

ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROV. DI TRENTO

dott.ing. **ROBERTO BOSETTI**

INSCRIZIONE ALBO N° 1027

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

dott. ing. *Roberto Bosetti*

# autostrada del brennero

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE  
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO  
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE  
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

<b>1</b>	<b>ELABORATI GENERALI</b>
<b>2.2.1</b>	<p>STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI Regione Lombardia Relazione geologica</p>

1	SETT. 2023	RICHIESTE INTEGRAZIONI M.A.S.E.	ENGEO s.r.l.	G. BERRERA	C. COSTA
0	MAR. 2021	EMISSIONE	ENGEO s.r.l.	G. BERRERA	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO:  LUGLIO 2009			<p><b>DIREZIONE TECNICA GENERALE</b></p>		<p>IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA:</p> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI BOLZANO Dott. ing. <b>CARLO COSTA</b> Nr. 891 INGENIEURKAMMER DER PROVINZ BOZEN</p> </div>
NUMERO PROGETTO:  31/09					

## INDICE

1	Premesse .....	2
1.1	Inquadramento geografico .....	2
1.2	Normativa di riferimento .....	3
1.3	Principali informazioni pregresse .....	4
1.3.1	Studio geologico a supporto del Progetto Definitivo .....	4
1.3.2	Dati forniti da Autostrada del Brennero S.p.A. ....	5
1.3.3	Altre fonti informative .....	6
1.4	Elaborati grafici prodotti.....	7
1.5	Report indagini geognostiche .....	8
2	Geologia.....	9
2.1	Quadro geologico di riferimento .....	9
2.2	Carte geolitologiche .....	14
2.2.1	Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi.....	15
2.2.2	Depositi prevalentemente limosi, talora limoso sabbiosi .....	15
2.2.3	Depositi prevalentemente argillosi e limosi.....	16
2.2.4	Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe .....	16
3	Geomorfologia .....	17
3.1	Quadro geomorfologico di riferimento .....	17
3.2	Carte geomorfologiche.....	19
3.2.1	Elementi morfologici naturali .....	20
3.2.1.1	Asse di dosso fluviale .....	20
3.2.1.2	Traccia di paleoalveo incassato o a livello della pianura .....	20
3.2.1.3	Orlo di terrazzo alluvionale.....	20
3.2.2	Elementi morfologici antropici .....	21
3.2.2.1	Cava attiva .....	21
3.2.2.2	Cava esaurita.....	21
3.2.3	Idrografia .....	21
3.2.3.1	Fiume Po .....	21
3.2.3.2	Fiume Mincio.....	22
3.2.3.3	Canal Bianco.....	22
3.2.3.4	Corso d'acqua principale.....	23
3.2.3.5	Lago di cava .....	23
4	Indagini geognostiche pregresse.....	24
4.1	Sondaggi a carotaggio continuo.....	24
4.2	Trincee o pozzetti esplorativi .....	27
4.3	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica .....	29
4.4	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono .....	30
4.5	Prove penetrometriche dinamiche .....	32
5	Indagini integrative.....	33
6	Sezioni litostratimetriche.....	34

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	1 di 36

## 1 PREMESSE

La presente relazione descrive lo studio geologico effettuato a supporto della progettazione definitiva per la realizzazione della terza corsia dell'autostrada A22, "del Brennero", prevista tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314), relativamente al tratto ricadente nella sola Regione Lombardia.

Detto studio è stato effettuato nel rispetto della normativa vigente, richiamata nel paragrafo 1.2, e, in particolare del D.M. 17/01/2018, Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Esso ha comportato lo svolgimento delle seguenti attività:

1. raccolta di tutta la documentazione esistente relativa all'area oggetto d'intervento, quali, carte tematiche, dati stratigrafici, studi geologici precedenti, in gran parte, citati nel paragrafo 1.3 (in particolare, va sottolineata la vasta mole di informazioni fornite dalle indagini effettuate dopo la redazione del progetto definitivo dell'intervento in esame);
2. definizione delle caratteristiche litostratigrafiche mediante analisi critica ed elaborazione della documentazione di cui al punto precedente;
3. pianificazione di un programma di analisi integrative alla luce delle necessità progettuali e di quanto ricostruito grazie alle prime 2 fasi di studio;
4. aggiornamento del modello geologico coi dati derivanti dalla nuova campagna d'indagini;
5. definizione geologica e geomorfologica dell'area d'imposta dell'infrastruttura in esame e di un suo discreto intorno.

### 1.1 Inquadramento geografico

Il tratto lombardo dell'autostrada A22 "del Brennero", ha una lunghezza di quasi una quarantina di chilometri, collegando all'incirca le chilometriche 246 e 284 (cfr. immagine aerea di Fig. 1).

Esso ricade interamente in provincia di Mantova, interessando più a nord, i comuni di Roverbella, San Giorgio, Mantova, Virgilio e Bagnolo San Vito, mentre, a sud del fiume Po, attraversa i comuni di San Benedetto Po, Pegognaga e Gonzaga.

In questo tratto, l'infrastruttura attraversa una porzione di pianura padana in cui gli unici elementi geografici significativi sono i corsi d'acqua: in particolare il Po e il Mincio.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	2 di 36

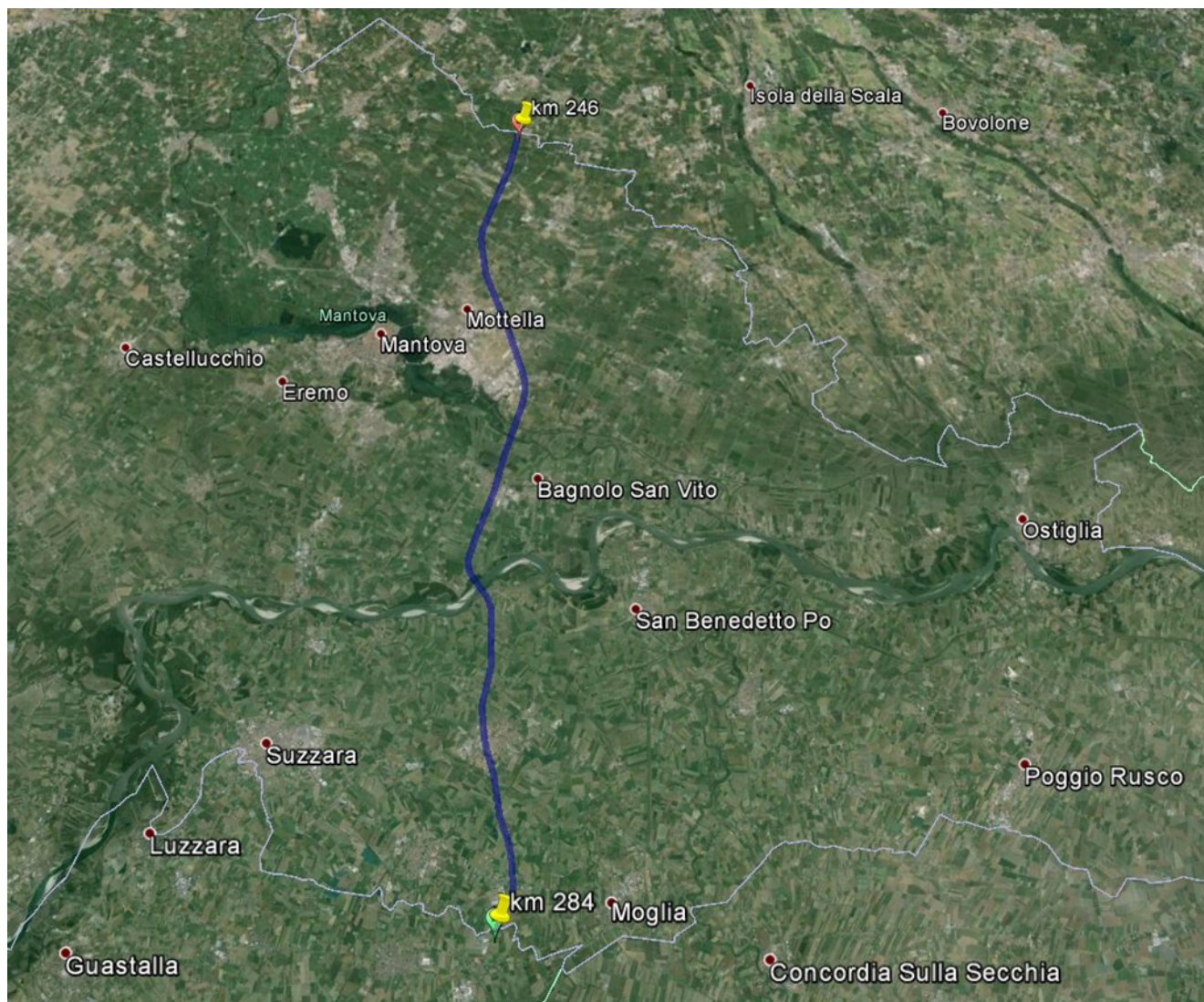


FIG. 1 – IMMAGINE AEREA DEL TRATTO DI AUTOSTRADA LOMBARDO OGGETTO D'INTERVENTO (DA GOOGLE EARTH)

## 1.2 Normativa di riferimento

- Circolare 21-1-2019 n° 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17/1/2018.
- Decreto ministeriale 17-01-2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni
- Decreto ministeriale 14-01-2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni – Allegato A;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	3 di 36



- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (UNI-EN 1998-5:2005);
- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole Generali – UNI-EN 1997-1:2013;
- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo UNI EN 1997-2:2007;
- O.P.C.M. n° 3274 (2003) - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- L.R. n. 19 del 30/10/2008 “Norme per la riduzione del rischio sismico”;
- D.g.r. Lombardia 30 novembre 2011 - n. IX/2616 Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374
- Delibera n. 2129 del 11/07/2014, “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”
- L.R. Lombardia n° 33 del 12/10/2015 “Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zona sismiche”
- D.g.r. Lombardia 30 marzo 2016 - n x/5001 linee di indirizzo costruzioni in zona sismica

### 1.3 Principali informazioni pregresse

Come indicato nelle premesse, la prima fase dello studio è consistita nella ricerca e raccolta di tutta la documentazione esistente relativa all’area oggetto d’intervento.

Di seguito sono citate tutte le fonti informative utilizzate.

#### 1.3.1 Studio geologico a supporto del Progetto Definitivo

La Relazione Geologica a supporto del Progetto Definitivo dell’intero intervento di realizzazione della terza corsia tra Verona Nord (km 223) e l’intersezione con l’autostrada A1 (km 314) è stata redatta, nel dicembre 2009, da parte dello Studio Associato Geologia Applicata di Mezzocorona (Tn).

Per la redazione di tale elaborato, ci si è avvalsi dei dati originali ottenuti dal rilievo di campagna, che hanno integrato i dati bibliografici disponibili. In considerazione della mole di indagini e/o prove esistenti, infatti, gli autori non hanno ritenuto necessario eseguire ulteriori approfondimenti, ma hanno articolato lo studio nelle seguenti fasi:

1. Acquisizione dei dati bibliografici disponibili
2. Acquisizione di prove ed indagini geologiche/geotecniche effettuate lungo l’asse autostradale e nelle zone ad esso adiacenti

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	4 di 36

3. Definizione di un modello geomorfologico preliminare da interpretazione aereofotogrammetrica
4. Verifica e correzione del modello preliminare mediante un'analisi dello stato dei luoghi, tramite rilievi e sopralluoghi
5. Analisi e confronto critico tra i dati bibliografici raccolti, indagini e prove esistenti con il rilievo geomorfologico effettuato

Lo studio ha consentito di elaborare un modello geologico e litostratigrafico, per l'intero tratto compreso tra Verona e l'intersezione con l'autostrada A1, riportato graficamente nelle tavole:

- Carta geolitologica e geomorfologica (Tavole da A<sub>1-26</sub> a A<sub>26-26</sub>)
- Sezioni litostratigrafiche ed idrogeologiche (Tavole da D<sub>1-15</sub> a D<sub>15-15</sub>)

### 1.3.2 Dati forniti da Autostrada del Brennero S.p.A.

I dati forniti da Autostrada del Brennero S.p.A. sono relativi alla progettazione sia dell'intera autostrada che di interventi locali, come: sottopassi, sovrappassi, svincoli, stazioni di accesso, piazzole, ecc.

Il più delle volte, si tratta di intere relazioni geologiche, relative alla singola opera oggetto di studio, con uno spazio temporale che spazia tra il 1993 e il 2015; dunque, comprendendo anche gli approfondimenti d'indagine effettuati per la realizzazione della terza corsia. Invece, per quanto riguarda la progettazione dell'autostrada si hanno a disposizione dei sondaggi effettuati negli anni 1966 e 1967.

La consultazione e il recepimento di tali dati è stato possibile grazie al lavoro di raccolta, riorganizzazione, analisi, razionalizzazione e georeferenziazione delle stesse informazioni, effettuato dal dott. geol. Matteo Baisi, sempre su incarico di Autostrada del Brennero S.p.A.

Per il tratto in esame sono disponibili i dati relativi alle indagini di campagna riepilogate nella seguente tabella (cfr. Tab. 1):

Tipo di indagine	Quantità
Sondaggio a carotaggio continuo (SC)	94
Trincea o pozzetto esplorativo (T)	70
Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	9
Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)	25
Prova penetrometrica dinamica (SCPT)	4
MASW	6

TAB. 1 – INDAGINI GEOGNOSTICHE FORNITI DA AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.P.A.  
 RELATIVE AL TRATTO AUTOSTRADALE IN ESAME

A questi vanno aggiunti quelli forniti dalle prove di laboratorio effettuate su 386 campioni.

**1.3.3 Altre fonti informative**

Tra le altre fonti informative va, innanzitutto, considerata la consultazione on-line della cartografia tematica e della documentazione relativa alle banche dati territoriali caricate sul Geoportale della Regione Lombardia<sup>1</sup>.

A riguardo, di particolare ausilio per la redazione del presente studio sono state le seguenti basi informative:

- Banca dati geologica sottosuolo
- Basi Ambientali della Pianura – Geomorfologia
- Basi Ambientali della Pianura – Litologia
- Carta Geomorfologica Applicata
- Dati geologici Oltrepò mantovano - Carta geomorfologica
- Tavole piani territoriali coordinamento provinciali (PTCP)
- Studi Geologici Comunali

Quindi, si è fatto riferimento, per quanto d’interesse agli elaborati che costituiscono Il Quadro conoscitivo del Piano Territoriale di Coordinamento (PTCP) della Provincia di Mantova, approvato con deliberazione di Consiglio Provinciale dell'8 febbraio 2010.

Per quanto riguarda le cartografie, oltre a quelle presenti sul Geoportale, si è fatto riferimento a:

- AA.VV (1999) - Carta Geomorfologica della Pianura Padana, alla scala 1:250.000. M.U.R.S.T. Ed. Selca, Firenze
- Servizio Geologico d’Italia - “Foglio 62 - Mantova - della Carta Geologica d’Italia in scala 1: 100.000”
- Servizio Geologico d’Italia - “Foglio 74 - Reggio Emilia - della Carta Geologica d’Italia in scala 1: 100.000”

Infine, sono, di seguito, elencati i principali testi scientifici consultati:

<sup>1</sup> Cfr. <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	6 di 36

- Cremaschi M. & Alii (1980) - Evoluzione della Pianura Padana durante l'età del Bronzo, l'età romana e il alto Medio Evo: geomorfologia e insediamenti. 16, fasc. 1 - 2 - 3 - 4, pp. 106.
- Dondi L. & D'Andrea M. G. (1986) - La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene. Giornale Di Geologia, 48 (1-2), 197-225.
- Garzanti E., Vezzoli G. & Andò S. (2011) - Paleogeographic and paleodrainage changes during Pleistocene glaciations (Po Plain, Northern Italy). Earth-Science Rev., 105, 25-48.
- ISPRA (2015) - Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale (Progetto GeoMol). Rapporti ISPRA, 234/2015, pp. 104 e Appendice
- Ori G. G. (1993) - Continental depositional systems of the Quaternary of the Po Plain (northern Italy). Sedimentary Geology, 83 (1-2), 1-14.
- Perconig E. (1956) - Il Quaternario della Pianura Padana. Actes du IV Congrès INQUA (Rome-Pise, 1953), Roma, 481-524.
- Pieri M., Groppi G. (1981): Subsurface geological structure of the Po plain, Italy. Progetto Finalizzato Geodinamica- Agip n. 414.
- Regione Lombardia & ENI Divisione AGIP (2002): Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia"
- Ricci Lucchi F. (1980) - Sedimentologia, parte III, Ambienti Sedimentari e Facies. Ed. CLUEB.

#### 1.4 Elaborati grafici prodotti

A supporto della presente relazione sono stati redatti gli elaborati grafici indicati nella seguente tabella (cfr. Tab. 2- Elaborati grafici prodotti):

Codice	Codice	Scala
LOM-GE.2.1	Carta geolitologica con ubicazione indagini (Tav. 1/5)	1:5.000
LOM-GE.2.2	Carta geolitologica con ubicazione indagini (Tav. 2/5)	1:5.000
LOM-GE.2.3	Carta geolitologica con ubicazione indagini (Tav. 3/5)	1:5.000
LOM-GE.2.4	Carta geolitologica con ubicazione indagini (Tav.4/5)	1:5.000
LOM-GE.2.5	Carta geolitologica con ubicazione indagini (Tav.5/5)	1:5.000
LOM-GE.3.1	Carta geomorfologica (Tav. 1/5)	1:5.000
LOM-GE.3.2	Carta geomorfologica (Tav. 2/5)	1:5.000
LOM-GE.3.3	Carta geomorfologica (Tav. 3/5)	1:5.000
LOM-GE.3.4	Carta geomorfologica (Tav. 4/5)	1:5.000
LOM-GE.3.5	Carta geomorfologica (Tav. 5/5)	1:5.000

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	7 di 36



<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.P.A. - BRENNERAUTOBHAN A.G. Realizzazione della terza corsia tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314) Tratto Regione Lombardia	<i>Progetto definitivo</i>

<i>Codice</i>	<i>Codice</i>	<i>Scala</i>
LOM-GE.4.1	Sezione litostratimetrica (Tav. 1/5)	D=1:5.000, H=1:500
LOM-GE.4.2	Sezione litostratimetrica (Tav. 2/5)	D=1:5.000, H=1:500
LOM-GE.4.3	Sezione litostratimetrica (Tav. 3/5)	D=1:5.000, H=1:500
LOM-GE.4.4	Sezione litostratimetrica (Tav. 4/5)	D=1:5.000, H=1:500
LOM-GE.4.5	Sezione litostratimetrica (Tav. 5/5)	D=1:5.000, H=1:500

TAB. 2- ELABORATI GRAFICI PRODOTTI

## 1.5 Report indagini geognostiche

I risultati delle indagini geognostiche utilizzati nel presente studio sono riportati negli allegati elencati nella seguente tabella (cfr. Tab. 3- Allegati con report delle indagini geognostiche):

<i>Codice</i>	<i>Titolo</i>
LOM-GE.5.1.1	Report indagini geognostiche - Stratigrafie sondaggi 1/2
LOM-GE.5.1.2	Report indagini geognostiche - Stratigrafie sondaggi 2/2
LOM-GE.5.2.1	Report indagini geognostiche - Prove penetrometriche 1/2
LOM-GE.5.2.2	Report indagini geognostiche - Prove penetrometriche 2/2
LOM-GE.5.3.1	Report indagini geognostiche - Analisi di laboratorio 1/5
LOM-GE.5.3.2	Report indagini geognostiche - Analisi di laboratorio 2/5
LOM-GE.5.3.3	Report indagini geognostiche - Analisi di laboratorio 3/5
LOM-GE.5.3.4	Report indagini geognostiche - Analisi di laboratorio 4/5
LOM-GE.5.3.5	Report indagini geognostiche - Analisi di laboratorio 5/5
LOM-GE.5.4	Report indagini geognostiche - Sismica
LOM-GE.5.5	Report indagini geognostiche - Sondaggi con escavatore

TAB. 3- ALLEGATI CON REPORT DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Va chiarito che nell'elaborato LOM-GE.5.4 sono riportati i risultati delle indagini sismiche la cui ubicazione è raffigurata nella Carta geolitologica con ubicazione indagini (cfr. elaborati LOM-GE.3.1, LOM-GE.3.2, LOM-GE.3.3, LOM-GE.3.4 e LOM-GE.3.5), ma che questi dati non saranno analizzati nella presente relazione. Per la trattazione di tale argomento si rimanda alla Relazione sismica.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	<i>Elaborato</i>	<i>Data</i>	<i>Agg.</i>	<i>Pag.</i>
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	8 di 36

## 2 GEOLOGIA

### 2.1 Quadro geologico di riferimento

Il territorio in esame appartiene al settore nord orientale della Pianura Padana la cui evoluzione geologica risulta connessa allo sviluppo della catena alpina e di quella appenninica, costituendo, sin dal tardo Cretacico, la parte frontale delle due sistemi ad opposta convergenza.

Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali.

Strutturalmente l'area in esame ricade in un settore monoclinale (*Pedealpine Homocline*), limitato, a Nord, dal fronte di sovrascorrimento subalpino, il cui lembo esterno corrisponde alla struttura compressiva di Volta Mantovana, e, a Sud, dal fronte di accavallamento esterno dell'Appennino sepolto (ETF) nella zona delle Pieghe Ferraresi (cfr. Fig. 2).

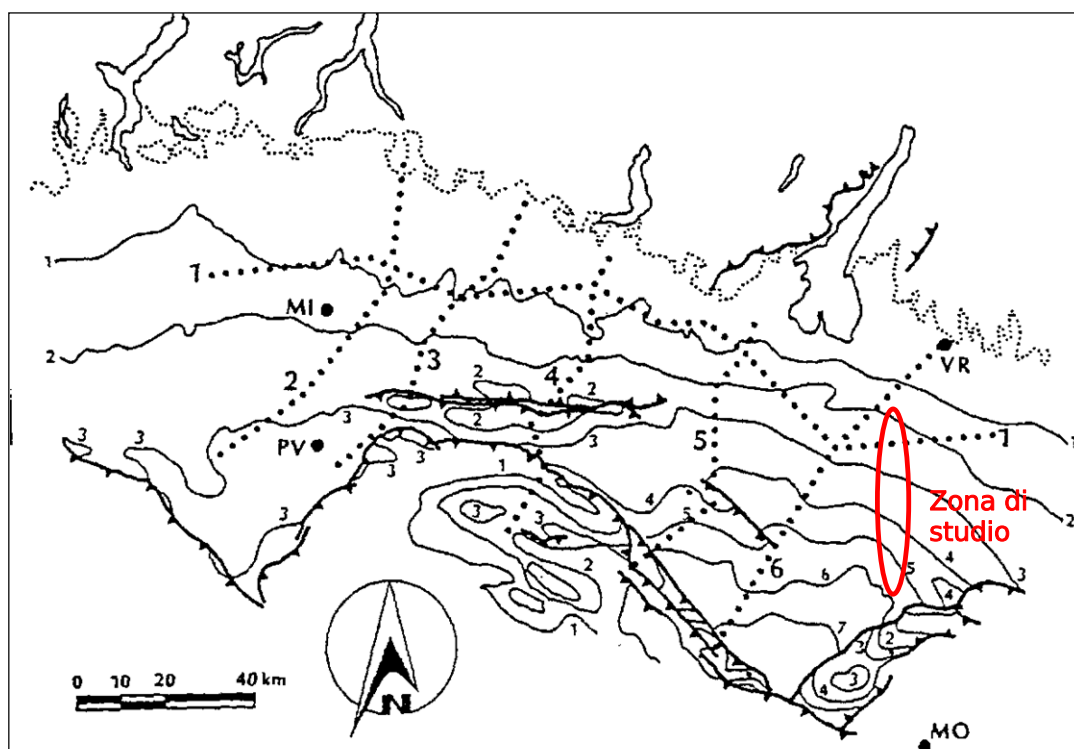


FIG. 2 - SCHEMA TETTONICO STRUTTURALE DELLA PIANURA PADANA (DA PIERI E GROPPi, 1981)  
 (ISOBATE DEL TETTO DEL PLIOCENE IN MIGLIAIA DI METRI)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	9 di 36

L'evoluzione del bacino padano vede, a partire dal Messiniano, la quasi completa cessazione dei movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord-Est del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord Appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini. Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico, risente in modo consistente di tali movimenti.

Il margine settentrionale risente, invece, in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto estese, dalla riattivazione di strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati a movimenti eustatici.

Gli studi della successione sedimentaria plio-pleistocenica padana ne hanno messo in evidenza il carattere tendenzialmente regressivo.

Infatti, i depositi torbiditici di mare profondo, presenti alla base, sono ricoperti da un prisma sedimentario all'interno del quale si distinguono le seguenti *facies*: scarpata, piattaforma esterna, litorale, deltizia/lagunare e fluviale.

I corpi sedimentari presentano due direzioni prevalenti di progradazione: la prima assiale rispetto al bacino Padano, Est vergente, originata dal paleo-delta del Po; la seconda trasversale Sud-Est vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina.

Le principali classi di sistemi deposizionali possono essere raggruppate come segue:

- Piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po)
- Conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina e appenninica
- Delta ad alimentazione assiale (paleo Po) alpina ed appenninica
- Delta conoide alpino ed appenninico
- Piana costiera
- Piattaforma sommersa
- Scarpate sottomarina
- Piana bacinale.

L'organizzazione verticale delle *facies* all'interno delle prime quattro classi di sistemi deposizionali, ed in particolare nei sistemi di piana alluvionale, di conoide alluvionale e nei sistemi deltizi, è invariabilmente costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana con corpi a granulometria fine. Molte volte è possibile distinguere una gerarchia di spessori, con insiemi di cicli di rango inferiori spessi alcuni metri che costituiscono cicli di rango superiore, spessi alcune decine metri.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	10 di 36

Si può ipotizzare che tali unità cicliche rappresentano fasi sedimentarie di alta energia alternate a fasi di bassa energia dovute rispettivamente all'attivazione e alla disattivazione dei sistemi deposizionali.

Il sottosuolo in esame è stato recentemente studiato, con particolare dettaglio, in quanto interno all'area pilota italiana individuata dal Progetto Geomol<sup>2</sup> per poter analizzare un settore strategico, sia dal punto di vista della valutazione del geopotenziale (geotermia) che per la presenza di strutture tettoniche sismicamente attive.

In particolare, grazie all'interpretazione di un dataset costituito da 12.200 km di linee sismiche (807 linee) e da 126 log di pozzi (cfr. Fig. 3), è stato possibile ottenere una modellazione geologica omogenea 3D per l'intera area pilota.

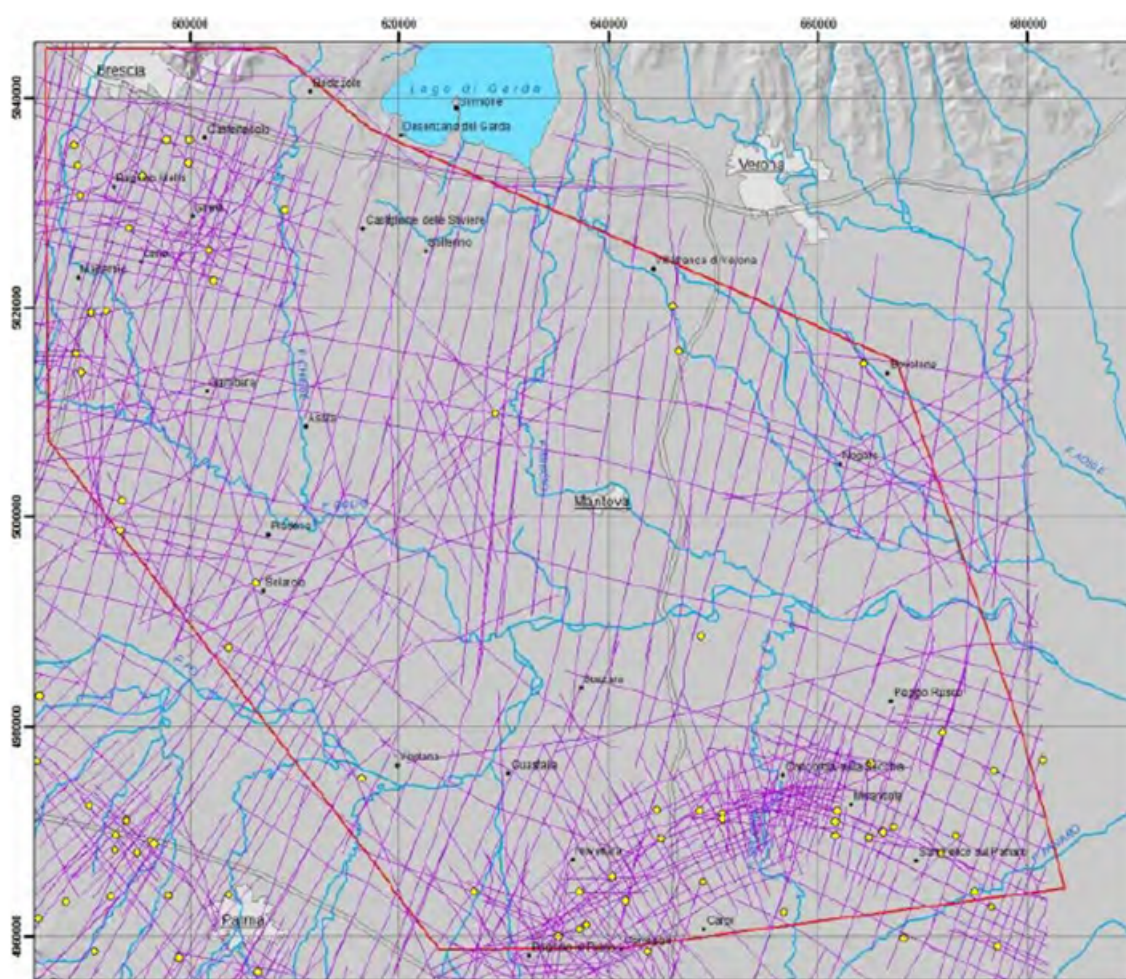


FIG. 3 - BASE DATI UTILIZZATA PER LA MODELLAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA PILOTA GEOMOL IN ITALIA

<sup>2</sup> Il Progetto GeoMol "Assessing subsurface potentials of the Alpine Foreland Basins for sustainable planning and use of natural resources" è finanziato dal Programma Spazio Alpino 2007-2013 - Cooperazione Territoriale Europea, nell'ambito del tema prioritario 3 - Environment and Risk Prevention.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	11 di 36



Tale modellazione è basata su uno schema stratigrafico, riportato in Fig. 4, valido alla scala regionale, che distingue 16 unità, dal Permiano al Pleistocene, separate da superfici di discontinuità riconoscibili nel sottosuolo, in quanto riflettori sismici ben evidenti e correlabili. Proprio in Fig. 4 si osserva che, solo nel Pleistocene, sono presenti 7 unità: 4 marine e 3 continentali.

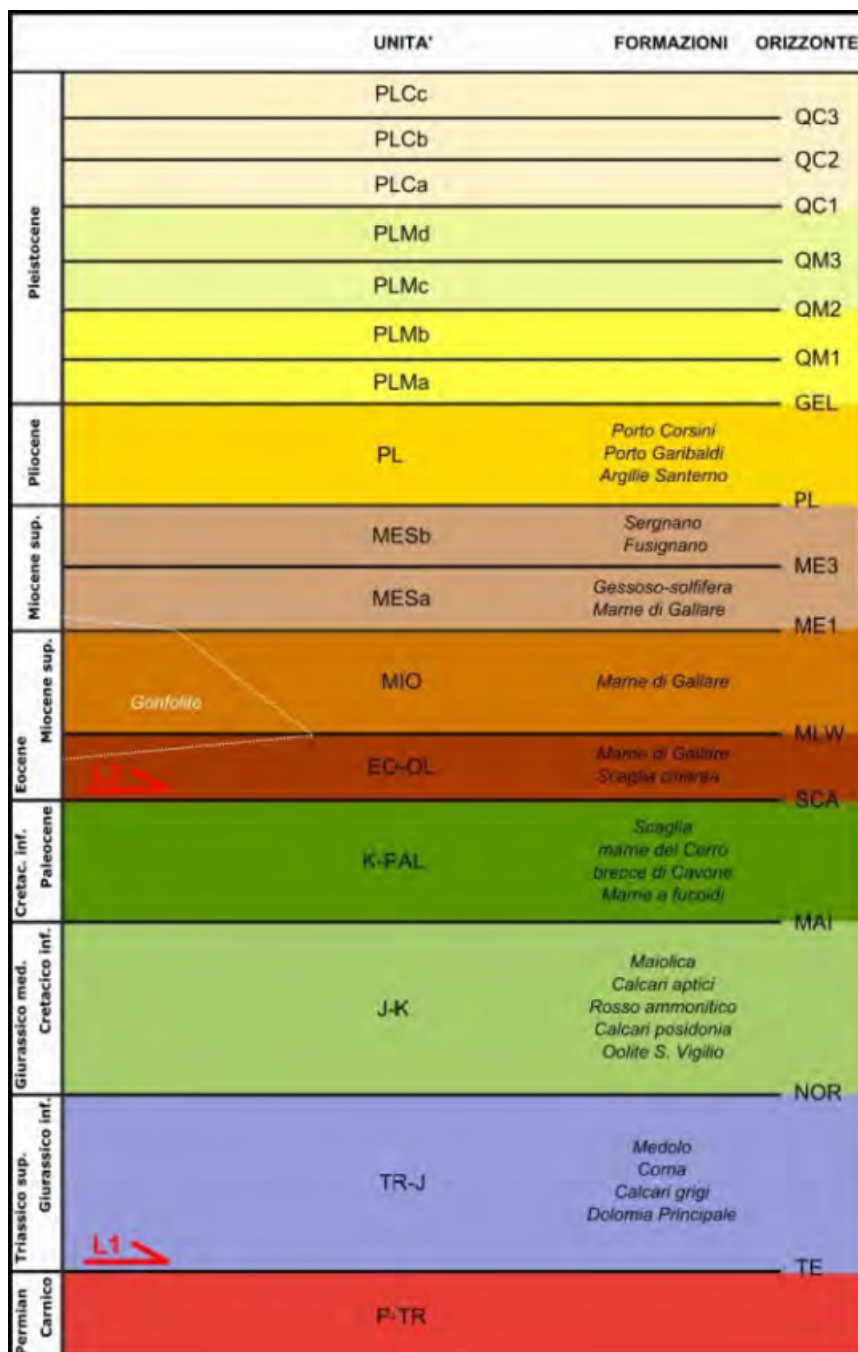


FIG. 4 - SCHEMA STRATIGRAFICO PER LA MODELLAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA PILOTA GEOMOL IN ITALIA

Il modello 3D permette, oltre a misurare dei volumi, di estrarre rappresentazioni numeriche 2D, sia in mappa (vedi, ad esempio, in Fig. 5 la mappa della base del Pliocene, ottenuta mediante curve a ugual quota s.l.m. e rappresentando gli elementi strutturali che la intersecano) che in sezione.

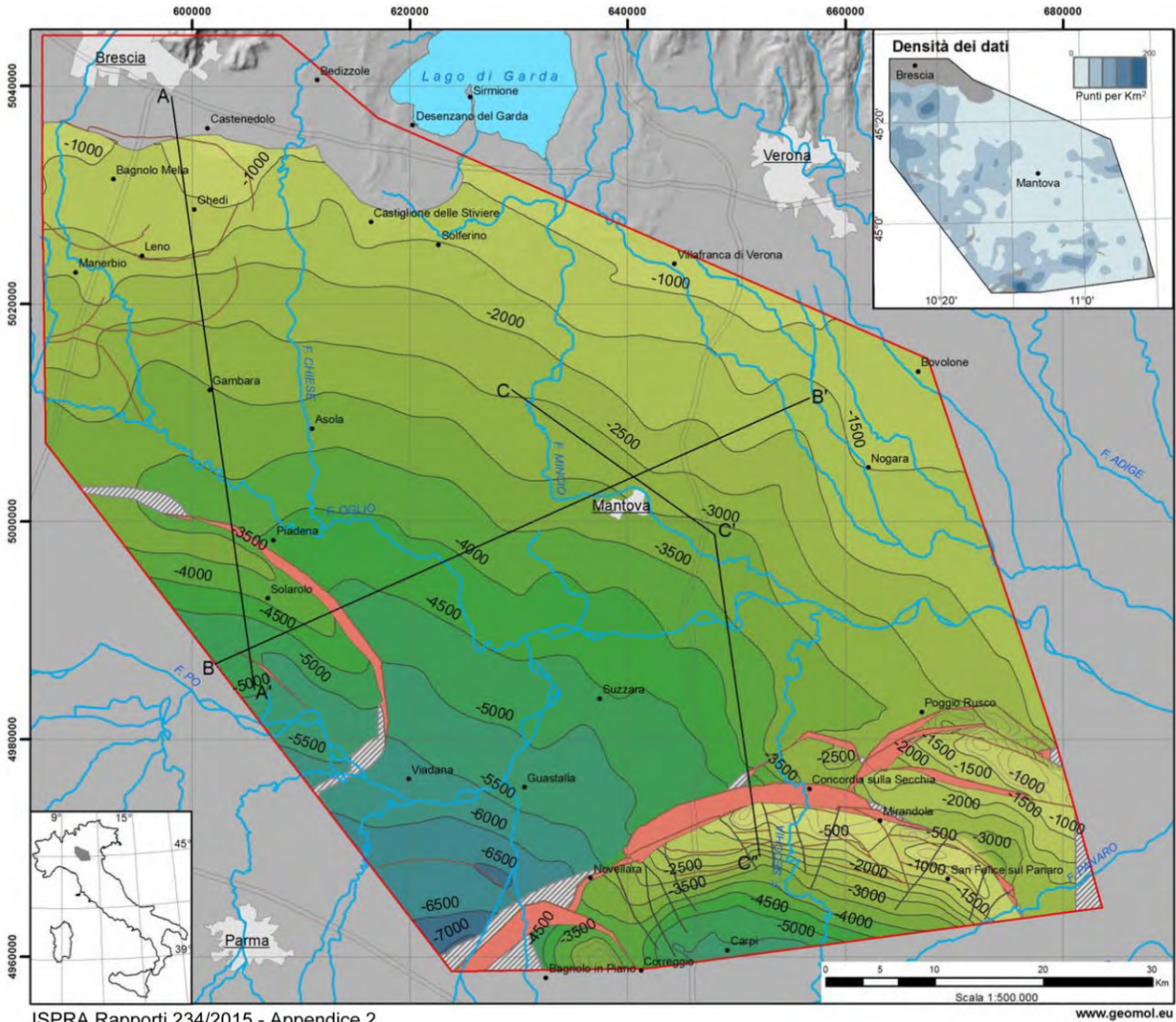


FIG. 5 –MAPPA DELLA BASE DEL PLIOCENE ALL’INTERNO DELL’AREA PILOTA GEOMOL IN ITALIA (DALLA PRESENTAZIONE DI ANDREA PICCINI: “IL PROGETTO EUROPEO GEOMOL”, SABBIONETA 3/02/16)

Le analisi effettuate nel corso del Progetto Geomol hanno consentito di migliorare anche la conoscenza della geometria e dello stato di attività delle strutture tettoniche sepolte. A riguardo in Fig. 6 è riportato uno stralcio cartografico con raffigurati i «sistemi» classificati e le sorgenti sismogetetiche ubicate nella porzione di territorio lombardo attraversata nel tratto

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	13 di 36



dell'infrastruttura in esame.

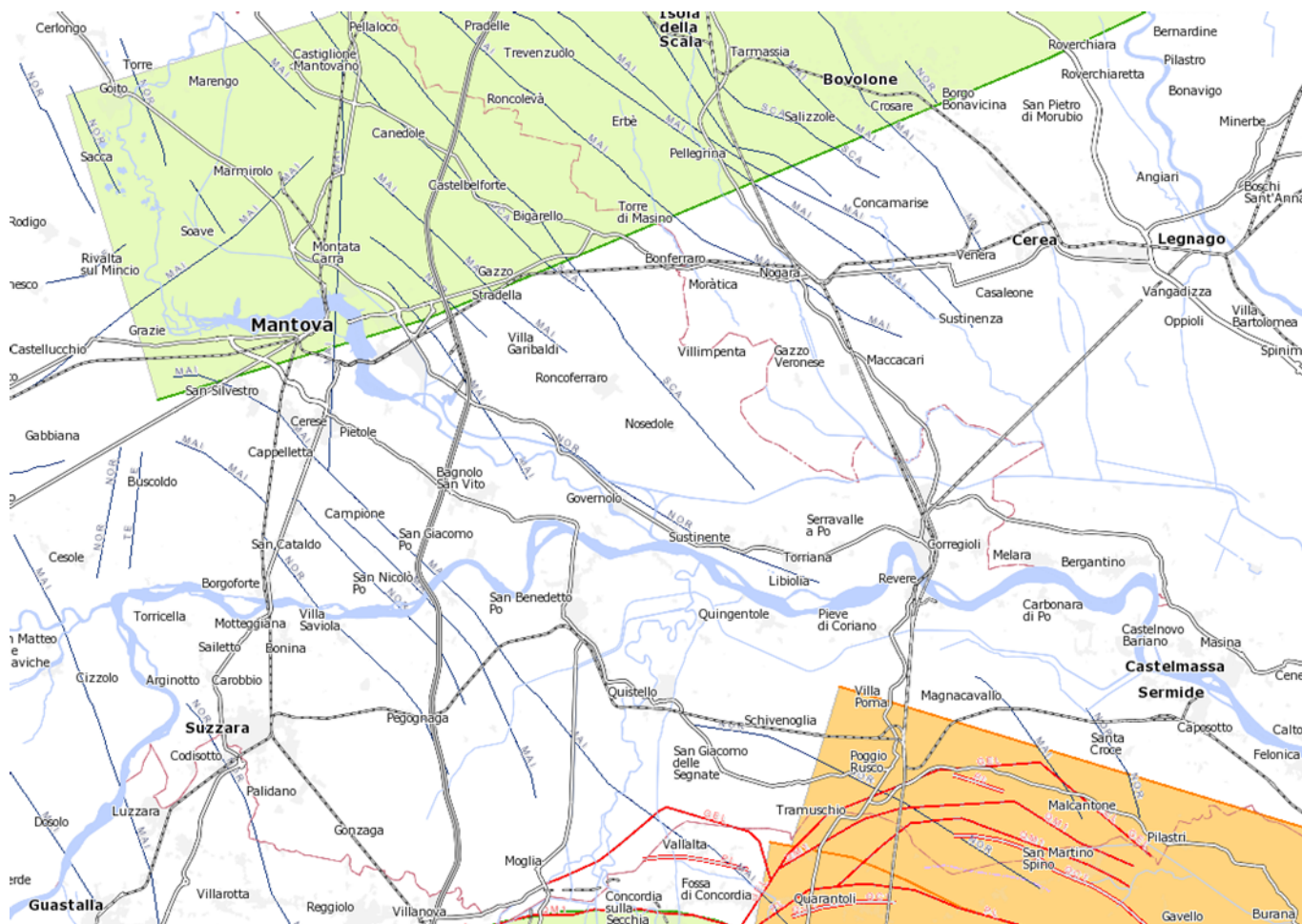


FIG. 6 - MAPPA STRUTTURALE E SORGENTI SISMOGENETICHE NEL TERRITORIO OGGETTO DI STUDIO (DA [HTTP://MAPS.GEOMOL.EU](http://maps.geomol.eu))

## 2.2 Carte geolitologiche

Ai fini del presente lavoro, riveste particolare interesse l'analisi delle caratteristiche litologiche dei terreni superficiali. La litologia permette, infatti, di dare un primo orientamento per la valutazione delle caratteristiche geotecniche dei depositi sui quali saranno impostate le infrastrutture in progetto.

A tale scopo, è stato svolto uno studio che ha comportato, innanzitutto, la raccolta dei dati disponibili, quali, in particolare, studi geologici a scala comunale e provinciale, stratigrafie d'indagini geonostiche e carte tematiche (cfr. paragrafo 1.3).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	14 di 36

Inoltre, si è proceduto all'acquisizione di nuove informazioni tramite un rilevamento di campagna, che ha comportato l'analisi diretta delle litologie affioranti e di quelle messe a giorno dagli scavi.

I risultati dello studio sono stati cartografati, alla scala 1:5.000, nelle Carte geolitologiche con ubicazione indagini di cui agli elaborati LOM-GE.2.1, LOM-GE.2.2, LOM-GE.2.3, LOM-GE.2.4 e LOM-GE.2.5.

Esse rappresentano la distribuzione areale dei depositi del primo sottosuolo, fino a -2 m da piano campagna.

Poiché i dati raccolti non sono riferiti ad un comune sistema di classificazione, si è dovuto individuarne uno nuovo che, con semplicità, consentisse di dare una buona panoramica della situazione litologica superficiale, in accordo con la suddivisione in ambienti deposizionali e la situazione morfologica del territorio.

Per distinguere adeguatamente i terreni incontrati sono state, pertanto, individuate cinque classi.

L'attribuzione di ogni area ad una specifica classe è stata basata sul criterio della prevalenza tessiturale nell'ambito della verticale indagata.

I limiti tra le diverse classi sono stati tracciati a seguito di un'analisi di carattere morfologico e geologico che ha consentito di valutare i processi evolutivi responsabili dalla distribuzione spaziale delle singole unità litologiche.

Di seguito, vengono sinteticamente descritte le quattro classi individuate.

### **2.2.1 Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi**

Si tratta di depositi tipici dell'ambiente deposizionale di canale e argine prossimale, costituiti, prevalentemente, da sabbie medie e fini, organizzate in strati di spessore decimetrico, intercalate a sabbie fini e finissime limose; subordinatamente, sono presenti limi argillosi. Localmente si trovano anche sabbie medie e grossolane, in corpi lenticolari e nastriformi.

L'infrastruttura oggetto di studio è impostata su questa classe litologica per 2 ampi tratti, all'incirca tra il km 258 e il km 261,5 e tra il km 276 e il km 280, oltre che in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Po e del suo paleoaveo che interseca l'autostrada alla progressiva km 272.

### **2.2.2 Depositi prevalentemente limosi, talora limoso sabbiosi**

Si presentano come alternanze di sabbie finissime, spesso limose, limi, limi-sabbiosi e limi-argillosi, intercalate in strati di spessore decimetrico.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
		LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1



Sono depositi collocati in corrispondenza degli argini fluviali distali: le condizioni che ne causano la sedimentazione sono legate ad una diminuzione dell'energia di trasporto delle acque, tale da determinare la sedimentazione della frazione limosa, dopo che la frazione sabbiosa, più grossolana, è stata già depositata.

E' la tipologia di litotipi che più interessa la porzione lombarda dell'A22, anche se si alterna frequentemente a quelle delle altre classi qui descritte.

### 2.2.3 Depositi prevalentemente argillosi e limosi

Appartengono a questa classe i sedimenti di area interfluviale, ubicati nelle aree depresse della piana inondabile, interposte ai depositi di argine. Questi si sedimentano in condizioni di "stanca" quando l'energia del fiume che esonda è quasi totalmente esaurita e l'ultima frazione granulometrica che ancora viene portata in sospensione è quella più fine, argillosa.

Dunque, si tratta di argille, argille limose e limi argillosi laminati, deposti in strati medi e spessi, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose, in strati da molto sottili a medi.

L'A22 interessa questa tipologia di depositi per circa un chilometro a nord del fiume Mincio, tra il km 265 e il km 268, per brevi tratti attorno ai km 271,5 e a km 274 e tra il km 282,5 e il km 284.

### 2.2.4 Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe

Sono depositi con caratteristiche tessiturali analoghe a quelle della classe precedente ma in cui sono presenti anche livelli di argille e limi ricchi in sostanza organica, prevalentemente decomposta, tipici dell'ambiente di palude.

Si rinvengono come terreni d'imposta dell'infrastruttura in esame solo a nord del Po all'incirca nei seguenti tratti: tra il km 246,5 e il km 248, tra il km 250,5 e il km 251, tra il km 253 e il km 254, tra il km 262,5 e il km 264,5, tra il km 267 e il km 267,5.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	16 di 36

### 3 GEOMORFOLOGIA

#### 3.1 Quadro geomorfologico di riferimento

L'area interessata dal tratto di autostrada in esame ricade all'interno della pianura padana, in un contesto in cui il paesaggio, dal punto di vista morfologico, è caratterizzato dalla presenza di forme poco evidenti, con quote comprese tra meno di 15 m s.l.m., nei punti più depressi della valle del Po, agli oltre 30 m s.l.m., sul confine tra regione Lombardia e Veneto.

L'evoluzione di questo settore di territorio è legata alla presenza di un imponente sistema fluvio-glaciale e fluviale che ha portato alla formazione del livello fondamentale della pianura successivamente inciso dai corsi d'acqua principali.

Più in dettaglio, all'interno della porzione di livello fondamentale in esame si distingue, a nord della chilometrica 253, la media pianura idromorfa, con pendenza compresa tra lo 0,4 lo 0,15% e dove si osserva il fenomeno dei fontanili; spostandosi a sud, invece, si passa alla bassa pianura a meandri che presenta un'acclività media inferiore allo 0,1%.

L'infrastruttura oggetto di studio, all'incirca tra la chilometrica 261+500 e la km 264+500, attraversa la valle del fiume Mincio, mentre tutto il tratto più meridionale, a partire dalla chilometrica 269, comprendendo l'intero Oltrepo mantovano, ricade in quella, molto ampia, del fiume Po.

Nel complesso il territorio si presenta come una pianura monotona. Le morfologie naturali, che in zona si sviluppano a piccola scala, conferiscono all'area un aspetto debolmente ondulato, movimentato da forme allungate talora convesse e talora concave.

L'analisi dell'assetto morfologico è stata svolta sulla base della documentazione biblio-cartografica riguardante, principalmente, studi effettuati per la pianificazione territoriale, a scala provinciale e comunale, integrata da rilevamenti diretti di campagna.

Come anticipato gli agenti morfogenetici che hanno svolto un ruolo predominante nel modellamento della pianura sono i corsi d'acqua: in primo luogo i fiumi Po e Mincio.

Altri elementi molto importanti nel modellamento del territorio sono le strutture tettoniche che hanno condizionato la dinamica fluviale quaternaria (vedi, in particolare, lo spostamento verso nord del fiume Po in corrispondenza della Dorsale Ferrarese).

Sempre sotto il profilo morfologico l'area in esame è da considerarsi integralmente antropizzata. Infatti, nei secoli, la comunità umana ha compiuto continue modifiche al territorio per renderlo compatibile all'insediamento e all'utilizzo agricolo.

L'aspetto più evidente di tale attività è la suddivisione del territorio attraverso una rete di collettori artificiali, pressoché ortogonali tra di loro, che consentono a periodi alterni lo scolo e la distribuzione irrigua delle acque.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	17 di 36

Esigenze antropiche hanno portato all'edificazione di argini artificiali a fianco dei corsi d'acqua: sia del fiume Po, che dei suoi affluenti, che dei principali canali. Detti argini, per le aree di pianura extragolenali, hanno provocato una sorta di congelamento dello stato di fatto morfologico antecedente la loro realizzazione (con eccezione di quanto possa derivare dall'attività antropica), mentre l'attività morfodinamica fluviale resta attiva all'interno delle golene.

Considerato il ruolo di primo piano svolto dalla dinamica fluviale nel plasmare la porzione di pianura in esame è interessante ricostruire il processo evolutivo dei principali corsi d'acqua che attraversano e/o hanno attraversato la zona, con riferimento agli ultimi millenni.

A riguardo, è noto che il fiume Po ha sempre divagato per la pianura padana e, nel corso di queste migrazioni, ha raggiunto latitudini molto più meridionali rispetto a quelle dell'alveo attuale. Ad esempio, sedimenti del Po riscontrabili a profondità superiori a 100 m da piano campagna testimoniano un antico tracciato lungo la direttrice che congiunge le località di Carpi, Nonantola, S. Giovanni in Persiceto, Lugo e Cervia.

Per quanto concerne i tracciati che hanno condizionato l'attuale assetto morfologico della bassa pianura, gli studi consultati sono concordi nell'indicare che, durante l'età del bronzo, nel tratto compreso tra Guastalla e la piana deltizia, il Po scorreva in due o più rami circa paralleli tra loro.

Quelli principali erano rappresentati dal Po di Adria, più a nord, e dal Po di Spina, che transitava lungo la fascia limitata a sud dalle attuali località di Gualtieri, Novi, Concordia sul Secchia, Bondeno e Ferrara, per poi sfociare presso la città etrusca di Spina, non lontana dall'attuale Comacchio.

A testimonianza di questo antico percorso, l'andamento della superficie topografica evidenzia la presenza di un dosso fluviale ad andamento meandreggiante, orientato est-ovest, a partire all'incirca da Guastalla sul quale sono stati edificati gli abitati di Brugneto, Villarotta, Reggiolo e Villanova, in asse al quale, attualmente, è impostato il Cavo Tagliata.

Secondo alcuni autori, un ulteriore ramo è possibile che passasse per l'area valliva su cui si trova l'attuale corso del Cavo Parmigiana-Moglia.

Il processo evolutivo dell'idrografia della zona ha avuto uno sviluppo significativo verso l'VIII sec. a.C.. A tale periodo vengono, infatti, attribuite due importanti rotture fluviali:

- la rottura nella zona di Brescello e Guastalla a seguito della quale il Po si dirigerà verso nord immettendosi nell'attuale Po Vecchio, che lambisce gli abitati di Suzzara, Gonzaga, Pegognaga fin verso Quistello.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	18 di 36

- la rottura per sovralluvionamento del Po di Adria nei pressi di Sermide, che ne causò la decadenza e, praticamente fece sì che tutta la portata del fiume fosse convogliata nel ramo più meridionale, all'incirca in corrispondenza dell'attuale abitato di Bondeno.

A quanto sopra descritto consegue che, fino all'Alto Medioevo, il Po passava a Sud di Ferrara. Percorso che fu abbandonato nel XII secolo (1152 per alcuni autori), quando una piena storica causò la rotta di Ficarolo.

In tale occasione il corso del fiume si raddrizzò dirigendosi più a nord e nei secoli successivi il tratto terminale del Po, andò via via estendendosi in quella direzione. Il ramo di nord-est si ingrossò riducendo sempre più l'afflusso delle acque verso quello più meridionale. Nonostante l'intervento degli Estensi che deviarono il Reno nel vecchio alveo del Po, fu inevitabile il progressivo interrimento del Po di Ferrara.

Anche il fiume Mincio, in passato, era formato da numerosi rami: questi si intrecciavano fra loro ed erano liberi di vagare per la pianura, scavando meandri che successivamente venivano abbandonati e modificando il proprio corso ad ogni piena primaverile e autunnale.

L'affluente, inoltre, risentiva dell'influsso del Po che, nei periodi di piena provocava vaste inondazioni per rigurgito. L'intero territorio da Rivalta fino al Po era praticamente un'unica palude dalla quale emergevano soltanto le zone più rialzate, scelte dall'uomo per i propri insediamenti.

Col trascorrere dei secoli la situazione andò peggiorando, sia per il grande accumulo di sedimenti trasportati dal fiume sia perché il Po, in parte per cause naturali e in parte per la costruzione di argini da parte dell'uomo, aveva progressivamente innalzato la quota del proprio alveo, divenendo un fiume pensile, cioè col livello di fondo posto a quota superiore rispetto al piano della campagna circostante. Tale situazione si protrasse con poche variazioni fino al 1190, anno in cui l'ingegnere idraulico Alberto Pitentino diede inizio alle grandiose opere di sistemazione idraulica del territorio mantovano; questo sistema idraulico, almeno nelle sue linee essenziali, è tuttora funzionante dopo più di 800 anni, anche se integrato da interventi successivi.

### 3.2 Carte geomorfologiche

Le caratteristiche geomorfologiche individuate per il territorio in esame sono riportate, congiuntamente alle informazioni relative all'idrografia superficiale, nelle Carte geomorfologiche di cui agli elaborati LOM-GE.3.1, LOM-GE.3.2, LOM-GE.3.3, LOM-GE.3.4 e LOM-GE.3.5, tutte redatte alla scala 1:5.000.

In tali carte è stata rappresentata, innanzitutto, la zonazione descritta nel paragrafo precedente, distinguendo la media pianura idromorfa, dalla bassa pianura a meandri e dalli valli fluviali.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	19 di 36



Quindi sono state tracciate le isoipse: sia quelle principali, con equidistanza di 5 m, che quelle secondarie, con equidistanza di 1 m.

Infine, sono stati ripotati i principali elementi idrografici e morfologici identificati come elencati nei seguenti paragrafi, rispettando la suddivisione adottata nella legenda della Carta geomorfologica.

### 3.2.1 Elementi morfologici naturali

#### 3.2.1.1 Asse di dosso fluviale

Grazie all'analisi delle carte altimetriche, della documentazione pregressa e dei sopralluoghi di campagna, è stato possibile individuare la presenza dei dossi fluviali.

In carta, le curve di livello, in corrispondenza dei dossi descrivono forme convesse e allungate, delimitate da zone a maggiore pendenza della superficie topografica, in cui le isoipse si ravvicinano. In campagna sono visibili solo quelli più pronunciati che contrastano con il paesaggio circostante, presentandosi come degli "alti" morfologici.

Negli elaborati redatti a corredo del presente studio, per evitare sovrapposizioni di tematismi e rendere più agevole la consultazione degli stessi elaborati, si è optato per rappresentare non l'intero dosso, ma solo il suo asse.

#### 3.2.1.2 Traccia di paleoalveo incassato o a livello della pianura

Sono altre forme connesse con vecchi letti fluviali ora abbandonati. Detto abbandono, avviene di regola durante episodi di tracimazioni, facilitati dal dislivello esistente tra letto fluviale, spesso pensile, e la pianura circostante.

Si tratta di elementi difficilmente individuabili, sia in carta che durante i sopralluoghi: infatti la loro morfologia non entra in netto contrasto con il paesaggio circostante e anche sulle tavole le isoipse non descrivono forme particolarmente evidenti, sotto l'aspetto altimetrico, in quanto detti elementi si trovano a livello della pianura o, al limite, leggermente incassati.

Le tracce cartografate sono, pertanto, state rilevate esaminando gli andamenti planimetrici del territorio in esame, unitamente alle informazioni biblio-cartografiche relative agli antichi percorsi fluviali.

#### 3.2.1.3 Orlo di terrazzo alluvionale

Si tratta di una scarpata d'erosione che interseca delimitandola a valle una superficie piana orizzontale.

Nel tratto in esame le forme di questo tipo più significative sono le scarpate fluviali fissate che separano il livello fondamentale della pianura dalle valli dei fiumi Po e Mincio.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	20 di 36

### 3.2.2 Elementi morfologici antropici

Quali elementi morfologici antropici sono state rappresentate le aree interessate da attività estrattive, distinguendo tra:

#### 3.2.2.1 Cava attiva

L'unica attività estrattiva in corso è stata rilevata e raffigurata, circa 500 a ovest dell'infrastruttura autostradale, all'incirca in corrispondenza della chilometrica 261

#### 3.2.2.2 Cava esaurita

Una cava esaurita è presente in Comune di Bagnolo San Vito, all'incirca in corrispondenza della chilometrica 265.

Altre cave esaurite sono quelle sotto falda rappresentate tra gli elementi idrografici, come laghi di cava (cfr. paragrafo 3.2.3.5).

### 3.2.3 Idrografia

Come elementi idrografici sono stati distinti:

#### 3.2.3.1 Fiume Po

Il Po è il corso d'acqua più lungo interamente compreso nel territorio italiano (652 km), quello con il bacino più esteso (circa 71'000 km<sup>2</sup>) e anche quello con la massima portata alla foce, sia essa minima (270 m<sup>3</sup>/s), media (1'540 m<sup>3</sup>/s) o massima (13'000 m<sup>3</sup>/s).

Il tracciato autostradale in esame attraversa il fiume Po con un ponte lungo oltre 800 m (cfr. Fig. 7), all'incirca tra la chilometrica 269 e la chilometrica 270.



FIG. 7 - IMMAGINE AEREA DEL PONTE DELL'A22 SUL FIUME PO (DA GOOGLE EARTH)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	21 di 36

Esso collega la sponda destra, in Comune di San Benedetto Po, con la sponda sinistra, in Comune di Bagnolo San Vito.

### 3.2.3.2 Fiume Mincio

Il Mincio è il principale emissario del lago di Garda e ultimo affluente di sinistra del Po.

Nella sua parte inferiore, dal lago di Mezzo di Mantova alla foce, è adatto alla navigazione avendo una pendenza media dello 0,020% e una portata d'acqua di 10 m, in regime di magra.

Il tratto finale risulta bacinizato per la presenza di uno sbarramento, con relativa conca, nei pressi dell'abitato di Governolo.

L'A22 attraversa il fiume Mincio poco a valle della città di Mantova, all'incirca alla chilometrica 262+500. La lunghezza del ponte (Fig. 8) è di circa 200 m.



FIG. 8 - IMMAGINE AEREA DEL PONTE DELL'A22 SUL FIUME MINCIO (DA GOOGLE EARTH)

### 3.2.3.3 Canal Bianco

L'idrovia Fissero Tartaro Canal Bianco Po di Levante collega Mantova al mare con un percorso di circa 135 km, sostanzialmente parallelo al Po ad una distanza media di 30÷40 km, attraversando il territorio delle province di Mantova, Verona e Rovigo.

Essa nasce dalla botte sifone di Formigosa, a monte del porto di Mantova.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	22 di 36

L'infrastruttura oggetto di studio attraversa il Canal Bianco, in corrispondenza della chilometrica 262, con un ponte lungo un centinaio di metri (cfr. Fig. 9).

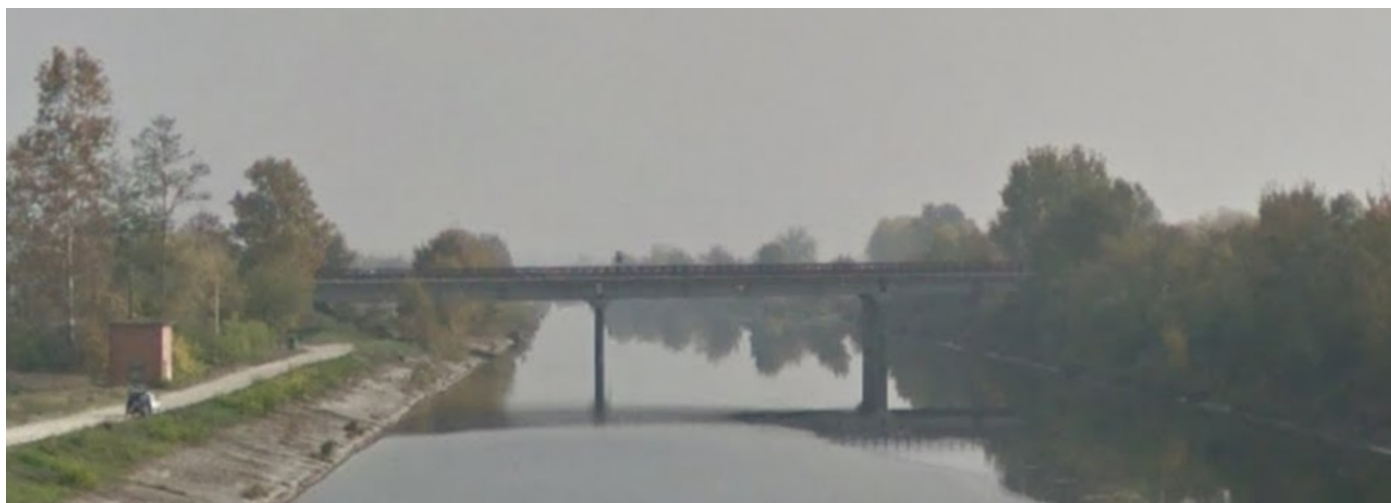


FIG. 9 – FOTO DEL PONTE DELL’A22 SUL CANAL BIANCO RIPRESA DA OVEST

### 3.2.3.4 Corso d’acqua principale

In questa classe sono stati accorpatisi tutti gli elementi idrografici lineari principali, con eccezione dei tre già visti nei paragrafi precedenti.

Si tratta di una fitta rete di canali, quasi sempre, artificiali, realizzati per assicurare ai terreni agricoli un sufficiente e regolare drenaggio durante i periodi piovosi e un adeguato apporto idrico durante i mesi asciutti.

Tra questi meritano di essere citati:

- In sinistra idrografica del fiume Po:
  - Il Canale Acque Basse
  - Il Fossato Gherardo
- In destra idrografica del fiume Po:
  - Il Fosso Trigolaro
  - Il Po Vecchio
  - Il Collettore della Bonifica Mantovana

### 3.2.3.5 Lago di cava

Come anticipato al paragrafo 3.2.2, nella Carta geomorfologica, sono state rappresentate a parte le zone in cui l’attività estrattiva ha intercettato la falda freatica, laddove essa presenta una soggiacenza particolarmente bassa. portando alla formazione di laghetti.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	23 di 36

<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.P.A. - BRENNERAUTOBHAN A.G. Realizzazione della terza corsia tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314) Tratto Regione Lombardia	Progetto definitivo

## 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

Per ricostruire le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni dell'area oggetto di studio, sono stati considerati, innanzitutto, i dati pregressi già citati nel paragrafo 1.3.

In particolare, va sottolineata la vasta mole di informazioni fornite dalle campagne geognostiche effettuate dopo la redazione del progetto definitivo dell'intervento in esame.

Nei successivi paragrafi, sono descritte le varie tipologie di indagini di cui si sono potuti esaminare i risultati.

### 4.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Per la conoscenza delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti lungo il tratto di infrastruttura oggetto d'intervento sono stati eseguiti 94 sondaggi a carotaggio continuo.

In Tab. 4, per ciascun sondaggio sono riportati:

- provincia
- codice
- quota in m s.l.m.
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- eventuale prova *down-hole* effettuata nel foro di sondaggio
- eventuale piezometro installato nel foro di sondaggio
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

provincia	Codice	quota (m)	progressiva (km)	profondità (m)	down hole	piezometro	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-SC1-PZ	33	247+020	25		X	5012027,9	646420,26
MN	MN-SC2-DH	31,6	247+619	40	X		5011457,32	646213,31
MN	MN-SC3-DH	31	247+650	40	X		5011402,05	646334,75
MN	MN-SC4-DH	30	248+384	40	X		5010698,64	646120,84
MN	MN-SC5-PZ	30	248+439	40		X	5010626,59	646157,09
MN	MN-SC6-PZ	30	248+904	45		X	5010172,79	646054,49
MN	MN-SC7-DH	30,5	248+956	45	X		5010176,55	645880,22
MN	MN-SC8-DH	30	251+036	45	X		5008158,91	645354,35
MN	MN-SC9-PZ	29,5	251+093	45		X	5008131,91	645255,49
MN	MN-SC10-PZ	29	251+926	45		X	5007267,22	645057,01

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	24 di 36



provincia	Codice	quota (m)	progressiva (km)	profondità (m)	down hole	piezometro	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-SC11-DH	28,5	252+127	45	X		5007131,18	644879,02
MN	MN-SC12-PZ	27	254+303	45		X	5004948,11	645267,58
MN	MN-SC13-DH	26,5	254+319	45	X		5004976,13	645403,68
MN	MN-SC14-DH	27	254+896	45	X		5004444,56	645642,52
MN	MN-SC15-PZ	26	254+922	45		X	5004363,53	645502,44
MN	MN-SC16-PZ	26	255+020	25		X	5004304,63	645595,65
MN	MN-SC17-DH	25	255+747	45	X		5003643,24	645902,31
MN	MN-SC18-PZ	24,5	255+860	45		X	5003510,77	645873,91
MN	MN-SC19	23	256+123	22			5003290,95	646036,1
MN	MN-SC20-PZ	23,5	256+205	22		X	5003185,02	645986,71
MN	MN-SC21-DH	23	257+772	45	X		5001732,03	646579,12
MN	MN-SC22-PZ	23	257+858	45		X	5001617,92	646504,23
MN	MN-SC23-PZ	22	258+504	45		X	5001016,18	646744,44
MN	MN-SC24-DH	22	258+526	45	X		5001008,94	646801,86
MN	MN-SC25-DH	21,5	259+577	45	X		5000008,68	647144,91
MN	MN-SC26-PZ	21,5	259+585	45		X	4999985,38	647057,27
MN	MN-SC27-DH	22	260+560	45	X		4999011,5	647201,02
MN	MN-SC28-PZ	22	260+614	45		X	4998970,6	647094,08
MN	MN-SC29-PZ	18,6	261+700	30		X	4997937,85	646840,58
MN	MN-SC30-DH	17	261+911	50	X		4997737,25	646708,8
MN	MN-SC31-DH	16,6	262+059	50	X		4997591,64	646679,84
MN	MN-SC32-DH	14	262+655	35	X		4997012,72	646536,78
MN	MN-SC33-DH	19,5	264+683	45	X		4995032,39	646094,62
MN	MN-SC34-PZ	19	264+717	45		X	4995020,13	646039,51
MN	MN-SC35-PZ	18	264+910	25		X	4994735,82	646294,41
MN	MN-SC36-DH	18,5	264+979	45	X		4994743,85	646026,55
MN	MN-SC37-PZ	18,5	264+986	45		X	4994747,76	645980,07
MN	MN-SC38-DH	17,5	265+892	45	X		4993858,57	645792,22
MN	MN-SC39-PZ	17,5	265+931	45		X	4993856,7	645675,53
MN	MN-SC40-DH	17	269+157	60	X		4990742,73	645125,23
MN	MN-SC41-DH	17,5	269+357	60	X		4990574,6	645236,92
MN	MN-SC42-DH	17,7	269+537	60	X		4990429,2	645339,79
MN	MN-SC43-DH	16	270+059	60	X		4990003,85	645644,93
MN	MN-SC44-PZ	18	270+706	30		X	4989438,69	645940,95
MN	MN-SC45-DH	17	272+168	50	X		4987982,69	646060,73
MN	MN-SC46-PZ	17	272+177	50		X	4987974,83	646000,36
MN	MN-SC47-DH	17	273+588	50	X		4986560,81	646033,19
MN	MN-SC48-PZ	17	273+601	50		X	4986563,09	645955,21
MN	MN-SC49	18,5	276+618	30			4983578,23	645964,02
MN	MN-SC50-PZ	18,5	276+703	30		X	4983486,36	645950,71
MN	MN-SC51-PZ	16,5	276+716	25		X	4983376,89	645624,26
MN	MN-SC52-PZ	18,95	279+000	25		X	4981237,41	646479,85
MN	MN-SC53-DH	17	283+301	50	X		4977123,42	646749,36

provincia	Codice	quota (m)	progressiva (km)	profondità (m)	down hole	piezometro	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-SC54-PZ	17	283+309	50		X	4977079,06	646826,26
MN	MN-SC55	32,5	246+110	18,6			5012922,46	646608,15
MN	MN-SC56	30	248+030	18,6			5011042,08	646230,54
MN	MN-SC57	30	248+930	20,7			5010180,7	645971,86
MN	MN-SC58	28,5	250+700	20,3			5008502,94	645409,22
MN	MN-SC59	28	252+030	18,6			5007227,51	645035,31
MN	MN-SC60	27	253+570	18,6			5005701,66	645206,49
MN	MN-SC61	25	254+970	20,7			5004372,9	645575,27
MN	MN-SC62	24	255+840	18,4			5003554,47	645953,46
MN	MN-SC63	24,2	256+720	15			5002725,55	646203,84
MN	MN-SC64	20,5	258+580	20,7			5000960,01	646789,24
MN	MN-SC65	16	261+920	20			4997714,92	646792,11
MN	MN-SC66	15	262+050	31,3			4997592,05	646751,8
MN	MN-SC67	24	262+240	30,4			4997407,68	646702,6
MN	MN-SC68	16	262+490	30			4997171,52	646626,45
MN	MN-SC69	15,5	262+520	31,4			4997137,06	646612,91
MN	MN-SC70	16,5	262+620	31,7			4997045,6	646592,16
MN	MN-SC71	14,5	262+670	38,5			4996997,52	646573,36
MN	MN-SC72	16	262+750	29,7			4996919,6	646550,26
MN	MN-SC73	13,5	262+880	32,8			4996794,94	646513,16
MN	MN-SC74	14	263+140	40,3			4996544,72	646440,41
MN	MN-SC75	12	263+400	27,7			4996297,48	646369,4
MN	MN-SC76	12,5	263+650	20,4			4996049,74	646307,94
MN	MN-SC77	15,5	267+210	20,3			4992638,66	645320,66
MN	MN-SC78	16,3	268+820	55,8			4991073	645017,95
MN	MN-SC79	17,7	269+460	35,8			4990513,47	645308,74
MN	MN-SC80	16	270+070	29,1			4990014,25	645660,59
MN	MN-SC81	18,4	270+090	54			4989997,63	645673,62
MN	MN-SC82	16	271+200	23,3			4988962,71	646002,17
MN	MN-SC83	15,5	272+150	21,6			4988015,85	646026,97
MN	MN-SC84	16,5	274+120	20,6			4986061,01	645896,89
MN	MN-SC85	15,6	275+660	15,5			4984533,49	645809,72
MN	MN-SC86	16,5	276+710	20,3			4983487,47	645970,99
MN	MN-SC87	15,5	280+570	20,7			4979765,15	646923,8
MN	MN-SC88	17	283+330	20,7			4977098,88	646771,66
MN	MN-SC89-DH	17,5	276+274	45	X		4983921,73	645954,82
MN	MN-SC90-PZ	17,5	276+290	45		X	4983885,87	645816,35
MN	MN-SC91-DH	22	258+583	45	X		5000942,69	646773,4
MN	MN-SC92-PZ	22,2	258+620	45		X	5000923,06	646832,84
MN	MN-SC93-DH	20	275+633	45	X		4984555,85	645764,57
MN	MN-SC94-PZ	19	275+646	45		X	4984552,25	645850,08

TAB. 4- TABELLA RIEPILOGATIVA DEI SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO PREGRESSI

I report con le stratigrafie rilevate nel corso dei sondaggi e i risultati delle prove in foro sono riportati negli elaborati LOM-GE.5.1.1 e LOM-GE.5.1.2.

Per le analisi dei campioni prelevati si rimanda, invece, agli elaborati LOM-GE.5.3.1, LOM-GE.5.3.2, LOM-GE.5.3.3, LOM-GE.5.3.4 e LOM-GE.5.3.5.

## 4.2 Trincee o pozzetti esplorativi

Per l'approfondimento delle conoscenze dei soli terreni più superficiali, In corrispondenza della fascia di spartitraffico, è stata eseguita una campagna di trincee e pozzetti che, nel tratto in esame ha previsto la realizzazione di 70 indagini.

In Tab. 5 per ciascun saggio sono riportati:

- provincia
- codice
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

provincia	codice	progressiva (km)	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-T1	246+200	- 2,0 m	5012832,41	646606,76
MN	MN-T2	246+700	- 2,1 m	5012341,81	646508,20
MN	MN-T3	247+200	- 2,1 m	5011851,89	646410,09
MN	MN-T4	247+700	- 2,2 m	5011361,12	646312,98
MN	MN-T5	248+200	- 2,0 m	5010870,71	646211,15
MN	MN-T6	248+700	- 2,0 m	5010392,29	646063,32
MN	MN-T7	249+200	- 2,1 m	5009918,37	645903,67
MN	MN-T8	249+700	- 2,1 m	5009444,23	645745,29
MN	MN-T9	250+200	- 2,1 m	5008970,10	645586,49
MN	MN-T10	250+700	- 2,1 m	5008496,44	645427,30
MN	MN-T11	251+200	- 2,0 m	5008021,47	645270,03
MN	MN-T12	251+700	- 2,2 m	5007547,28	645112,17
MN	MN-T13	252+200	- 2,1 m	5007058,49	645043,60
MN	MN-T14	252+750	- 2,1 m	5006514,20	645100,27
MN	MN-T15	253+200	- 2,1 m	5006069,51	645168,98
MN	MN-T16	253+700	- 2,1 m	5005574,62	645245,24
MN	MN-T17	254+200	- 2,1 m	5005085,92	645332,28
MN	MN-T18	254+700	- 2,0 m	5004618,75	645504,24
MN	MN-T19	255+200	- 2,1 m	5004149,96	645680,65

provincia	codice	progressiva (km)	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-T20	255+700	- 2,1 m	5003683,42	645859,82
MN	MN-T21	256+250	- 2,3 m	5003170,88	646063,39
MN	MN-T22	256+780	- 2,0 m	5002675,82	646247,87
MN	MN-T23	257+200	- 2,3 m	5002277,78	646383,64
MN	MN-T24	257+700	- 1,8 m	5001802,53	646538,74
MN	MN-T25	258+200	- 1,7 m	5001327,34	646691,66
MN	MN-T26	258+720	- 2,4 m	5000831,64	646850,76
MN	MN-T27	259+200	- 2,2 m	5000374,97	646996,90
MN	MN-T28	259+700	- 2,5 m	4999887,75	647123,61
MN	MN-T29	260+200	- 1,8 m	4999387,41	647165,52
MN	MN-T30	260+700	- 1,8 m	4998887,48	647120,29
MN	MN-T31	261+200	- 1,6 m	4998399,37	647002,97
MN	MN-T32	261+700	- 2,4 m	4997919,15	646863,44
MN	MN-T33	263+620	- 2,3 m	4996076,59	646331,21
MN	MN-T34	264+000	- 2,4 m	4995706,75	646244,31
MN	MN-T35	264+500	- 1,5 m	4995220,14	646132,58
MN	MN-T36	264+900	- 2,0 m	4994829,62	646043,60
MN	MN-T37	265+550	- 1,6 m	4994218,12	645826,96
MN	MN-T38	266+000	- 1,6 m	4993791,94	645682,77
MN	MN-T39	266+500	- 2,1 m	4993317,58	645522,05
MN	MN-T40	266+900	- 2,1 m	4992939,59	645394,61
MN	MN-T41	267+500	- 2,2 m	4992356,11	645246,19
MN	MN-T42	268+000	- 2,3 m	4991877,57	645104,10
MN	MN-T43	268+500	- 2,0 m	4991394,22	644966,36
MN	MN-T44	270+750	- 2,3 m	4989410,70	645972,68
MN	MN-T45	271+200	- 2,4 m	4988962,92	646025,54
MN	MN-T46	271+700	- 2,3 m	4988463,16	646035,90
MN	MN-T47	272+200	- 2,3 m	4987963,26	646047,21
MN	MN-T48	272+700	- 2,3 m	4987463,94	646056,95
MN	MN-T49	273+200	- 2,3 m	4986963,91	646068,15
MN	MN-T50	273+700	- 2,1 m	4986468,27	645997,37
MN	MN-T51	274+200	- 2,0 m	4985978,37	645898,86
MN	MN-T52	274+700	- 2,0 m	4985486,95	645806,27
MN	MN-T53	275+200	- 2,5 m	4984992,11	645773,41
MN	MN-T54	275+780	- 2,3 m	4984415,55	645836,30
MN	MN-T55	276+200	- 1,8 m	4983998,53	645883,50
MN	MN-T56	276+700	- 2,3 m	4983513,22	645984,47
MN	MN-T57	277+200	- 2,1 m	4983033,26	646126,20
MN	MN-T58	277+700	- 2,0 m	4982553,28	646267,87
MN	MN-T59	278+200	- 2,2 m	4982062,24	646369,60
MN	MN-T60	278+700	- 2,4 m	4981569,10	646451,84
MN	MN-T61	279+200	- 2,4 m	4981075,61	646534,52
MN	MN-T62	279+700	- 2,1 m	4980597,80	646663,51
MN	MN-T63	280+200	- 2,0 m	4980124,05	646823,18

provincia	codice	progressiva (km)	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-T64	280+700	- 2,1 m	4979649,04	646980,98
MN	MN-T65	281+200	- 2,3 m	4979152,55	647067,99
MN	MN-T66	281+700	- 2,5 m	4978655,09	647113,38
MN	MN-T67	282+200	- 2,3 m	4978155,77	647152,04
MN	MN-T68	282+700	- 2,2 m	4977660,06	647052,06
MN	MN-T69	283+150	- 2,0 m	4977249,34	646865,83
MN	MN-T70	283+700	- 2,3 m	4976748,32	646636,49

TAB. 5- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE TRINCEE O POZZETTI ESPLORATIVI PREGRESSI

Le stratigrafie rilevate nel corso dei sondaggi sono riportate nel report di cui all'elaborato LOM-GE.5.5.

### 4.3 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica

Le prove penetrometriche statiche, o CPT (*Cone Penetration Test*), sono delle indagini, eseguite in situ, per poter determinare la stratificazione e le proprietà meccaniche del terreno.

Sviluppate negli anni cinquanta in Olanda, sono oggi, in Italia, uno dei più usati ed accettati test di campagna. Sono indicate per tutte le tipologie di terreni, a parte in presenza di orizzonti ghiaiosi o di sabbie molto addensate, che non si riescono ad attraversare.

Uno dei principali vantaggi delle prove penetrometriche è la possibilità di ottenere dei dati in continuo. Esse, infatti, consistono nell'infissione all'interno del terreno, a velocità standardizzata costante, pari a  $2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$ , di una punta.

Per separare la resistenza alla punta da quella dovuta all'attrito lungo la batteria di aste, si agisce su una serie di aste interne ed indipendenti da quelle principali: esse agiscono direttamente solo sulla punta che può, così, penetrare di qualche centimetro prima di trascinare anche le aste esterne.

Abitualmente si fa uso della punta meccanica "di *Begemann*" (dal nome dell'ingegnere che l'ha progettata e realizzata), dotata di un manicotto cilindrico, posto sopra la punta stessa.

Anche le dimensioni della punta e del manicotto sono standardizzate, come di seguito elencato:

- diametro di base del cono  $\phi = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono  $\beta = 60^\circ$

Spingendo sulle aste interne si fa penetrare dapprima la punta e si effettua la prima lettura; dopo circa 40 mm di penetrazione, viene agganciato anche il manicotto cilindrico e si misura

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	29 di 36



pertanto la resistenza alla punta più quella dovuta all'attrito sul manicotto (seconda lettura). Per differenza si può ottenere, pertanto, anche il valore dell'attrito laterale (adesione terreno-acciaio). Infine spingendo sulle aste esterne, si ricompatta dapprima la punta precedentemente estesa (senza nessuna misura) e, insistendo, si può misurare lo sforzo totale necessario per far avanzare la punta, il manicotto e la batteria di aste esterne.

Nel tratto in esame sono state realizzate 9 prove CPT: 7.

In Tab. 6, per ciascuna prova, sono riportati:

- provincia
- codice
- quota in m s.l.m.
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

provincia	codice PROVA	quota (m)	progressiva (km)	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-CPT1	28,5	252+205	8,00	5007048,12	644986,77
MN	MN-CPT2	25,0	255+218	9,00	5004137,15	645708,42
MN	MN-CPT3	16,5	267+275	6,80	4992556,38	645326,75
MN	MN-CPT4	17,5	272+014	9,00	4988136,61	645978,82
MN	MN-CPT5	16,5	276+712	25,00	4983384,43	645637,42
MN	MN-CPT6	16,5	276+741	25,00	4983333,66	645566,63
MN	MN-CPT7	16,5	276+753	25,00	4983350,22	645664,98
MN	MN-CPT8	16,2	279+754	7,80	4980542,04	646710,84
MN	MN-CPT9	16,3	282+471	6,80	4977881,03	647066,37

TAB. 6- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE PROVE CPT PREGRESSE

I report con i risultati delle prove CPT sono riportati nell'elaborato LOM-GE.5.2.1.

#### 4.4 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono

Queste prove consistono nella misurazione della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$ ). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	30 di 36

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale, e da un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici e successivamente elaborati.

Nel tratto in esame sono state realizzate 25 prove CPTU.

In Tab. 7, per ciascuna prova, sono riportati:

- provincia
- codice
- quota in m s.l.m.
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

provincia	codice PROVA	quota (m)	progressiva (km)	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-CPTU1	33,0	247+020	25,00	5012024,62	646434,13
MN	MN-CPTU2	26,0	255+020	25,13	5004308,03	645608,51
MN	MN-CPTU3	25,0	255+769	41,60	5003623,74	645916,74
MN	MN-CPTU4	24,5	255+877	34,14	5003494,83	645880,51
MN	MN-CPTU5	23,0	257+772	45,00	5001739,85	646607,98
MN	MN-CPTU6	23,0	257+861	45,00	5001623,31	646531,86
MN	MN-CPTU7	22,0	258+526	44,40	5000994,98	646752,14
MN	MN-CPTU8	22,0	258+549	45,00	5000989,70	646807,97
MN	MN-CPTU9	21,5	259+565	38,10	5000005,36	647054,77
MN	MN-CPTU10	21,5	259+599	44,00	4999994,30	647168,63
MN	MN-CPTU11	22,0	260+580	45,00	4998993,75	647183,52
MN	MN-CPTU12	22,0	260+640	42,00	4998944,61	647093,38
MN	MN-CPTU13	18,6	261+700	30,06	4997933,75	646854,36
MN	MN-CPTU14	19,5	264+683	41,22	4995026,97	646120,39
MN	MN-CPTU15	19,0	264+732	45,00	4994995,40	646034,38
MN	MN-CPTU16	18,0	270+706	30,10	4989441,15	645952,77
MN	MN-CPTU17	17,0	272+152	43,40	4988000,17	646059,27
MN	MN-CPTU18	17,0	272+160	45,00	4987990,25	645986,26
MN	MN-CPTU19	17,0	273+588	45,00	4986576,11	645948,62
MN	MN-CPTU20	17,0	273+601	45,00	4986546,30	646039,17
MN	MN-CPTU21	19,0	279+000	25,00	4981239,80	646494,26

provincia	codice PROVA	quota (m)	progressiva (km)	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-CPTU22	17,0	283+309	32,70	4977088,75	646803,62
MN	MN-CPTU23	17,0	283+319	31,36	4977107,19	646742,58
MN	MN-CPTU24	17,5	276+274	43,71	4983918,72	645930,45
MN	MN-CPTU25	17,5	276+283	44,83	4983896,61	645841,39

TAB. 7- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE PROVE CPTU PREGRESSE

I report con le tabelle e i grafici dei valori di resistenza, rilevati nel corso delle prove CPTU, sono riportati negli elaborati LOM-GE.5.2.1 e LOM-GE.5.2.2.

#### 4.5 Prove penetrometriche dinamiche

Le indagini denominate SCPT sono delle prove penetrometriche dinamiche superpesanti.

Tali prove consistono nell'infissione nel terreno di una punta conica tramite battitura con un maglio di massa pari a 63.5 Kg e con altezza di caduta di 75 cm e la conseguente determinazione del numero di colpi necessari ad infiggere la punta conica (area della punta 20.43 cm<sup>2</sup>) e le aste ad essa collegate, per una profondità di 20 cm.

Nel tratto in esame sono state realizzate 4 prove SCPT.

In Tab. 8, per ciascuna prova, sono riportati:

- provincia
- codice
- quota in m s.l.m.
- progressiva chilometrica
- massima profondità raggiunta in m
- latitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N
- longitudine nel sistema WGS84 UTM zona 32 N

provincia	codice PROVA	quota (m)	progressiva (km)	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-SCPT1	23,0	258+165	- 8,00 m	5001361,60	646710,01
MN	MN-SCPT2	18,0	261+340	- 7,00 m	4998248,68	646988,51
MN	MN-SCPT3	14,5	264+153	- 9,00 m	4995544,80	646242,11
MN	MN-SCPT4	17,5	273+542	- 9,00 m	4986619,43	645970,02

TAB. 8- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE PROVE CPTU PREGRESSE

I report con le tabelle e i grafici dei valori di resistenza, rilevati nel corso delle prove SCPT, sono riportati nell'elaborato LOM-GE.5.2.2.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	32 di 36

<b>PROGETTO</b>	<b>LIVELLO</b>
AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.P.A. - BRENNERAUTOBHAN A.G. Realizzazione della terza corsia tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314) Tratto Regione Lombardia	Progetto definitivo

## 5 INDAGINI INTEGRATIVE

Alla luce delle necessità progettuali e, soprattutto, di quanto ricostruito grazie alla raccolta e analisi critica della documentazione esistente, relativa all'area oggetto d'intervento, descritta nel capitolo 4, all'interno del presente studio, è stato pianificato un programma di indagini integrative.

Dette indagini sono state eseguite dalla ditta Intergeo s.r.l. di Modena tra l'ottobre e il dicembre 2015.

Come indicato in Tab. 9, nel tratto lombardo sono state realizzate 18 prove CPTU: solo la prova MN-CPTU35 è stata interrotta prima dei 30 m di profondità, riuscendo comunque a indagare un discreto spessore di sottosuolo, pari a 10,42 m.

In 7 casi, per l'attraversamento dell'orizzonte più superficiale, è stato necessario realizzare un preforo tramite sondaggio a carotaggio continuo

provincia	codice prova	sondaggio di preforo	quota (m)	progressiva (km)	eseguita nel	profondità (m)	latitudine WGS84 UTM zona 32 N	longitudine WGS84 UTM zona 32 N
MN	MN-CPTU26	si	31,10	249+109	ott-15	- 31,60 m	5010031,66	645905,28
MN	MN-CPTU27	si	30,85	250+550	ott-15	- 33,00 m	5008648,48	645440,05
MN	MN-CPTU28	si	27,50	253+874	ott-15	- 33,00 m	5005393,17	645232,67
MN	MN-CPTU29	si	17,70	266+002	ott-15	- 33,00 m	4993768,64	645707,83
MN	MN-CPTU30	si	16,60	268+020	nov-15	- 30,00 m	4991837,69	645132,78
MN	MN-CPTU31	si	16,50	270+467	nov-15	- 30,00 m	4989676,6	645895,86
MN	MN-CPTU32	si	16,78	278+162	ott-15	- 33,00 m	4982082,31	646332,11
MN	MN-CPTU33		29,50	251+449	dic-15	- 30,00 m	5007747,89	645281,56
MN	MN-CPTU34		28,50	252+750	dic-15	- 30,00 m	5006504,38	645035,64
MN	MN-CPTU35		16,60	262+057	nov-15	- 10,42 m	4997583,00	646715,05
MN	MN-CPTU36		21,00	262+412	nov-15	- 30,00 m	4997247,23	646600,09
MN	MN-CPTU37		14,00	262+647	nov-15	- 35,00 m	4997013,89	646559,09
MN	MN-CPTU38		14,00	263+111	nov-15	- 35,00 m	4996575,70	646403,16
MN	MN-CPTU39		12,50	263+656	dic-15	- 30,00 m	4996028,22	646348,04
MN	MN-CPTU40		17,00	268+608	dic-15	- 30,00 m	4991288,47	645027,31
MN	MN-CPTU41		17,00	269+171	dic-15	- 30,00 m	4990754,17	645169,90
MN	MN-CPTU42		16,50	270+090	dic-15	- 30,00 m	4990001,87	645695,98
MN	MN-CPTU43		16,50	276+756	dic-15	- 30,00 m	4983370,57	646098,68

TAB. 9 - INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE RELATIVE AL TRATTO AUTOSTRADALE IN ESAME

Anche i report con le tabelle e i grafici dei valori di resistenza rilevati nel corso delle prove CPTU integrative sono riportati nell'elaborato LOM-GE.5.2.2.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	33 di 36

## 6 SEZIONI LITOSTRATIMETRICHE

Le indagini eseguite hanno consentito di ricostruire l'assetto litostratimetrico dell'area oggetto di studio.

In particolare, alla luce di quanto emerso nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo e delle prove penetrometriche, si sono potute redigere le sezioni, in scala  $L=1:5.000$   $H=1:500$ , raffigurate negli elaborati LOM-GE.4.1, LOM-GE.4.2, LOM-GE.4.3, LOM-GE.4.4 e LOM-GE.4.5.

In tali elaborati, le singole indagini sono state posizionate in relazione dell'ubicazione planimetrica fornita, determinandone la quota di inizio sulla base dei dati altimetrici al contorno.

Sotto ogni sezione sono rappresentate le distanze, progressive e parziali, e la quota del terreno sul livello del mare (s.l.m.).

Per ogni sondaggio sono indicati:

- il codice
- la profondità in m
- la quota assoluta di bocca foro in m s.l.m.
- l'ubicazione rispetto all'asse del tracciato con distanza espressa in m
- l'anno in cui è stato realizzato
- se è stato o meno traslato dalla posizione originale (ai fini di consentirne la lettura)
- l'eventuale effettuazione di campionamenti, indisturbati, rimaneggiati e/o di prove SPT
- il livello massimo raggiunto dalla falda
- se è stato attrezzato con un piezometro a tubo aperto, rappresentando il tratto fenestrato

Inoltre, è stata raffigurata la successione litostratimetrica incontrata, distinguendo le seguenti classi:

- R = materiale di riporto
- V = terreno vegetale
- C = ciottoli
- G = ghiaia
- S = sabbia
- L = limo
- A = argilla
- T = torba
- ASF = asfalto
- O = materiale organico

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	34 di 36



e seguenti condizioni di copresenza o alternanza:

- XY = deposito misto con parti uguali di X e di Y
- X-Y = deposito misto con X molto più abbondante di Y
- X/Y = alternanze paritetiche di X e Y

e rappresentando, sulla colonna stratigrafica, le profondità (in m) sia dei cambi litologici che dei multipli di 5 m.

Anche per le prove penetrometriche sono stati indicati:

- il codice
- la profondità in m
- la quota assoluta di bocca foro in m s.l.m.
- l'ubicazione rispetto all'asse del tracciato con distanza espressa in m
- l'anno in cui è stata realizzata
- se è stata o meno traslata dalla posizione originale (ai fini di consentirne la lettura)

Inoltre sono rappresentati i grafici, al variare della profondità, rispettivamente:

- di N20 per le prove penetrometriche dinamiche
- del Rapporto di Begemann, Rp/RI, per le prove penetrometriche statiche con punta meccanica
- del coefficiente di attrito, Fr (%), e della pressione interstiziale dei pori, u (MPa), per le prove penetrometriche statiche con punta elettrica dotata piezocono

I dati delle indagini sono stati correlati nelle sezioni utilizzando 6 differenti classi di terreni:

1. Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli
2. Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi
3. Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi
4. Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
5. Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe
6. Rilevato autostradale esistente

Dalla lettura di questi elaborati si evince che la classe più presente nel sottosuolo in esame, considerando uno spessore una cinquantina di metri, è quella dei "Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi" anche se, molto spesso, essi si rinvergono sotto una copertura di spessore variabile (mediamente pari a 5÷10 m) di sedimenti più fini: "Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi" e "Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi".

Fa eccezione il tratto a cavallo del fiume Mincio tra le chilometriche 261 e 264 che presenta assetto litostratimetrico molto vario, con alternanze di depositi a differente granulometria (tra i

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	35 di 36

quali anche "Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe" e "Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli), per l'intera profondità indagata.

Sabbie affioranti si trovano: a nord della chilometrica 246, tra le chilometriche 249,1 e 251,3, attorno alla chilometrica 254, subito a settentrione del fiume Mincio (tra le chilometriche 258,6 e 262,5), tra le chilometriche 264,3 e 265 e in corrispondenza dell'alveo del fiume Po (tra la chilometrica 269 e la chilometrica 270).

Relativamente alla presenza di locali lenti di "Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe", oltre a quelle già indicate in vicinanza del fiume Mincio (tra le chilometriche 262,5 e 264,8) vanno segnalate quelle rilevate con il sondaggio MN-SC82, per uno spessore complessivo di circa 9 m, e quelle in corrispondenza della chilometrica 276,7, anche se decisamente più piccole (lo spessore complessivo è di circa 2 m).

Ponendo a confronto il modello geologico, ricostruito nel presente studio, con quello realizzato per il progetto definitivo, basato su una quantità di dati assai minore, emergono alcune differenze.

La più importante è che, in quest'ultimo, è stata operata una sovrastima della percentuale di depositi appartenenti a quella che era stata definita come "UNITA' D: depositi fluvioglaciali e/o alluvionali costituiti da depositi torbosi - palustri". Infatti, essi erano stati cartografati, affioranti o sub-affioranti, nei seguenti tratti:

- tra le chilometriche 246,5 e 248,2
- tra le chilometriche 249,5 e 251,6
- tra le chilometriche 253,2 e 254,1
- tra le chilometriche 262,2 e 264,3
- tra le chilometriche 266 e 268
- tra le chilometriche 282 e 286,5

e più profondi:

- tra le chilometriche 258,6 e 262,3
- tra le chilometriche 267 e 269

Da segnalare è anche il fatto che nella sezione del progetto definitivo, all'interno del pacco di sedimenti sabbiosi, erano stati riportati degli orizzonti a tessitura più fine, con una continuità che le ulteriori indagini, considerate nel presente studio, hanno provato non sussistere.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-GE.1 - Relazione geologica	Agosto 2023	1	36 di 36