

NUOVA S.S. 341 "GALLARATESE" - TRATTO DA SAMARATE A CONFINE  
CON LA PROVINCIA DI NOVARA - TRATTO NORD

STRALCIO FUNZIONALE DAL KM 6+500 (SVINCOLO S.S. 336 NORD)  
AL KM 8+844 (SVINCOLO AUTOSTRADA A8)  
"BRETELLA DI GALLARATE"

## PROGETTO ESECUTIVO

 <b>STUDIO CORONA</b>  Ing. Renato Vaira <small>(Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</small>	 <b>Ingegneria del Territorio s.r.l.</b>  Ing. Valerio Bajetti <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</small>	<b>ING. RENATO DEL PRETE</b>  Ing. Renato Del Prete <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</small>	 <b>ECOPLAN</b> <small>S.r.l. - Ingegneria e Architettura</small>  Arch. Nicoletta Frattini <small>Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</small>	 <b>E&amp;G Engineering &amp; Graphics S.r.l.</b>  Ing. Gabriele Incecchi <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</small>
	 <b>UNING</b> <small>Società designata: GA&amp;M</small>  Prof. Ing. Matteo Ranieri <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</small>	<b>SETAC</b> Srl <small>Servizi &amp; Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</small>  Prof. Ing. Luigi Monterisi <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</small>	<b>ARKE' INGENGNERIA</b> s.r.l. <small>Via Francesco Testa n. 2 - 70124 Bari</small>  Ing. Gioacchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	<b>DOTT. GEOL. DANILLO GALLO</b>  Dott. Geol. Danilo Gallo <small>Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</small>

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

IL PROGETTISTA FIRMATARIO DELLA PRESTAZIONE

GEOLOGO

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Giancarlo LUONGO

Ing. Renato DEL PRETE

Ing. Valerio BAJETTI

Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI

Ing. Gaetano RANIERI

BA 01

### B-GEOLOGIA E GEOTECNICA

BA - GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

M1533 E 1801

NOME FILE

BA01-P00GE00GEORE01\_B.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. P00GE00GEORE01

B

1:5.000

C					
B	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA INTERNA ANAS	MARZO 2021	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI	ING. RENATO DEL PRETE
A	EMISSIONE	LUGLIO 2020	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI	ING. RENATO DEL PRETE
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b>	<b>3</b>
2.1 BRETELLA DI GALLARATE	3
2.2 SVINCOLI	4
<b>3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b>	<b>4</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE</b>	<b>5</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO</b>	<b>8</b>
5.1 RETICOLO IDROGRAFICO	8
<b>6. INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>10</b>
6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE PER IL PROGETTO STRADALE	10
6.1.1 CAMPAGNA DI INDAGINI 2010	10
6.1.2 CAMPAGNA DI INDAGINI 2018	11
6.1.3 CAMPAGNA DI INDAGINI 2019	12
6.2 DATI PREESISTENTI UTILIZZATI PER LA REDAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	13
6.3 RILEVAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	13
6.4 AGGRESSIVITÀ CHIMICA DELLE ACQUE E DEL TERRENO	13
6.5 FOTOINTERPRETAZIONE	14
<b>7. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)</b>	<b>15</b>
7.1 RISCHIO CORRELATO A MOVIMENTI FRANOSI	15
7.2 RISCHIO IDRAULICO	16
<b>8. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SETTORE DI STUDIO</b>	<b>18</b>
8.1 UNITÀ DELLE ARGILLE	18
8.2 UNITÀ DELLE ALTERNANZE ARGILLE-GHIAIE	19
8.3 UNITÀ DELLE GHIAIE E SABBIE	20
<b>9. ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>22</b>
9.1 UNITÀ DELLE ARGILLE	22
9.2 UNITÀ DELLE ALTERNANZE ARGILLE-GHIAIE	22
9.3 UNITÀ DELLE GHIAIE E SABBIE	22
9.3.1 PROVE DI PERMEABILITÀ	23
9.4 RILIEVI PIEZOMETRICI	24

<b>10. MODELLO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO</b>	<b>27</b>
10.1 CARATTERI GEOLOGICI PER TRATTE OMOGENEE	27
10.1.1 CARATTERI GEOLOGICI 1° TRATTO IN TRINCEA DA PROGR. 6+500 A PROGR. 7+250	27
10.1.2 CARATTERI GEOLOGICI 2° TRATTO IN VIADOTTO DA PROGR. 7+250 A PROGR. 8+400	29
10.1.3 CARATTERI GEOLOGICI 3° TRATTO IN RILEVATO DA PROGR. 8+400 A PROGR. 8+844	31
<b>11. RISCHIO SISMICO DEL TERRITORIO LOMBARDO</b>	<b>34</b>
11.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN ESAME	38
11.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO	39
11.4 EFFETTI TOPOGRAFICI	41
11.5 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	42
<b>12. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione descrive le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche del settore di territorio interessato dallo stralcio funzionale del Progetto Esecutivo del collegamento stradale tra Samarate ed il confine con la Provincia di Novara (cfr.fig.1), dal km 6+500 (svincolo S.S.336 nord) al km 8+844 (svincolo autostrada A8). Il tracciato stradale ricade nell'area interessata dal Piano territoriale d'area Malpensa ed è finalizzato al collegamento dell'Aeroporto con l'area Nord di Milano ed il basso varesotto, consentendo contemporaneamente una connessione dell'aerostazione con le aree orientali della Lombardia tramite il futuro sistema viabilistico Pedemontana-Gronda intermedia. Il settore all'interno del quale ricade il corridoio di progetto interessa la Provincia di Varese.

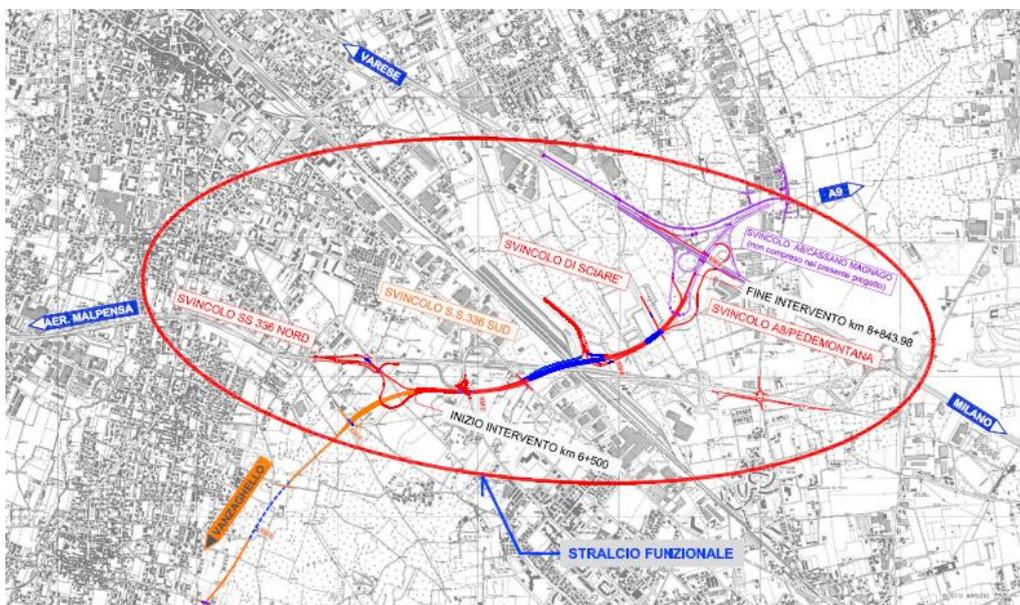


Fig.1 – Corografia della zona di intervento

## 2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Le principali caratteristiche dell'infrastruttura in progetto sono riportate sinteticamente di seguito.

### 2.1 BRETELLA DI GALLARATE

Il progetto prevede la realizzazione di una strada appartenente alla categoria B che collega la S.S.336 e l'Autostrada A8 dei Laghi a Nord dello svincolo autostradale di Busto Arsizio, punto di collegamento con la direttrice del Sistema Viabilistico Pedemontano. Tale tratta presenta uno sviluppo complessivo di circa 2,8 Km, per la maggior parte in viadotto con un'altezza massima di oltre 16 m. Il tracciato nel settore bretella di Gallarate è in variante rispetto al Progetto Preliminare con un nuovo asse che permette di sovrappassare l'area del Terminal Intermodale HUPAC, aggirare le vasche di spagliamento dei torrenti Rile e Tenore e raggiungere lo svincolo con l'autostrada A8 mediante un flesso planimetrico.

È parte integrante del progetto anche la realizzazione di una galleria artificiale tra paratie di circa 80 m di lunghezza e profondità di circa 7-8 m, nel tratto compreso tra gli svincoli Nord e Sud con la S.S.336 (progr. 6+850 e 6+930 circa), al fine di non interferire con la viabilità esistente. Per detta galleria è prevista la realizzazione di una carreggiata appartenente alla categoria B.

## 2.2 SVINCOLI

Il tracciato in progetto è inoltre caratterizzato dalla presenza di tre svincoli su livelli sfalsati: 1) Svincolo S.S.336 Nord, 2) Svincolo S.S.336 Sud, 3) Svincolo di Sciaré.

## 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il tracciato stradale oggetto di studio si sviluppa in direzione NW-SE nella porzione settentrionale della Pianura Padana lombarda e amministrativamente ricade nel territorio della Provincia di Varese. I comuni interessati dal tracciato sono i comuni di Busto Arsizio, Gallarate e Cassano Magnago.

In figura 2 si riporta una vista aerea della zona interessata dalle opere che consente di prendere visione delle attuali condizioni al contorno.

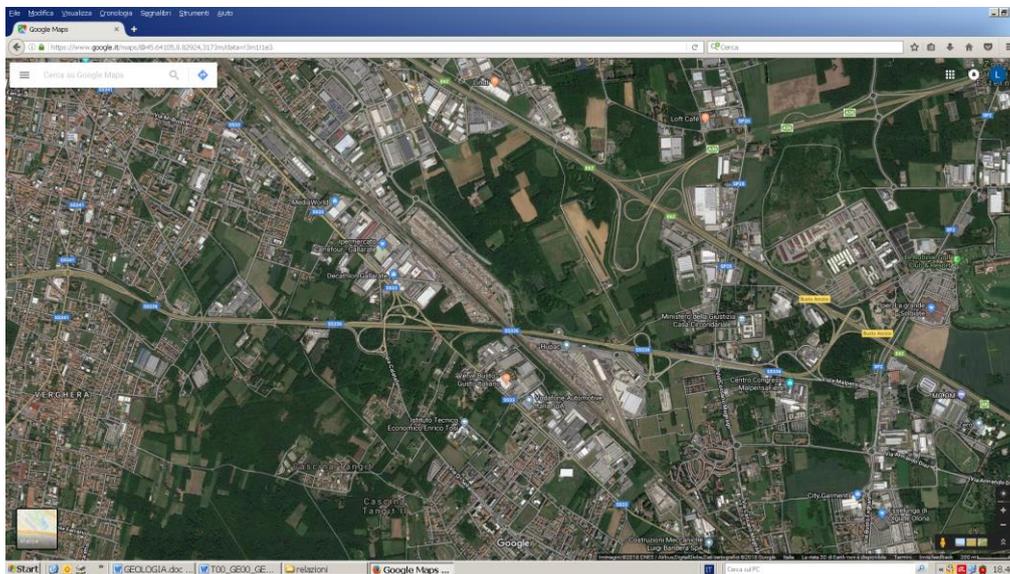


Fig.2 – Vista aerea della zona di intervento

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Per la redazione degli elaborati geologici si è fatto riferimento allo studio per il progetto definitivo, redatto nel dicembre 2014 dal geologo dott. Antonio Dematteis, del quale si riportano di seguito, condividendoli, ampi stralci. Detti studi sono stati integrati con i risultati delle nuove indagini geognostiche eseguite a fine 2018, a cura di ANAS S.p.A., dalla ditta TECNO IN S.p.A. con sede a San Donato Milanese (MI) Via Marcora, 52.

Gli studi svolti sono stati finalizzati ad identificare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto, evidenziando anche le criticità del tracciato.

In sede di progettazione definitiva il contesto geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico è stato ricostruito attraverso le seguenti azioni:

- ricerca bibliografica di tutti i dati disponibili sulle aree interessate dal progetto, mirata ad acquisire i dati più recenti sull'assetto geologico generale dell'area indagata;
- rilevamento geologico e geomorfologico;
- analisi fotogeologica in stereoscopia;
- analisi dei risultati delle campagne di indagini geognostiche;
- caratterizzazione idrogeologica dei litotipi affioranti mediante definizione dei complessi idrogeologici.

In questa sede sono stati riesaminati i documenti allegati al progetto definitivo, nonché altra documentazione reperita presso gli Enti territoriali (comuni) interessati dalle opere in progetto, e sono stati elaborati i risultati delle nuove indagini geognostiche svolte.

L'elaborazione dei dati ha permesso la stesura della presente relazione geologica ed idrogeologica generale e dei seguenti elaborati :

- carta geologica con elementi di geomorfologia, scala 1:5.000
- carta idrogeologica, scala 1:5.000
- profilo geologico longitudinale, alla scala 1:2.000/200

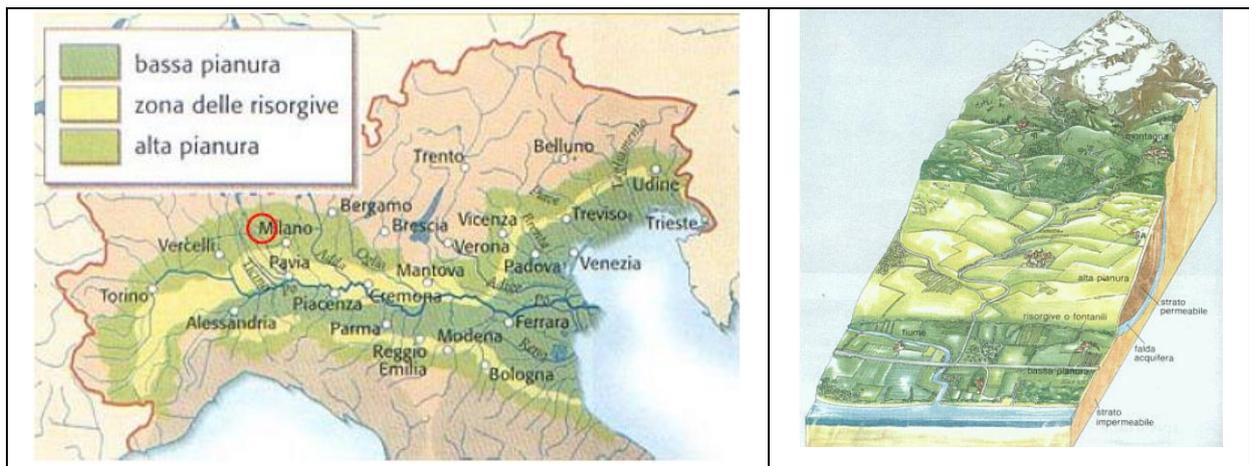
Il tronco stradale in progetto ricade all'interno della porzione settentrionale dell'alta Pianura Padana lombarda. Quest'ultima è costituita da una successione plio-quadernaria di sedimenti di ambiente marino e continentale, con spessori dell'ordine delle migliaia di metri, che ricoprono in discordanza un substrato deformato, costituito da rocce carbonatiche e terrigene di età mesozoica e eocenica e da depositi oligo-miocenici.

La Pianura Padana comincia a delinarsi alla fine del Pliocene quando nel braccio di mare Adriatico, che allora si estendeva sino ai piedi delle Alpi occidentali, cominciarono ad accumularsi, su un complesso prevalentemente costituito da argille di ambiente marino, sedimenti provenienti dalle catene di neoformazione trasportati dai fiumi. A partire dal Pleistocene e durante tutto il Quaternario, l'area è stata interessata da fenomeni di sollevamento che hanno comportato il passaggio da condizioni di ambiente marino ad ambiente continentale e la deposizione di sedimenti sempre più grossolani. Le fasi di espansione e regressione dei ghiacciai succedutesi in età quaternaria hanno determinato la formazione di depositi morenici nella parte alta della pianura padana e fluvio-glaciali nella sua parte centrale. Durante le fasi di espansione, i ghiacciai hanno originato le grandi cerchie moreniche che man mano si sono accumulate ai piedi dei rilievi prealpini; nelle fasi di ritiro, i corsi d'acqua hanno invece eroso buona parte di questi accumuli, trasportando a valle grandi

quantità di materiale a granulometria molto variabile, colmando progressivamente il bacino padano-adriatico. Ad ogni stadio interglaciale, la forza erosiva dei corsi d'acqua ha causato l'incisione e la rimozione dei sedimenti fluviali più antichi con la conseguente formazione di sistemi di terrazzi.

Da un punto di vista geomorfologico, la Pianura Padana lombarda può essere suddivisa in tre settori:

- il primo settore corrisponde all'alta pianura, caratterizzata dalla presenza di più ordini di terrazzi costituiti da depositi fluvio-glaciali e alluvionali, generati dall'azione erosiva e di deposito operata dai corsi d'acqua che fuoriuscivano dalle lingue glaciali;



**Fig.3 - Schema della suddivisione in fasce della Pianura Padana:**

In rosso la posizione indicativa dell'area di progetto.

- il settore di media pianura, compreso tra la linea superiore e quella inferiore dei fontanili (o risorgive), si sviluppa secondo un piano debolmente inclinato verso sud ed è costituito da depositi fluvio-glaciali e alluvionali recenti;
- il terzo settore, infine, è quello della bassa pianura, che si trova a sud della linea inferiore dei fontanili; esso è costituito da alluvioni fini ed è caratterizzato da una morfologia piatta ed uniforme.

L'area in oggetto ricade nel Foglio 44 "Novara" della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000, a metà dell'allineamento Gallarate-Busto Arsizio, ed è caratterizzata dalla presenza in affioramento di depositi quaternari, principalmente di età Pleistocenica, costituiti da alluvioni fluvio-glaciali ghiaiose (fg<sup>w</sup> - Wurm-Riss), localmente molto grossolane, con paleosuolo argilloso giallo-rossiccio di ridotta potenza. Localmente affiorano litotipi di età Olocenica costituiti da depositi eolici fini di colore giallastro (Loess - lo).

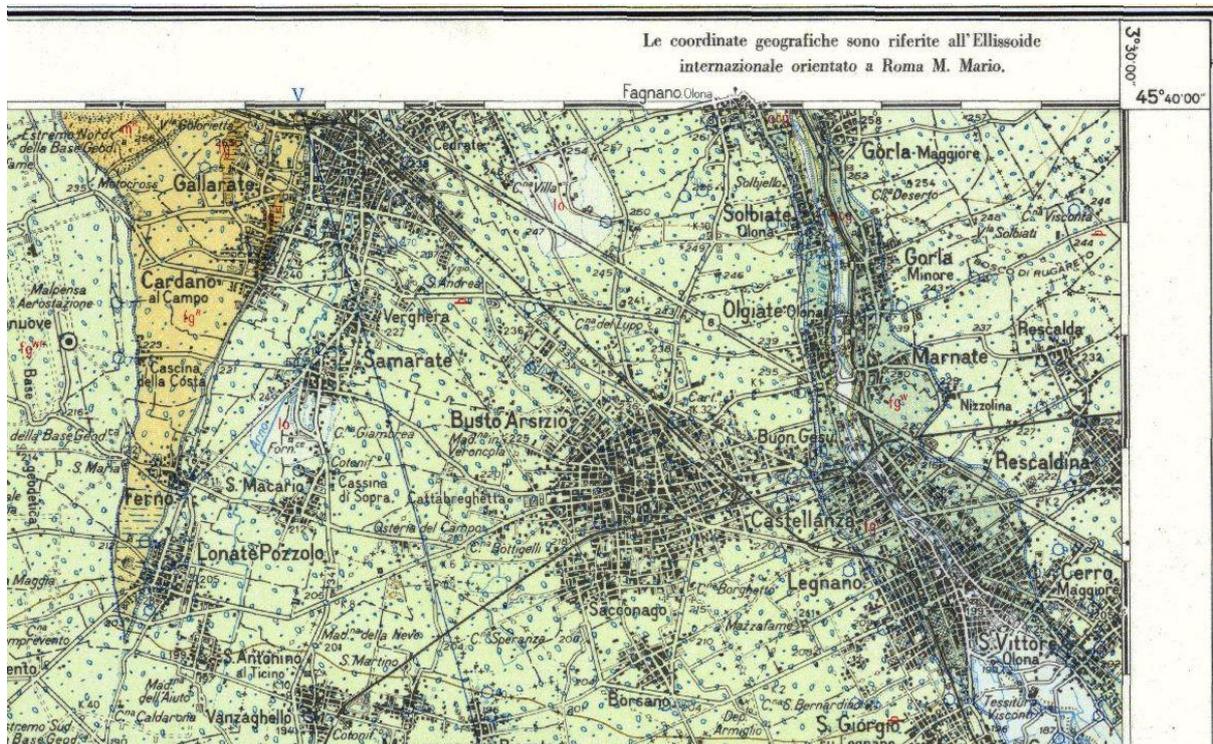


Fig.4.1 – Stralcio della Carta geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 44 "Novara"

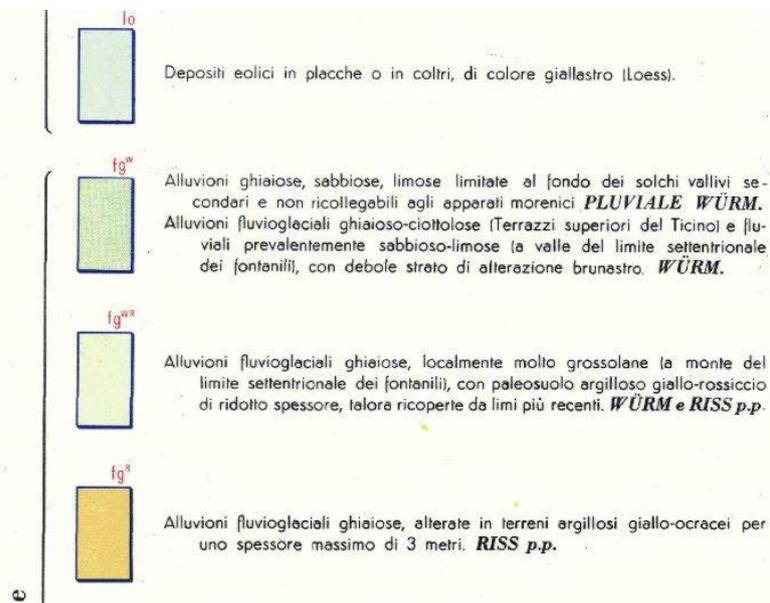
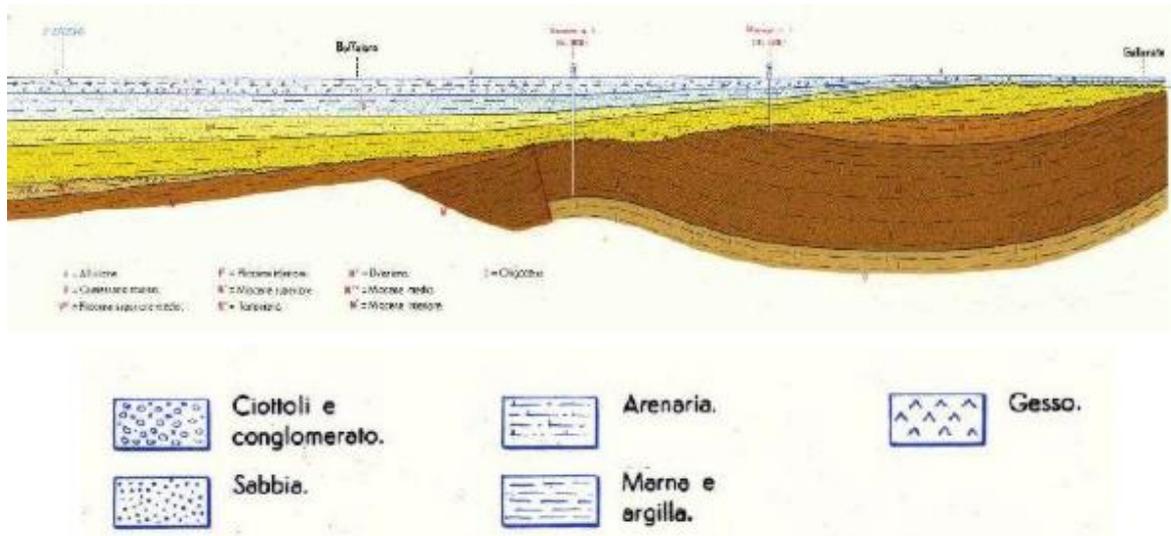


Fig.4.2 – Legenda della Carta geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 44 "Novara"



**Fig.5 - Sezione geologica V**  
(estratta dalla Carta geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 44 Novara)

## 5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il settore di progetto è collocato in un contesto di media pianura caratterizzata da morfologie legate a deposizione fluvio-glaciale e fluviale di età quaternaria. L'assetto morfologico del territorio risulta omogeneo, essendo costituito principalmente dall'estesa piana fluvio-glaciale che si è formata nel Pleistocene medio-superiore durante il ritiro del Ghiacciaio del Verbano. Il territorio sub pianeggiante è caratterizzato da scarse evidenze morfologiche, anche per l'assenza di un reticolo idrografico particolarmente sviluppato, rappresentate da lievi ondulazioni e superfici rilevate di origine antropica (rilevati stradali, argini, ecc). Le pendenze degradano dolcemente da Nord verso Sud; la quota massima, di circa 250 m s.l.m., viene raggiunta all'altezza dello svincolo sull'autostrada A8, mentre in prossimità dell'abitato di Vanzaghello si raggiungono quote minime di circa 200 m s.l.m., con un gradiente medio attorno allo 0,6%.

In conclusione, i processi di modellamento dell'area in esame sono principalmente legati all'attività antropica. Le dinamiche naturali (reticolo idrografico) sono marginali e pertanto si è ritenuto di integrare le informazioni relative alla geomorfologia nella Carta Geologica con elementi di Geomorfologia (L0203D.1301.P00.GE00.GEO.CG.01.A).

### 5.1 RETICOLO IDROGRAFICO

L'area di interesse è ubicata nella parte meridionale della provincia di Varese; dal punto di vista idrografico, gli elementi più significativi sono rappresentati dai torrenti Arno, Rile e Tenore. Detti torrenti si sviluppano nella parte meridionale della provincia di Varese e costituiscono la struttura principale della rete idrica superficiale del territorio compreso fra l'anfiteatro morenico del lago di Varese a Nord, il torrente Strona ed il fiume Ticino a Ovest, il canale Villosesi a Sud ed il fiume Olona ad Est.

L'idrografia dei tre torrenti, nella zona montuoso-collinare all'esterno dell'area di progetto, presenta un reticolo idrografico ben sviluppato caratterizzato da numerosi fossi affluenti di limitata estensione e portate ridotte durante i periodi asciutti, derivanti soprattutto da scarichi

fognari civili ed industriali. Al contrario nei periodi piovosi le portate aumentano notevolmente sia per gli afflussi provenienti dal bacino idrografico vero e proprio, sia per l'entrata in funzione degli sfioratori disposti sulle reti fognarie comunali.

Quando i torrenti abbandonano la zona collinare e sboccano in pianura, ovvero nell'area di progetto, non è possibile individuare alcun bacino idrografico per l'assenza di qualsiasi reticolo. I torrenti si presentano con una sola asta fluviale e per lunghi tratti i loro corsi sono stati regimati e canalizzati. Tutti e tre i torrenti non sfociano in un altro corso d'acqua principale, ma si esauriscono, nel caso del torrente Arno, nella pianura con assorbimento delle acque da parte del terreno, mentre le acque dei torrenti Rile e Tenore vengono portate in apposite vasche di accumulo e disperdimento localizzate nella parte meridionale del territorio di Cassano Magnago. Le vasche (cfr. fig.6) sono a loro volta collegate al fiume Olona mediante condotte artificiali di circa 6 Km di lunghezza.

Il tracciato in progetto interferisce con la fascia B di progetto dei torrenti Rile e Tenore in corrispondenza delle vasche di spagliamento ove è prevista la realizzazione della Bretella di Gallarate – Svincolo A8/Pedemontana. Il torrente Arno, invece, si trova sempre ad una distanza media di circa 1 Km dall'asse dell'infrastruttura in oggetto.



**Fig.6 - Immagine aerea delle vasche di spagliamento dei torrenti Rile e Tenore.**

## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il modello geologico di riferimento, ricostruito dal dott.A. Dematteis e descritto nella presente relazione, si basa principalmente sui dati geologici, geomorfologici ed idrogeologici acquisiti mediante indagini e rilevamenti sul terreno condotti in fase di progetto definitivo (e verificati dallo scrivente in questa sede sulla scorta dei risultati delle nuove indagini svolte) e su dati preesistenti provenienti da studi non finalizzati alla realizzazione dell'infrastruttura in oggetto.

Detto modello è stato poi confermato dalle indagini geognostiche effettuate nel 2018 e nel 2019 per l'arteria in progetto.

In sintesi, i dati considerati provengono dalle seguenti fonti:

- Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, Foglio 44 "Novara": Note illustrative;
- Volo aereo 1987-88 in bianco e nero con fotogrammi in scala media 1:30000;
- Volo aereo realizzato appositamente in fase di progettazione Definitiva (2010);
- Documentazione del Progetto preliminare (2003) "Nuova SS341 Gallaratese, tratto da Samarate a confine con la provincia di Novara";
- Documentazione del Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Busto Arsizio (1992/93);
- Documentazione del Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Gallarate (2010);
- Documentazione del Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Cassano Magnago (2006 - 2007).

L'ubicazione di tutte le indagini geognostiche e geofisiche disponibili è mostrata nello specifico elaborato "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche" in scala 1:2000 (P00.GE00.GEO.PU.01 e PU.02).

### 6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE PER IL PROGETTO STRADALE

#### 6.1.1 Campagna di indagini 2010

La campagna di indagini geognostiche 2010 è stata così articolata:

- n.6 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo, di profondità compresa tra 25 e 50 m, per la definizione dell'assetto lito-stratigrafico lungo il tracciato;
- n.4 piezometri a tubo aperto, installati in quattro dei fori di sondaggio, per il controllo del livello piezometrico e della sua eventuale interferenza con le opere in progetto;
- n.2 prospezioni sismiche in foro (down-hole) in due dei sei sondaggi, attrezzati con tubo in PVC cementato, per la definizione della velocità delle onde sismiche ( $V_{s30}$ ) e la classificazione del terreno dal punto di vista sismico;
- prove penetrometriche dinamiche SPT, eseguite in tutti i fori di sondaggio, sistematicamente ogni 1,5 metri;
- prove pressiometriche tipo Menard, eseguite in alcuni fori di sondaggio;
- prove di assorbimento d'acqua, tipo Lefranc, per valutare la permeabilità dei terreni.

Inoltre, trattandosi di litotipi perlopiù grossolani, all'interno di ogni sondaggio sono stati raccolti alcuni campioni rimaneggiati su cui sono state effettuate le usuali prove geotecniche di laboratorio per la verifica delle caratteristiche fisiche e di resistenza dei terreni.

La campagna di indagini è stata completata con la realizzazione di due pozzetti esplorativi spinti sino a circa tre metri dal piano campagna. All'interno di ciascun pozzetto è stata realizzata una prova di carico su piastra per la definizione della capacità portante dei terreni di appoggio.

Nella tabella 1.1 seguente sono sintetizzate tutte le indagini svolte nel 2010.

	Codice indagine	sondaggi					Prove in sito				Prove di laboratorio			
		profondità	piezometro	Down-hoe	C.R.	C.I.	SCPT	pressiometro	Carico su piastra	Permeabilità lefranc	Caratt. generali	granulometri	sedimentazione	edometrica
Sondaggi a carotaggio continuo	Sc-5-PD	25	1		5		16	1			5	5	3	
	Sc-6-PD	40	1		8		20			8	8	5	1	
	Sc-7-PD	50		1	5	1	20			2	5	5		
	Sc-8-PD	50	1		5	2	20	1			3	3	2	1
	Sc-9-PD	50		1	5	2	20	1		2	3	3		
	Sc-10-PD	50	1		6		20	1			3	3	2	1
Pozzetti geognostici	Pz-3-PD	3			1				1		1	1		
	Pz-5-PD	3			1				1		1	1		

**Tabella 1.1 – Tabella riassuntiva indagini 2010**

### 6.1.2 Campagna di indagini 2018

La campagna di indagini geognostiche 2018 è stata così articolata:

- n. 6 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica con esecuzione di prove SPT in foro e prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico; di tali perforazioni n. 2 perfori sono stati condizionati con piezometri a tubo aperto e n. 4 con tubazione per l'esecuzione di prove down-hole;
- n. 35 prove penetrometriche SPT;
- n. 23 prelievi di campioni rimaneggiati e n. 1 prelievo di campione indisturbato da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");
- n. 1 prova di permeabilità Lefranc;
- n. 16 prelievi di campioni rimaneggiati prelevati dai pozzetti esplorativi, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");
- n. 8 pozzetti esplorativi spinti alla profondità max di 2.0 m dal p.c.;
- n. 7 prove di carico su piastra in corrispondenza dei pozzetti esplorativi.

Sono state realizzate inoltre:

- n. 4 prove simiche in foro down-hole;
- n. 2 prove sismiche di superficie M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Nella tabella 1.2 seguente sono sintetizzate tutte le indagini svolte nel 2018.

	Codice indagine	sondaggi					Prove in sito			Prove di laboratorio				
		profondità	piezometro	Down-hoe	C.R.	C.I.	SPT	Carico su piastra	Permeabilità lefranc	Caratt. generali	granulometri	sedimentazione	Resistenza meccanica	edometrica
Sondaggi a carotaggio continuo	SE-03-DH	35		1	4		6			4	4	4		
	SE-04-PZ	25	1		4		5		1	4	4	4		
	SE-05-DH	35		1	4		5			4	4	4		
	SE-06-DH	35		1	3		5			3	3	3		
	SE-07-PZ	25	1		3	1	4			4	4	4	1	
	SE-08-DH	35		1	5		10			5	5	5		
Pozzetti geognostici	Pz-E-02	2			2			1		2	2			
	Pz-E-03	2			2			1		2	2			
	Pz-E-04	2			1			---		1	1			
	Pz-E-05	2			2			1		2	2			
	Pz-E-06	2			2			1		2	2			
	Pz-E-07	2			1			1		1				
	Pz-E-08	2			2			1		2	2			
	Pz-E-09	2		1	2			1		2	2			

Tab.1.2 – Tabella riassuntiva indagini 2018

### 6.1.3 Campagna di indagini 2019

La campagna di indagini geognostiche 2019 è stata così articolata:

- n. 4 sondaggi geognostici verticali di cui 3 a carotaggio continuo ed 1 a distruzione di nucleo finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, con esecuzione di prove SPT in foro e prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico; di tali perforazioni, due perfori sono stati condizionati con piezometri a tubo aperto e due con tubazione per l'esecuzione di prove down-hole;
- n. 14 prove penetrometriche SPT;
- n. 7 prelievi di campioni rimaneggiati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");
- n. 2 prove simiche in foro down-hole;
- n. 1 prova sismica di superficie M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Nella tabella 1.3 seguente sono sintetizzate le indagini integrative svolte nel 2019.

Codice indagine	sondaggi					Prove in sito			Prove di laboratorio				
	profondità	piezometro	Down-hoe	C.R.	C.I.	SPT	Carico su piastra	Permeabilità lefranc	Caratt. generali	granulometri	sedimentazione	Resistenza meccanica	edometrica
SEi-01-DH	35		1	2		4			2	2			
SEi-02-PZ	30	1		3		5			3	3			
SEi-09-DH	35		1	2		5			2	2			
SEi-10-PZ	35	1											

## 6.2 DATI PREESISTENTI UTILIZZATI PER LA REDAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

In sede di progettazione definitiva, per la redazione del modello geologico di riferimento sono stati inoltre presi in considerazione i dati disponibili (stratigrafie di pozzi e sondaggi geognostici con relative prove in foro, prove penetrometriche) provenienti principalmente dalla documentazione dei Piani di Governo del Territorio dei comuni interessati dal progetto.

Nella tabella seguente sono elencate il numero di indagini, suddivise per tipologia e per comune di appartenenza, ricadenti nel corridoio di progetto, prese in considerazione dal geologo dott.A.Dematteis per la redazione del modello geologico di riferimento.

Comune	Schede pozzi	Schede sondaggi	Prove penetrometriche
Gallarate		11	4
Cassano Maggago	4		
Busto Arsizio	2		

**Tabella 2 – Altre indagini disponibili**

## 6.3 RILEVAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il rilievo geologico diretto della zona interessata dal tracciato risulta praticamente impossibile, essendo il territorio fortemente antropizzato, per cui mancano affioramenti diretti dei terreni. Pertanto, sia in fase di progetto definitivo che in questa sede, l'interpretazione è affidata ai soli dati provenienti dalle indagini disponibili.

Sulla scorta dei dati stratigrafici è stato ricostruito il profilo geologico in asse strada (cfr. All. P00.GE00.GEO.FP.01/02). Da quest'ultimo, integrato con i dati geotecnici restituiti dalle prove geotecniche in sito e in laboratorio, è stato ricavato il profilo geotecnico (cfr. All. T00.GE00.GET.FP.01/02). Le misure piezometriche ed i risultati delle prove di assorbimento hanno consentito di ricostruire l'idrogeologia della zona (cfr. Carta Idrogeologica in scala 1:2000, All. P00.GE00.GEO.CI.01/02).

## 6.4 AGGRESSIVITÀ CHIMICA DELLE ACQUE E DEL TERRENO

In sede di progetto definitivo è stata anche condotta una ricerca bibliografica al fine di definire l'eventuale aggressività chimica delle acque e dei terreni nei confronti del calcestruzzo. La classe di esposizione all'attacco chimico è stata definita sulla base della norma UNI EN 206-1 2006, che si applica al calcestruzzo per strutture gettate in sito, strutture prefabbricate e componenti strutturali prefabbricati per edifici e strutture di ingegneria civile. Gli ambienti chimicamente aggressivi sono classificati sulla base dei parametri definiti nella tabella seguente:

	GRADO DI ATTACCO		
	XA1 (debole)	XA2 (moderato)	XA3 (forte)
Agente aggressivo nelle acque			
pH	6.5-5.5	5.5-4.5	4.5-4.0
CO2 aggressiva mg/l	15-30	30-60	60-100
Ioni ammonio NH4 <sup>+</sup> mg/l	15-30	30-60	60-100
Ioni magnesio Mg <sup>++</sup> mg/l	100-300	300-1500	1500-3000
Ioni solfato SO4 <sup>--</sup> mg/l	200-600	600-3000	3000-6000
Agente aggressivo nel terreno			
Ione solfato SO4 <sup>--</sup> mg/kg	2000-6000	6000-12000	> 12000

**Tabella 3 - Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno (UNI EN 206-1 2006).**

Sulla base dei dati disponibili presso l'ARPA della Lombardia (Resoconto dei dati ambientali – Rapporto sullo stato dell'Ambiente in Lombardia 2008-2009), nell'area oggetto di studio non si evidenzia la presenza di agenti aggressivi per il calcestruzzo nelle acque e nei terreni attraversati.

### 6.5 FOTINTERPRETAZIONE

Infine, in sede di progetto definitivo, è stato anche condotto lo studio fotogeologico della zona in esame, mediante l'analisi in stereoscopia di fotogrammi di recente acquisizione prodotti dalla società Sistemi Cartografici S.a.s di Roma nel 2010 e di altre foto aeree a più ampia scala relative all'area di progetto (Volo aereo 1987-88 in bianco e nero con fotogrammi in scala media 1:30.000). Lo studio è stato finalizzato alla caratterizzazione geomorfologica e in particolare alla delimitazione delle aree a rischio inondazione e/o interessate da eventuali dissesti gravitativi.

## 7. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (D.L.180/98) denominato "Carta Inventario dei Centri Abitati Instabili, in scala 1:10.000", realizzata dall'Autorità di Bacino della Regione Lombardia, è finalizzato alla valutazione del rischio di frana ed alluvione. Esso definisce quattro livelli di rischio (cfr. tabella allegata), inteso come "l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso". Nella tabella 4 seguente sono riportati i quattro livelli di rischio catalogati secondo le usuali classifiche tecniche.

Sia la valutazione che la mitigazione del rischio richiedono quindi l'acquisizione di informazioni territoriali sui caratteri geologico-ambientali e su quelli socio-economici dell'area in esame.

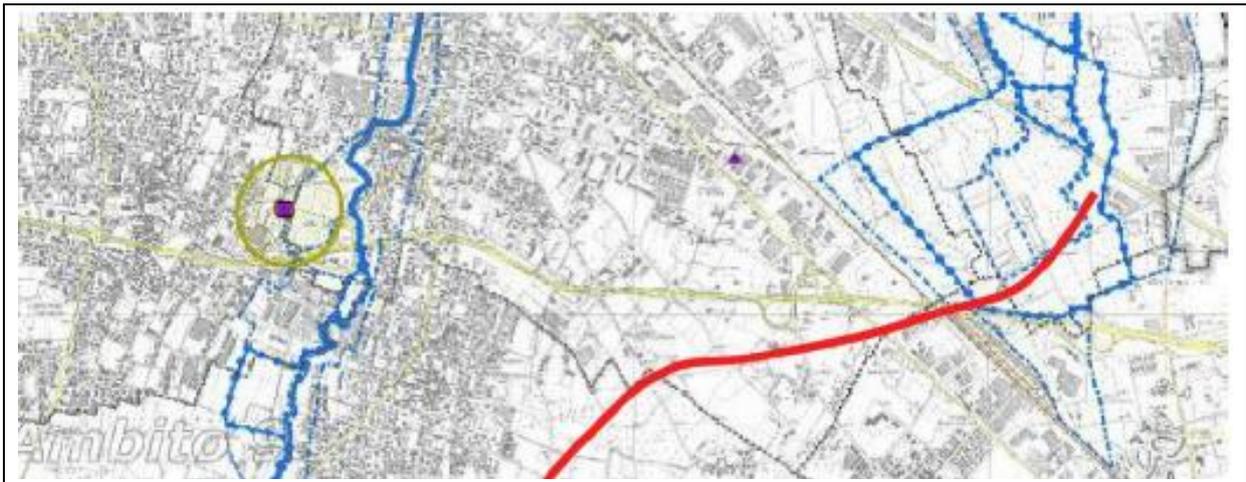
classe di rischio	
moderato R1	i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali
medio R2	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
elevato R3	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
molto elevato R4	sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche

**Tabella 4 – PAI Lombardia - Classi di rischio**

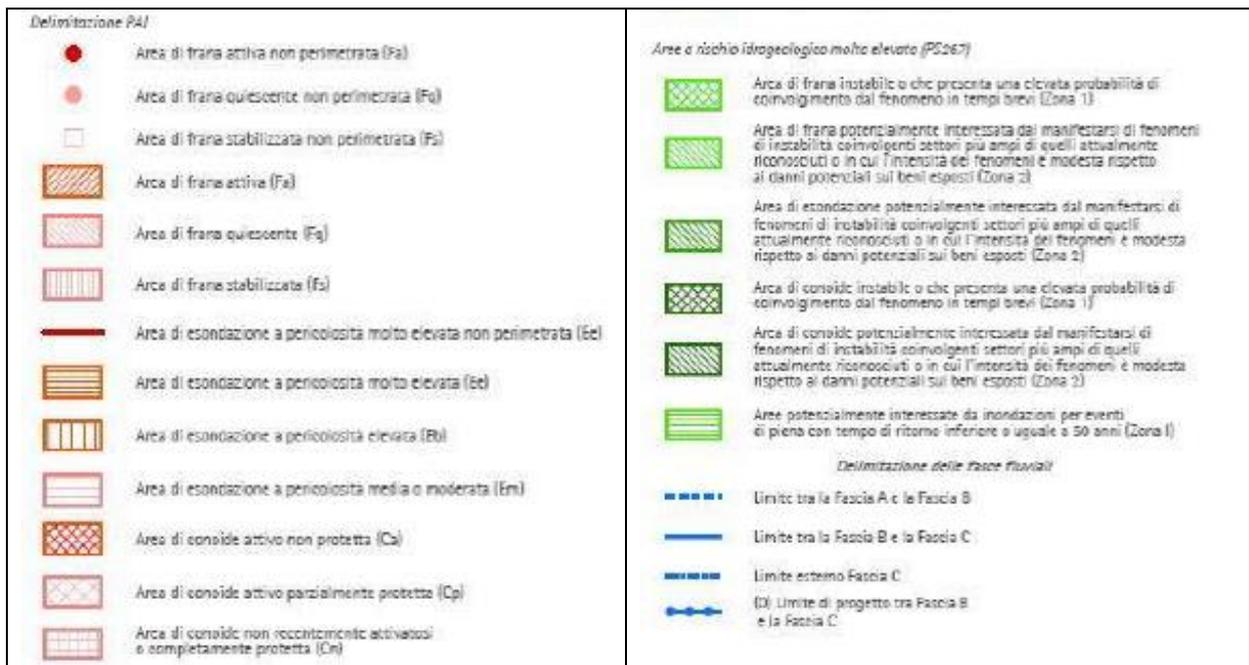
Di seguito si riportano i dati cartografici del PAI per il rischio frana e per il rischio idraulico, relativi all'area in esame.

### 7.1 RISCHIO CORRELATO A MOVIMENTI FRANOSI

L'area attraversata dal nuovo asse stradale è caratterizzata da una morfologia pianeggiante priva di rilievi significativi; le pendenze degradano dolcemente da Nord a Sud con un gradiente medio attorno allo 0,6%. Le caratteristiche geomorfologiche emerse dall'analisi stereoscopica delle foto aeree e il quadro altimetrico del settore non si prestano allo sviluppo di fenomeni gravitativi. A conferma di ciò, la cartografia del PAI non mostra alcun dissesto che interessi direttamente il tratto stradale in progetto (Figura 7). Dalla carta si osserva che nell'area di progetto e nei settori limitrofi non sono state individuate aree in dissesto né aree a rischio idrogeologico.



**Fig.7.1 - Estratto della Carta del Rischio geomorfologico della provincia di Varese (1:25.000) – Planimetria (in rosso la posizione indicativa dell'asse principale del tracciato in progetto).**



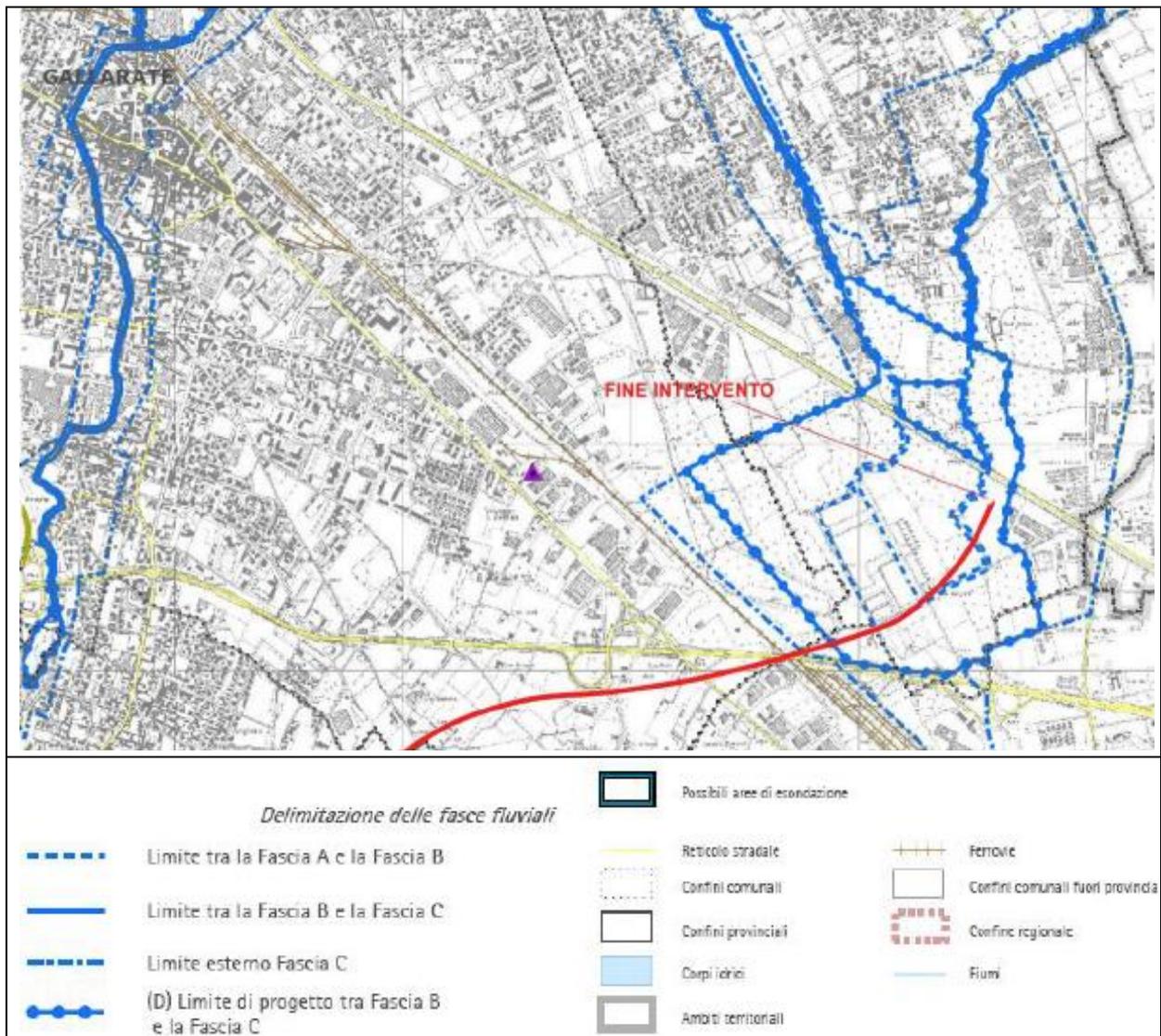
**Fig.7.2 - Estratto della Carta del Rischio della provincia di Varese (1:25.000) - Legenda**

## 7.2 RISCHIO IDRAULICO

L'individuazione delle aree a rischio idraulico operata nel PAI si basa sulla stima della portata di piena prevedibile in un determinato tratto di corso d'acqua. I valori delle portate di piena, caratterizzate da un determinato tempo di ritorno, sono di norma dedotte sulla base di valutazioni idrologiche qualitative ed elaborazioni statistiche di dati idrometrici storici. La perimetrazione delle aree a rischio è il prodotto della sovrapposizione delle carte delle aree inondabili, distinte in base ai tempi di ritorno degli eventi di piena all'origine del fenomeno, e delle corografie delle aree abitate, delle attività antropiche e del patrimonio ambientale. Attraverso questo procedimento sono state individuate diverse classi di rischio e zone di

attenzione per le quali sono necessarie misure di prevenzione o interventi di mitigazione del rischio stesso.

Nella cartografia del PAI riportata di seguito si osserva che il tracciato di progetto attraversa una zona a rischio idraulico nel comune di Cassano Magnago, dove il tracciato interferisce con le vasche di spagliamento dei torrenti Rile e Tenore (cfr. fig.8), indicativamente tra la progressiva 7+900 e fine intervento.



**Fig.8 - Estratto della Carta del Rischio idraulico della provincia di Varese (1:25.000)**  
(in rosso la posizione indicativa dell'asse principale del tracciato in progetto.)

## 8. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SETTORE DI STUDIO

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi realizzati durante le tre campagne di indagini (2010, 2018 e 2019) e gli altri elementi raccolti hanno permesso, a partire dalle conoscenze generali lito-stratigrafiche, di produrre una cartografia geologica sufficientemente dettagliata per le esigenze progettuali.

La cartografia comprende la Carta Geologica in scala 1:5000 e 1:2000 (P00.GE00.GEO.CG.01/02/03), relativa ad una fascia di territorio a cavallo dell'asse stradale in progetto di larghezza adeguata al livello di progettazione, ed il profilo geologico in asse, alla scala 1:2000/1:200 (T00.GE00.GET.FP.01/02). Nella Carta Geologica non è stato possibile distinguere le differenti litofacies; sono stati pertanto accorpati in un'unica unità i depositi di origine fluvio-glaciale di età Pleistocene medio-superiore (Fluvioglaciale Wurm-Riss; fg<sup>WR</sup>), costituiti da ghiaie a prevalente supporto di matrice sabbiosa, con contenuti ridotti in argilla e limo, organizzate più o meno grossolanamente in livelli a diversa granulometria. Sono presenti strutture sedimentarie indicanti un ambiente di deposizione fluvio-glaciale ad energia medio-alta. I clasti sono poligenici, eterometrici da arrotondati a sub arrotondati, localmente alterati. La pedogenesi generalmente è limitata ai primissimi metri di profondità.

Concordemente a quanto riportato nella documentazione ufficiale del Servizio Geologico d'Italia e nella Carta Geologica con elementi di Geomorfologia del Progetto Preliminare, nella Carta Geologica sono stati distinti i depositi limoso-argillosi di età olocenica ed origine eolica (loess, Lo), segnalati in corrispondenza dell'abitato di Samarate e nella parte più settentrionale dell'area di progetto; tali depositi non saranno interessati direttamente dall'infrastruttura in progetto.

Dalla Carta Geologica emerge pertanto una notevole omogeneità litologica.

I sondaggi realizzati lungo il tracciato, con relative prove di laboratorio, e i dati preesistenti hanno permesso di realizzare un profilo geologico dettagliato in scala 1:2000/1:200 che riporta la distribuzione in profondità dei differenti litotipi distinti nell'area di studio.

In particolare, utilizzando anche altre informazioni di tipo più generale, è stato possibile ricostruire una sequenza stratigrafica caratterizzata dalla presenza, dal basso verso l'alto, di tre differenti unità

- Unità delle Argille (non attraversata dai sondaggi meccanici)
- Unità delle alternanze argille-ghiaie
- Unità delle ghiaie e sabbie.

### 8.1 UNITÀ DELLE ARGILLE

Si tratta di depositi fini di ambiente marino costituiti principalmente da argille limose, sabbie e limi argillosi di colore grigio-azzurro con rare intercalazioni di livelli ghiaiosi; essi occupano la posizione basale della successione stratigrafica dell'area studiata. Il limite superiore dell'unità ha andamento irregolare con culminazioni e depressioni dovute alla sua natura erosionale. I litotipi appartenenti a tale unità non sono stati incontrati dai sondaggi realizzati in fase di progettazione definitiva ed esecutiva, mentre sono stati raggiunti dai pozzi ad uso idropotabile realizzati nel corridoio di progetto. In particolare nel comune di Gallarate i dati disponibili indicano che l'unità delle argille prevalenti è presente a partire da profondità comprese tra circa 90 e 110 m (pozzi n.10.1, 10.2, 10.3, 10.4 e 16). I pozzi n.41 e

42 realizzati nel settore del viadotto Bretella di Gallarate, la cui profondità è rispettivamente di 97 e 100 m, non hanno incontrato il tetto delle argille.

I litotipi appartenenti a tale unità, dal momento che sono presenti a partire da oltre 90/100 m di profondità, non interagiscono con le opere in progetto e pertanto non sono stati rappresentati nei profili geologico e geotecnico.

## 8.2 UNITÀ DELLE ALTERNANZE ARGILLE-GHIAIE

Tale unità, riconosciuta a tetto dell'Unità delle Argille, è caratterizzata da alternanze di orizzonti a litologia argilloso-limosa con rara ghiaia (AG nel profilo geologico) e livelli a litologia ghiaioso-sabbiosa in matrice argillosa con locale presenza di torba (GA nel profilo geologico); l'ambiente deposizionale è di tipo transizionale. Lo spessore dell'unità varia in modo irregolare da un minimo di 10–25 m a un massimo di 170 m in relazione all'andamento del bordo erosionale del tetto dell'unità sottostante; nell'area di progetto la potenza di tale unità, determinabile a partire dalle stratigrafie dei pozzi presenti nell'intorno del corridoio di progetto, varia tra circa 50 e 100 m.

Tra i sondaggi realizzati in fase di progettazione definitiva, solamente i sondaggi Sc-7-PD, Sc-9-PD e Sc-10-PD hanno incontrato a fondo foro i terreni appartenenti all'Unità delle alternanze argille-ghiaie.

In particolare il sondaggio Sc-7-PD ha incontrato, a partire da 46,4 metri di profondità, un livello di limo sabbioso compatto di colore nocciola con screziature verdastre o giallastre inglobante rara ghiaia (AG), passante, da quota 48,2 m, a un livello costituito da ghiaia fine e media (GA) in matrice limoso-argilloso-sabbiosa di colore nocciola (Foto 1a).



**Foto 1/a – Fotografia delle cassette del sondaggio Sc-7-PD**  
 realizzato in fase di progettazione definitiva (cassetta n.10 da 45 a 50 m)

Nel sondaggio Sc-9-PD l'Unità delle alternanze argille-ghiaie è stata incontrata a partire da 48 metri di profondità; si tratta di un orizzonte costituito da sabbia limosa di colore nocciola grigiastro con ghiaia fine e passaggi di limo argilloso giallastro e marrone (AG - Foto 2b).



**Foto 2/b – Fotografia delle cassette del sondaggio Sc-9-PD**  
realizzato in fase di progettazione definitiva (cassetta n.10 da 45 a 50 m)

Il sondaggio Sc-10-PD ha incontrato a fondo foro (da 49,3 m di profondità) un livello di limo sabbioso di colore nocciola rossastro compatto inglobante ghiaia alterata (AG - Foto 3c) che si ritiene possa rappresentare il tetto dell'Unità delle alternanze argille-ghiaie.



**Foto 3/c – Fotografia delle cassette del sondaggio Sc-10-PD**  
realizzato in fase di progettazione definitiva (cassetta n.10 da 45 a 50 m)

L'andamento del tetto dell'unità delle alternanze argille-ghiaie, sulla base delle stratigrafie dei pozzi e dei sondaggi disponibili, risulta più regolare rispetto all'unità sottostante; infatti nel settore compreso tra lo svincolo A8/Pedemontana e lo svincolo Samarate Centro i depositi appartenenti a quest'unità sono stati incontrati a partire da profondità comprese tra 42 e 48 m circa.

I litotipi appartenenti a tale unità non saranno interessati direttamente dalla realizzazione dell'opera in progetto.

### 8.3 UNITÀ DELLE GHIAIE E SABBIE

I litotipi appartenenti a questa unità sono presenti con continuità in tutta la fascia interessata dall'asse stradale e costituiscono i terreni di appoggio delle fondazioni delle opere d'arte previste nel progetto dell'infrastruttura in esame. Tali depositi presentano una potenza variabile tra 40 e 60 metri circa, valutata a partire delle stratigrafie disponibili di pozzi e sondaggi.

Si tratta di depositi di origine continentale di ambiente fluviale/fluvio-glaciale costituiti prevalentemente da ghiaie in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa e sabbie ghiaioso-limose

con ridotto contenuto in argilla. Nei primi metri da piano campagna (6-7 m) tali litotipi sono caratterizzati da un maggior grado di alterazione (ciottoli parzialmente alterati e sfatti) e minor grado di addensamento (processi pedogenetici). Nel profilo geologico sono stati distinti all'interno di tale unità tre litotipi principali in funzione delle loro caratteristiche granulometriche ricavate dalle analisi di laboratorio; i litotipi distinti presentano buona continuità laterale e si trovano in contatto laterale per eteropia di facies:

- Il litotipo predominante (GCS nel profilo geologico) è costituito da ghiaie eterometriche, poligeniche, sub arrotondate con ridotto contenuto in ciottoli e blocchi; la matrice è generalmente abbondante (struttura matrix supported), costituita da sabbia medio grossolana e subordinati limo e argilla (mediamente attorno al 10-15%) di colore da nocciola a nocciola rossastro. Tali depositi costituiscono dei livelli presenti lungo tutto il tracciato di progetto, caratterizzati da buona continuità laterale e potenza variabile da alcuni metri ad alcune decine di metri; tali litotipi sono presenti a differenti profondità e si trovano in rapporto eteropico con i livelli prevalentemente sabbiosi (SG).

- Il litotipo subordinato (SG nel profilo geologico), che localmente può risultare predominante, è costituito da sabbie grosse e medie limose di colore da nocciola chiaro a rossastro, con ghiaia e subordinati ciottoli (mediamente circa 25%), debolmente argillose (mediamente 5-6%). Le sabbie costituiscono degli orizzonti presenti lungo tutto il tracciato dell'opera caratterizzati da buona continuità laterale e potenza variabile da pochi metri a oltre 30 metri (sondaggio Sc-10- PD). Le sabbie con ghiaia sono presenti generalmente a profondità superiori a 7-10 m.

- Sulla base dell'analisi delle stratigrafie dei pozzi ad uso idropotabile presenti nei dintorni del corridoio di progetto (in particolare pozzo PZ8 del comune di Samarate), nel profilo geologico sono stati distinti alcuni orizzonti costituiti da ghiaia eterometrica, poligenica, con ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa-argillosa (GSA nel profilo geologico). Tali ghiaie in matrice sabbioso-argillosa sarebbero in continuità laterale con le ghiaie sabbiose e presenti a partire da profondità superiori ai 30 metri. I sondaggi realizzati per la progettazione definitiva non hanno incontrato tali litotipi che non interagiscono direttamente con le opere in progetto.

## 9. ASSETTO IDROGEOLOGICO

Si riporta di seguito la schematizzazione del sottosuolo in complessi idrogeologici, gli impatti idrogeologici dell'opera, nonché il modello idrogeologico di riferimento, deducibile sulla base delle caratteristiche litologiche (desunte dalle stratigrafie dei pozzi e dei sondaggi disponibili), sulla base dei risultati delle prove di permeabilità (realizzate per il progetto definitivo ed esecutivo), e sulla base dell'interpretazione dei dati piezometrici. Il tutto è presentato graficamente nella Carta Idrogeologica (P00.GE00.GEO.CI.01/02) alla scala 1:2.000.

Nell'area di studio si possono distinguere nel sottosuolo tre principali unità idrogeologiche, distinguibili per la loro omogeneità di costituzione (granulometria) e di continuità orizzontale e verticale, corrispondenti alle tre principali unità litotecniche distinte e descritte in dettaglio nel capitolo precedente.

Dal basso verso l'alto sono distinguibili le seguenti unità idrogeologiche:

- Unità delle Argille;
- Unità delle alternanze argille-ghiaie;
- Unità delle ghiaie e sabbie.

### 9.1 UNITÀ DELLE ARGILLE

È costituita prevalentemente da depositi di ambiente marino: argille grigio-azzurre, spesso fossilifere, con sabbie argillose, limi e rare intercalazioni ghiaioso-sabbiose (cfr.par. 8.1).

L'unità può essere considerata la base impermeabile delle strutture acquifere significative, mentre le lenti e le intercalazioni più grossolane possono essere sede di falde di tipo confinato. I sondaggi realizzati in sede di progetto definitivo non hanno mai raggiunto i litotipi appartenenti a tale unità, pertanto non sono disponibili dati relativi alla permeabilità di questi terreni i quali tuttavia non saranno interessati dalla realizzazione dell'infrastruttura in progetto. Sulla base della comparazione con ambienti aventi caratteristiche simili, è possibile attribuire a tale unità un grado di permeabilità variabile da basso a molto basso.

### 9.2 UNITÀ DELLE ALTERNANZE ARGILLE-GHIAIE

È caratterizzata da alternanze di strati argilloso-limosi e ghiaioso-sabbiosi con locale presenza di torba; l'ambiente deposizionale è di tipo transizionale (cfr. par. 8.2). È sede di acquiferi confinati captati per uso idropotabile, la cui vulnerabilità è limitata dalla presenza al tetto di strati argillosi (AG) di spessore variabile, caratterizzati da discreta continuità laterale. Il tetto di tale unità si localizza a profondità superiori a circa 45 m; solo nel settore più settentrionale del tracciato i sondaggi effettuati hanno incontrato a fondo foro litotipi attribuibili a tale Unità. Non sono state realizzate prove di permeabilità all'interno di questi depositi i quali, data la profondità a cui si trovano, non interagiranno direttamente con l'opera in progetto. Per i livelli acquiferi presenti in tale unità si stima un grado di permeabilità medio/alto, mentre i livelli argilloso-limosi sono da considerarsi impermeabili.

### 9.3 UNITÀ DELLE GHIAIE E SABBIE

I litotipi appartenenti a tale unità affiorano con continuità lungo tutto il tracciato e presentano una potenza variabile tra circa 45 e 100 m. Questa unità è sede dell'acquifero

libero superficiale utilizzato dai pozzi pubblici di captazione di vecchia realizzazione e da pozzi privati. Essa è costituita da depositi di origine continentale rappresentati prevalentemente da ghiaie e sabbie con ridotto contenuto in limo ed argilla (cfr.par. 8.3), caratterizzate da permeabilità da media a elevata. Le informazioni relative alla permeabilità dei terreni sono state ricavate principalmente dalle prove eseguite nei pozzi idropotabili presenti in zona e dalle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei fori di sondaggio realizzati nel 2010 per il Progetto definitivo e nel 2018 per il Progetto esecutivo.

### 9.3.1 Prove di Permeabilità

In sede di progetto definitivo nei litotipi appartenenti all'Unità delle sabbie e ghiaie sono state eseguite quattro prove di permeabilità all'interno di due fori di sondaggio (cfr. Relazione sulle indagini geognostiche - P00.GE00.GEO.RE.02). Un'altra prova di permeabilità in foro è stata eseguita nella campagna di indagini 2018 per il progetto esecutivo.

Alcuni dati relativi alla permeabilità dei terreni sono presenti anche nelle schede di alcuni pozzi ad uso idropotabile presenti in zona, in particolare nel territorio comunale di Gallarate. Nella tabella seguente sono riassunti i valori di permeabilità ottenuti dalle prove in sito, con una breve descrizione della litofacies testata alla quale la permeabilità misurata è attribuibile.

In tabella 5 sono riportati, anche i valori ricavati dalle prove di permeabilità realizzate all'interno dei pozzi idropotabili presenti nel Comune di Gallarate all'interno del settore d'interesse.

Il complesso idrogeologico delle sabbie e ghiaie (ghiaie e sabbie con ridotto contenuto in limo ed argilla) costituisce l'acquifero più permeabile; le prove di tipo Lefranc realizzate in questo acquifero (cfr.fig.9) hanno fornito valori puntuali di permeabilità abbastanza variabili in funzione del contenuto in materiale fine e compresi tra circa  $4E-07$  m/s (sabbia limosa con ghiaia) e  $1E-04$  m/s (ghiaia con sabbia e sabbia pulita con ghiaia). Il valore di permeabilità medio è dell'ordine di  $2,5E-05$  m/s. L'acquifero presenta pertanto un grado di permeabilità medio, localmente basso in corrispondenza dei livelli con maggiore contenuto in sedimenti fini.

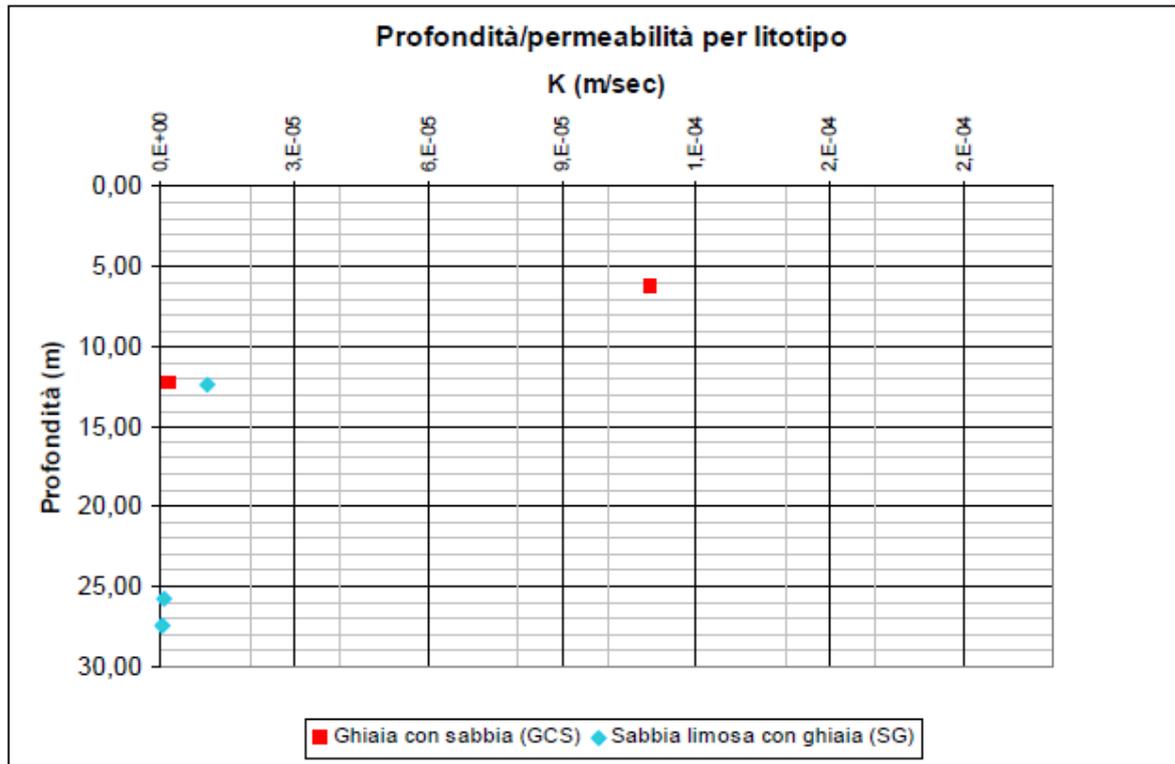
sondaggio	Tipo prova	Tasca di Prova (m)	litotipo	Permeabilità (m/s)	Soggiacenza Falda (m)
Sc-07-PD	Carico var.	12.15-12.50	Ghiaia con sabbia (GCS)	1.86E-06	N.D.
	Carico var.	25.65-26.15	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	1.01E-06	
Sc-09-PD	Carico var.	12.15-12.65	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	1.06E-05	25.20
	Carico var.	27.15-27.65	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	4.36E-07	
SE 04 PE	Carico var.	23.40-24.00	Ghiaia e sabbia limosa (GCS)	6.68E-06	

**Tab.5.1 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc**  
(campagna di indagini geognostiche 2010 e 2018)

sondaggio	Profondità (m)	tipo prova	Profondità prova (m)	litotipo	Permeabilità K (m/s)	Soggiacenza falda
SC-11-PD	20	car.cost.	6,20	Ghiaia con sabbia (GCS)	1.10E-04	assente
Pozzo 10	68			Ghiaia con sabbia (GCS)	3.14E-04	25
Pozzo 11	131			Ghiaia con sabbia (GCS)	4.60E-04	26
Pozzo 16	118			Ghiaia con sabbia (GCS)	1.30E-04	21.50

**Tab.5.2 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc**  
(campagna di indagini geognostiche 2010)

Infine, i valori di permeabilità  $k$  ricavati dalle schede dei pozzi ad uso idropotabile del comune di Gallarate, localizzati negli strati ghiaiosi-sabbiosi, sono dell'ordine di  $1E-04$  m/s.



**Fig.9 - Valori di permeabilità  $k$  (m/s),**  
ricavati dalle prove Lefranc, distinte in funzione del litotipo analizzato.

#### 9.4 RILIEVI PIEZOMETRICI

I risultati delle campagne di monitoraggio piezometrico ad oggi disponibili, espressi come soggiacenza in metri del livello piezometrico rispetto al piano campagna, sono sintetizzati nella tabella seguente.

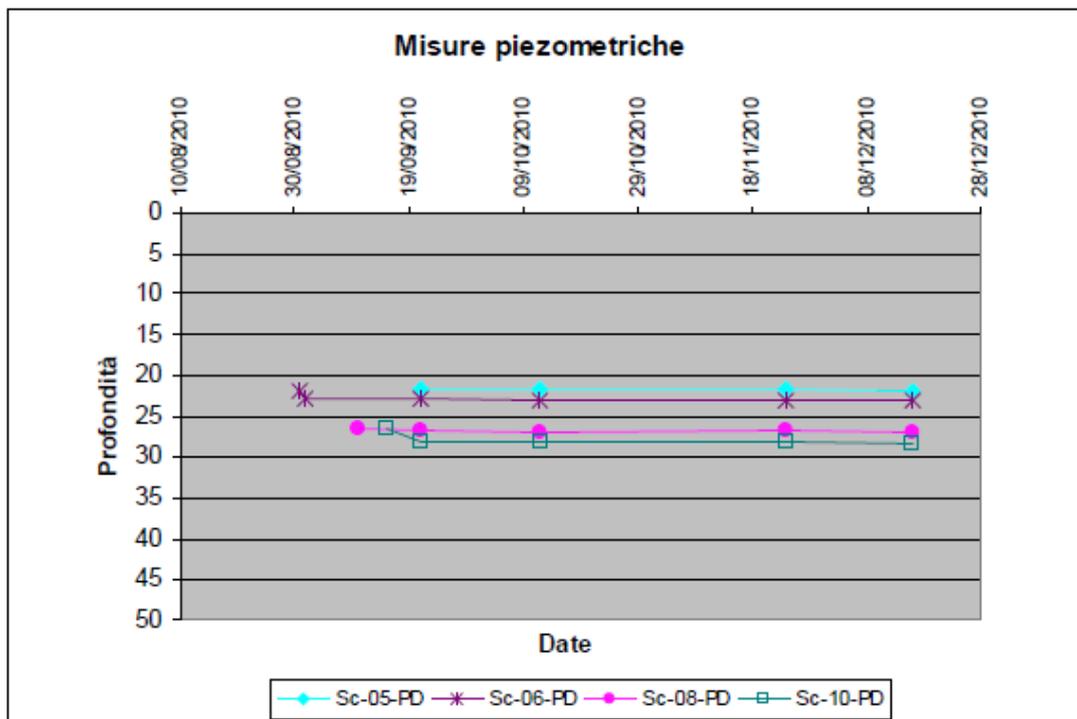
I sondaggi Sc-05, Sc-06, Sc-08 e Sc-10 del Progetto Definitivo, SE04, SE07, SEi02 e SEi10 del Progetto esecutivo sono stati attrezzati sino a fondo foro con piezometri a tubo aperto in PVC del diametro di 2". Le schede delle stratigrafie dei sondaggi riportano lo schema di installazione del piezometro per ciascuno dei sondaggi sopraelencati (cfr. Elaborati sulle indagini geognostiche).

I risultati della campagna di misure piezometriche effettuate sono riportati nella tabella che segue. I dati piezometrici sono stati utilizzati per la redazione della Carta Idrogeologica in scala 1:2000 (P00.GE00.GEO.CI.01/02) dalla quale si evince che le direzioni di deflusso sotterraneo variano da circa NE-SW (svincolo SS336 nord) a N-S (fra svincolo SS336 e viadotto VI03), a partire dalla progr. 7+000 circa, a NW-SE nella parte restante del tracciato. Il gradiente medio della falda è pari a circa 0,6%.

sondaggio	profondità	Opera d'arte	Tipo piezometro	data	Soggiacenza falda	Quota falda m s.m.
SE 04 PE	25 m	Viadotto sovrappasso FFSS	Tubo aperto 2"	30/11/2018	21.07 m	
Sc-05-PD	25 m	Galleria artificiale	Tubo aperto 2"	21/09/2010 12/10 21/11 16/12/2010	21.70 21.76 21.72 21.79	214.21
Sc-06-PD	40 m	Viadotto bretella Gallarate	Tubo aperto 2"	31/08/2010 01/09 21/09 12/10 24/11 16/12/2010	22.00 22.90 22.88 23.02 22.96 22.98	214.72
SE 07 PE	25 m	(Cascina Marcora)	Tubo aperto 2"	15/11/2018	assente	
Sc-08-PD	50 m	Bretella Gallarate	Tubo aperto 2"	10/09/2010 21/09 12/10 24/11 16/12/2010	26.56 26.72 26.86 26.81 26.85	215.15
Sc-10-PD	50 m	Bretella Gallarate	Tubo aperto 2"	15/09/2010 21/09 12/10 24/11 16/12/2010	26.50 28.16 28.22 28.20 28.27	219.03
SEi02 PE	30 m	Sottovia Sempione	Tubo aperto 2"	15/05/2019	27.73	208,72
Sei10 PE	35 m	Autostrada A8	Tubo aperto 2"	10/05/2019	21.37	222,75

**Tab.6 – Tabella riassuntiva risultati campagne di monitoraggio piezometrico (2010 e 2018-19)**

I dati disponibili mettono in evidenza la presenza di una falda localizzata a profondità comprese tra circa 22 m (sondaggio Sc-05-PD) e 28 m (sondaggio Sc-10-PD) da piano campagna; le ultime misure svolte evidenziano che il livello piezometrico nei sondaggi appare stabilizzato e caratterizzato da oscillazioni molto ridotte (Figura 10).


**Fig.10 - Andamento della superficie piezometrica all'interno dei piezometri PD .**

I valori di soggiacenza della falda superficiale ricavati dalle schede dei pozzi sono generalmente concordi con quelli ottenuti dai rilievi piezometrici realizzati nei sondaggi. Le acque sotterranee pertanto non interferiscono direttamente con le opere previste dal progetto dell'infrastruttura stradale. Le operazioni di scavo per la realizzazione della parte in trincea/galleria artificiale, infatti, si spingeranno sino a profondità massime di circa 9 m; non si esclude invece che i pali di fondazione previsti per la realizzazione delle opere sopraelevate possano interagire in profondità con la falda.

Nella Tabella 7 sono riportati i dati di precipitazione giornaliera registrati nella stazione di Busto Arsizio relativi all'anno 2010.

PioGGie Giornaliere anno 2010 - Stazione di Busto Arsizio, Via Magenta												
Precipitazioni cumulate in mm su 24h												
Giorno	Mese											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	0,4	0	0	0	0,4	0	0	0	0	4,2	41,4	10,2
2	0,2	0	0,2	0,2	31,4	0	0	1	0	0	3,6	3
3	0	0	7,4	8	4,4	0	0,4	0	0	0	0,2	0,4
4	0	0	4,4	38,6	23,6	0	0	0	0	30,2	0	0
5	0	23,4	0	0	36,8	0	0	58	0	33,4	0	0
6	0	10,2	0	0	0,2	0	8,8	0	0,4	0,2	0	8,4
7	3,4	0	0	0	12,2	0	0	0	23,6	0	12,2	6,8
8	18,8	0	0	0	0,6	0	0	0	2	0	4	3,2
9	9	0	0	0	6,8	0,6	0	0	1,2	0	3,6	0,2
10	2,4	0	7,2	0	5,8	5,8	0	0	0,6	0	1	0
11	0	0,8	1,2	0,4	10,4	0	0	4,4	0	0	0	0
12	0	0,6	0	0,2	49,6	0	16,2	16,6	0	0	0	0
13	5	0	0	0	34,6	0	0	0,4	0	0	0,4	0
14	0,4	1	0	0	15,6	3	0	42,6	0	0	5,4	0
15	0	0	0	0	3,2	6,2	0	1,2	0	0	38,2	0
16	0	1	0	2,4	0	21,4	0	0	0	2,2	30,4	0
17	0	13,2	0	6,6	0	4,6	0	0	2,8	4,4	3	0
18	0	8,2	0	2,6	0	0	0	0	36,8	0,2	8,8	4,2
19	0,2	32,6	0	0	0	26,2	0	0	0	0	0,2	0
20	0	0	2,8	0	0	2	0	0	0	0	13	0
21	0,2	1,4	1,6	0	0	0	0	0	0	0	31,4	11,4
22	0	5	2,2	0	0	0	0,2	0	0	0	1,8	14,8
23	0	5	0,6	3,4	0	0	2,2	0	0	0	0	45
24	0	0	0	0,2	0	0	0	0	12,8	7,6	0	22
25	0,6	6,2	1,4	0	0	0	0	0	8,2	32	0	0,4
26	0,4	13,2	8	6,6	0	0	0	0	0	0,2	17,4	0,6
27	0,4	0	0	13,4	29,6	0	0	0	0,2	0	0,2	0,2
28	0	3,6	0	0	0	0	0	0	0	0	8,6	0
29	0	0	0	0	0	0,4	18,6	0	0	0	0	0
30	0,2	0	33,2	1,6	0	0	0	0	0	4,2	3,2	0
31	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	47,4	0	0
<b>Tot. Mese</b>	41,6	125,4	70,4	84,2	265,2	70,2	46,4	124,2	88,6	166,2	228	130,8

**Tab.7 - Tabella riassuntiva delle precipitazioni giornaliere (in mm) misurate dalla stazione pluviometrica di Busto Arsizio per l'anno 2010. Fonte: Arpa Lombardia, Servizio Meteo Regionale.**

Considerando la piovosità su tutto l'arco dell'anno, si può notare come l'intervallo ottobre-dicembre 2010 sia stato caratterizzato da precipitazioni relativamente abbondanti, il che si è riflesso sull'andamento delle quote piezometriche; infatti tutti i sondaggi hanno evidenziato durante il mese di novembre una tendenza alla risalita del livello piezometrico, seppur dell'ordine di alcuni centimetri.

L'insieme delle misure eseguite nei sondaggi realizzati nell'ambito del Progetto Definitivo e i dati preesistenti hanno permesso di individuare l'andamento delle linee isopiezometriche tracciate nella Carta Idrogeologica in scala 1:2000 (P00.GE00.GEO.CI.01/02) e di valutare la posizione della falda nei profili geologici e geotecnici. Per disegnare la superficie di inviluppo delle letture piezometriche disponibili si sono scelte quelle più cautelative (soggiacenza minore) in relazione allo scavo delle gallerie e alle fondazioni delle opere.

## 10. MODELLO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Dei terreni su descritti, l'infrastruttura stradale in progetto interesserà unicamente l'Unità delle sabbie e ghiaie. All'interno di tale Unità sono stati distinti nel Profilo geologico (P00.GE00.GEO.FP.01/02) tre litotipi principali, in rapporti eteropici, in funzione delle loro caratteristiche granulometriche ricavate dalle analisi di laboratorio:

- Il litotipo predominante (GCS nel profilo geologico) è costituito da ghiaie eterometriche, poligeniche, sub arrotondate con ridotto contenuto in ciottoli e blocchi; la matrice è generalmente abbondante costituita da sabbia e subordinati limo e argilla;
- Come litotipo subordinato (SG nel profilo geologico) sono state riconosciute delle sabbie limose, debolmente argillose, con ghiaia e subordinati ciottoli; le sabbie con ghiaia sono presenti generalmente a profondità superiori a 7-10 m;
- Infine, riprendendo quanto riportato nel progetto definitivo, si conferma quanto valutato dal consulente geologo del progetto definitivo: *Sulla base delle analisi delle stratigrafie dei pozzi ad uso idropotabile presenti nel corridoio di progetto (pozzi PZ3 e PZ5 del comune di Vanzaghello e pozzo PZ8 del comune di Samarate) nel profilo geologico sono stati distinti inoltre degli orizzonti costituiti da ghiaia con ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa-argillosa (GSA nel profilo geologico).*

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, nell'area di progetto sono state distinte tre principali unità idrogeologiche, sulla base della loro omogeneità di costituzione (granulometria) e di continuità orizzontale e verticale, corrispondenti alle tre principali unità litotecniche distinte:

- Unità idrogeologica delle Argille prevalenti,
- Unità idrogeologica delle alternanze argille-ghiaie,
- Unità idrogeologica delle ghiaie e sabbie.

Come già detto, le opere in progetto interesseranno unicamente l'Unità idrogeologica delle ghiaie e sabbie. Tale unità è costituita da depositi di origine continentale costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con ridotto contenuto in limo ed argilla, caratterizzate da permeabilità da media a localmente bassa in funzione del contenuto in materiale fine (valore di permeabilità compreso tra circa 1E-07 m/s e 1E-04 m/s). Le informazioni relative alla permeabilità dei terreni sono state ricavate principalmente dalle prove di permeabilità realizzate in alcuni fori di sondaggio e dalle prove eseguite nei pozzi idropotabili presenti nel corridoio di progetto (dati provenienti da PGT comunali).

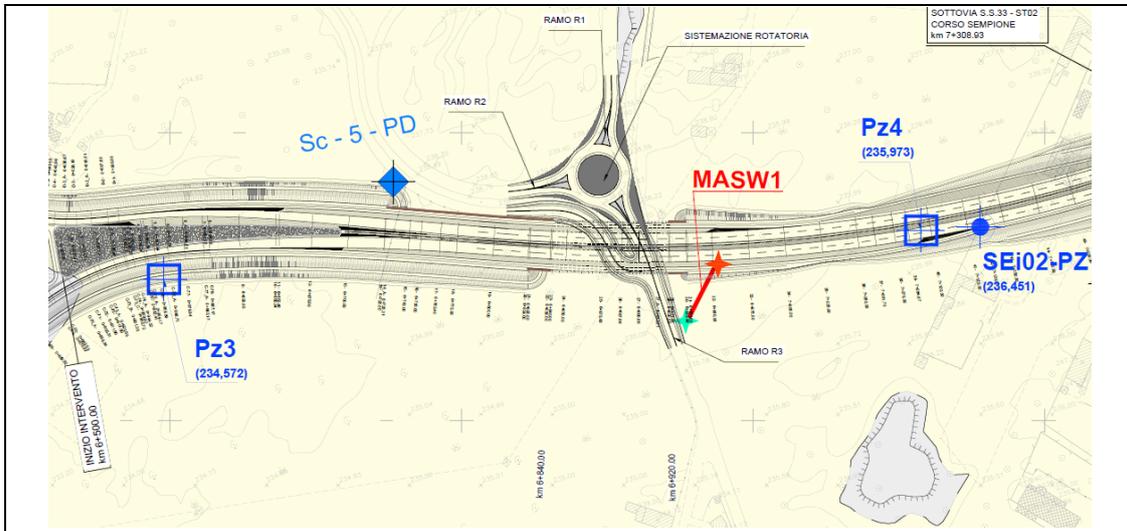
### 10.1 CARATTERI GEOLOGICI PER TRATTE OMOGENEE

Si riportano di seguito le considerazioni di dettaglio per tratte omogenee.

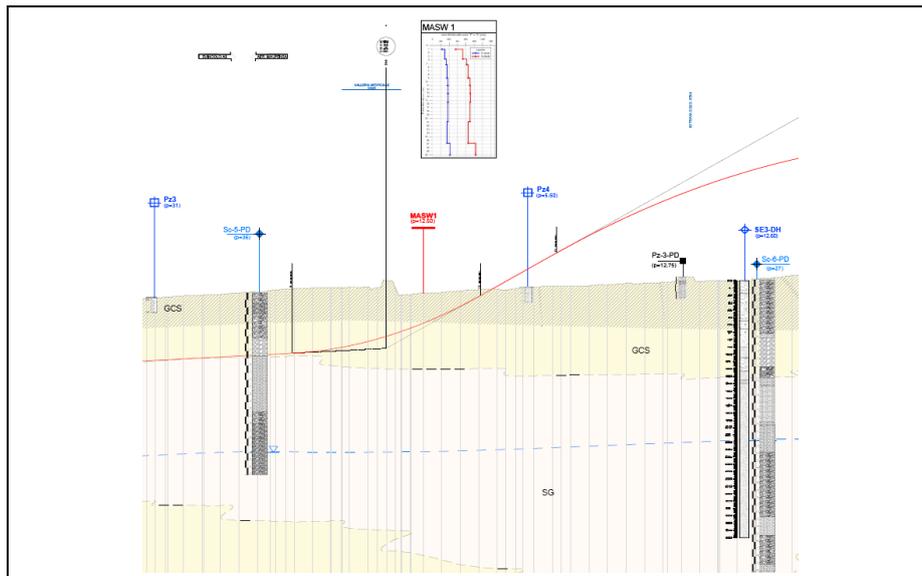
#### 10.1.1 Caratteri geologici 1° Tratto in trincea da progr. 6+500 a progr. 7+250

Il tratto in questione si sviluppa interamente in trincea. Le indagini geognostiche effettuate (indagini 2010 + indagini 2018-19), nella zona della trincea e in zone limitrofe, comprendono quattro sondaggi geognostici (SC-05, SC-06, SEi02, SE-03DH,) alcuni pozzetti a scavo

(Pz4), prospezioni sismiche in foro (DH) e da superficie (MASW1) (cfr. elaborati grafici e stralci planimetrico e altimetrico di fig. 11.1 e 11.2).



**Fig.11.1 – Stralci planimetrico 1° tratto  
sostituire profilo**



**Fig.11.2 – Stralci profilo longitudinale 1° tratto**



SE7PZ, SE8DH), pozzetti a scavo (Pz5, Pz6) e prospezioni sismiche in foro (DH) (cfr. elaborati grafici e stralci planimetrico e altimetrico di fig. 12.1 e 12.2)..

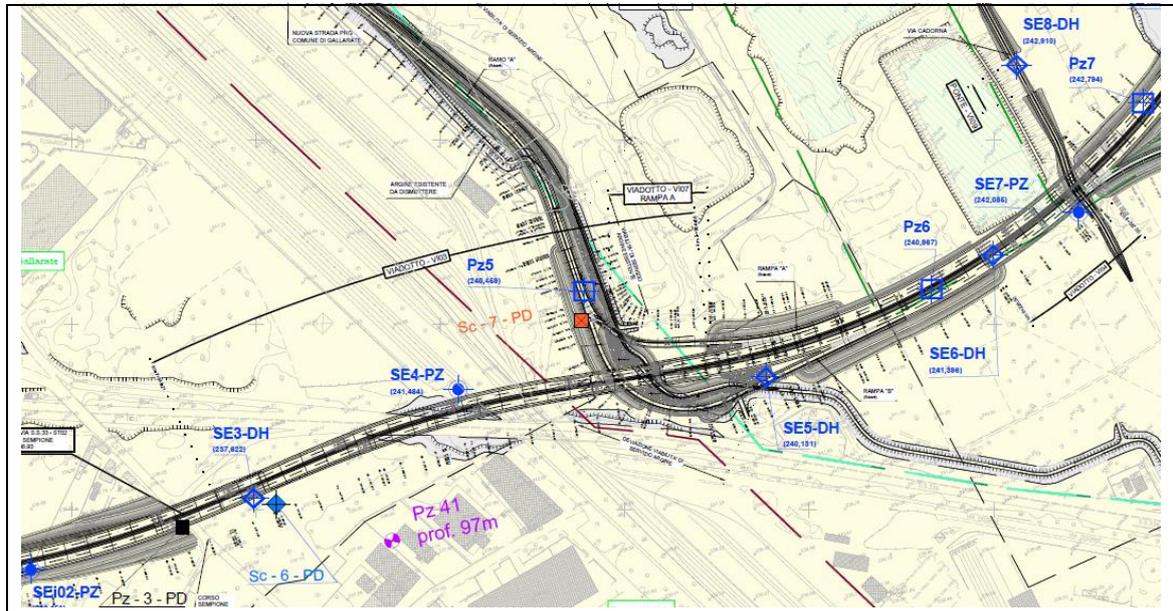


Fig.12.1 – Stralci planimetrico 2° tratto

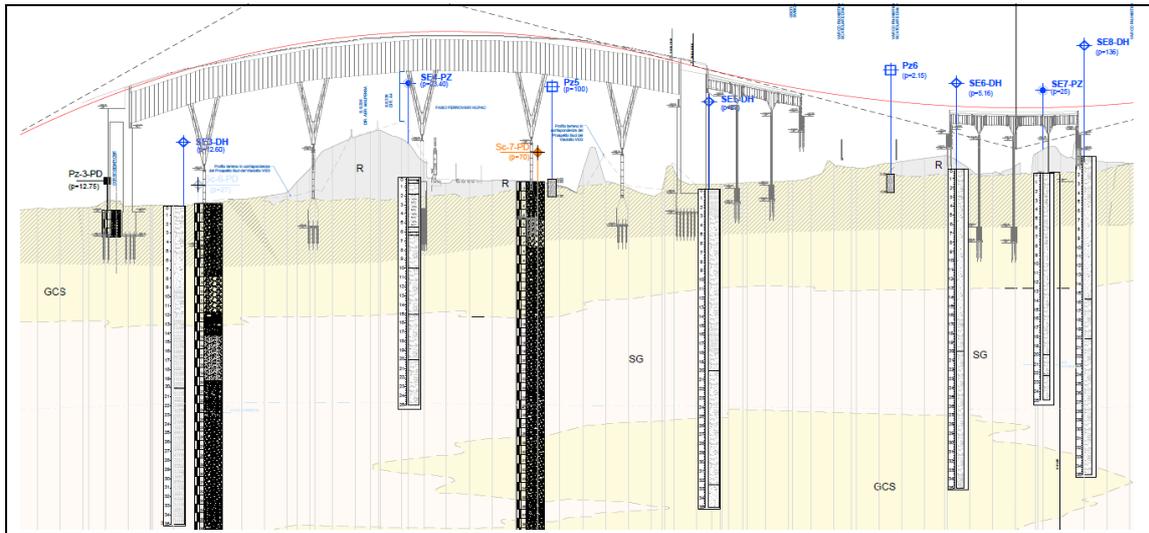


Fig.12.2 – Stralci profilo longitudinale 2° tratto

Come si evince dalle stratigrafie dei sondaggi meccanici (cfr. anche profilo geologico in asse di fig.12.2), il sottosuolo della zona in esame (entro la profondità significativa per il tipo di intervento ivi previsto), al di sotto del terreno vegetale, è costituito da un'alternanza di strati ghiaioso sabbiosi eterometrici (GCS) e di sabbia media e grossa (SG) prevalenti con intercalazioni di livelli sabbioso-limosi.

I sondaggi SE-04 e SE-05 hanno intercettato la falda acquifera a profondità compresa fra 21 e 22 m circa da p.c..

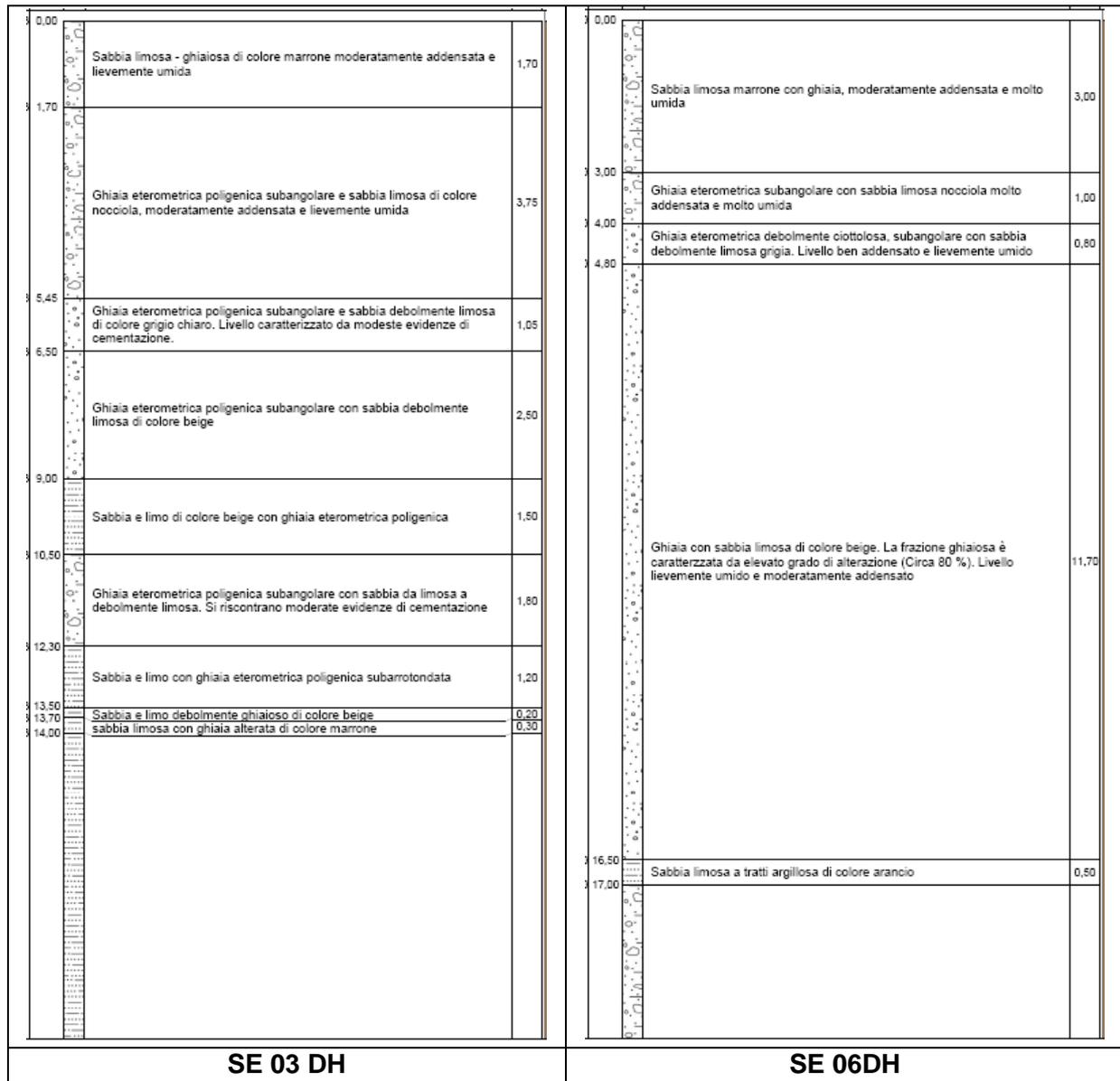


Fig.12.3 – Stratigrafie di alcuni sondaggi geognostici rappresentativi

10.1.3 Caratteri geologici 3° Tratto in rilevato da progr. 8+400 a progr. 8+844

Il tratto in questione si sviluppa interamente in rilevato. Le indagini geognostiche effettuate (indagini 2010 + indagini 2018) comprendono cinque sondaggi geognostici (SC-8-PD, SC-9-PD, SE-06DH, SE-7-PZ, SE-8DH) alcuni pozzetti a scavo (Pz6÷Pz9) e prospezioni sismiche in foro (DH) (cfr. elaborati grafici e stralci planimetrico e altimetrico di fig. 13.1 e 13.2). Quanto fornito dalle indagini su citate è anche confermato dai nuovi sondaggi meccanici eseguiti in prossimità dell'autostrada A8, in corrispondenza delle previste rampe di accesso.



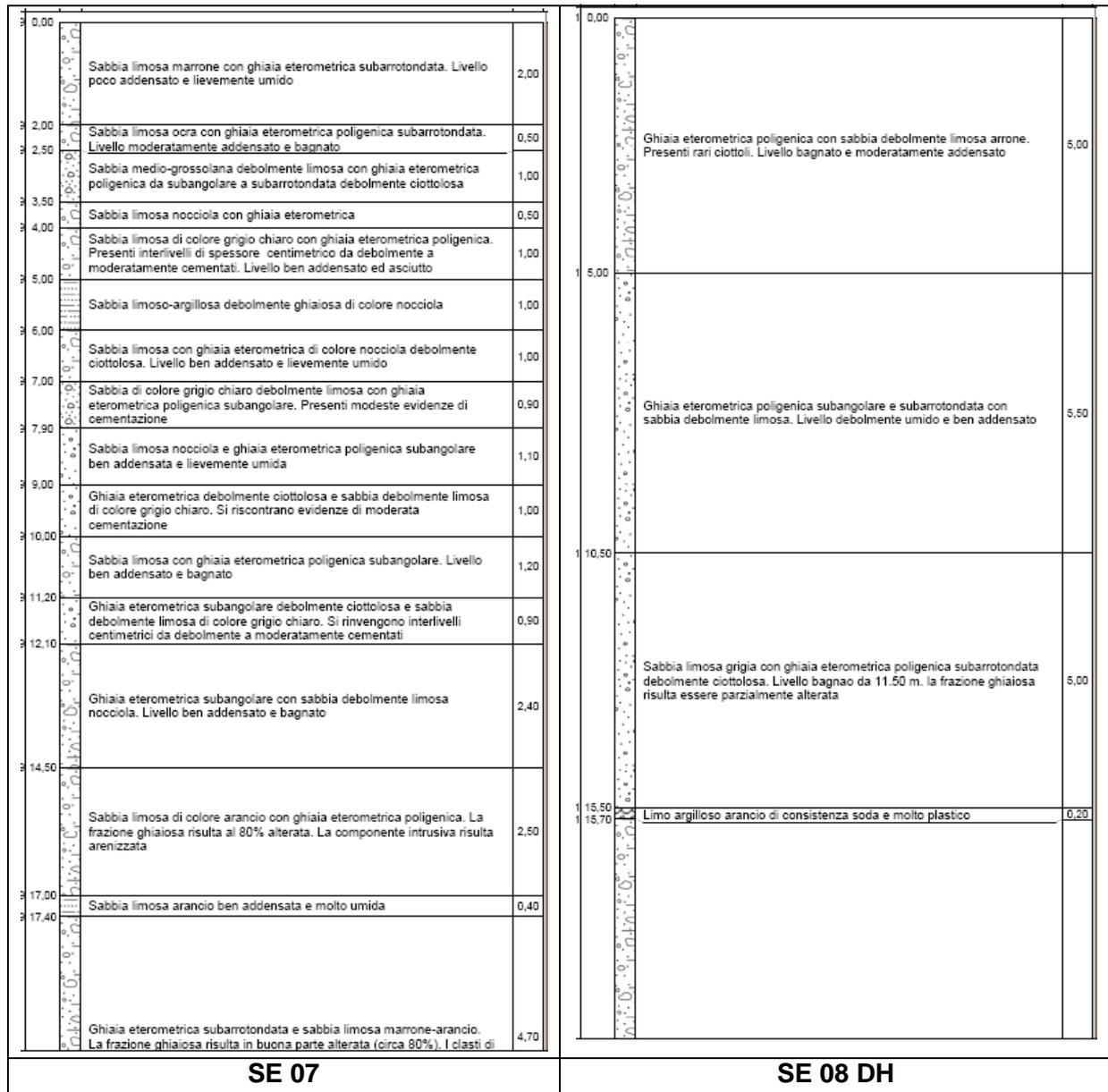


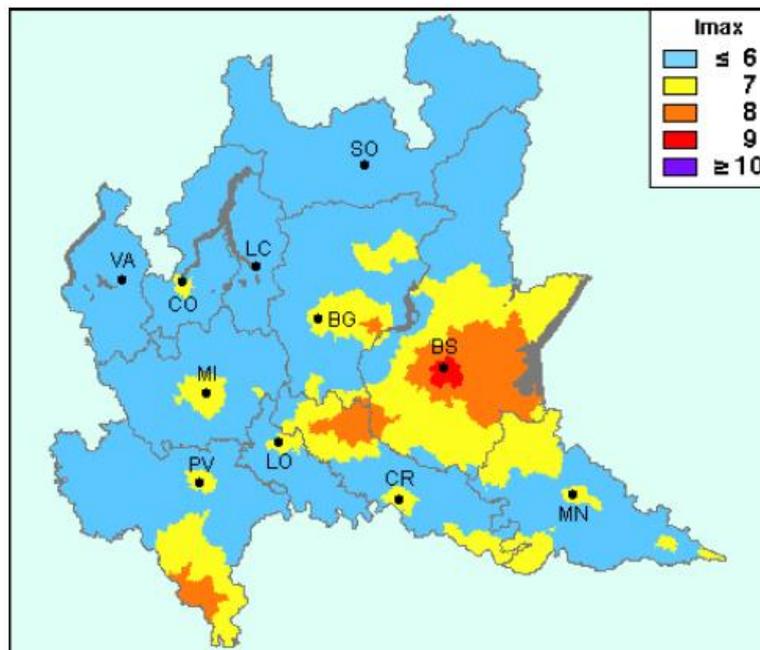
Fig.13.3 – Stratigrafie di alcuni sondaggi geognostici rappresentativi

## 11. RISCHIO SISMICO DEL TERRITORIO LOMBARDO

Per quasi tutto il territorio della Regione Lombardia il livello di pericolosità sismica è da basso a molto basso. Fa eccezione l'area del Lago di Garda, per la presenza di una grande struttura tettonica detta "Linea delle Giudicarie". Si tratta di una frattura della crosta terrestre che percorre la Val Sabbia dalla pianura verso Nord. La regione benacense risulta pertanto la zona a sismicità più elevata delle Alpi centrali e rappresenta il margine occidentale della fascia sismica pedemontana veneta. La zona è infatti stata interessata già in epoca medioevale e moderna da terremoti di gran lunga più forti di quelli che hanno colpito il resto della Lombardia.

Gli epicentri dei terremoti storici per il settore Lombardo sono prevalentemente concentrati in una fascia allungata in direzione E-W lungo il margine pedemontano, in corrispondenza dell'asse Bergamo–Brescia-Lago di Garda. È il caso del terremoto del 1117 (in cui l'area più colpita è risultata la zona veronese), di quello del 1222 (conosciuto come il terremoto di Brescia, con area epicentrale nel bresciano e magnitudo stimata pari a  $MS=5.9$ ), di un'altra serie di sismi minori localizzati nel bergamasco (1661,  $MS=5.2$ ) e a Soncino (1802,  $MS=5.5$ ), fino a quello del 1901 (in cui fu distrutta una buona parte della cittadina di Salò).

Tra gli eventi più recenti ricordiamo il terremoto del 24/11/2004 che ha colpito Salò e le aree adiacenti (intensità di 5,2 gradi della scala Richter). La zona orientale della Lombardia è pertanto stata classificata sismica e, come tale, le costruzioni sono state realizzate nel secolo scorso secondo criteri antisismici che hanno contenuto i danni alle persone ed alle cose.



**Fig.11 - Massime intensità macrosismiche registrate dall'anno 1000 d.C.**  
in gradi della scala Mercalli. Fonte: Centro Geofisico prealpino.

La parte più meridionale della regione risente invece della sismicità di origine appenninica, comprensiva dell'area dell'Oltrepò pavese, definita come una zona di transfer (Scandone et al., 1992), contiene eventi storici con magnitudo massima stimata pari a  $MS=5.5$  (Terremoto della Valle Scrivia, 1541).

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani (CPTI15-DBMI15 – Tabella 7) nel periodo 1000-2008 d.C. segnala che nella zona di Gallarate e in aree limitrofe sono stati avvertiti solo 13 terremoti di bassa intensità.

Effetti									
in occasione del terremoto del:									
Int.	anno	Me	Gi	Ho	Mi	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1802	05	12	09	30	Valle dell'Oglio	94	8	5.6
4	1887	02	23	05	21	Liguria occidentale	1511	9	6.27
F	1891	06	07	01	06	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87
5	1901	10	30	14	49	Garda occidentale	289	7-8	5.44
NF	1908	05	24	08	37	Piemonte centgro-settentrionale	36	4	4.1
NF	1912	05	31	21	40	Canavese	51	5-6	4.71
4-5	1913	12	07	01	28	Valle Scrivia	56	5	4.57
5	1914	10	27	09	22	Luccheria	660	7	5.63
4	1918	01	13	12		Pianura lombarda	24	4	4.62
4	1951	05	15	22	54	Lodigiano	179	6-7	5.17
3	1960	02	23	23	10	Vallese	178	7	5.00
3	1983	11	09	16	29	Parmense	850	6-7	5.04
3-4	2008	12	23	15	24	Parmense	291	6-7	5.36

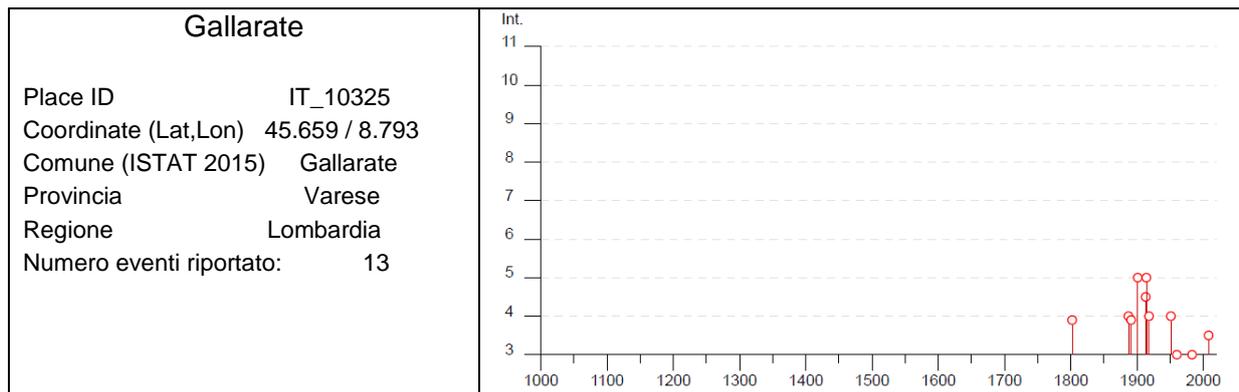
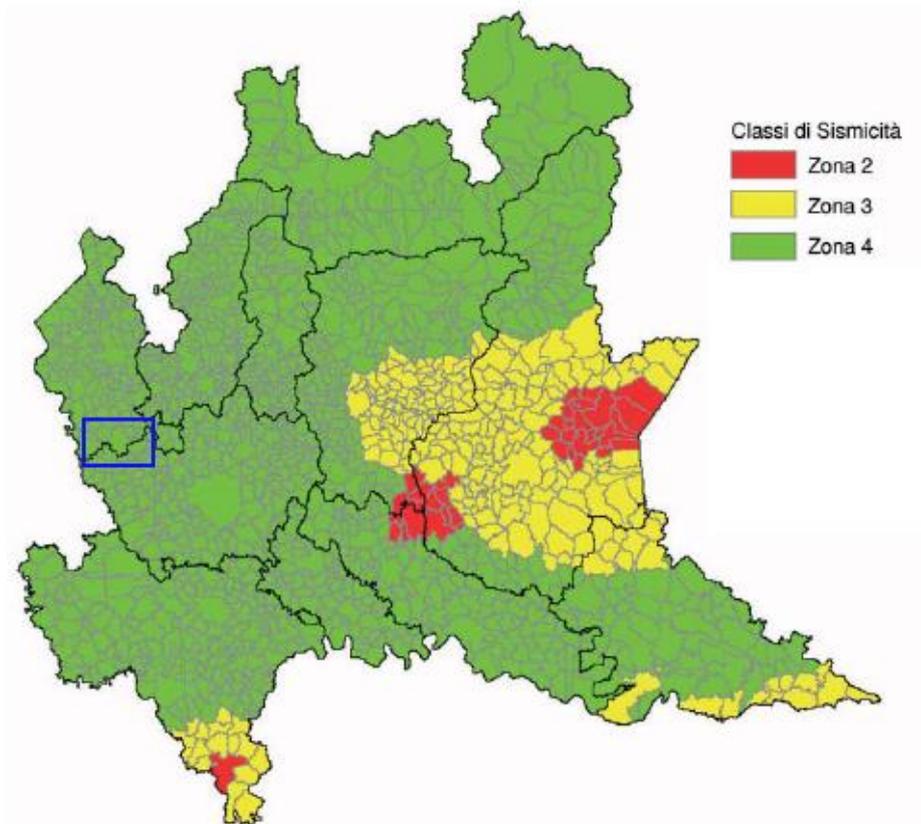


Tabella 7 – Estratto dal catalogo dei terremoti italiani

A partire dalla primavera del 2004 è stata approvata una normativa sismica (Ordinanza del P.C.M.3274 del 20/3/2003) che individua sul territorio nazionale quattro classi di sismicità (Fig.12). Nessuna parte del territorio lombardo ricade in zona 1 (massima pericolosità). Le aree ad alto e medio rischio (classe 2 e 3) riguardano diversi comuni posti in provincia di Brescia, Bergamo, Cremona e Pavia (41 comuni si trovano in zona 2 e 238 insistono in zona 3 a sismicità medio-bassa). La classe 4 (basso rischio) interessa invece il resto del territorio (1267 Comuni), compreso il comune di Gallarate.

Nelle due classi più critiche la normativa prevede che nella progettazione di edifici ed opere infrastrutturali si tenga conto degli effetti di amplificazione sismica dati dalla natura dei terreni e delle rocce in modo da realizzare strutture in grado di sopportare gli effetti dei sismi.

Tutti i comuni interessati dall'infrastruttura stradale in progetto ricadono nella zona 4, ovvero nella zona a bassa pericolosità.



**Fig.12 - Distribuzione delle classi di sismicità nella regione Lombardia**

In evidenza il settore interessato dall'infrastruttura in progetto

Facendo riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9 (Figg.13 e 14) ed al catalogo delle sorgenti sismiche DISS3 (*DISS Working Group (2010), "Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas"* – Fig.7) si nota come la porzione occidentale della Provincia di Milano ed un suo ragionevole intorno siano lontani da strutture geologiche in grado di generare terremoti (le cosiddette "faglie capaci") (cfr. fig.15).

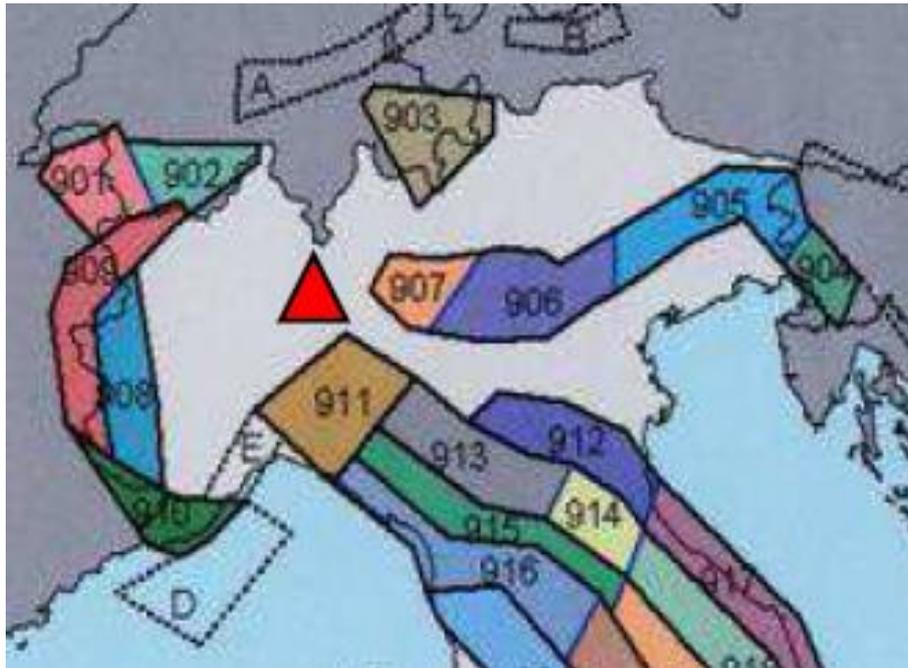


Fig.13 – Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale (zonazione ZS9 – INGV 2004)

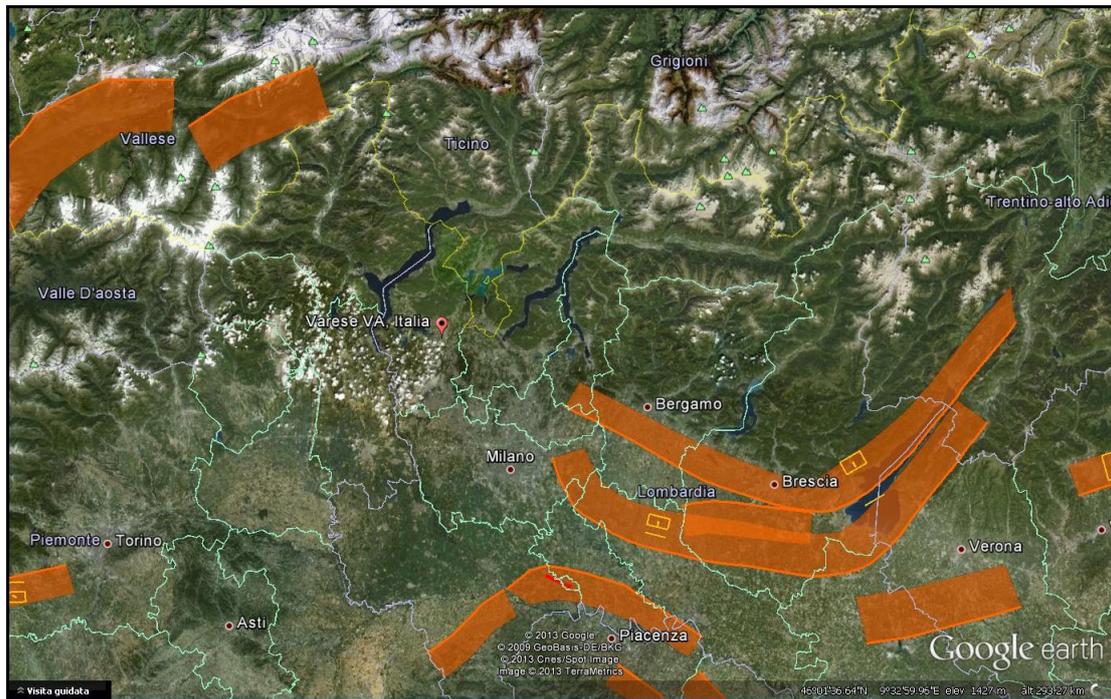


Fig.14 – Ubicazione delle sorgenti sismiche (catalogo DISS3)



**Fig.15 – Carta con ubicazione faglie capaci (linee rosse a tratteggio)**

L'area in esame appare quindi caratterizzata da una bassa potenzialità sismica il cui aspetto principale risulta legato agli effetti risentiti e prodotti da terremoti di energia medio-elevata ( $M_L > 5$ ) avvenuti in aree epicentrali, esterne e lontane dal territorio in esame.

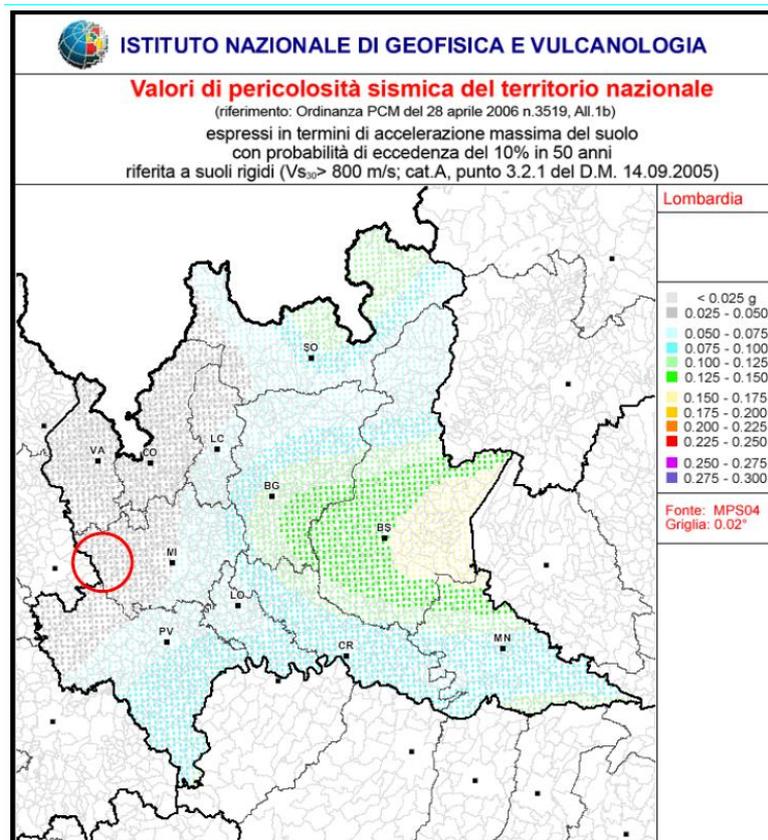
### 11.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN ESAME

La pericolosità sismica di base, valutata in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A nelle NTC), viene espressa in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  in base ai nodi del reticolo di riferimento e a diversi tempi di ritorno.

Per l'opera in esame, in accordo con quanto previsto dal D.M. 14-01-2018, è stata stimata una accelerazione massima del suolo  $a_g$ , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 950 anni), pari a 0,052g (Fig.16 e Tab.8); trattandosi di un'opera lineare è stato considerato un punto rappresentativo delle condizioni più sfavorevoli.

	Probabilità superamento	Tr (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_c^*$ (s)
SLO	81	60	0.023	2.546	0.195
SLD	63	101	0.028	2.589	0.212
SLV	10	949	0.052	2.724	0.302
SLC	5	1950	0.061	2.813	0.317

**Tab.8 – Parametri sismici di base**



**Fig.16 – Pericolosità sismica della regione Lombardia**  
(con ubicazione della zona di intervento)

### 11.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO

In questo capitolo si propone una classificazione dei terreni presenti nel corridoio di progetto redatta sulla base dei criteri riportati nelle "Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 17 gennaio 2018). Si ricorda che la precedente versione della norma (D.M. 14/01/2008) distingueva i terreni in 5 differenti classi (A, B, C, D, E), più due classi speciali (S1 e S2).

Tali classi erano distinte in funzione dei valori di tre parametri caratteristici dei terreni di fondazione:

1. il valore della velocità delle onde di taglio  $V_{s,30}$  (m/s);
2. il valore di NSPT ;
3. il valore della coesione non drenata  $c_u$  (kPa).

Come riportato nella norma di riferimento inoltre *"ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità"*.

Le categorie di sottosuolo così distinte possono essere utilizzate per considerare l'influenza delle condizioni locali del terreno sull'azione sismica.

Nella nuova versione delle N.T.C. (D.M. 17 gennaio 2018), sono scomparse le categorie S1 ed S2 e la classifica viene effettuata solo in funzione della velocità sismica (cfr. Tab.9 seguente):

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

**Tab. 9 - Tabella riassuntiva delle categorie sismiche di sottosuolo**  
 estratta dalle "Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 17 gennaio 2018).

Tuttavia, come è noto, è possibile correlare la  $V_{s,30}$  ad altri parametri geotecnici quali NSPT. Pertanto, come effettuato nel Progetto definitivo, laddove non è disponibile un valore di velocità equivalente, si farà riferimento alla tab.3.2.II delle NTC2008.

Per il settore di progetto, come descritto in dettaglio nel precedente capitolo, è stato possibile ricostruire una successione stratigrafica che comprende un orizzonte superficiale della potenza media di circa 6-7 m di ghiaie in matrice sabbiosa e subordinate sabbie con ghiaia, caratterizzate da un maggior grado di alterazione e minor grado di addensamento (orizzonte d'alterazione), a cui segue un livello di depositi quaternari, di potenza variabile da alcuni metri ad alcune decine di metri, costituito da ghiaie con locali ciottoli in matrice sabbiosa. In rapporti eteropici con le ghiaie sono stati riconosciuti orizzonti di sabbie limose con ghiaia (mediamente circa 25%) e subordinati ciottoli. Le sabbie costituiscono degli orizzonti presenti lungo tutto il tracciato dell'opera, generalmente a profondità superiori a 7-10 m, caratterizzati da buona continuità laterale e potenza variabile da pochi metri a oltre 30 metri (sondaggio Sc-10-PD).

I depositi quaternari (ghiaie e sabbie) sopradescritti sono caratterizzati da una potenza complessiva dell'ordine di almeno 40-60 metri e rappresentano i terreni di appoggio delle fondazioni delle opere in progetto.

Durante la campagna indagini per il Progetto Definitivo nell'area in esame inoltre sono state realizzate anche 2 prove geofisiche con metodo sismico Down-Hole per la definizione della velocità delle onde sismiche ( $V_{s,30}$ ) e la classificazione del terreno da un punto di vista sismico. Per una descrizione più approfondita della metodologia d'indagine e della strumentazione utilizzata si rimanda alla Relazione sulle indagini Geognostiche (P00.GE00.GEO.RE.04/05), che contiene anche i tabulati ed i grafici dei risultati ottenuti. I valori della velocità delle onde di taglio  $V_{s,30}$  risultano per i terreni interessati dal progetto compresi all'incirca tra 160 e 550 m/s circa per un valore medio di circa 370 m/s (media armonica).

Nella campagna di indagini per il progetto esecutivo (indagini 2018) sono state eseguite altre 4 prove sismiche in foro (DH: AE03, SE05, SE06, SE08) e n. 2 prove sismiche di superficie M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*). In entrambi i casi sono stati ottenuti valori della velocità equivalente pari a  $V_{s30,eq} = 356-359$  m/s

Sulla base delle considerazioni esposte sopra e sulla base delle indicazioni espresse nella normativa, i terreni presenti lungo il tracciato di progetto presentano caratteristiche al limite tra le classi B e C; in via cautelativa tali litotipi possono essere considerati appartenenti alla categoria C (cfr. Tabella 9)

#### 11.4 EFFETTI TOPOGRAFICI

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.

In funzione, quindi, delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità.

Effetti di sito o di amplificazione sismica locale: interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. Tali effetti si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito:

- gli effetti di amplificazione topografica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni, ad esempio, favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo;
- effetti di amplificazione litologica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno ed altri fenomeni ancora.

Nel caso in questione, l'asse stradale attraversa una zona sub-pianeggiante con pendenze molto modeste e priva di elementi morfologici che possano dar luogo ad amplificazione dell'onda.

Nella normativa nazionale, per la valutazione degli effetti topografici si fa riferimento alla classificazione proposta nella tabella 3.2.III del D.M. 17 gennaio 2018, in base alla quale il comparto in esame viene classificato nella categoria topografica T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ) cui corrisponde un valore di ST pari a 1,0 (cfr.Tab.10.1).

**Tabella 10.1 - Categorie topografiche (Tab.3.2.III NTC, 2018)**

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base, inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base, inclinazione media $i > 30^\circ$

La Regione Lombardia ha predisposto una procedura aggiuntiva rispetto a quella nazionale che approfondisce le tematiche in questione (L.R.12 del 11/03/2005). Con riferimento all'All.5 della Parte 5 dell'Allegato B della legge regionale, gli scenari di pericolosità sismica locale (cfr. Tab.8.2), con riferimento alle amplificazioni topografiche, mostrano che esse sono possibili qualora si verifichino condizioni morfologiche che non si riscontrano nell'area di interesse, per cui si ritiene di poter far riferimento alla sola normativa nazionale.

**Tabella 10.2 – Scenari di pericolosità sismica locale (L.R.12 del 11/03/2005)**

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite-arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

### 11.5 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno di annullamento temporaneo della resistenza al taglio dovuto ad accumulo di deformazioni plastiche nei terreni saturi, prevalentemente sabbiosi (ma non solo) sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate; questo fenomeno fa sì che il terreno si comporti come un fluido e interessa materiali privi di coesione quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata dalla colonna di terreno sovrastante.

In accordo a quanto prescritto dalle NTC 2018 la verifica del potenziale di liquefazione può essere omessa qualora si verifichi almeno una delle condizioni sotto elencate:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig.17(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig.17(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Nel caso specifico la massima accelerazione attesa al sito  $a_{max}$  (SLV) risulta pari a:

$$a_{max} = SS * ST * a_g = 0,076 g < 0,1g$$

E' quindi possibile escludere che il sito possa essere soggetto a fenomeni di liquefazione.

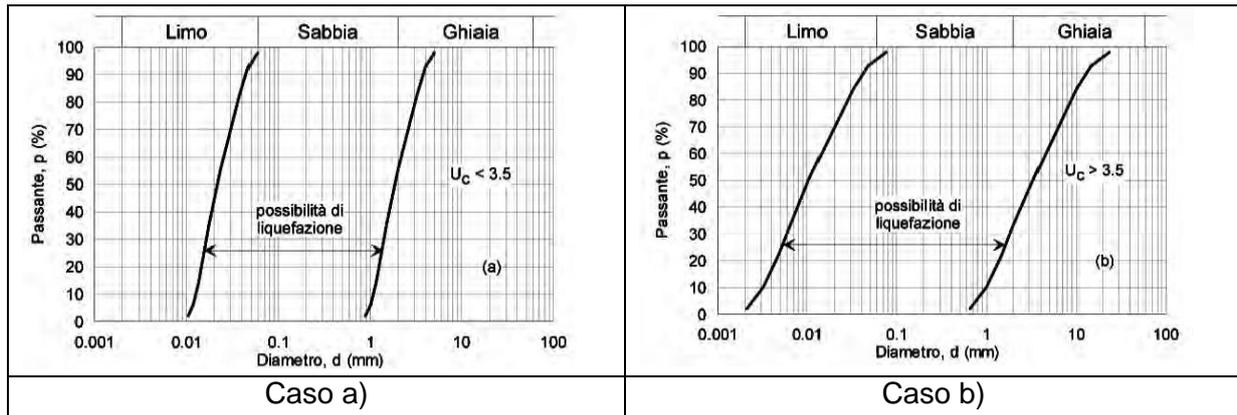


Fig.17 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (NTC 2018)

## 12. BIBLIOGRAFIA

- Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, Foglio 44 Novara & Note illustrative;
- Volo aereo 1987-88 in bianco e nero con fotogrammi in scala media 1:30000;
- Documentazione del Progetto preliminare (2003) "Nuova SS341 Gallaratese, tratto da Samarate a confine con la provincia di Novara";
- Documentazione del Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Gallarate (2010); in particolare sono stati analizzati i seguenti elaborati:
  - Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – Relazione geologica generale e relativi allegati;
  - Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – Tav. 4.1 e 4.2, Carta geologica e geotecnica con elementi di geomorfologia;
  - Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – Tav. 6.1 e 6.2, Carta idrogeologica con traccia delle sezioni;
  - Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – Tav. 6.3.1 e 6.3.2, Sezioni idrogeologiche;
  - Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – Tav. 8.1 e 8.2, Carta degli elementi idrografici e idraulici;
  - Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – Tav. 9.1 e 9.2, Carta della pericolosità sismica;
  - Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. – Tav. 10.1 e 10.2, Carta dei vincoli;
- Documentazione del Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Cassano Magnago (2006-2007); in particolare sono stati analizzati i seguenti elaborati:
  - Studio geologico, idrogeologico e sismico di supporto al Piano di governo del territorio – Relazione tecnica e relative Appendici (Appendice A, Appendice B);
  - P.G.T. Progettazione di Massima – Carta dei Vincoli;
- AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO. Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti; Linee generali di assetto idraulico e idrogeologico; 3.5. Arno, Rile, Tenore