



Studio Servizi Tecnici
Settore geologia e ambiente

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE

Via Roma, 10

44021 CODIGORO (Ferrara)

Tel e fax. 0533 / 713798 cell. 335-5240380

E-mail: t.veronese@studio-sst.it

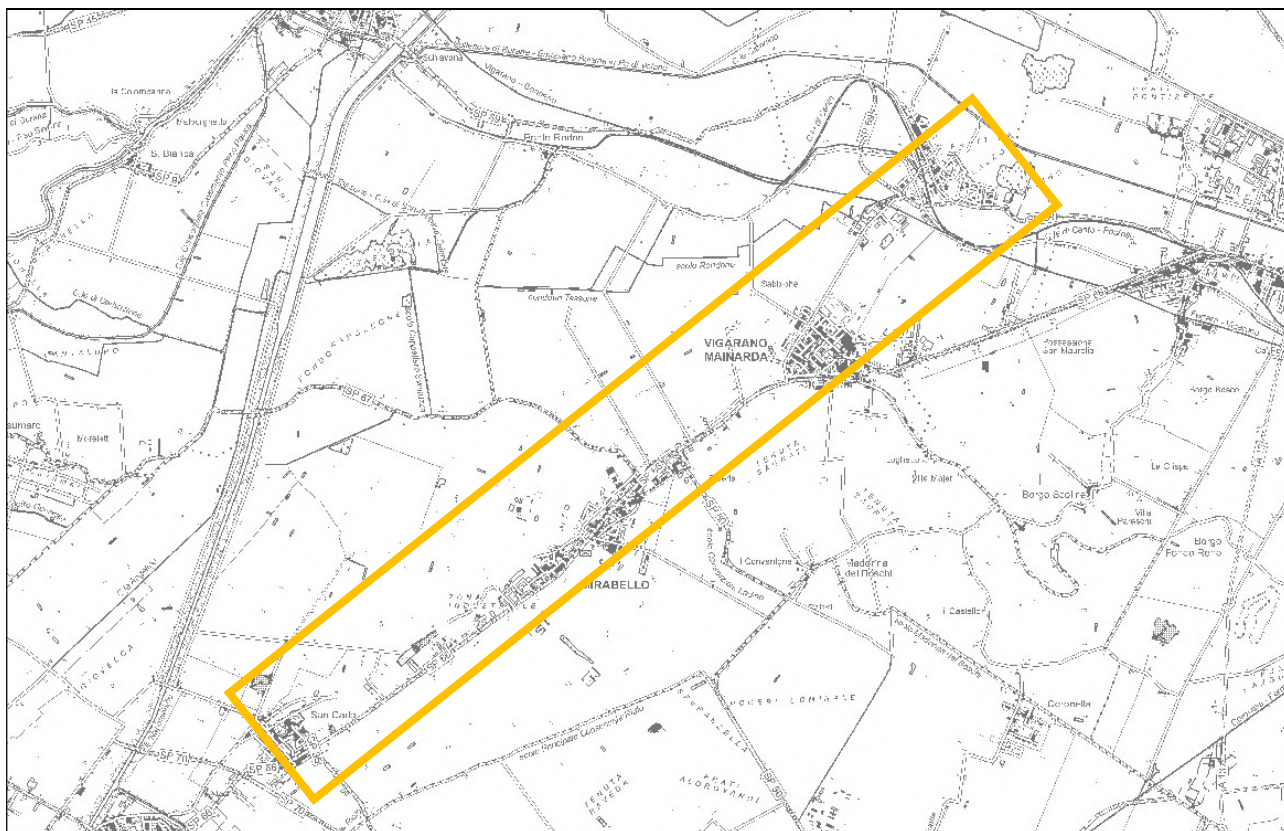
PEC: thomas.veronese@pec.epap.it

MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA e GEOTECNICA SULLE INDAGINI

COMUNI DI VIGARANO MAINARDA e TERRE DEL RENO

Provincia di Ferrara

Progetto per lo studio di fattibilità tecnico economica di nuova infrastruttura ciclabile denominata
Nuova Ciclovia VenTi tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe).



Committenti: **UFFICIO TECNICO**
Terre del Reno **Vigarano Mainarda**
Ing. Agnese Malagoli Ing. Alessandra Campagnoli
Geom. Stefano Sitta Ing. Gessica Grossi

Studio S.S.T. SETTORE GEOLOGIA E AMBIENTE

Geotecnica; Studio terreni di fondazione; Rilevamento geologico; Rilievi topografici; Geofisica - Contributi allo Studio di Impatto Ambientale; Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità e di realizzazione dei P.R.G./P.S.C./P.U.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di acquiferi per la tutela e per l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; subirrigazioni.

30 aprile 2025

Timbro

Thomas Veronese

INDICE:

1. PREMESSA	2
NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	3
2. MODELLAZIONE GEOLOGICA	4
2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA	4
2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI	8
2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI	21
2.4. ALTIMETRIA	28
2.5. CARATTERI IDROGEOLOGICI	33
3. MODELLAZIONE SISMICA	38
4. MODELLAZIONE GEOTECNICA	45
4.1. PARAMETRI GEOTECNICI	46

1. PREMESSA

Su incarico dei comuni di Vigarano Mainarda e di Terre del Reno, della provincia di Ferrara (Fe), si redige lo studio per ricostruire la modellazione geologica, sismica e geotecnica sulle indagini per il progetto di *“studio di fattibilità tecnico economica di nuova infrastruttura ciclabile denominata Nuova Ciclovia VenTi”* tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe).

In **FIGURA 1.1** si riporta l'ubicazione dell'area d'intervento.

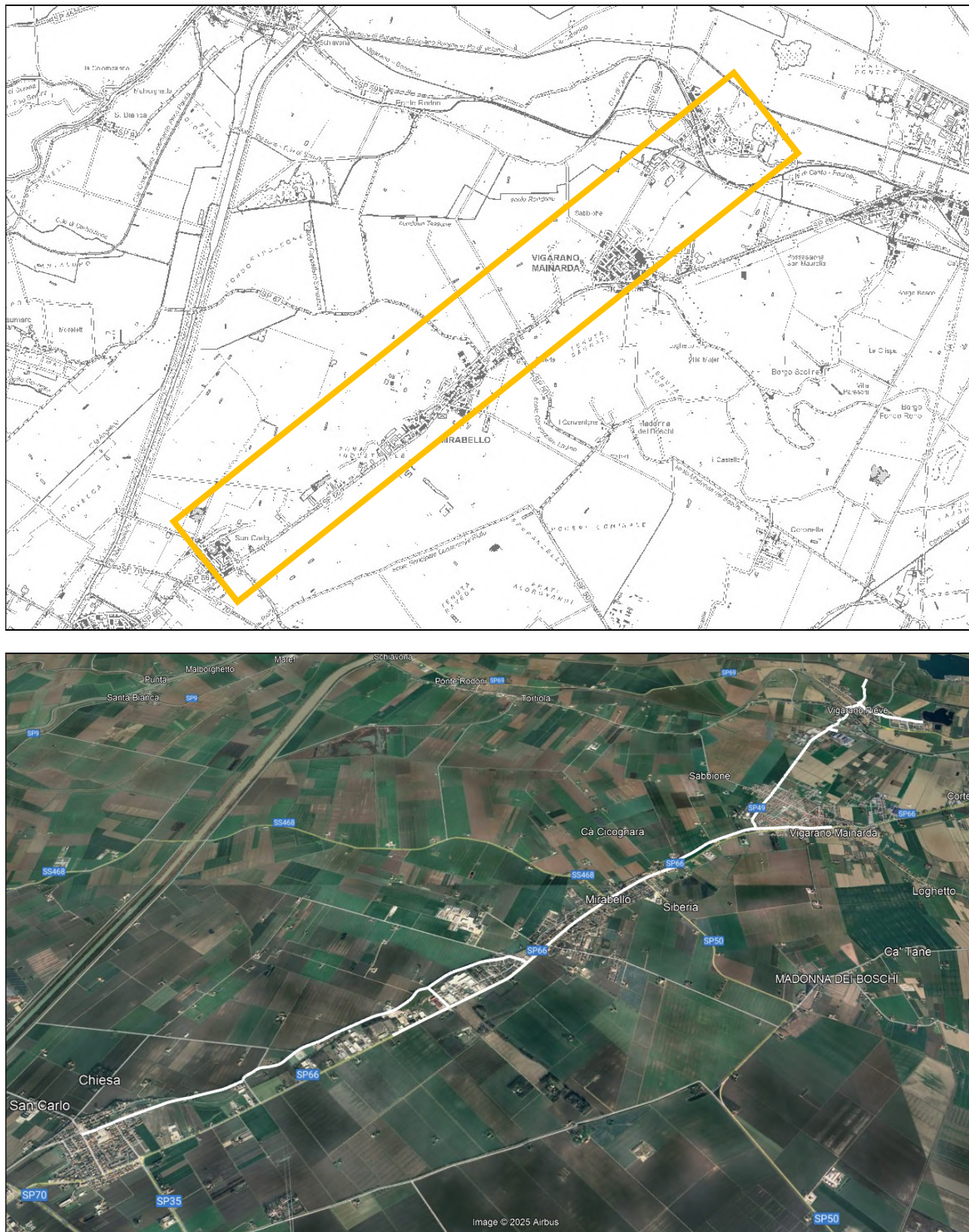


FIGURA 1.1– Area di intervento a Vigarano Mainarda Fe

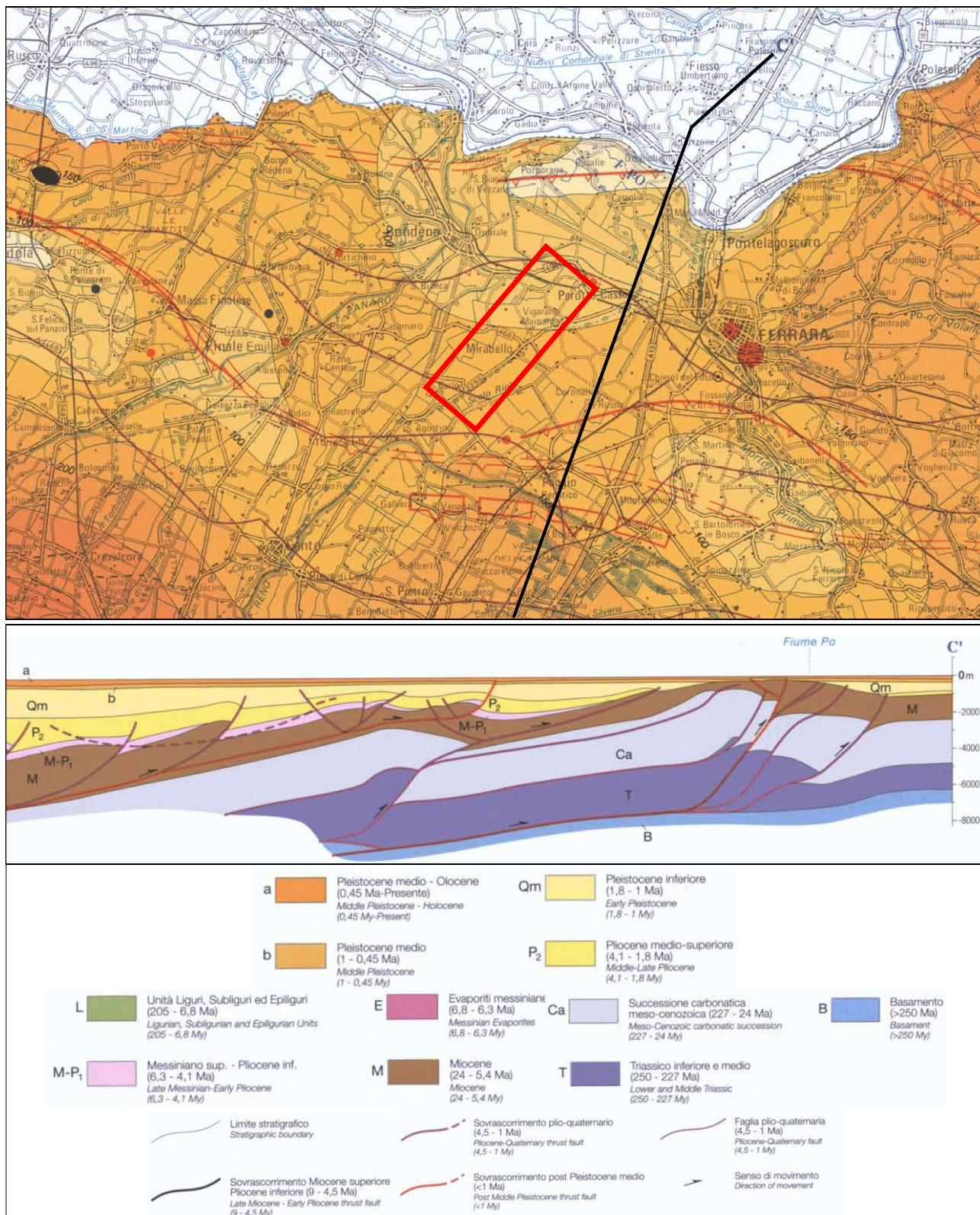
Normativa e Raccomandazioni di riferimento

- Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare n. 7/2019 del C.S.I.L.L.P.P.: Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 Gazzetta Ufficiale n. 35/2019 - 11 febbraio 2019.
- Deliberazione della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell’”Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630”.
- Deliberazione della Giunta Regionale 26 aprile 2021, N. 564 integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Art. 22 e 49, L.R. N. 24/2017)"
- Delibera di Giunta Regionale Num. 630 del 29/04/2019, Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r. n. 24/2017).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)”.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)”.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.
- DGR 1300 del 1° agosto 2016: prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione del rischio di alluvioni nel settore urbanistico, ai sensi dell'art. 58 elaborato n. 7 (norme di attuazione) e dell'art. 22 elaborato n. 5 (norme di attuazione) del progetto di variante al PAI e al PAI Delta adottato dal Comitato Istituzionale Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazioni n. 5/2015.

2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA

Nella **FIGURA 2.1** si riporta la sezione geologica profonda C-C' passante per Monestirolo, Ferrara e Villadose, in cui si possono apprezzare gli spessori dei sedimenti del Quaternario sopra i pliocenici, che coincide con il passaggio dai sedimenti sciolti a quelli litificati o pseudolitificati.



Nella **FIGURA 2.2** si riporta una sezione geologica profonda del servizio geologico della Regione Emilia Romagna, reperita on-line, la sezione geologica n. 225, passante poco più ad est rispetto al sito di intervento.

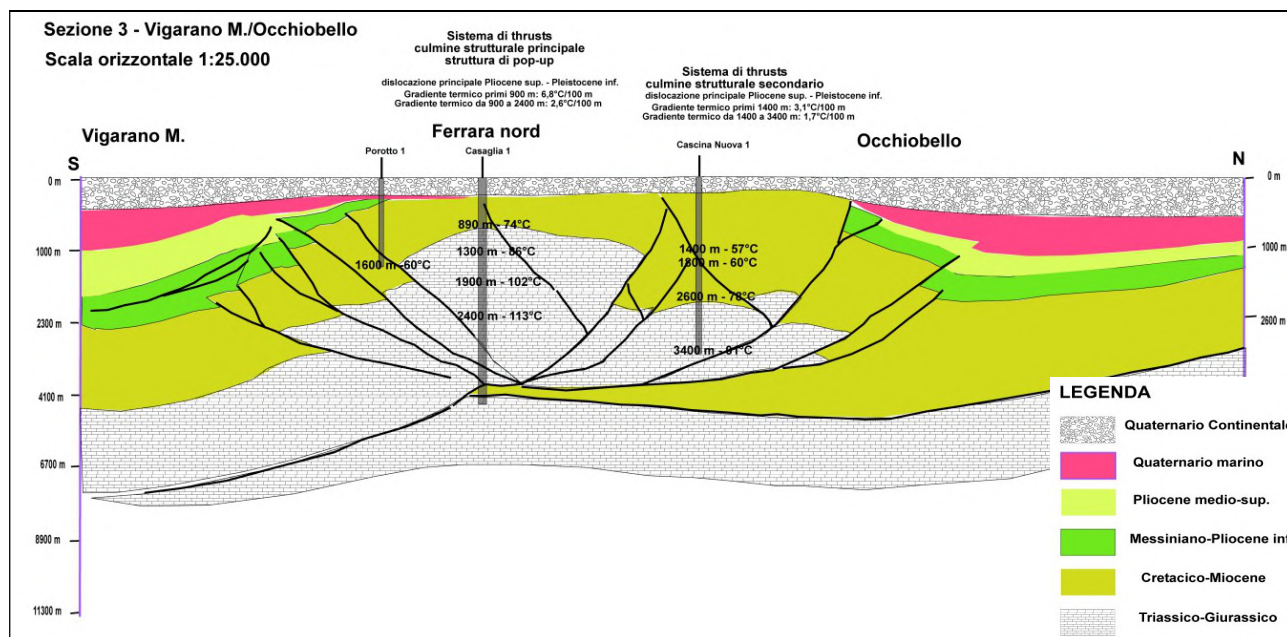
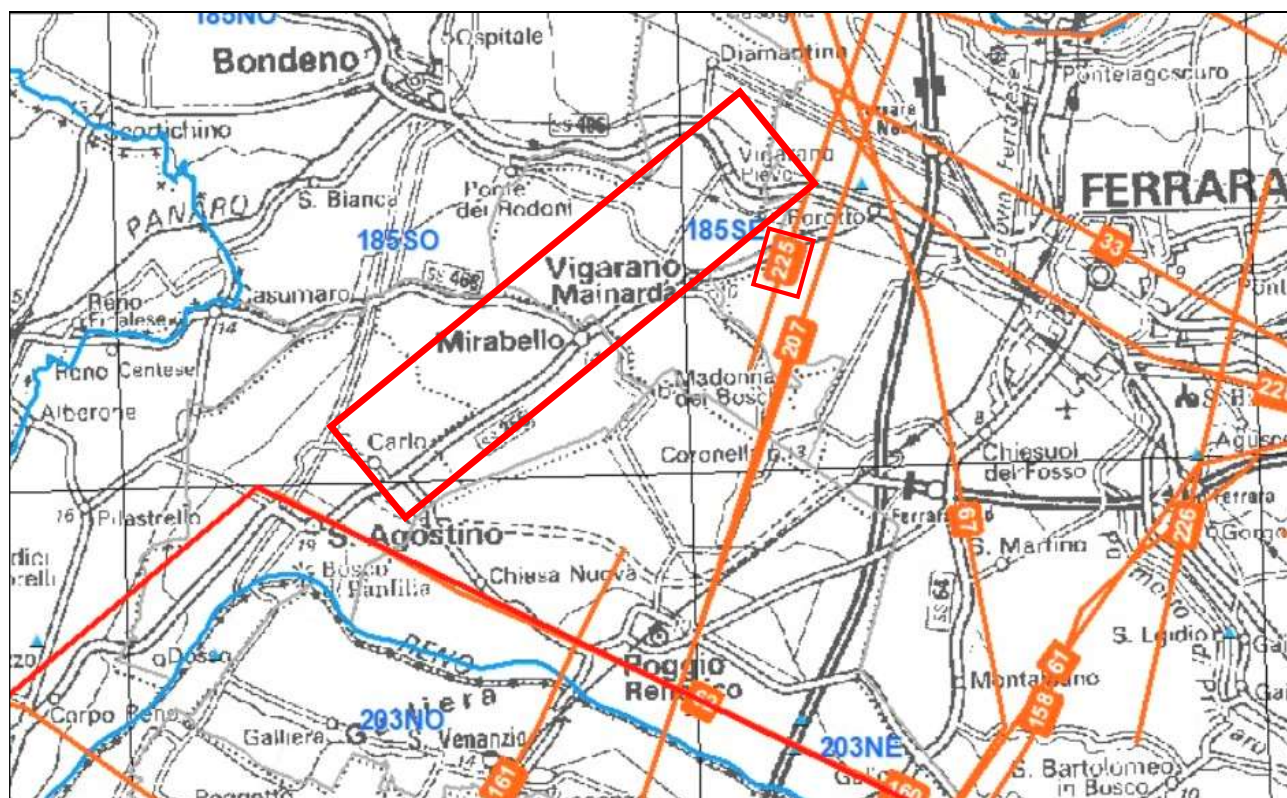
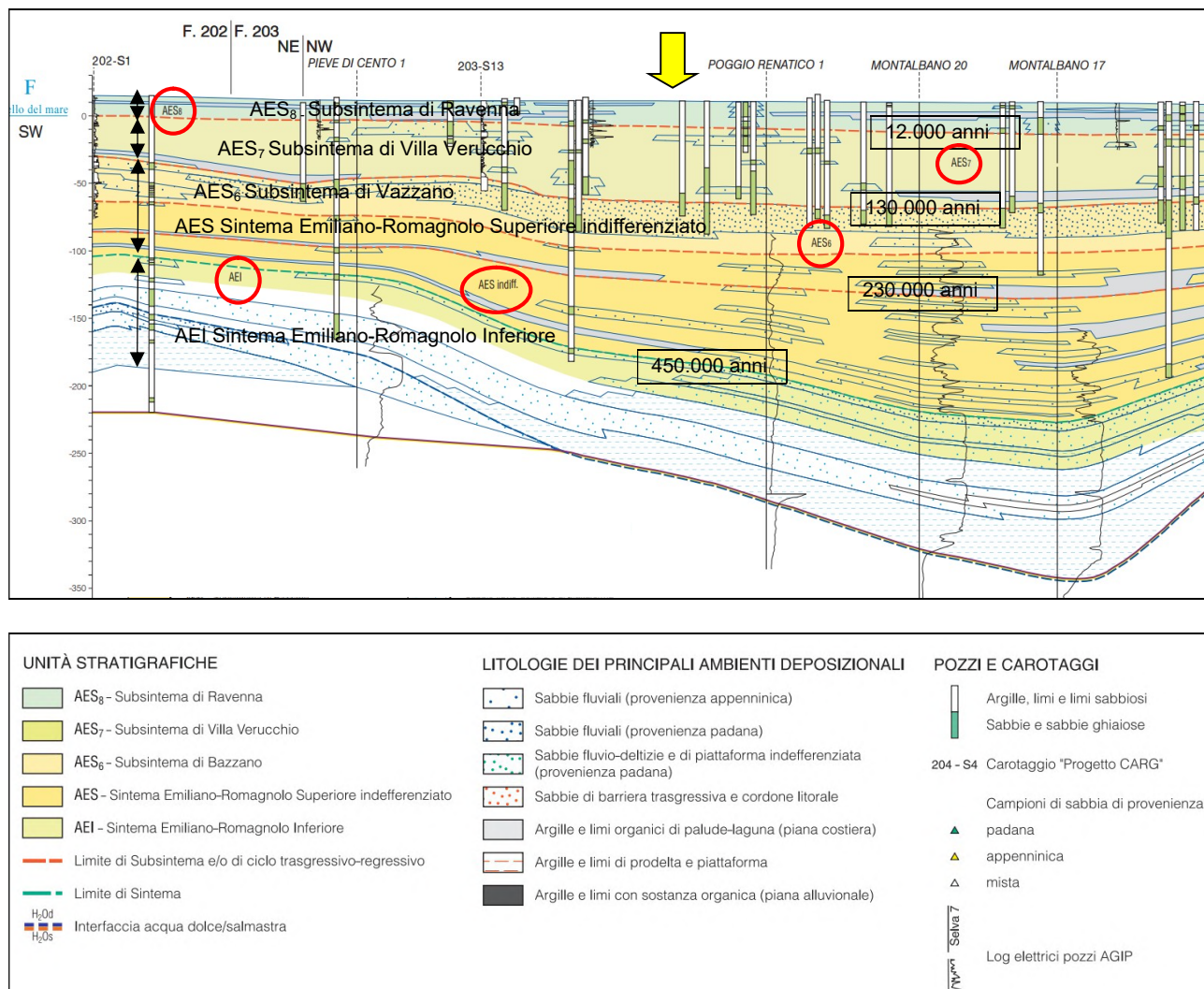


FIGURA 2.2 – Sezione geologica profonda n. 225

Seq. 225 – fonte: https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia

Nella **FIGURA 2.3** si riporta inoltre la sezione geologica n. 160 passante nelle vicinanze dell'area su cui è in progetto la pista ciclabile, tra i comuni di Vigarano Mainarda e Terre del Reno con la Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 300m di profondità.



Suddivisione nei subsistemi principali fino a circa 300m di profondità.

FIGURA 2.3 – Sezione geologica n. 160.

Nella **FIGURA 2.4** si riporta uno stralcio della Carta Strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine della nuova attribuzione alla Zona sismica 3, in cui il comune di Vigarano Mainarda e Terre del Reno sono stati inseriti nella OPCM 3274/2003.

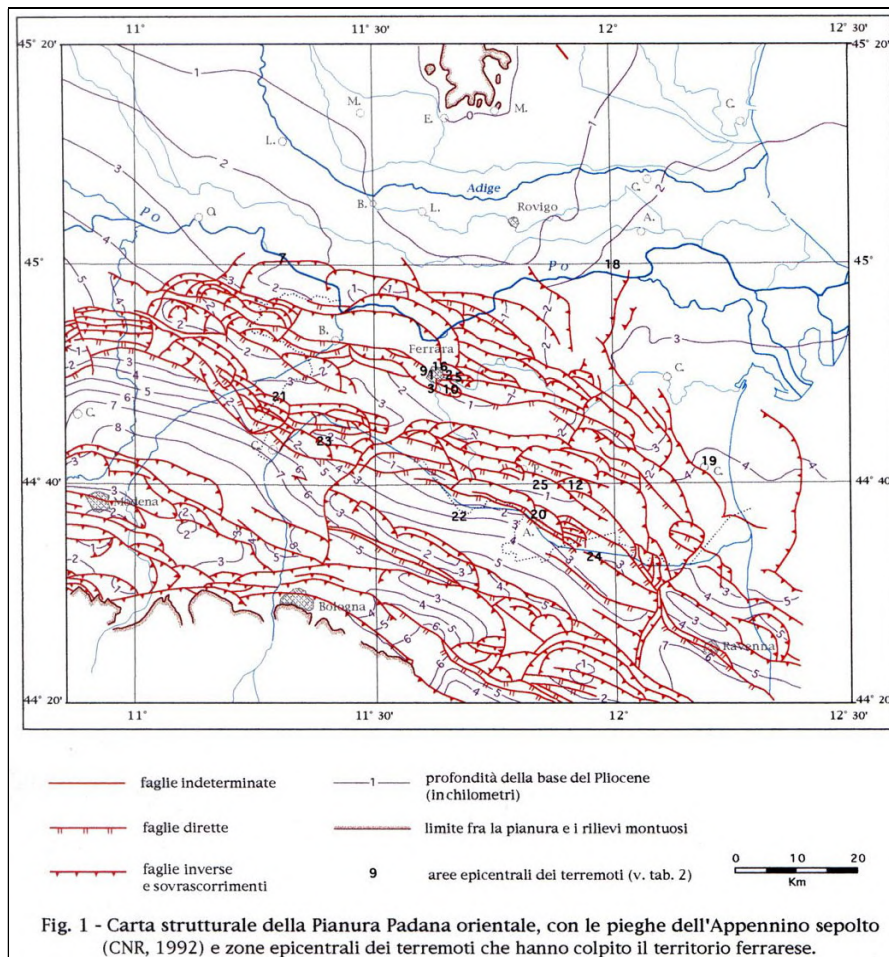


FIGURA 2.4 - Carta strutturale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1981)

Si fa inoltre presente che il territorio comunale di Vigarano Mainarda e di Terre del Reno ricadono all'interno della zona sismogenetica 912 (**FIGURA 2.5**), infatti si può affermare che l'area in esame è sulla Dorsale Ferrarese, e dunque è potenzialmente sede epicentrale di eventi sismici.

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di $M = 6,14$.

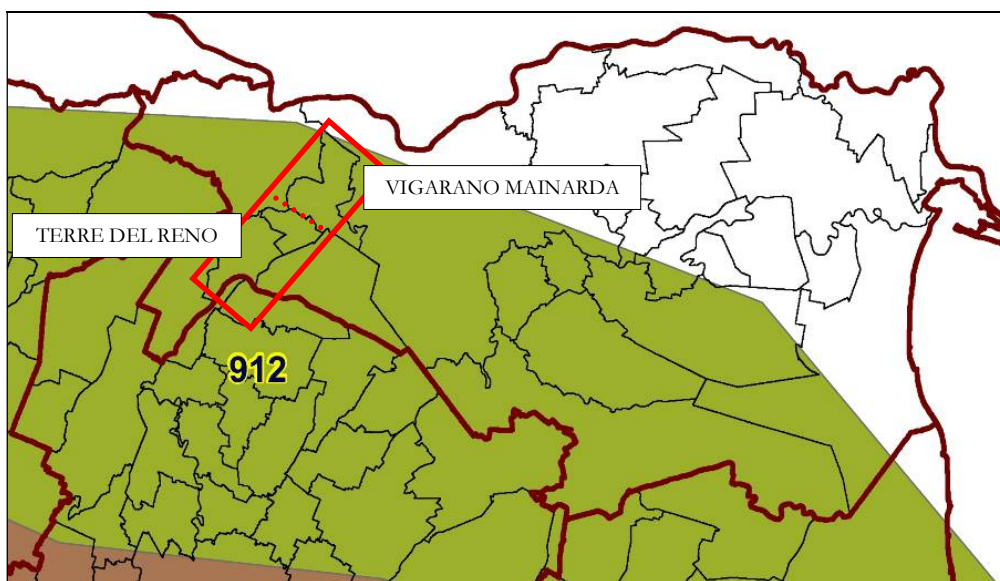


FIGURA 2.5 - Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale

2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

La formazione dell'ambiente, nella sua configurazione attuale, è relativamente recente e consegue a ripetute variazioni dei rapporti di equilibrio tra livello del mare, apporti solidi dei corsi d'acqua, entità di subsidenza e, non ultimo, l'intervento umano. Nell'attuale configurazione fisica del territorio sono riconoscibili le tracce sia della sua evoluzione naturale che quella operata dall'uomo. Tra le più evidenti e più importanti nel disegnare l'assetto morfologico si possono elencare i paleoalvei, i coni di esondazione, i cordoni dunari testimoni della veloce progradazione verso est della linea di costa, ed infine si individuano quelle aree particolarmente depresse che erano sede di bacini palustri. Per ogni struttura geomorfologica corrisponde, in linea di massima, una caratteristica classe litologica; la granulometria e la storia tensionale, strettamente legata alla storia geologica, ne condizionano le caratteristiche meccaniche ed idrauliche. La topografia stessa dei nostri terreni è condizionata dalle strutture geomorfologiche. Le strutture geomorfologiche sono molteplici ed oltre ad avere questa distribuzione così eterogenea in senso orizzontale sul territorio, ce l'hanno anche in senso verticale, cioè esistono nel sottosuolo strutture sepolte come possono essere depositi marini, deltizi, eolici, alluvionali, palustri, paleoalvei, ecc. con le tipiche caratteristiche granulometriche dei litotipi che costituiscono le strutture emerse che riconosciamo in campagna.

Generalmente i sedimenti che si rilevano in quest'area tra i comuni di Vigarano Mainarda e di Terre del Reno sono di tipo alluvionale, legati agli apporti del fiume Po nel settore nord e dei fiumi appenninici in modo particolare al fiume Reno nel settore centrale e sud. I depositi possono essere di canale ed argine prossimale con sedimenti ad alta energia idrodinamica in corrispondenza del paleoalveo del Fiume Po di Ferrara e del Fiume Reno e di canale distale con sedimenti a bassa energia idrodinamica, mano a mano che ci si allontana dal corso dei fiumi.

Per la validazione del modello geologico, per la ricostruzione di un modello del terreno che permetta di ricostruire al meglio la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame, verranno prese in considerazione indagini geologiche bibliografiche eseguite nell'area su cui è in progetto la nuova pista ciclabile.

Dato che il progetto prevede la realizzazione di una pista ciclabile estesa venti Km tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe) si procede all'analisi geologica del territorio per stralci. Nello specifico verrà considerato lo stralcio 1 che comprende l'abitato Vigarano Pieve, lo stralcio 2 l'abitato di Vigarano Mainarda, lo stralcio 3 di Mirabello ed infine lo stralcio 4 la zona industriale di Mirabello e l'abitato di San Carlo.

In **FIGURA 2.6** si riporta uno stralcio della mappa D.B.T.R. della regione Emilia Romagna con il tracciato della ciclabile di progetto e i 4 stralci su cui è stato suddiviso il territorio di studio.

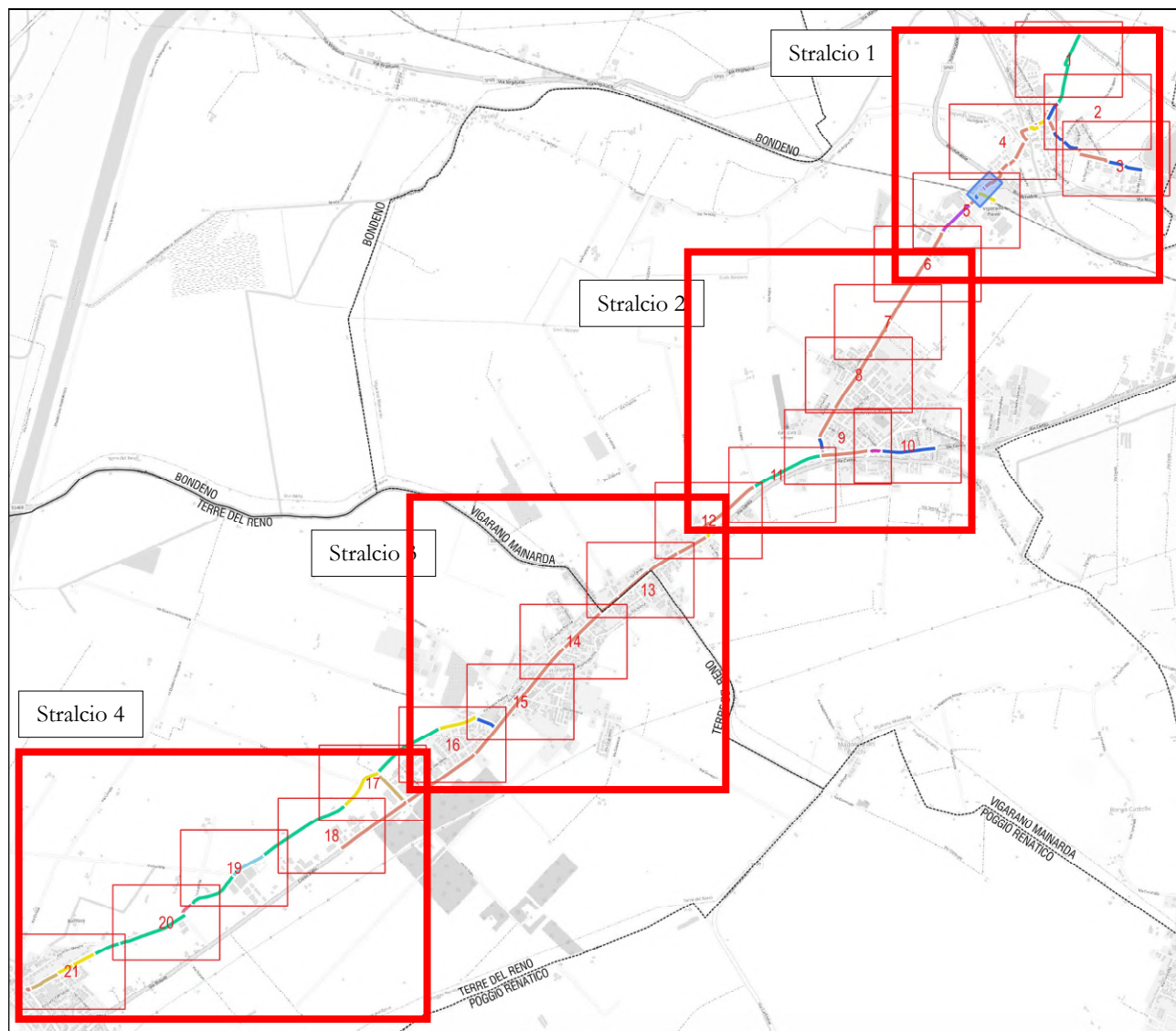
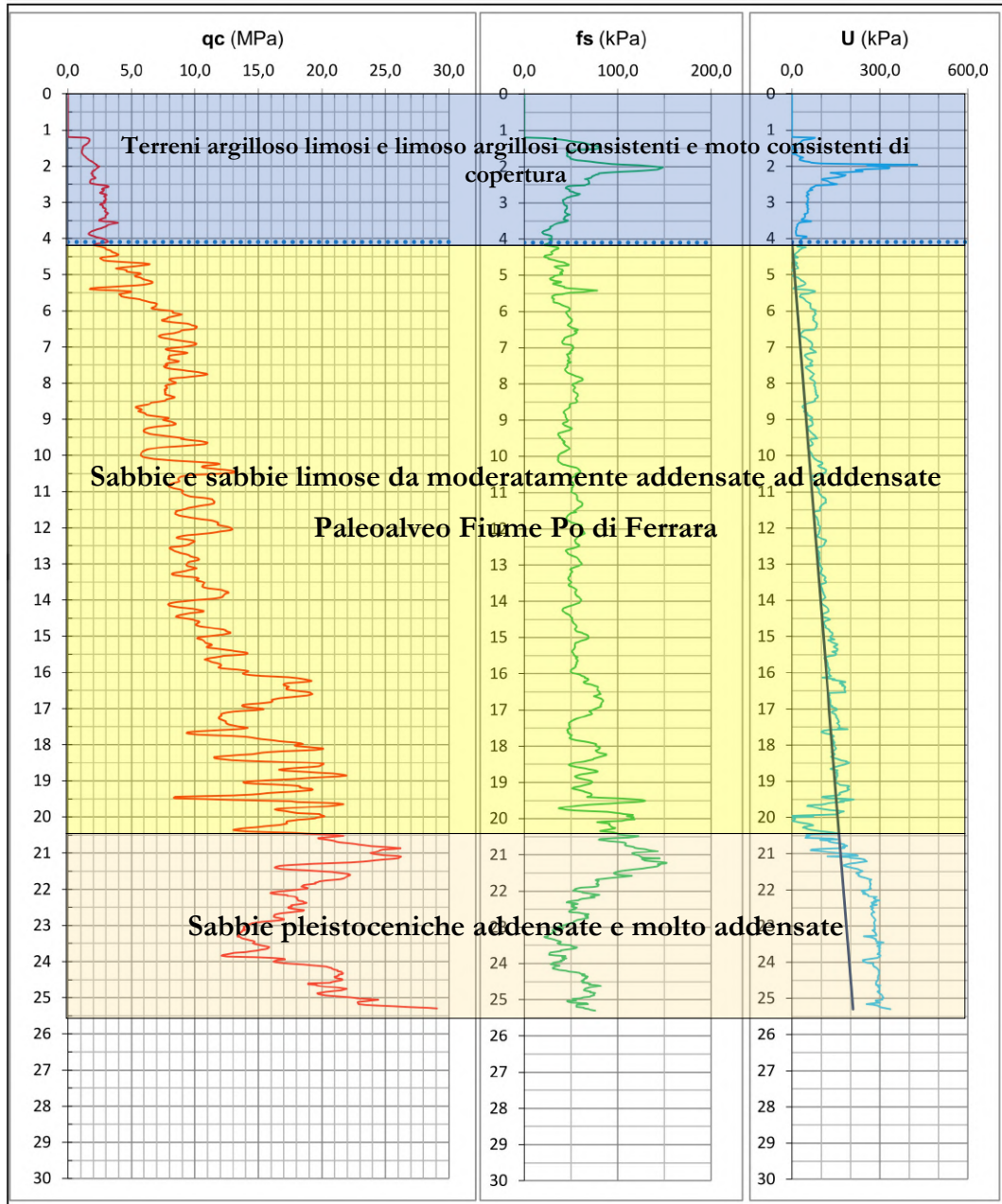


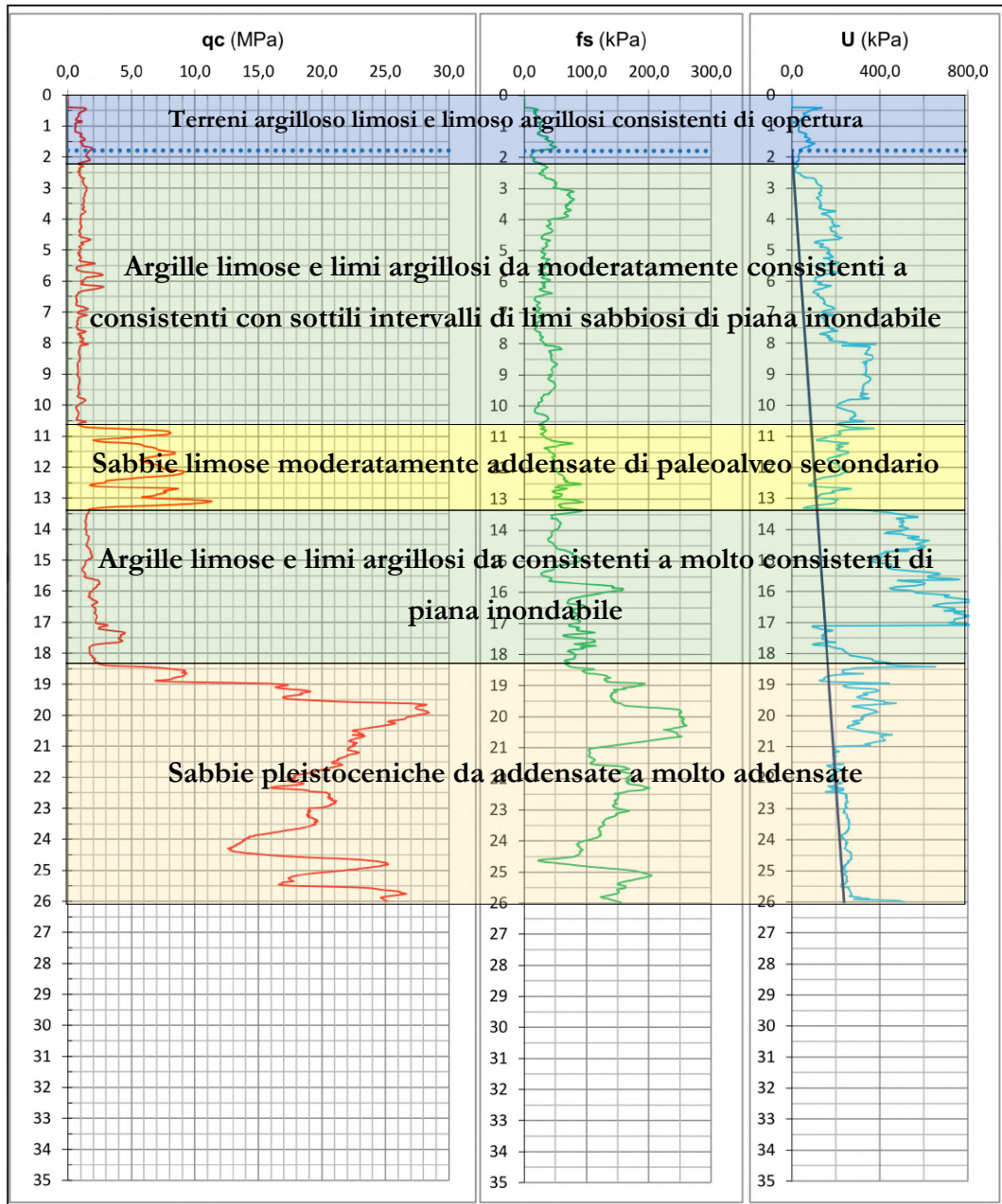
FIGURA 2.6 - Mappa D.B.T.R. della regione Emilia Romagna con suddivisione stralci di studio

Le zone su cui è in progetto la nuova pista ciclabile sono caratterizzate dal passaggio di due importanti paleovalvei che attraversano la pianura: il paleovalveo del Fiume Po di Ferrara che scorre a nord, attraversando l'abitato di Vigarano Pieve e il paleovalveo del Fiume Reno che attraversa gli abitati di San Carlo, Mirabello e Vigarano Mainarda in corrispondenza della strada Provinciale, per poi confluire nel ramo principale del Po in corrispondenza degli abitati di Porotto e Cassana.

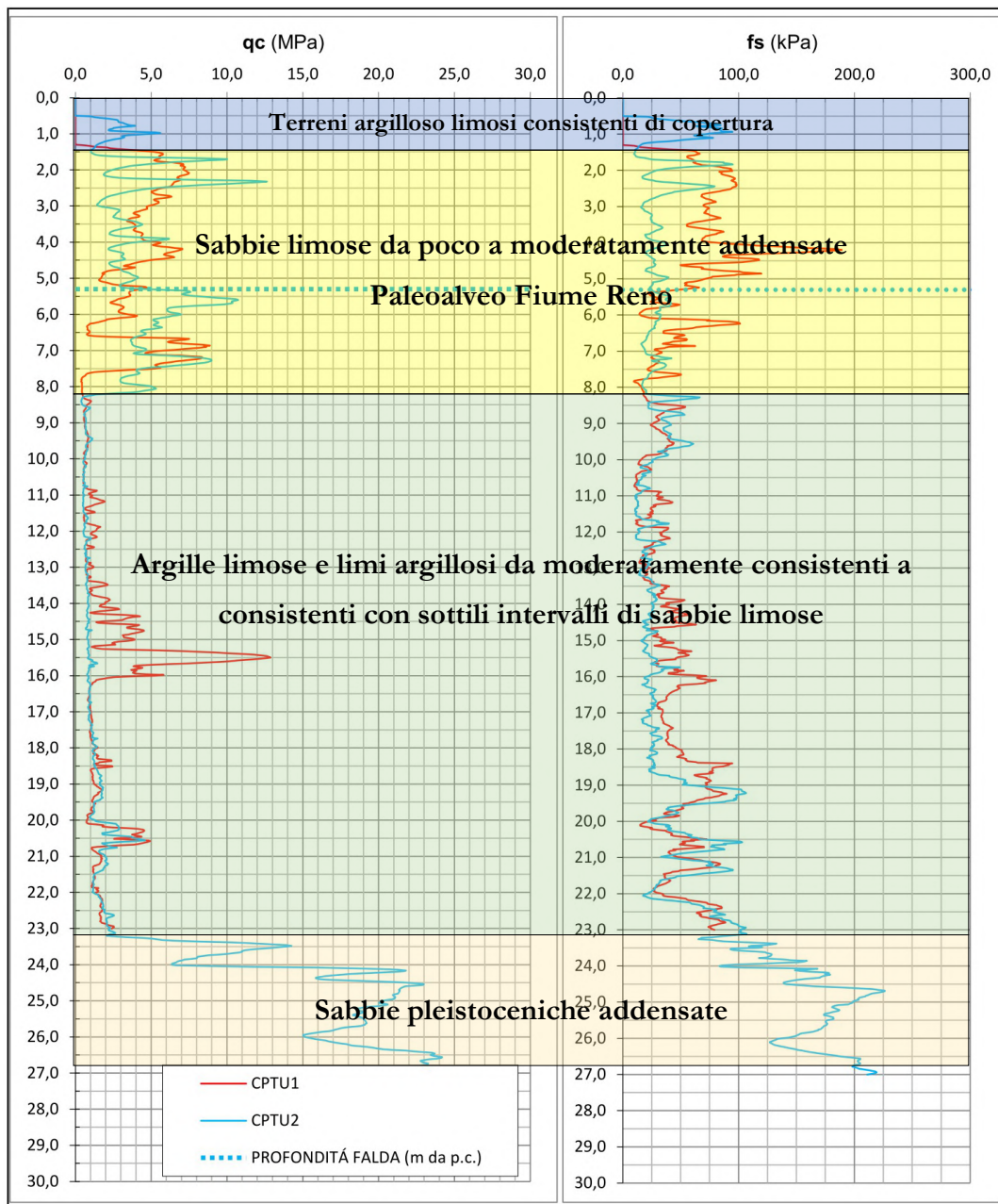
Si riportano delle stratigrafie tipo rilevate nel territorio con la suddivisione litologica stratigrafica dei terreni che caratterizzano la zona. Nello specifico verranno riportate una stratigrafia tipo rilevata in corrispondenza del Fiume Po di Ferrara, una stratigrafia tipica di ambienti deposizionali di bassa energia idrodinamica e quindi distante dai corsi fluviali e una stratigrafia tipica rilevata in corrispondenza del tracciato del paleovalveo del Fiume Reno.



STRATIGRAFIA TIPICA RILEVATA IN CORRISPONDENZA DEL
PALEOALVEO DEL FIUME PO DI FERRARA

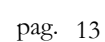


STRATIGRAFIA TIPICA RILEVATA IN AMBIENTI DEPOSIZIONALI DISTALI
A BASSA ENERGIA – DEPOSITI DI PIANA INONDABILE



**STRATIGRAFIA TIPICA RILEVATA IN CORRISPONDENZA DEL
PALEOALVEO DEL FIUME RENO**

Si riportano in **FIGURA 2.7** delle ortofoto satellitari con il tracciato della pista ciclabile di progetto, suddivise per i 4 stralci di riferimento con l'ubicazione delle principali indagini geologiche eseguite nel territorio.



STRALCIO 3 – MIRABELLO



STRALCIO 4 – ZONA ARTIGIANALE MIRABELLO E SAN CARLO



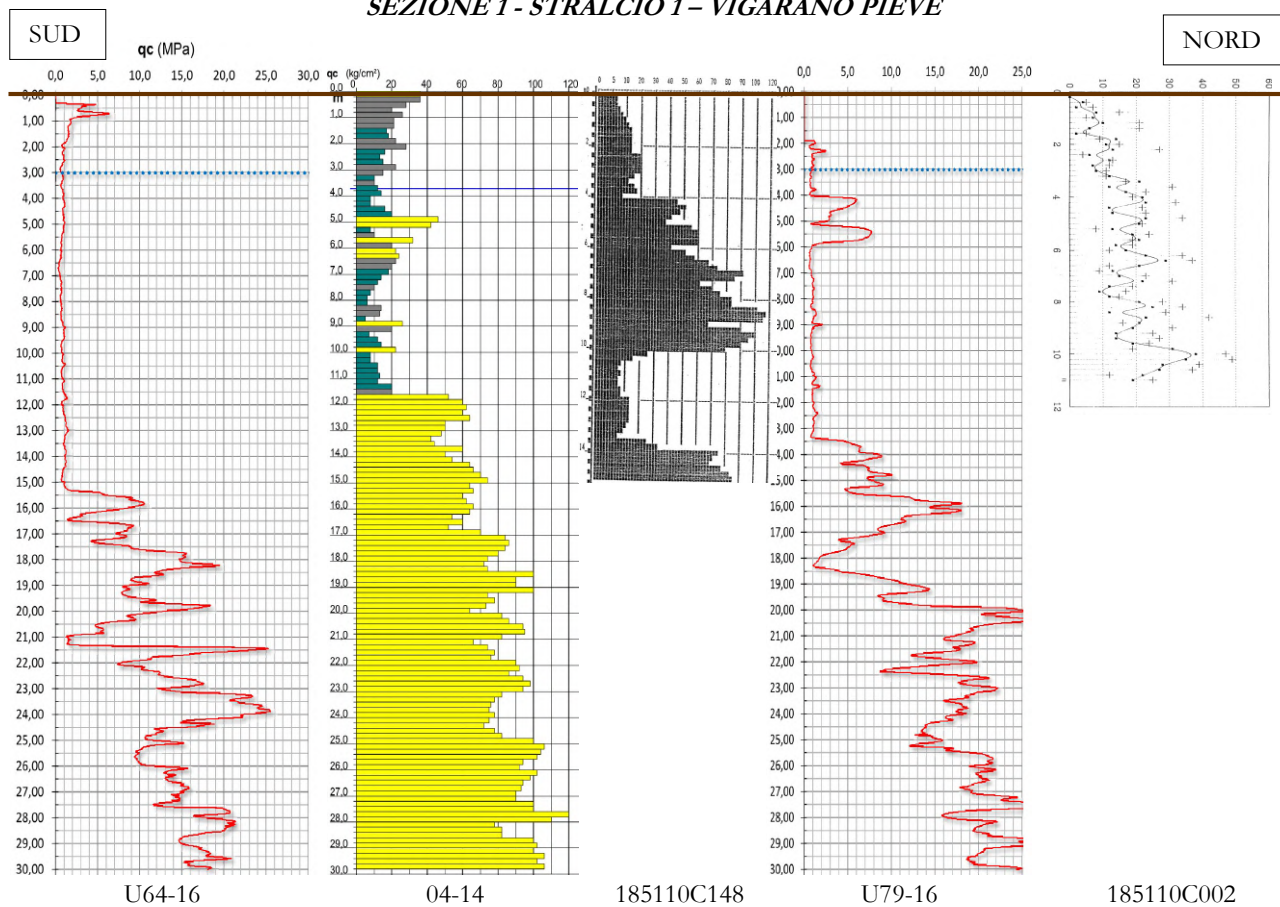
FIGURA 2.7– Ortofoto con ubicazione tracciato pista ciclabile e indagini geologiche

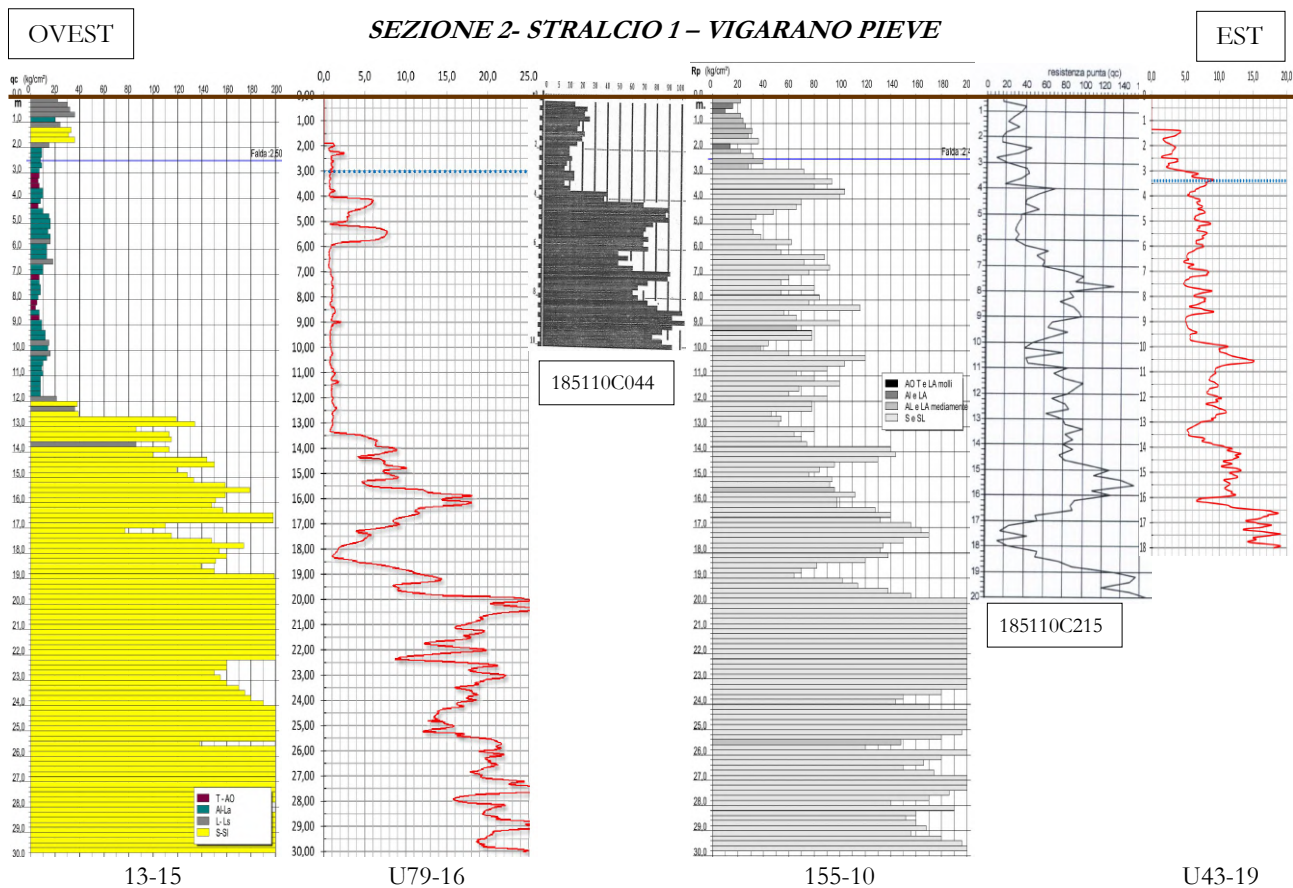
Si riportano in **FIGURA 2.8** delle sezioni geologiche schematiche suddivise per stralci con la rappresentazione dei diagrammi delle resistenze delle indagini geologiche prese a riferimento, dalle quali è possibile osservare l'andamento dei paleovalvei che caratterizzano l'area.

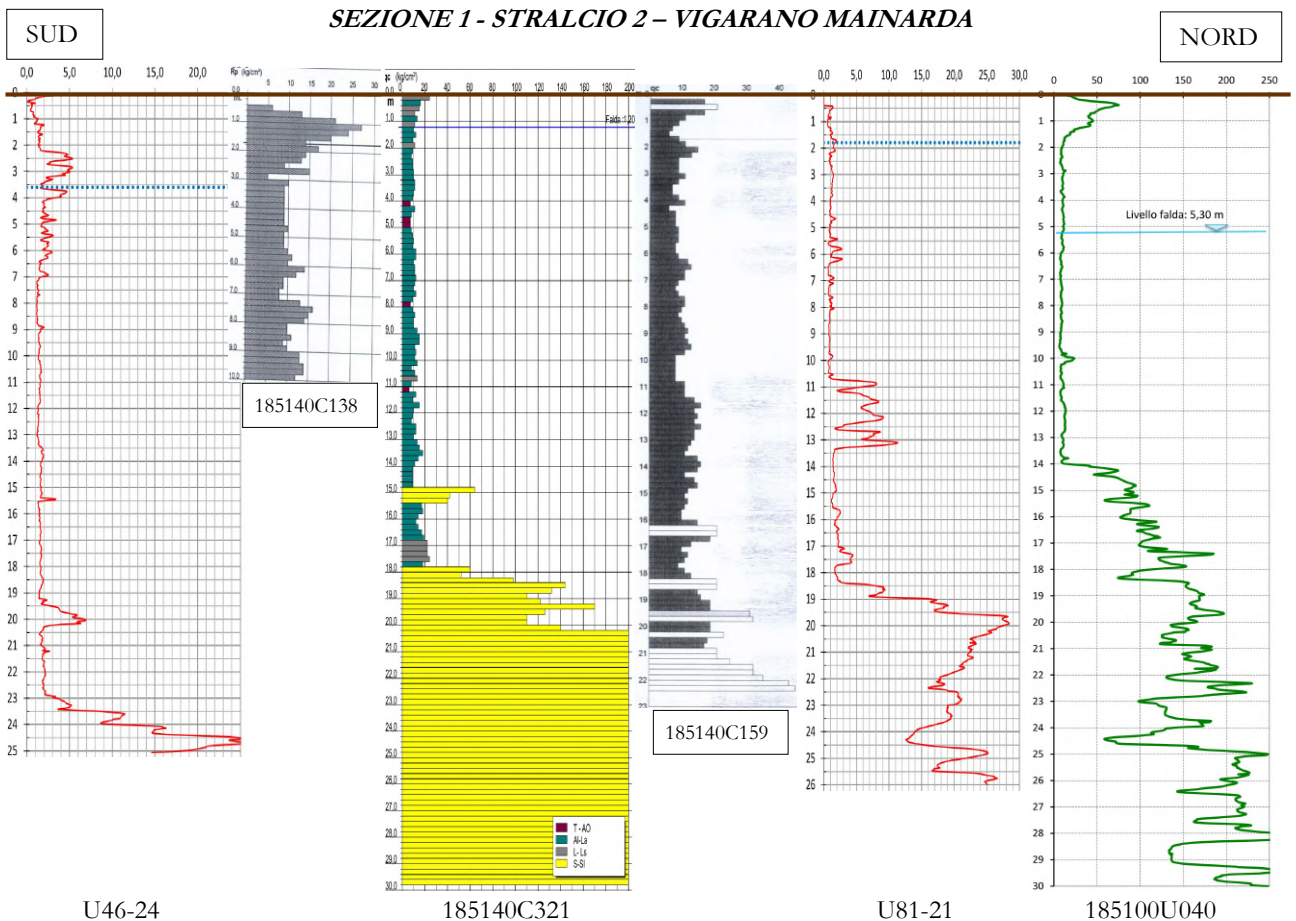
STRALCIO 1 – VIGARANO PIEVE

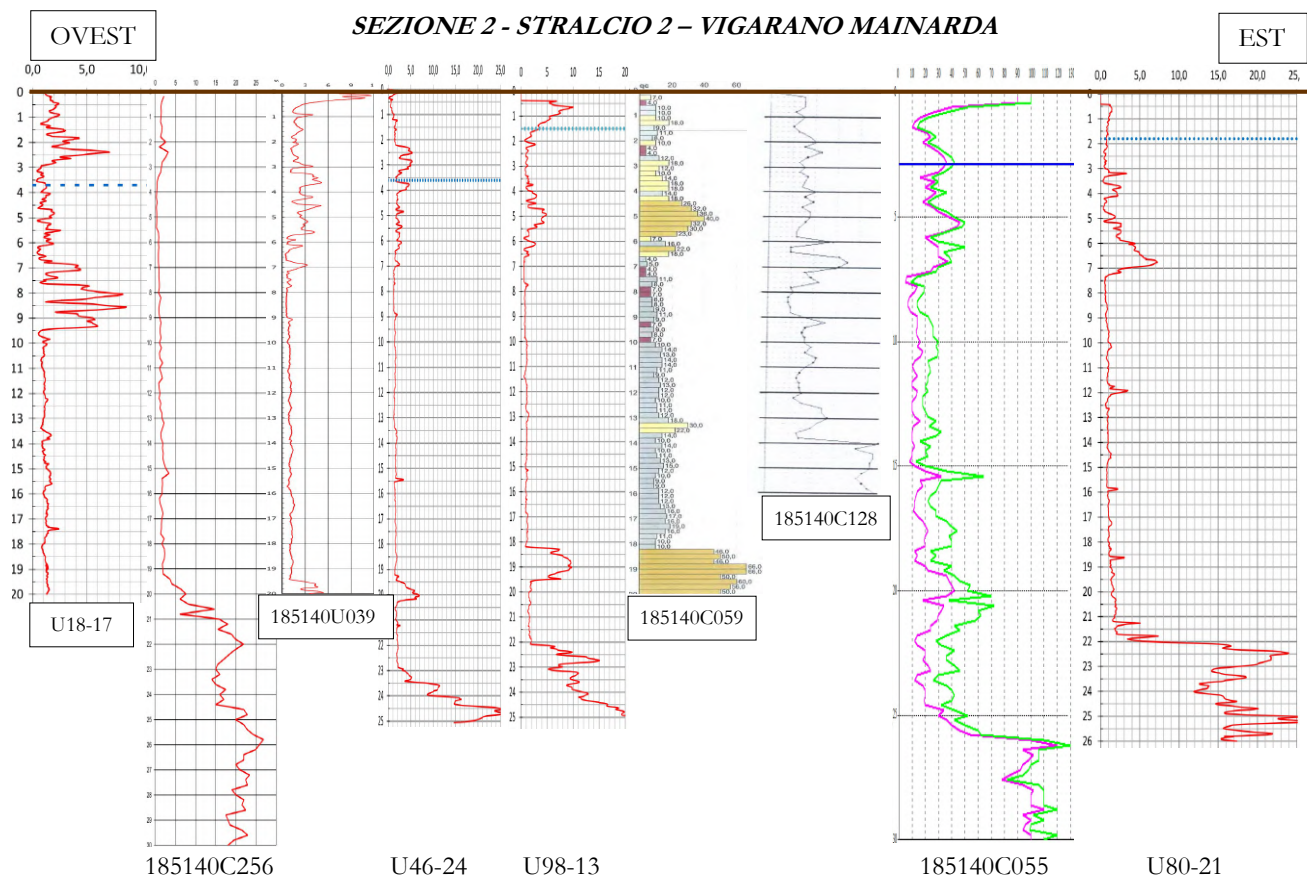


SEZIONE 1 - STRALCIO 1 – VIGARANO PIEVE





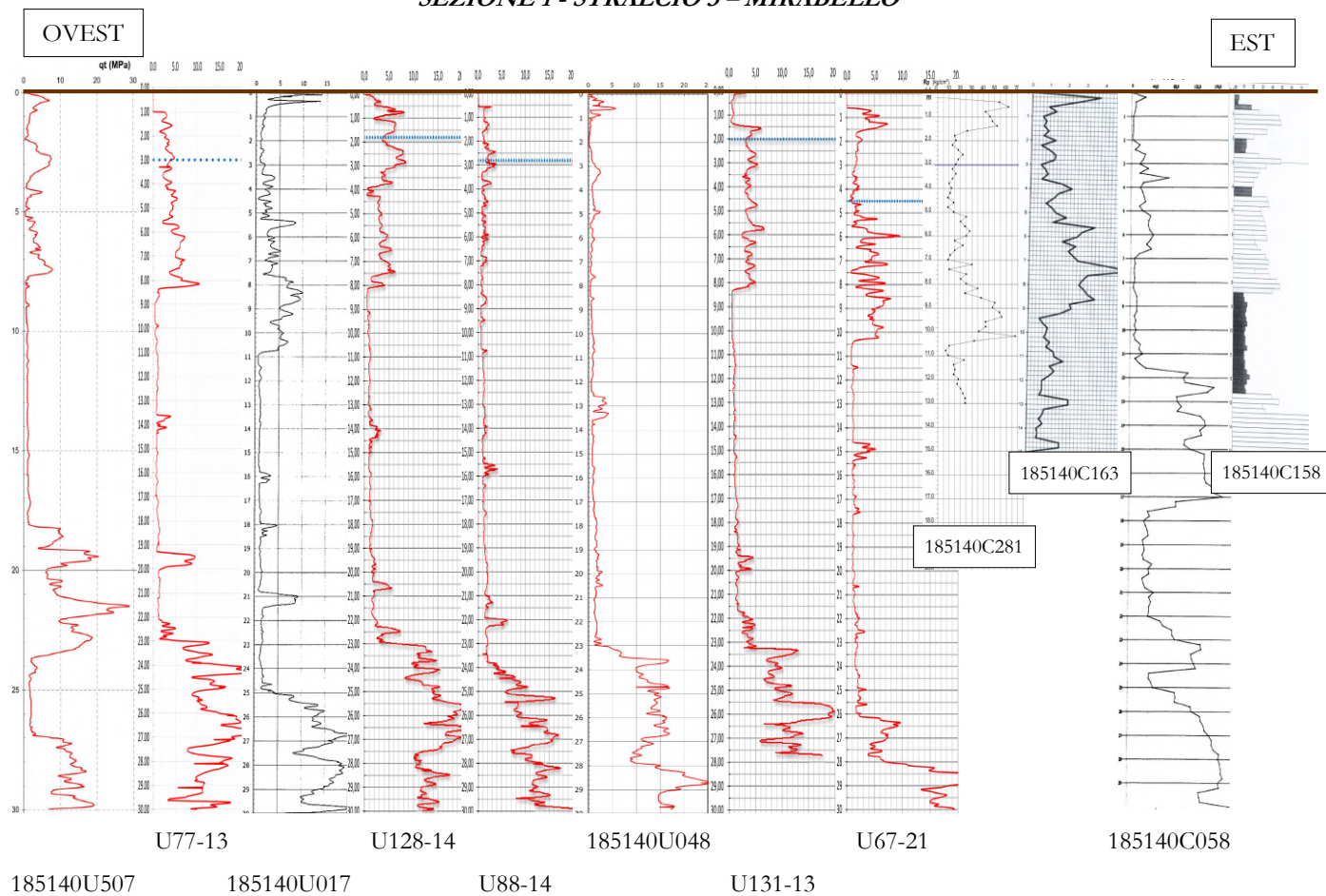




STRALCIO 3 – MIRABELLO



SEZIONE 1 - STRALCIO 3 – MIRABELLO



STRALCIO 4 – ZONA ARTIGIANALE MIRABELLO E SAN CARLO



SEZIONE 1 - STRALCIO 4 – ZONA ARTIGIANALE MIRABELLO E SAN CARLO

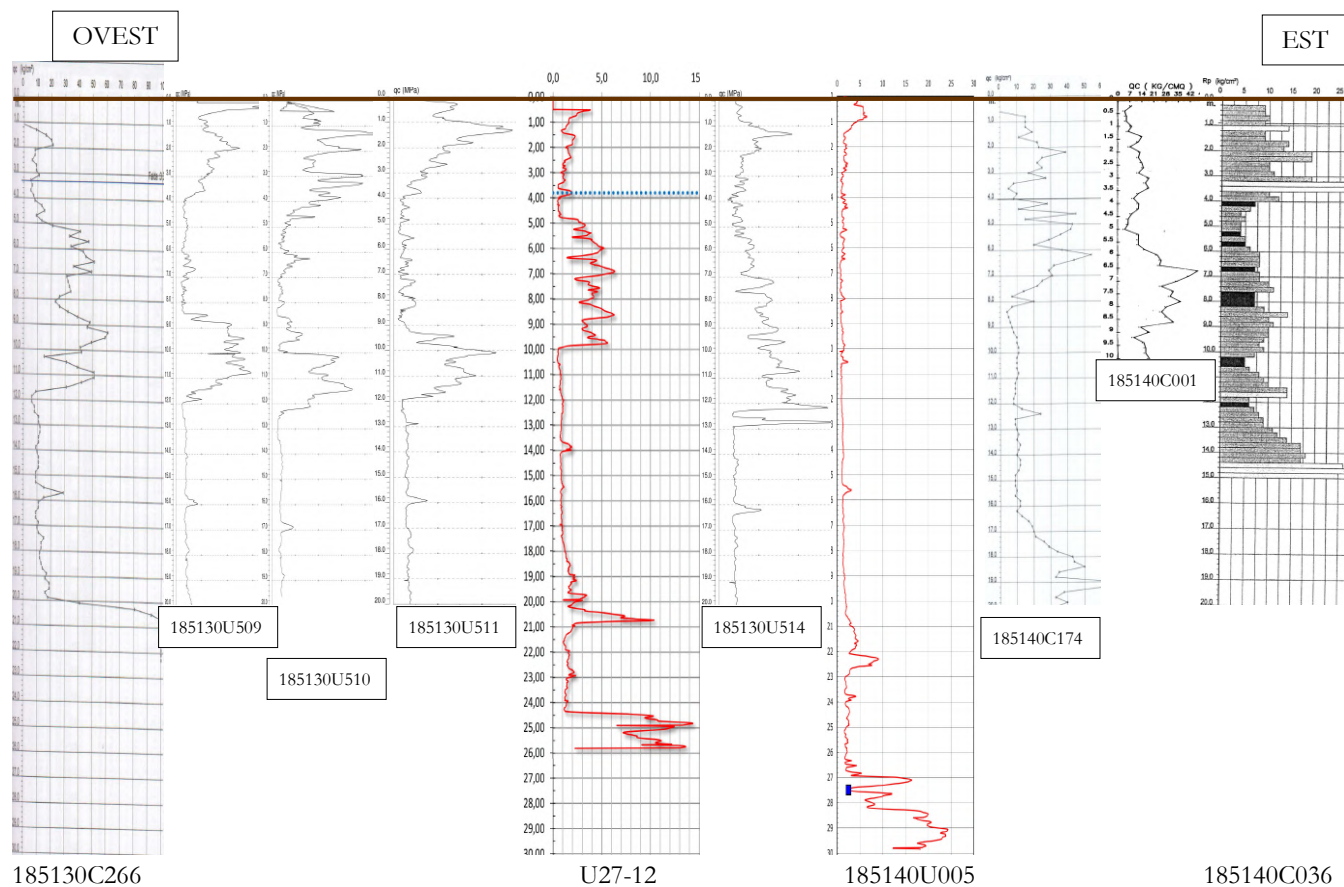


FIGURA 2.8 – Sezioni geologiche schematiche della zona su cui è in progetto la pista ciclabile

2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Dal punto di vista geomorfologico l'assetto del territorio su cui si interviene risulta determinato essenzialmente da una dinamica di tipo fluviale che ha generato nel corso del tempo e mediante il susseguirsi di eventi, il deposito e l'accumulo dei sedimenti granulari tipici di ambienti deposizionali di alta energia idrodinamica, in corrispondenza dei paleoalvei e l'accumulo dei sedimenti coesivi tipici di ambienti deposizionali di bassa energia idrodinamica, in corrispondenza delle piane alluvionali, allontanandosi dai paleoalvei.

Generalmente la formazione dei terreni dell'area allo studio, su cui è in progetto la pista ciclabile, è legata alla presenza di ambienti deposizionali fluviali dovuti al paleoalveo storico del Fiume Po di Ferrara, nella zona nord in corrispondenza dell'abitato di Vigarano Pieve e al paleoalveo del Fiume Reno, sotto gli abitati di Sant'Agostino, San Carlo, Mirabello e Vigarano Mainarda fino a confluire nel Po di Ferrara, in corrispondenza di Porotto-Cassana. A ridosso e sopra i paleoalvei prevalgono sedimenti di alta energia idrodinamica, caratterizzati da sabbie e limi; nelle aree più distanti prevalgono invece sedimenti coesivi di bassa energia idrodinamica, quali argille e argille limose.

Si propone nella **FIGURA 2.9** uno stralcio della **Carta geomorfologica** della provincia di Ferrara, dove si possono notare le forme geomorfologiche sopra citate; si può inoltre notare come l'area allo studio su cui è in progetto la pista ciclabile è situata sul paleoalveo del Fiume Po di Ferrara in corrispondenza dell'abitato di Vigarano Pieve, mentre tra gli abitati di Vigarano Mainarda, Mirabello e San Carlo lungo il dosso del paleoalveo del Fiume Reno.

Le litologie presenti in sito non possono pertanto essere definite senza un'indagine puntuale, poiché sedimenti generalmente fini di esondazione fluviale, e sedimenti generalmente più grossolani di alveo, sono stati sovrapposti, rendendo possibile la presenza di sabbie, o limi, o argille, o torbe, o miscele binarie e ternarie degli stessi, senza il rispetto di regole fisse sulla loro presenza e sulla loro distribuzione geometrica.

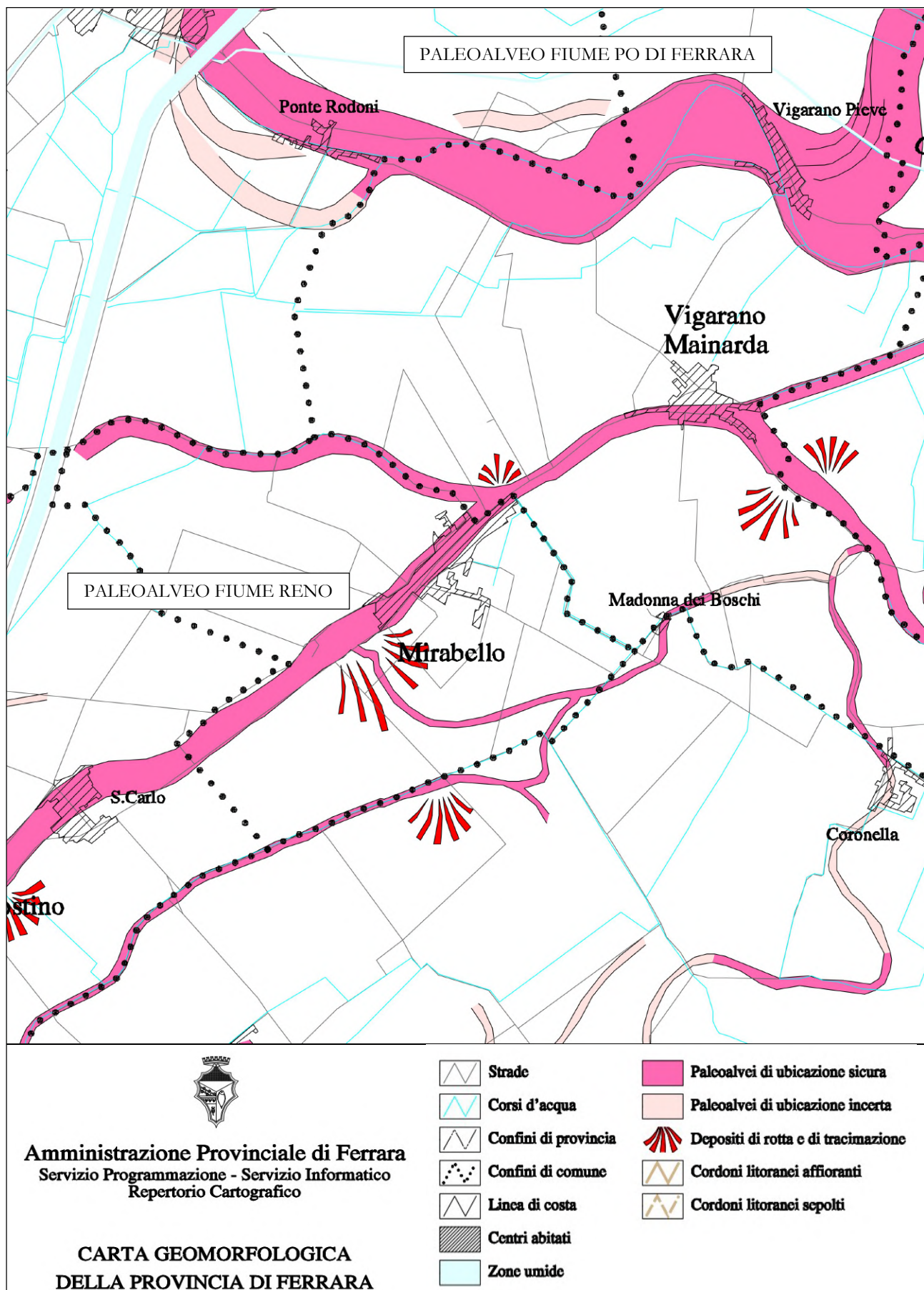


FIGURA 2.9 – Stralcio della Carta Geomorfológica della Provincia di Ferrara

In **FIGURA 2.10** si riporta uno stralcio della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara, rielaborata dallo scrivente con le principali forme geomorfologiche presenti nell'area in cui sono stati ben distinti i due rami principali di Paleolveo che scorrevano nel territorio, il Paleolveo del Fiume Po di Ferrara a nord e il Paleolveo del Fiume Reno a sud.

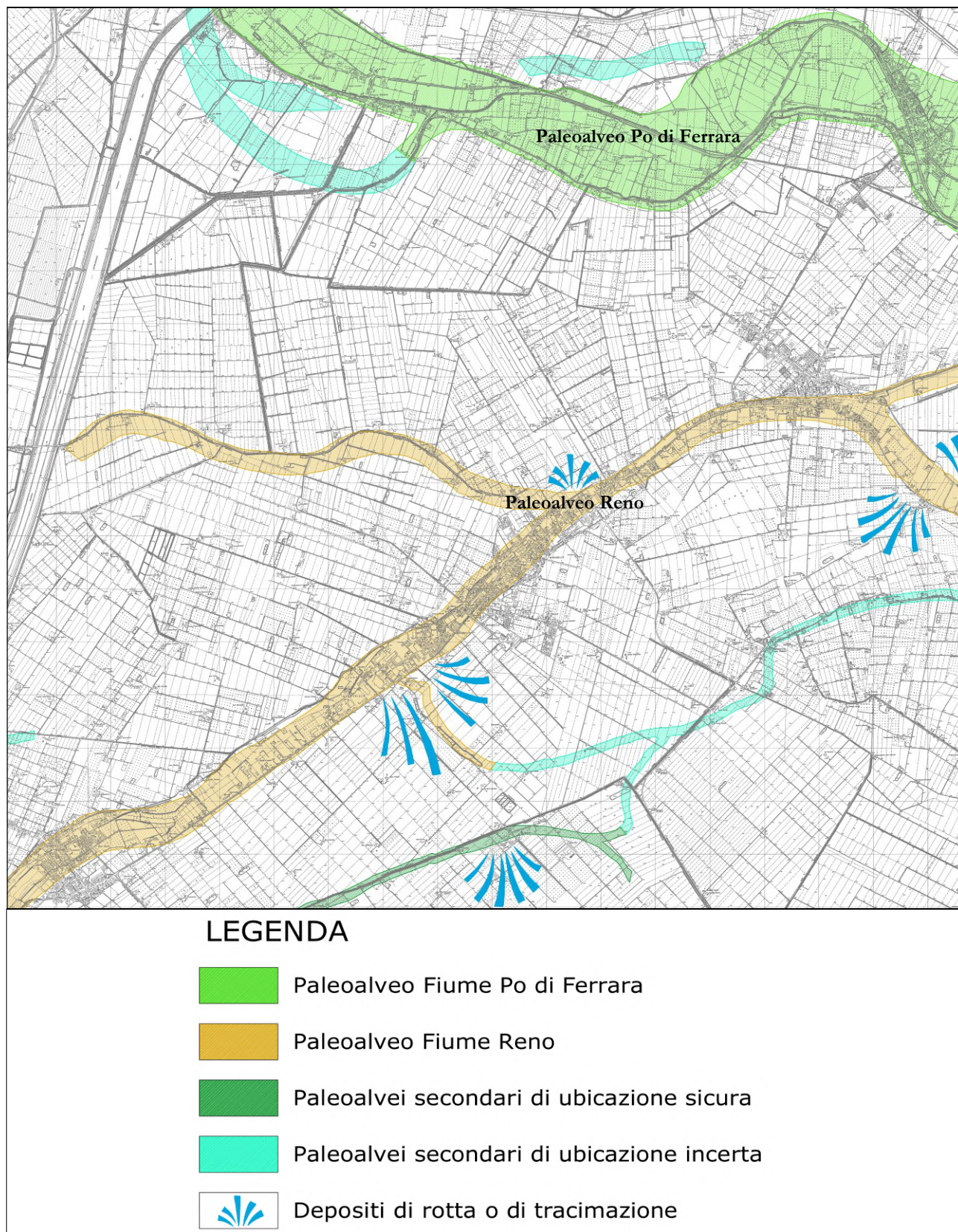
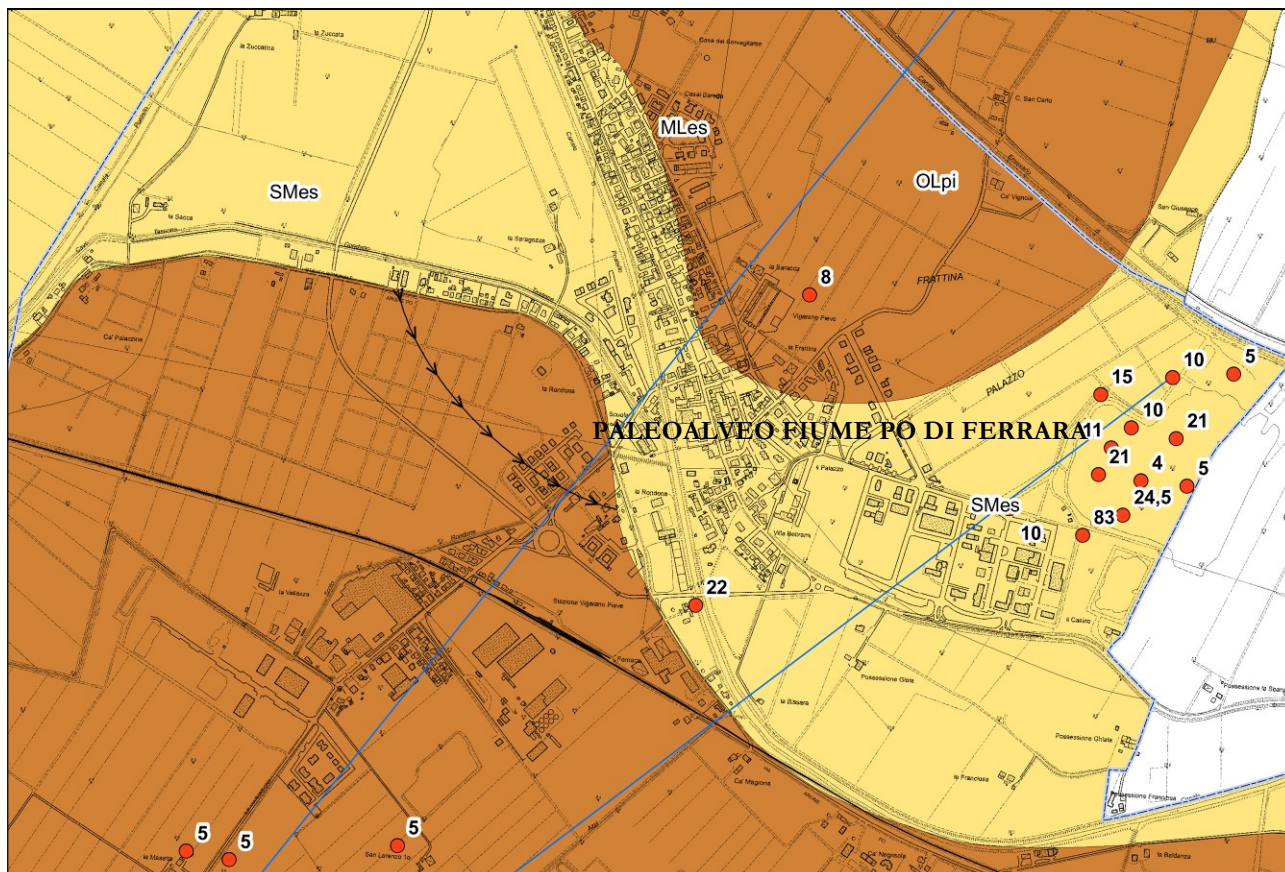


FIGURA 2.10 – Particolare della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara

Si riporta ora una zoomata della Carta Geologico Tecnica della microzonazione sismica dei comuni di Vigarano Mainarda e Terre del Reno, che riporta la litologia dominante nei primi 3m di spessore di terreno e l'ambiente deposizionale, con l'ubicazione del tracciato della pista ciclabile, per i 4 stralci considerati.

In **FIGURA 2.11** si riporta lo **Stralcio 1**, caratterizzato da limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile (OLpi) e limi inorganici sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e di canale (MLes) per i terreni esterni al paleoalveo del fiume Po di Ferrara e da sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e di canale (SMes) che caratterizzano i sedimenti del paleoalveo del Fiume Po di Ferrara.

STRALCIO 1 – VIGARANO PIEVE



Legenda

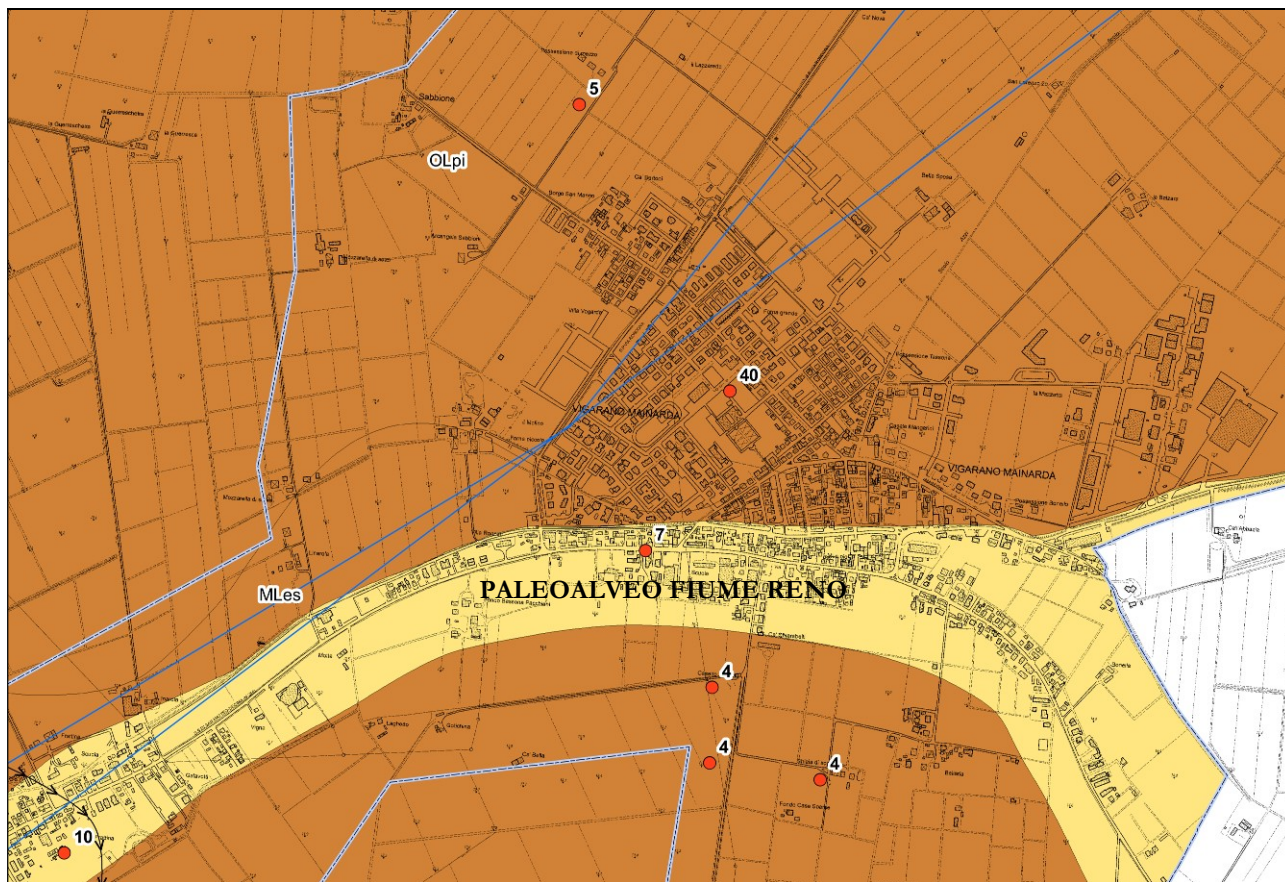
Terreni di copertura

SMes	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e canale
OLpi	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile
MLes	Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e canale

FIGURA 2.11 – Stralcio della Carta Geologico-Tecnica della MZ del comune di Vigarano Mainarda

In **FIGURA 2.12** si riporta lo **Stralcio 2**, caratterizzato da limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile (OLpi) e limi inorganici sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e di canale (MLes) per i terreni esterni al paleoalveo del fiume Reno e da sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e di canale (SMes) che caratterizzano i sedimenti del paleoalveo del Fiume Reno.

STRALCIO 2 – VIGARANO MAINARDA



Legenda

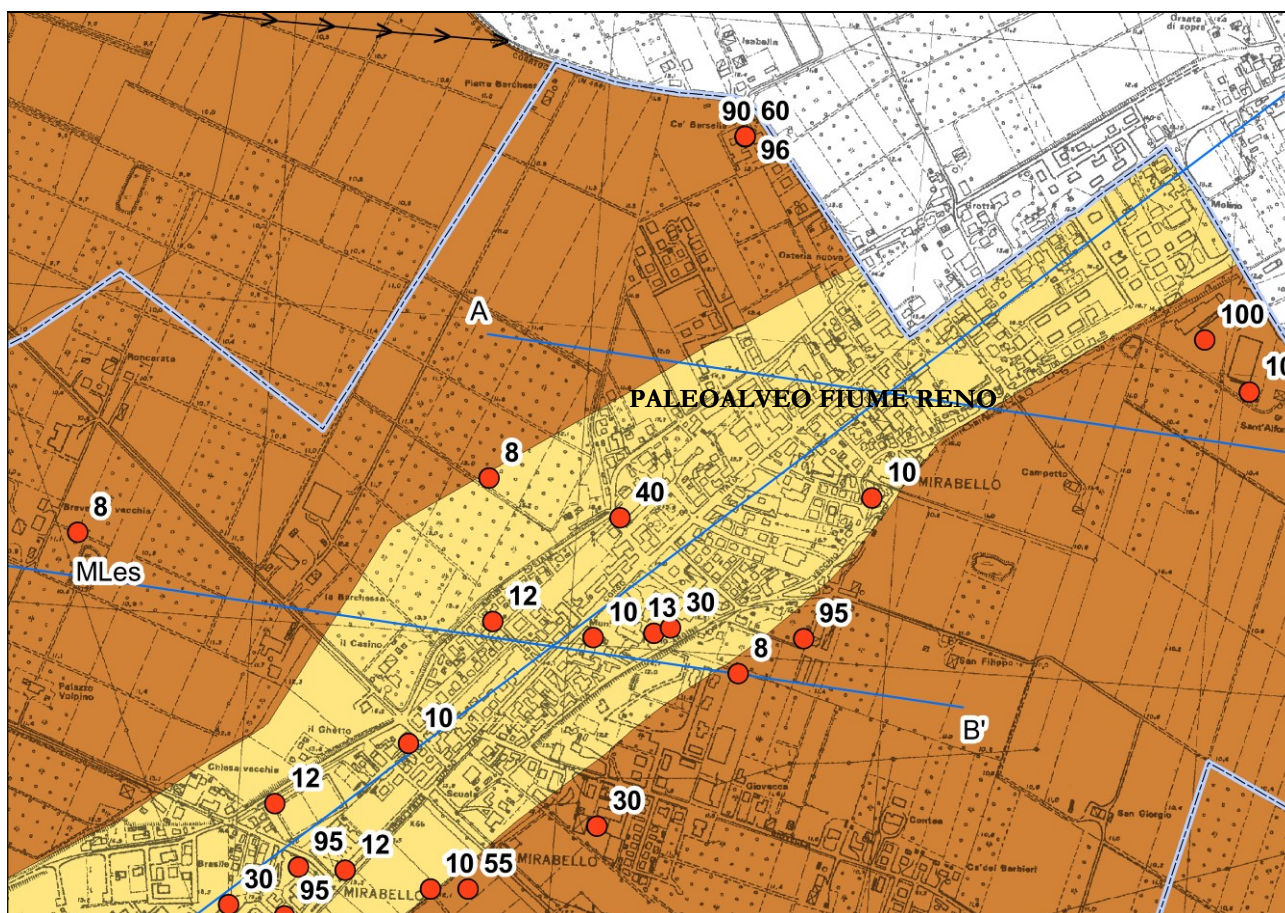
Terreni di copertura

SMes	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e canale
OLpi	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile
MLes	Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e canale

FIGURA 2.12– Stralcio della Carta Geologico-Tecnica della MZ del comune di Vigarano Mainarda

In **FIGURA 2.13** si riporta lo **Stralcio 3**, caratterizzato da limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile (OLpi) e limi inorganici sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e di canale (MLes) per i terreni esterni al paleoalveo del fiume Reno e da sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e di canale (SMes) che caratterizzano i sedimenti del paleoalveo del Fiume Reno.

STRALCIO 3 - MIRABELLO



Legenda

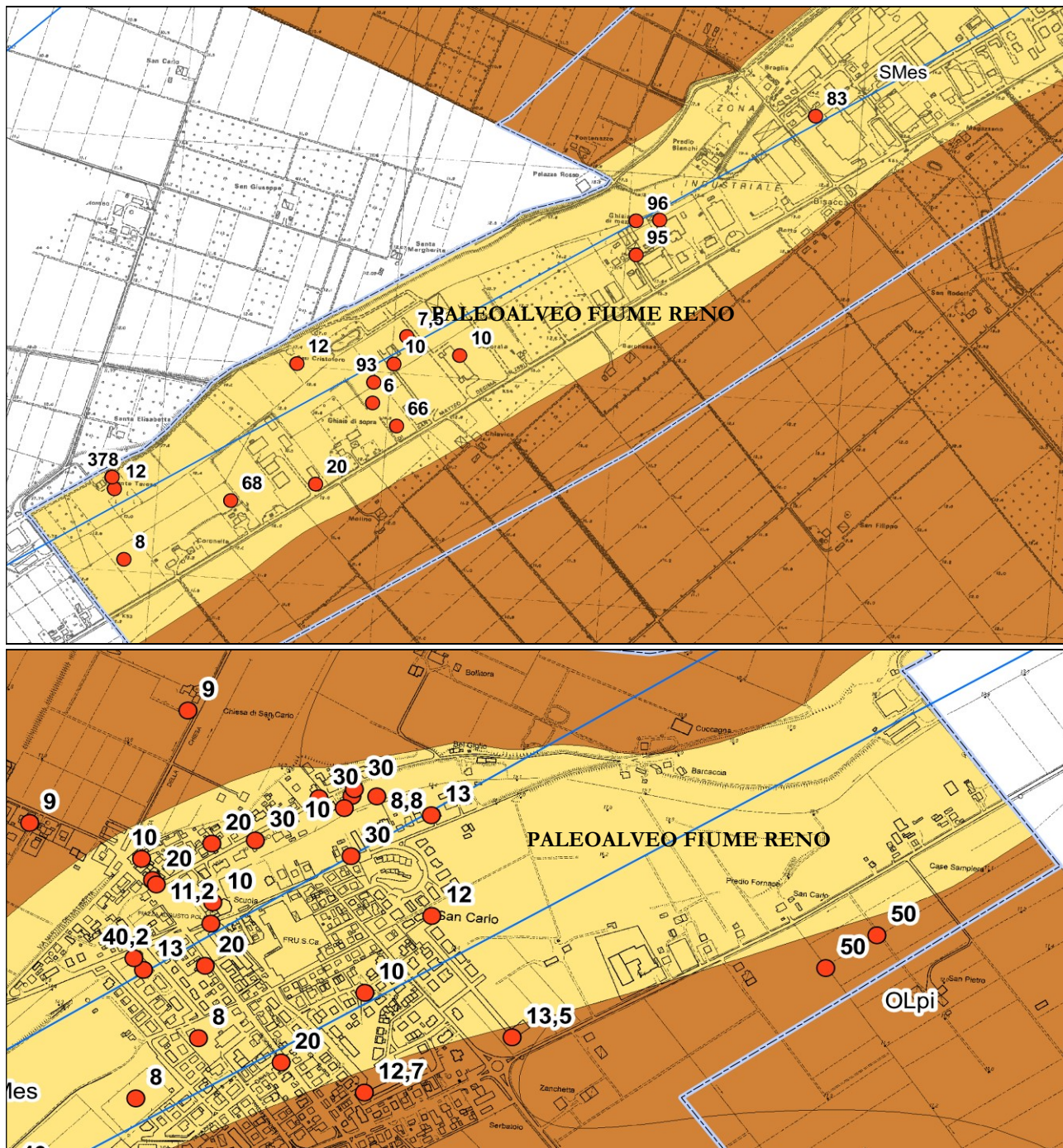
Terreni di copertura

SMes	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e canale
OLpi	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile
MLes	Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e canale

FIGURA 2.13 – Stralcio della Carta Geologico-Tecnica della MZ del comune di Terre del Reno

In **FIGURA 2.14** si riporta lo **Stralcio 4**, caratterizzato da limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile (OLpi) e limi inorganici sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e di canale (MLEs) per i terreni esterni al paleoalveo del fiume Reno e da sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e di canale (SMes) che caratterizzano i sedimenti del paleoalveo del Fiume Reno.

STRALCIO 4 – ZONA ARTIGIANALE MIRABELLO E SAN CARLO



Legenda

Terreni di copertura

SMes	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di argine e canale
OLpi	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità di piana inondabile
MLes	Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine e canale

FIGURA 2.14– Stralcio della Carta Geologico-Tecnica della MZ del comune di Terre del Reno

2.4. ALTIMETRIA

La morfologia del territorio è caratterizzata da un articolato microrilievo, costituito da dossi fluviali e corpi di argine naturale che sfumano nei sedimenti di ampie depressioni interalvee. Queste strutture risultano estremamente evidenti grazie alle tecniche di telerilevamento laser (LIDAR), che permettono una ricostruzione altimetrica di elevato dettaglio.

Si riporta dunque una carta altimetrica generica acquisita con sistema di telerilevamento laser (LIDAR) di tutto il territorio su cui è in progetto la nuova pista ciclabile, in cui è possibile osservare le aree più depresse con tonalità verde chiaro dalle aree più rilevate altimetricamente con tonalità calde.

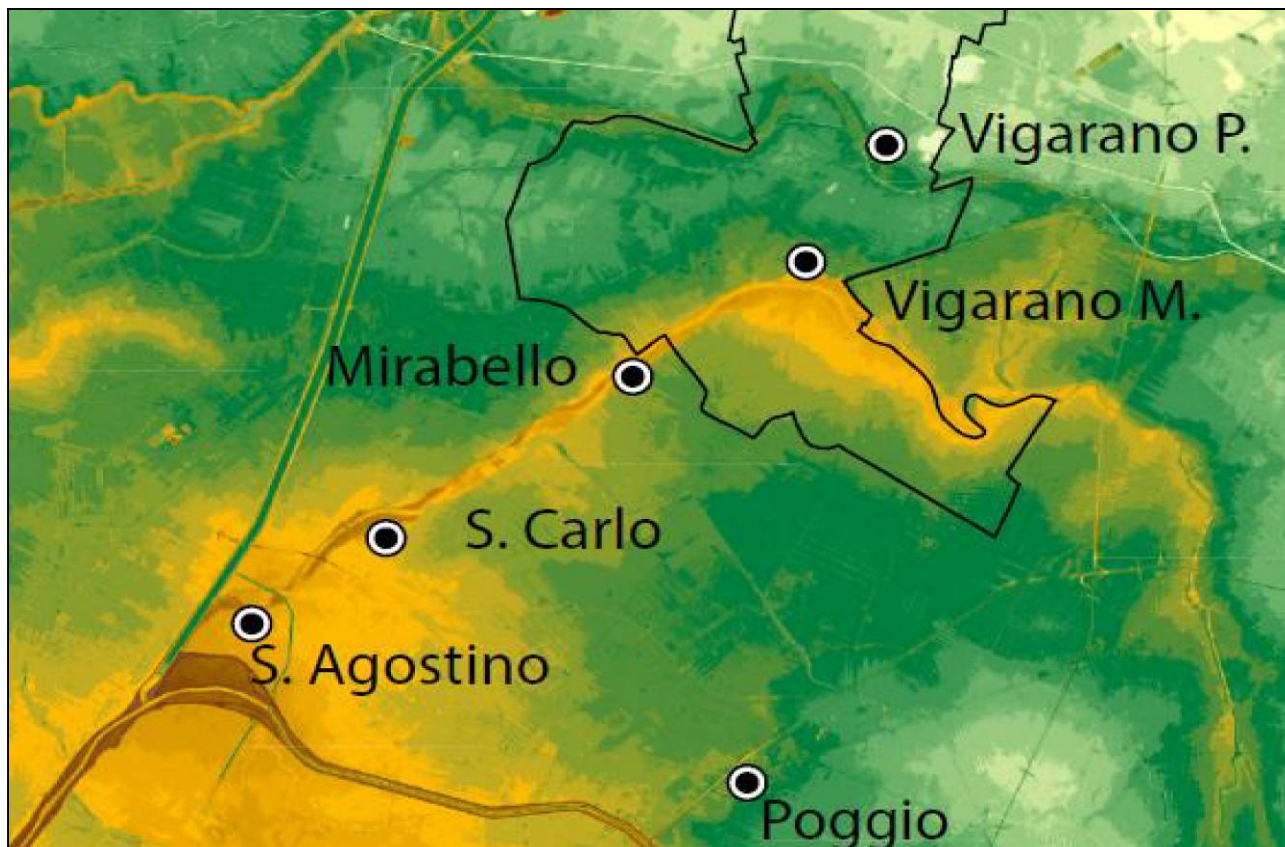


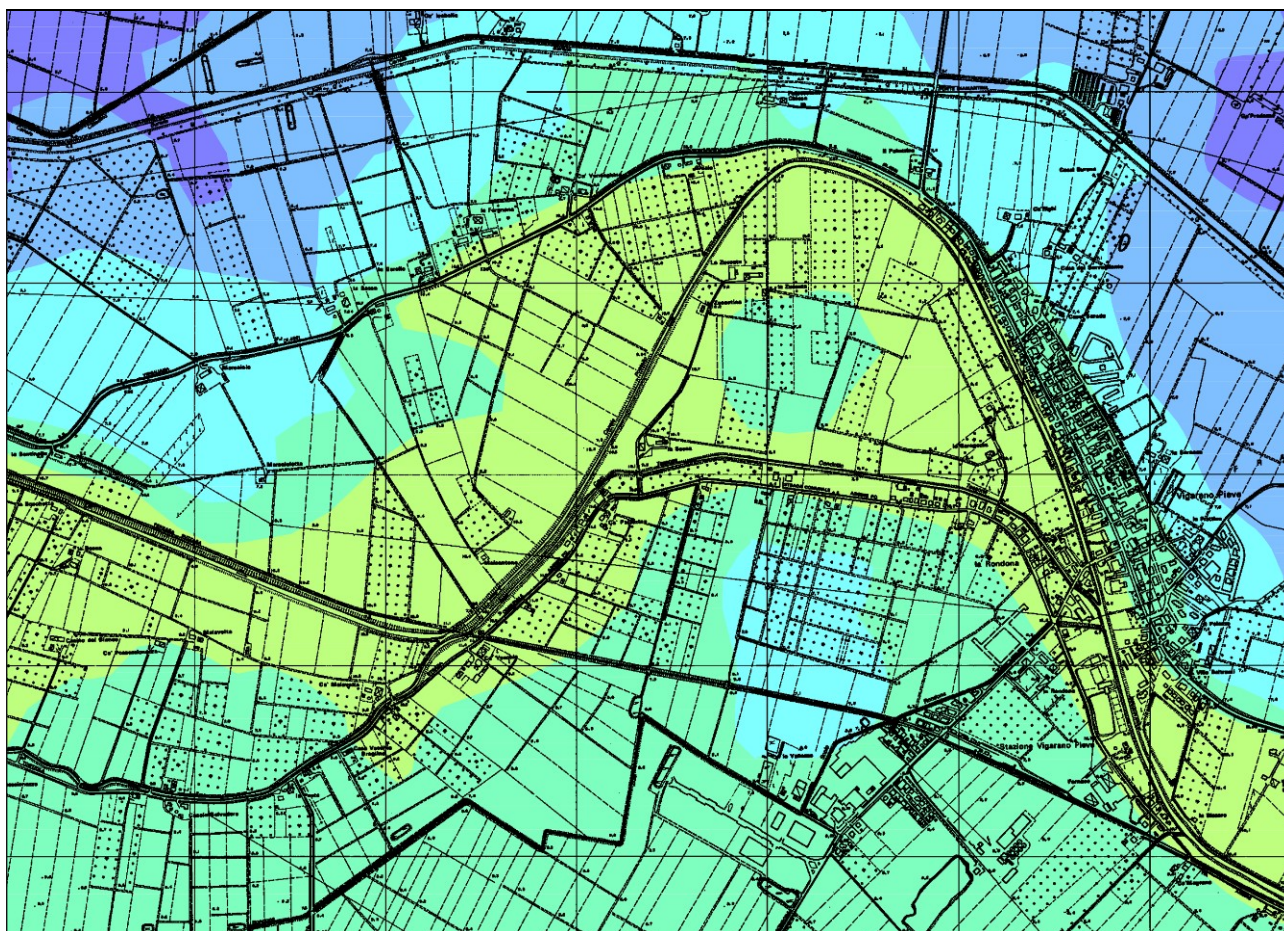
FIGURA 2.15 – Modello altimetrico LIDAR (Regione Emilia-Romagna). Estremamente evidenti appaiono il dosso del Reno allungato in direzione sud ovest-nord est tra Mirabello e Vigarano Mainarda e il dosso fluviale del Po, di età romana e medievale, che attraversa Vigarano Pieve.

Vengono ora riportati i 4 stralci degli abitati in Carta Tecnica Regionale C.T.R. con la Carta Altimetrica della Provincia di Ferrara, rielaborata dallo scrivente in cui è possibile osservare le diverse quote assolute dei p.c..

Da queste carte è possibile notare le aree più rilevate del territorio, poste in corrispondenza dei principali corsi di Paleolvoe che scorrevano nel territorio, nello specifico il Paleolvoe del Fiume Po di Ferrara a nord in corrispondenza dell'abitato di Vigarano Pieve, con quote di circa +9,0/+10,0 m s.l.m.m. e il Paleolvoe del Fiume Reno a sud che scorreva lungo la Strada Provinciale tra gli abitati di Vigarano Mainarda, Mirabello e San Carlo, con quote di circa +14,0/+15,0 m s.l.m.m..

In **FIGURA 2.16** si riporta lo Stralcio 1 con l'abitato di Vigarano Pieve in cui è possibile notare le quote più rilevate dei p.c. del paleolvoe del Fiume Po di Ferrara che attraversa l'abitato.

STRALCIO 1 – VIGARANO PIEVE



Legenda

Fasce altimetriche (metri s.l.m.)

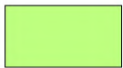
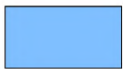
	Quota compresa tra 16 e 15		Quota compresa tra 10 e 9
	Quota compresa tra 15 e 14		Quota compresa tra 9 e 8
	Quota compresa tra 14 e 13		Quota compresa tra 8 e 7
	Quota compresa tra 13 e 12		Quota compresa tra 7 e 6
	Quota compresa tra 12 e 11		Quota compresa tra 6 e 5
	Quota compresa tra 11 e 10		Quota compresa tra 5 e 4

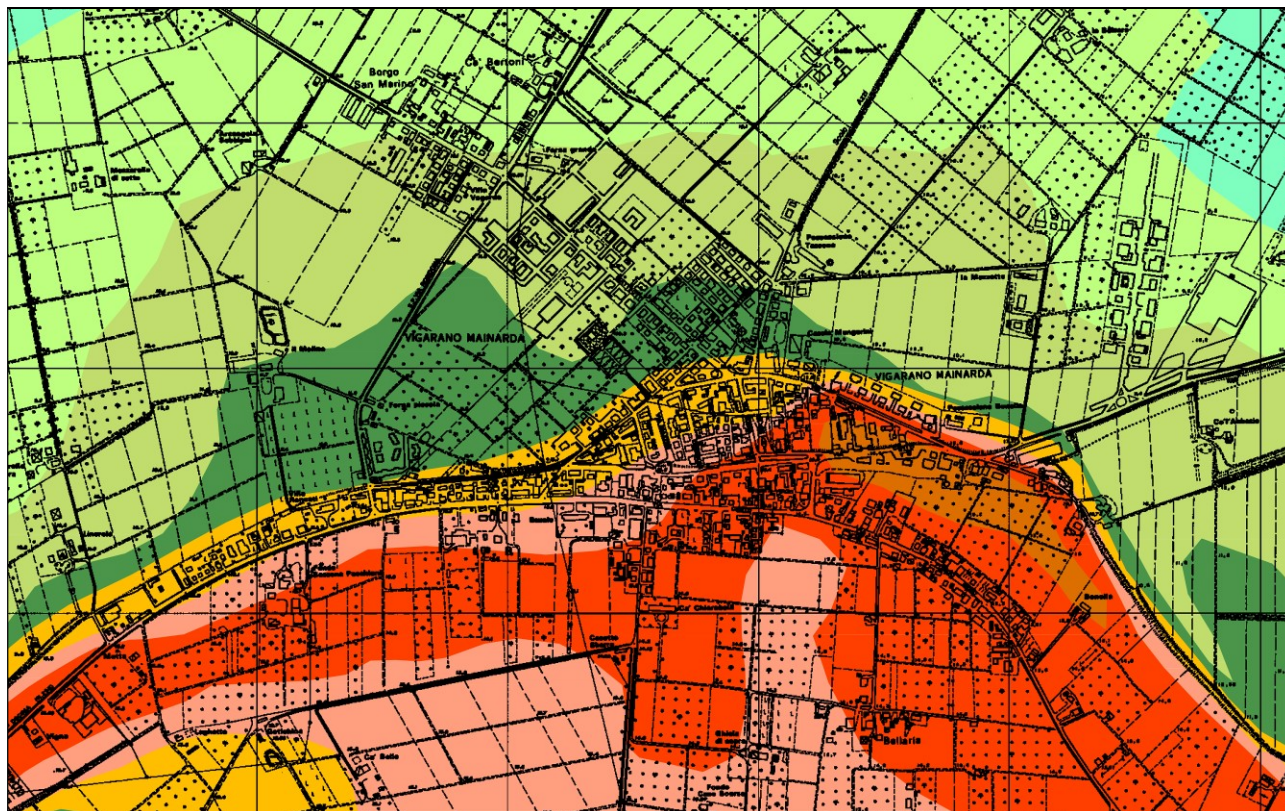
FIGURA 2.16 – Particolare della Carta Altimetrica della Provincia di Ferrara – STRALCIO 1

In **FIGURA 2.17, 2.18 e 2.19** si riportano rispettivamente lo Stralcio 2 con l'abitato di Vigarano Mainarda, lo Stralcio 3 con l'abitato di Mirabello e lo Stralcio 4 con l'abitato di San Carlo e la zona industriale di Mirabello in cui è possibile notare le quote più rilevate del paleoalveo del Fiume Reno che attraversa gli abitati.

Le quote assolute dei piani campagna su cui sorge il paleoalveo del Fiume Reno risultano più elevate rispetto ai piani campagna su cui sorge il Fiume Po di Ferrara. Nello specifico si passa da quote di circa +9/+10 m s.l.m.m. per il paleoalveo del Fiume Po di Ferrara in corrispondenza dell'abitato di Vigarano Pieve e a quote di

circa +14/+15 m s.l.m.m. per il paleoalveo del Fiume Reno in corrispondenza degli abitati di Vigarano Mainarda e di Mirabello e quote di circa +12/+13 m s.l.m.m. in corrispondenza dell'abitato di San Carlo.

STRALCIO 2 – VIGARANO MAINARDA



Legenda

Fasce altimetriche (metri s.l.m.)

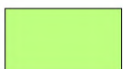
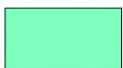
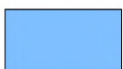
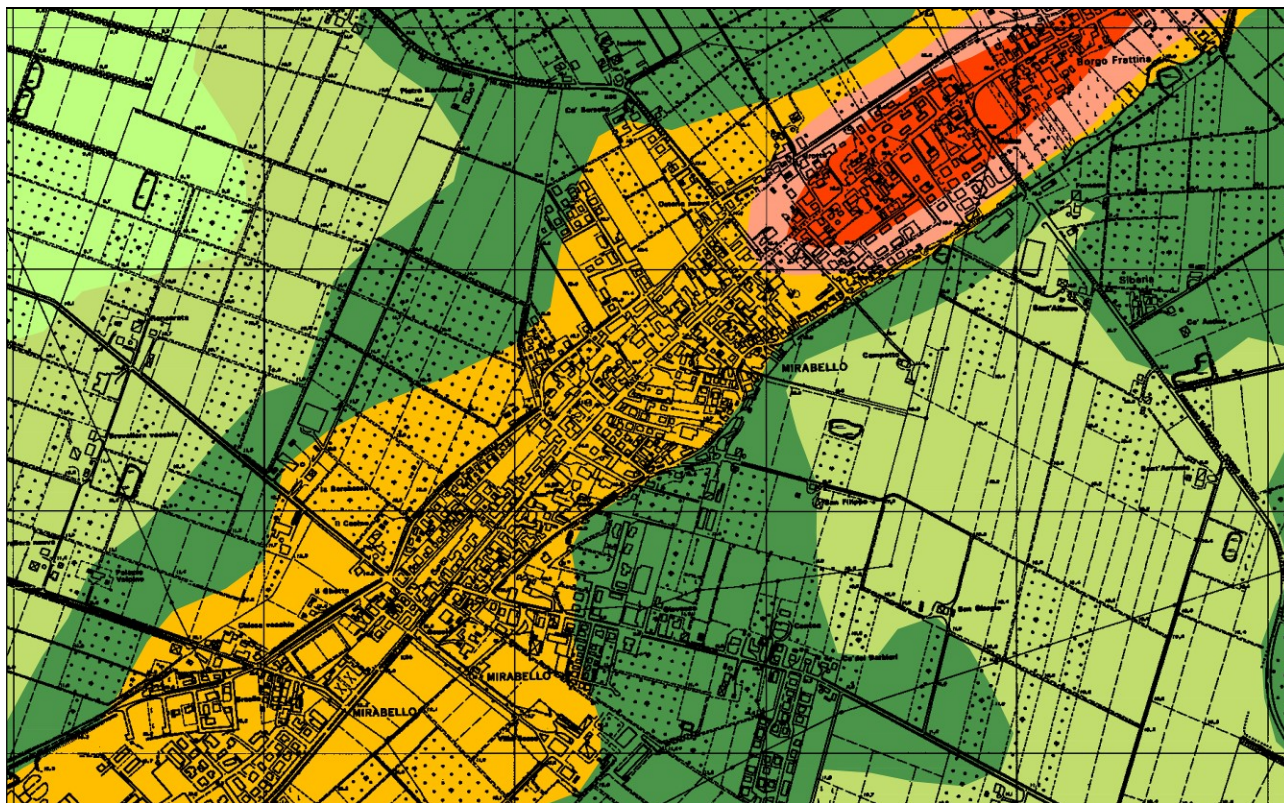
	Quota compresa tra 16 e 15		Quota compresa tra 10 e 9
	Quota compresa tra 15 e 14		Quota compresa tra 9 e 8
	Quota compresa tra 14 e 13		Quota compresa tra 8 e 7
	Quota compresa tra 13 e 12		Quota compresa tra 7 e 6
	Quota compresa tra 12 e 11		Quota compresa tra 6 e 5
	Quota compresa tra 11 e 10		Quota compresa tra 5 e 4

FIGURA 2.17 – Particolare della Carta Altimetrica della Provincia di Ferrara – STRALCIO 2

STRALCIO 3 – MIRABELLO



Legenda

Fasce altimetriche (metri s.l.m.)

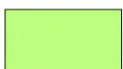
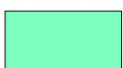
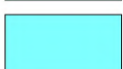
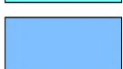
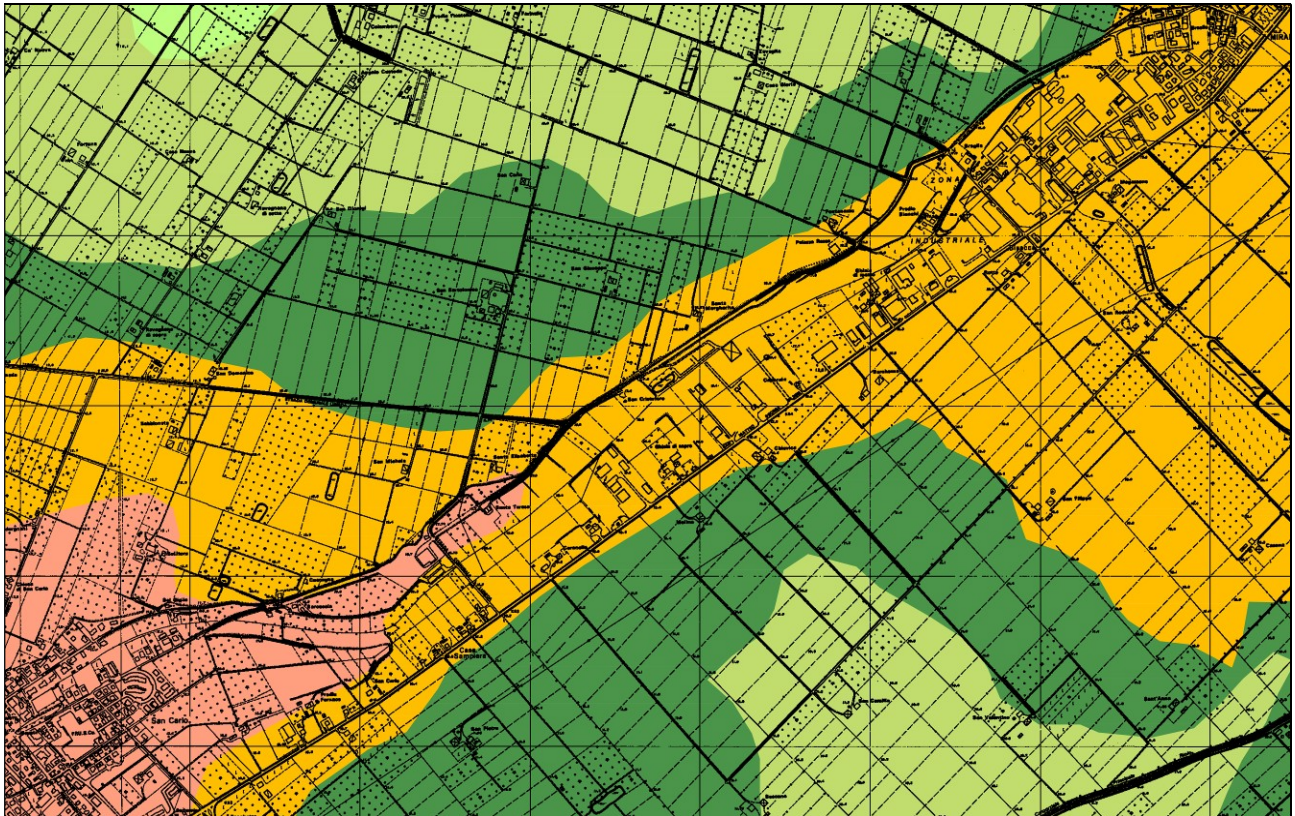
	Quota compresa tra 16 e 15		Quota compresa tra 10 e 9
	Quota compresa tra 15 e 14		Quota compresa tra 9 e 8
	Quota compresa tra 14 e 13		Quota compresa tra 8 e 7
	Quota compresa tra 13 e 12		Quota compresa tra 7 e 6
	Quota compresa tra 12 e 11		Quota compresa tra 6 e 5
	Quota compresa tra 11 e 10		Quota compresa tra 5 e 4

FIGURA 2.18 – Particolare della Carta Altimetrica della Provincia di Ferrara – STRALCIO 3

STRALCIO 4 – ZONA ARTIGIANALE MIRABELLO E SAN CARLO



Legenda

Fasce altimetriche (metri s.l.m.)

	Quota compresa tra 16 e 15		Quota compresa tra 10 e 9
	Quota compresa tra 15 e 14		Quota compresa tra 9 e 8
	Quota compresa tra 14 e 13		Quota compresa tra 8 e 7
	Quota compresa tra 13 e 12		Quota compresa tra 7 e 6
	Quota compresa tra 12 e 11		Quota compresa tra 6 e 5
	Quota compresa tra 11 e 10		Quota compresa tra 5 e 4

FIGURA 2.19 – Particolare della Carta Altimetrica della Provincia di Ferrara – STRALCIO 4

2.5. CARATTERI IDROGEOLOGICI

In **FIGURA 2.20** si riporta uno stralcio della *Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2022* della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Secondo Ciclo, del **Reticolo Principale** con la mappa della pericolosità e degli elementi esposti della Direttiva Alluvioni, per il Distretto del Fiume Po (ITN008).

L'area allo studio risulta caratterizzata da una **fascia di pericolosità P1**, che corrisponde a scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi, nella fascia nord dei territori comunali di Vigarano Mainarda e di Terre del Reno. Nella fascia sud dei 2 territori comunali in corrispondenza del paleoargine del Fiume Reno la fascia di pericolosità P1 del Fiume Po si interrompe.

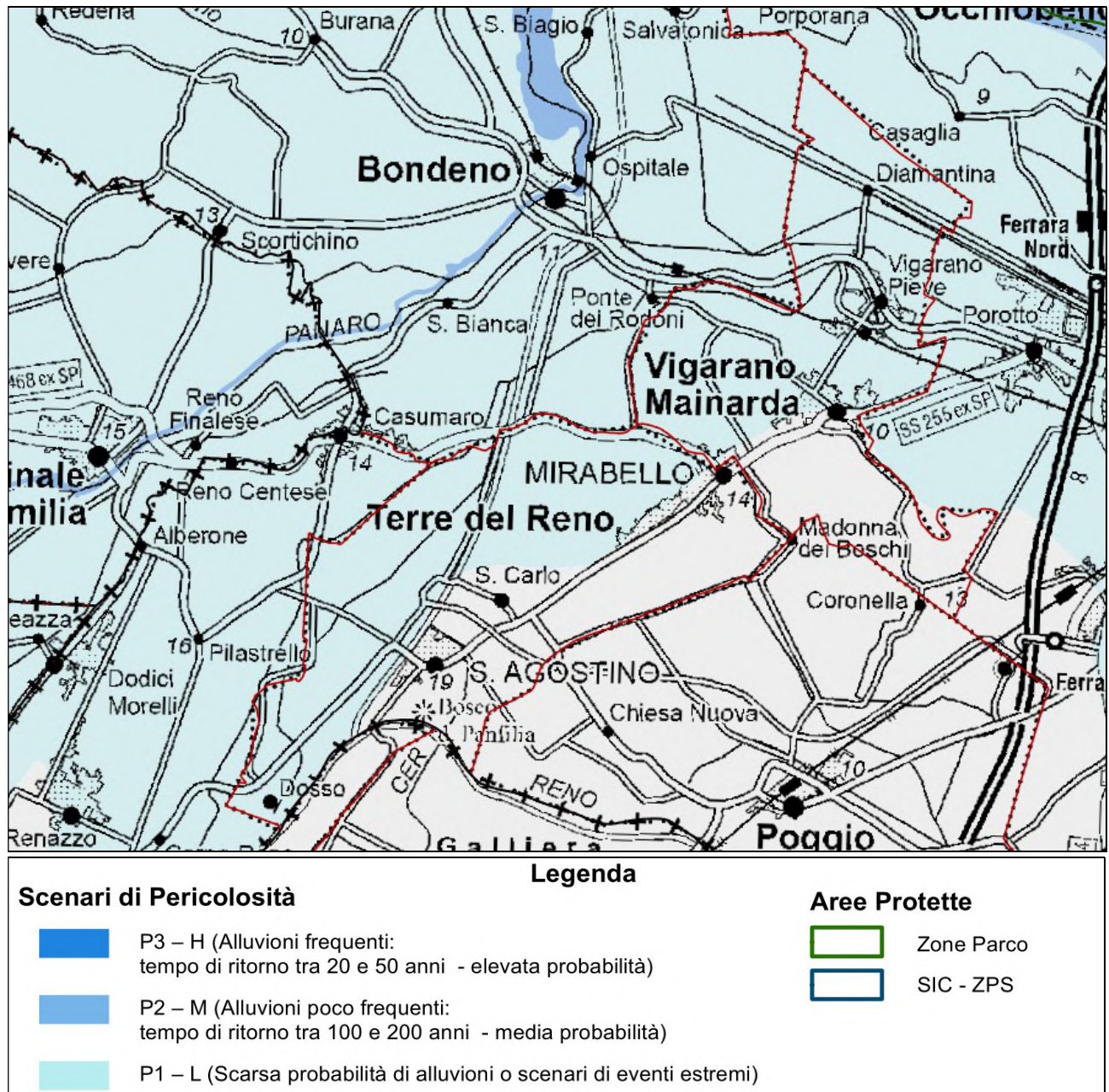


FIGURA 2.20 – Mappa di pericolosità R.P. Distretto del Fiume Po (ITN008).
(fonte: <https://servizi.moka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)

In **FIGURA 2.21** si riporta uno stralcio della *Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2022* della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Secondo Ciclo, del **Reticolo Principale** con la mappa della pericolosità e degli elementi esposti della Direttiva Alluvioni, per il Bacino del Fiume Reno (**ITI021**).

L'area allo studio risulta tutta caratterizzata da una fascia di pericolosità **P3**, che corrisponde ad alluvioni frequenti con tempi di ritorno tra 20 e 50 anni, elevata probabilità.

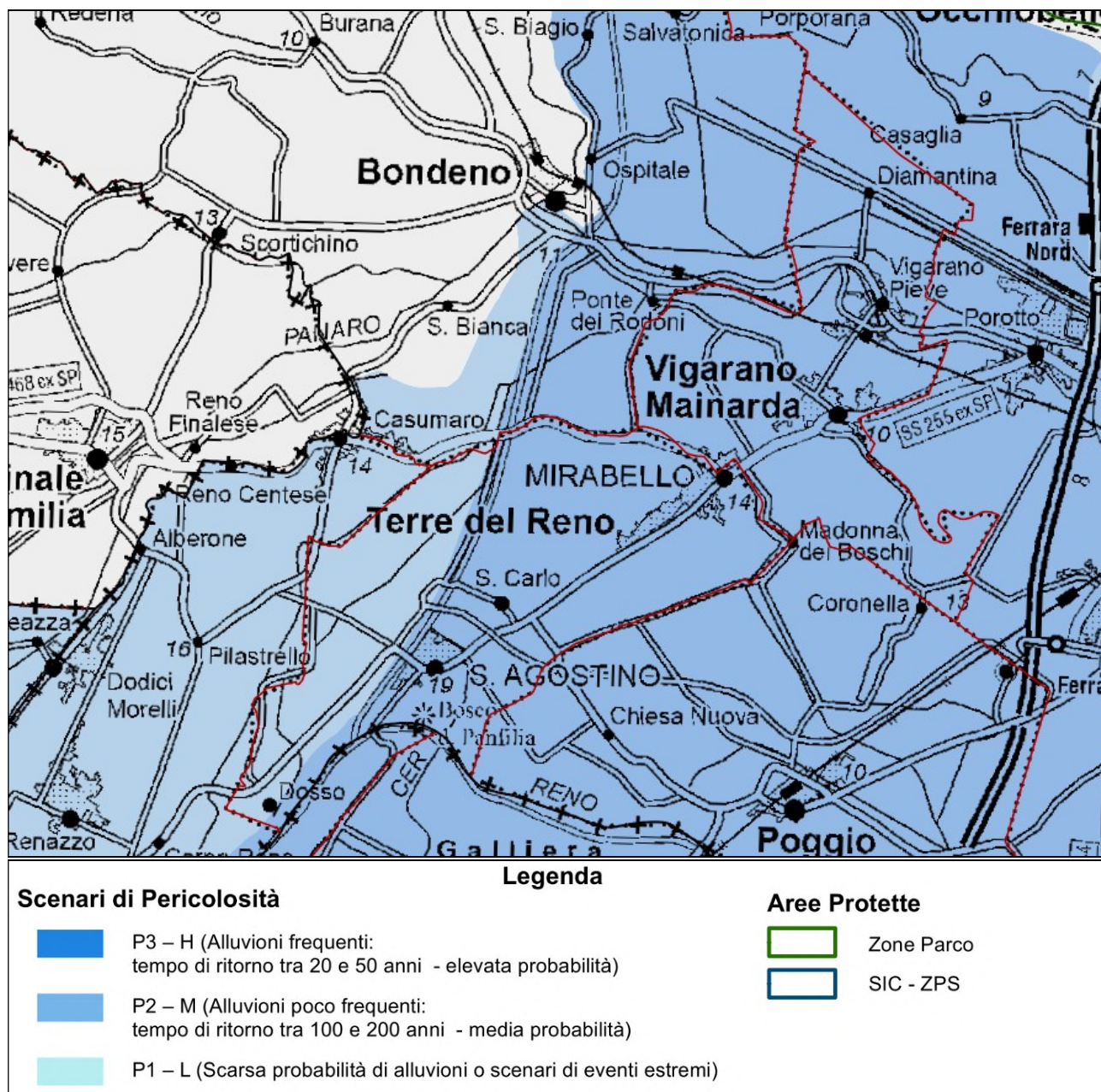


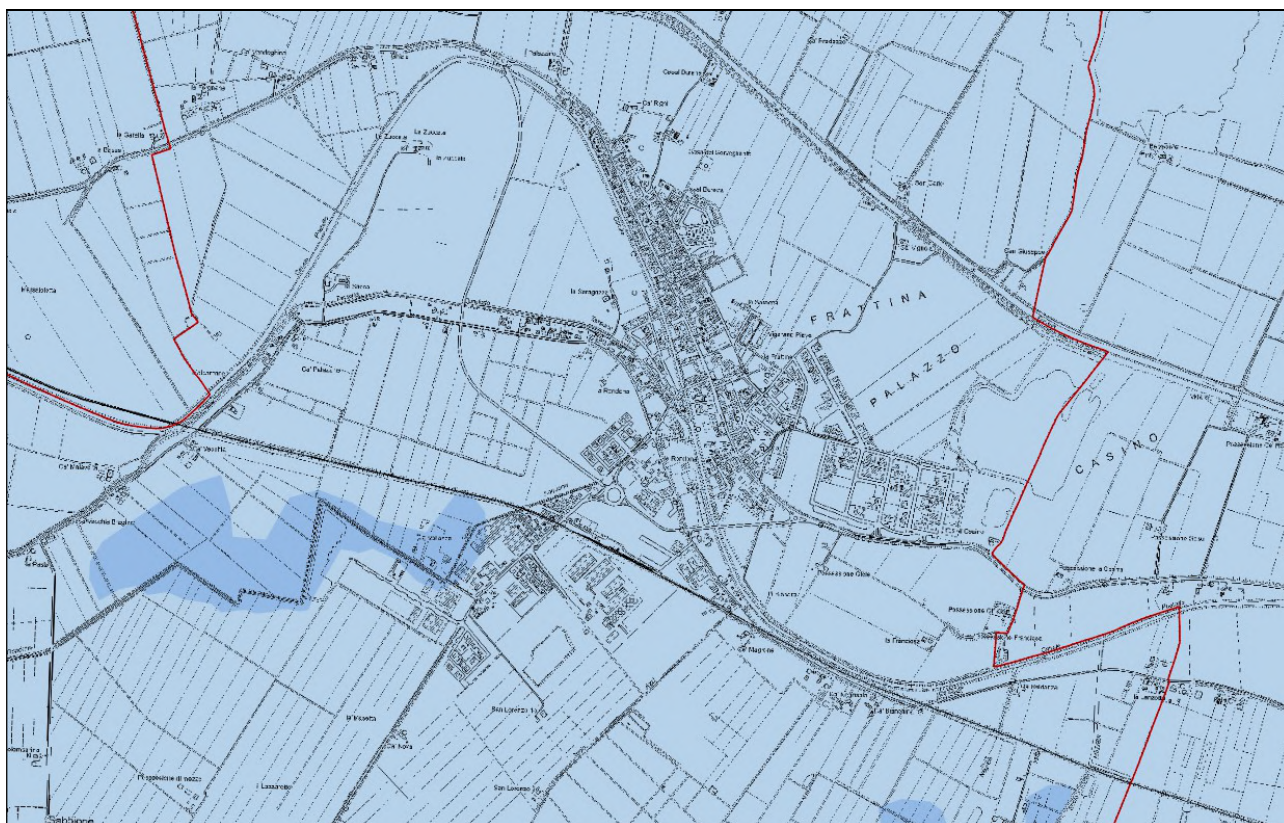
FIGURA 2.21 – Mappa di pericolosità R.P. Bacino del Fiume Reno (**ITI021**).

(Fonte: <https://servizi.moka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)

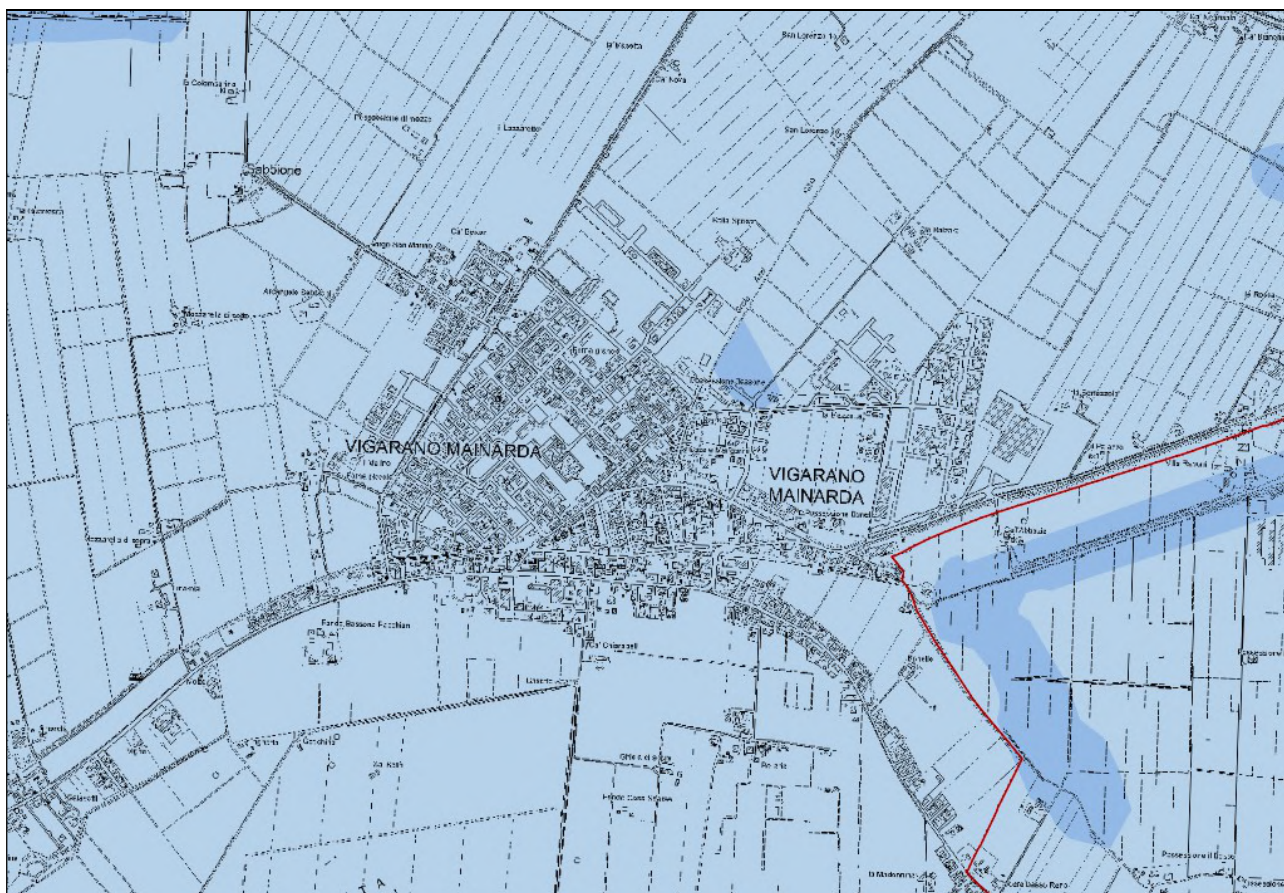
In **FIGURA 2.22** si riportano rispettivamente lo Stralcio 1 con l'abitato di Vigarano Pieve, lo Stralcio 2 con l'abitato di Vigarano Mainarda, lo Stralcio 3 con l'abitato di Mirabello e lo Stralcio 4 con l'abitato di San Carlo e la zona industriale di Mirabello, della *Mappa di pericolosità e del rischio alluvioni 2022* della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Secondo Ciclo, del **Reticolo Secondario di Pianura** con la mappa della pericolosità e degli elementi esposti della Direttiva Alluvioni, per il Distretto del Fiume Po (**ITN008**).

L'area allo studio risulta caratterizzata da una fascia di pericolosità **P2**, che corrisponde ad alluvioni poco frequenti con tempi di ritorno compresi tra 100 e 200 anni, media probabilità per tutta la zona del territorio su cui è in progetto la nuova ciclovìa.

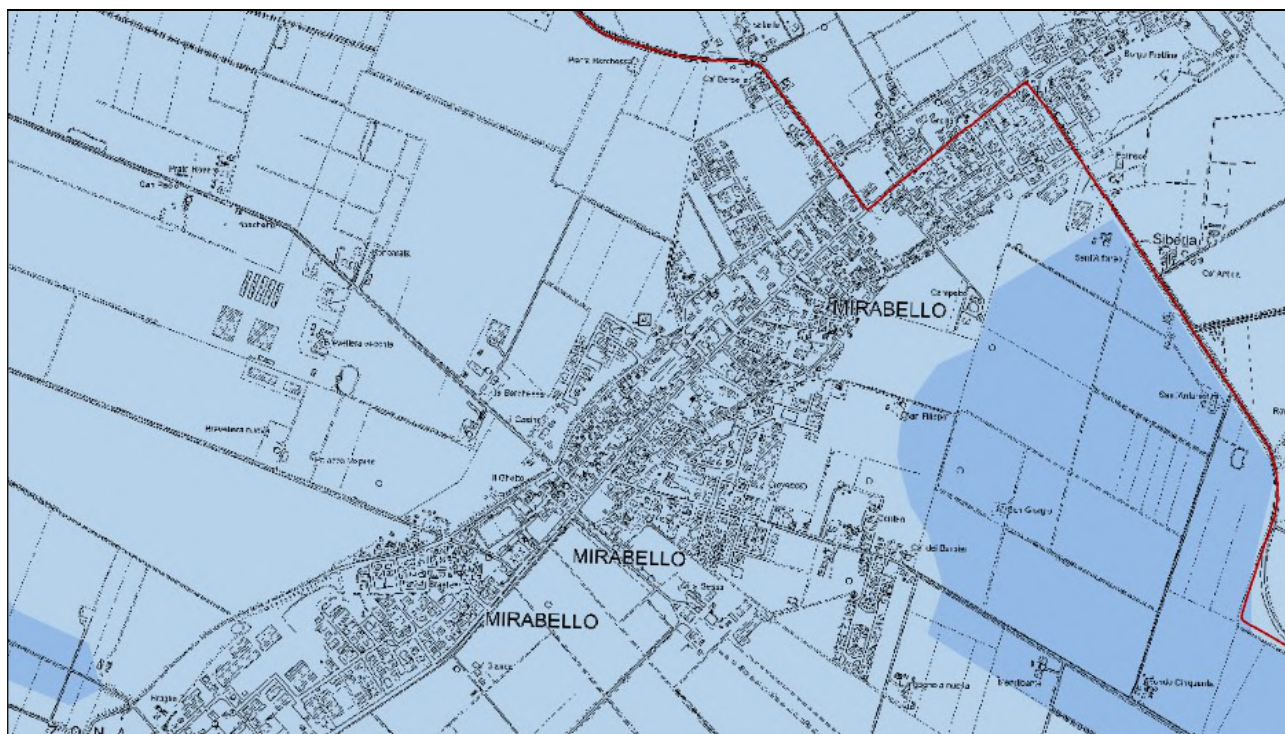
STRALCIO 1 – VIGARANO PIEVE



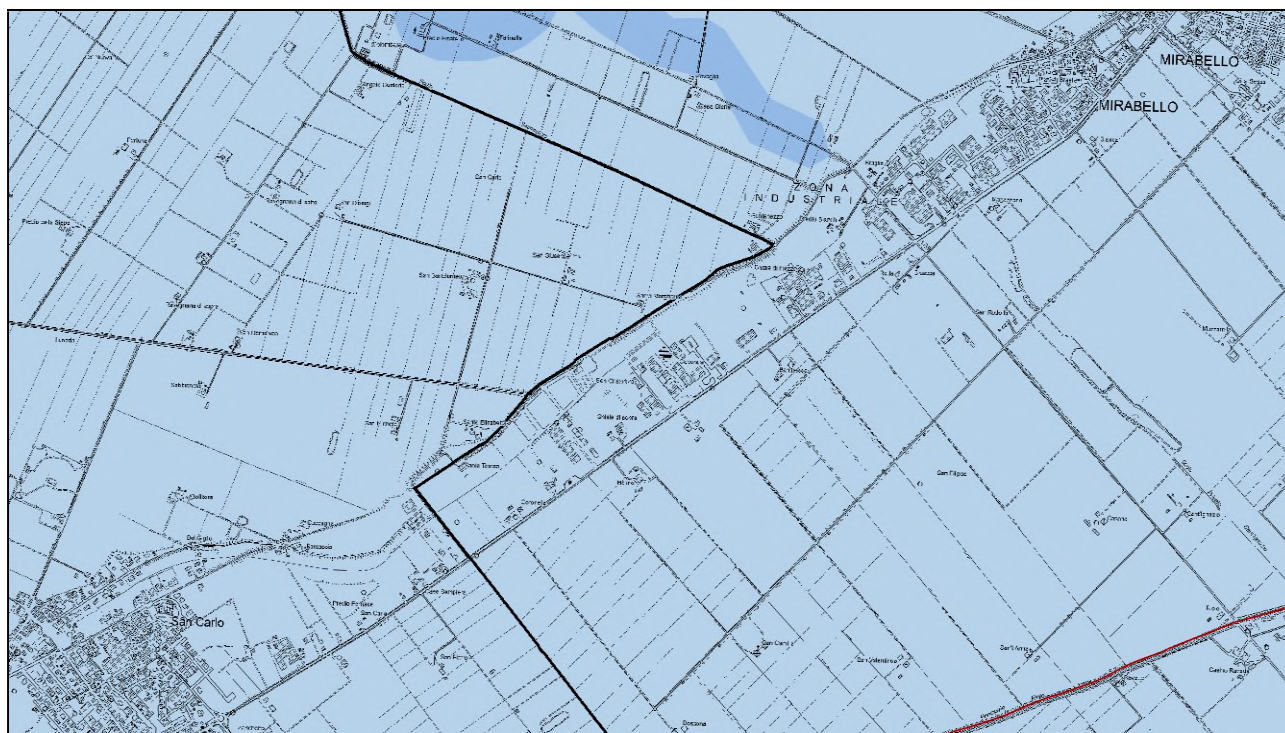
STRALCIO 2 – VIGARANO MAINARDA



STRALCIO 3 – MIRABELLO



STRALCIO 4 – ZONA ARTIGIANALE MIRABELLO E SAN CARLO



Legenda	
Scenari di Pericolosità	Aree Protette
 P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)	 Zone Parco
 P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)	 SIC - ZPS
 P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)	

FIGURA 2.22 – Mappa di pericolosità R.S.P. per i 4 stralci

(Fonte: <https://servizi.moka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)

Si tenga conto delle indicazioni della DGR 1300/2016.

Per quanto riguarda l'inserimento nella fascia P3 per il reticolo principale del fiume Reno, la pericolosità idraulica indicata in mappa a macroscale, non è condivisibile alla scala di dettaglio, ove si coglie che il dosso morfologico dovuto al passaggio del Fiume Po di Ferrara a nord, nell'abitato di Vigarano Pieve e del Fiume Reno tra gli abitati di Vigarano Mainarda, Mirabello e San Carlo, su cui è in progetto la pista ciclabile è a quote più alte rispetto alle campagne circostanti, quindi non può essere soggetta a pericolosità idraulica con eventi di tempo di 20-50 anni (alluvioni frequenti), al pari delle aree più basse al suo contorno.

Anche dalle carte altimetriche del precedente capitolo emerge questa differenza tra le quote assolute che caratterizzano i due paleo alvei dei corsi principali più rilevati e le campagne circostanti, poste a quote inferiori. Di fatto la pista ciclabile in progetto è posta su queste strutture geomorfologicamente più rilevate che la tutelano dal rischio di allagamento.

3. MODELLAZIONE SISMICA

“La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell’Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma **generalmente di minore energia (Magnitudo ≤ 5,5)** sono il margine appenninico-padano tra la Val d’Arda e Bologna, l’arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

Gli eventi del maggio 2012 hanno avuto magnitudo massima 5,90.

Il progetto allo studio, consistente in una nuova infrastruttura ciclabile denominata Nuova Ciclovía VenTi tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe), che ricade tra gli interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità a fini sismici e delle varianti non sostanziali, nonché degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità assume rilievo per le finalità di protezione civile e rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (**Delibera di Giunta Regionale n. 828 del 31/05/2019**).

Come già menzionato, i 2 territori comunali di Vigarano Mainarda e di Terre del Reno ricadono all’interno della zona sismogenetica 912, e dunque potenzialmente sono sede epicentrale di eventi sismici. La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di $M = 6,14$.

La classificazione sismica introdotta dall’OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 17/01/2018, attribuisce a questa zona, su cui è in progetto la pista ciclabile, tra i comuni di Vigarano Mainarda e Terre del Reno, un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente agli intervalli 0,125g – 0,150g, negli abitati di Vigarano Pieve, Vigarano Mainarda e Mirabello e agli intervalli 0,150g – 0,175g, in corrispondenza di San Carlo con $T=0$, su suolo rigido ($V_{S30}>800\text{m/sec}$) e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale.

In **FIGURA 3.1**, si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall’INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, recepito dal D.M. 2018.

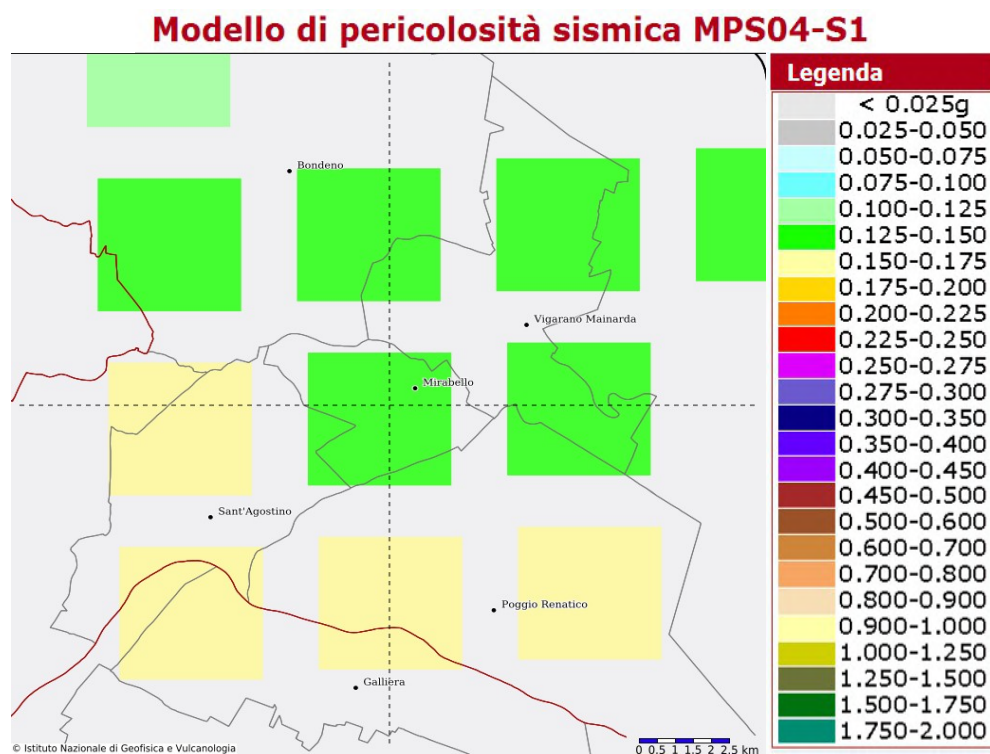


FIGURA 3.1 – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Si riporta in **FIGURA 3.2** il catalogo storico dei terremoti che hanno colpito la zona tra i comuni di Vigarano Mainarda e di Terre del Reno dal sito INGV.

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
3-4	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85
3	1963	04	05	13	49	4	Finale Emilia	6	4-5	3.93
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
3	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
3	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

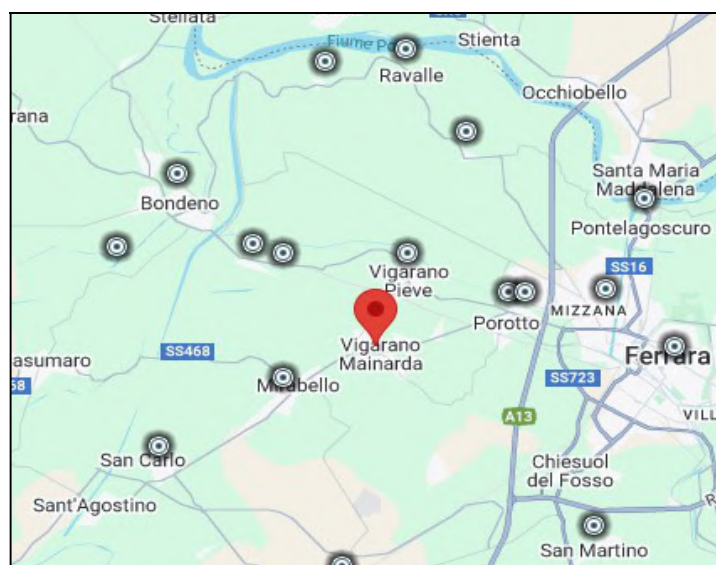


FIGURA 3.2– Catalogo storico dei terremoti – INGV – **DBMI15**. fonte: https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/query_place/

Fra i più recenti terremoti a maggiore intensità con epicentro nelle vicinanze dell'area di studio viene menzionato quello verificatosi il 20 ed il 29 maggio 2012 con magnitudo massima di 5.9. Oltre a questi importanti terremoti, il territorio è stato certamente e fortemente interessato anche dal terremoto del 1570, con epicentro a Ferrara e magnitudo massima pari a 5.44. I maggiori effetti del sisma sono ampiamente riportati nelle fonti ferraresi e nei cataloghi storici dei terremoti. Le fonti storiche riportano anche evidenze di effetti geologici di sito legati al sisma, come i fenomeni di liquefazione del terreno nell'area urbana di Ferrara e nelle immediate vicinanze, in alcuni casi con emissione di fumi o con fuoriuscita di sabbie bollenti e apertura di fessure con fuoriuscita di "una schiuma nera".

Per cui gli effetti di sito, per quanto concerne la pericolosità sismica, più eclatanti che possono avvenire nell'area allo studio, su cui è in progetto la pista ciclabile, sono quelli dovuti alla liquefazione delle sabbie. In alcune aree, soprattutto nella parte occidentale della Provincia di Ferrara, in particolare nei Comuni di Terre del Reno dopo le scosse principali del 20 e 29 maggio 2012 (rispettivamente di magnitudo locale $M_L = 5.9$ e $M_L = 5.8$), si sono verificate copiose fuoriuscite di sabbia attraverso vulcanelli, fratture e pozzi che hanno talora causato rigonfiamenti, spostamenti e cedimenti del suolo. In corrispondenza di rilevati sono stati osservati anche estese rotture lineari del terreno, da qualcuno erroneamente interpretate come manifestazioni di fagliazione superficiale; le indagini hanno confermato che si tratta di fratture estensionali delle porzioni più superficiali del sottosuolo, con cedimenti e spostamenti probabilmente dovuti alla liquefazione di intervalli sabbiosi (lateral spreading).

È noto che la liquefazione è un fenomeno che si verifica in occasione di forti terremoti ($M > 5.5$) nelle aree in cui sono presenti sedimenti granulari (limi sabbiosi, sabbie e ghiaie sabbiose) poco addensati e saturi nei primi 15-20 m di profondità.

In **FIGURA 3.3** si riporta una Carta degli effetti di liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 Maggio 2012 realizzata dalla regione Emilia Romagna, che mostra le principali caratteristiche geologiche e geomorfologiche che caratterizzano il territorio e i diversi fenomeni di liquefazione osservati sia puntuali che lineari sia per i corpi sabbiosi del Fiume Reno sia per i corpi sabbiosi del Fiume Po ed i suoi affluenti.

Da questa carta è possibile notare come tutta l'area posta in corrispondenza della strada Provinciale tra gli abitati di Vigarano Mainarda, Mirabello e San Carlo, dove scorreva il Paleovalve del Fiume Reno, mostra fenomeni di liquefazione delle sabbie, con copiose uscite in superficie di acqua e sedimento.

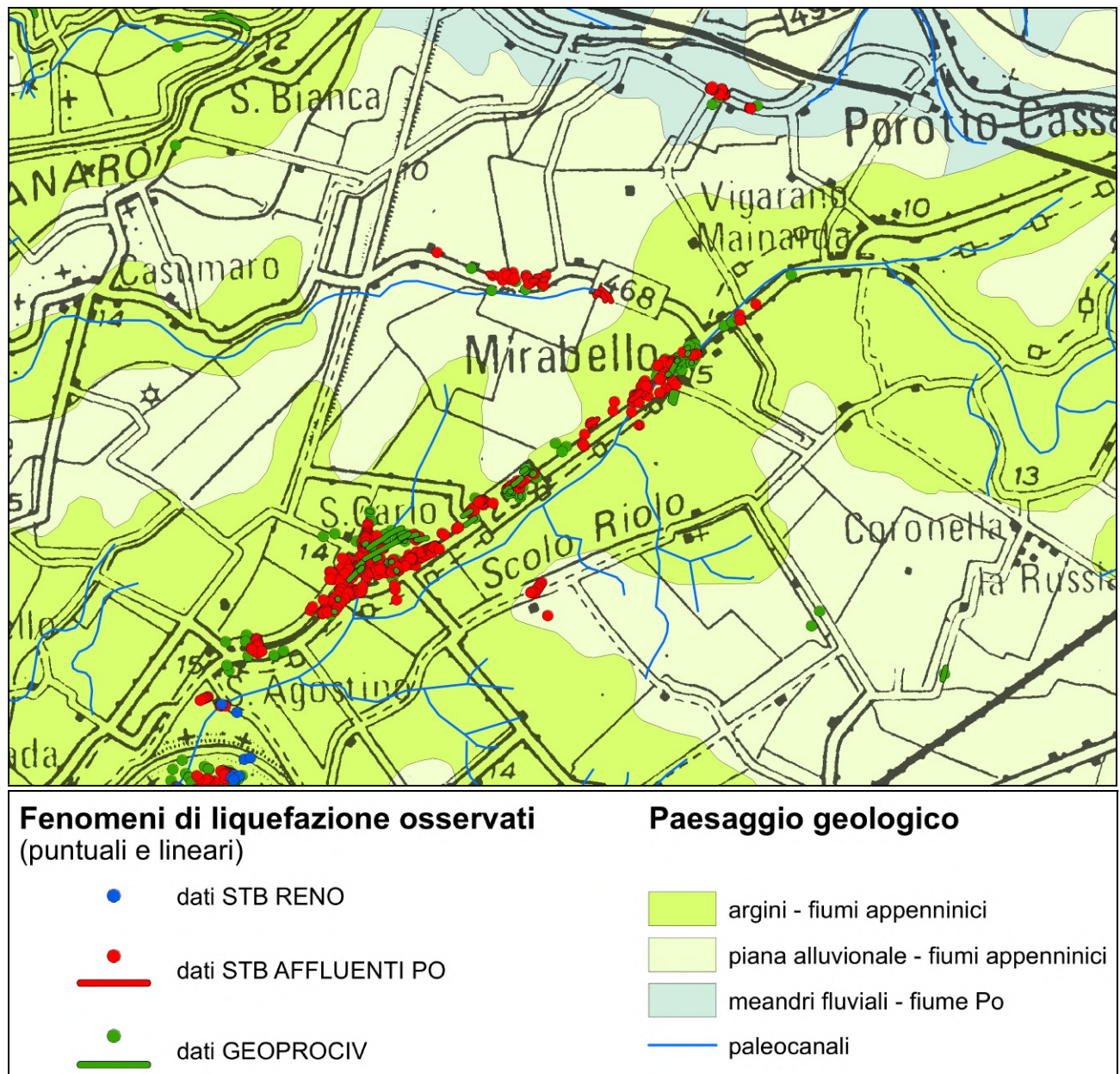
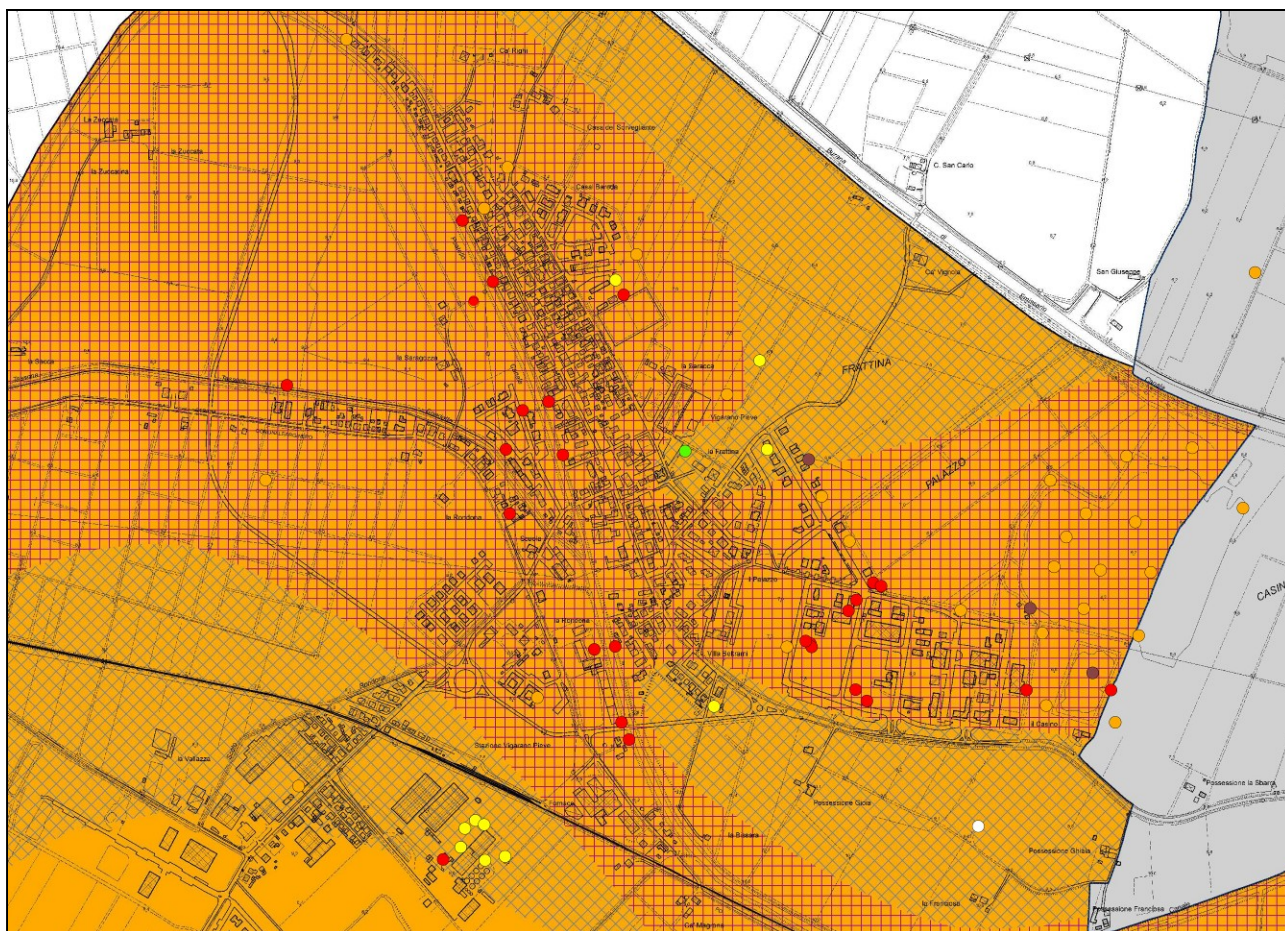
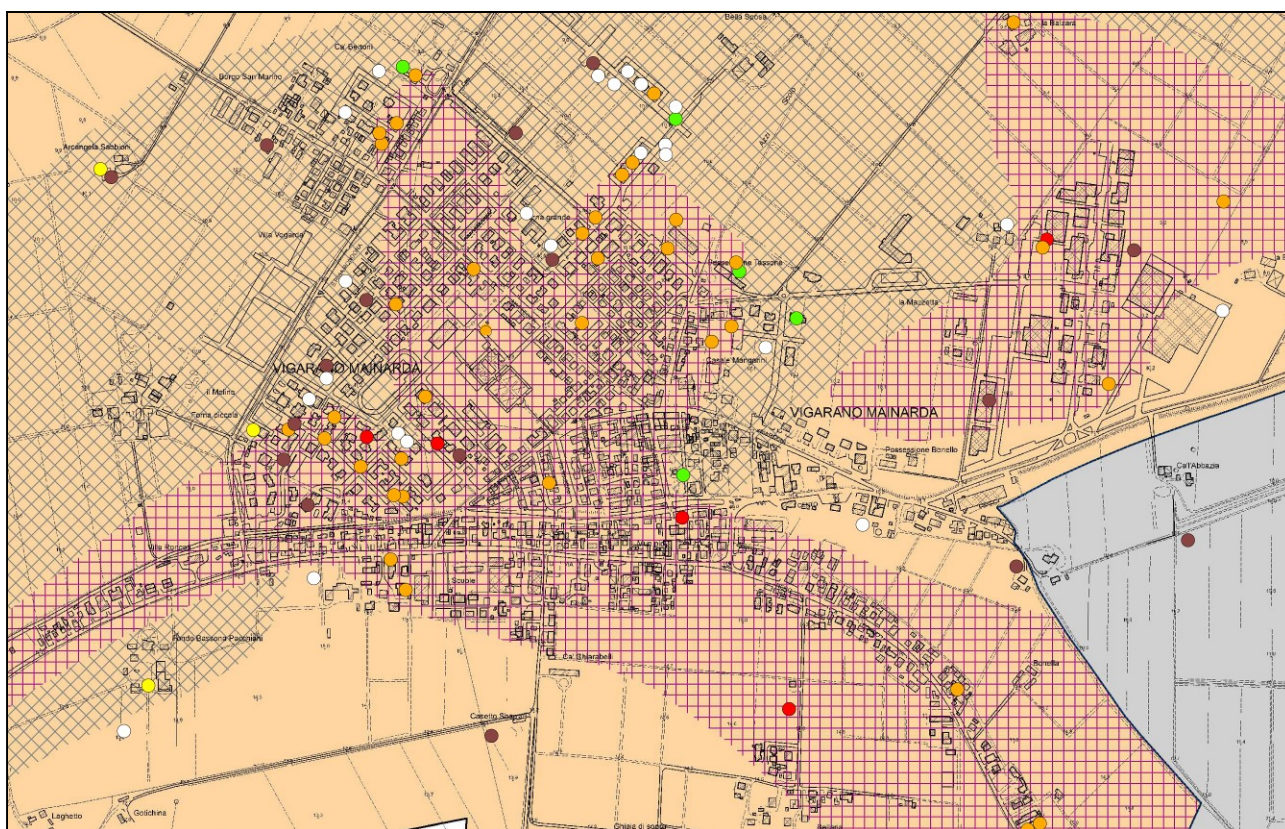


FIGURA 3.3– Carta degli effetti di liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 Maggio 2012 - Regione Emilia Romagna

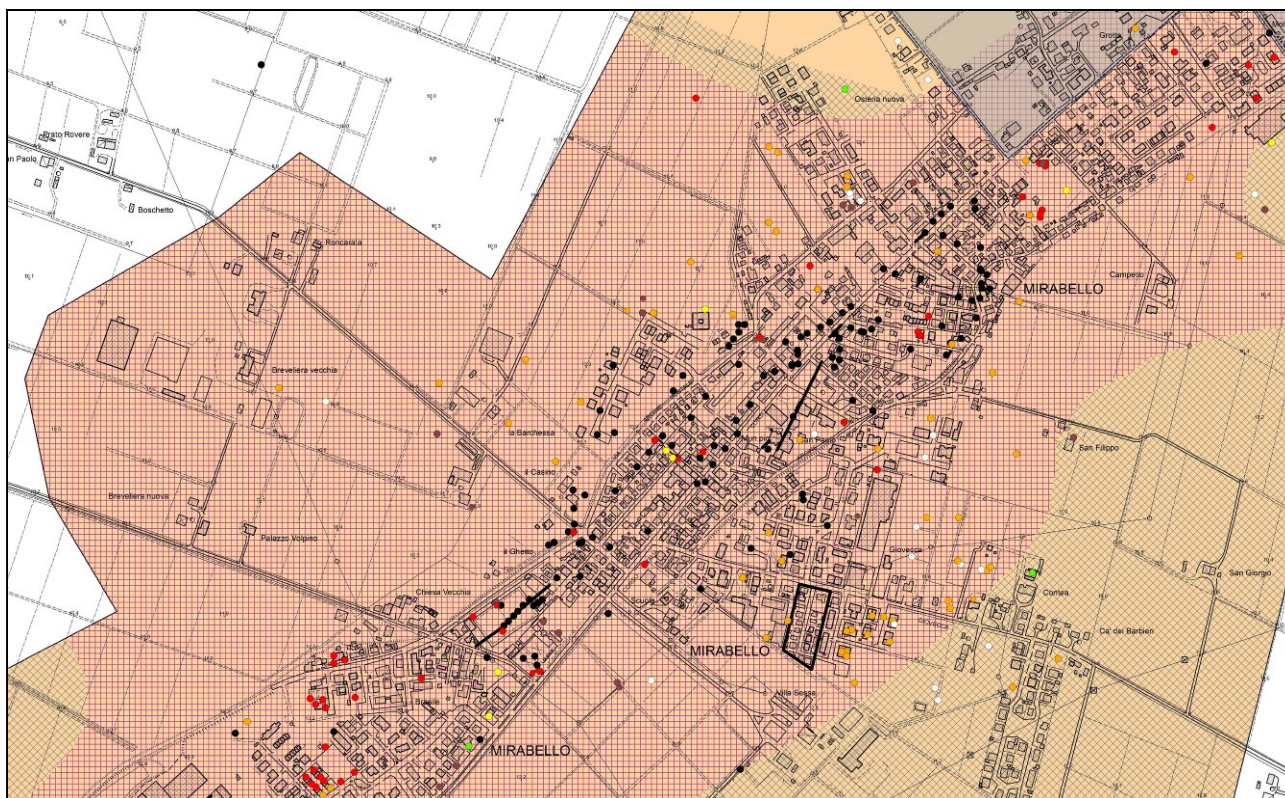
Si riportano in **FIGURA 3.4** lo Stralcio 1 con l'abitato di Vigarano Pieve, lo Stralcio 2 con l'abitato di Vigarano Mainarda, lo Stralcio 3 con l'abitato di Mirabello e lo Stralcio 4 con l'abitato di San Carlo e la zona industriale di Mirabello delle carte della Microzonazione sismica dei comuni di Vigarano e Terre del Reno (Ex Mirabello ed Ex Sant'Agostino) in cui si possono osservare le zone suscettibili di amplificazione stratigrafica con presenza di terreni liquefacibili. Dalla carta emerge anche come la zona su cui è in progetto la pista ciclabile sia stata soggetta a copiosi fenomeni di liquefazione. Da questi studi sono state analizzate numerose indagini geotecniche che hanno evidenziato che il problema sussiste in tutto questo territorio.



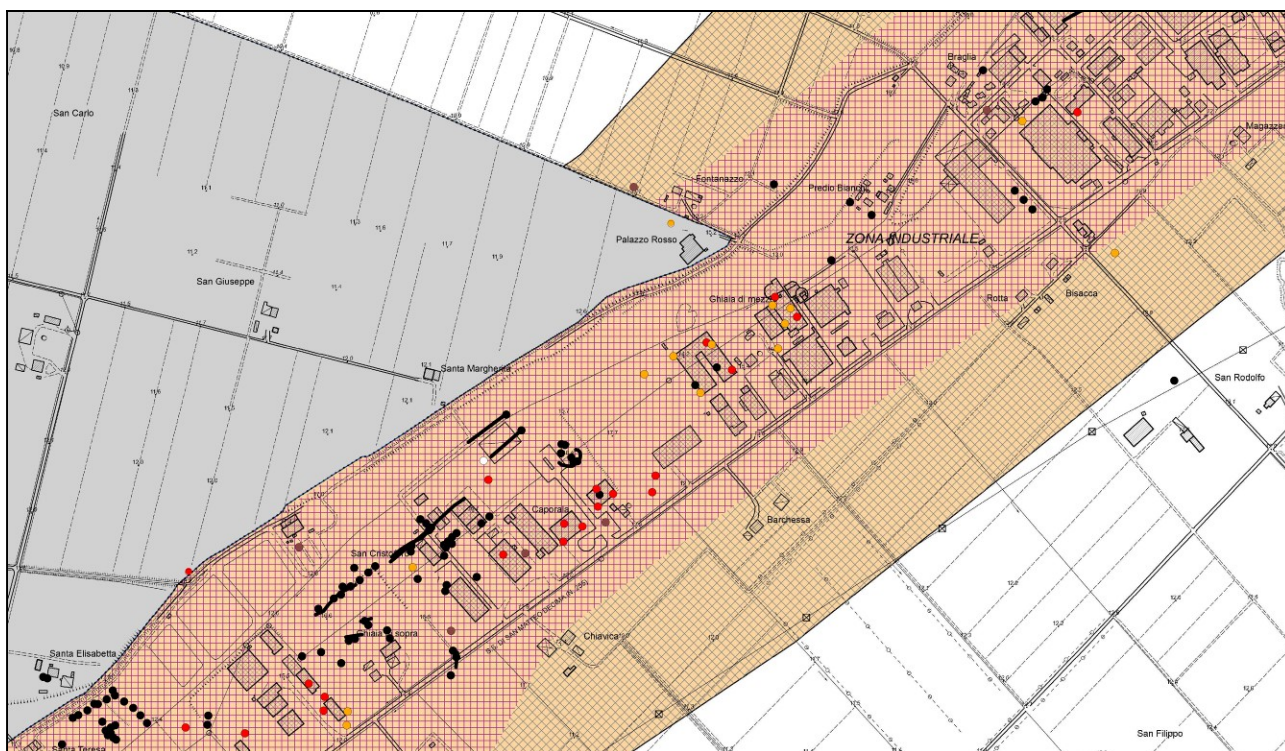
STRALCIO 2 – VIGARANO MAINARDA

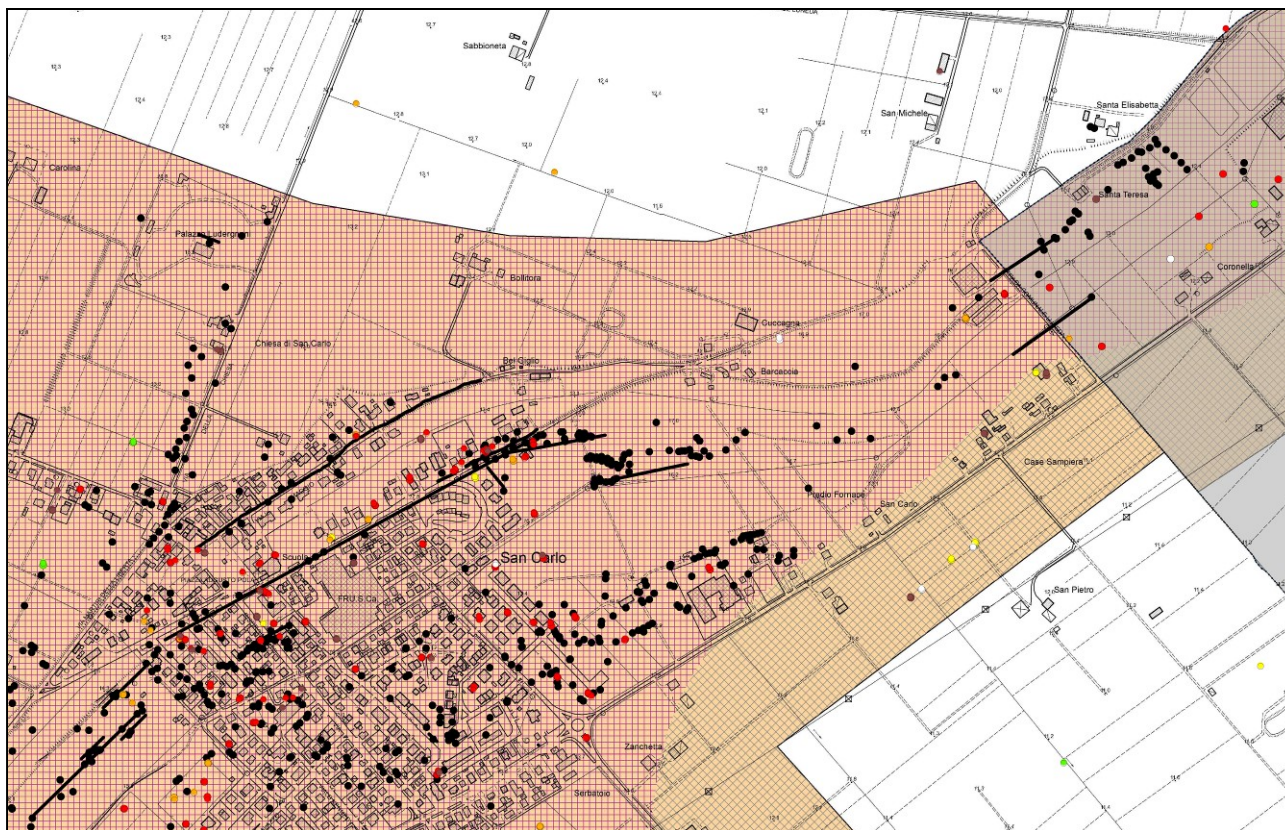


STRALCIO 3 – MIRABELLO



STRALCIO 4 – ZONA ARTIGIANALE MIRABELLO E SAN CARLO





Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.



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



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



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

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 3.4— Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica Microzonazione Sismica - Regione Emilia Romagna

In questo studio fatto dalla Regione Emilia Romagna dopo il terremoto del 2012, per individuare le aree a rischio di liquefazione, oltre alla mappa dei siti in cui tali effetti sono stati rilevati, sono state analizzate tutte le prove che potessero fornire indicazioni sulla stratigrafia dei primi 15-20 m da p.c..

I valori puntuali di IL ottenuti con il metodo di Idriss & Boulanger (2008) sono stati poi raggruppati in classi (Sonmez, 2003); sono stati così distinti siti con rischio di liquefazione nullo se $IL = 0$ (simbolo bianco), basso se $0 < IL \leq 2$ (simbolo bianco), medio se $2 < IL \leq 5$ (simbolo giallo), elevato se $5 < IL \leq 15$ (simbolo rosso), molto elevato se $IL > 15$ (simbolo viola). Solo in un caso, nella zona sud di Mirandola, è stato ottenuto un valore di $IL > 15$. Accanto ad ogni simbolo è rappresentato il valore numerico.

Il confronto della distribuzione sul territorio dei valori di IL ottenuti e delle prove classificate come sopra descritto indica che i valori più alti corrispondono in genere a prove classificate L1 e L2; pertanto, le aree potenzialmente instabili per liquefazione sono state classificate come segue:

- **LQ1, zona in cui sono presenti orizzonti liquefacibili importanti già nei primi 10 m da pc;**
- **LQ2, zona in cui sono presenti orizzonti liquefacibili importanti tra 10 m e 20 m da pc.**

I territori comunali di Vigarano Mainarda e di Terre del Reno, come già visto, sono attraversati da 2 importanti paleovalvei fluviali. In alcuni settori di territorio rimane evidente dal punto di vista topografico la presenza degli antichi dossi arginali degli ultimi secoli di vita di questi fiumi, in particolare quello del Fiume Reno.

Quando le sabbie vanno in liquefazione, i versanti topografici tendono a scivolare lateralmente dando origine al fenomeno del lateral spreading, che è stato così evidente in particolare a Mirabello e San Carlo, a seguito degli eventi sismici del 2012. È bene sottolineare che non vi è una distribuzione continua di queste strutture dossive parallele al corso principale dei paleovalvei. Da sempre l'uomo ha questa tendenza a spianare e livellare il terreno in cui si insedia, cancellando le strutture geomorfologiche testimoni della storia evolutiva del territorio.

Per cui, in questo contesto stratigrafico, topografico e sismico diventa fondamentale evidenziare il rischio di liquefazione delle sabbie, che può dunque provocare fuoriuscite di sedimento e fessurazioni del terreno. In particolare, ove vi sono le condizioni di dosso morfologico, si è visto essere molto importante il fenomeno dello scivolamento laterale del versante (lateral spreading), con conseguente aperture di lineazioni che possono potenzialmente danneggiare la pista ciclabile, per la liquefacibilità delle sabbie su cui appoggia il versante. Questi fenomeni sono stati molto evidenti nel maggio 2012 a San Carlo, Mirabello e Sant'Agostino.

È difficile prevedere l'ubicazione delle lineazioni di rottura che si possono manifestare a seguito del sisma, ed è difficile quantificare le forze destabilizzanti in gioco che potrebbero spingere e trascinare il versante verso il basso topografico subito ad est del dosso, per la lunghezza del dosso stesso.

Per eventi sismici con tempi di ritorno di 475 anni questo sembra essere comunque un effetto limitato dal basso potenziale di liquefazione.

4. MODELLAZIONE GEOTECNICA

Questa pista ciclabile non prevede la costruzione di opere d'arte, è una quindi un'opera a sviluppo lineare a terra. Il potenziale di ritiro e rigonfiamento dei terreni, può creare condizioni modesto dissesto di opere leggere come queste. Se ne tenga conto in fase di progettazione.

La modellazione geologica ricostruita con i dati bibliografici consente anche la ricostruzione di una modellazione geotecnica sulle indagini.

Sono state prese in considerazione le prove penetrometriche statiche sia con punta meccanica CPT, sia con punta elettrica e piezocono CPTU, spinte a profondità diverse, per lo studio del territorio su cui è in progetto la pista ciclabile estesa venti Km tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe).

In **FIGURA 4.1** si riportata uno stralcio della mappa D.B.T.R. della regione Emilia Romagna con il tracciato della ciclabile di progetto e i 4 stralci su cui è stato suddiviso il territorio di studio, per un analisi geologica e geotecnica generale.

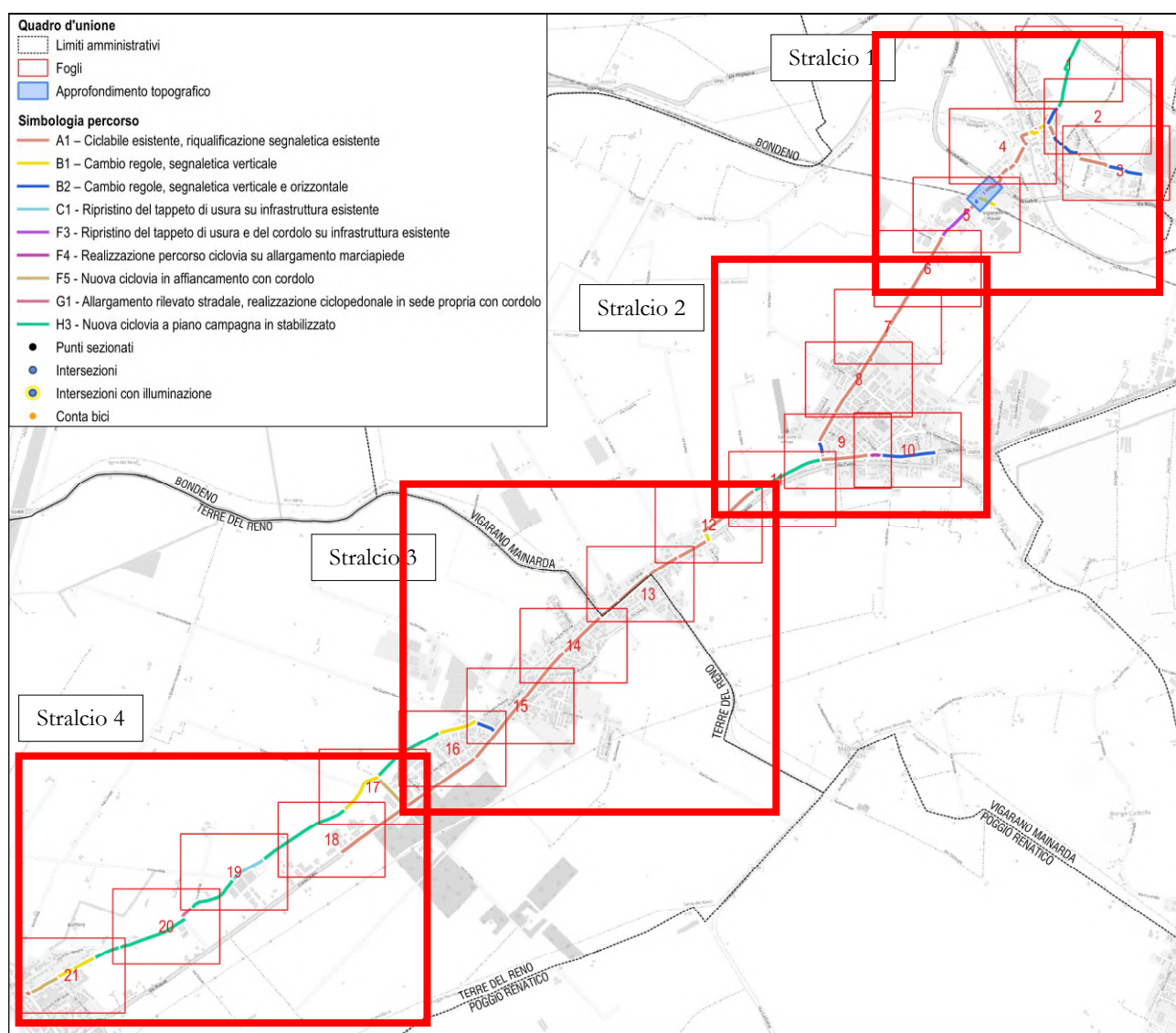


FIGURA 4.1 - Mappa D.B.T.R. della regione Emilia Romagna con suddivisione stralci di studio

In **FIGURA 4.2** si riporta uno stralcio di progetto con della nuova infrastruttura ciclabile denominata Nuova Ciclovía VenTi tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe).

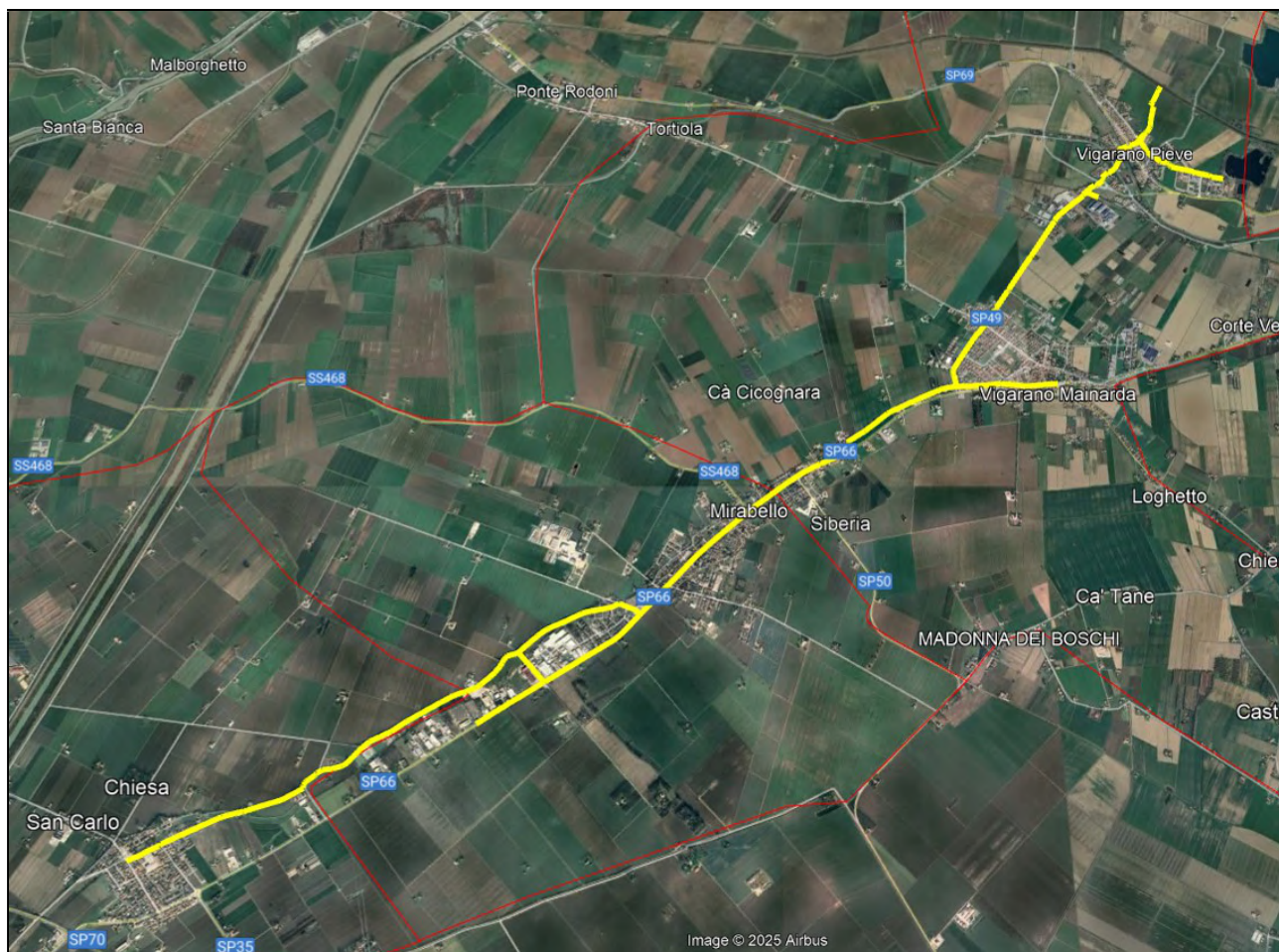


FIGURA 4.2 – Progetto nuova Ciclovía VenTi tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe)

4.1. PARAMETRI GEOTECNICI

Come per il modello geologico sopra citato, si riportano delle stratigrafie tipo rilevate nel territorio con la suddivisione litologica e geotecnica con i valori caratteristici principali dei terreni che caratterizzano la zona. Nello specifico verranno riportate una stratigrafia-geotecnica tipo rilevata in corrispondenza del Fiume Po di Ferrara, una stratigrafia-geotecnica tipica di ambienti deposizionali di bassa energia idrodinamica e quindi distante dai corsi fluviali e una stratigrafia-geotecnica tipica rilevata in corrispondenza del tracciato del paleoalveo del Fiume Reno.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni ricavate dai risultati delle penetrometrie sono riportate negli schemi geotecnici di sintesi. In questi schemi viene fatta distinzione fra i terreni di natura coesiva e quelli di natura granulare.

Per i terreni di natura coesiva vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro q_c (MPa), la resistenza laterale F_s (MPa), il peso di volume γ' (kN/m³), la coesione non drenata C_u (kPa), dei moduli di deformazione non drenati E_{u50} (MPa) corrispondenti rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50 e 25 %, del modulo di deformazione edometrico M_o (MPa).

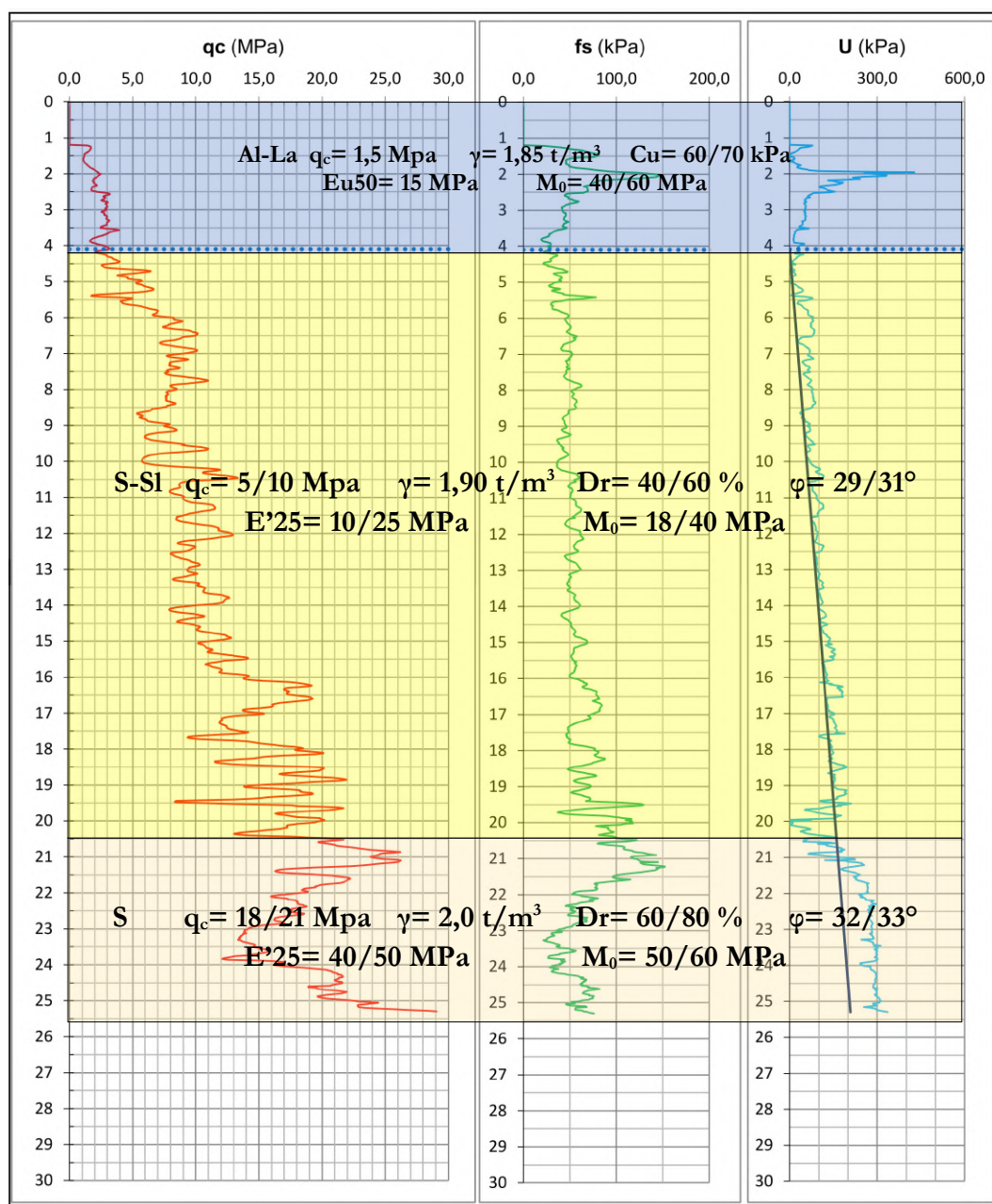
Per i terreni di natura granulare vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro q_c (MPa), la resistenza laterale F_s (MPa), la densità relativa D_r (%), dell'angolo di attrito interno efficace ϕ' (°), i moduli di deformazione drenati E'_{25} (MPa) e del modulo di deformazione edometrico M_o (MPa).

Sulla base delle indagini geotecniche bibliografiche si forniscono indicazioni di massima sulle caratteristiche dei terreni che saranno attraversati dai tratti di nuova realizzazione di pista ciclabile.

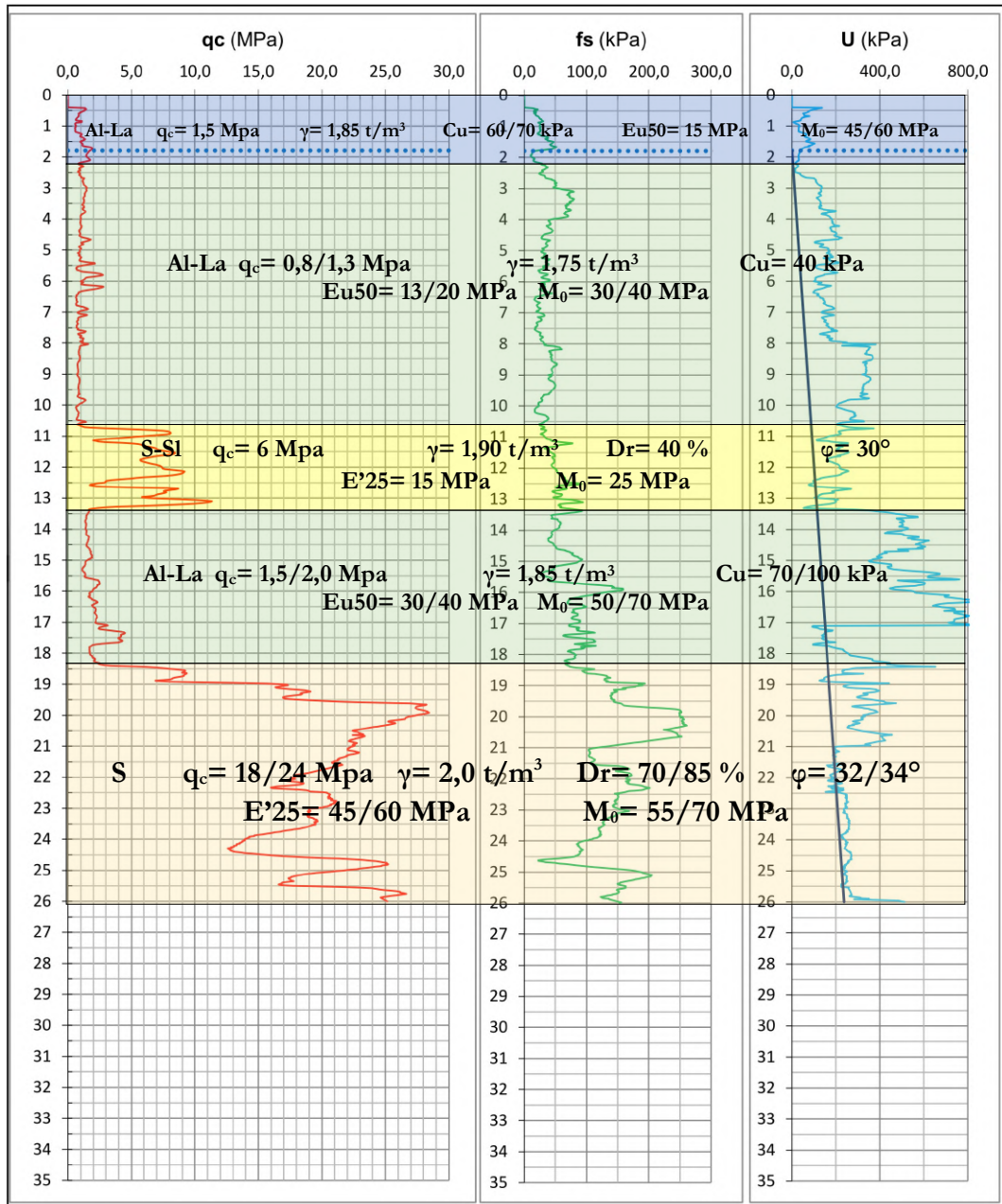
Per questo progetto non sono previste opere d'arte particolari per cui le valutazioni geotecniche non sono particolarmente condizionanti la realizzazione dell'opera.

La progettazione delle indagini geotecniche è responsabilità dei progettisti (paragrafo 6.2.2. delle NTC2018) per cui è stato valutato da parte loro e da parte della stazione appaltante di non procedere in questa fase con nuove acquisizioni di dati geotecnici. Si sottolinea comunque la ricchezza di informazioni esistenti.

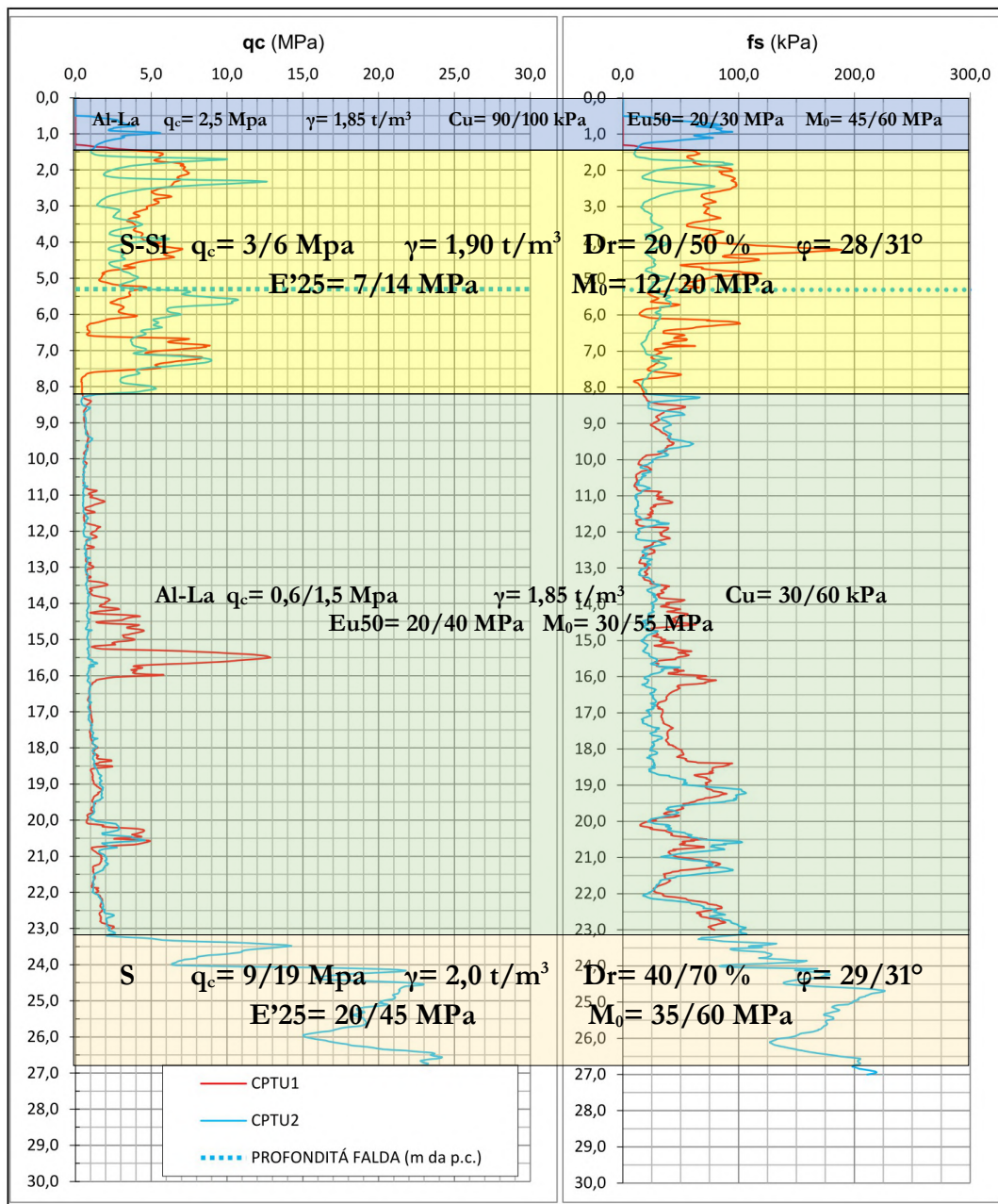
In **FIGURA 4.3** si riportano gli schemi generici delle stratigrafie tipo rilevate nel territorio con la suddivisione litologica e geotecnica dei 3 principali ambienti geologici che caratterizzano la zona.



STRATIGRAFIA-GEOTECNICA TIPICA RILEVATA IN CORRISPONDENZA
DEL PALEOALVEO DEL FIUME PO DI FERRARA



STRATIGRAFIA-GEOTECNICA TIPICA RILEVATA IN AMBIENTI
DEPOSIZIONALI DISTALI A BASSA ENERGIA – DEPOSITI DI PIANA
INONDABILE



STRATIGRAFIA-GEOTECNICA TIPICA RILEVATA IN CORRISPONDENZA
DEL PALEOALVEO DEL FIUME RENO

Parametri misurati in sito

qc	resistenza alla punta (MPa)	fs	attrito laterale (MPa)
deltaU	incremento di pressione neutra (MPa)	litol.	Litologia
Peso Vol	peso di volume (kN/m³)		
Parametri derivati per correlazioni - Terreni coesivi			
Cu	Coesione non drenata (kPa)		
Mo	Modulo edometrico (MPa)		
Eu50	Modulo di deformazione non drenato (50% mobilitazione sforzo deviatorico) (MPa)		

Parametri derivati per correlazioni - Terreni granulari

Dr	densità relativa	Fi'Schm	angolo di resistenza al taglio Schmertmann
Fi'Bolton	angolo di resistenza al taglio Bolton		
E'25	modulo di deformazione in condizioni drenate		
Mo	Modulo edometrico (MPa)		

FIGURA 4.3 – Parametri geotecnici principali delle 3 unità geologiche che caratterizzano l'area

Questo settore di territorio della provincia di Ferrara risulta inoltre particolarmente soggetto a fenomeni di ritiro e di rigonfiamento volumetrico dei terreni coesivi superficiali, a seguito dei cambi di umidità stagionali.

Generalmente la frazione argillosa di questi sedimenti domina su quella limosa, aumentando la predisposizione ai ritiri volumetrici.

Con la stagione estiva, calda e poco piovosa per lunghi periodi di tempo con temperature alte, le falde freatiche si abbassano molto dai p.c. per cui i sedimenti coesivi superficiali si seccano formando una "crosta" di terreni induriti dall'essiccamento perdendo dunque volume. Mentre durante la stagione invernale, piovosa e umida questi terreni si imbibiscono di acqua e rigonfiano, aumentando il loro volume.

Questi cicli di ritiro e rigonfiamento volumetrico che si succedono con i cambiamenti di stagionalità climatica portano a rottura i manufatti con fondazioni superficiali e poco profonde. Per cui si ponga attenzione anche a queste problematiche, relative ai terreni coesivi superficiali su cui verrà realizzata la nuova ciclovia in progetto.

Una delle condizioni al contorno per cui si accentua il fenomeno dell'evapotraspirazione con conseguente eventuale ritiro volumetrico dei terreni predisposti, è la presenza di alberature.

In **FIGURA 4.4** si può apprezzare quale possa essere l'effetto delle alberature sulla profondità di essiccamento stagionale in assenza ed in presenza di alberi.

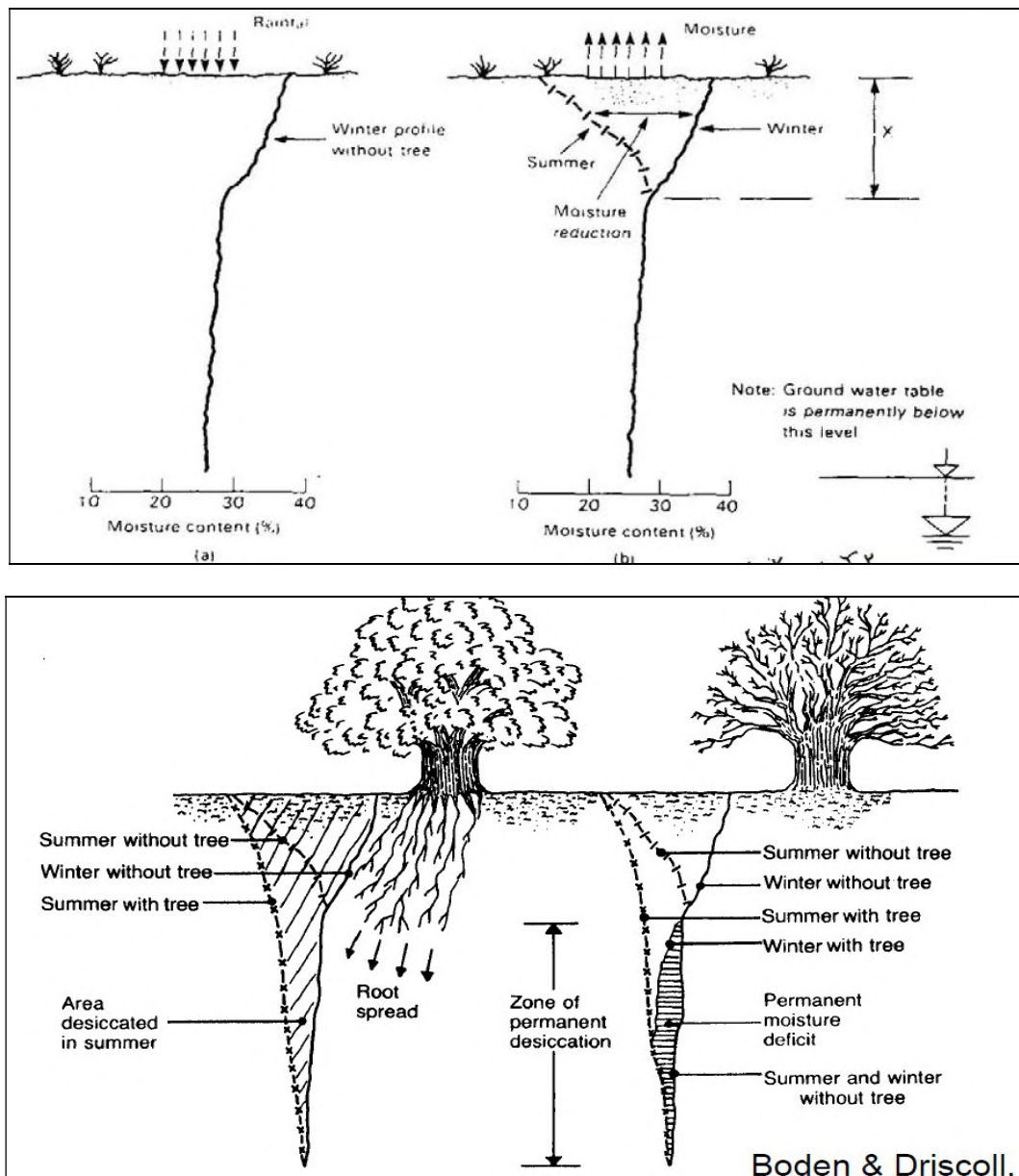


FIGURA 4.4– Variazioni dello strato essiccato in assenza/presenza di alberature

Classificazione in funzione dei danni prodotti	Specie	1	2	3	4
		H altezza metri	massima distanza metri	distanza tra edificio e albero metri	distanza minima
1	quercia	16-23	30	13	1 H
2	pioppo	25	30	15	1 H
3	tiglio	16-24	20	8	0.5 H
4	frassino	23	21	10	0.5 H
5	platano	25-30	15	7.5	0.5 H
6	salice	15	40	11	1 H
7	olmo	20-25	25	12	0.5 H
8	biancospino	10	11	7	0.5 H
9	acero/sicomoro	17-24	20	9	0.5 H
10	ciliegio/pruno	8	11	6	1 H
11	faggio	20	15	9	0.5 H
12	betulla	12-14	10	7	0.5 H
13	sorbo selvatico	8-12	11	7	1 H
14	cipresso	18-25	20	3.5	0.5 H

FIGURA 4.5 – Specie di alberi e loro classificazione in funzione dei danni provocati alle fondazioni (Driscoll, 1983)

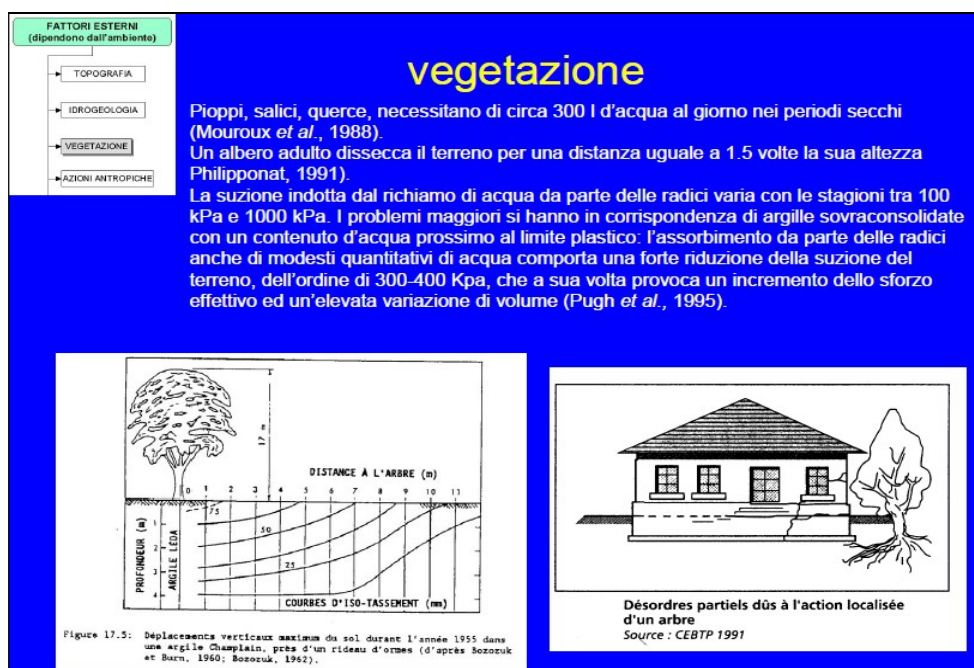


FIGURA 4.6 - Ulteriori descrizioni degli effetti degli alberi.

Con le indagini geognostiche non si indagano tutti i punti sotto il sedime della nuova infrastruttura ciclabile denominata Nuova Ciclovia VenTi tra i comuni di Vigarano Mainarda (Fe) e Terre del Reno (Fe). Quindi, in fase di esecuzione degli scavi per la realizzazione della nuova infrastruttura, è bene che la direzione lavori verifichi la coerenza tra ciò che emerge nelle trincee di scavo con quanto rilevato e previsto nella relazione geologica.

Codigoro, li 30/04/2025

Dott. Geol. Thomas Veronese
Thomas Veronese