ed altri)
C _u (kg/cm ²)	Coesione non drenata nei terreni coesivi (Lunne Robertson and Powell)
Φ°	Angolo di attrito interno efficace per terreni granulari (Schmertmann)
Mo (kg/cm ²)	Modulo di deformazione edometrico per terreni coesivi/granulari (metodo generale del modulo edometrico)
E _y (Kg/cm ²)	Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978)
G (Kg/cm ²)	Modulo di deformazione a taglio
OCR	Grado di sovraconsolidazione (Larsonn 1991- S.G.I.)

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI PROVA PENETROMETRICA CPTU 1

Prof. (m)	Litologia	Cu (Kg/cm ²)	Mo (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	OCR	Puv (t/m ³)	Puv S (t/m ³)	Φ°	Ey (Kg/cm ²)
0.0 - 1.40	Preforo	---	---	---	---	---	---		---
1.40 - 2.0	Argille - Argille limose	1,6	64	234,3	>9	2,1	2,1	21	80,9
3.0 - 3.7	Argille - Argille limose	0,8	47	156,7	>9	1,9	2,0	21	41,9
3.7 - 5.3	Argille - Argille limose	0,5	43	113,5	3,2	1,8	1,9	20	24,7
5.3 - 8.0	Sabbie limose - Limi Sabbiosi	--	68	242,8	<0.5	1,9	2,2	24	85,7
8.0 - 16,0	Argille - Argille limose	0,6	47	132,8	2,3	1,9	1,9	20	32
16.0 - 18.85	Argille - Argille limose	1,0	44	169,6	1,5	1,9	2,0	21	47,7
18.85 - 20.43	Sabbie limose - Limi Sabbiosi	--	104	346,2	<0.5	1,9	2,2	20	153,3
Livello falda: 3.5 m da p.c.									

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI PROVA PENETROMETRICA CPTU 2

Prof. (m)	Litologia	Cu (Kg/cm ²)	Mo (Kg/cm ²)	G (Kg/cm ²)	OCR	Puv (t/m ³)	Puv S (t/m ³)	Φ°	Ey (Kg/cm ²)
0.0 - 1.0	Preforo	---	---	---	---	---	---		---
1.0 - 2.37	Argille - Argille limose	0,8	48,1	151	>9	1,9	2,0	21	--
2.37 - 3.0	Limi argillosi - Argille Limose	1,1	45,8	189	>9	2,0	2,1	27	--
3.0 - 3.94	Terreni organici - Torbe	0,3	30,5	81	5,5	1,7	1,8	17	--
3.94 - 8.0	Sabbie limose - Limi Sabbiosi	--	99,2	304	<0.5	1,9	2,2	26	124
8.0 - 14.2	Argille - Argille limose	0,6	46,7	127	2,2	1,9	1,9	20	--
14.2 - 19.16	Argille - Argille limose	0,8	47,6	153	1.8	1,9	2,0	21	--
19.16 - 20.36	Limi argillosi - Argille Limose	1,9	74,1	254	1,6	2,1	2,1	18	--
Livello falda: 3.5 m da p.c.									

I tabulati di lettura ed i diagrammi penetrometrici sono riportati in allegato 3.

6.4 INDAGI GEOFISICHE MASW E HVSR

Per la classificazione sismica del terreno dell'area interessata dal tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale, sono stati utilizzati i dati ricavati da una indagine a sismica attiva (MASW) e da una indagine a sismica passiva (HVSR) eseguite su terreno naturale in corrispondenza dell'area di studio. Le prove geofisiche sono state eseguite ed elaborate dalla Geo Group SRL di Castelnuovo Rangone (Mo) ed i certificati di prova compaiono in allegato 4.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti.

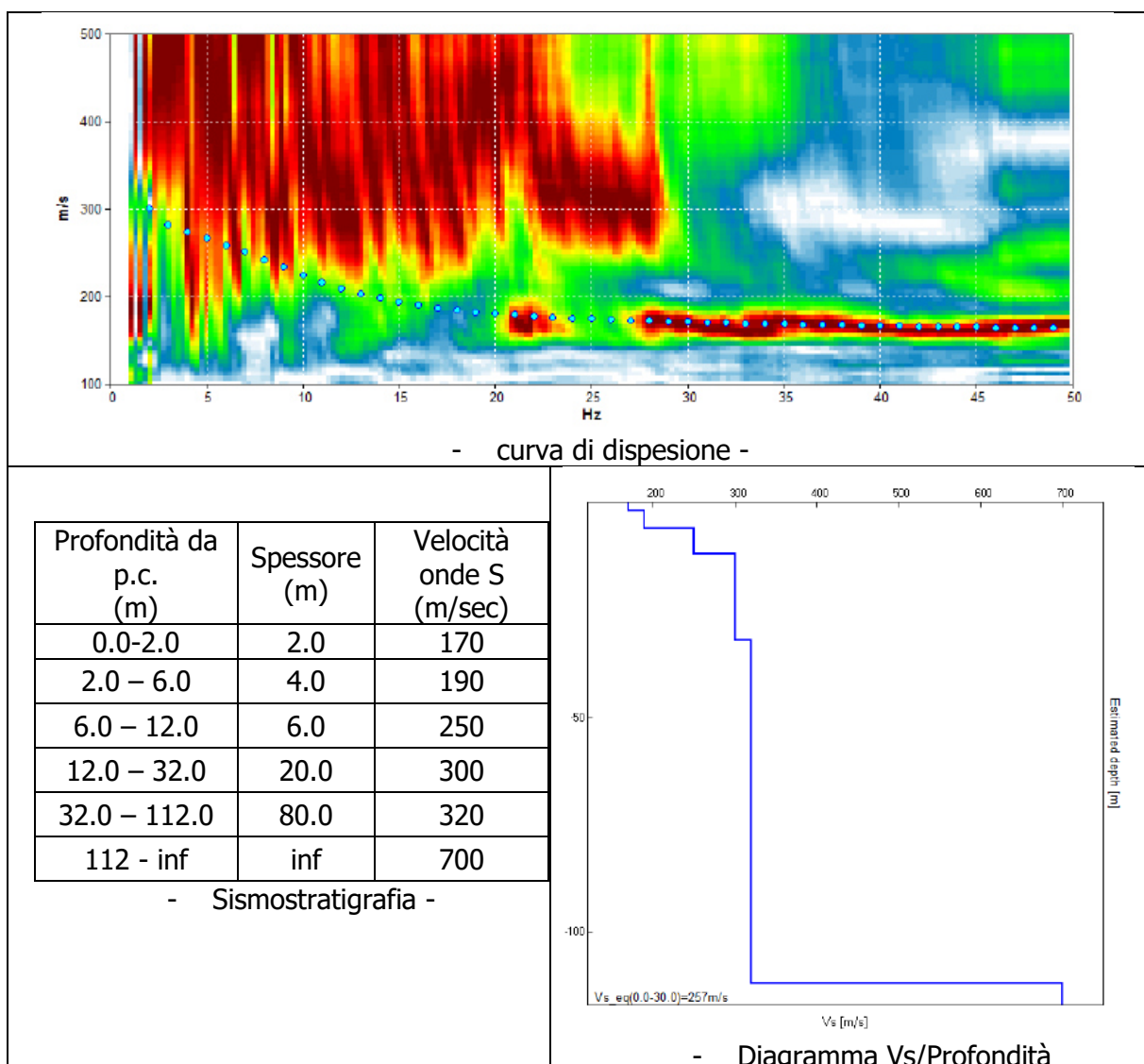


Figura 19 – Indagine sismica MASW

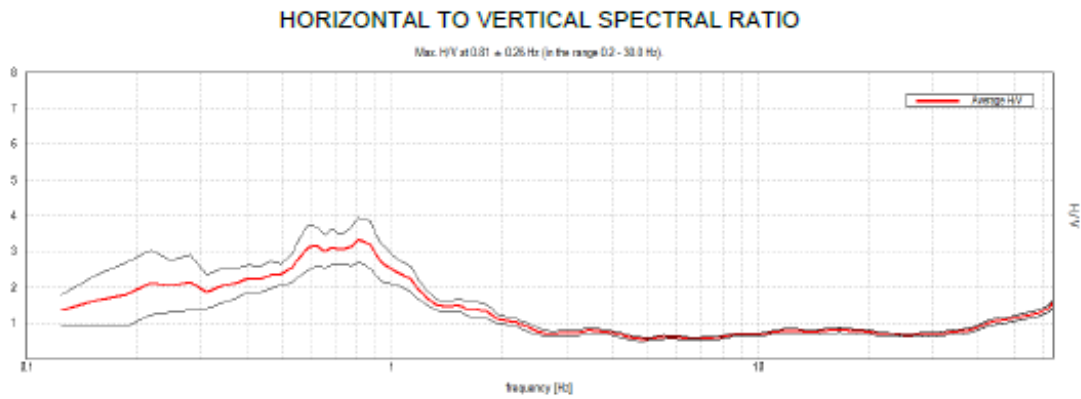


Figura 20 –Curva dei rapporti H/V ricavata dall’indagine a sismica passiva (HVSr)

L’indagine congiunta della prova MASW e HVSr ha permesso di interpretare il profilo di velocità delle onde S con la profondità, da cui ricavare il parametro di Normativa $V_{S,30}$, risultato pari a **257 m/s**.

L’indagine a sismica passiva (HVSr) ha identificato un solo picco dei rapporti H/V intorno a **0,81 Hz**, con ampiezza del rapporto prossima a 3 (Figura 20).

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

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

con:

h_i spessore dell’i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

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

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente:

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

L'elaborazione congiunta delle prove MASW e HVSR ha permesso di interpretare il profilo di velocità delle onde S con la profondità, da cui ricavare il parametro di Normativa V_{s30} , risultato pari a **257 m/s**, che, grazie anche all'aumento progressivo della rigidità del terreno con la profondità, permette di inserire il terreno stesso all'interno della **CLASSE C**.

6.5 MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base dei risultati delle indagini geognostiche eseguite è stato possibile ricostruire il modello geologico e geotecnico valido per l'area in esame.

In particolare, al di sotto di uno strato di riporto dello spessore variabile da 1.0 a 1.4 m, sono presenti terreni a granulometria fine mediamente consolidati fino alla profondità di 4,0/5,3 metri.

A seguire, è presente uno strato sabbioso debolmente addensato fino alla profondità di 8 metri dal p.c.

Dalla quota -8 metri fino a -19 metri sono presenti terreni a granulometria fine, argille e argille limose, da mediamente consolidate a consolidate.

Dalla quota di -19 metri fino a fondo foro sono presenti sabbie e sabbie limose moderatamente addensate.

MODELLO GEOTECNICO PARAMETRI CARATTERISTICI

Prof.	Tipo	C _{uk}	M _{ok}	P _{uvk}	P _{uvSk}	C' _k	φ°	E _{yk}
0, 0 - 1,4	--	--	--	--	--	--	--	--
1, 4 -3,5	C	0,9	46	1,9	2,0	0,09	21	--
3,5 - 4,5	C	0,5	45	1,9	1,9	0,05	19	--
4, 5 -8,00	I	--	84	2,1	2,2	--	25	105
8,0 16,0	C	0,6	47	1,9	1,9	0,06	20	--
16,0 -18,7	C	0,9	45	1,9	2,0	0,09	21	--
18,7 - 20,35	I	--	--	2,1	2,2	--	18	110

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche è stato misurato il livello della falda che si attesta alla profondità di -3,5 m dal piano di campagna.

La progettazione del rilevato sostenuto da terre armate dovrà essere dimensionato sulla base dei parametri litostratigrafici e geotecnici riportati in tabella.

6.6 DETERMINAZIONE DELLA CLASSE SISMICA DI SOTTOSUOLO

Sempre per quanto riguarda la caratterizzazione sismica dell'area interessata dal tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M 2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori di V_s sono stati ottenuti mediante specifiche prove geofisiche.

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = 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.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e **T_C^*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1- *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$\mathbf{T1: } S_T = 1.0; \mathbf{T2: } S_T = 1.20; \mathbf{T3: } S_T = 1.20; \mathbf{T4: } S_T = 1.40.$$

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DELL'AREA INTERESSATA DAL TRATTO DI CICLOVIA CHE COLLEGA IL PONTE SUL FIUME SECCHIA A CONCORDIA CON IL CENTRO ABITATO DEL CAPOLUOGO COMUNALE:

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche effettuate e della pericolosità sismica del sito in studio sono stati determinati i parametri e coefficienti sismici con metodi semplificati.

PERICOLOSITÀ SISMICA

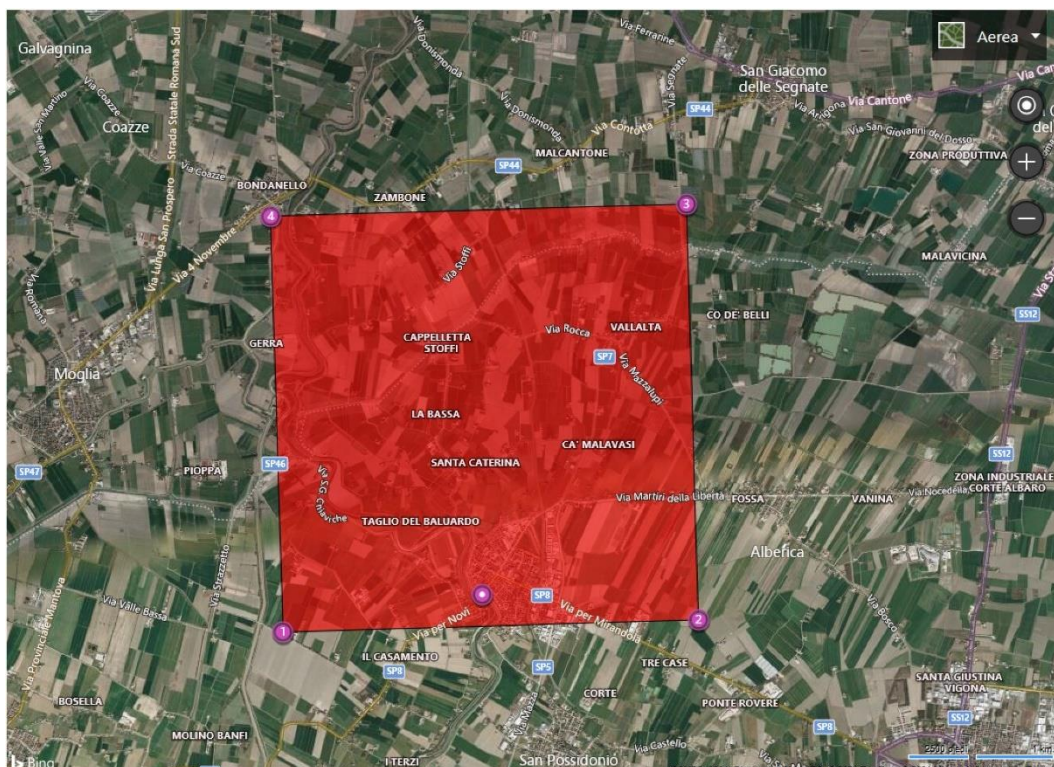
Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	44,9115295 [°]
Longitudine (WGS84):	10,9832067 [°]
Latitudine (ED50):	44,9124603 [°]
Longitudine (ED50):	10,9842157 [°]



Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	14949	44,907880	10,950530	2701,20
2	14950	44,909370	11,020980	2915,51
3	14728	44,959340	11,018960	5886,50
4	14727	44,957870	10,948370	5784,04

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,037	2,584	0,243
	50	0,045	2,541	0,268
	72	0,055	2,494	0,274
	101	0,064	2,491	0,281
	140	0,076	2,529	0,274
SLV	201	0,090	2,605	0,266
	475	0,135	2,582	0,269
SLC	975	0,184	2,536	0,275
	2475	0,265	2,448	0,287

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,037	2,581	0,244
SLD	50	0,045	2,535	0,269
	72	0,055	2,490	0,274
	101	0,065	2,503	0,282
	140	0,077	2,525	0,272
	201	0,091	2,603	0,267
SLV	475	0,135	2,588	0,270
SLC	975	0,183	2,541	0,276
	2475	0,264	2,449	0,288

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,035	2,586	0,231
SLD	50	0,042	2,587	0,268
	72	0,049	2,556	0,279
	101	0,058	2,510	0,283
	140	0,067	2,505	0,289
	201	0,080	2,562	0,280
SLV	475	0,113	2,589	0,282
SLC	975	0,150	2,580	0,284
	2475	0,213	2,513	0,292

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,035	2,586	0,227
SLD	50	0,042	2,587	0,268
	72	0,049	2,569	0,278
	101	0,058	2,503	0,283
	140	0,067	2,499	0,291
	201	0,080	2,546	0,282
SLV	475	0,113	2,585	0,282
SLC	975	0,151	2,579	0,282
	2475	0,216	2,509	0,291

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,036	2,584	0,239
SLD	50	0,044	2,554	0,268
SLV	475	0,128	2,585	0,274
SLC	975	0,173	2,552	0,278

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

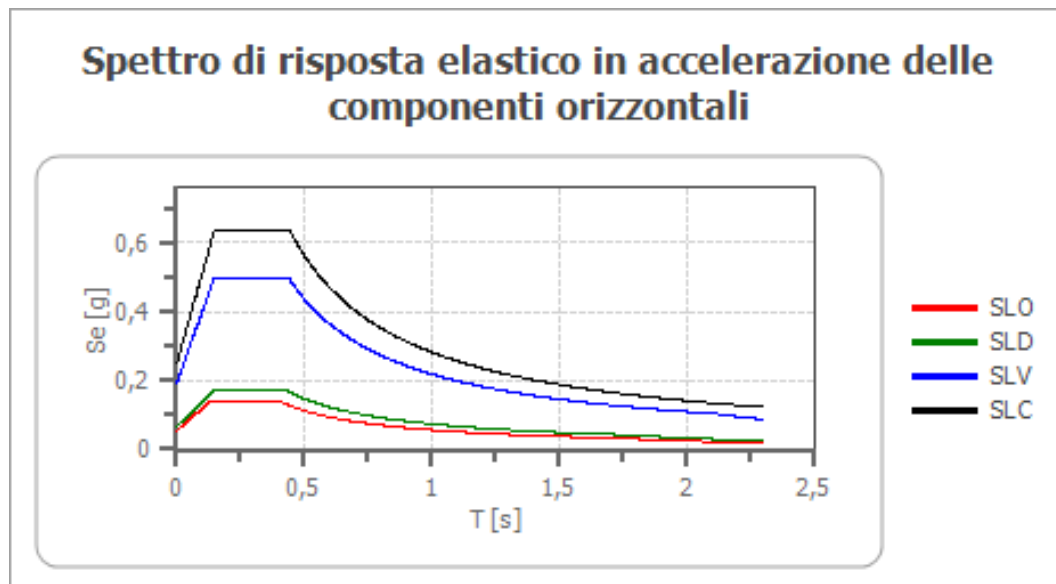
Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,011	0,013	0,046	0,060
kv	0,005	0,007	0,023	0,030
amax [m/s ²]	0,532	0,651	1,881	2,438
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,031	0,073	--
kv	--	0,016	0,036	--
amax [m/s ²]	0,532	0,651	1,881	2,438
Beta	--	0,470	0,380	--

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

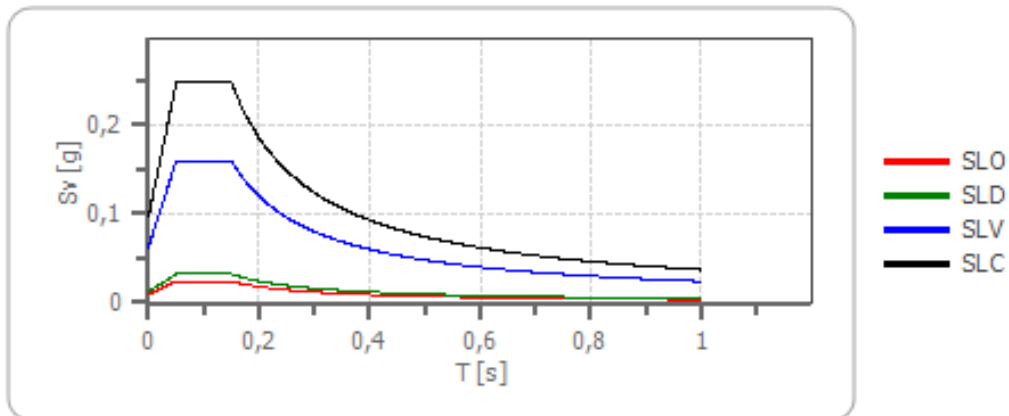


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,036	2,584	0,239	1,500	1,680	1,000	1,500	1,000	0,134	0,401	1,745	0,054	0,140
SLD	1,0	0,044	2,554	0,268	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,435	1,777	0,066	0,169
SLV	1,0	0,128	2,585	0,274	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,147	0,440	2,111	0,192	0,496
SLC	1,0	0,173	2,552	0,278	1,440	1,600	1,000	1,440	1,000	0,148	0,444	2,290	0,249	0,634

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,036	2,584	0,239	1	1,680	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,009	0,024
SLD	1,0	0,044	2,554	0,268	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,013	0,032
SLV	1,0	0,128	2,585	0,274	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,062	0,160
SLC	1,0	0,173	2,552	0,278	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,097	0,247

6.7 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La verifica preliminare della suscettibilità al fenomeno della liquefazione dei terreni nell'area interessata dal tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale è stata condotta con un metodo che utilizza le misure di resistenza alla punta e laterale effettuate dalle prove penetrometriche condotte.

L'accelerazione di progetto è stata calcolata secondo la metodologia semplificata consentita dal DM 17/01/18, sulla base della classe d'uso del fabbricato e della categoria di sottosuolo (classe d'uso II, terreno tipo C).

La procedura di calcolo qui utilizzata è il metodo semplificato di *Boulanger e Idriss (2014)* basato sui risultati di prove CPTu. Si riporta di seguito la procedura di calcolo implementata.

1. $q_{clN} = C_N \cdot \frac{q_c}{p_a}$
 $C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m \leq 1.7$
 $m = 1.338 - 0.249 \cdot (q_{clNcs})^{0.264}$ con $21 \leq q_{clNcs} \leq 254$
 $(q_{clNcs}$ è definito al punto 2 e m è determinato per via iterativa; p_a è la pressione atmosferica)
2. $q_{clNcs} = q_{clN} + \Delta q_{clN}$
 $\Delta q_{clN} = \left(11.9 + \frac{q_{clN}}{14.6} \right) \cdot \exp \left[1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left(\frac{15.7}{FC + 2} \right)^2 \right]$
 FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di determinazione sperimentale di laboratorio FC può essere stimato con l'espressione empirica:
 $FC = 80 I_c - 137$
 in cui I_c è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):
 $I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$
 con
 $F = \frac{f_s}{q_c - \sigma'_{v0}} \cdot 100$
 $Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma'_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$
3. $CRR = \exp \left[\frac{q_{clNcs}}{113} + \left(\frac{q_{clNcs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{clNcs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{clNcs}}{137} \right)^4 - 2.80 \right]$
4. $MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \left[8.64 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 1.325 \right]$
 $MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{q_{clNcs}}{180} \right)^3 \leq 2.2$
5. $K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_v}{p_a} \right) \leq 1.1$
 $C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27 (q_{clNcs})^{0.264}} \leq 0.3$
5. $CSR_{M,\sigma'_v} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$
 $r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$
 $\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen} \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right)$
 $\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen} \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right)$
6. $F_L = \frac{CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1atm}}{CSR_{M,\sigma'_v}} \cdot MSF \cdot K_\sigma$

Di seguito si riportano i parametri di input utilizzati:

- magnitudo dell'evento sismico: $M_w = 6.14$
- accelerazione di calcolo: $a_g = 0.19 g$
- falda: 3.5 m da pdc

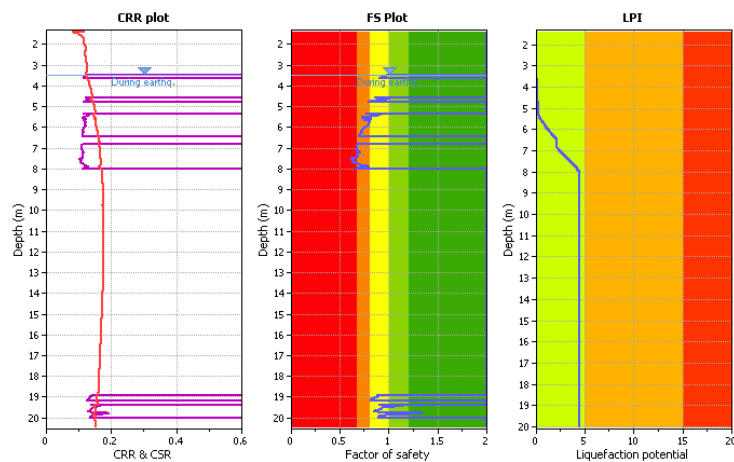
Gli indici di potenziale liquefazione ottenuti dall'elaborazione delle due prove penetrometriche sono risultati pari a:

CPTU_01: **IL = 4.44**

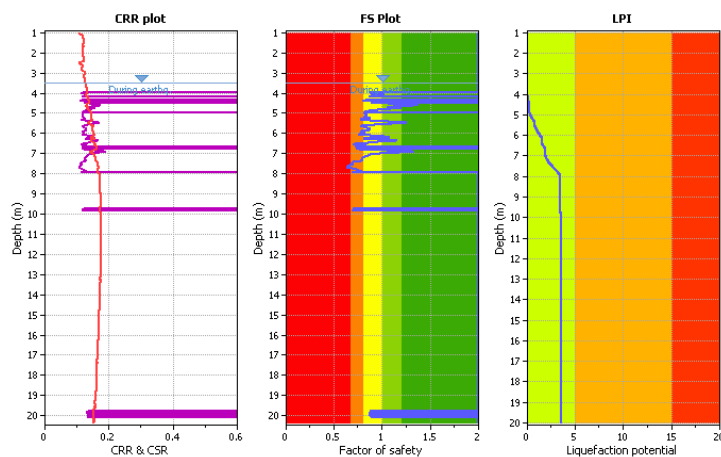
CPTU_02: **IL = 3.52**

Entrambi i valori ottenuti, secondo la classificazione Sonmez (2003) sono indicativi di un rischio di liquefazione **Moderato**.










Di seguito si riportano i grafici relativi alla verifica a liquefazione preliminare.



Rapporto di resistenza ciclica CRR –CPTU_01, fattore di sicurezza FS, Indice di potenziale liquefazione IL



Rapporto di resistenza ciclica CRR –CPTU_02, fattore di sicurezza FS, Indice di potenziale liquefazione IL

Input parameters and analysis data				F.S. color scheme		LPI color scheme			
Analysis method:	8&I (2014)	Depth to GW (earthq.):	1.92 m	Fill weight:	N/A		Almost certain it will liquefy		Very high risk
Fines correction method:	8&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No		Very likely to liquefy		High risk
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes		Liquefaction and no liq. are equally likely		Low risk
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only		Unlike to liquefy		
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No	Limit depth applied:	No		Almost certain it will not liquefy		
Depth to water table (insitu):	1.92 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A				

E' stata effettuata una stima dei cedimenti post sismici free-field del sottosuolo dell'area in studio per le due CPTU eseguite e sono stati determinati i seguenti valori:

Total estimated settlement CPTU 1: 12,49 cm

Total estimated settlement CPTU 2: 11,33 cm

In allegato sono riportate le elaborazioni complete del calcolo dei cedimenti post-sismici.

Il progettista dovrà valutare se i cedimenti post-sismici stimati sono compatibili con l'opera in progetto.

7. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta a supporto del progetto definitivo della Ciclovia del Sole Verona-Firenze Tronchi 7 e 9 tratti in Provincia di Modena.

Considerato che la ciclovia verrà realizzata per la quasi totalità del suo percorso sfruttando la rete viaria esistente, la caratterizzazione geologica, geomorfologica e sismica si è basata su dati bibliografici; mentre per il tratto di ciclovia che collega il Ponte sul Fiume Secchia a Concordia con il centro abitato del capoluogo comunale, per il quale è prevista la realizzazione di un rilevato in terra su cui verrà realizzata la pista, sono state effettuate gli opportuni approfondimenti geognostici e geofisici per la raccolta dei dati necessari alla progettazione dell'intervento.

Sulla base delle indagini eseguite, considerazioni ed ipotesi svolte, **si dichiara la fattibilità dell'intervento in progetto** alle condizioni precedentemente specificate.

L'area è idonea dal punto di vista geologico, geomorfologico e sismico all'esecuzione dell'intervento in progetto.

Modena 05/08/2023

Il Tecnico
Dott. Geol. Gianluca Vaccari

