



ANAS S.p.A.
 Direzione Tecnica

LAVORI DI COLLEGAMENTO TRA LA S.S.11 A MAGENTA E LA TANGENZIALE OVEST DI MILANO

VARIANTE DI ABBIATEGRASSO E ADEGUAMENTO IN SEDE DEL TRATTO ABBIATEGRASSO-VIGEVANO FINO AL PONTE SUL FIUME TICINO

1° STRALCIO DA MAGENTA A VIGEVANO - TRATTA C

PROGETTO ESECUTIVO - COD. MI608

 STUDIO CORONA	 Ingegneria del Territorio s.r.l. <hr/> Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	ING. RENATO DEL PRETE <hr/> Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	 ECOPLAN Società di Ingegneria e Architettura s.p.a. <hr/> Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 E&G Engineering & Graphics S.r.l. <hr/> Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
	Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)	 CONSORZIO UNING Società designata: GA&M <hr/> Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	 SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni <hr/> Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 ARKE' INGENGERIA s.r.l. Via Ingegnere Tommaso d'Adda 10/10101 Bari <hr/> Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. Giuseppe Danilo MALGERI	INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Fabrizio BAJETTI	GEOLOGO Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Gianluca CICIRIELLO
---	---	---	--

<h1>BA01</h1>	<h2>B-GEOLOGIA E GEOTECNICA</h2> <h3>RELAZIONE GEOLOGICA</h3>
---------------	---

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. LO203 E 2301	NOME FILE T00GE00GEORE01_B	REVISIONE A	SCALA: -
CODICE ELAB. T00GE00GEORE01	-	-	-

C					
B					
A	EMISSIONE	OTTOBRE 2023	ING. LUIGI MONTERISI	ING. GAETANO RANIERI	ING. FABRIZIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	5
3. DINAMICA GEOMORFOLOGICA GENERALE.....	8
4. IDROGEOLOGIA GENERALE.....	9
4.1 <i>Piezometria</i>	<i>11</i>
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE	16
5.1 <i>Programma di indagini</i>	<i>16</i>
5.2 <i>Sondaggi geognostici</i>	<i>17</i>
5.3 <i>Prove penetrometriche dinamiche.....</i>	<i>17</i>
5.4 <i>Prove geotecniche di laboratorio.....</i>	<i>17</i>
5.5 <i>Indagini geofisiche.....</i>	<i>17</i>
5.5.1 <i>METODOLOGIA MASW.....</i>	<i>17</i>
5.5.2 <i>METODOLOGIA DOWN HOLE.....</i>	<i>17</i>
6. CARATTERI GEOLOGICI LOCALI	18
6.1 <i>Lito-stratigrafia.....</i>	<i>18</i>
6.2 <i>Unità Litotecniche.....</i>	<i>20</i>
6.3 <i>Aspetti Morfologici Locali</i>	<i>20</i>
6.4 <i>Aspetti Idrogeologici Locali.....</i>	<i>21</i>
7. PERICOLOSITA' SISMICA.....	22
7.1 <i>Descrizione della sismicità storica e recente.....</i>	<i>22</i>
7.2 <i>Caratterizzazione sismica del sito in esame.....</i>	<i>25</i>
7.3 <i>Pericolosità sismica locale.....</i>	<i>27</i>
7.3.1 <i>EFFETTI STRATIGRAFICI.....</i>	<i>27</i>
7.3.2 <i>EFFETTI TOPOGRAFICI.....</i>	<i>27</i>
7.3.3 <i>EFFETTI TOPOGRAFICI E STRATIGRAFICI (NORMATIVA REGIONALE)</i>	<i>28</i>
7.4 <i>Sintesi dei parametri sismici</i>	<i>29</i>
7.5 <i>Potenziale di liquefazione</i>	<i>30</i>
8. QUALITA' AMBIENTALE DEI SUOLI.....	31
9. VINCOLI GEOLOGICI	32
10. MODELLO GEOLOGICO.....	32
10.1 <i>Assetto geologico generale.....</i>	<i>32</i>
10.2 <i>Litostratigrafia</i>	<i>33</i>
10.3 <i>Morfologia</i>	<i>33</i>
10.4 <i>Idrogeologia.....</i>	<i>33</i>
10.5 <i>Permeabilità'.....</i>	<i>33</i>
10.6 <i>Principali Opere d'Arte</i>	<i>35</i>
10.6.1 <i>SVINCOLO ZONA FS E NAVIGLIO GRANDE</i>	<i>35</i>
10.6.2 <i>OPERA CV16 – CAVALCAVIA SU STRADA COMUNALE</i>	<i>36</i>
10.6.3 <i>OPERA PO 02 – PONTE ROGGIA TICINELLO.....</i>	<i>37</i>
10.6.4 <i>OPERA PO 03 – PONTE SUL NAVIGLIO BEREGUARDO.....</i>	<i>38</i>
10.6.5 <i>OPERA CV 17 – DEVIAZIONE SP183 - CAVALCAVIA</i>	<i>39</i>
10.6.6 <i>TRATTI IN RILEVATO ED IN TRINCEA.....</i>	<i>40</i>
10.6.7 <i>PIANI DI POSA DEI RILEVATI STRADALI</i>	<i>40</i>
10.7 <i>CONSIDERAZIONI E COMMENTI</i>	<i>41</i>
11. CONCLUSIONI.....	41
11.1 <i>LITO-STRATIGRAFIA</i>	<i>41</i>
11.2 <i>GEOMORFOLOGIA.....</i>	<i>42</i>
11.3 <i>IDROGEOLOGIA</i>	<i>42</i>

11.4 PIANI DI POSA DEI RILEVATI STRADALI 42
11.5 MATERIALI DI SCAVO 42

1. PREMESSA

Nella presente relazione si illustrano gli aspetti geologici ed idrogeologici della zona interessata dal tracciato del 1° stralcio funzionale del nuovo collegamento viario tra la S.S.11 “Padana Superiore” a Magenta e la Tangenziale Ovest di Milano, Variante di Abbiategrasso sulla S.S.494 e adeguamento in sede del tratto Abbiategrasso-Vigevano fino al nuovo ponte sul Fiume Ticino.

L'intervento si articola in due tratte:

- Tratta A, collegamento in variante di lunghezza pari a circa 9 Km, che ha caposaldo iniziale sulla S.S.526 a Magenta e caposaldo finale sulla S.P.114 ad Albairate;
- Tratta C, collegamento in variante di lunghezza pari a circa 8 Km, che ha caposaldo iniziale sullo svincolo n.5 ad Albairate e caposaldo finale sulla S.S.494 Abbiategrasso–Ozzero.

Oggetto della presente relazione è la Tratta C (cfr. Fig.1).

Comunque, vista la grande uniformità dei terreni presenti lungo l'intero tracciato, per talune questioni nel seguito si richiamano anche i risultati delle indagini condotte sulla tratta A.

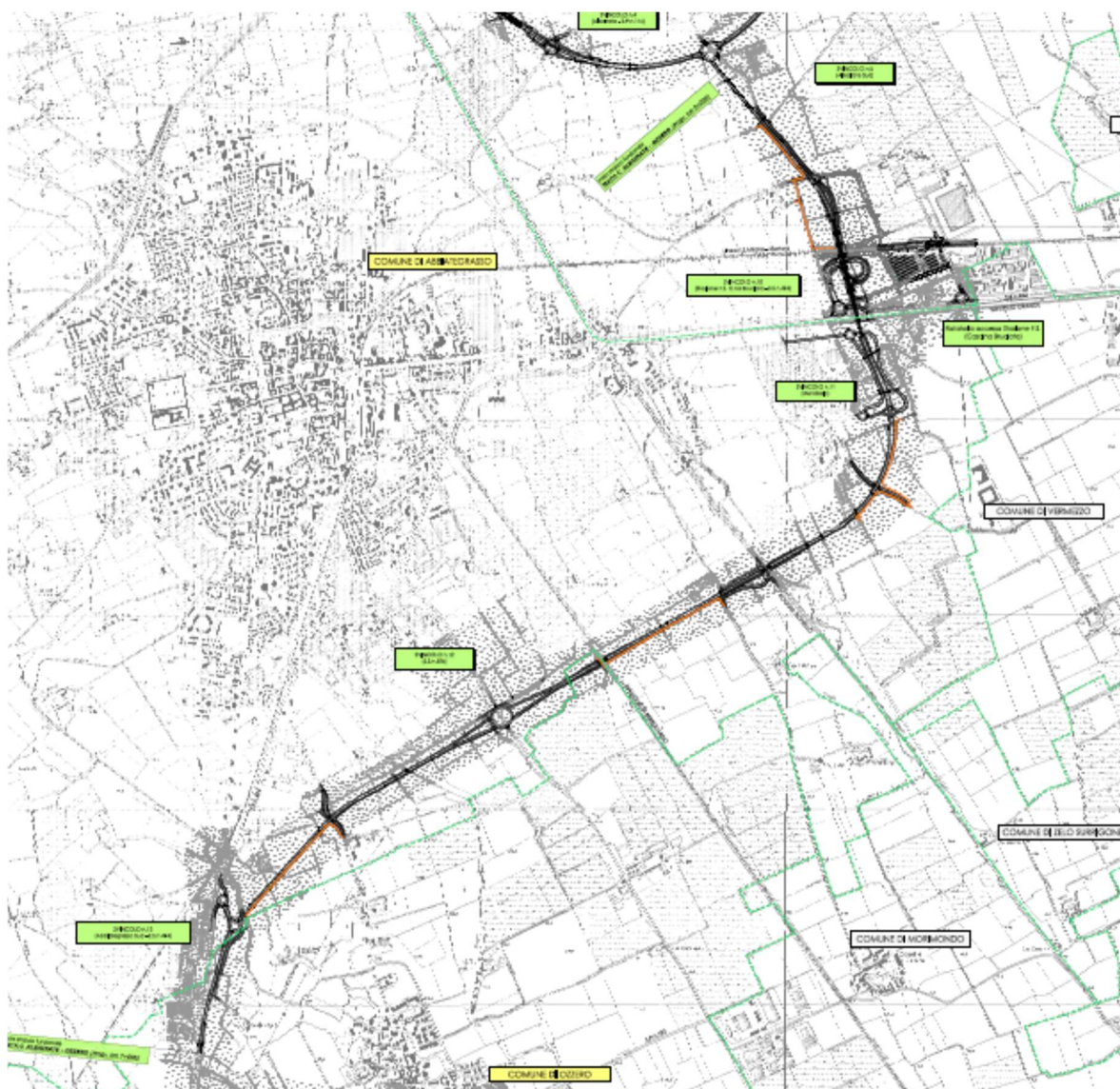


Fig.1 – Corografia del tracciato stradale – Tratta C

L'infrastruttura in progetto viene classificata come opera infrastrutturale ordinaria (tipo 2 di cui alla Tab.1 seguente) cui corrisponde un valore di vita nominale $VN \geq 50$ anni.

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di eventuale collasso in caso di evento sismico l'opera in esame viene classificata in classe d'uso IV cui viene associato un coefficiente d'uso (CU) pari a 2,0 (tabella n.2.4.II – NTC: cfr.Tab.2 seguente).

Il periodo di riferimento (VR) dell'evento sismico, definito come prodotto tra la vita nominale (VN) ed il coefficiente d'uso (CU), nel caso del progetto in esame risulta pari a:

$$VR = 50 \text{ anni} \times 2,0 = 100 \text{ anni.}$$

Tabella 1: Valori minimi della vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni (NTC, 2018)

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale VN (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	≤ 10
2	Costruzioni con livello di prestazioni ordinario	≥ 50
3	Costruzioni con livello di prestazioni elevato	≥ 100

Tabella 2: valori del coefficiente d'uso CU (NTC, 2018)

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE CU	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 3: classi d'uso delle costruzioni (NTC, 2018)

CLASSE I	Costruzioni con solo presenza occasionale di persone, edifici agricoli
CLASSE II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti
CLASSE III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso
CLASSE IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n.6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica

Per la redazione degli elaborati geologici, in assenza di nuove indagini geognostiche, si è fatto riferimento allo studio per il progetto definitivo, redatto nel dicembre 2014 dal geologo dott. Paolo Granata, del quale si riportano di seguito, condividendoli, ampi stralci.

Lo studio svolto è stato finalizzato ad identificare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto, evidenziando anche le criticità del tracciato.

La presente relazione è redatta conformemente alle vigenti "Norme tecniche per le Costruzioni" aggiornamento 2018.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area in esame fa parte della media pianura lombarda ed è geologicamente caratterizzata dalla presenza di una successione di depositi quaternari legati all'attività fluviale e fluvio-glaciale del Fiume Ticino.

Il settore in esame ricade prevalentemente nel Foglio 44 "Novara" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, nonché nel Foglio 45 "Milano" (Fig.2.1 e 2.2); le tavole geologiche allegate fanno riferimento alle unità stratigrafiche ivi distinte, a partire dalla più antica (con riferimento alla legenda del Foglio 44 Novara).

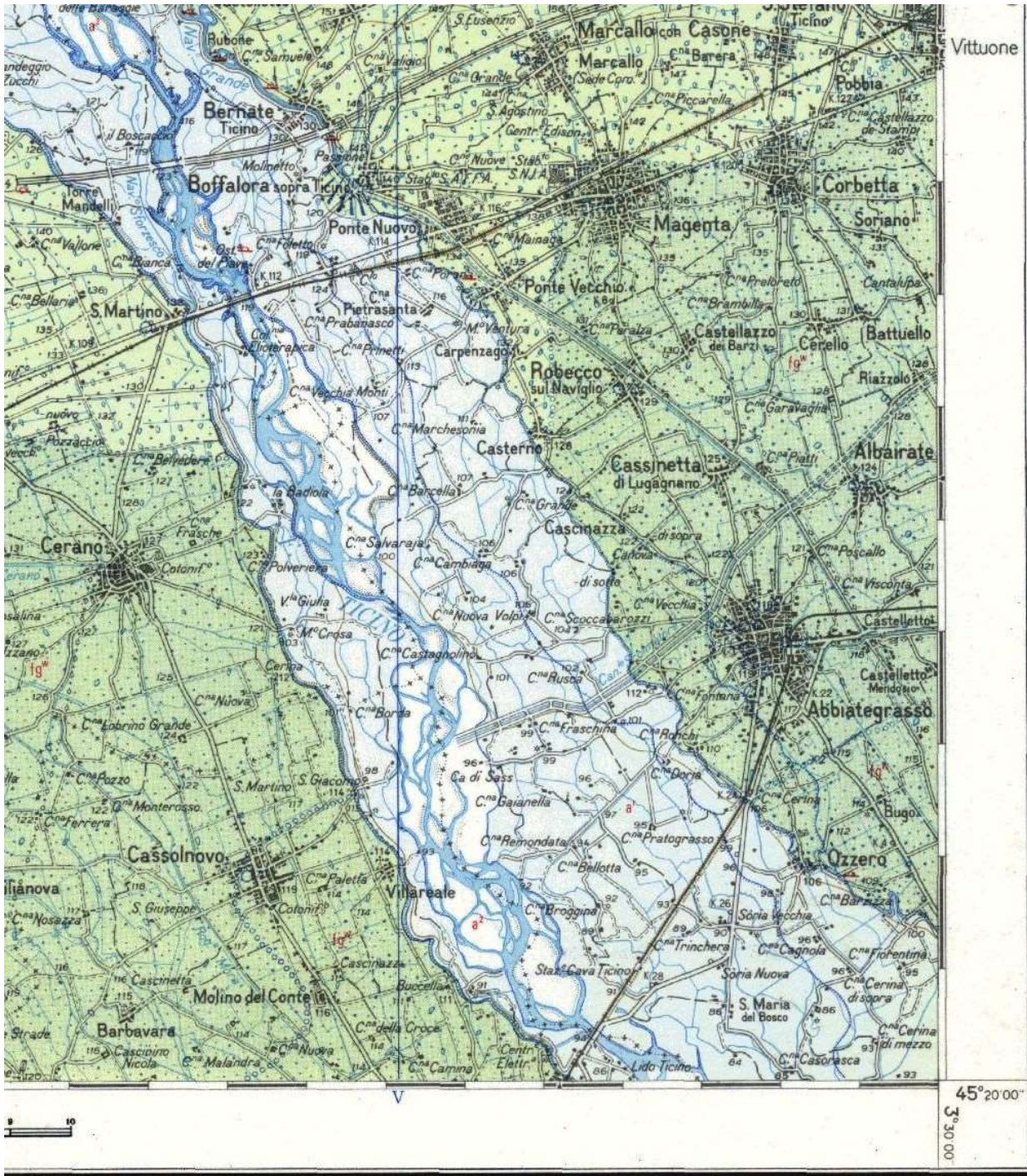


Fig.2.1 - Stralcio del Foglio 44 "Novara" della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

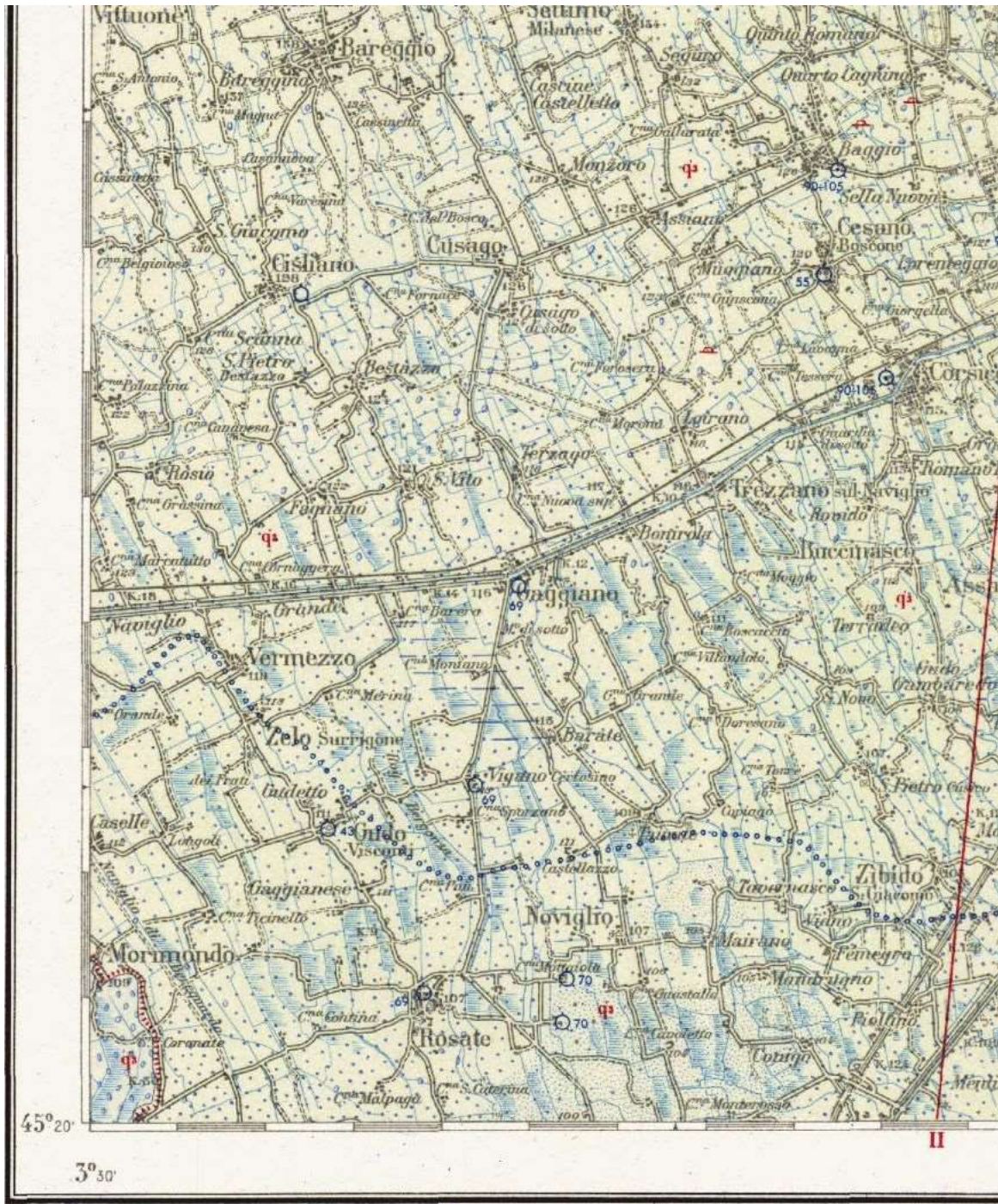


Fig.2.2 - Stralcio del Foglio 45 "Milano" della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

Con riferimento alla Legenda del Foglio 44 Novara ed alle Note illustrative di detto foglio (benchè datate), le formazioni geologiche interessate dalle opere a farsi sono:

- a1: Alluvioni terrazzate ciottolose o ghiaioso-sabbiose, sensibilmente sospese sui corsi d'acqua ("Alluvium antico" s.l.) (Olocene antico)
- l: Alternanze di alluvioni ciottoloso-ghiaiose rugginose e di sabbie giallastre talora argillose; alla base argille rossastre in lenti limitate. (Villafranchiano Inf.) (non affioranti nelle carte di fig.2.1 e 2.2): I terreni villafranchiani affiorano, molto sporadicamente, solo nelle profonde incisioni del

fiute Ticino, nel settore settentrionale del foglio. I depositi villafranchiani costituiscono il basamento di tutti i terrazzi morfologici più importanti del territorio compreso nel foglio Novara.

fiW: Alluvioni fluvio-glaciali ghiaioso-ciottolose (terrazzi superiori del Ticino) e fluviali prevalentemente sabbioso-limose (a valle del limite settentrionale di fontanili) con debole strato di alternanze brunastro (WURM). (in verde chiaro nella carta di fig.2.1)(nel Foglio geologico 45 Milano, questa unità è indicata con la sigla q3): Nella porzione sud del foglio, il numero dei terrazzi si riduce finché, nei pressi di Cameri e di Tornavento, permane un solo livello wurmiano (il 1°), in cui si manifesta un passaggio graduale dalla facies fluvio-glaciale a quella fluviale; tale fluviale, più sabbioso ed a tratti limoso, viene così a costituire la bassa pianura novarese. La linea settentrionale dei fontanili contrassegna "grosso modo" tale cambiamento di facies litologica, cui corrisponde, da un punto di vista idrologico, una risalita della falda freatica verso la superficie.

Nella figura 2.3 allegata (sez.II del Foglio 44 Novara) si osserva il rapporto stratigrafico fra le unità su descritte, rilevato nei dintorni di Oleggio.

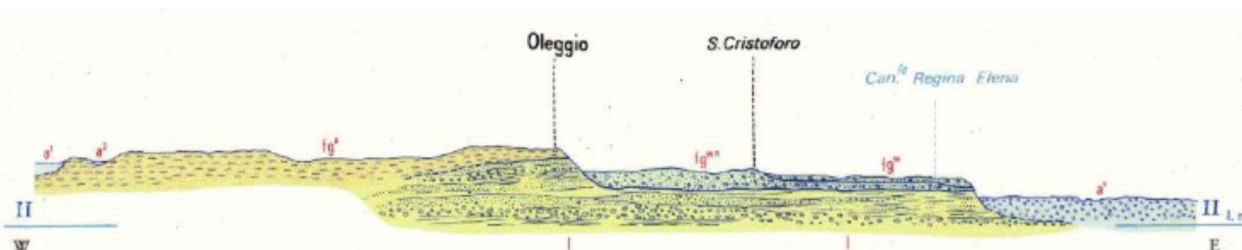


Fig.2.3 – Schema dei rapporti stratigrafici (estratta dal Foglio 44 Novara)

Fin qui quanto riportato nelle Note illustrative della Carta geologica d'Italia.

Proseguendo con le considerazioni riportate nella Relazione del dott.P.Granata, a riguardo dei depositi wurmiani si osserva quanto segue.

Una prima e fondamentale distinzione di tali depositi viene effettuata su base morfologica e permettere di distinguere tre ripiani morfologici, separati da scarpate erosionali di origine fluviale:

- i depositi affioranti ad Est della scarpata principale, posti a quote topografiche più elevate, denotano una genesi fluvio-glaciale e sono attribuibili al Fluvio-glaciale Wurm. Essi rappresentano la porzione medio-grossolana dei sedimenti risalenti al Pleistocene Superiore, accumulatisi nella Valle Padana durante la fase parossistica dell'ultima glaciazione (Wurmiana);
- ad ovest, rispetto alla scarpata principale, i materiali presentano un carattere prevalentemente sabbioso o sabbioso-ghiaioso. La loro origine deve essere ricondotta a fasi successive di alluvionamento e di erosione del Fiume Ticino (Alluvium antico).
- Alluvioni fluvio-glaciali riferibili alla glaciazione Wurmiana, suddivise sulla base di considerazioni litologiche e geomorfologiche, in diverse fasi stadiali wurmiane. A monte della linea dei fontanili si hanno alluvioni fluvio-glaciali ghiaiose, localmente molto grossolane, con paleo-suolo giallo-rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperte da limi più recenti; tali depositi sono attribuiti al periodo Riss-Wurm del Pleistocene Superiore. A valle della linea dei fontanili si hanno invece alluvioni ghiaioso-ciottolose e fluviali prevalentemente sabbioso-limose con debole strato di alterazione brunastro; tali depositi sono attribuite al periodo Wurm del Pleistocene Superiore. Dal punto di vista litologico sono costituiti da ghiaie e sabbie a supporto clastico, mal selezionate e discretamente arrotondate; la matrice è generalmente sabbiosa

grossolana di colore grigio, anche se non sono rari orizzonti fini limosi. I clasti sono prevalentemente di natura granitoide, scistosa e gneissica e privi di alterazione. L'insieme di questi materiali forma il cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura Padana" che definisce i depositi riferibili all'ultima fase di colmamento della pianura, avvenuta nel corso del Pleistocene superiore, ad opera di apparati fluviali di notevoli dimensioni. Nel complesso questi depositi costituiscono una complessa successione di lenti e orizzonti che si interdigitano reciprocamente con variazioni granulometriche più o meno nette e marcate sia in orizzontale che in verticale. Questi terreni fino a 140 metri circa di profondità sono stati depositi nel corso del Pleistocene superiore ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali provenienti dai fronti di espansione dei ghiacciai e sono classificati in letteratura come "Diluvium Recente". Essi sono stati trasportati dalle acque di fusione dei ghiacciai innalzando il livello della pianura fino all'odierna morfologia, in successione ai sedimenti di origine marina costituiti da argille e argille marnose.

- Alluvioni ghiaiose recenti ed attuali (Olocene superiore) degli alvei fluviali abbandonati ed attivi. Sono costituite da ghiaie e ghiaie sabbiose con locali intercalazioni di livelli sabbioso-limosi legati a fenomeni di esondazione.

Da quanto sin qui esposto si evince che i terreni interessati dalle opere in progetto (volume significativo) ricadono perlopiù nella unità delle Alluvioni fluvio-glaciali ghiaioso-ciottolose (terrazzi superiori del Ticino) e fluviali prevalentemente sabbioso-limose (*WURM*). Solo nella parte finale della Tratta C affiorano le alluvioni terrazzate dell'Olocene.

Nelle tavole allegate alle unità stratigrafiche ufficiali sono state sovrapposte informazioni litologiche derivanti dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati, che hanno permesso la distinzione, relativamente agli orizzonti più superficiali, di tre sub-unità:

a) Sabbia con ghiaia/ghiaia con sabbia: si tratta di terreni granulari di composizione medio grossolana generalmente privi di frazione fine limosa (presente solo localmente in tracce); rappresenta la litologia più diffusa lungo il tracciato stradale in esame.

b) Sabbia limoso ghiaiosa: si tratta di terreni prevalentemente sabbiosi con una percentuale non trascurabile di limo e di ghiaia; questo litotipo è stato individuato in corrispondenza del sondaggio S14-15 (presso Albairate, al termine della "Tratta A").

c) Limo sabbioso/limo con sabbia: questa litozona fine è stata individuata nei sondaggi S14-32 e S14-33 (lungo la "Tratta C" a Sud di Abbiategrasso).

3. DINAMICA GEOMORFOLOGICA GENERALE

Il territorio in esame presenta una morfologia pianeggiante, con scarse evidenze morfologiche, rappresentate da lievi ondulazioni, orli di terrazzo e superfici leggermente rilevate.

Dal punto di vista altimetrico il tracciato si sviluppa tra una quota di 121 e 90 m s.l.m. degradando da Nord verso Sud con una pendenza media pari al 3 per mille.

Gli elementi morfologici principali sono rappresentati dagli orli di terrazzo, spesso obliterati dall'azione antropica, che presentano un generale sviluppo Nord-Sud; la genesi di queste scarpate è riconducibile all'azione erosiva dei torrenti proglaciali che, rimodellando la superficie topografica durante la fase di ritiro dei ghiacciai, danno luogo a morfologie depresse dalla tipica forma di valloni, a fondo debolmente concavo o piatto.

Il comparto in esame appare intensamente antropizzato, con conseguente alterazione ed influenza sui processi morfogenetici naturali, soprattutto in relazione al controllo della circolazione idrica superficiale e all'impermeabilizzazione del suolo ad opera di coperture artificiali.

Un'ulteriore modificazione indotta sul territorio deriva anche dallo sfruttamento a fini estrattivi di cave di ghiaia e sabbia. Si sottolinea in proposito che in località Ponte Nuovo è presente una piccola depressione legata ad una antica attività estrattiva di altezza superiore a 5 m che interferisce con il tracciato previsto.

Il territorio si caratterizza quindi per la completa oblitterazione delle dinamiche morfologiche naturali: il reticolo idrografico risulta intensamente regimato ed il territorio pianeggiante è interrotto da piccole scarpatine ed avvallamenti di esclusiva genesi agricola.

Ulteriori elementi morfologici sono rappresentati dai paleo-alvei sepolti e dai fontanili. I primi possono avere una locale influenza sulle linee isopiezometriche caratterizzandosi per permeabilità equivalenti orizzontali anche di ordini di grandezza differenti rispetto alle matrici in cui si trovano; le dimensioni di queste strutture sono ridotte a larghezze nell'ordine delle decine di metri e si rinvencono principalmente nell'intorno dei corsi d'acqua che presentano andamenti meandriformi.

I fontanili sono emergenze sorgentizie originate da una progressiva predominanza, nell'acquifero indifferenziato, di terreni a bassa permeabilità in grado di condizionare la circolazione sotterranea dell'acqua. Spesso la loro origine è riconducibile ad interventi antropici finalizzati al drenaggio delle acque per alimentare le rogge artificiali. Tali fontanili si localizzano lungo una fascia orientata E-O nel settore della media pianura lombarda. Non tutti i fontanili evidenziati nella cartografia allegata risultano attivi.

Infine si riconoscono localmente delle zone di ristagno idrico connesse sia alla presenza di orizzonti fini superficiali sia all'emergenza diffusa della falda idrica. Ad esempio, una di queste aree di ristagno, situata in Località Ponte Nuovo (non ricadente però nella Tratta C), viene interessata dal nuovo tratto stradale (Tratta A: "Variante di Ponte Nuovo").

4. IDROGEOLOGIA GENERALE

Nella tabella 4.1 sono riportate le denominazioni delle diverse unità idrogeologiche presenti nel sottosuolo di Milano e hinterland secondo diversi Autori.

Unità litologiche (Martini B., Mazzarella S., 1971)	Unità idrostratigrafiche (Francani e Pozzi 1981)	Unità stratigrafiche (Pieri e Groppi 1981)	Unità idrogeologiche (Avanzini, Beretta, Francani et al. 1995)	Gruppi acquiferi (Regione Lombardia e AGIP 2002)
Litozona ghiaiosa-sabbiosa	Fluvioglaciale Wurm Auct. (Dil. recente)	Alluvione	Unità ghiaioso-sabbiosa	A
	Fluvioglaciale Riss-Mondel Auct. (Dil. Medio-antico)		Unità sabbioso-ghiaiosa	B
	Ceppo autoctono		Unità conglomerati e arenarie basali	
Litozona sabbioso-argillosa	Villafranchiano	Sabbie di Asti	Unità sabbioso-argillosa (facies continentali e di transizione)	C
Litozona argillosa			Unità argillosa (Facies marine)	D

Tab. 4.1 – Descrizione unità idrogeologiche del sottosuolo milanese (Regione Lombardia & ENI – Divisione AGIP, 2002).

Riassumendo, si può dire che nel sottosuolo del comparto in esame sono state riconosciute ai fini idrogeologici tre litozone:

- **Litozona ghiaioso-sabbiosa** (nella quale si riconosce una sub-unità sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica): questa unità è caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi grossolani, con lenti argillose di limitato spessore ed estensione areale, ed è sede di un acquifero libero, che trae alimentazione per lo più dall'infiltrazione superficiale delle acque meteoriche e irrigue; la sub-unità sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica più antica affiora nelle aree pedemontane e di alta pianura, dove forma i terrazzi morfologicamente più elevati; gli acquiferi in essa contenuti sono separati da quello sovrastante da diaframmi scarsamente permeabili costituiti da limi e argille, talora molto spessi e quasi sempre molto estesi, che limitano gli scambi tra i due livelli acquiferi e determinano la presenza di falde semi-confinare e localmente confinate; in linea generale, gli acquiferi più produttivi e di maggiore estensione areale si localizzano nella porzione sommitale e sono quelli attualmente sfruttati dalla maggior parte delle opere di captazione; l'insieme degli acquiferi contenuti in questa unità viene identificato come acquifero tradizionale, anche se nella realtà questo complesso è formato da un sistema multifalda che viene assimilato ad un acquifero monostrato; questa condizione strutturale assume un carattere ancor più marcato nelle aree di bassa pianura dove, in relazione all'affinamento della granulometria dei terreni, l'unità in esame è caratterizzata, già a partire dalla superficie, dalla prevalenza di livelli limoso-argillosi ai quali si alternano terreni più grossolani, che formano acquiferi con falde semi-confinare o confinate; lo spessore medio varia da 90-100 m nel settore settentrionale ai 20-40 m nella zona meridionale.
- **Litozona sabbioso-argillosa**: formata in prevalenza da argille e limi di colore grigio e giallo, con frequenti alternanze nella colorazione e con presenza di torbe, costituisce generalmente il substrato della falda acquifera tradizionalmente sfruttata; nei livelli sabbiosi o, più raramente, sabbioso-ghiaiosi sono presenti falde confinate, che traggono la loro alimentazione dalle aree poste più a N e dallo scambio con gli acquiferi soprastanti, laddove i setti argillosi di separazione sono discontinui; lo spessore più rilevante di tale unità si rinviene nell'area occidentale della Provincia di Milano con valori variabili tra 100 e 200 m, a fronte di valori compresi tra 0 e 160 m riscontrabili nei settori centrali e orientale.
- **Litozona argillosa**: formata prevalentemente da argille e limi di colore grigio-azzurro con micro e macro fossili marini, alle quali sono subordinati livelli sabbiosi, talora cementati, generalmente di modesto spessore; queste unità, che si rinviengono nei pozzi per acqua profondi oltre 220-280 m nella media pianura e 130 m nell'alta pianura, vengono attribuite al Pleistocene inferiore (Calabriano). Le principali variazioni litologiche sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limoso-argillosi, che si verifica non solo con l'aumento della profondità, ma anche procedendo da N verso S.

In sintesi, vengono generalmente distinti nell'ambito del territorio milanese tre complessi acquiferi principali (Fig.3):

- **Acquifero tradizionale**: è l'acquifero superiore, costituito dalle unità ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica, comunemente sfruttato dai pozzi pubblici; la base di tale acquifero è generalmente definita dai depositi Villafranchiani.
- **Acquifero profondo**: è costituito dai livelli permeabili presenti all'interno dei depositi continentali del Pleistocene inferiore ed è a sua volta suddiviso in quattro corpi acquiferi minori.
- **Terzo acquifero**: si tratta di una serie di livelli acquiferi presenti nelle argille marine, solo sporadicamente presente nelle sezioni stratigrafiche.

All'interno del corpo acquifero tradizionale viene comunemente distinto un acquifero freatico superficiale, presente fino ad una profondità di 40-45 m dal piano campagna, ed uno semi-confinato sottostante (con una profondità variabile tra 80 e 120 m dal piano campagna), separato dal precedente tramite lenti poco permeabili (aquitard) di spessore variabile (da 5 a 20m) e spesso discontinue. Tale orizzonte semipermeabile può essere individuato con una discreta continuità nella porzione meridionale dell'area, mentre tende ad assottigliarsi e progressivamente a scomparire verso N, dove non si ha più la distinzione tra gli acquiferi. Di conseguenza, nella parte settentrionale è presente la sola falda libera (una sola unità ghiaioso-sabbiosa), mentre nella parte a meridionale troviamo due unità ghiaioso-sabbiose separate da uno strato continuo di argilla e limo.

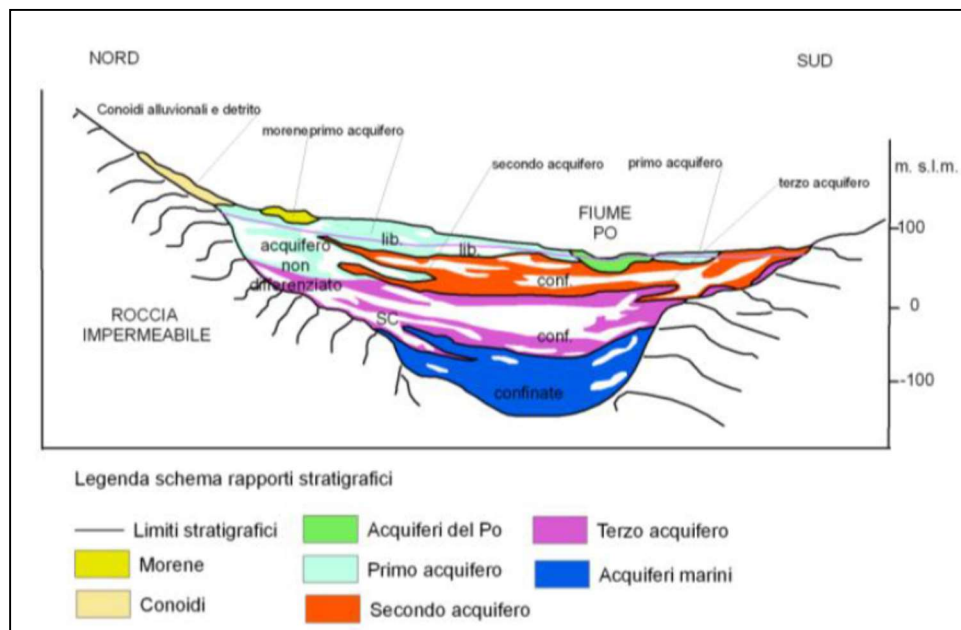


Fig.3 – Schema geologico della Pianura Padana.

Nella più recente suddivisione in unità idro-stratigrafiche proposta da Regione Lombardia ed ENI (2002) si identificano i seguenti gruppi acquiferi (Tab.4.1):

- **Gruppo Acquifero A:** corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale (litozona ghiaioso-sabbiosa);
- **Gruppo Acquifero B:** corrisponde alla porzione di acquifero tradizionale più profondo, generalmente confinato o semi-confinato (litozona sabbioso-ghiaiosa e conglomeratica);
- **Gruppo Acquifero C:** corrisponde all'acquifero profondo della litozona sabbioso-argillosa (Villafranchiano);
- **Gruppo acquifero D:** corrisponde all'acquifero profondo della litozona argillosa.

4.1 PIEZOMETRIA

Nella carta idrogeologica allegata (All.T00.GE00.GEO.CI01.A e T00.GE00.GEO.CI02.A) è stata riportata la piezometria e la soggiacenza elaborata dal Sistema Informativo Falda della Provincia di Milano per il settembre 2013 (cfr.fig.4.1).

L'andamento generale del livello della falda contenuta nell'Acquifero evidenzia una morfologia con linee di flusso che presentano un andamento generale NO-SE. In prossimità del fiume Ticino, nella zona di interesse della tratta C, le linee di flusso hanno, invece, direzione NE-SO. I valori di soggiacenza sono piuttosto variabili: da meno di 1 m in corrispondenza delle estremità

settentrionale (Loc. Ponte Nuovo – Tratta A) e meridionale (Loc. Soria – Tratta C) fino ad oltre 7-10 m nella fascia in prossimità della scarpata che delimita la Valle del Ticino.

Più in particolare, la piezometria della falda libera superficiale è caratterizzata da una struttura radiale convergente, nella quale si risente l'effetto drenante del Fiume Ticino.

Le quote della falda variano da 130 m s.l.m. ca. nel settore settentrionale (Comune di Boffalora Ticino, Loc. Ponte Nuovo – Tratta A) a 88 m s.l.m. ca. nel settore meridionale (Comune di Ozzero, Loc. Soria – Tratta C).

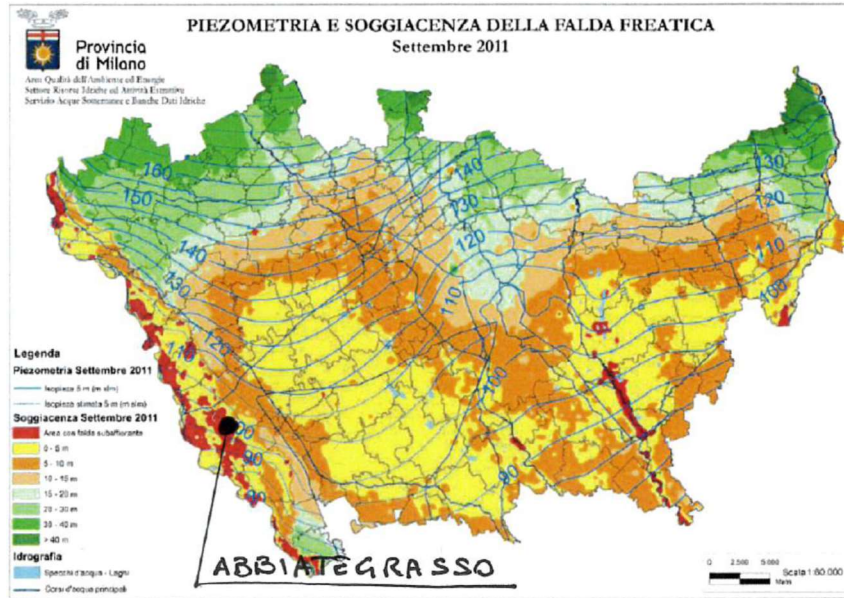


Fig.4.1 – Piezometria e soggiacenza della falda freatica, settembre 2011
 (Sistema Informativo Falda, Provincia di Milano).

Ulteriori informazioni circa l'andamento della prima falda (riferite comunque al periodo 2009-2013) sono state ricavate dall'esame della cartografia del piano di governo del territorio (PGT) dei comuni di Albairate, Abbiategrasso ed Ozzero interessati dal tronco stradale in progetto (cfr. fig. 4.2, 4.3, 4.4).

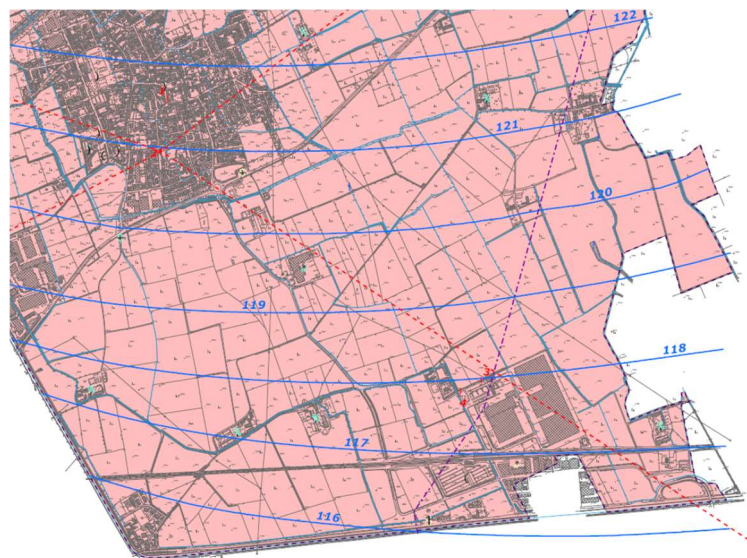


Fig.4.2 – Isopieziche Comune Albairate

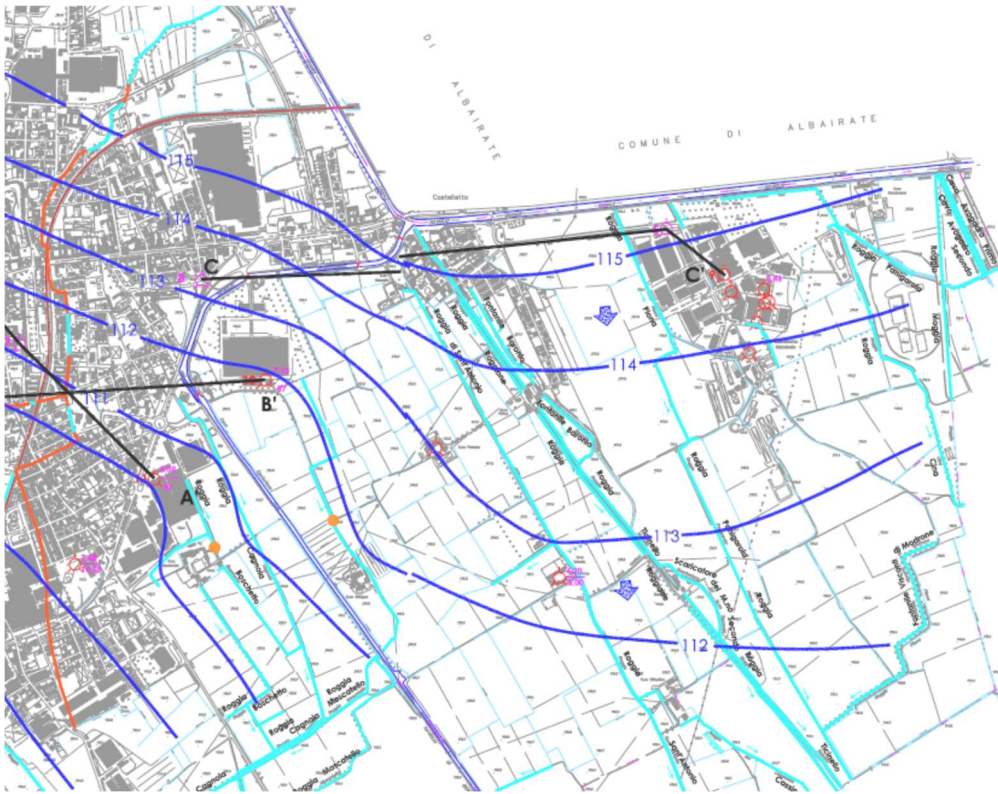


Fig.4.3 – Isopieziche Comune Abbiategrasso

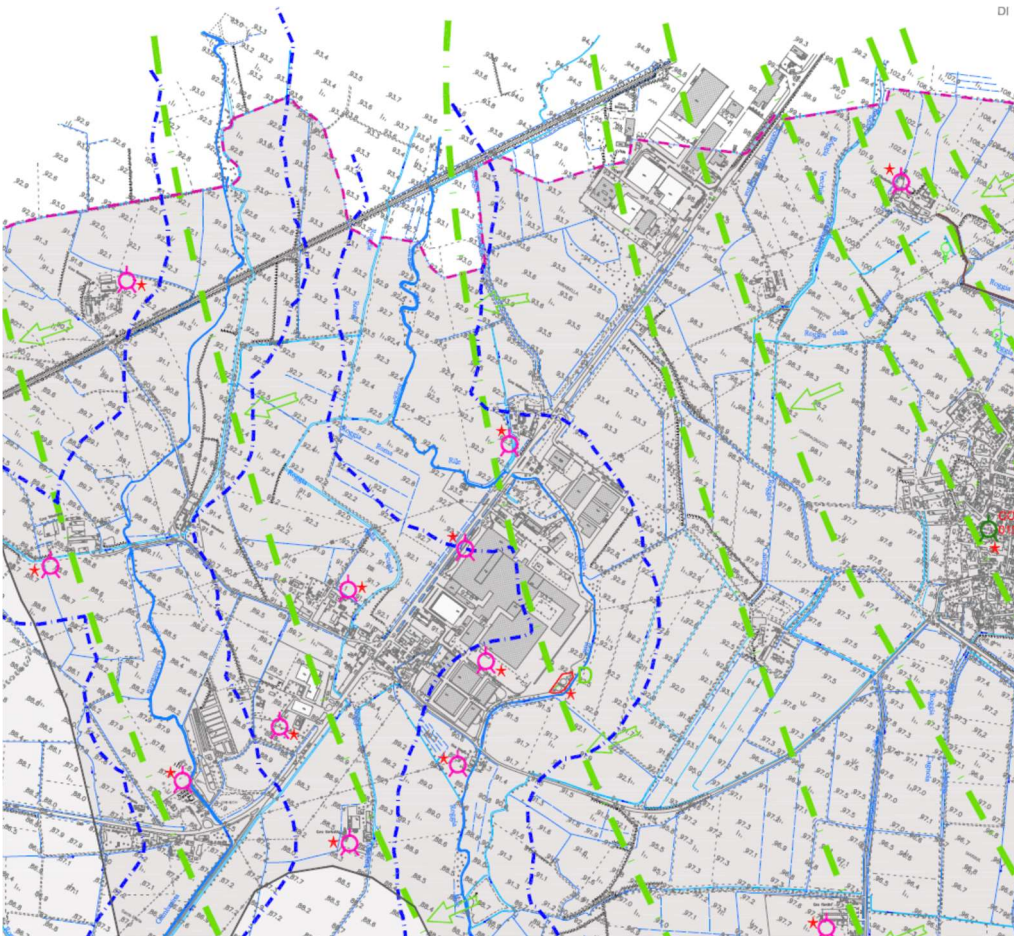


Fig.4.4 – Isopieziche Comune Ozzero

Misurazioni più recenti eseguite dalla Città metropolitana di Milano, risalenti a Marzo 2023, sono riportate nel sito ambientale dell'Ente. Dal confronto delle varie registrazioni si evince che non vi sono grandi differenze nella zona a sud di Abbiategrasso. A nord, verso Albairate, si osserva, invece, un abbassamento del livello di falda, il che potrebbe anche essere riconducibile solo alla siccità dell'estate passata. Si ritiene, pertanto, prudentiale lasciare inalterate le isopieziche riportate nella carta idrogeologica.

Nella figura 4.5 è riportata la sezione idrogeologica C-C' estratta dagli elaborati del PGT di Abbiategrasso, molto prossima al tracciato stradale (cfr. Tav. T00.G00.GEO.CI01.A). Essa mostra i vari livelli di falda riscontrati all'interno dei pozzi per estrazione di acqua presenti in zona.

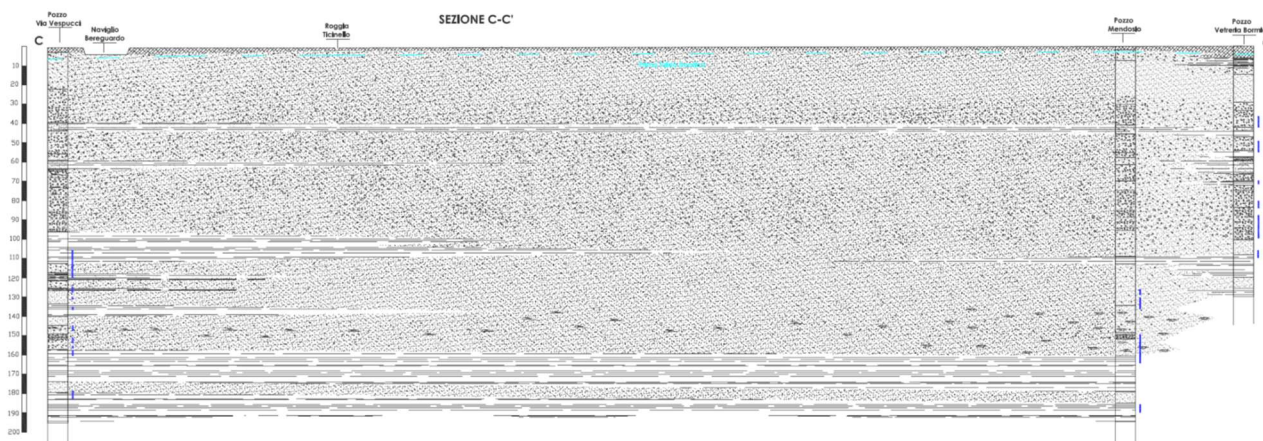


Fig.4.5 – Sezione idrogeologica C-C' nel Comune di Abbiategrasso

Molto pronunciate risultano anche le differenze di gradiente idraulico, che risente nel settore occidentale dell'andamento della superficie topografica (scarpata del Fiume Ticino) e nel settore meridionale della variazione granulometrica (presenza di materiali più fini), passando dallo 0,5% allo 0,3%.

Per quanto riguarda le oscillazioni piezometriche stagionali si registrano oscillazioni variabili dall'ordine metrico nella zona settentrionale all'ordine decimetrico nella zona meridionale. Variazioni ridotte si registrano anche in prossimità del Fiume Ticino, che svolge un'azione regolatrice dei livelli piezometrici. Le oscillazioni piezometriche osservate risentono fortemente dell'andamento del periodo irriguo. Infatti, i massimi livelli della falda (minima soggiacenza) si registrano nei mesi di agosto/settembre, mentre i minimi (massima soggiacenza) sono raggiunti tra marzo e aprile.

Per quanto riguarda l'andamento storico della falda si fa riferimento, oltre che alla bibliografia disponibile, all'analisi delle misurazioni di alcuni pozzi pubblici idropotabili situati in prossimità del tracciato viario in esame (Fig.5).

La piezometria e la soggiacenza rappresentate nella carta idrogeologica allegata (SIF, settembre 2013) hanno valore indicativo in quanto la falda a carattere locale può risentire di particolarità litologiche, idrogeologiche e topografiche non individuabili alla scala di inquadramento. Per tale motivo sono riportate anche le misure effettuate nei piezometri realizzati nel corso della campagna geognostica del 2014 (Tab.4.2) che consentono una individuazione più accurata dell'assetto idrogeologico in funzione delle esigenze progettuali.

RELAZIONE GEOLOGICA

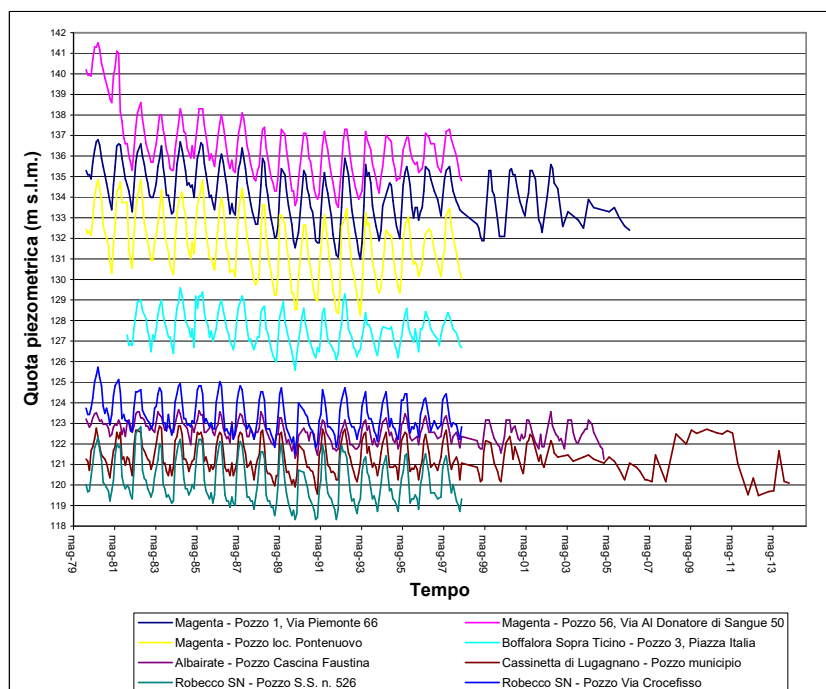


Fig.5 - Andamento del livello piezometrico in alcuni pozzi pubblici.

sondaggio	tratta	Quota da p.c. (m s.m.)	Soggiacenza da p.c. (m s.m.)	Quota piezometrica da p.c. (m s.m.)
S14-25	C	--	2.41	--
S14-26	C	--	2.93	--
S14-31	C	114.55	2.17	112.38
S14-33	C	114.94	5.29	109.65
S14-35	C	108.87	4.55	104.32
S14-36	C	107.08	5.76	101.32

Tab.4.2 – Misure piezometriche effettuate nei piezometri in data 20/11/2014

sondaggio	tratta	Quota da p.c. 16 marzo 1999	Quota da p.c. 7 aprile 2000
S1	C	---	-8.00
S2	C	-8.00	-8.00
S3	C	---	-5.55
S4	C	-3.80	-3.35
S5	C	-4.20	-3.65
S6	C	-3.10	-2.60
S7	C	-9.30	-7.70
S8	C	-6.20	-6.40
S9	C	-8.20	-7.90
S10	C	-4.60	-4.40
S11	C	-3.50	-3.20
S12	C	-2.80	-2.60
S13	C	-2.40	-2.20
S14	C	-3.30	-3.15

Tab.4.2 bis – Misure piezometriche (campagna di indagini 1999-2000)

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

5.1 PROGRAMMA DI INDAGINI

Per la caratterizzazione geologica, idrogeologica, meccanica e sismica della tratta C in esame è stata realizzata nel corso dei mesi di ottobre e novembre 2014 una campagna geognostica strutturata sulle seguenti indagini (Elaborati T00.GE00.GEO.PU01.A e T00.GE00.GEO.PU02.A):

- n.15 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a profondità variabili tra m 20 e 35 da p.c. con realizzazione di prove penetrometriche in foro (SPT); alcuni fori di sondaggio sono stati attrezzati a piezometro per il monitoraggio della falda; n.5 perforazioni (S19, S21, S23, S32, S34) sono state attrezzate per l'esecuzione di rilievi sismici down-hole
- n.46 campioni rimaneggiati prelevati dai sondaggi per analisi granulometriche e per la determinazione dei limiti di Atterberg;
- n.4 stendimenti sismici con metodologia MASW (05, 06, 07,09);
- n.17 prove penetrometriche dinamiche continue (DPH);
- n.10 pozzetti esplorativi per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio per la classificazione stradale ex CNR UNI 10006 (queste indagini sostituiscono, in accordo con ANAS S.p.A., le prove di carico su piastra che non è stato possibile realizzare per inagibilità dei terreni dovuta alle forti precipitazioni che hanno caratterizzato tutto il mese di novembre);
- n.15 analisi chimiche per l'accertamento dello stato di qualità dei suoli superficiali.

Altre indagini eseguite nel 2014 hanno interessato la Tratta A (compresa fra la S.S.526 a Magenta e la S.P.114 ad Albairate). I terreni interessati dalla Tratta A sono gli stessi interessati dalla Tratta C, per cui i risultati delle indagini ivi condotte possono ben completare le informazioni di carattere geologico.

Nella Relazione geologica che accompagna il Progetto definitivo si legge che nel Febbraio 2000 e nell'Aprile 2008 erano state condotte altre due campagne geognostiche condotte sempre da ANAS nell'ambito dell'Accordo di programma quadro in materia di trasporti sottoscritto con la Regione Lombardia. In particolare, le due campagne di indagini geognostiche comprendono le seguenti indagini (Elaborati T00.GE00.GEO.PU01.A e T00.GE00.GEO.PU02.A):

- n.14 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (anno 2000) spinti fino a profondità variabili da 20 a 30 m da p.c. con realizzazione di prove penetrometriche in foro (SPT); alcuni fori di sondaggio sono stati attrezzati a piezometro per il monitoraggio della falda; solo quattro (S7, S8, S9 e S10) di detti sondaggi interessano la tratta C);
- n.84 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT;
- n.22 prove penetrometriche dinamiche tipo SCPT; quelle che interessano la tratta C sono in tutto 10 e risultano effettuate sette (SCPT8-SCPT14) nel 2000 e tre (SCPT 3,4,5) nel 2008;
- n.14 piezometri a tubo aperto;
- n.84 campioni rimaneggiati prelevati dai sondaggi per analisi granulometriche e per la determinazione dei limiti di Atterberg.

Pertanto, di seguito vengono descritti sinteticamente i risultati delle due campagne geognostiche di cui sopra; per una visione completa delle risultanze delle indagini effettuate si rimanda ai documenti specifici sulle indagini svolte (elaborati T00.GE00.GEO.RE02.A+05.A).

5.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Come meglio specificato più avanti, in tutte le perforazioni sono stati rinvenuti materiali prevalentemente granulari rappresentati da sabbia fine, sabbia limosa, sabbia con ghiaia e ghiaia con sabbia. In corrispondenza di alcune verticali di perforazione sono inoltre stati individuati, nelle porzioni più superficiali (entro la profondità di m 10), orizzonti di spessore metrico di materiali coesivi, costituiti da limi sabbiosi, limi con sabbie o argille.

Lungo tutto il tracciato analizzato si osserva una diminuzione della frazione ghiaiosa con la profondità. Per profondità superiori a 15-25 m si incontrano materiali di tipo quasi esclusivamente sabbioso.

5.3 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Le prove penetrometriche dinamiche sono state eseguite con un penetrometro dinamico tipo Pagani DPH (Dynamic Probing Heavy) (campagna 2014) e tipo Sunda (campagna 2008).

Come meglio specificato più avanti, i terreni mostrano in generale un graduale aumento della resistenza alla penetrazione con la profondità, specialmente nelle prove da P14-15 a P14-26, dove si raggiunge il rifiuto alla penetrazione. Localmente si osservano orizzonti di spessore metrico con resistenza media e medio-alta anche a bassa profondità (entro 7-8 m dal p.c.), cui segue dapprima una riduzione del grado di addensamento e quindi un graduale aumento con la profondità.

5.4 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Nel corso delle perforazioni sono stati prelevati n.46 (campagna 2014) + 84 (campagna 2008) campioni rimaneggiati, che sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico finalizzate alla classificazione (granulometria e limiti di consistenza).

Per quanto riguarda la distribuzione granulometrica la maggior parte dei campioni analizzati sono costituiti prevalentemente da sabbia con frazioni minori di ghiaia e limo (fino al 35%); secondariamente si evidenziano ghiaie (con sabbia o sabbiose) e meno frequentemente limi (con sabbia o sabbiosi). Sulla base della plasticità, le porzioni fini dei terreni analizzati ricadono nel campo dei limi di bassa plasticità (ML).

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica.

5.5 INDAGINI GEOFISICHE

E' stata condotta una campagna di indagini geofisiche (2014) con metodologie MASW e Down Hole, allo scopo di ottenere il valore medio di velocità delle onde S ($V_{s,30eq}$) e ricavare la categoria di sottosuolo per ogni area indagata.

5.5.1 METODOLOGIA MASW

Sono state condotte n.4 prospezioni geofisiche con metodologia MASW (2014).

Le indagini mostrano generalmente un aumento graduale della velocità delle onde S con la profondità; i valori di $V_{s,30eq}$ ottenuti sono generalmente compresi tra 260 e 350 m/s, corrispondenti alla categoria di suolo C.

5.5.2 METODOLOGIA DOWN HOLE

I sondaggi S14-19, SA14-21, SA14-23, S14-32 e S14-34 sono stati attrezzati per l'esecuzione di indagini geofisiche con metodologa Down-hole. I valori di $V_{s,30eq}$ ottenuti sono compresi tra 230 m/s e 310 m/s, corrispondenti alla categoria di suolo C.

6. CARATTERI GEOLOGICI LOCALI

Il modello geologico (esposto al successivo capitolo 10) ed il modello geotecnico elaborati sono rappresentati nei profili geologici e geotecnici allegati (Elaborati P00.GE00.GEO.FP01A e P00.GE00.GEO.FP10A, P00.GE00.GET.FP01A e P00.GE00.GET.FP10A).

Di seguito si descrivono gli elementi geologici utilizzati per la ricostruzione di detti modelli.

6.1 LITO-STRATIGRAFIA

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti adottando il metodo di perforazione a rotazione, con carotaggio continuo integrale, utilizzando carotieri semplici di diametro di 101 mm.

Le profondità investigate variano da 20 m a 35 m dal piano campagna.

In figura 6.1 è riportata, come esempio delle caratteristiche lito-stratigrafiche dei terreni presenti lungo la tratta C, la stratigrafia del sondaggio S14-26. Per una visione completa delle stratigrafie dei sondaggi meccanici si rimanda ai documenti sulle indagini geognostiche (All. T00.GE00.GEO.RE.02A- T00.GE00.GEO.RE.05A).

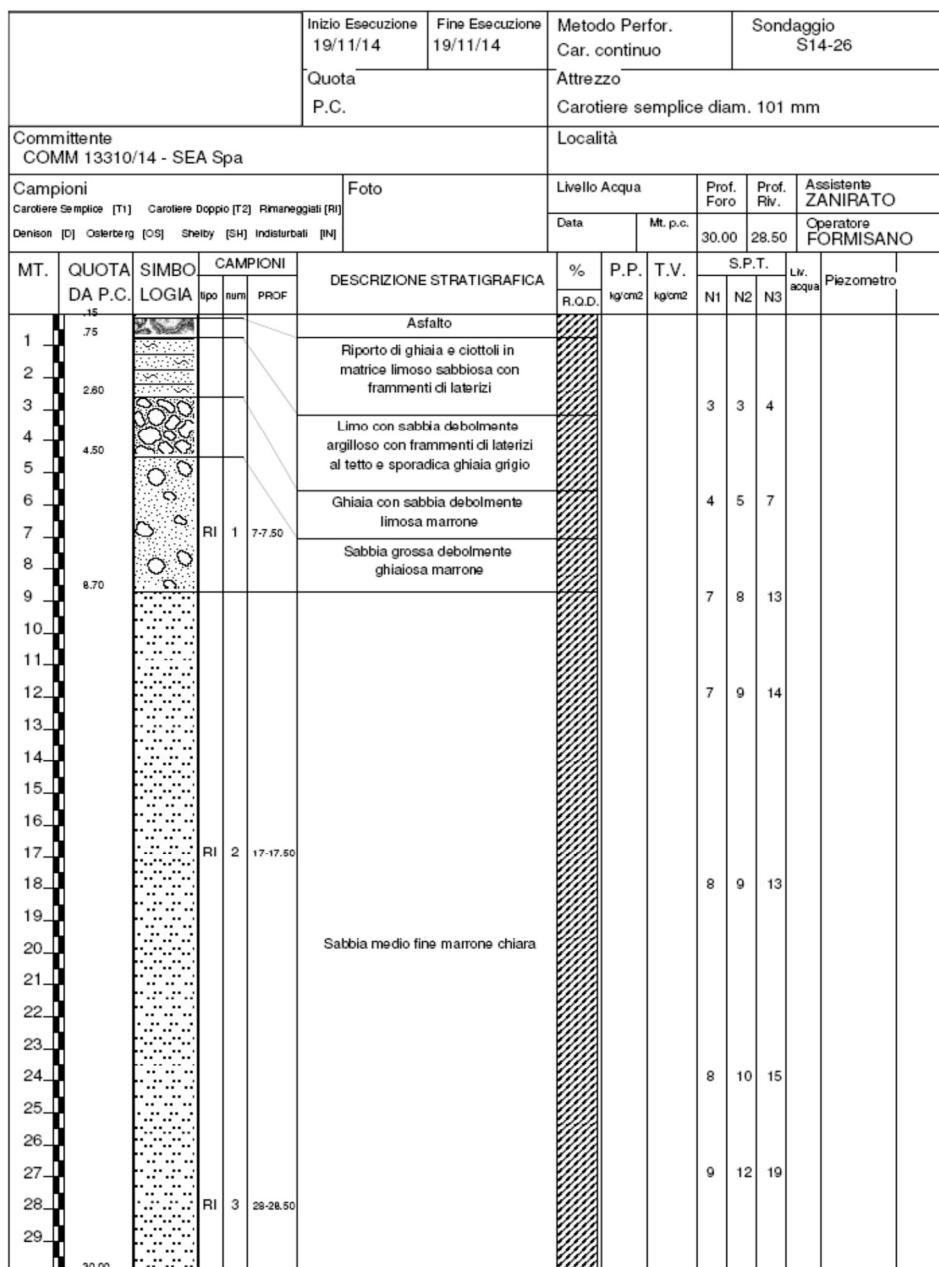


Fig.6.1 – Stratigrafia sondaggio S14-26

Nella tabella allegata sono riportati sinteticamente gli spessori degli strati attraversati dai sondaggi geognostici ricadenti lungo il tracciato della Tratta C.

S14-19	S14-20	S14-21	S14-22
0,40 Terreno vegetale	0,40 Terreno vegetale	0,60 Terreno vegetale	0,60 Terreno vegetale
11,40 Sabbie ghiaiose	10,20 Sabbie ghiaiose	9,80 Sabbie ghiaiose	8,30 Sabbie ghiaiose
18,20 Sabbie da grossa a fine, a tratti limosa	19,40 Sabbie	4,90 Sabbie	21,20 Sabbie
		8,20 Sabbie ghiaiose	
		6,50 Sabbie	

S14-23	S14-25	S14-26	S14-31
0,30 Terreno vegetale	0,20 Terreno vegetale	0,15 Asfalto	0,30 Terreno vegetale
1,60 Limo sabbioso-argilloso	1,40 Materiale di riporto	0,75 Materiale di riporto ghiaioso-ciottoloso	3,70 Sabbie ghiaiose
7,90 Sabbie ghiaiose	11,20 Sabbie ghiaiose	1,90 materiale di riporto limoso-sabbioso	27,00 Sabbie
20,20 Sabbie da grossa a fine, a tratti limosa	17,00 Sabbie	6,10 Sabbie ghiaiose	
		21,30 Sabbie	

S14-32	S14-33	S14-34	S14-35
0,40 Terreno vegetale	0,40 Terreno vegetale		0,30 Terreno vegetale
1,60 Limo sabbioso-argilloso	3,60 Limo sabbioso-argilloso	9,00 Sabbie ghiaiose	5,90 Sabbie ghiaiose
1,10 Sabbie limose	4,00 Sabbie ghiaiose	26,00 Sabbie	28,80 Sabbie
11,20 Sabbie ghiaiose	6,50 Sabbie		
20,70 Sabbie da grossa a fine, a tratti limosa	8,00 Limo sabbioso		
	22,50 Sabbie		

S14-36	S8 (2000)	S9 (2000)	S10 (2000)
0,40 Terreno vegetale	0,90 Terreno vegetale	2,70 Terreno vegetale	1,90 Terreno vegetale
11,40 Sabbie ghiaiose	3,60 Limo sabbioso	9,70 Sabbie ghiaiose	2,40 Sabbie ghiaiose
18,20 Sabbie da grossa a fine, a tratti limosa	13,70 Sabbie	7,60 Sabbie	25,70 Sabbie
	10,80 Sabbie grossolane		

In tutti i sondaggi sono stati attraversati terreni prevalentemente grossolani (con granulometria variabile da sabbia fine a sabbia limosa, sabbia con ghiaia e, talora, ghiaia con sabbia. A luoghi, sono presenti livelli coesivi di spessore in genere limitato (1,50 m ca.) (limi sabbiosi e limi con sabbie).

I sondaggi geognostici ed i pozzetti a scavo mostrano la presenza di uno spessore di terreno vegetale variabile da 20 cm a 1,90 m. Localmente si rinvennero inoltre spessori anche cospicui di materiali di riporto (cfr. tabella 4.3 seguente allegata).

sondaggio	Terreno vegetale/riporto	Strato successivo
S7 - 2000	0.30	Sabbie limose di colore marroncino
S8 - 2000	0.90	Limo debolmente sabbioso di colore marroncino
S9 - 2000	2.70	Sabbia sciolta debolmente limosa
S10 - 2000	1.90	Sabbia-ghiaiosa
S14-23	0.30	Limo con sabbia argillosa
S14-25	0.20	Riporto di ghiaia e ciottoli s=1.40 m
S14-26	0.75 (riporto!?)	Limo con sabbia debolmente argilloso (riporto!?)
S14-31	0.30	sabbia ghiaiosa
S14-32	0.40	Limo sabbioso-argilloso s=1.60 m
S14-33	0.40	Limo con sabbia/limo argilloso s=3.60
S14-34	---	Sabbia e ghiaia
S14-35	0.30	Sabbia e ghiaia
S14-36	0.30	Sabbia e ghiaia

Alla luce delle evidenze litologiche riscontrate e di esperienze pregresse in zone di affioramento dei depositi fluviali e fluvio-glaciali, va anche messo in conto che al di là del terreno vegetale è necessario prevedere la presenza di una coltre di alterazione che, nell'ambito della pianura in esame, interessa spessori dell'ordine di 1-1.50 m. Si tratta di terreni all'interno dei quali è presente una discreta percentuale di materiale limoso-argilloso che, in presenza d'acqua, può dar luogo a fenomeni di rigonfiamento. Pertanto, nei profili geologici è stato indicato un fronte di alterazione che si spinge fino ad un metro di profondità.

6.2 UNITÀ LITOTECNICHE

Sulla scorta dei risultati dei sondaggi meccanici, si evince che il sottosuolo di gran parte dell'area di interesse, fino a profondità ben superiori a quelle interessate direttamente o indirettamente dalle opere, comprende una sola formazione geologica (*fl^W: Alluvioni fluvio-glaciali ghiaioso-ciottolose (terrazzi superiori del Ticino) e fluviali prevalentemente sabbioso-limose (a valle del limite settentrionale di fontanili) con debole strato di alternanze brunastro (WURM)*).

Solo nella parte finale della Tratta C affiorano le *Alluvioni terrazzate dell'Olocene (a1)*.

Tenuto conto di tutte le indagini svolte, nonché delle conoscenze generali sul territorio in esame derivanti da altri studi geologici nel suo complesso l'area in esame è caratterizzata, a partire dalla superficie, dalle seguenti unità litotecniche:

UNITÀ G3/G3*: Questa unità è costituita da terreni granulari di composizione medio grossolana (ghiaie con sabbia e sabbie con ghiaia), generalmente privi di frazione fine limosa, caratterizzate da un grado di addensamento che varia da medio (G3) ad alto (G3*). Lo spessore misurato nei sondaggi meccanici varia da 2,40 a 11,40 m, con valori più frequenti compresi nell'intervallo 8-12 m. A luoghi si rinvengono intercalazioni di materiali costituenti l'Unità L5.

UNITÀ L5: Questo orizzonte è rappresentato da limo sabbioso a tratti debolmente argilloso e da limo con sabbia, con basso grado di addensamento. L'Unità L5 si ritrova generalmente intercalata all'interno dell'unità G3/G3*, con spessori normalmente compresi tra 1,5 e 2 m. Nel solo sondaggio S14-36 raggiunge spessori di circa 5 m.

UNITÀ S2: E' costituita da sabbia prevalentemente fine, limosa, talvolta ghiaiosa. Si rinviene normalmente al di sotto dell'unità G3/G3* e si estende oltre la massima profondità di sondaggio.

UNITÀ S1: L'orizzonte S1 è composto da sabbia prevalentemente fine, talora con intercalazioni di livelli sabbiosi a granulometria media; il grado di addensamento è medio. Questa Unità è stata riconosciuta solo in alcune tratte al di sotto dell'unità G3/G3* e/o all'interno dell'Unità S2 e si estende oltre la profondità raggiunta dai sondaggi.

6.3 ASPETTI MORFOLOGICI LOCALI

Il territorio in esame presenta una morfologia pianeggiante, con scarse evidenze morfologiche, rappresentate da lievi ondulazioni, piccoli orli di terrazzo e superfici leggermente rilevate.

Dal punto di vista altimetrico il tracciato si sviluppa tra una quota di 121 e 90 m s.l.m. degradando da Nord verso Sud con una pendenza media pari al 3 per mille.

Gli elementi morfologici principali sono rappresentati dagli orli di terrazzo, spesso obliterati dall'azione antropica, che presentano un generale sviluppo Nord-Sud.

Il comparto in esame appare intensamente antropizzato, con conseguente alterazione ed influenza sui processi morfogenetici naturali, soprattutto in relazione al controllo della circolazione idrica superficiale e all'impermeabilizzazione del suolo ad opera di coperture artificiali.

Un'ulteriore modificazione indotta sul territorio deriva anche dallo sfruttamento a fini estrattivi di cave di ghiaia e sabbia.

Il territorio si caratterizza quindi per la completa obliterazione delle dinamiche morfologiche naturali: il reticolo idrografico risulta intensamente regimato ed il territorio pianeggiante è interrotto da piccole scarpatine ed avvallamenti di esclusiva genesi agricola.

Ulteriori elementi morfologici sono rappresentati dai paleo-alvei sepolti e dai fontanili.

Infine si riconoscono localmente delle zone di ristagno idrico connesse sia alla presenza di orizzonti fini superficiali sia all'emergenza diffusa della falda idrica.

6.4 ASPETTI IDROGEOLOGICI LOCALI

Nella carta idrogeologica allegata (All.T00.GE00.GEO.CI01.A e T00.GE00.GEO.CI02.A) è stata riportata la piezometria e la soggiacenza elaborata dal Sistema Informativo Falda della Provincia di Milano per il settembre 2013.

Nella zona di interesse della tratta C, le linee di flusso hanno direzione NE-SO. I valori di soggiacenza sono piuttosto variabili: da meno di 1 m in corrispondenza della estremità meridionale (Loc. Soria) fino ad oltre 7-10 m nella fascia in prossimità della scarpata che delimita la Valle del Ticino. Più in particolare, la piezometria della falda libera superficiale è caratterizzata da una struttura radiale convergente, nella quale si risente l'effetto drenante del Fiume Ticino.

Le quote della falda variano da 130 m s.l.m. ca. nel settore settentrionale (Comune di Abbiategrasso) a 88 m s.l.m. ca. nel settore meridionale (Comune di Ozzero, Loc. Soria).

Ulteriori informazioni circa l'andamento della prima falda (riferite comunque al periodo 2009-2013) sono state ricavate dall'esame della cartografia del piano di governo del territorio (PGT) dei comuni di Albairate, Abbiategrasso ed Ozzero interessati dal tronco stradale in progetto (cfr. fig. 4.2, 4.3, 4.4).

Misurazioni più recenti eseguite dalla Città metropolitana di Milano, risalenti a Marzo 2023, sono riportate nel sito ambientale dell'Ente. Dal confronto delle varie registrazioni si evince che non vi sono grandi differenze nella zona a sud di Abbiategrasso. A nord, verso Albairate, si osserva, invece, un abbassamento del livello di falda, il che potrebbe anche essere riconducibile solo alla siccità dell'estate passata. Si ritiene, pertanto, prudentiale lasciare inalterate le isopieziche riportate nella carta idrogeologica.

Per quanto riguarda le oscillazioni piezometriche stagionali si registrano oscillazioni variabili dall'ordine metrico nella zona settentrionale all'ordine decimetrico nella zona meridionale. Le oscillazioni piezometriche osservate risentono fortemente dell'andamento del periodo irriguo. Infatti, i massimi livelli della falda (minima soggiacenza) si registrano nei mesi di agosto/settembre, mentre i minimi (massima soggiacenza) sono raggiunti tra marzo e aprile.

La piezometria e la soggiacenza rappresentate nella carta idrogeologica allegata hanno valore indicativo in quanto la falda a carattere locale può risentire di particolarità litologiche, idrogeologiche e topografiche non individuabili alla scala di inquadramento.

All'interno del corpo acquifero tradizionale viene comunemente distinto un acquifero freatico superficiale, presente fino ad una profondità di 40-45 m dal piano campagna, ed uno semi-confinato sottostante (con una profondità variabile tra 80 e 120 m dal piano campagna), separato dal precedente tramite lenti poco permeabili (aquitard) di spessore variabile (da 5 a 20m) e spesso discontinue.

Come esempio delle condizioni della falda si ripropone (fig.6.2) la sezione idrogeologica C-C' estratta dagli elaborati del PGT di Abbiategrasso, molto prossima al tracciato stradale. Essa mostra i vari livelli di falda riscontrati all'interno dei pozzi per estrazione di acqua presenti in zona.

7. PERICOLOSITA' SISMICA

7.1 DESCRIZIONE DELLA SISMICITÀ STORICA E RECENTE

Ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica di un'area, il primo passo consiste nell'analisi della distribuzione spazio-temporale dei terremoti avvenuti. Per tale scopo sono stati consultati tutti i cataloghi redatti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e disponibili in rete. Nello specifico si è fatto riferimento al:

- Catalogo DOM4.1 [Monachesi e Stucchi, 1997];
- Catalogo NT4.1 e NT4.1.1 [Camassi e Stucchi, 1996, 1992];
- Catalogo dei forti terremoti italiani CFTI1 e CFTI2 [Boschi et al, 1997; Boschi et al., 2000];
- Catalogo parametrico terremoti italiani CPTI11 [A.Rovida, R.Camassi, P.Gasperini e M.Stucchi, 2011];
- DBMI15 database macrosismico.

Dalla consultazione dei cataloghi sismici sopra riportati risulta che:

- il settore in esame è caratterizzato da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata nell'ordine del VI grado della scala Mercalli (Fig. 6);
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone appartenenti al settore orientale della provincia di Bergamo, al Veronese, al Bresciano ed alla zona appenninica (catalogo DBMI11, osservazioni macrosismiche censite per i comuni di Magenta e Abbiategrasso, Tab.5).

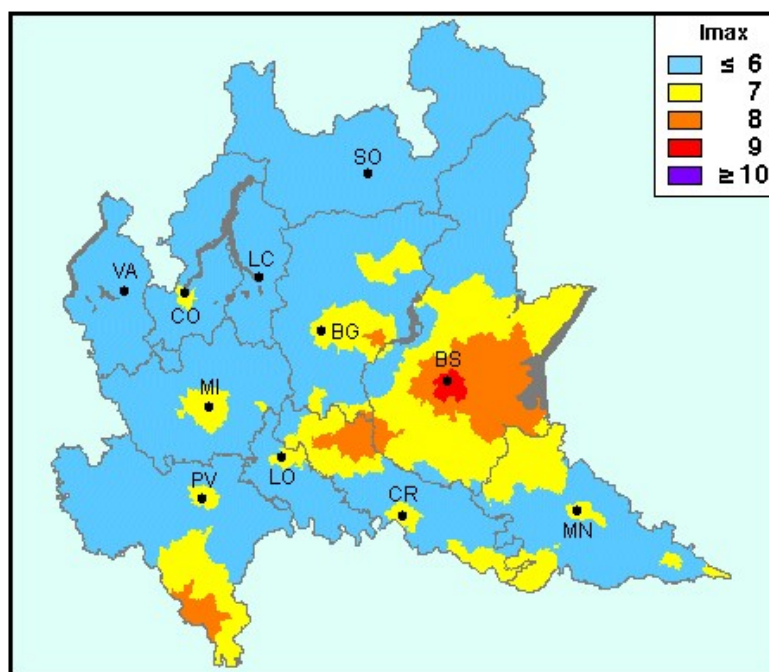


Fig.6 – Carta massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al. 1996)

Facendo riferimento alla zonazione sismogenetica ZS9 (Fig.7) 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").

Storia sismica del Comune di Abbiategrasso								
Effetti in occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	h:m:s	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
4	1886	09	05		Torinese	101	7	5.22
5	1887	02	23	05:21:50	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3-4	1894	11	27	05:07	Bresciano	183	6	4.89
3	1898	03	04	21:05	Parmense	313	7-8	5.37
5-6	1901	10	30	14:49:58	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3	1909	01	13	00:45	Emilia Romagna orient.	867	6-7	5.36
NF	1912	05	31	21 40	Canavese	51	5-6	4,71
NF	1913	11	25	20:55	Appennino parmense	73	4-5	4.65
3-4	1913	12	07	01:28	Valle Scrivia	56	5	4.57
4	1918	01	13	12:00	Pianura lombarda	24	4	4.62
4	1920	09	07	05:55:40	Garfagnana	750	10	6.53
2	1960	03	23	23:08:49	Vallese	178	7	5.00
NF	1961	11	23	01 12 05	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
3-4	1983	11	09	16:29:52	Parmense	850	6-7	5.04

Storia sismica del Comune di Magenta								
Effetti in occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	h:m:s	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
4	1887	02	23	05:21:50	Liguria occidentale	1516	-	6.97 ± 0.15
4	1920	09	07	05:55:40	Garfagnana	756	10	6.48 ± 0.09
3	1960	03	23	23:08:49	Vallese	178	--	5.00 ± 0.20
4	1968	06	18	05:27:33	BARD	60	6	5.08 ± 0.17

Tab.5 – Catalogo dei terremoti DBMI15,
 osservazioni macrosismiche censite per i comuni di Abbiategrasso e Magenta

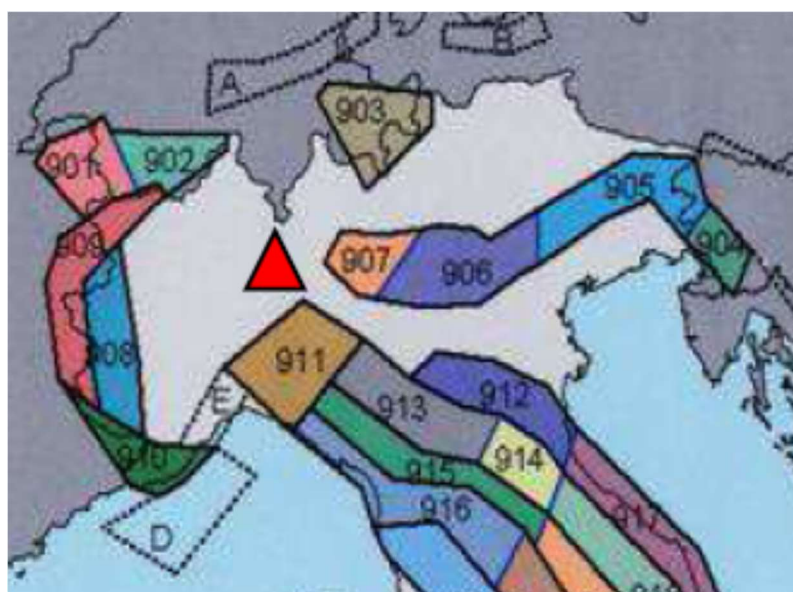


Fig.7 – Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale (zonazione ZS9 – INGV 2004)

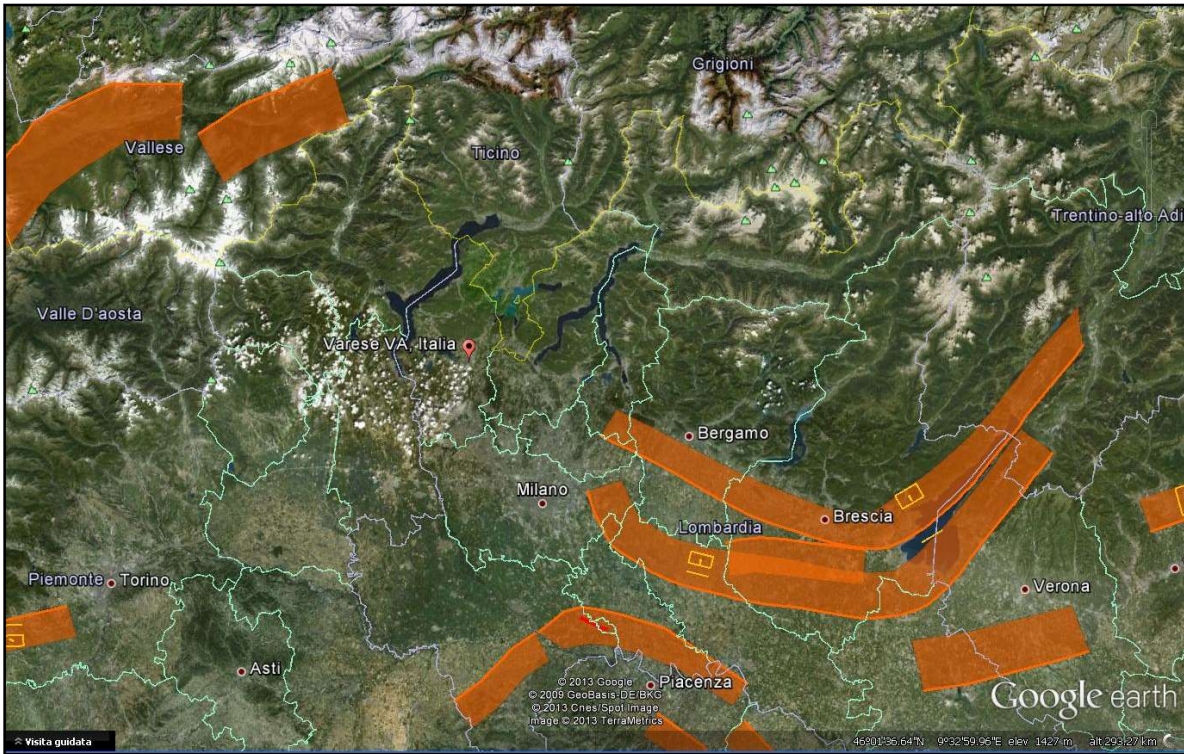


Fig.8 – Ubicazione delle sorgenti sismiche (catalogo DISS3)

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, del territorio in esame.

Tale aspetto risulta confermato anche dall'analisi della disaggregazione della pericolosità sismica per il punto griglia n.12257 (Comune di Magenta) da cui emerge che il contributo maggiore alla pericolosità sia legato ad eventi sismici con magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 e distanze epicentrali comprese tra 50 e 70 km (Fig.9).

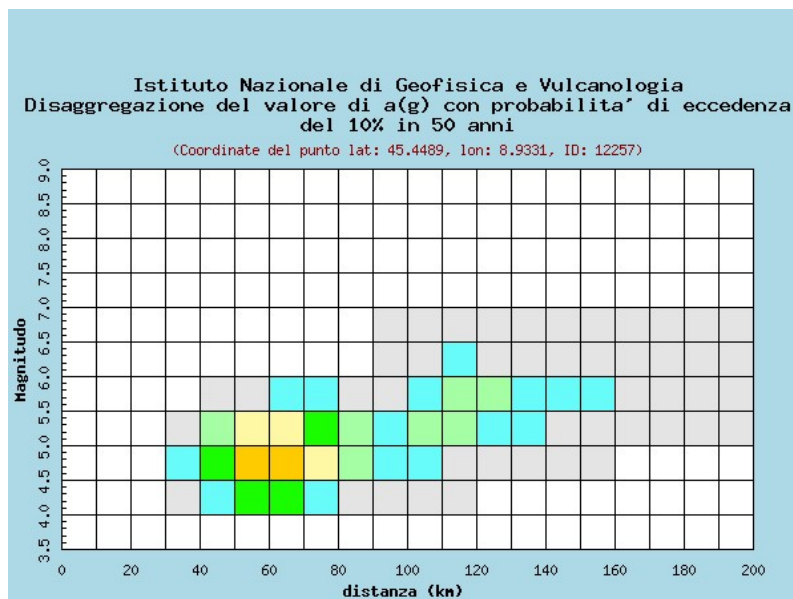


Fig.9 – Analisi della disaggregazione per il punto di griglia 12257 (Tr=475 anni)

7.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN ESAME

La classificazione sismica del territorio nazionale inserisce i comuni attraversati dall'infrastruttura viaria in esame in zona 4 (O.P.C.M. n.3274 del 20-03-2003, All.1; Fig.10); tale classificazione viene confermata anche nell'aggiornamento deciso dalla Regione Lombardia (D.G.R. n. X/2129 del 11/07/2014) entrato in vigore nell'ottobre 2015.

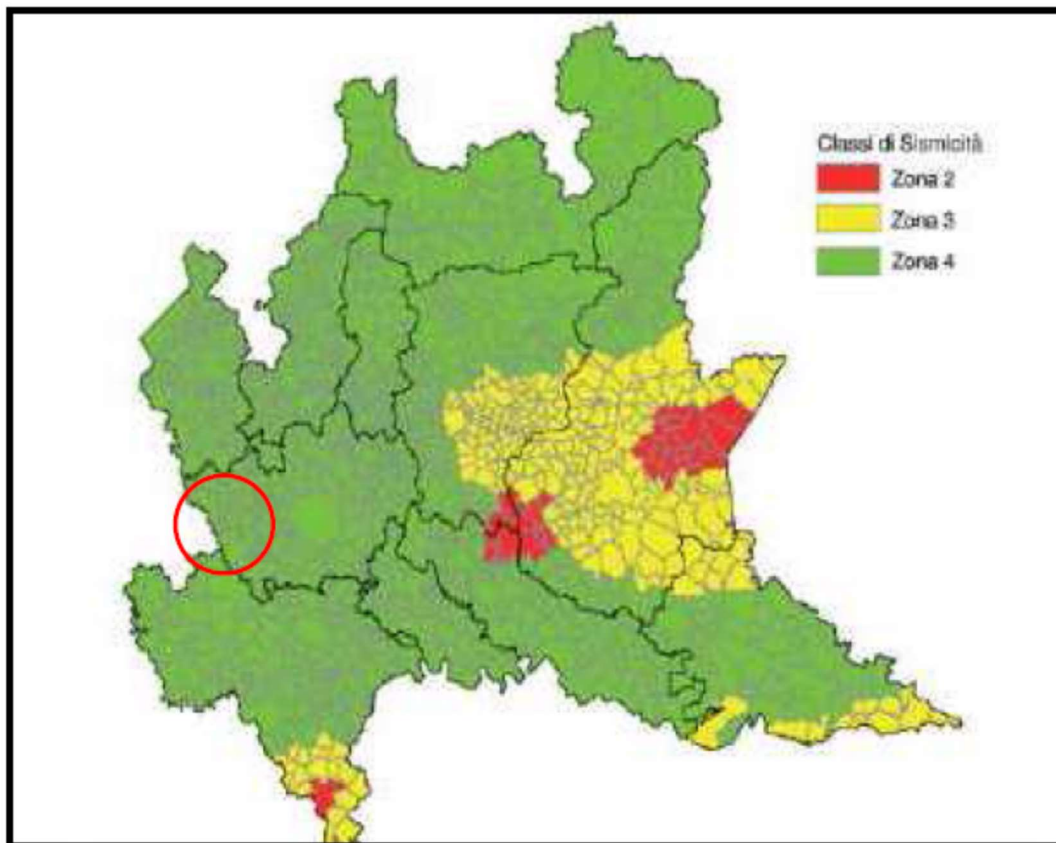


Fig.10 – Classificazione sismica secondo l'OPCM n.3274 del 20/03/2003
 (con ubicazione della zona di intervento)

La pericolosità sismica di base, valutata in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A nelle NTC2018), 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. 17-01-2018, 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.11.1 e Tab.6); trattandosi di un'opera lineare è stato considerato un punto rappresentativo delle condizioni più sfavorevoli.

	Probabilità superamento	Tr (anni)	a_g (g)	Fo	Tc* (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.6 – Parametri sismici di base

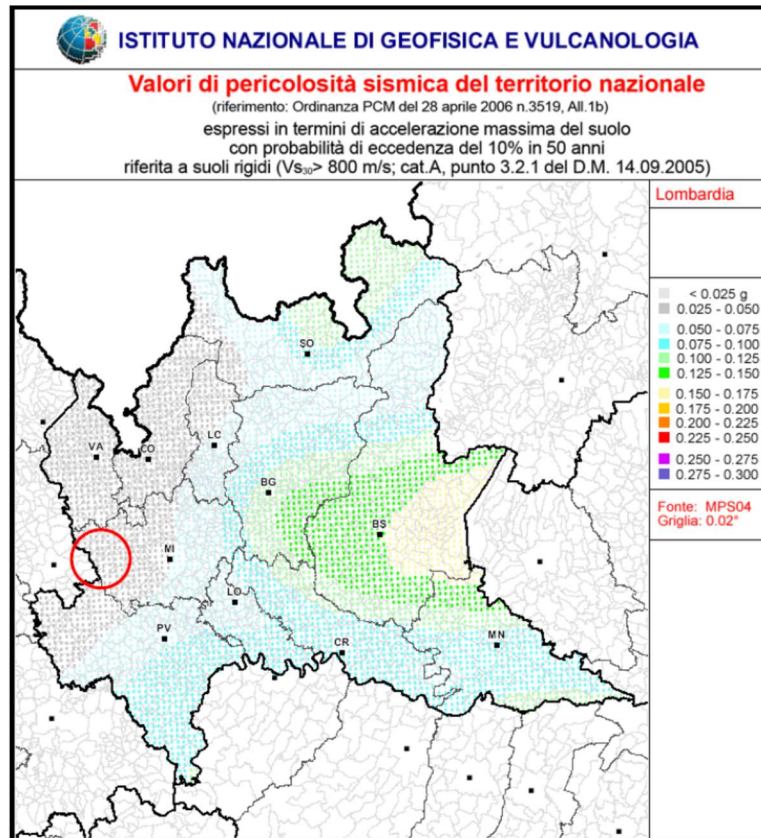


Fig.11.1 – Pericolosità sismica della regione Lombardia
 (con ubicazione della zona di intervento)

Infine, dal Catalogo italiano delle faglie capaci è stata estratta la figura seguente dalla quale si evince che la zona di Abbiategrasso non è interessata da questo tipo di struttura (nell'immagine riportata con linea rossa tratteggiata).

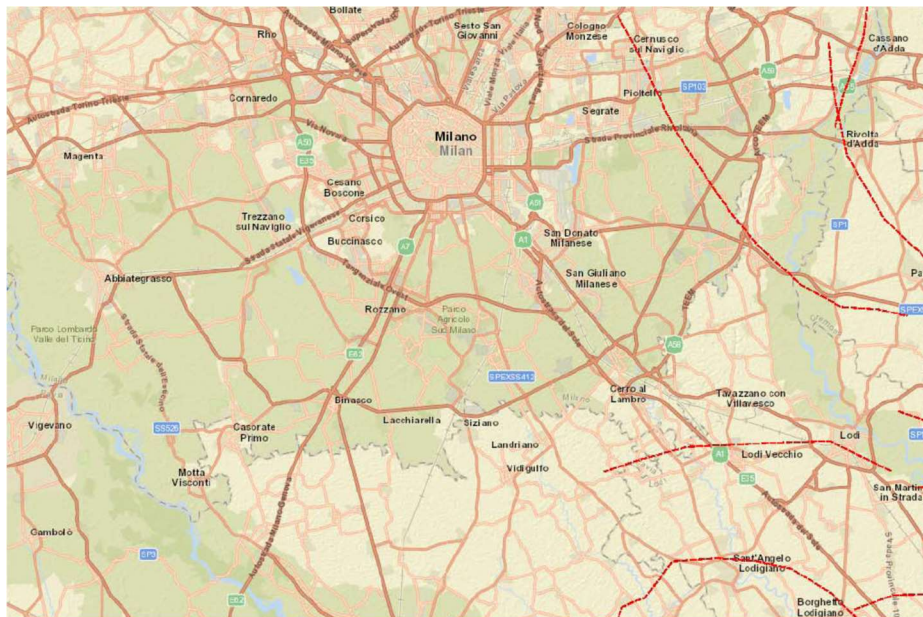


Fig.11.2 – Carta con ubicazione faglie capaci (linee rosse a tratteggio)

7.3 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Secondo la normativa nazionale gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i parametri SS (coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo) e ST (coefficiente che tiene conto delle condizioni topografiche).

7.3.1 EFFETTI STRATIGRAFICI

Il parametro "SS" che definisce gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia viene valutato in funzione delle caratteristiche del terreno nei primi 30 m di profondità.

A partire dal modello sismico monodimensionale ricavato dalle indagini sismiche effettuate (MASW e Down-hole) lungo il tracciato in esame, si calcola il valore delle $V_{s,30}$, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio (nel caso di fondazioni su pali, tale profondità è riferita alla testa del palo).

In corrispondenza di tutti i punti indagine sono stati ricavati valori di $V_{s,30}$ inferiori a 360 m/s (ad esclusione della MASW 2 per la quale è stato ottenuto un valore di 361 m/s) a cui corrisponde la categoria di sottosuolo di tipo C (Tab.7).

Sulla base della categoria di sottosuolo, si ricava un coefficiente di amplificazione stratigrafica SS pari a 1,5.

Tabella 7- Categorie di sottosuolo (Tab.3.2.II NTC 2018)

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

7.3.2 EFFETTI TOPOGRAFICI

Per quanto riguarda gli aspetti topografici, 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 sismica. 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.8.1).

Tabella 8.1 - 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 $i > 30^\circ$

7.3.3 EFFETTI TOPOGRAFICI E STRATIGRAFICI (NORMATIVA REGIONALE)

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 sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

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 verificano condizioni morfologiche che non si riscontrano nell'area di interesse, per cui si ritiene di poter far riferimento alla sola normativa nazionale.

Tabella 8.2 – 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

Come esplicitato nella L.R.12 (dell'11/03/2005), 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 favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo

d'onda incidente e quello diffratto; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;

- 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, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Riassumendo quanto sin qui riportato, la zona attraversata dall'asse stradale in progetto ricade nella zona Z4a (Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi), nella quale potrebbero verificarsi *amplificazioni litologiche e geometriche*. Tuttavia, alla luce dei risultati delle indagini geognostiche e delle prove geotecniche svolte, commentate nella presente relazione e nella relazione geotecnica, e tenuto conto delle condizioni morfologiche e geomorfologiche della zona, si ritiene che l'applicazione della normativa nazionale fornisca sufficienti garanzie di salvaguardia dagli effetti di amplificazione sismica locale.

7.4 SINTESI DEI PARAMETRI SISMICI

Nelle tabelle seguenti vengono sintetizzati i parametri sismici per la definizione dello spettro di risposta elastico per terreni appartenenti alla categoria di suolo C determinati per ogni opera maggiore.

	ag (g)	Fo	Tc* (s)	S	Cc	Kh	Kv
SLO	0.023	2.546	0.194	1.500	1.800	0.007	0.003
SLD	0.028	2.592	0.211	1.500	1.760	0.008	0.004
SLV	0.051	2.730	0.303	1.500	1.560	0.015	0.007
SLC	0.059	2.819	0.318	1.500	1.530	0.018	0.009

Tab.9.1 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (tratta C, VI03)

	ag (g)	Fo	Tc* (s)	S	Cc	Kh	Kv
SLO	0.023	2.546	0.195	1.500	1.800	0.006	0.003
SLD	0.028	2.588	0.212	1.500	1.750	0.008	0.004
SLV	0.052	2.723	0.302	1.500	1.560	0.014	0.007
SLC	0.061	2.812	0.317	1.500	1.530	0.016	0.008

Tab.9.2 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (tratta C, CA16)

	ag (g)	Fo	Tc* (s)	S	Cc	Kh	Kv
SLO	0.023	2.546	0.195	1.500	1.800	0.007	0.003
SLD	0.028	2.589	0.212	1.500	1.750	0.008	0.004
SLV	0.052	2.724	0.302	1.500	1.560	0.016	0.008
SLC	0.061	2.813	0.317	1.500	1.530	0.018	0.009

Tab.9.3 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (tratta C, PO02)

	ag (g)	Fo	Tc* (s)	S	Cc	Kh	Kv
SLO	0.023	2.542	0.195	1.500	1.800	0.007	0.003
SLD	0.028	2.589	0.212	1.500	1.750	0.008	0.004
SLV	0.051	2.727	0.303	1.500	1.560	0.015	0.008
SLC	0.059	2.817	0.318	1.500	1.530	0.018	0.009

Tab.9.4 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (tratta C, PO03)

	ag (g)	Fo	Tc* (s)	S	Cc	Kh	Kv
SLO	0.023	2.541	0.195	1.500	1.800	0.007	0.003
SLD	0.028	2.587	0.212	1.500	1.750	0.008	0.004
SLV	0.051	2.725	0.303	1.500	1.560	0.015	0.008
SLC	0.059	2.815	0.318	1.500	1.530	0.018	0.009

Tab.9.5 – Sintesi dei parametri sismici di risentimento al sito (tratta C, CA17)

7.5 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 $qc_{1N} > 180$ 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 qc_{1N} 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.12(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig.12(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

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

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

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

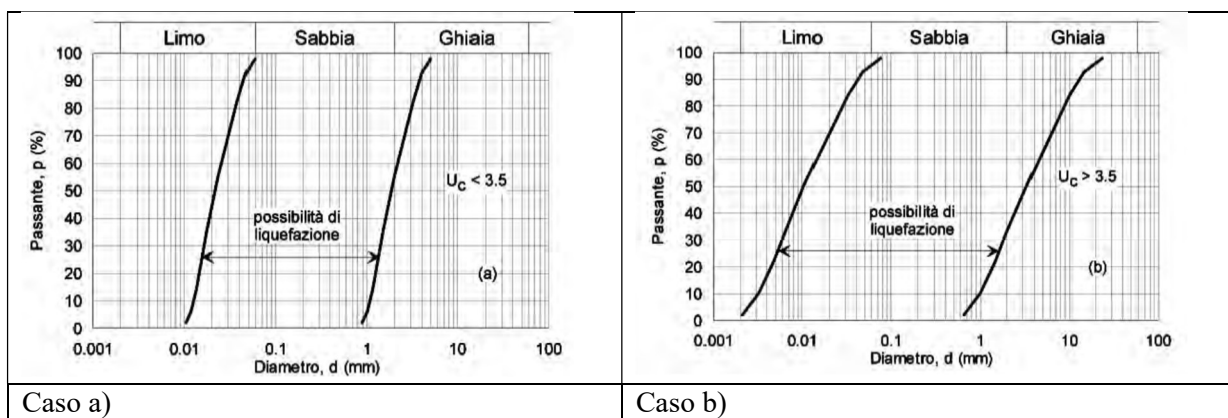


Fig.12 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (NTC 2018)

8. QUALITA' AMBIENTALE DEI SUOLI

Durante la campagna di indagine 2014 sono stati prelevati numerosi campioni rimaneggiati volti a definire le caratteristiche ambientali dei terreni, fondamentali per la definizione del piano di utilizzo secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

A tale scopo sono state seguite le indicazioni del Decreto del Presidente della Repubblica del 13 giugno 2017, n. 120 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164".

Rimandando alla Relazione Piano di Utilizzo per maggiori chiarimenti, in generale sono stati prelevati:

- n.1 campione tra 0-1 m di profondità in corrispondenza dei "centri di pericolo";
- n.1 campione tra 0-1 m di profondità ogni 500 m lineari di opera, per i tratti di strada in corrispondenza di terreni agricoli;
- n.3 campioni (0-1 m, fondo scavo, intermedio tra i due) in corrispondenza delle gallerie.

Si rimanda ai documenti specifici sulle indagini svolte (elaborati T00.GE00.GEO.RE02.A-05.A) per la visione completa dei risultati delle analisi.

Di seguito si riportano i campioni che hanno evidenziato concentrazioni di elementi che superano la Concentrazione soglia di contaminazione (CSC) definite nella colonna A Tabella 1 allegato 5, al Titolo V parte IV del decreto legislativo n.125 del 2006 e per i quali i valori di concentrazione rilevati rispettano le soglie di riferimento di cui alla colonna B della citata tabella.

Parametro	U.M.	Limite colonna A	Limite colonna B	CA14-04	CA14-49	CA14-52	CA14-56	CA14-56 bis	CA14-59
Arsenico	mg/kg	20	50	32.3	25.3	28.6	21.6	10.8	5.3
Cadmio	mg/kg	2	15	<RL	<RL	<RL	7.7	<RL	0.68
Cobalto	mg/kg	20	250	12.7	12.3	9	4.93	6.5	4.32
Cromo esav.	mg/kg	2	15	<RL	<RL	<RL	<RL	<RL	<RL
Cromo tot.	mg/kg	150	800	31.5	28.1	24.3	17.6	24	29.1
Mercurio	mg/kg	1	5	<RL	0.54	<RL	<RL	2.52	<RL
Nichel	mg/kg	120	500	28.6	26.4	20.2	14.5	17.7	13.6
Piombo	mg/kg	100	1000	27.3	18.1	23.4	21.3	24.6	86
Rame	mg/kg	120	600	27	21.6	15.3	16	85	44.8
Zinco	mg/kg	150	1500	80	72.7	53.9	61.5	113	61.3
Amianto tot.	mg/kg	1000	1000	<RL	<RL	<RL	<RL	<RL	<RL
C>12	mg/kg	50	750	<RL	<RL	<RL	22.9	58	164

Tab.10 – Risultati delle indagini ambientali

(in grassetto e sottolineato sono riportati i valori che superano i limiti della colonna A)

In base ai risultati ottenuti e su riportati, alcuni campioni superano le soglie della colonna A per quanto riguarda la presenza di arsenico, cadmio, mercurio e idrocarburi (C>12), per cui il materiale presente nella zona all'intorno del ritrovamento non potrà essere riutilizzato come materiale per rilevato, ma dovrà andare a discarica.

In generale il materiale proveniente dalle aree che rispettano le soglie della colonna A può essere riutilizzato come materiale per tutte le lavorazioni, mentre il materiale proveniente da zone con valori compresi tra le colonne A e B può essere utilizzato unicamente come materiale per rilevato e sottofondo stradale, escludendo un suo impiego per lavorazioni quali le mitigazioni ambientali (risagomatura delle aree verdi) e di rivestimento (scarpate e aiuole zone intercluse).

9. VINCOLI GEOLOGICI

Per quanto riguarda le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico, con particolare riferimento a vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L.183/89, vincoli di polizia idraulica ai sensi della D.G.R. 25 gennaio 2002, n.7/7868 e successive modificazioni, aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile, geositi, sono stati esaminati gli studi della componente geologica, idrogeologica e sismica dei Piani di Governo del Territorio (P.G.T.) dei comuni attraversati dall'opera in esame.

Da quanto sopra è stato riscontrato quanto segue:

- il tracciato non risulta interessato da vincoli legati al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), in particolare dalla Fasce Fluviali del Fiume Ticino;
- il tracciato non risulta ricadere all'interno di fasce di rispetto dei pozzi utilizzati a scopo idropotabile;
- il tracciato interseca numerosi corsi d'acqua, naturali e artificiali appartenenti al reticolo idrico principale, minore e di competenza consortile delimitati da fasce di rispetto per le quali valgono norme di polizia idraulica locali.

10. MODELLO GEOLOGICO

Fino alle profondità indagate con le indagini geognostiche eseguite, il modello geologico del sottosuolo può essere assimilato ad un mezzo ad un unico strato, costituito da depositi di origine alluvionale, prevalentemente di natura sabbioso-ghiaiosa e sabbiosa, a luoghi con intercalazioni di livelli sabbioso-limosi e limoso-sabbioso-argillosi.

All'interno di questa unità geologica, principalmente sulla scorta di informazioni litologiche derivanti dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati, relativamente agli orizzonti più superficiali, è possibile distinguere tre sub-unità:

a) Sabbia con ghiaia/ghiaia con sabbia: si tratta di terreni granulari di composizione medio grossolana generalmente privi di frazione fine limosa (presente solo localmente in tracce); rappresenta la litologia più diffusa lungo il tracciato stradale in esame.

b) Sabbia limoso-ghiaiosa: si tratta di terreni prevalentemente sabbiosi con una percentuale non trascurabile di limo e di ghiaia.

c) Limo sabbioso/limo con sabbia: questa litozona fine è stata individuata nei sondaggi S14-32 e S14-33 (lungo la "Tratta C" a Sud di Abbiategrasso).

10.1 ASSETTO GEOLOGICO GENERALE

Le indagini geologiche svolte confermano quanto previsto dalla carta geologica ufficiale.

Con riferimento alle planimetrie geologiche, lungo la maggior parte del tracciato stradale affiora la seguente formazione geologica: *f^W*: *Alluvioni fluvio-glaciali ghiaioso-ciottolose (terrazzi superiori del Ticino) e fluviali prevalentemente sabbioso-limose (a valle del limite settentrionale di fontanili) con debole strato di alternanze brunastro (WURM)*.

Solo nella parte finale del tracciato affiorano le *alluvioni terrazzate dell'Olocene (a1)*.

Lo spessore di dette formazioni è pari ad alcune decine di metri; infatti, in nessuno dei sondaggi meccanici (spinti fino a 35 m dal piano campagna) è stata intercettata la formazione sabbiosa sottostante.

10.2 LITOSTRATIGRAFIA

L'assetto lito-stratigrafico dell'intera tratta C mostra la presenza dall'alto verso il basso delle seguenti unità litostratigrafiche, con spessori variabili da zona a zona, come si evince chiaramente dal profilo geologico in asse e dagli stralci di seguito riportati:

UNITÀ G3/G3*: Questa unità è costituita da terreni granulari di composizione medio grossolana (ghiaie con sabbia e sabbie con ghiaia), generalmente privi di frazione fine limosa, caratterizzate da un grado di addensamento che varia da medio (G3) ad alto (G3*). Lo spessore varia da 3 a 13 m circa e mediamente 9 m. A luoghi si rinvencono intercalazioni di materiali costituenti l'Unità L5.

UNITÀ L5: Questo orizzonte è rappresentato da limo sabbioso a tratti debolmente argilloso e da limo con sabbia, con basso grado di addensamento. L'Unità L5 si ritrova generalmente intercalata all'interno dell'unità G3/G3*, con spessori variabili tra 1.5 e 2 m. Nel solo sondaggio S14-36 raggiunge spessori di circa 5 m.

Non intercettate dai sondaggi, ma segnalate da altri studi del territorio, seguono verso il basso:

UNITÀ S2: E' costituita da sabbia prevalentemente fine, limosa, talvolta ghiaiosa. Si rinviene normalmente al di sotto dell'unità G3/G3* e si estende oltre la massima profondità di sondaggio.

UNITÀ S1: L'orizzonte S1 è composto da sabbia prevalentemente fine, talora con intercalazioni di livelli sabbiosi a granulometria media; il grado di addensamento è medio. Questa Unità è stata riconosciuta solo in alcune tratte al di sotto dell'unità G3/G3* e/o all'interno dell'Unità S2 e si estende oltre la profondità raggiunta dai sondaggi.

10.3 MORFOLOGIA

L'intero tracciato stradale della Tratta C si sviluppa in un territorio caratterizzato da una morfologia pianeggiante, con scarse evidenze morfologiche. Dal punto di vista altimetrico il tracciato si sviluppa tra una quota di 121 e 90 m s.l.m. degradando da Nord verso Sud con una pendenza media pari al 3 per mille.

Il territorio è caratterizzato dalla completa obliterazione delle dinamiche morfologiche naturali: il reticolo idrografico risulta intensamente regimato ed il territorio pianeggiante è interrotto da piccole scarpatine ed avvallamenti di esclusiva genesi agricola. Gli elementi morfologici principali sono, pertanto, rappresentati dagli orli di terrazzo, spesso obliterati dall'azione antropica.

10.4 IDROGEOLOGIA

L'andamento generale del livello della falda contenuta nell'Acquifero evidenzia una morfologia con linee di flusso che presentano un andamento NE-SO. I valori di soggiacenza sono piuttosto variabili (cfr. paragrafo 6.4).

Per quanto riguarda le oscillazioni piezometriche stagionali si registrano oscillazioni variabili dall'ordine del metro nella zona settentrionale e dell'ordine del decimetro nella zona meridionale. Le oscillazioni piezometriche osservate risentono fortemente dell'andamento del periodo irriguo. Infatti, i massimi livelli della falda (minima soggiacenza) si registrano nei mesi di agosto/settembre, mentre i minimi (massima soggiacenza) sono raggiunti tra marzo e aprile.

10.5 PERMEABILITA'

Non sono state eseguite prove di assorbimento d'acqua all'interno dei sondaggi geognostici o dei pozzetti esplorativi, per cui non è possibile fornire un dato certo sui valori della permeabilità dei terreni sabbioso-ghiaiosi ivi presenti.

In figura 13 è riportata la fascia granulometrica di detti terreni (estratta dalla Relazione geotecnica). Essa mostra che il materiale presente in sito ha granulometria compresa fra quella delle ghiaie sabbiose e quella delle sabbie limose. In relazione all'assortimento granulometrico si ritiene di poter attribuire ai depositi alluvionali una permeabilità compresa mediamente fra 10^{-4} e 10^{-5} m/s, con valori superiori laddove prevale la componente ghiaiosa e minori laddove prevale la componente limosa.

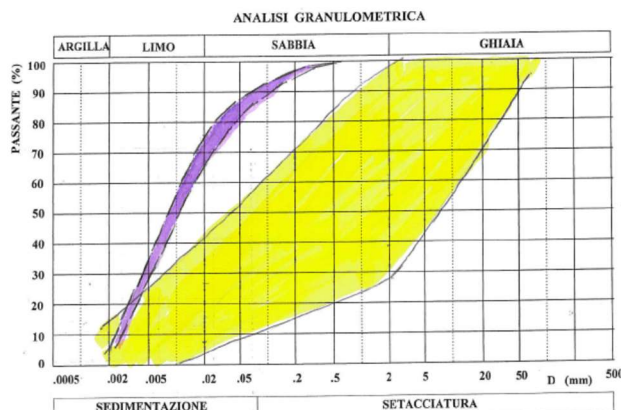


Fig.13 – Fascia granulometrica dei depositi alluvionali (in giallo) e dei livelli francamente limosi (in viola)

A conferma di quanto asserito si riportano i risultati di misure di permeabilità eseguite sulla stessa formazione geologica (alluvioni fluvio-glaciali e fluviali) affiorante in zona limitrofa a quella in esame (cfr. progetto ANAS Nuova SS341 Gallaratese, Bretella di Gallarate):

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)

RELAZIONE GEOLOGICA

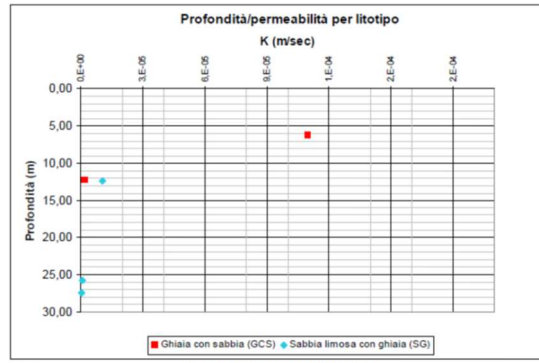


Fig.9 - Valori di permeabilità k (m/s), ricavati dalle prove Lefranc, distinte in funzione del litotipo analizzato.

10.6 PRINCIPALI OPERE D'ARTE

Si riportano di seguito alcuni elementi di dettaglio relativi alle principali opere d'arte presenti lungo il percorso della tratta C. Tenuto conto della elevata uniformità del sottosuolo, le considerazioni che seguono valgono, ovviamente, per un largo intorno di dette opere.

10.6.1 SVINCOLO ZONA FS E NAVIGLIO GRANDE

Lo svicolo in questione comprende alcune opere di scavalco della linea ferroviaria, della strada statale, del Naviglio grande e della viabilità locale.

Nell'ambito della zona dello svicolo sono state eseguite numerose indagini geognostiche (sondaggi S14-23DH, S14-25PZ, S14-26PZ, prospezioni sismiche MASW 14-05, Pozzetti a scavo Pz14-13, prove penetrometriche P14, P15, P16, P17, P18, P20, P21, P22) (cfr.fig.13.1).

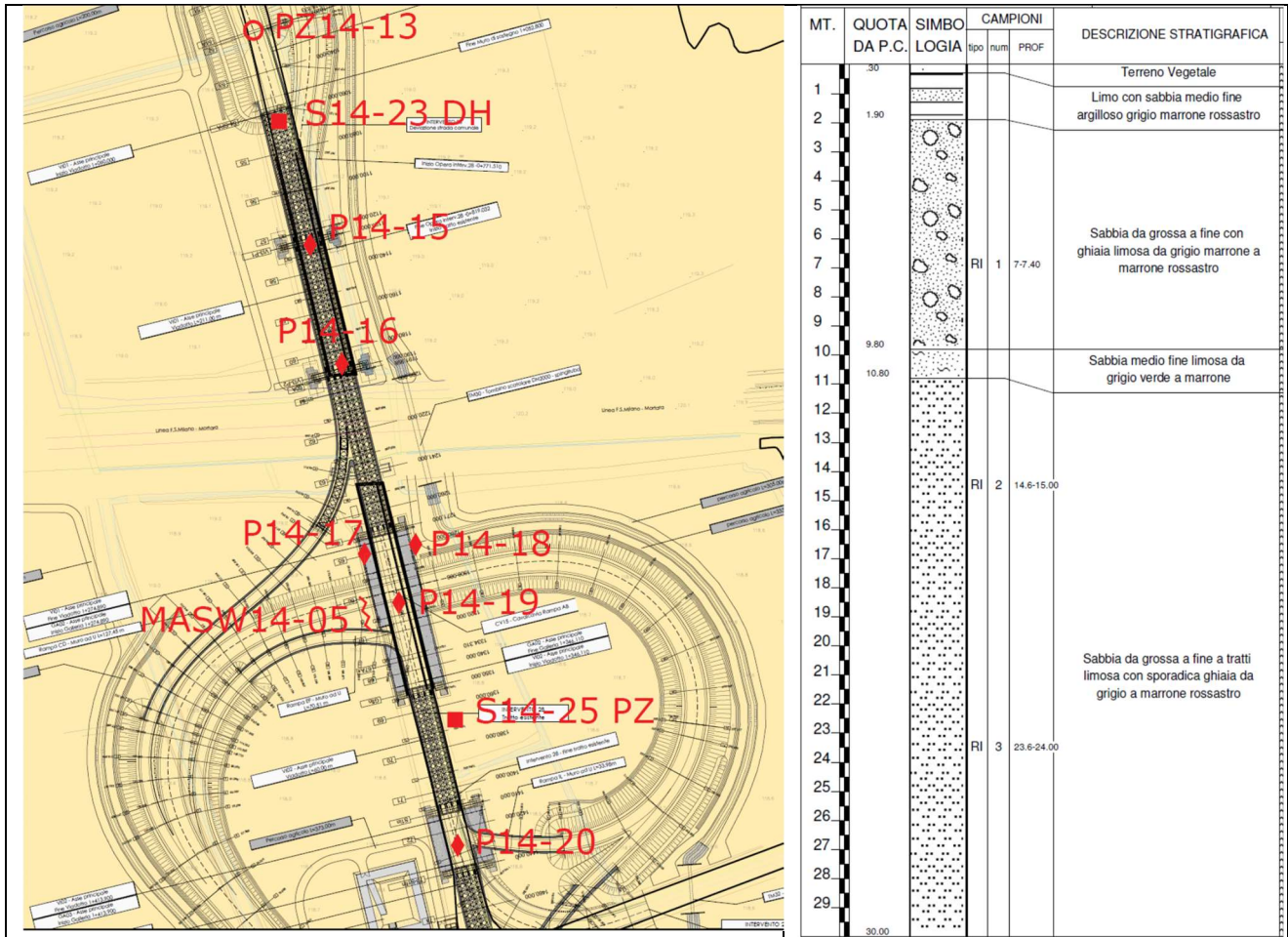


Fig.13.1 - Stralcio planimetrico e sondaggio S14-23 di riferimento

Sulla scorta dei risultati delle indagini svolte, i terreni condizionanti le opere in questione sono costituiti dai litotipi sabbioso-ghiaiosi (cfr. anche profilo longitudinale in asse strada e sondaggio S14-23 riportato nella figura 13.1). Il livello della falda acquifera si colloca a profondità di 1-2 m da piano campagna.

Vista la tipologia di opere da realizzare e le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, le fondazioni delle opere d'arte principali (ponti e viadotti) saranno di tipo profondo (pali di grande diametro).

Per quanto riguarda le fondazioni dei rilevati stradali, come riportato più dettagliatamente più avanti, il piano di posa dei rilevati è posto alla profondità (comprendente scotico e bonifica) di un metro da piano campagna.

10.6.2 OPERA CV16 – CAVALCAVIA SU STRADA COMUNALE

Il cavalcavia in questione consente di ripristinare la viabilità locale interrotta dal nuovo asse stradale.

Nell'ambito della zona in questione sono state eseguite alcune indagini geognostiche (prospezioni sismiche MASW 14-07, Pozzetti a scavo Pz14-14, prove penetrometriche P14-23). Altre informazioni stratigrafiche possono essere desunte da sondaggi geognostici eseguiti lungo il tracciato stradale a monte ed a valle dell'opera in esame (cfr. profili geologici).

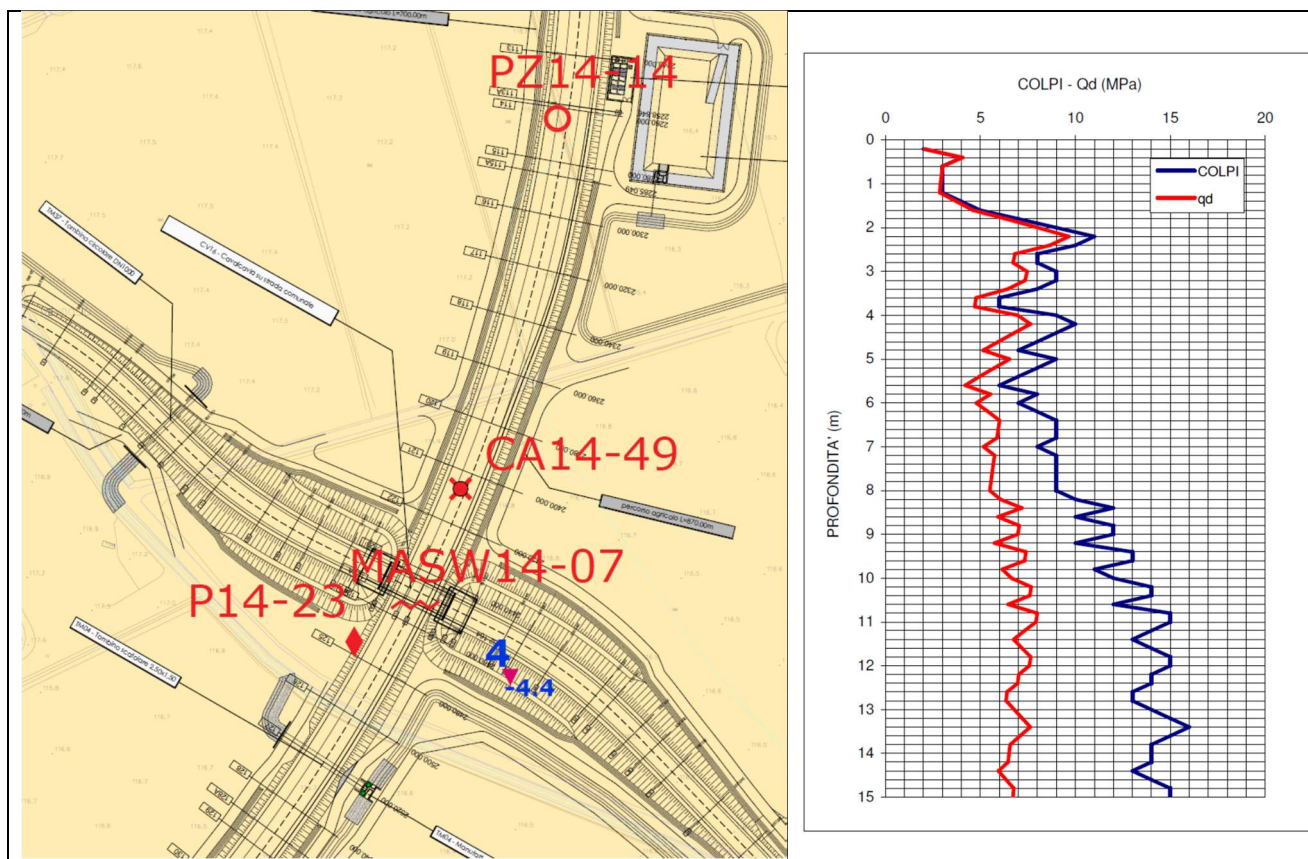


Fig.13.2 – Stralcio planimetrico e prova penetrometrica P14-23

Sulla scorta dei risultati delle indagini svolte, i terreni condizionanti le opere in questione sono costituiti dai litotipi sabbioso-ghiaiosi (cfr. profilo longitudinale in asse strada). Il livello della falda acquifera si colloca a profondità di 4 m circa da piano campagna (cfr. soggiacenza falda, indagini 2008, prova SCPT 4 – in blu nello stralcio planimetrico allegato).

Vista la tipologia di opere da realizzare e le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, le fondazioni del cavalcavia saranno di tipo profondo (pali di medio-grande diametro).

Per quanto riguarda le fondazioni dei rilevati stradali, come riportato più dettagliatamente più avanti, il piano di posa dei rilevati è posto alla profondità (comprendente scotico e bonifica) di un metro da piano campagna.

10.6.3 OPERA PO 02 – PONTE ROGGIA TICINELLO

Il ponte in questione scavalca la Roggia Ticinello.

Nell'ambito della zona in questione sono state eseguite numerose indagini geognostiche (sondaggi S14-31, prospezioni sismiche MASW 14-08, Pozzetti a scavo Pz14-16 e prova penetrometrica DPSH P14-24, prove penetrometriche SCPT 5 e SCPT11).

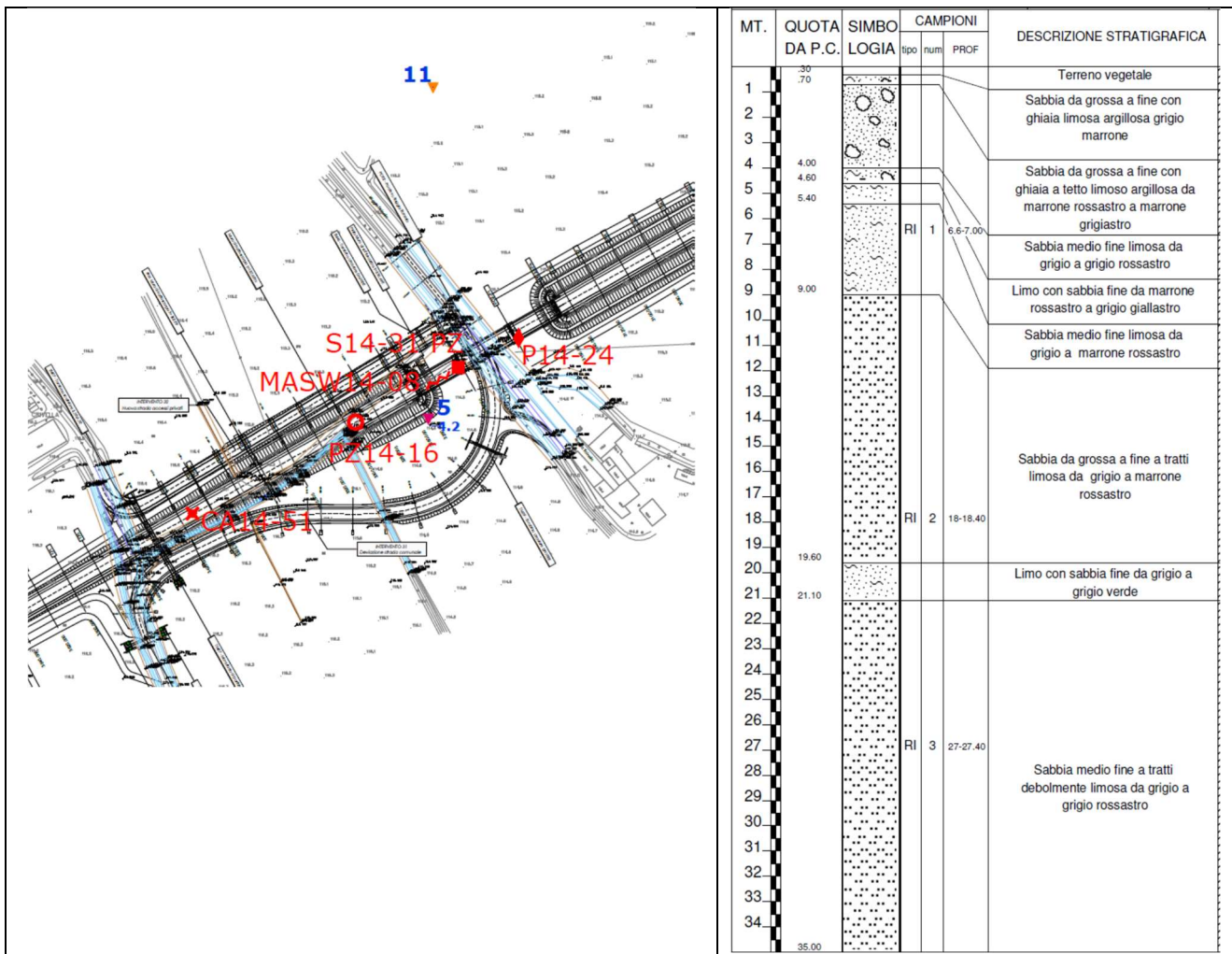


Fig.13.3 – Stralcio planimetrico e stratigrafia sondaggio S14-31PZ

Sulla scorta dei risultati delle indagini svolte, i terreni condizionanti le opere in questione sono costituiti dai litotipi sabbioso-ghiaiosi con intercalazioni di livelli limoso-sabbiosi (cfr. profilo longitudinale in asse strada e stratigrafia del sondaggio S14-31 in figura 13.3). Il livello della falda acquifera si colloca a profondità di 4 m circa da piano campagna.

Vista la tipologia di opere da realizzare e le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, le fondazioni del ponte saranno di tipo profondo (pali di medio-grande diametro).

Per quanto riguarda le fondazioni dei rilevati stradali, come riportato più dettagliatamente più avanti, il piano di posa dei rilevati è posto alla profondità (comprendente scotico e bonifica) di un metro da piano campagna.

10.6.4 OPERA PO 03 – PONTE SUL NAVIGLIO BEREGUARDO

Il ponte in questione scavalca il Naviglio Bereguardo.

Nell'ambito della zona in questione sono state eseguite numerose indagini geognostiche (sondaggi S14-32DH, S14-33Pz, Pozzetti a scavo Pz14-17, prove penetrometriche P14-25).

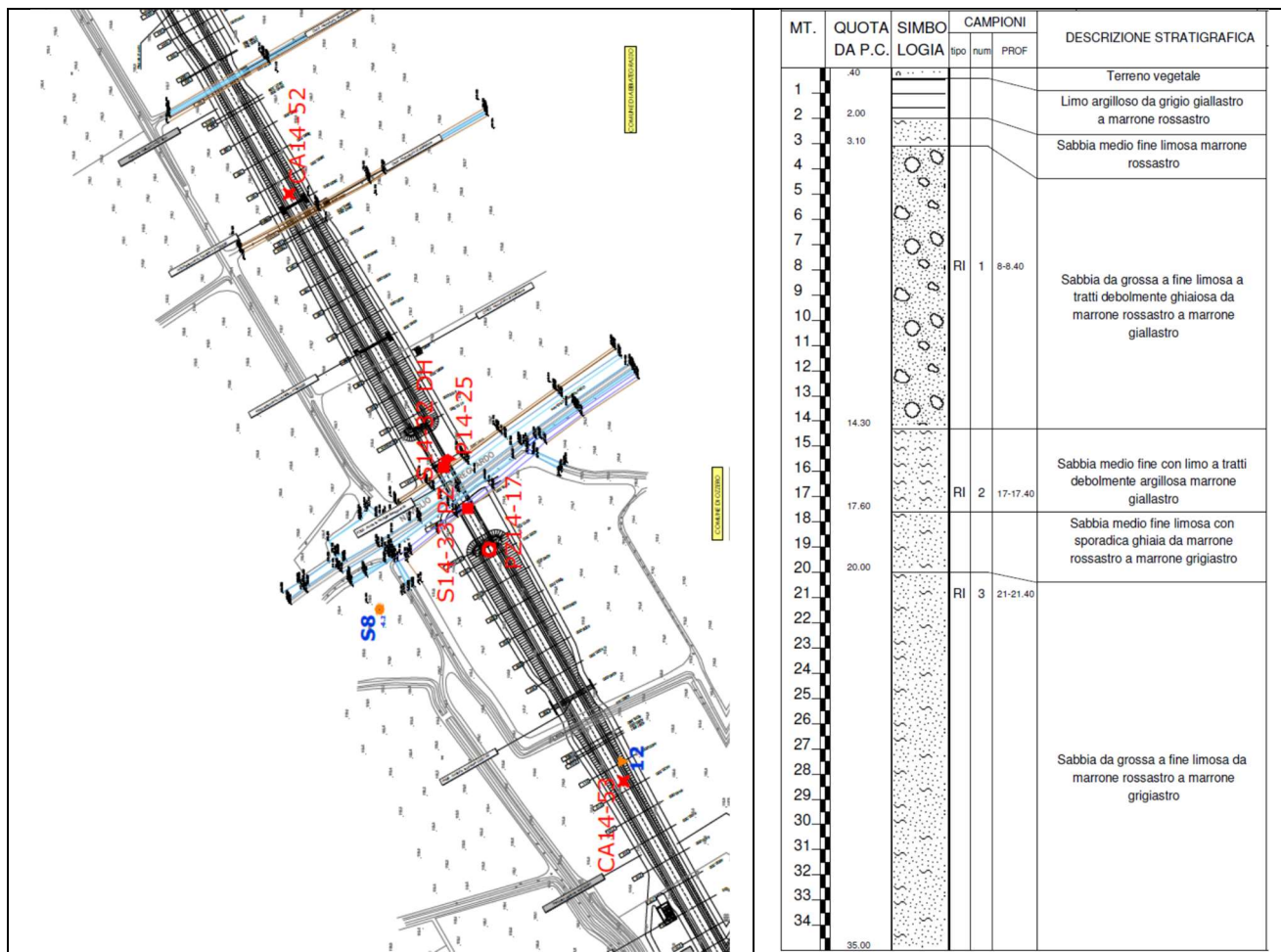


Fig.13.4 – Stralcio planimetrico e stratigrafia sondaggio meccanico S41-32

Sulla scorta dei risultati delle indagini svolte, i terreni condizionanti le opere in questione sono costituiti dai litotipi sabbioso-ghiaiosi e sabbioso-limosi (cfr. anche profilo longitudinale in asse strada e stratigrafia del sondaggio meccanico S41-32). Il livello della falda acquifera si colloca a profondità di 6 m circa da piano campagna.

Vista la tipologia di opere da realizzare e le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, le fondazioni del ponte saranno di tipo profondo (pali di medio-grande diametro).

Per quanto riguarda i rilevati stradali in avvicinamento al ponte, poiché in corrispondenza della spalla lato sud i sondaggi hanno rinvenuto la presenza di uno strato limoso (L5) dello spessore di 1,50 m ca, presente subito al di sotto del piano campagna, è stato previsto di approfondire il piano di posa del rilevato adiacente alla spalla fino ad 1,50 m da p.c., come più avanti illustrato.

10.6.5 OPERA CV 17 – DEVIAZIONE SP183 - CAVALCAVIA

Il cavalcavia in questione consente lo scavalco della SP183.

In prossimità della zona in questione sono state eseguite numerose indagini geognostiche (sondaggi S14-34DH, S14-35PZ, S14-36PZ, prospezioni sismiche MASW 14-09, Pozzetti a scavo CA15-56, prove penetrometriche SCPT14).

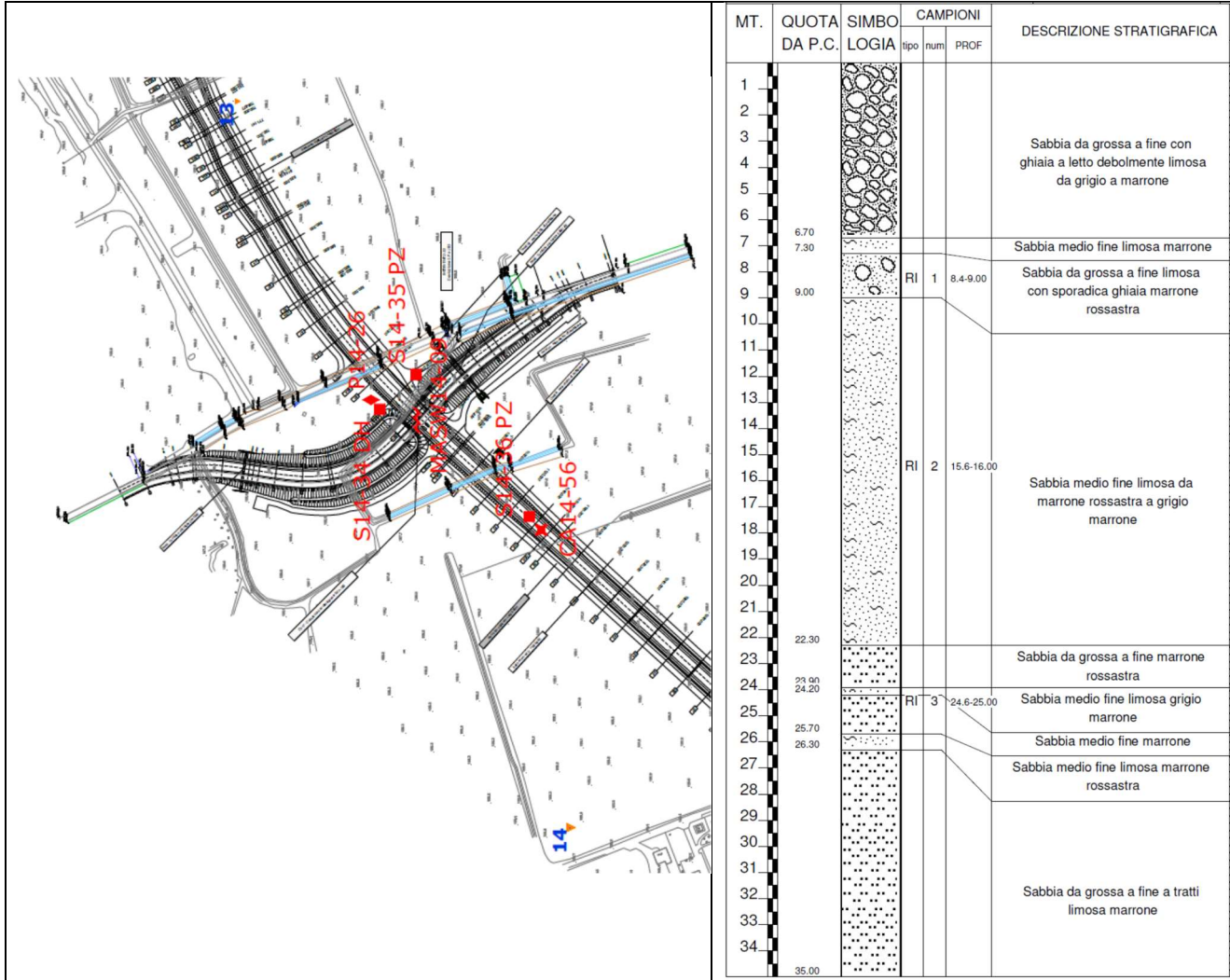


Fig.13.4 – Stralcio planimetrico e stratigrafia sondaggio meccanico S14-34

Sulla scorta dei risultati delle indagini svolte, i terreni condizionanti le opere in questione sono costituiti dai litotipi ghiaioso-sabbiosi e sabbiosi (cfr. anche profilo longitudinale in asse strada e stratigrafie sondaggi geognostici in figura 13.4). Il livello della falda acquifera si colloca a profondità di 3-4 m da piano campagna.

Vista la tipologia di opere da realizzare e le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, le fondazioni del ponte saranno di tipo profondo (pali di medio-grande diametro).

Per quanto riguarda le fondazioni dei rilevati stradali, come riportato più dettagliatamente più avanti, il piano di posa dei rilevati è posto alla profondità (comprendente scotico e bonifica) di un metro da piano campagna.

10.6.6 TRATTI IN RILEVATO ED IN TRINCEA

Dal momento che il territorio interessato dalla strada in progetto presenta caratteri geologici sostanzialmente uniformi, nei tratti in rilevato compresi fra le opere d'arte su elencate sono stati eseguiti quasi esclusivamente pozzetti a scavo e pozzetti per prove di caratterizzazione ambientale. Solo nel tratto finale in trincea è stato realizzato anche un sondaggio geognostico (sondaggio S10-2000) la cui stratigrafia conferma quanto osservato negli altri fori di sondaggio.

Dal profilo longitudinale dell'asse stradale, si evince che, a meno delle rampe di accesso a ponti e viadotti, l'altezza dei rilevati è mediamente pari a 2 m. Come si evince dal profilo geologico in asse alla strada i terreni di fondazione dei rilevati sono costituiti prevalentemente da terreni sabbioso-ghiaiosi e sabbiosi, con spessori complessivi dell'ordine di oltre venti metri, con buone caratteristiche fisico-meccaniche (cfr. Relazione geotecnica). Le verifiche di stabilità dei rilevati mostrano, infatti, fattori di sicurezza sufficientemente cautelativi. Anche nel caso di rilevati di maggiore altezza, le caratteristiche geometriche ed i parametri geotecnici assunti forniscono garanzie sulla stabilità del rilevato e del complesso rilevato-terreno di fondazione.

Comunque, tenuto conto della litologia dei terreni evidenziata dai sondaggi meccanici e di esperienze pregresse in zone di affioramento dei depositi fluviali e fluvio-glaciali, va anche messo in conto che al di là del terreno vegetale è necessario prevedere la presenza di una coltre di alterazione che, nell'ambito della pianura in esame, interessa spessori dell'ordine di 1-1.50 m. Tale evenienza si verifica allorquando all'interno del terreno è presente una discreta percentuale di materiale limoso-argilloso che, in presenza d'acqua, può dar luogo a fenomeni di rigonfiamento. Nel caso in questione, tale evenienza non è stata riscontrata spesso, tuttavia, prudenzialmente, è stato ipotizzato una spessore del fronte di alterazione che si spinge fino ad un metro di profondità (cfr. profili geologici).

L'unico fattore che richiede attenzione è rappresentato dalla profondità della falda acquifera che in alcuni punti è molto prossima al piano campagna. Inoltre, l'andamento meteorologico delle ultime stagioni, molto variabile e con fenomeni di pioggia intensa e concentrata, unitamente alla impossibilità di ricostruire con attendibilità l'escursione della falda, consiglia una certa prudenza nella definizione del piano di fondazione dei rilevati e nella definizione dello spessore dello strato di bonifica (compreso scotico), assunto pari ad un metro. In tal modo è anche possibile eliminare possibili zone di alterazione del terreno di fondazione, salvo bonifiche puntuali laddove dovessero ritrovarsi livelli di materiale più francamente limoso, normalmente rilevato solo occasionalmente dalle indagini geognostiche effettuate.

Per quanto riguarda il tratto in trincea presente nell'ultima parte del tracciato stradale, il profilo geologico mostra un livello della falda acquifera che si colloca grossomodo al livello della fondazione dei muri laterali. Non si possono, tuttavia, escludere escursioni della falda verso l'alto. Solo in tal caso, l'opera potrebbe interferire con la falda acquifera, creando un locale modesto innalzamento della falda.

10.6.7 PIANI DI POSA DEI RILEVATI STRADALI

Notoriamente il terreno vegetale non ha caratteristiche geotecniche tali da poterci appoggiare i rilevati stradali. Pertanto, atteso il fatto che il terreno vegetale presenta spessori variabili da zona a zona, fino a circa un metro, tenuto altresì conto della presenza di un fronte di alterazione dello spessore di un metro circa, si ritiene prudenzialmente di assumere uno spessore medio di materiale da asportare pari a 100 cm circa, per cui il piano di fondazione dei rilevati è stato fissato alla profondità media di 100 cm dal piano campagna, comprensivo di scotico e spessore di bonifica (cfr. Relazione tecnica generale), salvo approfondimenti locali laddove necessario. Lo spessore di scavo risultante sarà sostituito da materiale arido grossolano.

Nel caso dei due tratti di rilevato adiacenti al ponte Bereguardo è stato previsto un intervento di bonifica più profondo. Fra le varie possibilità esaminate vi sono la sostituzione dell'intero spessore di materiale vegetale (o comunque soffice) con materiale grossolano selezionato, la correzione granulometrica del materiale in sito, mediante compenetrazione con pietrisco grossolano, oppure la stabilizzazione a calce/cemento di uno strato di congruo spessore.

La scelta progettuale adottata prevede il consolidamento dei terreni in sito mediante correzione granulometrica, come di seguito descritto:

- aumento dello spessore di bonifica, da 100 cm a 150 cm (comprensivi di 20 cm di scotico);
- stabilizzazione granulometrica del terreno limoso-sabbioso residuo mediante apporto di materiale lapideo a spigoli vivi (dimensioni 4-7 cm), in strati di piccolo spessore (15 cm massimo) da compattare con rullo vibrante in modo che detto materiale si compenetri con il materiale in sito fornendo allo stesso una ossatura grossolana.

Nella zona compresa fra le progressive 2+640 e 2+740, ove il rilevato attraversa zone caratterizzate dalla presenza di vasche antropiche (di cui una probabilmente dismessa e interrata) è stata prevista una bonifica profonda del piano di posa con asportazione del materiale in situ. Una frazione di tale materiale è stata considerata inquinata e come tale conferita a discarica speciale. Per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni della parte stradale. Infine, tenuto conto che i terreni affioranti (a meno del terreno vegetale) sono costituiti da materiali a grana grossa (ghiaie e sabbie) e che in alcuni tratti dell'asse stradale sarà necessario eseguire scavi profondi (ad esempio nell'intorno della profonda trincea protetta da muri A "U" posto sul lato sud dell'intervento), è stato previsto il loro reimpiego per la realizzazione dei rilevati stradali, prevedendo anche una eventuale stabilizzazione granulometrica mediante integrazione del fuso con la frazione mancante. Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione sulla gestione delle materie.

10.7 CONSIDERAZIONI E COMMENTI

Vista la natura dei terreni presenti lungo il tracciato stradale, alla luce di quanto illustrato nei capitoli precedenti e di quanto sintetizzato nei precedenti paragrafi, non si ravvisano particolari criticità nella realizzazione delle opere, siano essi i rilevati, le sezioni in sterro (peraltro temporaneo in quanto limitato al tempo di realizzazione della struttura in c.a. ad U ivi prevista) e le fondazioni delle opere d'arte.

11. CONCLUSIONI

La zona interessata dal tracciato stradale non presenta particolari criticità in quanto l'infrastruttura si snoda in un territorio sub-pianeggiante, senza particolari evidenze geomorfologiche. Inoltre, i terreni interessati dall'infrastruttura, sia in superficie che in profondità, presentano una discreta omogeneità e, comunque, sono di buona qualità.

Di seguito si riassumono gli aspetti più importanti a riguardo della progettazione delle opere.

11.1 LITO-STRATIGRAFIA

Il comparto interessato dalla realizzazione del nuovo collegamento stradale è caratterizzato dalla presenza di depositi sciolti di origine fluvio-glaciale di età wurmiana costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie più o meno limose; in linea generale si osserva una progressiva diminuzione della granulometria procedendo da Nord verso Sud. Nella parte finale del tracciato stradale sono, invece, presenti i depositi sciolti delle alluvioni antiche costituiti prevalentemente da sabbie più o meno grossolane. Il tracciato interessa quindi terreni quasi esclusivamente di tipo granulare (sabbie e ghiaie), con locali sottili intercalazioni di livelli più fini con caratteristiche più o meno

coesive (Unità L5, limi sabbiosi e limi con sabbia): non si ravvisano quindi da questo punto di vista particolari criticità.

11.2 GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico lungo il tracciato in esame non si segnalano evidenze di problematiche legate a fenomeni di dissesto, reale o potenziale.

11.3 IDROGEOLOGIA

Il livello di falda tra Albairate e Cusago si rinviene a debole profondità dal p.c. (2.15÷2.8 m). Nella zona a Sud di Abbiategrasso la profondità della superficie piezometrica si attesta tra 3.9 e 5.76 m da p.c.. Tale livello può subire oscillazioni stagionali di entità fino ad alcuni metri. Sulla base di quanto precedentemente riportato esiste la possibilità concreta di interferenze tra il livello di falda e le tratte previste in trincea, per cui sono stati predisposti idonei interventi di aggotamento, drenaggio e impermeabilizzazione sia in fase di cantiere che in fase di esercizio.

A causa della presenza della falda a breve profondità dal piano campagna e delle possibili oscillazioni stagionali della stessa, al di sotto del rilevato stradale è stato previsto l'inserimento di uno strato di materiale anticapillare (per i dettagli si rimanda alla Relazione tecnica generale).

11.4 PIANI DI POSA DEI RILEVATI STRADALI

Il piano di posa dei rilevati stradali è stato portato alla profondità di un metro dal piano campagna, prevedendo di asportare uno spessore medio di materiale in sito pari a 100 cm circa, comprensivo di scotico e spessore di bonifica (cfr. Relazione tecnica generale), salvo approfondimenti locali laddove necessario. Lo spessore di scavo risultante sarà sostituito da materiale arido grossolano avvolto in un telo di tessuto-non tessuto.

Nel caso dei due tratti di rilevato adiacenti al ponte Bereguardo è stato previsto un intervento di bonifica più profondo che prevede un aumento dello spessore di bonifica, da 100 cm a 150 cm (comprensivi di 20 cm di scotico) e la stabilizzazione granulometrica del terreno limoso-sabbioso residuo mediante apporto di materiale lapideo a spigoli vivi (dimensioni 4-7 cm), in strati di piccolo spessore (15 cm massimo) da compattare con rullo vibrante in modo che detto materiale si compenetri con il materiale in sito fornendo allo stesso una ossatura grossolana.

Nella zona compresa fra le progressive 2+640 e 2+740, ove il rilevato attraversa zone caratterizzate dalla presenza di vasche antropiche è stata prevista una bonifica profonda del piano di posa con asportazione del materiale in situ.

Infine, tenuto conto che i terreni affioranti (a meno del terreno vegetale) sono costituiti da materiali a grana grossa (ghiaie e sabbie) e che in alcuni tratti dell'asse stradale sarà necessario eseguire scavi profondi (ad esempio nell'intorno della profonda trincea protetta da muri A "U" posto sul lato sud dell'intervento), è stato previsto il loro reimpiego per la realizzazione dei rilevati stradali, prevedendo anche una eventuale stabilizzazione granulometrica mediante integrazione del fuso con la frazione mancante. Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione sulla gestione delle materie.

11.5 MATERIALI DI SCAVO

Per quanto riguarda il materiale proveniente dagli scavi, la porzione costituita da terreno vegetale sarà riutilizzata per il rivestimento delle scarpate stradali, mentre la restante parte potrà essere riutilizzata per i rilevati, visti anche i buoni risultati forniti dalle prove svolte (cfr. capitolo 8). E' stata comunque prevista una correzione granulometrica del materiale proveniente dagli scavi in modo da conseguire qualità sufficientemente uniformi. Naturalmente in corso d'opera potranno

essere apportate modifiche al piano di riutilizzo dei materiali di scavo in funzione delle effettive caratteristiche del materiale estratto.

Non si ritiene, invece, necessario il ricorso a interventi di stabilizzazione a calce o a cemento.

Ottobre 2023