

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO

dott.ing. **ROBERTO BOSETTI**

INSCRIZIONE ALBO N° 1027

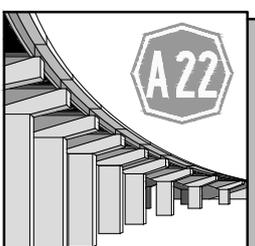
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

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)

1	ELABORATI GENERALI
2.2.34	STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI Regione Lombardia Relazione idrogeologica

1	SETT. 2023	RICHIESTE INTEGRAZIONI M.A.S.E.	ENGEIO s.r.l.	G. BERRERA	C. COSTA
0	MAR. 2021	EMISSIONE	ENGEIO s.r.l.	G. BERRERA	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO: LUGLIO 2009			DIREZIONE TECNICA GENERALE		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA: 
NUMERO PROGETTO: 31/09					

INDICE

1	Premesse	2
1.1	Inquadramento geografico	2
1.2	Principali fonti informative	3
1.2.1	Studio idrogeologico a supporto del Progetto Definitivo	3
1.2.2	Dati forniti da Autostrada del Brennero S.p.A.	4
1.2.3	Indagini integrative	4
1.2.4	Altre fonti informative	5
1.3	Elaborati grafici prodotti	6
2	Inquadramento geologico	7
2.1	Aspetti geologici generali	7
2.2	Caratteristiche litostratimetriche in corrispondenza dell'A22	11
3	Inquadramento idrogeologico	13
4	Struttura degli acquiferi	16
5	Permeabilità dei depositi superficiali	19
5.1	Depositi a permeabilità da elevata a bassa	19
5.2	Depositi a bassa permeabilità	19
5.3	Depositi a permeabilità da bassa a nulla	20
6	Dinamica delle acque sotterranee	21

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	1 di 23

PROGETTO	LIVELLO
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>

1 PREMESSE

La presente relazione descrive lo studio idrogeologico 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 e, in particolare, del D.M. 14/01/2008, Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Esso ha comportato, innanzitutto la raccolta di tutta la documentazione esistente relativa all'area oggetto d'intervento, quali, studi geologici/idrogeologici precedenti, carte tematiche, dati stratigrafici e piezometrici, citati nel paragrafo 1.2.

Mediante l'analisi critica e l'elaborazione di tale documentazione si è, quindi, proceduto a definire, per l'area d'imposta dell'infrastruttura in esame e un suo discreto intorno:

- Il quadro geologico e idrologico di riferimento
- le caratteristiche idrostratigrafiche;
- la permeabilità dei depositi superficiali;
- la dinamica delle acque sotterranee.

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.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	2 di 23

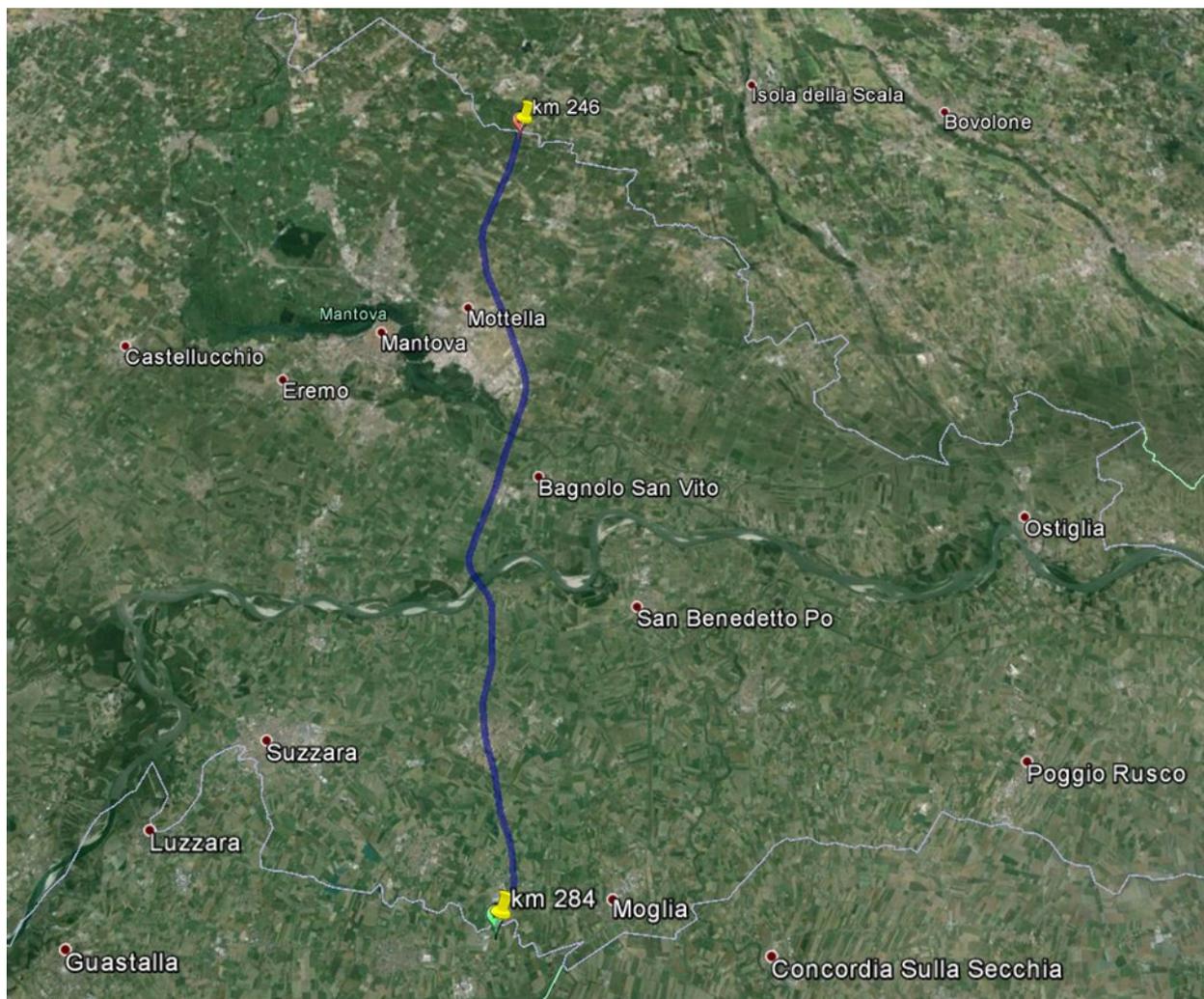


FIG. 1 – IMMAGINE AEREA DEL TRATTO DI AUTOSTRADA LOMBARDO OGGETTO D'INTERVENTO (DA GOOGLE EARTH)

1.2 Principali fonti informative

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.

1.2.1 Studio idrogeologico 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), redatta, nel dicembre 2009, da parte dello Studio Associato Geologia Applicata di Mezzocorona (Tn), contiene i seguenti capitoli che illustrano i risultati dello studio idrogeologico effettuato:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	3 di 23

- Capitolo 5 - Aspetti idrogeologici generali
- Capitolo 6 - Aspetti idrogeologici locali
- Capitolo 7 – Vulnerabilità idrogeologica

Alla relazione sono, inoltre, allegati gli elaborati grafici, di seguito elencati, che sono risultati di particolare interesse per lo svolgimento del presente lavoro:

- Carta idrogeologica con piezometria dell'acquifero superficiale (Tavole da B₁₋₃, B₂₋₃, B₃₋₃)
- Sezioni litostratigrafiche ed idrogeologiche (Tavole da D₁₋₁₅ a D₁₅₋₁₅)

1.2.2 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.

1.2.3 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, all'interno dello studio per la progettazione definitiva, 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.

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.

1.2.4 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 Lombardia¹.

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 – Litologia
- Geologia acquiferi - Gruppi A
- Geologia acquiferi - Gruppi B
- Geologia acquiferi - Gruppi C
- Geologia acquiferi - Gruppi D
- Tavole piani territoriali coordinamento provinciali (PTCP)
- Studi Geologici Comunali

Quindi, si è fatto riferimento, per quanto d'interesse agli elaborati che costituiscono Il Programma di tutela e uso delle acque – PTUA, definitivamente approvato con Delibera di Giunta Regionale n. 2244 del 29 marzo 2006, e il Quadro conoscitivo del Piano Territoriale di Coordinamento (PTCP) della Provincia di Mantova, approvato con deliberazione di Consiglio Provinciale dell'8 febbraio 2010.

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

- Amministrazione Provinciale di Mantova, Assessorato Ambiente Ecologia (1991) Piano Regionale di Risanamento delle Acque (P.R.R.A.). Studi ed indagini finalizzati al risanamento delle falde idriche utilizzate a fini potabili: modello idrodinamico delle acque sotterranee.
- Amministrazione Provinciale di Mantova, Assessorato Ambiente Ecologia (1992, 1998) Piano Regionale di Risanamento delle Acque (P.R.R.A.). Studi ed indagini finalizzati al risanamento delle falde idriche utilizzate a fini potabili: caratteristiche geologiche, geomorfologiche e di vulnerabilità.
- Baraldi F., Prandi L., Zavatti A. (1990), Carta di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi dell'unità idrogeologica: Fiume Mincio-Laghi di Mantova-Anfiteatro Morenico Frontale del Garda-Area pedecollinare, Atti I Convegno Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi, vol. I, 20-22 Sett., Marano sul Panaro (Modena)

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	5 di 23

PROGETTO	LIVELLO
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

- Baraldi F. e Zavatti A. (1994) – Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi. Volume 5. La Provincia di Mantova. Pitagora Editrice, Bologna
- Beretta G.P. (1986) - "Contributo per la stesura di una carta idrogeologica della Lombardia". Acque sotterranee, n. 4, dicembre, Milano
- C.N.R.-I.R.S.A. (1979) – Lineamenti idrogeologici della Pianura Padana. Quaderni I.R.S.A., 28 (II), Roma
- C.N.R.-I.R.S.A. (1981) – Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana. Quaderni I.R.S.A. 51 (II), Roma
- ISPRA (2015) - Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale (Progetto GeoMol). Rapporti ISPRA, 234/2015, pp. 104 e Appendice
- Regione Emilia-Romagna, Eni Divisione Agip (1998) - Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna, S.EL.CA., Firenze
- Regione Lombardia (2001) - Acque sotterranee in Lombardia. Gestione sostenibile di una risorsa strategica. Azioni per costruire uno sviluppo sostenibile, Milano
- Regione Lombardia, Eni Divisione Agip (2002) - Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia, a cura di Cipriano Carcano e Andrea Piccin. S.EL.CA., Firenze

1.3 Elaborati grafici prodotti

A supporto della presente relazione è stato redatto il seguente elaborato grafico (cfr. Tab. 2– Elaborati grafici prodotti):

Codice	Codice	Scala
LOM-ID.2.1	Carta idrogeologica	1:25.000

TAB. 2– ELABORATI GRAFICI PRODOTTI

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	6 di 23

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1 Aspetti geologici generali

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 monoclinico (*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).

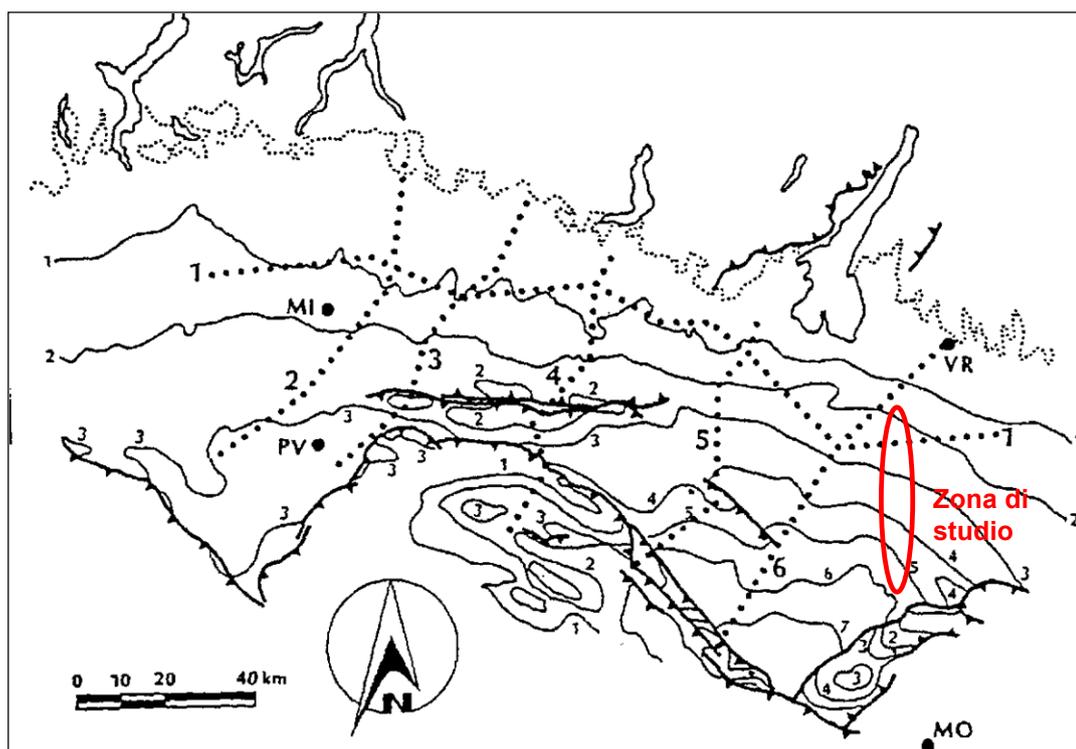


FIG. 2 – SCHEMA TETTONICO STRUTTURALE DELLA PIANURA PADANA (DA PIERI E GROPPI, 1981)
 (ISOBATE DEL TETTO DEL PLIOCENE IN MIGLIAIA DI METRI)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	7 di 23

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.

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	8 di 23

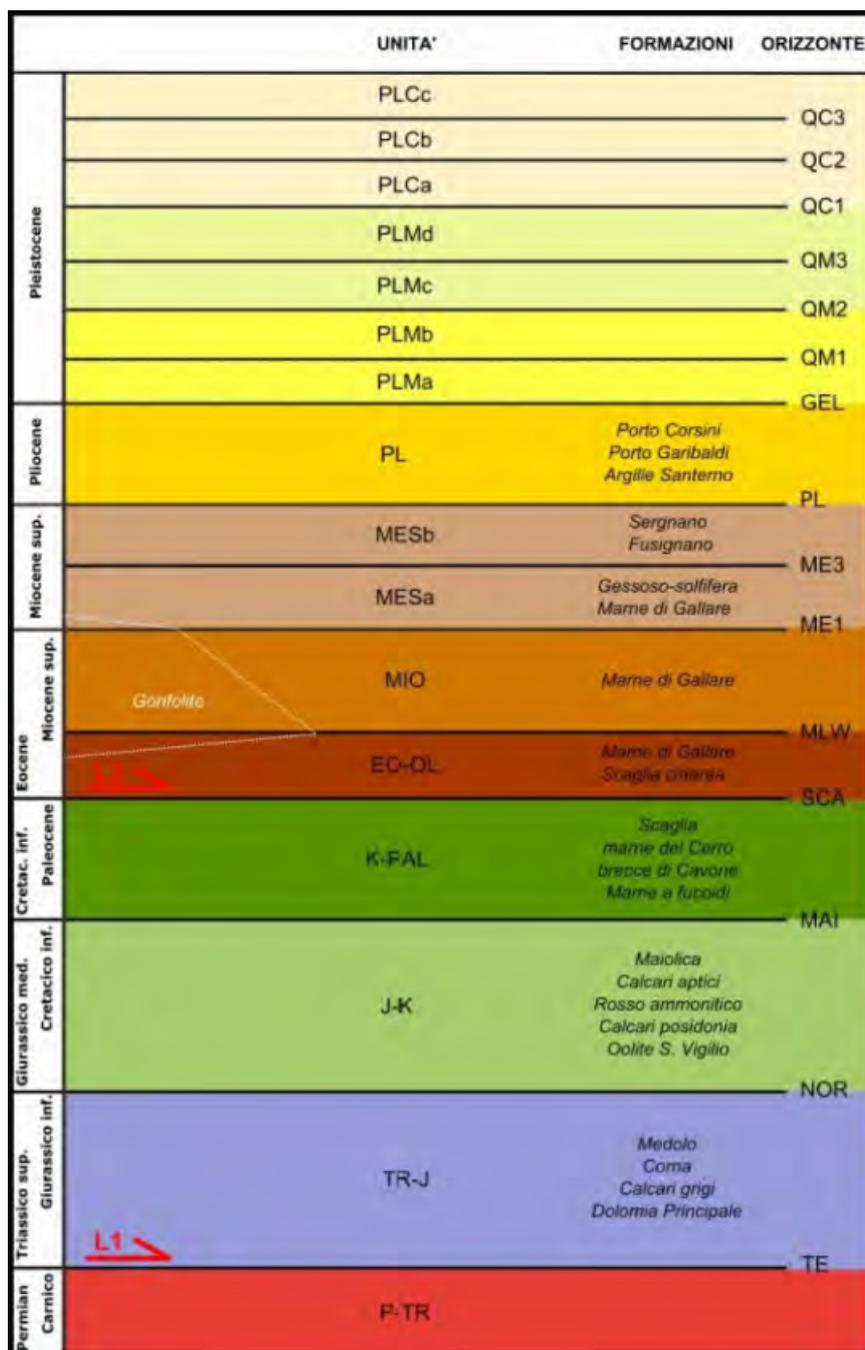
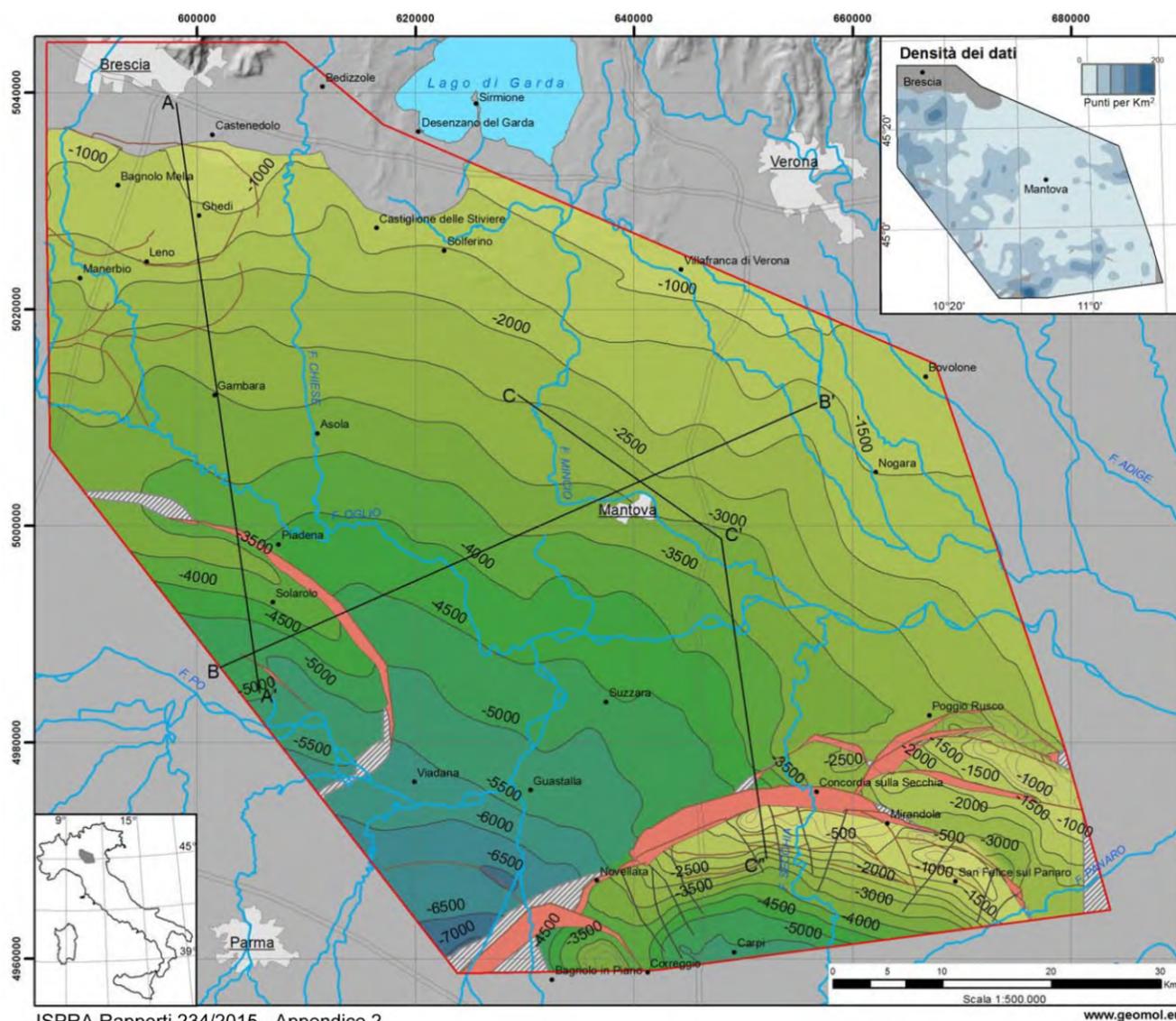


FIG. 4 – SCHEMA STRATIGRAFICO PER LA MODELLAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA PILOTA GEOMOL IN ITALIA

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.



ISPRAP Rapporti 234/2015 - Appendice 2

www.geomol.eu

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

2.2 Caratteristiche litostratimetriche in corrispondenza dell'A22

Le indagini pregresse e di nuova esecuzione, citate nel paragrafo 1.2, hanno consentito di ricostruire l'assetto litostratimetrico dell'area oggetto di studio, rappresentato graficamente nelle Sezioni litostratimetriche, 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 e descritte nella Relazione geologica (cfr. elaborato LOM-GE.1).

In tali sezioni i dati delle indagini sono stati correlati utilizzando 6 differenti classi di terreni:

1. Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	11 di 23

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 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).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	12 di 23

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La pianura lombarda, in cui ricade il tratto di territorio in esame, rappresenta una delle maggiori riserve idriche europee. Infatti, la struttura idrogeologica del territorio è caratterizzata dalla presenza di potenti livelli acquiferi sfruttabili, in particolare nella media e nella bassa pianura.

Lo stato delle conoscenze, relativamente buono e chiaramente descritto nell'Allegato 3 alla Relazione Generale del Programma di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia, "Classificazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei di pianura", consente di distinguere le seguenti aree idrogeologicamente importanti:

- Zona di ricarica delle falde: corrisponde alla parte settentrionale della pianura dove dominano le alluvioni oloceniche e sedimenti fluvioglaciali pleistocenici, a granulometria grossolana, e l'acquifero è praticamente ininterrotto da livelli poco permeabili. Detta area si estende quasi completamente a monte della fascia delle risorgive. In questa zona l'infiltrazione da piogge, nevi e irrigazioni, permette la ricarica tanto della prima falda come delle falde profonde.
- Zona di non infiltrazione alle falde: si trova sempre nella parte alta della pianura ma corrisponde alle aree in cui affiora la roccia impermeabile o dove è presente una copertura argillosa (depositi fluvioglaciali del Pleistocene medio e antico).
- Zona ad alimentazione mista: è ubicata nella zona centrale e meridionale della pianura, in cui le falde superficiali sono alimentate da infiltrazioni locali, ma non trasmettono tale afflusso alle falde più profonde, dalle quali sono separate da diaframmi poco permeabili. Si tratta dell'area corrispondente alla massima parte della pianura.
- Zona di interscambio tra falde superficiali e profonde si rinviene in corrispondenza dei corsi d'acqua principali, soprattutto del fiume Po.

Le caratteristiche idrogeologiche risultano strettamente dipendenti dalla natura dei depositi fluviali e fluvioglaciali in quanto le caratteristiche granulometriche condizionano il grado di permeabilità e di conseguenza le modalità della circolazione idrica sotterranea.

Le principali variazioni litologiche sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limoso-argillosi, che si verifica sia con l'aumento della profondità sia procedendo da nord verso sud. Gli acquiferi di maggiore potenzialità si trovano entro i primi 100 metri di profondità, sede di falde libere che traggono alimentazione per lo più dall'infiltrazione superficiale delle acque meteoriche e irrigue. Più in profondità, si hanno ulteriori acquiferi sabbiosi o, più raramente, sabbioso-ghiaiosi con falde confinate, intercalati a prevalenti limi e argille, che traggono la loro alimentazione dalle aree poste più a nord e dallo scambio con gli acquiferi soprastanti, laddove i setti argillosi di separazione sono discontinui.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	13 di 23

Secondo la ricostruzione idrostratigrafica tradizionale nella pianura lombarda, facendo riferimento alle caratteristiche di permeabilità dei litotipi e alla loro disposizione geometrica, vengono identificati i seguenti complessi acquiferi principali:

Acquifero tradizionale:

E' l'acquifero superiore, comunemente sfruttato dai pozzi pubblici. La base di tale acquifero è generalmente definita dai depositi superficiali Villafranchiani (Pleistocene Inferiore).

A partire dalla media pianura esso risulta suddiviso, da un livello poco permeabile di spessore variabile, comunque, in aumento verso la bassa pianura, in un acquifero superficiale generalmente freatico e nel sottostante acquifero tradizionale s.s., semiconfinato.

Acquifero profondo:

E' costituito dai livelli permeabili presenti all'interno dei depositi continentali del Pleistocene inferiore ed è a sua volta suddiviso in quattro corpi acquiferi minori (acquifero multistrato), separati da banchi argillosi anche molto spessi e continui.

Differentemente, secondo gli studi effettuati dalla Regione Lombardia in collaborazione con l'Esplorazione Italia dell'Eni Divisione Agip (cfr. "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia", 2002), il bacino padano può essere suddiviso in quattro unità idrostratigrafiche (Gruppi Acquiferi A, B, C, D) separate da barriere impermeabili che si sviluppano a scala regionale.

All'interno di ogni Gruppo Acquifero vi è un'ulteriore compartimentazione in unità idrostratigrafiche di rango inferiore (Complessi Acquiferi), a loro volta separate da setti impermeabili caratterizzati da una più limitata continuità laterale.

Nello studio viene anche proposta una correlazione con le altre interpretazioni idrogeologiche, affiancando i nuovi gruppi acquiferi con le unità idrogeologiche e/o idrostratigrafiche tradizionali sopradescritte (cfr. Fig. 6).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	14 di 23

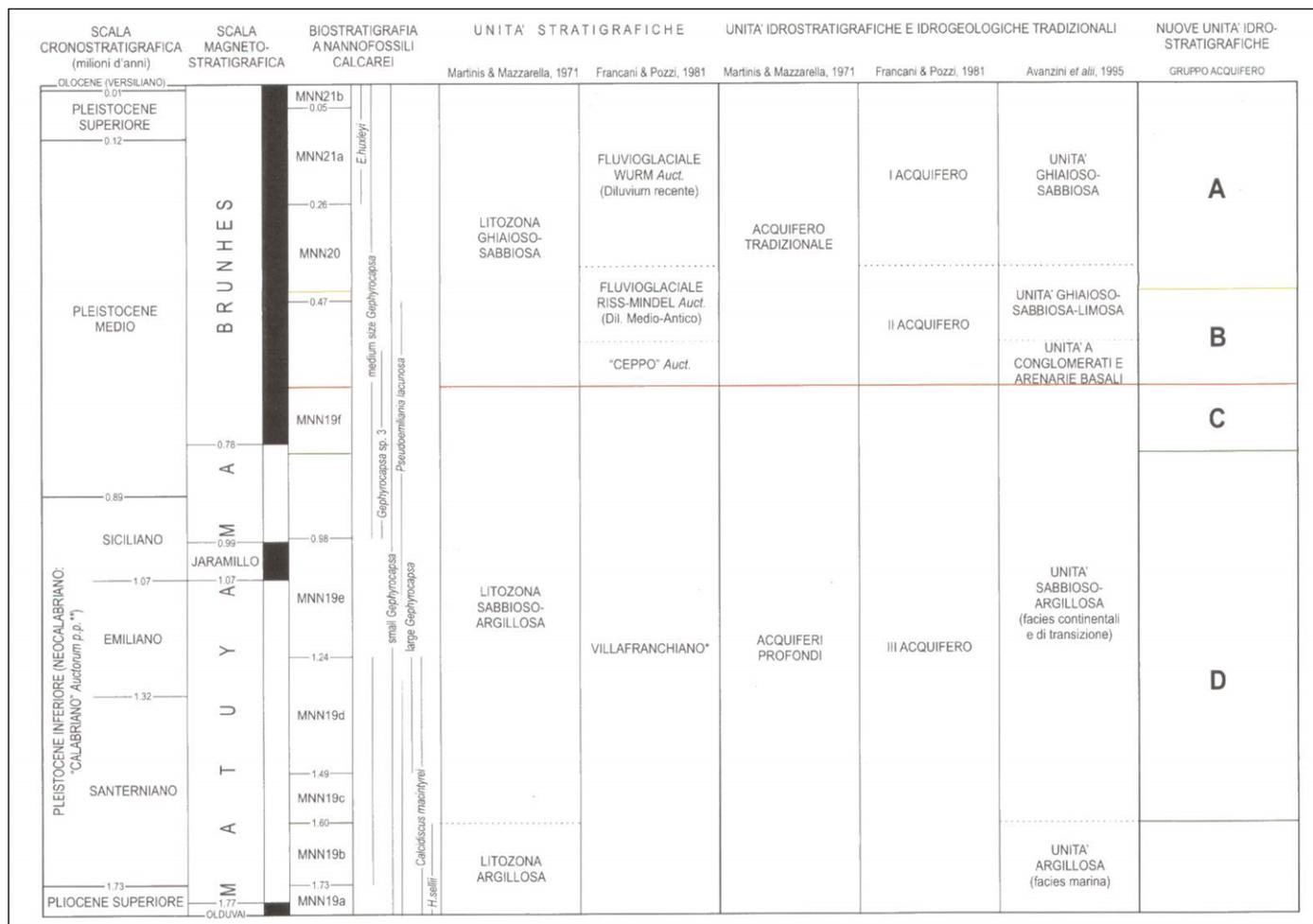


FIG. 6 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO E IDROSTRATIGRAFICO (REGIONE LOMBARDA, ENI-AGIP 2002)

4 STRUTTURA DEGLI ACQUIFERI

Come evidenziato nello studio Regione Lombardia-Eni (cfr. capitolo 3), nel territorio in esame, il Gruppo Acquifero A presenta una superficie basale impermeabile ad una profondità variabile: pari a circa 100 m da piano campagna, nella zona più settentrionale, via via maggiore verso sud, dove raggiunge una profondità di quasi 300 m, poco a sud del Po, per poi risalire, di una cinquantina di metri, in prossimità del confine con la Regione Emilia Romagna, avvicinandosi alla struttura delle pieghe ferraresi.

In maniera sostanzialmente analoga, lo spessore cumulativo dei livelli poroso-permeabili, è massimo in corrispondenza dell'asse padano (80÷100 m), mentre si riduce anche a meno di 40 m verso entrambe le estremità del tratto oggetto di studio.

Al di sotto della barriera di permeabilità regionale, si rinvengono i gruppi più profondi. Va però segnalato che, già il Gruppo Acquifero B, per il settore settentrionale, e il Gruppo Acquifero C, per quello meridionale, non rappresentano acquiferi interamente utili, in quanto al loro interno è presente l'interfaccia acque dolci/acque salate.

Con riferimento alla ricostruzione idrostratigrafica tradizionale nella pianura lombarda, si può invece affermare che, per quanto concerne la zona in esame, l'acquifero utile è, sostanzialmente, solo quello tradizionale in quanto quelli profondi risultano, perlopiù, occupati da acque salate.

Più in dettaglio, nel già citato Allegato 3 alla Relazione Generale del Programma di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia, in cui è effettuata una suddivisione della Regione in bacini a loro volta suddivisi in settori, con caratteri idrogeologici omogenei, si osserva che il tracciato autostradale in esame ricade nei Settori 9 "Ostiglia", 10 "Mantova" e 11 "Suzzara" del Bacino 5 "Oglio-Mincio" (cfr. Fig. 7).

Di seguito viene proposta una sintetica descrizione dei tre settori idrogeologici.

- settore 9 "Ostiglia"

Si tratta di un settore collocato nella parte orientale del Bacino 5, in adiacenza al confine con la Regione Veneto.

Detta area è caratterizzata da un acquifero differenziato, la cui base si trova tra -80 e -140 m s.l.m.; l'*aquitard* più o meno continuo di separazione tra falda superficiale e confinata è compreso tra le quote di 0 e 15 m s.l.m.

La trasmissività media è di $3,41 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

- settore 10 "Mantova"

Si ubica in corrispondenza della pianura a nord del fiume Po.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	16 di 23

E' presente, sempre, un acquifero differenziato, la cui base si trova, però, tra -160 e -120 m s.l.m.; l'aquitard più o meno continuo di separazione tra falda superficiale e confinata è compreso tra le quote di -30 e 0 m s.l.m.

La trasmissività media è di $3,59 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

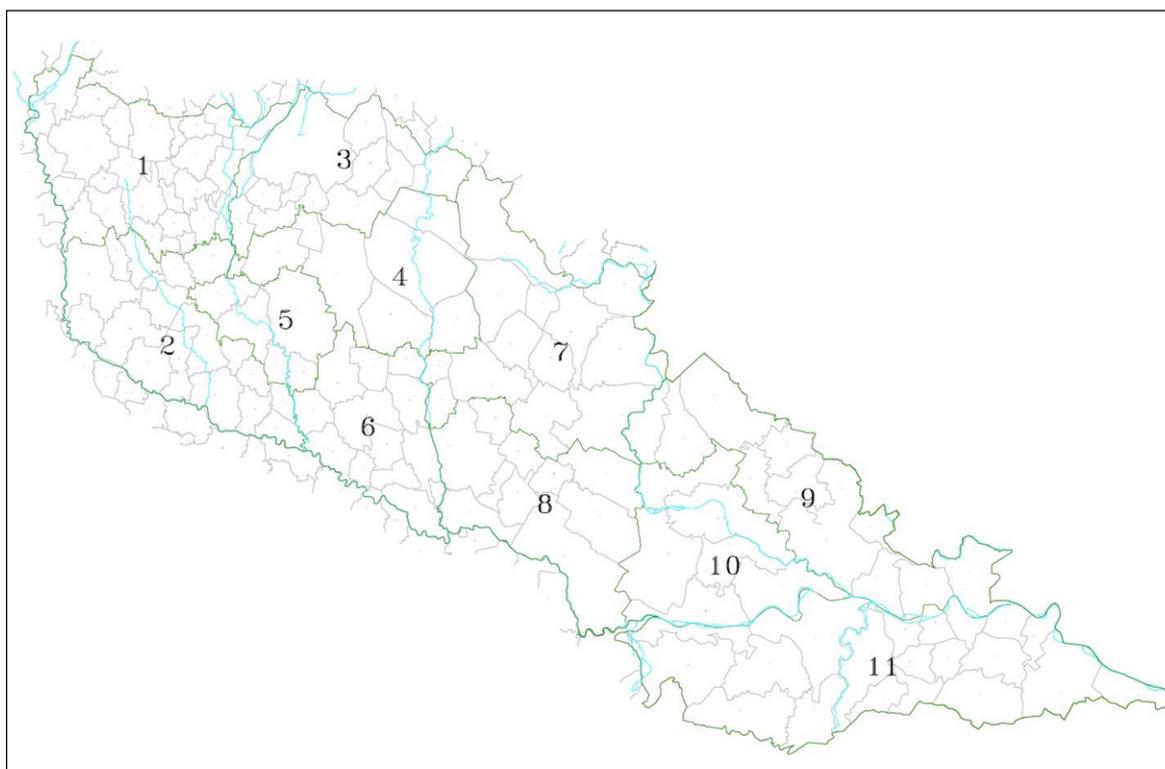


FIG. 7 – BACINO 5 “OGLIO-MINCIO” CON RELATIVI SETTORI IDROGEOLOGICI

- settore 11 “Suzzara”

Questo settore si trova in corrispondenza dell'Oltrepo mantovano, compreso tra il fiume Po e il confine con la Regione Emilia-Romagna.

Si tratta di un'area caratterizzata da un acquifero differenziato, con base a quote comprese tra -120 e -140 m s.l.m.; l'aquitard più o meno continuo di separazione tra falda superficiale e confinata è compreso tra le quote di -30 e 20 m s.l.m.

La trasmissività media è di $4,48 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Più in dettaglio, il quadro idrostratigrafico in corrispondenza dell'infrastruttura in esame, può essere desunto dalle caratteristiche litologiche dei terreni (criterio idrolitologico), rappresentate nelle Sezioni

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	17 di 23

litostratimetriche di cui agli elaborati LOM-GE.4.1, LOM-GE.4.2, LOM-GE.4.3, LOM-GE.4.4, LOM-GE.4.5 e descritte nel paragrafo 2.2.

L'associazione dei valori numerici alle classi litologiche si basa sul confronto con terreni consimili a permeabilità nota. A riguardo, in Fig. 8 è riportata la tabella che definisce i valori ed i limiti convenzionali fra granulometria, tipo di formazione e grado di permeabilità, utilizzata anche nel presente studio per definire la conducibilità idraulica dei depositi rilevati.

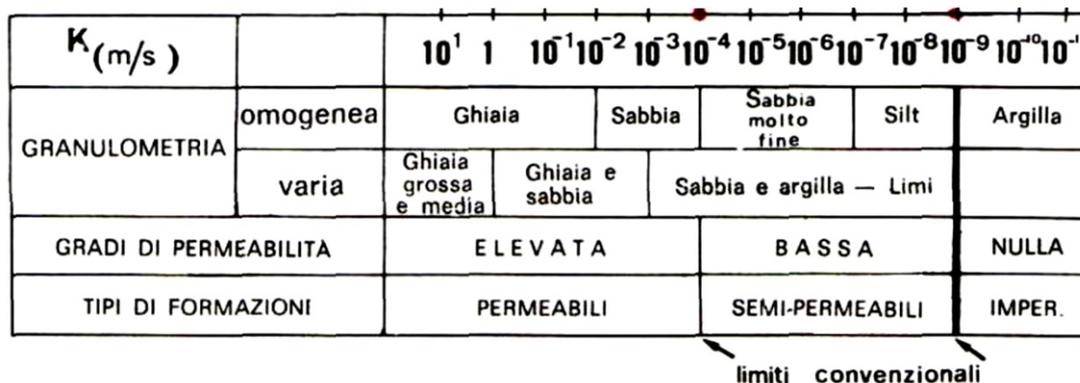


FIG. 8 – VALORI DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (DA CASTANY, 1982)

In estrema sintesi, dalla lettura delle Sezioni litostratimetriche si evince che, la classe più presente nel sottosuolo in esame, considerando uno spessore una cinquantina di metri, è quella dei depositi sabbiosi, a elevata permeabilità, anche se, molto spesso, essi si rinvencono sotto una copertura di spessore variabile (mediamente pari a 5÷10 m) di sedimenti a permeabilità da bassa a nulla.

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 e permeabilità.

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).

5 PERMEABILITÀ DEI DEPOSITI SUPERFICIALI

La determinazione della permeabilità dei depositi superficiali fornisce le informazioni necessarie alla quantificazione dei meccanismi di ricarica legati all'infiltrazione delle acque meteoriche, nonché alla valutazione del grado di protezione degli acquiferi superficiali.

Tale tematismo è stato raffigurato nella Carta idrogeologica di cui all'elaborato LOM-ID.1, anch'essa redatta con criterio idrolitologico, cioè, attribuendo alle classi litologiche definite nelle Carte geolitologiche con ubicazione indagini (cfr. elaborati: LOM-GE.2.1, LOM-GE.2.2, LOM-GE.2.3, LOM-GE.2.4 e LOM-GE.2.5) un determinato valore di conducibilità idraulica.

Sono, così, state definite le 3 classi di permeabilità di seguito descritte:

5.1 Depositi a permeabilità da elevata a bassa

Si tratta di "Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi", il cui valore di permeabilità è strettamente legato alla percentuale di matrice fine che, intasando i vuoti presenti tra gli elementi grossolani, determina una netta diminuzione della conducibilità idraulica e una notevole variabilità, sia in senso orizzontale che verticale.

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.

5.2 Depositi a bassa permeabilità

Appartengono a questa classe i "Depositi prevalentemente limosi, talora limoso sabbiosi", legati alla sedimentazione del carico solido di correnti con scarsa competenza, caratterizzati da una permeabilità bassa con coefficiente k minore di 10^{-4} m/sec e maggiore di 10^{-9} m/sec.

Questi terreni, generalmente, presentano un differente grado di permeabilità sia in senso orizzontale che verticale in relazione alla variabilità del rapporto sabbia/limo e alla presenza di sottili intercalazioni argillose.

In superficie le caratteristiche di permeabilità possono essere alterate: ad esempio, la conducibilità idraulica può aumentare in seguito al rimaneggiamento dovuto alle normali pratiche agricole. Dal punto di vista idrogeologico sono comunque sede di una infiltrazione lenta.

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	19 di 23

<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>

5.3 Depositi a permeabilità da bassa a nulla

A questa classe appartengono “Depositi prevalentemente argillosi e limosi” e i “Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe” che, in relazione alla granulometria fine o estremamente fine, determinano valori del coefficiente di permeabilità k inferiori $1 \cdot 10^{-7}$ m/sec, se non a $1 \cdot 10^{-9}$ m/sec e porosità totale elevata (caso in cui possono immagazzinare notevoli quantità di acqua anche se la circolazione al loro interno è pressoché assente).

La conducibilità idraulica può aumentare, in prossimità della superficie topografica, in conseguenza della fessurazione per essiccamento, frequente nei periodi più aridi. Elemento significativo in questi tipo di depositi è la risalita capillare, che fa sì che questi terreni, anche in assenza di falda possono risultare pressoché saturi.

L'A22 interessa questa tipologia di depositi in vari tratti, anche di lunghezza rilevante (cfr., in particolare, tra la chilometrica 261 e la km 268).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	20 di 23

6 DINAMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Come anticipato nel capitolo 4, nella zona considerata il primo l'acquifero, fino ad una profondità di almeno 50 metri, è costituito da un sistema monostrato a sabbie dominanti, seppur localmente compartimentato da lenti argilloso-limose.

Questo primo strato è in diretta connessione idraulica con le acque superficiali dei corsi d'acqua principali (Po e Mincio) ma anche di molti canali artificiali.

La presenza o meno di depositi di copertura a minore permeabilità, unitamente alle condizioni dei livelli idrici, fanno sì che la falda contenuta in questo acquifero si presenti talora a pelo libero e talora in pressione.

L'alimentazione è da attribuire principalmente agli apporti idrici provenienti dalle falde che hanno sede nei corpi acquiferi dei settori più settentrionali e più occidentali della pianura, anche se la ricarica per infiltrazione da parte delle acque superficiali, sia meteoriche che dei corsi d'acqua, nella parte più alta della pianura in esame, non è trascurabile.

Osservazioni di serie storiche mostrano che la falda, presenta un regime piezometrico di tipo unimodale, caratterizzato, normalmente, a nord del Po, da un massimo estivo, corrispondente con il periodo delle irrigazioni, e un minimo invernale; mentre a sud il massimo è primaverile (marzo-aprile) e il minimo si osserva a fine estate.

Le caratteristiche idrodinamiche del territorio in esame sono state rappresentate, nella Carta idrogeologica di cui all'elaborato LOM-ID.1.

In essa è stato, innanzitutto, raffigurato l'assetto della superficie della prima falda, mediante rappresentazione di curve isopieze ad ugual livello statico.

Per quanto riguarda la morfologia, si è fatto riferimento a quanto indicato in studi precedenti (cfr. paragrafo 1.2.4); mentre, i livelli sono quelli relativi alla campagna di misure effettuata per lo studio a supporto del progetto definitivo, datata 12 giugno 2007.

Come si è potuto verificare nel corso di successive indagini, detto rilievo risulta significativo, in quanto, ha riguardato una situazione di alto piezometrico, anche se non può essere assunto come il massimo livello raggiungibile dalla falda.

L'andamento delle isopieze risulta in sostanziale accordo con le caratteristiche generali delle unità idrogeologiche: le direzioni del flusso idrico sotterraneo, sempre ortogonali all'andamento delle stesse isopieze, presentano direzione, prevalentemente, verso sud/sud-est, nella pianura posta a settentrione del fiume Po e verso nord/est, nell'Oltrepo mantovano.

In corrispondenza di detto corso d'acqua, così come in corrispondenza del Mincio, sono individuati degli assi di drenaggio sotterranei. Un altro asse è stato disegnato, con andamento nord-ovest/sud-est, in Comune di Castelbelforte, parallelo a uno spartiacque sotterraneo (allineamento da cui divergono le direzioni di flusso), posto più di un chilometro a sud-ovest .

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	LOM-ID.1 - Relazione idrogeologica	Agosto 2023	1	21 di 23

Il gradiente idraulico si mantiene generalmente su valori bassi, dell'ordine dell'1‰, a nord del fiume Mincio e, addirittura, inferiori allo 0,5 ‰, più a sud.

Nella Carta idrogeologica di cui all'elaborato ER-ID.1 sono rappresentati anche i pozzi pubblici ad uso idropotabile, con relative fasce di rispetto, ripresi dagli approfondimenti specifici del Piano di Territoriale Coordinamento Provinciale (PTCP) e i laghi di cava (aree in cui l'attività estrattiva ha intercettato la falda freatica).

Altre informazioni idrodinamiche interessanti sono raffigurate sulle Sezioni litostratigrafiche di cui elaborati LOM-GE.4.1, LOM-GE.4.2, LOM- LOM.4.3, LOM-GE.4.4 e LOM-GE.4.5.

In tali elaborati sono, infatti, rappresentati tutti i piezometri a tubo aperto con indicazione dei relativi tratti ciechi e fenestrati e del massimo livello raggiunto dalla falda. E' stata, inoltre, disegnata la linea d'involuppo di massima falda che rappresenta sempre i livelli più alti tra quelli indicati nello studio a supporto del progetto definitivo e i dati considerati nel presente approfondimento.

Dalla lettura di tali elaborati si evince che la soggiacenza, in tutto il tratto in esame è modesta e i livelli idrici, in periodi di alto piezometrico, possono raggiungere quote prossime al piano campagna; fatto, del resto, dimostrato dalla presenza dei laghi di cava sopradescritti.

In Tab. 3 sono riportati i dati originariamente utilizzati per la ricostruzione della piezometria rappresentata nelle carte idrogeologiche (2007) confrontati con le misure di alcuni dei piezometri che sono tutt'ora misurabili (giugno 2023).

Come si può constatare le misure del 2007, sebbene effettuate nello stesso mese di giugno, presentano livelli statici più alti tra 1 e 2 metri, indicando, come già illustrato in precedenza, che nella carte idrogeologiche è rappresentata una situazione di alto piezometrico, anche se non può essere assunta come il massimo livello raggiungibile dalla falda.

	Quota b.p.	Soggiacenza	Livello statico	Soggiacenza	Livello statico
		m	m s.l.m.	m	m s.l.m.
Piezometro	m s.l.m.	12/06/2007	12/06/2007	19/06/2023	19/06/2023
MN-SC1-Pz	33.00	2.55	30.45		
MN-SC9-Pz	29.60	2.72	26.88		
MN-SC16-Pz	27.30	4.50	22.80		
MN-SC18-Pz	24.50	2.64	21.86	3.70	20.80
MN-SC28-Pz	22.00	6.62	15.38		
MN-SC29-Pz	18.60	5.47	13.13		
MN-SC34-Pz	19.00	6.01	12.99	4.00	15.00
MN-SC48-Pz	17.00	3.61	13.39		
MN-SC82	16.00	3.46	12.54		

	Quota b.p.	Soggiacenza	Livello statico	Soggiacenza	Livello statico
		m	m s.l.m.	m	m s.l.m.
Piezometro	m s.l.m.	12/06/2007	12/06/2007	19/06/2023	19/06/2023
MN-SC94-Pz	19.00	4.90	14.10		
MN-SC52-Pz	18.95	4.34	14.61		

TAB. 3 - MISURE UTILIZZATE PER LA RICOSTRUZIONE DELLA PIEZOMETRIA