

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE
DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

CUP: J31J05000010001

U.O. GEOLOGIA GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA

TRATTA RHO – GALLARATE

QUADRUPPLICAMENTO RHO – PARABIAGO E RACCORDO Y

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica

SCALA :

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

MDL1 30 D 69 RG GE0001 001 A

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Emissione Esecutiva			G.Riggi <i>[Signature]</i>		S. Borrelli <i>[Signature]</i>		

File:

n. Rev.:

ITALFERR S.p.A.
Dott. Gerardo Francesco MARCHESE
UO Geologia - GESTIONE TERRE E BONIFICHE
Ordine Geologi Lazione. 179 ES

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1	CAMPAGNA DI INDAGINE ITALFERR 2008.....	6
2.2	CAMPAGNA DI INDAGINE 2012.....	6
2.3	CAMPAGNA DI INDAGINE ITALFERR 2017.....	6
2.4	DOCUMENTI DEL PROGETTO DEFINITIVO	6
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
4.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	9
5.	GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA	10
5.1	CORSI D'ACQUA NATURALI E CANALI ARTIFICIALI.....	10
5.2	FONTANILI.....	11
5.3	CAVE	13
6.	GEOLOGIA	14
7.	IDROGEOLOGIA	17
7.1	CARATTERISTICHE DELLA FALDA FREATICA	21
7.1.1	Vulnerabilità regionale della prima falda	24
8.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	27
8.1	CAMPAGNE DI INDAGINE 2008.....	27
8.1.1	Sondaggi geotecnici a carotaggio continuo.....	28
8.1.2	Campionamenti del terreno.....	30
8.1.3	Installazione dei piezometri.....	34
8.1.4	Prove in foro di sondaggio	35
8.1.5	Prove geotecniche di laboratorio	45
8.2	CAMPAGNA DI INDAGINE 2012.....	46
8.2.1	Prove geotecniche di laboratorio	47
8.2.2	Prove di permeabilità.....	48

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

8.3	CAMPAGNA DI INDAGINE 2017.....	49
8.3.1	Prove in foro di sondaggio	52
9.	GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO	55
9.1	DESCRIZIONE GEOLOGICA LUNGO IL TRACCIATO	56
9.2	DESCRIZIONE IDROGEOLOGICA LUNGO IL TRACCIATO	58
9.2.1	Vulnerabilità della prima falda e rischi idrogeologici ed idraulici lungo il tracciato.....	60
9.3	PIEZOMETRIA DELL'AREA DI STUDIO	63
9.3.1	Dati piezometrici a carattere generale	64
9.3.2	Monitoraggio piezometrico 2017 dell'area di studio	66
10.	INQUADRAMENTO SISMICO	68
10.1	INQUADRAMENTO SISMOLOGICO.....	68
10.2	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NTC 2008	73
10.3	PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE.....	79
11.	SINTESI E CONCLUSIONI	82
12.	BIBLIOGRAFIA.....	85

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

ALLEGATI

- Allegato 1: Campagna indagini Geognostiche condotta da ITALFERR nel 2008 – codifica ITALFERR MWL111EZZSGGE0001001A
- Allegato 2: Campagna indagini Geognostiche integrative e prove in situ condotta da ITALFERR nel maggio/giugno 2017 – codifica ITF MDL130D69SGGE0001001A
- Allegato 3: Indagine Geofisica lungo la tratta d'interesse condotta da ITALFERR nel luglio 2017 – codifica ITF MDL1 30D69IGGE0001001A

TAVOLE ALLEGATE

Id	Scala	Codifiche ITALFERR																				
Carta geologica e geomorfologica – tav.1	1:5000	M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e geomorfologica – tav.2		M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Carta geologica e geomorfologica – tav.3		M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	1	0	0	3	A
Carta geologica e geomorfologica – tav.4		M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	1	0	0	4	A
Profilo geologico – tav.1	1:5000/1:500	M	D	L	1	3	0	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Profilo geologico – tav.2		M	D	L	1	3	0	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Carta idrogeologica – tav.1	1:5000	M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Carta idrogeologica – tav.2		M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
Carta idrogeologica – tav.3		M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	2	0	0	3	A
Carta idrogeologica – tav.4		M	D	L	1	3	0	D	6	9	P	5	G	E	0	0	0	2	0	0	4	A
Profilo idrogeologico – tav.1	1:5000/ 1:500	M	D	L	1	3	0	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Profilo idrogeologico – tav.2	M	D	L	1	3	0	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
----------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1. PREMESSA

La presente relazione geologica ed idrogeologica è stata redatta a supporto del progetto definitivo per il potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona, tratta Rho-Gallarate, Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo Y.

Tale studio aggiorna il documento Italferr avente codifica MDL1 00D26 RG GE0001 001A per il tratto Rho-Gallarate emesso nel 2009, attraverso una nuova campagna d'indagine appena conclusa, un monitoraggio della prima falda freatica e la definizione della categoria sismica di suolo ai sensi del NTC 2008. Rispetto al documento sopra citato, è stata inserita una nuova tratta che collega la stazione ferroviaria di Rho con il nuovo Polo Fiera Rho-Pero/PRG di Rho – Lotto 1.

Lo studio geologico analizza un porzione a nord-ovest del capoluogo lombardo corrispondente con la fascia di territorio compresa tra i comuni di Rho, Pregnana Milanese, Vanzago, Pogliano Milanese, Nerviano e Parabiago; il raccordo Y ricade invece nel territorio comunale di Castellanza e, Busto Arsizio.

Lo scopo della presente relazione consiste nell'illustrare gli elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici utili ad individuare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati dal tracciato.

Nell'ambito degli obiettivi precedentemente esposti, si intende definire quanto segue:

- unità geologiche presenti, sulla base di una caratterizzazione litologico - tecnica delle singole formazioni, che nel contempo tenga conto delle classificazioni litostratigrafiche e cronostatigrafiche convenzionali;
- assetto geomorfologico del territorio, con particolare riguardo ai fenomeni in atto;
- schema idrogeologico generale, finalizzato a definire la distribuzione degli acquiferi principali;
- andamento piezometrico della prima falda, dedotto grazie al monitoraggio condotto da Italferr su n°8 piezometri a tubo aperto di recente realizzazione (maggio-giugno 2017).

Lo studio geologico del tracciato, compresa la redazione delle carte geologiche e dei profili, è stato condotto sia sulla base di dati bibliografici esistenti, sia sulla base di indagini geognostiche

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 5 di 86

eseguite da Italferr nell'anno 2008 e 2017 lungo la tratta d'interesse. La campagna 2017 condotta da Italferr dal 29 maggio 2017 al 30 giugno 2017, è stata realizzata al fine di eseguire nuovi sondaggi strumentati con piezometro (propedeutici al monitoraggio della falda), prove in foro SPT, prove di permeabilità Lefranc ed esecuzione di stendimenti geofisici di tipo MASW.

Per quanto riguarda il potenziamento della nuova tratta compresa tra la stazione ferroviaria di Rho e il nuovo Polo Fiera Rho-Pero si è fatto riferimento alla campagna d'indagine 2012 realizzata dalle società I.R S.r.l (Ingegneri Riuniti) e dalla società SALCEF S.p.A. in ATI, propedeutica per la progettazione geotecnica del Potenziamento della linea Rho-Arona Tratta Rho-Gallarate – PRG di Rho (documento: Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica avente codifica MWL111EZZRGGE0001001B). La campagna di indagini geotecniche e sismiche attuata nel febbraio del 2012 ha portata alla realizzazione di n° 15 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove di laboratorio su campioni prelevati durante tali sondaggi, misure piezometriche attraverso dei fori di sondaggio allestiti a piezometro e 3 indagini sismiche attive/passive con metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) o Re.Mi. (Refraction Microtremor) per determinazione effetti sismici di sito e ricostruzione del profilo Vs30.

Sulla base dei dati acquisiti si è proceduto alla realizzazione di carte geologiche con elementi morfologici a scala 1:5000 e di un profilo geologico longitudinale all'asse di progetto a scala 1:5000/1:500.

Per quanto concerne l'idrogeologia sono stati utilizzati i dati di soggiacenza rilevati nei piezometri installati nei fori di sondaggio realizzati nel 2017 e anche i dati resi disponibili dalla Città Metropolitana di Milano (attraverso il portale SIF). Per tale componente sono state redatte una serie di carte idrogeologiche con elementi di idrologia a scala 1:5000 e di un profilo idrogeologico longitudinale all'asse di progetto a scala 1:5000/1:500.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 CAMPAGNA DI INDAGINE ITAFERR 2008

- 1) PRO.MO.GEO. S.r.l. – Prima campagna di indagini geognostiche per il progetto definitivo della Linea Gallarate-Rho.
- 2) PRO.MO.GEO. S.r.l. – Seconda campagna di indagini geognostiche per il progetto definitivo della Linea Gallarate-Rho.
- 3) GEOstudi S.r.l. – Prove di laboratorio geotecnica.

2.2 CAMPAGNA DI INDAGINE 2012

- 4) ATI I.R. Ingegneri Riuniti – I.R. S.r.l. – SALCEF S.p.A.- Potenziamento della linea Rho-Arona Tratta Rho-Gallarate – PRG di Rho.

2.3 CAMPAGNA DI INDAGINE ITAFERR 2017

- 5) Potenziamento della linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate – Progetto definitivo – Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo Y – Esiti indagini e prove in situ – MDL130D69SGGE0001001A
- 6) Potenziamento della linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate – Progetto definitivo – Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo Y – Esiti Geofisica – MDL130D69IGGE0001001A

2.4 DOCUMENTI DEL PROGETTO DEFINITIVO

- 7) ATI I.R. Ingegneri Riuniti – I.R. S.r.l. – SALCEF S.p.A.- Potenziamento della linea Rho-Arona Tratta Rho-Gallarate – PRG di Rho – Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica – MWL111EZZRGGE0001001B
- 8) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica – MDL100D26RGGE0001001A
- 9) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta geologica, geomorfologia tav. 1 di 6 – MDL100D26G5GE0001001A.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

- 10) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta geologica, geomorfologia tav. 2 di 6 – MDL100D26G5GE0001002A.
- 11) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta geologica, geomorfologia tav. 3 di 6 – MDL100D26G5GE0001003A.
- 12) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta geologica, geomorfologia tav. 4 di 6 – MDL100D26G5GE0001004A.
- 13) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta geologica, geomorfologia tav. 5 di 6 – MDL100D26G5GE0001005A.
- 14) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta geologica, geomorfologia tav. 6 di 6 – MDL100D26G5GE0001006A.
- 15) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta idrogeologica/isopiezometrica/punti d'acqua tav. 1 di 6 – MDL100D26G5GE0002001A.
- 16) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta idrogeologica/isopiezometrica/punti d'acqua tav. 2 di 6 – MDL100D26G5GE0002002A.
- 17) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta idrogeologica/isopiezometrica/punti d'acqua tav. 3 di 6 – MDL100D26G5GE0002003A.
- 18) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta idrogeologica/isopiezometrica/punti d'acqua tav. 4 di 6 – MDL100D26G5GE0002004A.
- 19) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta idrogeologica/isopiezometrica/punti d'acqua tav. 5 di 6 – MDL100D26G5GE0002005A.
- 20) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Carta idrogeologica/isopiezometrica/punti d'acqua tav. 6 di 6 – MDL100D26G5GE0002006A.
- 21) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Profilo geologico-tecnico 1 di 3 – MDL100D26F5GE0001001A.
- 22) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Profilo geologico-tecnico 2 di 3 – MDL100D26F5GE0001002A.
- 23) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Profilo geologico-tecnico 3 di 3 – MDL100D26F5GE0001003A.
- 24) Potenziamento della Linea Rho-Arona – Tratta Rho-Gallarate - Progetto definitivo – Sezione geologico-tecnica di dettaglio 1 di 3 – MDL100D26W5GE0001001A.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 14 settembre 2005 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Ord. P.C.M. 20 marzo 2003, n.3274 e s.m.i. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Delibera Regione Emilia Romagna del 24 Ottobre 2005, n.1667 “Prime indicazioni applicative in merito al D.M. 14.09.2005”.
- Decreto Min. LL.PP. 11 Marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ed i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circolare Min. LL.PP. 24 Settembre 1988, n. 30483 “Istruzioni riguardanti “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” di cui al D.M. 11 Marzo 1988”.
- Raccomandazioni AGI giugno 1977 “Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.
- Raccomandazioni AGI maggio 1994 “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”.
- Linee guida AGI 2005 “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”.
- UNI EN 1997-1:2005 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali”.
- UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 9 di 86

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è ubicata nella Regione Lombardia, nel settore nord-occidentale di Milano, e precisamente lungo la tratta della linea ferroviaria Rho-Parabiago, mentre il raccordo Y è ubicato nei comuni di Busto Arsizio e Castellanza, in provincia di Varese.

La tratta oggetto di studio attraversa il territorio della Città Metropolitana di Milano comprendente i comuni di Rho, Pregnana Milanese, Vanzago, Pogliano Milanese, Nerviano, Parabiago e, come già indicato in precedenza per quanto concerne il raccordo Y, i comuni di Castellanza e Busto Arsizio nella provincia di Varese (Figura 4.1).

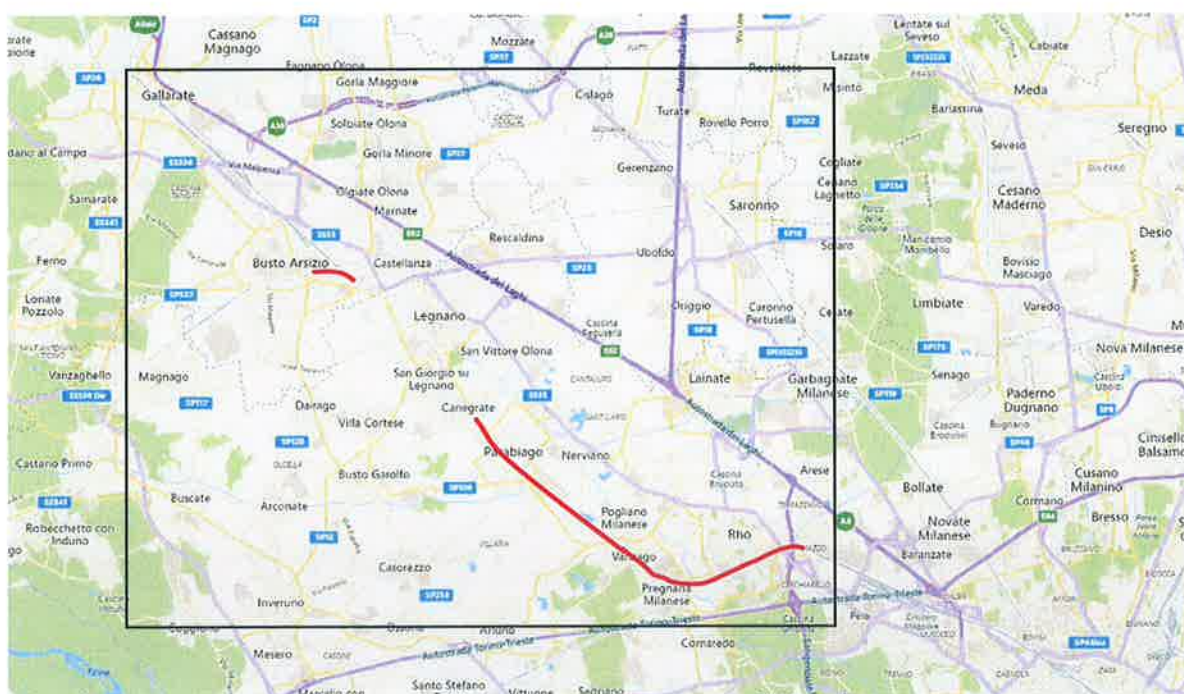


Figura 4.1 - Ubicazione geografica della fascia di territorio che attraversa il tracciato in analisi (rosso)

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 10 di 86

5. GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA

Il territorio preso in esame appartiene al settore nord-occidentale della Pianura Padana e corrisponde alla parte centrale del margine settentrionale sud-alpino.

La zona interessata dal tracciato in progetto è caratterizzata da una morfologia pianeggiante, corrispondente al livello fondamentale della pianura, con variazioni di quota estremamente limitate, dell'ordine di pochi metri.

Trattandosi di una zona essenzialmente pianeggiante le rilevanze morfologiche sono ridotte. Le uniche evidenze morfologiche sono rappresentate dalla blanda incisione fluviale del fiume Olona, dal relativo orlo di terrazzo e dal riconoscimento di tracce di paleo alvei situati lungo la piana alluvionale del fiume Olona allo stesso livello del p.c..

Sono presenti inoltre alcune scarpate artificiali in corrispondenza di cave, per lo più di sabbia e ghiaia, ed un fitto reticolato di canali artificiali e rogge scavate prevalentemente a scopo irriguo.

5.1 CORSI D'ACQUA NATURALI E CANALI ARTIFICIALI

Il reticolo idrografico della zona è caratterizzato dalla presenza di alcuni corsi d'acqua naturali, che scorrono in direzione NNW - SSE (Fiume Olona) con un andamento da sinuoso a meandri e da una serie di canali e rogge artificiali, realizzati a scopo irriguo.

L'opera in progetto sovrappassa, da ovest verso est, i seguenti corsi d'acqua principali, oltre ad un numero imprecisato di rogge e piccoli canali minori:

- Canale Villoresi;
- Canale Scolmatore delle Piene Nord-Ovest;
- Fiume Olona.

Il *Canale Villoresi* trae origine dal F. Ticino e dopo circa 82 km confluisce nel F. Adda, presso Gropello di Cassano d'Adda: il canale svolge un ruolo molto importante nell'approvvigionamento idrico a scopo industriale e agricolo ed è caratterizzato da una discreta regolarità di funzionamento e da una portata che raggiunge 70 m³/s.

Il *Canale Scolmatore delle Piene Nord-Ovest* è stato realizzato allo scopo di risolvere le problematiche connesse con lo smaltimento delle piene del Fiume Olona.

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 11 di 86

Il *Fiume Olona* nasce sulle Prealpi Varesine, scorre con direzione N-S fino a Castellanza e poi prende direzione NW-SE fino all'altezza di Rho ove il corso d'acqua viene deviato mediante un'opera di presa che lo scarica nel Canale Scolmatore delle Piene. Il bacino idrografico dell'Olona alla sezione di Milano è di 475 km²; il regime è di tipo prealpino con due periodi di piena in primavera ed in autunno e periodi di magra in inverno ed estate.

A partire dal sovrappasso del Canale Villoresi, si stacca il "*Canale Secondario Villoresi*" che scorre con direzione NNW – SSE, in adiacenza all'opera in progetto, dal comune di Parabiago al comune di Rho.

5.2 FONTANILI

I "fontanili" sono caratteristiche emergenze spontanee o artificiali della falda, legate principalmente alla variazione di porosità dei terreni che si realizza nel settore di transizione tra l'alta pianura ghiaiosa e la bassa pianura prevalentemente sabbiosa, e che porta alla formazione di zone umide con flora e fauna tipiche di ambienti paludosi.

I fontanili si sviluppano principalmente lungo la direzione E-W, formando e alimentando un reticolo molto complesso di canali che si ritrova lungo una striscia continua larga circa 15 Km che va dalla Dora Baltea fino all'Adige e dai Colli Euganei fino al Golfo di Trieste (Figura 5.1).

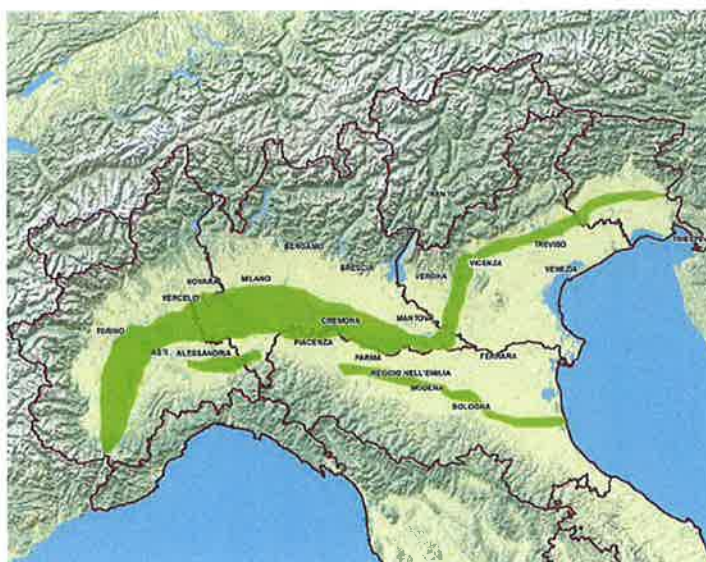


Figura 5.1 - Area di distribuzione dei fontanili nell'Italia settentrionale (www.regione.lombardia.it)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Nel milanese la zona dei fontanili è costituita da una fascia pressoché continua di emergenze che si sviluppa in direzione circa est - ovest, limitata ad occidente dal F. Ticino e ad oriente dal F. Adda; la loro importanza è legata sia alla grande abbondanza d'acqua disponibile per l'irrigazione sia per la costante temperatura media annua (10-14°C).

La linea dei fontanili, nell'area milanese, ha subito numerose variazioni di posizione negli ultimi decenni a causa dell'espansione urbana, dei prelievi industriali e dell'abbandono dell'agricoltura. La falda nel territorio milanese si è abbassata a partire dagli anni '50, il che ha causato l'estinzione di alcune di queste emergenze naturali ed il conseguente spostamento verso sud della "linea dei fontanili". Attualmente il livello della falda ha invertito la sua tendenza, risultando evidente negli ultimi anni un progressivo innalzamento, che ha riportato il limite settentrionale della fascia delle risorgive all'altezza di Settimo Milanese, Cislano, Corbetta e Magenta.

La linea dei "fontanili" è attraversata dal tracciato in progetto tra i comuni di Rho e Pregnana Milanese. In questa zona il contatto delle alluvioni di origine fluvioglaciali "wurmiani", aventi granulometrie variabili tra la ghiaia e i ciottoli, con i depositi alluvionali di origine fluviale, prevalentemente sabbioso-limosi (formazioni tipiche del terrazzo superiore del Ticino), dà origine alla zona dei fontanili. Essa funge da limite orientale delle formazioni appena citate e rappresenta una fascia ristretta dove la falda freatica, a causa delle variazioni laterali del coefficiente di permeabilità, tende ad affiorare in superficie.

Nella Tabella 5.1 è riportata la distribuzione e l'attività dei fontanili nella zona occidentale della Città Metropolitana di Milano per i comuni di Rho e Pregnana Milanese (da Sistema Informativo Acque Superficiali della Città Metropolitana di Milano).

COMUNE	Totali	Attivi	Semiattivi	Non attivi	Interrati
Pregnana Milanese	1	-	-	1	-
Rho	12	2	1	4	5

Tabella 5.1 - Attività dei fontanili nei comuni di Rho e Pregnana Milanese

Nel dettaglio l'opera in progetto valica un'asta di fontanile (Fon.le Serbelloni, in comune di Pregnana Milanese) in prossimità del ponte sul Canale Scolmatore delle Piene Nord-Ovest. Un

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

altro fontanile in prossimità dell'opera è il Fon.le di Vighignolo, situato a circa 300 metri a sud dell'opera stessa, nella Fraz. Lucernate, in comune di Rho.

5.3 CAVE

Nei comuni attraversati dall'opera in progetto sono presenti alcune cave che sfruttano i potenti livelli (spessore da 10 m a più di 30 m) di ghiaia e sabbia dei depositi fluvioglaciali, modificando la morfologia pianeggiante dell'area.

Per quanto riguarda la Città Metropolitana di Milano, le cave attive nei comuni attraversati dell'opera sono le seguenti:

Comune	Codice	Denominazione
Pregnana Milanese	PG1	Cava C.na Madonnina
Nerviano	NR1	Cava Coloredo
Nerviano/Parabiago	NR2	Cava Roccolo
Parabiago	CRR1	Cava S. Lorenzo

È inoltre presente nel comune di Nerviano, in adiacenza all'opera, una cava non attiva in corrispondenza della fermata ferroviaria FV03.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

6. GEOLOGIA

I dati base utili alla compilazione dell'inquadramento geologico dell'area in esame sono stati ricavati dalla Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000 (Foglio Novara e Foglio Milano), dalla bibliografia consultata (studi geologici contenuti nei PRG comunali) e dalle successioni stratigrafiche esaminate lungo le verticali dei sondaggi geognostici realizzati durante le campagne di indagini 2008, 2012 e 2017.

Dal punto di vista stratigrafico i profili geologici evidenziano la presenza di una formazione ghiaiosa-sabbiosa sino alla profondità di circa 15-20 m dal p.c., con lenti sabbiose-ghiaiose intercalate a livelli limoso-argillosi; a cui segue, sino alla massima profondità indagata, una formazione prevalentemente sabbiosa.

L'assetto dell'area d'interesse (Figura 6.1) è guidato dagli eventi geologici che si sono succeduti dal Miocene superiore fino al Quaternario, con la deposizione di sedimenti prevalentemente di tipo continentale e transizionale, depositi fluviali, glaciali e subordinatamente lacustri e palustri, al di sopra del substrato pre-Pliocenico.

Dal Pliocene superiore al Pleistocene si assiste, in corrispondenza dell'attuale Pianura Padana, ad una progressiva regressione marina (fase di sollevamento delle catene montuose), con la formazione di depositi transizionali prevalenti fini (sabbie fini, limi ed argille) che costituiscono l'Unità Villafranchiana, e successivamente depositi continentali fluvio-lacustri.

Nel Pleistocene medio e superiore si assiste all'emersione generalizzata della Pianura Padana; l'area viene interessata da diversi episodi glaciali e interglaciali raggruppati classicamente nelle fasi Mindel, Riss e Wurm. Ne segue la formazione del reticolo idrografico attuale.

Il susseguirsi di periodi con climi sensibilmente differenti ha determinato successivi momenti di avanzata e di ritiro dei ghiacciai alpini, con relative fasi deposizionali ed erosive: si ha quindi la formazione di depositi glaciali e fluvioglaciali che, nei periodi di ritiro dei ghiacciai, vengono incisi dai corsi d'acqua con la creazione di una serie di terrazzi sui quali si possono rinvenire tipici depositi eolici di clima più arido (loess).

Dal Pleistocene superiore all'Olocene, con il lento innalzamento dell'alta pianura, nei settori settentrionali affiorano così le unità più antiche: la formazione di depositi principalmente ghiaioso-sabbiosi è dovuta al fenomeno di erosione della catena alpina.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

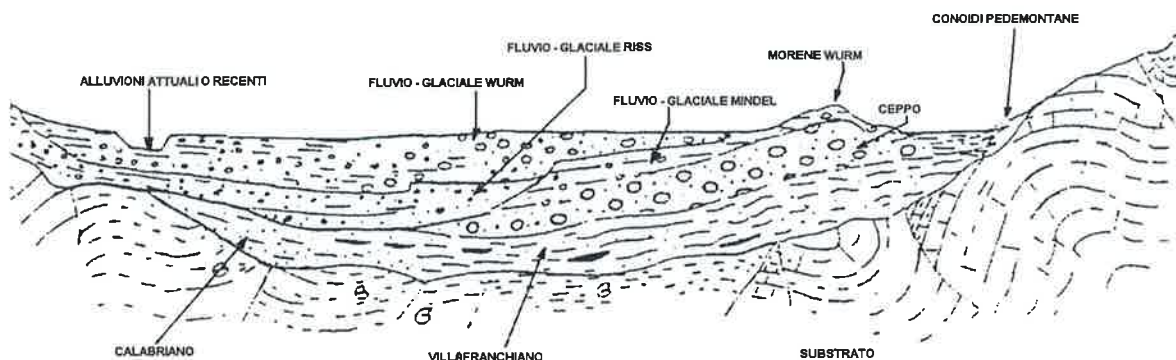


Figura 6.1- Schema stratigrafico di sintesi riferibile alla Pianura Padana

La successione stratigrafica "classica" può essere così schematizzata:

- *Substrato pre-Pliocenico*: costituito da formazioni di età dal Miocene superiore al Mesozoico, come rilevato dalla ricerca per idrocarburi; viene rinvenuto in affioramento solo molto più a nord rispetto all'area in esame e si approfondisce notevolmente verso sud.
- *"Argille sotto il Ceppo" (Unità Villafranchiana)*: sono costituite in prevalenza da materiali fini, tra cui argille varvate, argille e sabbie fossilifere, sabbie con laminazioni incrociate, depositi lacustri e torbe. Sono la testimonianza della regressione marina del Villafranchiano. Gli strati più profondi sono costituiti da argille di origine marina a cui si sovrappongono sedimenti sabbioso-argillosi di facies transizionale e continentale, costituiti da argille con lenti di sabbia.
- *Ceppo*: si tratta di arenarie e conglomerati sovente passanti a ghiaie e sabbie; affiorano nella parte alta della pianura, soprattutto lungo i corsi d'acqua (come l'Olona), mentre nella zona milanese si trovano a profondità di 80÷100 m.
- *Morenico Mindel*: depositi di limi inglobanti ciottoli, sabbia e argilla, ricoperti da un potente strato di alterazione. Costituiscono la cerchia morenica più esterna, ai piedi delle Prealpi.
- *Fluvioglaciale Mindel*: si tratta di depositi costituiti da ciottoli ben arrotondati immersi in una matrice sabbioso argillosa con colore giallo-rossiccio, caratterizzati da un'alterazione superficiale di colore rosso nota come "ferretto" e spessa fino a 2÷3 m.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

- *Morenico Riss*: caratterizzato da depositi caotici, ghiaiosi e sabbiosi con abbondante matrice argillosa; costituiscono i cordoni morenici interni alla cerchia mindeliana.
- *Fluvioglaciale Riss*: si tratta di depositi costituiti da ciottoli ben arrotondati con ghiaie, immersi in una matrice sabbiosa giallo-ocra, con locale presenza di lenti di conglomerato. Hanno anch'essi uno strato superficiale alterato di colore rossiccio anche di origine loessico simile al "ferretto".
- *Morenico Wurm*: sono depositi connessi con l'ultima glaciazione e costituiscono la cerchia morenica più interna. Sono formati da depositi caotici di ghiaie, ciottoli e limi inglobanti massi erratici di notevoli dimensioni.
- *Fluvioglaciale Wurm*: sono i depositi connessi al fluvioglaciale dell'ultima glaciazione quaternaria. Sono formati da ghiaie e sabbie prevalenti con scarsi livelli argillosi e costituiscono il cosiddetto "livello principale della Pianura Padana" o "Diluvium recente". La granulometria di questa unità diminuisce da nord a sud, passando da termini più grossolani (ghiaie prevalenti) a termini più fini (sabbie prevalenti) con passaggio per lo più graduale. Questi depositi si distribuiscono su tutta la zona interessata dal progetto. Nelle zone a ghiaie prevalenti la stratificazione è determinata da lenti e livelli a granulometria diversa, ma uniforme per ciascuno di essi; sono presenti, inoltre, frequenti livelli sabbiosi che si alternano con ghiaie più o meno grossolane (ghiaie sabbiose). L'argilla è talora presente negli orizzonti superficiali, trasportata nel sottosuolo dalle acque di dilavamento e di irrigazione, e spesso si mescola con la ghiaia e la sabbia fino a modesta profondità.
- *Depositi alluvionali*: sono i depositi presenti in prossimità dell'alveo dei principali torrenti, attivi o abbandonati; si riscontra una distribuzione in strette fasce ed una composizione granulometrica ascrivibile a ghiaie e ghiaie sabbiose; la presenza di sabbie, limi e argille, in orizzonti lenticolari più o meno allungati, è strettamente legata alle divagazioni dei corsi d'acqua, responsabili anche della formazione di terrazzi, a seguito del continuo susseguirsi di fenomeni di erosione e di processi deposizionali.

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 17 di 86

7. IDROGEOLOGIA

La successione idrogeologica dell'area è caratterizzata da più falde idriche sotterranee sovrapposte, separate tra loro da orizzonti argilloso-limosi non sempre continui, la cui presenza tende ad aumentare con la profondità. In particolare, si osserva una progressiva diminuzione della granulometria dei terreni in senso verticale, riferibile a diverse fasi di deposizione, che comporta la formazione di tre acquiferi distinti (Figura 7.1).

Il *primo acquifero* è caratterizzato dalla netta prevalenza di litotipi grossolani con lenti limoso-argillose di limitato spessore ed estensione areale, che presentano spessore maggiore di 35 m. Tale acquifero è il più superficiale nella media e bassa pianura, mentre nella zona dell'alta pianura è limitato ai fondovalle. Da un punto di vista qualitativo le risorse idriche sono spesso compromesse e quindi sono utilizzabili a scopo agricolo e industriale.

Il *secondo acquifero* è costituito da una successione di depositi ghiaioso-sabbiosi, alternata a livelli sabbiosi, limoso-argillosi, talora con lenti cementate conglomeratiche, che occupano l'intervallo da 35-50 m fino a 100-110 m di profondità, con frequenti diaframmi argillosi. Il secondo acquifero è separato dalla falda sovrastante da diaframmi scarsamente permeabili costituiti da limi e argille, che limitano gli scambi fra la falda libera del primo acquifero e quella contenuta del secondo acquifero. Localmente i livelli argillosi al tetto del secondo acquifero non sono continui quindi il primo acquifero risulta genericamente intercomunicante con il secondo.

Il *terzo acquifero* è principalmente costituito da argille grigie di origine continentale, identificate come Unità Villafranchiana contenenti sabbie e ghiaie, sede di una modesta circolazione idrica, si colloca oltre i 100-110 m di profondità e risulta in condizioni di pressione. L'acquifero ha un ruolo fondamentale, non tanto per le scarse riserve idriche, quanto per la qualità delle acque sotterranee che raramente presentano fenomeni di contaminazione industriale o agricola.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

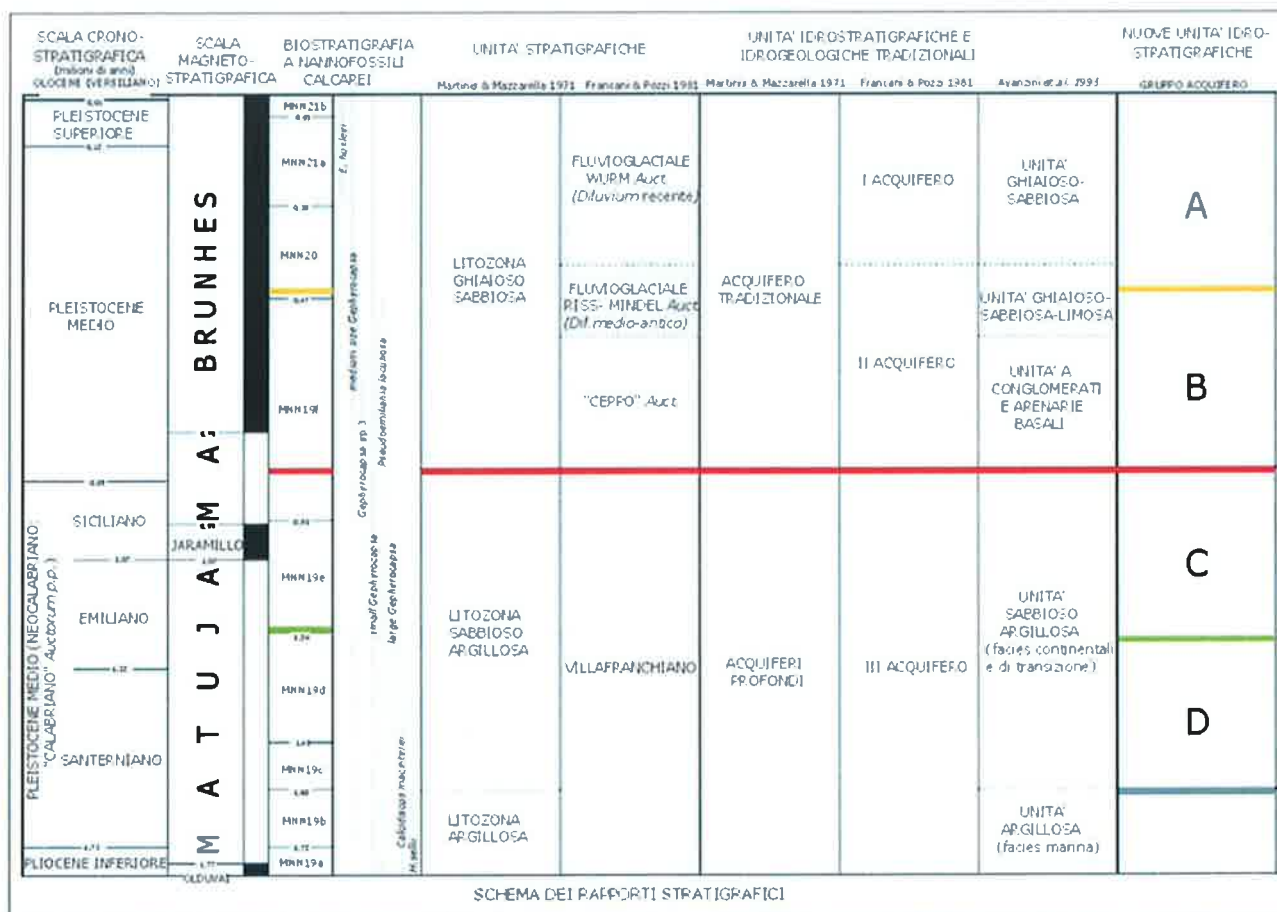


Figura 7.1 - Schema dei rapporti stratigrafici (Carcano C. & Piccini A., 2002)

Adottando la terminologia proposta nei più recenti studi scientifici, si può riportare la seguente suddivisione:

- *Litozona ghiaioso-sabbiosa*: comprende il 1° ed il 2° acquifero. All'interno della litozona è possibile distinguere una parte più superficiale costituita da materiali ghiaioso-sabbiosi, corrispondenti al fluvioglaciale wurmiano ed alle alluvioni recenti ed attuali, che ospita la falda freatica; sottostanti depositi ghiaioso-sabbioso-limosi e conglomeratici appartenenti ai fluvioglaciali Riss e Mindel che ospitano la falda semiconfinata. L'insieme degli acquiferi contenuti in questa litozona viene identificato in letteratura come "Acquifero Tradizionale", comprensivo del primo e secondo acquifero, in quanto costituisce il corpo idrico sotterraneo contenente la falda tradizionalmente sfruttata dai pozzi dell'area milanese.

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

L'unità ghiaioso-sabbiosa superficiale ha un'elevata permeabilità che consente la ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche; la conducibilità idraulica di questa unità è orientativamente compresa tra 10^{-3} e 10^{-4} m/s e la falda contenuta non è confinata. La sottostante unità ghiaioso-sabbiosa-conglomeratica presenta conducibilità idraulica leggermente inferiore $10^{-4} \div 10^{-5}$ m/s a causa della frazione fine che ne riduce le caratteristiche di permeabilità; la falda ivi contenuta è libera o semiconfinata, generalmente in collegamento con quella superiore.

- Si evidenzia che le misure di permeabilità eseguite in campo durante le campagne di indagini 2008 e 2017 hanno permesso di rilevare dei valori di permeabilità più bassi rispetto a quelli riportati dalla bibliografia riferiti all'unità ghiaioso-sabbiosa. I valori misurati indicano un valore medio di permeabilità pari a $2,89 \cdot 10^{-5}$ m/s. Tale differenza può essere attribuita alla presenza locale di frazioni fini (con passante al setaccio ASTM 200 pari al 20+30% circa) che possono influenzare i valori di conducibilità idraulica alla scala rappresentativa della prova, mentre a macro-scala il deposito può per l'appunto essere caratterizzato da valori di conducibilità più elevati, più vicini a quelli di letteratura.
- *Litozona sabbioso-argillosa*, costituente il terzo acquifero con tipica struttura multistrato; le falde contenute in questa unità sono denominate "profonde" con valori di conducibilità idraulica di $10^{-5} + 10^{-6}$ m/s nei livelli più produttivi.
- *Litozona argillosa profonda*, costituita da argille e argille marnose di deposizione marina.

Il tracciato del progetto, viste le sue caratteristiche costruttive interferisce unicamente con la falda freatica del primo acquifero.

La suddivisione riportata è confermata dai dati esistenti, in particolare come evidenziato nelle sezioni idrogeologiche riportate nella Figura 7.2, estratte dal P.G.T del comune di Rho (MI).

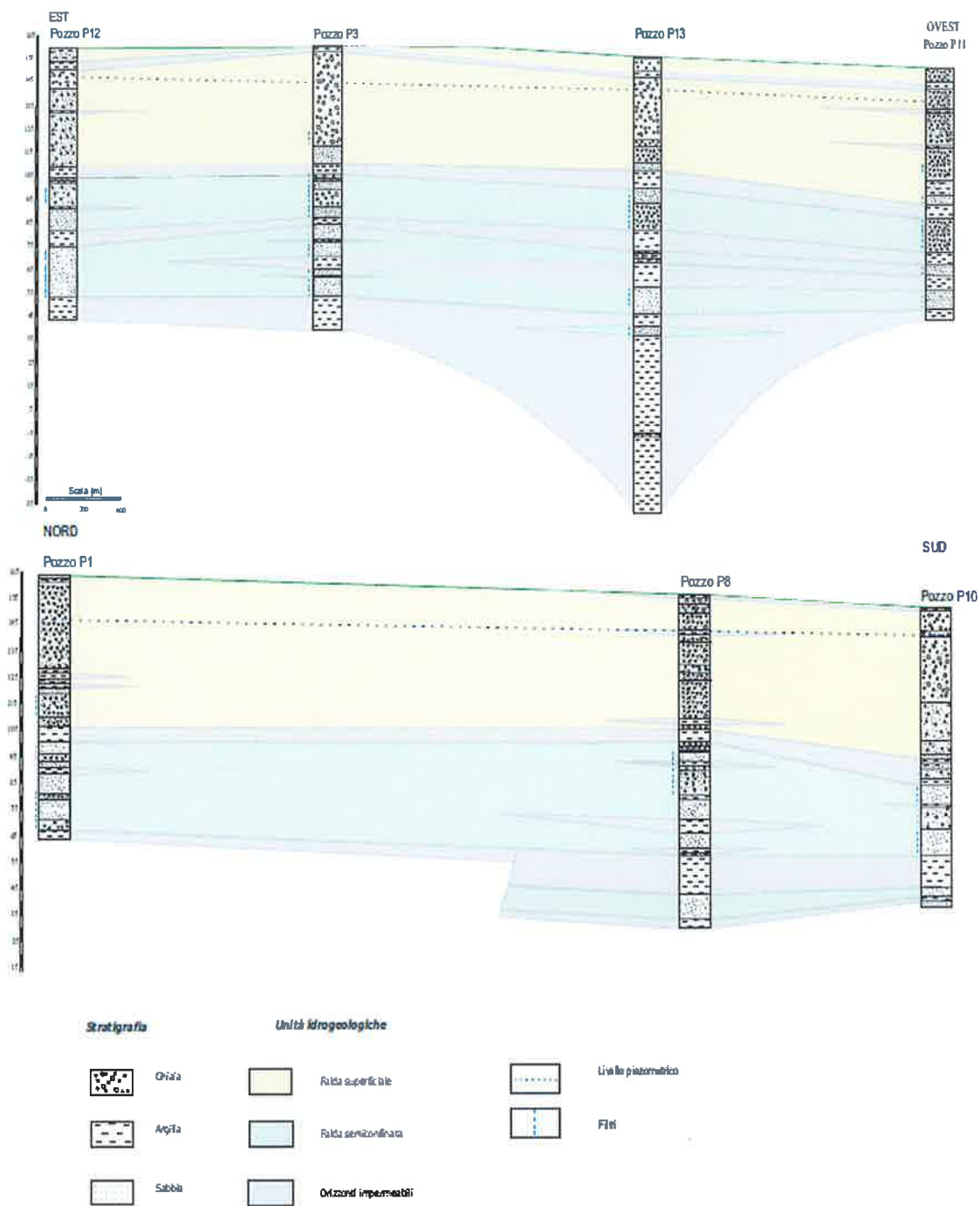


Figura 7.2 - Sezioni idrogeologiche E-W e N-S nel territorio di Rho (MI)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

7.1 CARATTERISTICHE DELLA FALDA FREATICA

L'acquifero tradizionale, ospitato nei terreni alluvionali ghiaioso-sabbiosi, è ricaricato dalle acque di infiltrazione, dai corsi d'acqua e dai canali di irrigazione. A sua volta la falda freatica nella zona in esame alimenta il Ticino.

A livello regionale la soggiacenza della falda diminuisce in termini di profondità dal p.c. procedendo da nord verso sud fino a quote prossime al piano campagna nel settore meridionale (Figura 7.3).

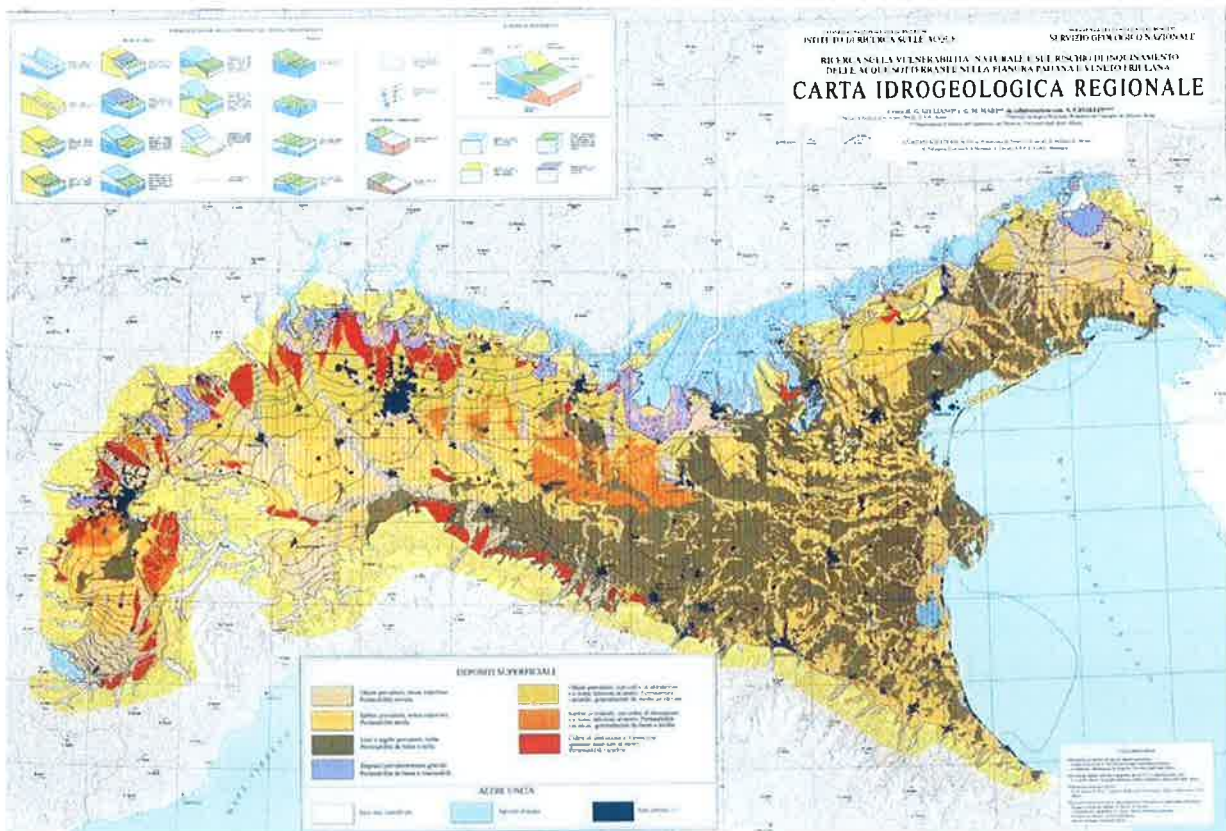


Figura 7.3 - Carta idrogeologica regionale (da Servizio Geologico nazionale)

L'andamento delle linee piezometriche riportato nella carta idrogeologica regionale trova conferma nelle carte idrogeologiche, di seguito riportate, della Città Metropolitana di Milano (Figura 7.4, Figura 7.5, Figura 7.6, Figura 7.7, Figura 7.8) in cui si evidenzia una direzione di flusso idrico sotterraneo prevalente circa N-S; tranne nella zona del Fiume Ticino dove, per effetto del drenaggio esercitato dal fiume stesso, si registra un innalzamento della falda freatica e una direzione di flusso sotterraneo circa NE-SO.

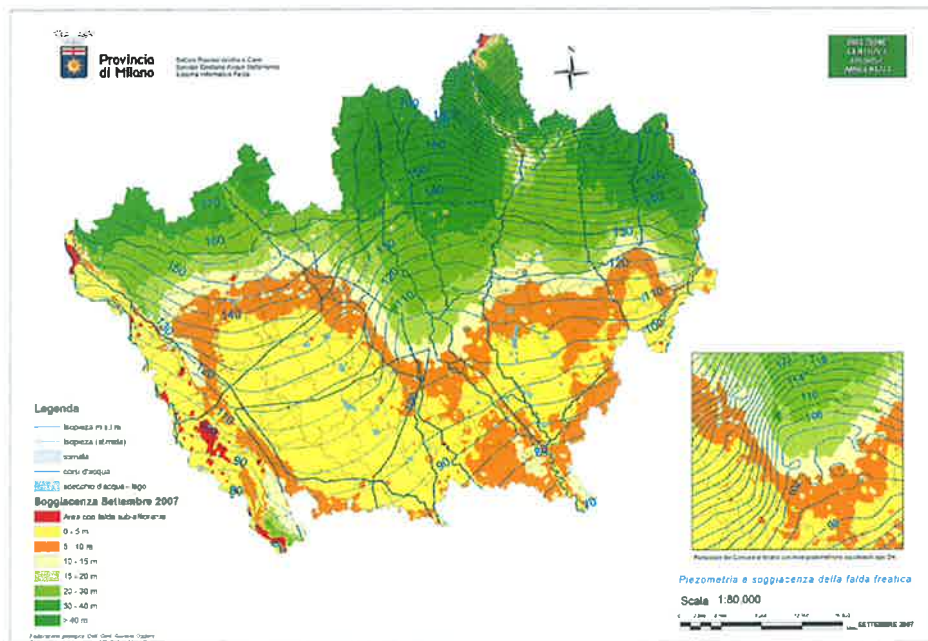


Figura 7.4 - Carta idrogeologica della Città Metropolitana di Milano, settembre 2007

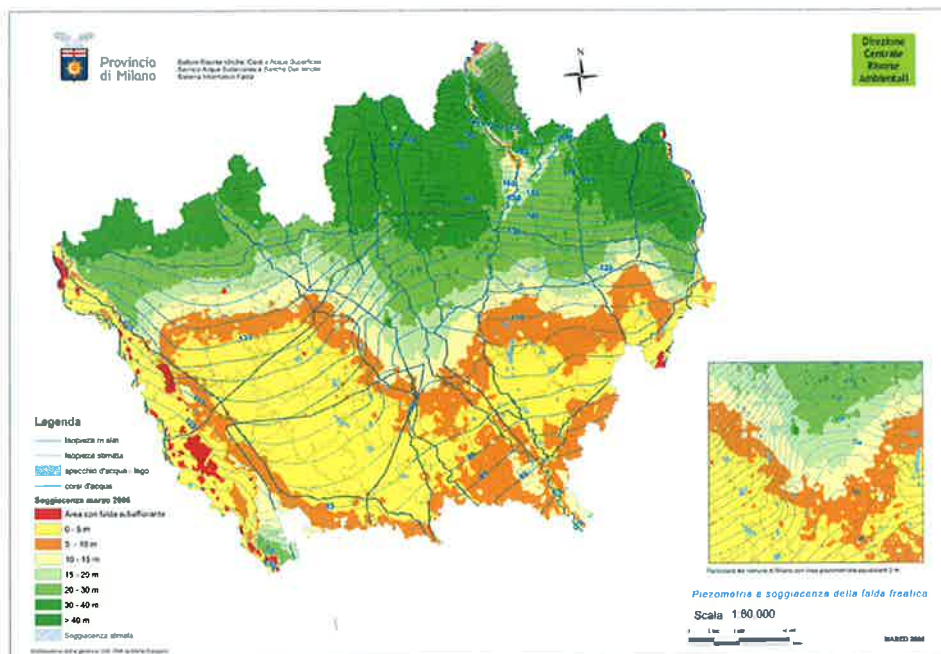


Figura 7.5 - Carta idrogeologica della Città Metropolitana di Milano, marzo 2008

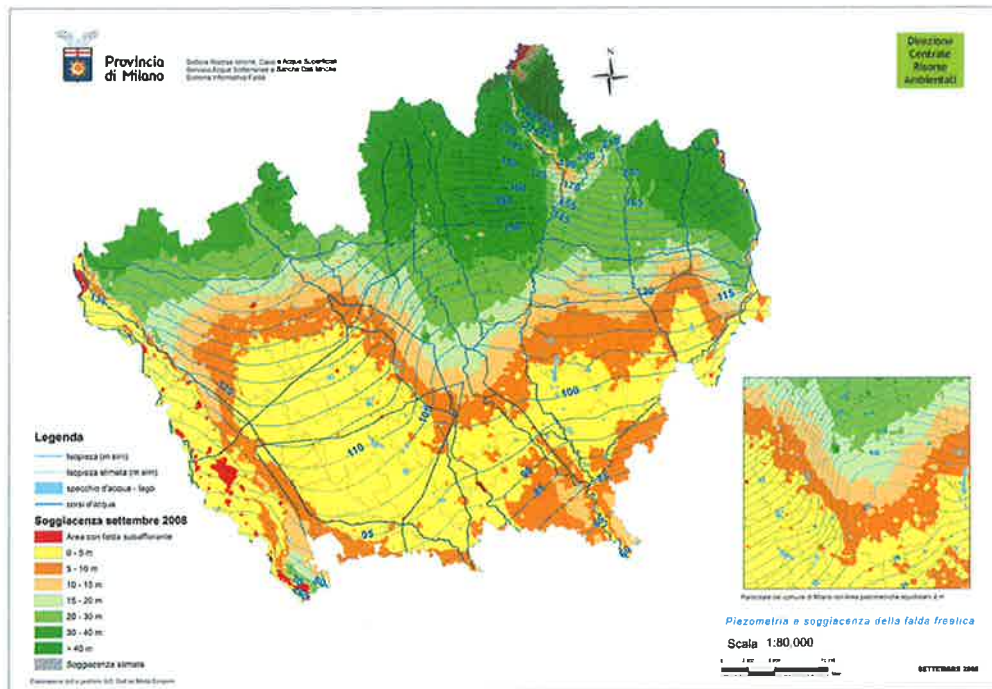


Figura 7.6 - Carta idrogeologica della Città Metropolitana di Milano, settembre 2008

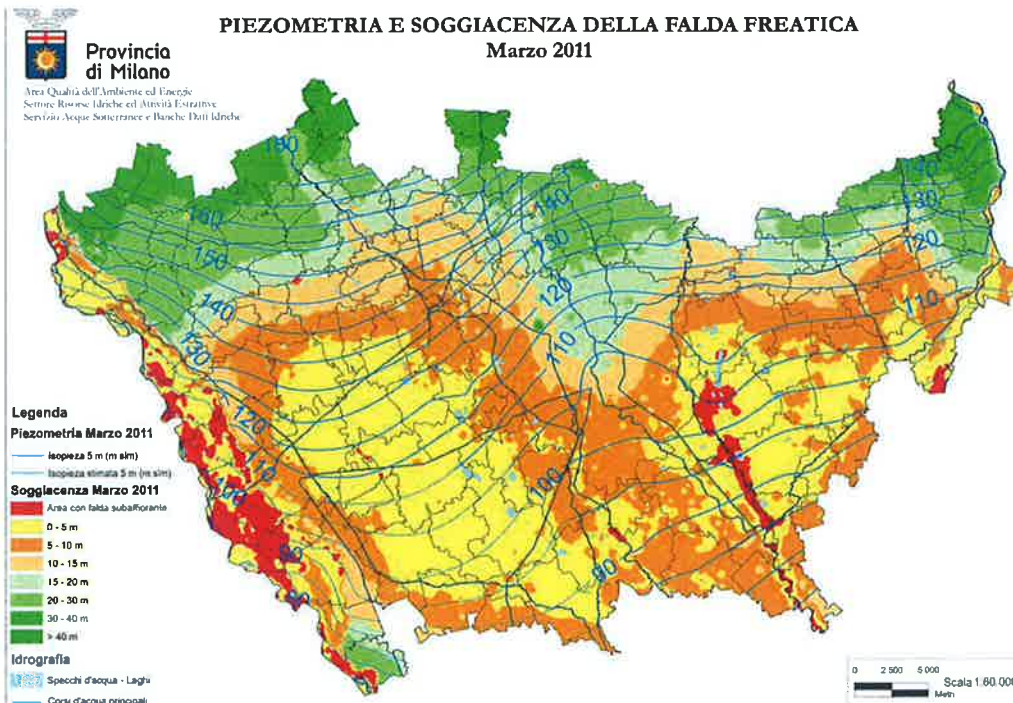


Figura 7.7 - Carta della piezometria e soggiacenza della prima falda nella Città Metropolitana di Milano (marzo 2011)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

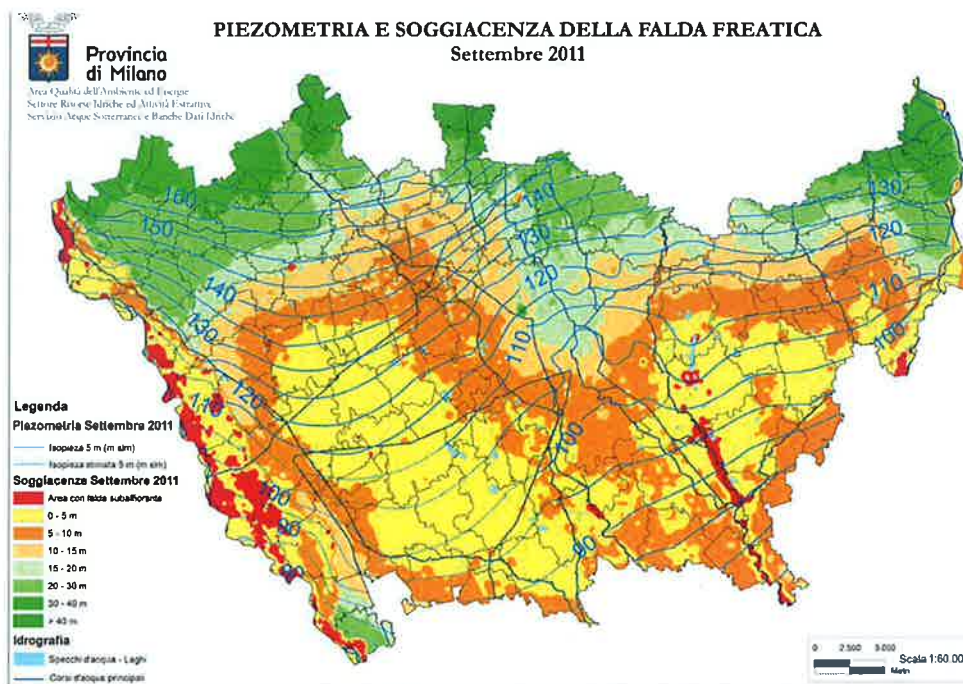


Figura 7.8 - Carta della piezometria e soggiacenza della prima falda nella Città Metropolitana di Milano (settembre 2011)

7.1.1 Vulnerabilità regionale della prima falda

Nell'ambito della Città Metropolitana di Milano è stata effettuata una valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale avvalendosi del metodo SINTACS (Civita, 2005). Il metodo di tipo parametrico prevede la determinazione di un punteggio, variabile da 1 a 10, per ognuno di sette parametri considerati come input per determinare la vulnerabilità dai quali deriva l'acronimo SINTACS:

- **Soggiacenza:** dal suo valore assoluto e dalle caratteristiche idrogeologiche dell'insaturo dipende il tempo di transito di un qualsiasi inquinante idroportato e la durata delle azioni autodepurative dell'insaturo;
- **Infiltrazione efficace:** da questa dipende il trascinarsi in profondità degli inquinanti e la loro diluizione;
- **Non-saturo** (effetto di autodepurazione): comprende la parte di sottosuolo tra la base del suolo e la zona saturata dell'acquifero nella quale fattori fisici e chimici lavorano in sinergia favorendo i processi di attenuazione;

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

- Tipologia della copertura: costituisce la prima linea di difesa ove avvengono importanti processi fisici chimici e biologici che costituiscono il potenziale di attenuazione del suolo;
- Condizioni idrogeologiche dell'Acquifero: avvengono i processi di dispersione, diluizione, assorbimento e reattività chimica del mezzo al di sotto della superficie piezometrica;
- Conducibilità idraulica dell'acquifero: la capacità di spostamento dell'acqua sotterranea nel mezzo saturo e dunque degli inquinanti idroportati;
- Superficie topografica (acclività della superficie): da questa dipende la quantità di ruscellamento che si produce a parità di precipitazione e la velocità di spostamento dell'acqua, e quindi degli inquinanti, sulla superficie.

Questi vengono poi moltiplicati per una stringa di pesi, con valori compresi tra 1 e 5, in modo da incrementare o diminuire il valore in funzione della reale situazione idrogeologica.

L'indice di vulnerabilità intrinseca (Isintacs) viene quindi calcolato per ogni elemento della maglia:

$$Isintacs = W_S S + W_I I + W_N N + W_T T + W_A A + W_C C + W_S S$$

Dove:

- W è il peso relativo della stringa prescelta;
- S, I, N, T, A, C, S sono il punteggio di ciascuno dei sette parametri considerati dal metodo. I valori attribuiti ai 7 parametri sono convertiti in punteggi attraverso alcuni abachi previsti dal metodo stesso; questi punteggi vengono successivamente moltiplicati per i pesi scelti all'interno della stringa che meglio descrive la situazione idrogeologica (Tabella 7.1).

CLASSE		rilevante	drenaggio	normale	urbanizzato
SOGGIACENZA	S	5	4	5	5
INFILTRAZIONE	I	5	4	4	4
INSATURO	N	4	4	5	4
SUOLO	T	5	2	3	2
ACQUIFERO	A	3	5	3	4
CONDUCIBILTA	C	2	5	3	5
PENDENZA	S	2	2	3	2

Tabella 7.1 - Stringhe di pesi

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 26 di 86

L'assegnazione delle stringhe di pesi è stata effettuata basandosi su alcuni caratteri fondamentali definiti dalla Città Metropolitana di Milano. E' infatti possibile suddividere il territorio della provincia in due settori, uno settentrionale ed uno meridionale. Il primo rappresenta una zona di transizione tra i rilievi prealpini e la pianura vera e propria; in questa fascia si nota inoltre un notevole sviluppo urbano, residenziale e industriale. Il secondo settore è costituito da media e bassa pianura principalmente adibita a sfruttamento agricolo, dove l'irrigazione risente del regime dei fontanili. Vi è quindi una netta differenza paesaggistica (naturale ed antropica) tra le due aree, conseguenza della costruzione di canali e rogge, con le quali, deviando parte della acque dei fiumi principali, si è consentita l'irrigazione dei territori a Sud di Milano. Pertanto la zona a sud del Canale Villoresi è stata considerata interamente ad impatto drenante a meno della zona urbanizzata, mentre la zona a nord del canale irriguo è stata considerata zona ad impatto normale sempre a meno della zona urbanizzata e delle valli dei principali corsi d'acqua, considerate come aree a drenaggio prevalente.

Dalla vulnerabilità calcolata con il metodo SINTACS si evince che il territorio provinciale ha un grado di vulnerabilità differente, variabile da medio ad estremamente elevato.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfológica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 27 di 86

8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La definizione delle caratteristiche geologiche e litostratigrafiche di dettaglio dei terreni di fondazione della tratta in esame è stata ottenuta a mezzo delle informazioni derivanti dalle campagne di indagine geognostiche eseguite negli anni 2008, 2012 e 2017.

8.1 CAMPAGNE DI INDAGINE 2008

La campagna di indagine, eseguita nel 2008, è consistita in:

- n° 25 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità variabile tra 10 e 30 m dal p.c., con prove S.P.T. e Lefranc in foro e prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nelle carte geologiche con elementi morfologici (Doc.Rif. 9, 10, 11, 12, 13 e 14), e nelle carte idrogeologiche con elementi di idrologia (Doc.Rif. 15, 16, 17, 18, 19 e 20).

In Tabella 8.1 si riassumono di seguito le attività di indagine eseguite, rimandando per il dettaglio dei risultati agli specifici elaborati (Doc.Rif. 1, 2 e 3).

Tabella 8.1 - Campagna di indagine 2008 - Elenco dei sondaggi

Codifica Italferr	Progressiva (km)	Codifica cantiere	Profondità di indagine	Piezometro	Campioni		Prove in sito	
					CI	CR	SPT	LE
PNMDL1C01	21+745	S1	30,0 m	30,0 m	-	8	8	-
PNMDL1R02	19+972	S2	15,0 m	15,0 m	-	4	4	-
SCMDL1R03	18+425	S3	15,0 m	-	-	4	4	-
PNMDL1O04	17+735	S4	15,0 m	15,0 m	-	4	4	1
PNMDL1U05	16+875	S5	30,0 m	30,0 m	-	7	8	-
SCMDL1O07	15+980	S7	20,0 m	-	-	5	5	-
PNMDL1O08	15+200	S8	30,0 m	30,0 m	-	7	7	1
SCMDL1O09	13+365	S9	20,0 m	-	-	5	5	-
SCMDL1O10	12+725	S10	30,0 m	-	-	8	8	1
SCMDL1O11	12+135	S11	30,0 m	-	-	8	8	1

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					Pag. 28 di 86
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	

Codifica Italferr	Progressiva (km)	Codifica cantiere	Profondità di indagine	Piezometro	Campioni		Prove in sito	
					CI	CR	SPT	LE
PNMDL1O12	10+550	S12	30,0 m	30,0 m	-	8	8	1
SCMDL1O13	10+050	S13	20,0 m	-	-	5	5	-
PNMDL1O14	8+750	S14	30,0 m	30,0 m	-	8	9	1
SCMDL1U15	8+375	S15	15,0 m	-	-	3	3	-
SCMDL1P16	7+490	S16	30,0 m	-	-	8	8	1
PNMDL1O19	7+225	S19	30,0 m	30,0 m	-	8	8	1
SCMDL1R20	4+715	S20	20,0 m	-	-	5	5	1
SCMDL1O21	3+875	S21	30,0 m	-	-	8	8	1
SCMDL1F22	2+835	S22	20,0 m	-	-	5	5	-
PNMDL1O23	2+450	S23	20,0 m	20,0 m	-	5	5	1
PNMDL1O24	1+010	S24	20,0 m	20,0 m	1	5	6	1
SCMDL1R25	0+730	S25	30,0 m	-	-	8	8	-
PNMDL1R26	0+280	S26	30,0 m	30,0 m	-	8	9	1
SCMDL1R27	0+130	S27	30,0 m	-	1	8	8	-
PNMDL1M28	0-110	S28	30,0 m	30,0 m	1	8	9	1

Dove:

- CI Campioni indisturbati
- CR Campioni rimaneggiati
- SPT Standard Penetration Test
- LE Prove di permeabilità tipo Lefranc

8.1.1 Sondaggi geotecnici a carotaggio continuo

Per lo studio dei terreni di fondazione profondi sono stati eseguiti n.25 sondaggi geognostici (campagna 2008) a carotaggio continuo denominati S1, S2, S3, S4, S5, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27 e S28 distribuiti lungo il tracciato del progetto; le profondità raggiunte sono riportate nella Tabella 8.1.

I sondaggi sono stati eseguiti con sistema a rotazione, impiegando i seguenti utensili di perforazione:

- carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice.

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 29 di 86

- diametro nominale \varnothing_{est} = 101 mm.
- lunghezza utile = 150-300 cm.
- corone di perforazione in widia.

In assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti del foro ad ogni manovra di carotaggio è seguita una manovra di rivestimento utilizzando tubi di diametro 127 mm, dotati di una scarpa ad inserti di widia. Le operazioni di rivestimento, viste le caratteristiche litologiche dei terreni attraversati, hanno richiesto un debole circolazione di acqua.

L'estrusione del campione in cantiere è stata realizzata utilizzando un sistema idraulico debitamente montato sulle macchine perforatrici.

I carotaggi estratti nel corso della perforazione sono stati accuratamente descritti dal geologo responsabile di cantiere su apposito modulo dove, oltre alla stratigrafia del sondaggio, sono stati riportati i seguenti dati:

- data di perforazione;
- quote dei livelli statico e dinamico della falda acquifera eventualmente presente;
- S.P.T realizzate;
- quote delle Lefranc realizzate;
- profondità e tipo di campioni di terreno prelevati;
- schema del tubo piezometrico installato.

Rilievo della stratigrafia dei terreni

La descrizione stratigrafica è stata compiuta per tutti i sondaggi profondi realizzati ed in modo tale da specificare per ciascuno strato quanto relativo ai punti sotto elencati:

- tipo di terreno;
- condizioni di umidità naturale;
- consistenza;
- colore;
- struttura;
- particolarità;
- litologia ed origine.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Nella stesura della descrizione è stato elencato per primo il nome del costituente principale seguito dal costituente secondario nella seguente forma, in accordo alle Raccomandazioni AGI (1977):

- preceduto dalla congiunzione “con” se rappresenta una percentuale compresa tra il 25% ed il 50 %;
- seguito dal suffisso “oso” se rappresenta una percentuale compresa tra il 10% ed il 25%;
- preceduto da “debolmente” e seguito dal suffisso “oso” se rappresenta una percentuale compresa tra il 5% ed il 10%.

8.1.2 Campionamenti del terreno

Nel corso delle perforazioni sono stati prelevati n°160 campioni di terreno rimaneggiati e n°3 campione di terreno indisturbato, di cui solo uno analizzato in quanto gli altri due all’apertura dei campioni sono risultati disturbati.

I campioni rimaneggiati sono stati prelevati in corrispondenza delle prove SPT, integrando il materiale raccolto con il campionatore Raymond; mentre i campioni indisturbati, prelevati durante la perforazione, in corrispondenza degli orizzonti più coesivi, mediante infissione di un campionatore tipo Shelby.

Nella Tabella 8.2 vengono riportati, per ciascun sondaggio (campagna 2008), i campioni di terreno prelevati con la relativa profondità di prelievo.

Tabella 8.2 Campagna di indagine 2008 – Campioni prelevati

Sondaggio	n° campione	Profondità da p.c. (m)
PNMDL1C01	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	12,00-12,30
	CR5	15,00-15,30
	CR6	20,00-20,30
	CR7	25,00-25,30
	CR8	28,00-28,30
PNMDL1R02	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	12,00-12,30
SCMDL1R03	CR1	1,50-1,80

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Sondaggio	n° campione	Profondità da p.c. (m)
	CR2	4,50-4,80
	CR3	7,50-7,80
	CR4	14,00-14,30
PNMDL1O04	CR1	1,50-1,80
	CR2	4,50-4,80
	CR3	6,00-6,30
	CR4	9,00-9,30
PNMDL1U05	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	15,00-15,30
	CR5	20,00-20,30
	CR6	25,00-25,30
	CR7	29,70-30,00
SCMDL1O07	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	12,00-12,30
	CR5	18,00-18,30
PNMDL1O08	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	12,00-12,30
	CR5	20,00-20,30
	CR6	25,00-25,30
	CR7	28,00-28,30
SCMDL1O09	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	15,20-15,50
	CR5	18,20-18,50
SCMDL1O10	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	12,00-12,30
	CR5	15,00-15,30
	CR6	20,00-20,30
	CR7	24,80-25,10
	CR8	28,20-28,50
SCMDL1O11	CR1	1,50-1,80

Sondaggio	n° campione	Profondità da p.c. (m)
	CR2	4,50-4,80
	CR3	7,50-7,80
	CR4	10,50-10,80
	CR5	13,00-13,30
	CR6	18,10-18,40
	CR7	24,50-24,80
	CR8	27,50-27,80
	PNMDL1O12	CR1
CR2		6,00-6,30
CR3		9,00-9,30
CR4		15,00-15,30
CR5		18,00-18,30
CR6		21,00-21,30
CR7		25,00-25,30
CR8		29,00-29,30
SCMDL1O13	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	15,10-15,40
	CR5	19,70-20,00
PNMDL1O14	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	12,00-12,30
	CR4	15,00-15,30
	CR5	18,00-18,30
	CR6	21,00-21,30
	CR7	24,00-24,30
	CR8	27,00-27,30
SCMDL1U15	CR1	5,00-5,30
	CR2	10,00-10,30
	CR3	14,70-15,00
SCMDL1P16	CR1	1,60-1,90
	CR2	4,50-4,80
	CR3	7,20-7,50
	CR4	10,50-10,80
	CR5	13,50-13,80
	CR6	18,00-18,30
	CR7	24,00-24,30
	CR8	27,00-27,30
PNMDL1O19	CR1	1,50-1,80

Sondaggio	n° campione	Profondità da p.c. (m)
	CR2	4,50-4,80
	CR3	7,50-7,80
	CR4	10,50-10,80
	CR5	13,50-13,80
	CR6	18,00-18,30
	CR7	24,00-24,30
	CR8	27,00-27,30
	SCMDL1R20	CR1
CR2		6,00-6,30
CR3		9,00-9,30
CR4		12,00-12,30
CR5		18,00-18,30
SCMDL1O21	CR1	2,80-3,10
	CR2	6,50-6,80
	CR3	9,50-9,80
	CR4	12,30-12,60
	CR5	15,00-15,30
	CR6	19,50-19,80
	CR7	23,90-24,20
	CR8	28,90-29,00
SCMDL1F22	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	15,00-15,30
	CR5	19,70-20,00
PNMDL1O23	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	15,00-15,30
	CR5	18,00-18,30
PNMDL1O24	CR1	2,00-2,30
	CR2	5,00-5,30
	CI1	8,90-9,40
	CR3	10,60-10,90
	CR4	15,00-15,30
	CR5	19,70-20,00
SCMDL1R25	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CR3	9,00-9,30
	CR4	12,00-12,30

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Sondaggio	n° campione	Profondità da p.c. (m)
	CR5	15,00-15,30
	CR6	20,00-20,30
	CR7	24,00-24,30
	CR8	29,00-29,30
PNMDL1R26	CR1	1,70-2,00
	CR2	4,70-5,00
	CR3	7,50-7,80
	CR4	10,50-10,80
	CR5	13,50-13,80
	CR6	18,00-18,30
	CR7	24,00-24,30
	CR8	27,00-27,30
SCMDL1R27	CR1	2,00-2,30
	CR2	5,00-5,30
	CR3	8,00-8,30
	CI1	10,30-10,70
	CR4	10,70-11,00
	CR5	15,00-15,30
	CR6	19,50-19,80
	CR7	25,00-25,30
	CR8	29,70-30,00
PNMDL1M28	CR1	3,00-3,30
	CR2	6,00-6,30
	CI1	9,00-9,40
	CR3	12,00-12,30
	CR4	14,70-15,00
	CR5	18,00-18,30
	CR6	24,00-24,30
	CR7	27,00-27,30
	CR8	29,70-30,00

Note: CR Campione rimaneggiato, CI Campione indisturbato pareti sottili tipo Shelby

8.1.3 Installazione dei piezometri

Per il controllo della falda freatica nel tempo, nei sondaggi PNMDL1C01, PNMDL1R02, PNMDL1O04 (campagna 2008), PNMDL1U05, PNMDL1O08 (campagna 2008), PNMDL1O12, PNMDL1O14, PNMDL1O19, PNMDL1O23, PNMDL1O24, PNMDL1R26 e PNMDL1M28, è stato installato un piezometro a tubo aperto.

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Il piezometro installato è composto da una batteria di tubi del diametro interno 2 " in PVC, costituito da una serie di spezzoni ciechi e filtranti di lunghezza variabile secondo la stratigrafia e la profondità della falda rinvenuta durante la perforazione.

Lo schema di installazione di ogni singolo piezometro è riportato negli specifici elaborati (Doc.Rif. 1 e 2).

8.1.4 Prove in foro di sondaggio

Prove S.P.T. (Standard Penetration Test)

Durante il sondaggio, attraversando formazioni di terreno non coesivi (sabbie, sabbie con ghiaie, ghiaie con sabbie), sono state realizzate sul fondo foro prove di resistenza alla penetrazione dinamica S.P.T. (Standard Penetration Test).

In Figura 8.1 si riportano tutti i valori di N_{spt} registrati in foro, espressi rispettivamente in funzione della profondità da p.c.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

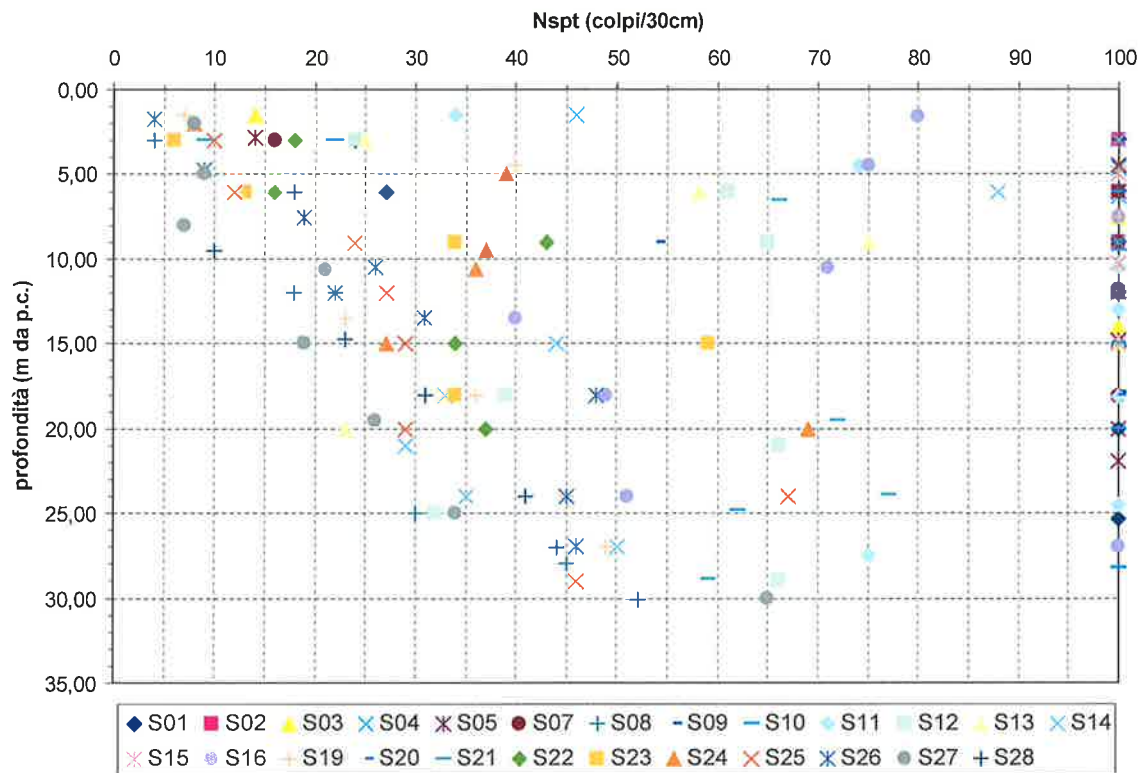
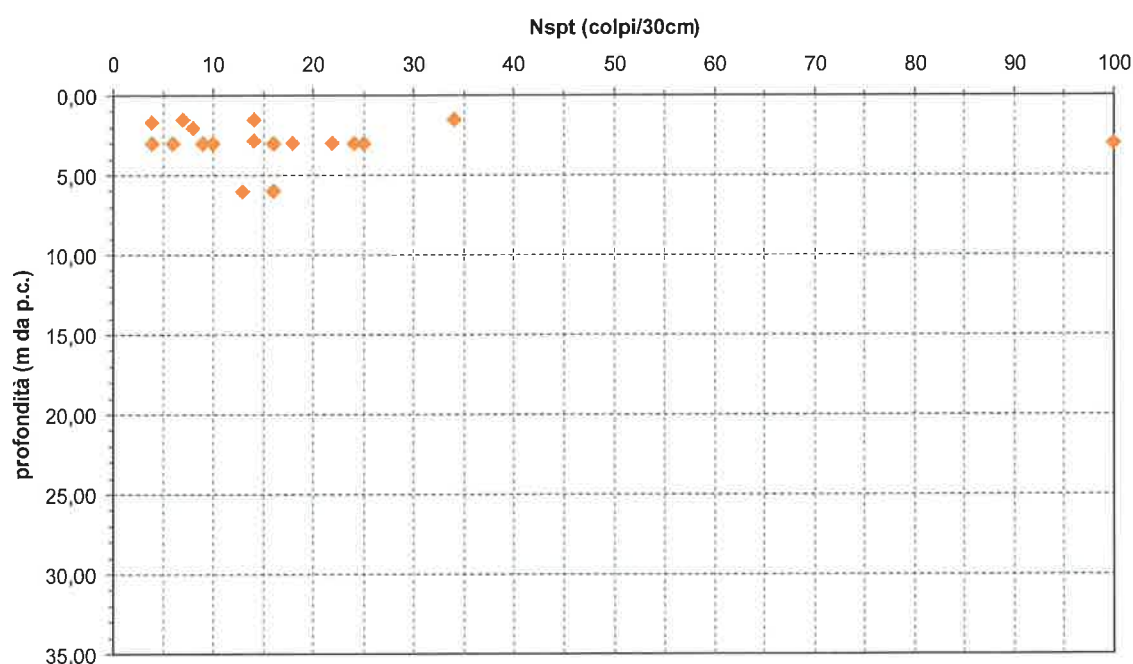


Figura 8.1 - Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c.)

Sulla base della descrizione dei sondaggi e dei valori di SPT ottenuti, contestualmente ai dati acquisiti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni di terreno prelevati, è stato possibile pervenire ad indicazioni di massima in merito allo stato di addensamento delle varie unità stratigrafiche individuate.

In Figura 8.2, Figura 8.3, Figura 8.4, Figura 8.5, Figura 8.6, Figura 8.7, Figura 8.8 si riportano i valori di Nspt registrati in foro, suddivisi per unità litologica individuata, espressi rispettivamente in funzione della profondità da p.c.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

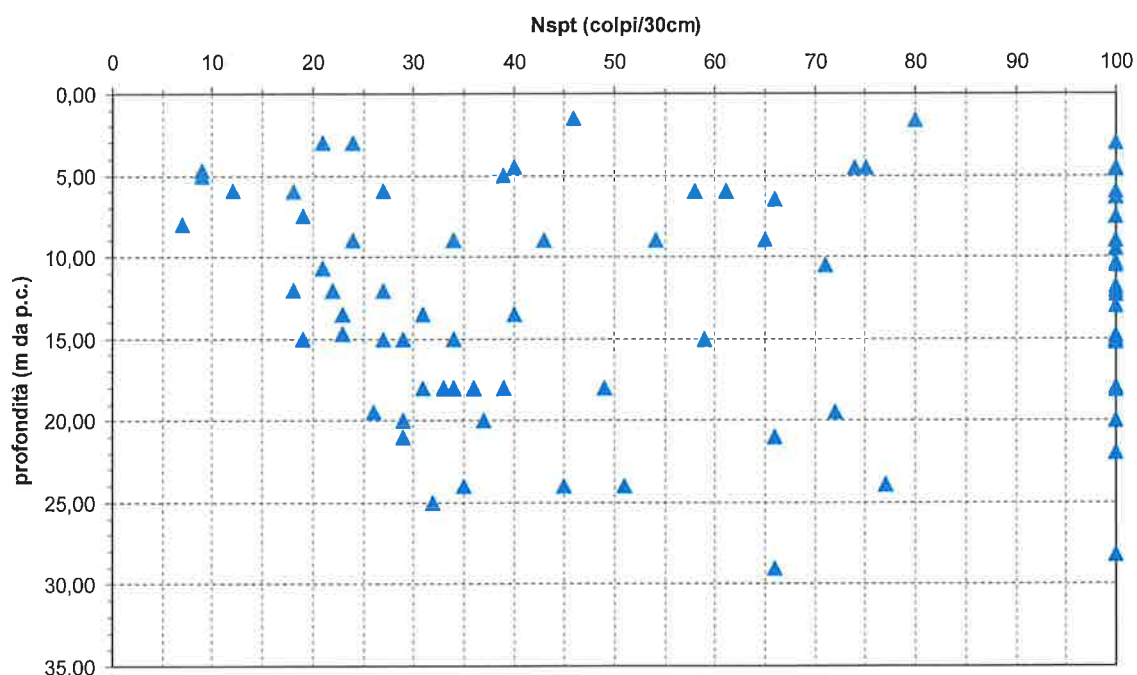


Distribuzione dei valori di Nspt - Depositi superficiali (Su/R)

Figura 8.2 - Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c.)

I risultati ottenuti indicano per i Depositi superficiali (Su/R) un grado di addensamento piuttosto regolare, con valori di Nspt mediamente compresi tra 5 e 30 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno da sciolto a moderatamente addensato. Localmente si possono rinvenire livelli di maggiore addensamento, per la presenza di materiale più grossolano e/o compatto, che hanno dato rifiuto alla penetrazione nella prova dinamica S.P.T..

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A



Distribuzione dei valori di Nspt – Deposito fluvio-glaciale - Facies ghiaioso-sabbiosa (GS)

Figura 8.3 - Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c.)

I risultati ottenuti indicano per il deposito fluvio-glaciale, in facies ghiaioso-sabbiosa (GS), un grado di addensamento piuttosto variabile, con valori di Nspt mediamente compresi tra 10 e 80 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno da moderatamente addensato a molto addensato. Localmente si possono rinvenire livelli di maggiore addensamento, per la presenza di materiale più grossolano e/o compatto, che hanno dato rifiuto alla penetrazione nella prova dinamica S.P.T..

La variabilità dei dati Nspt di tale facies si contrae se analizziamo la posizione dei sondaggi lungo il tracciato.

In Figura 8.4 si riportano i valori di Nspt registrati nell'orizzonte in facies ghiaioso-sabbiosa (GS), suddivisi per sondaggio, espressi rispettivamente in funzione della profondità da p.c..

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

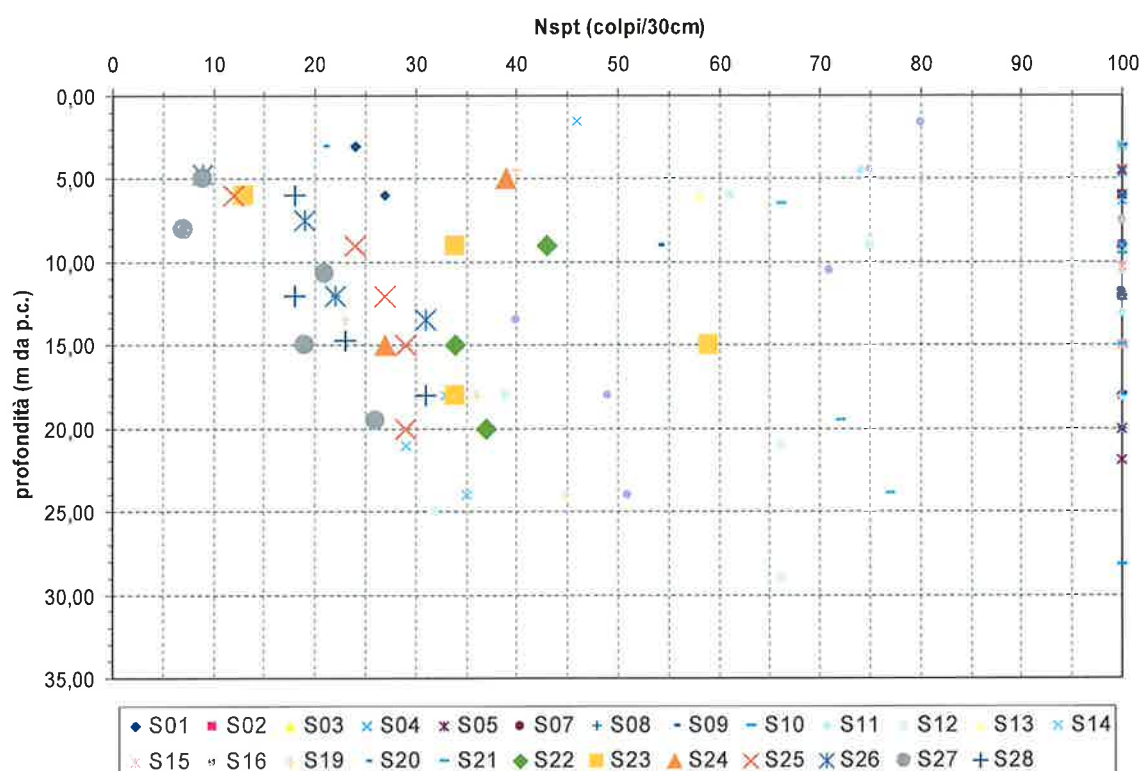


Figura 8.4 - Valori di Nspt registrati nell'orizzonte fluvioglaciale, in facies ghiaioso-sabbiosa (GS), suddivisi per sondaggio (in termini di m da p.c.)

I risultati ottenuti indicano per l'orizzonte fluvioglaciale, in facies ghiaioso-sabbiosa (GS), un grado di addensamento differente spostandosi da sud a nord, lungo l'area oggetto di studio.

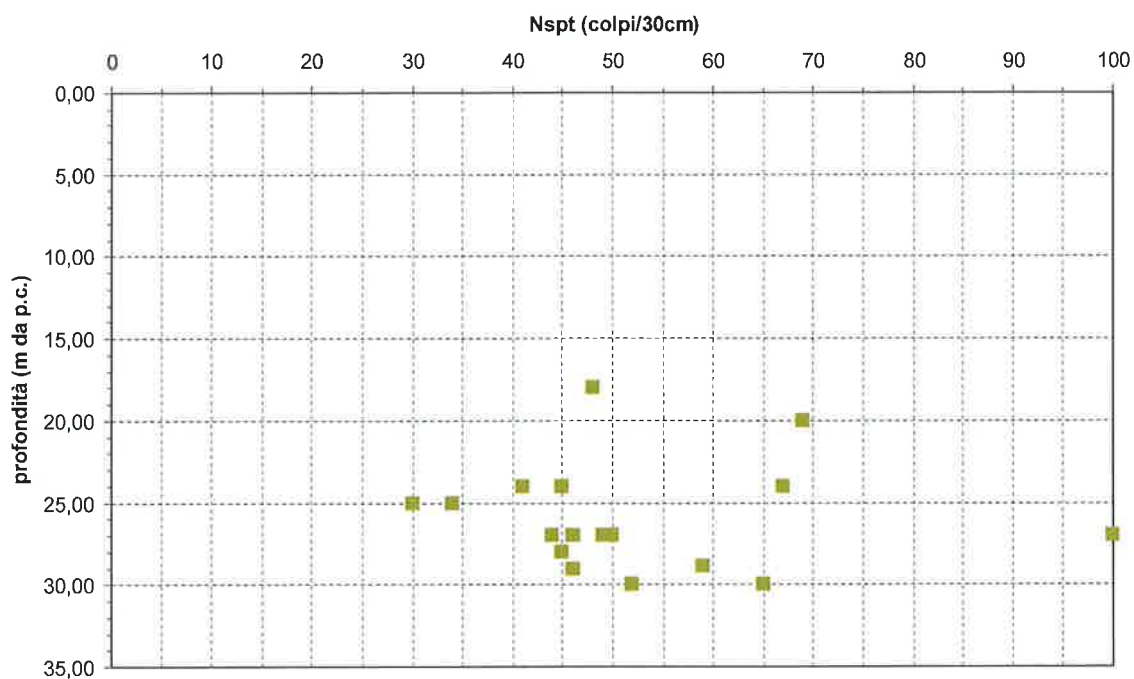
L'area sud, corrispondente con la zona di Rho e Pregnana Milanese, presenta valori di Nspt mediamente compresi tra 10 e 40 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno da moderatamente addensato a addensato.

L'area nord, corrispondente con la rimanente tratta, presenta valori di Nspt mediamente compresi tra 50 e 80 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno molto addensato.

Questa differenza nel grado di addensamento dei terreni, tra l'area nord e sud del tracciato, trova conferma nella graduale diminuzione della granulometria, da nord verso sud, da termini più grossolani a termini più fini.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 40 di 86

La presenza nel territorio comunale di Rho di un livello argilloso a 5-9 m di profondità da p.c., di spessore variabile tra 0,5 e 2 m, fa sì che durante le oscillazioni stagionali della falda superficiale tali livelli a grana fine possano subire periodici fenomeni di essiccamento e di saturazione.

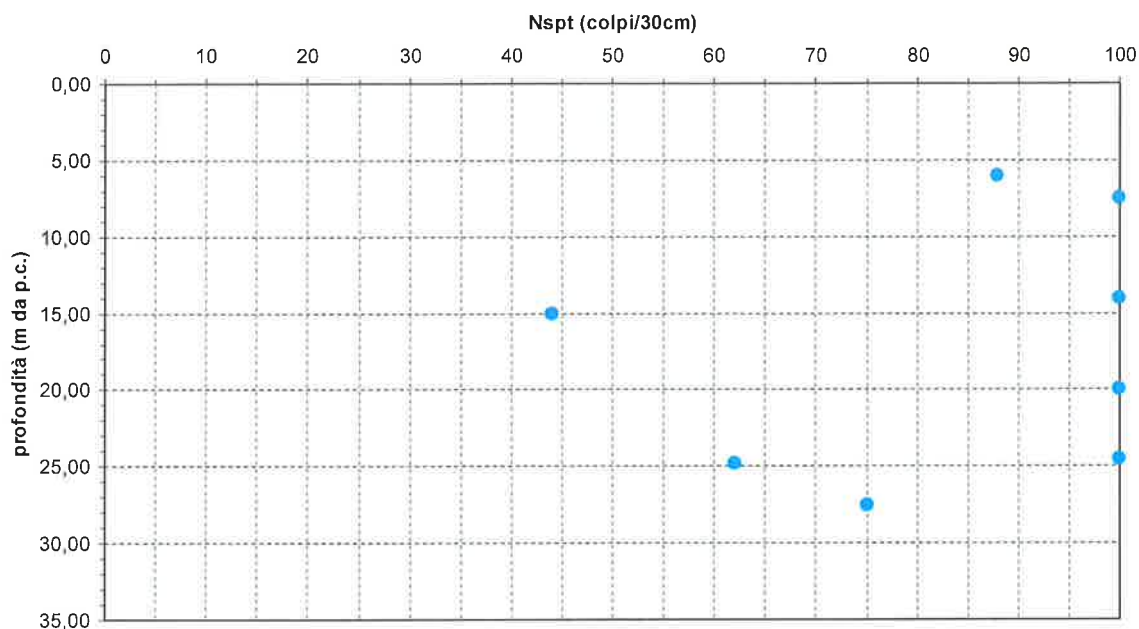


Distribuzione dei valori di Nspt - Deposito Fluvio-glaciale - Facies sabbioso-ghiaiosa (SG)

Figura 8.5 - Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c.)

I risultati ottenuti indicano per il deposito fluvio-glaciale, in facies sabbioso-ghiaiosa (SG) un grado di addensamento piuttosto variabile, con valori di Nspt mediamente compresi tra 30 e 70 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno da addensato a molto addensato. Localmente si possono rinvenire livelli di maggiore addensamento, per la presenza di materiale più grossolano e/o compatto, che hanno dato rifiuto alla penetrazione nella prova dinamica S.P.T..

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

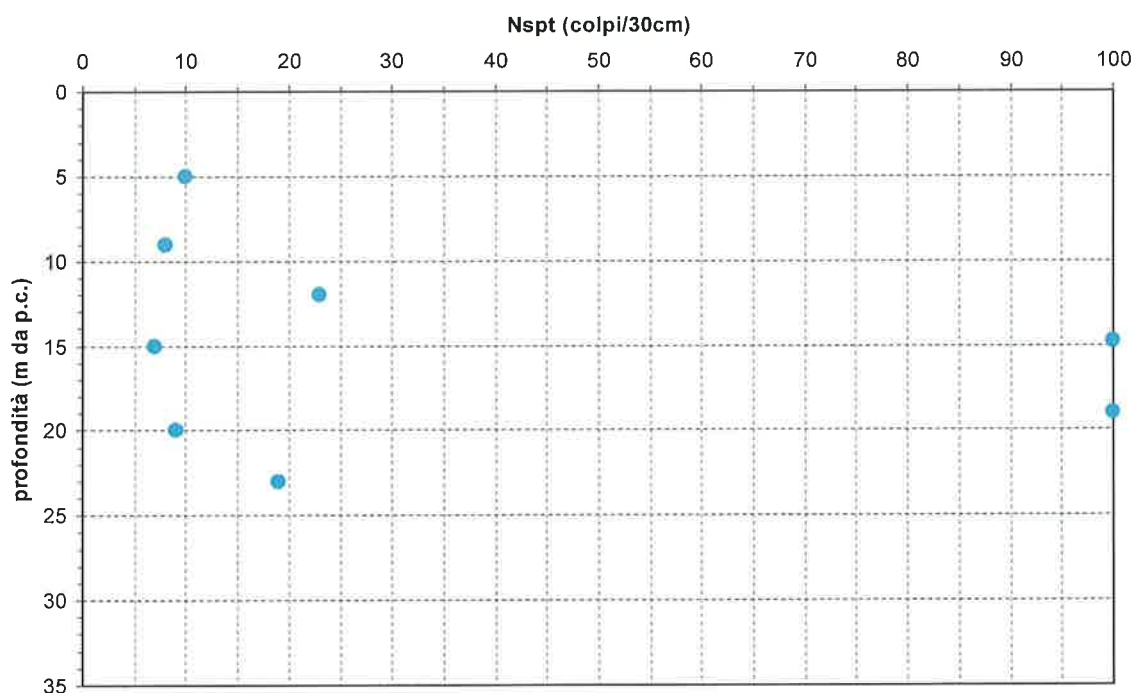


Distribuzione dei valori di Nspt - Deposito Fluvio-glaciale - Facies ghiaiosa (G)

Figura 8.6 - Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c.)

I risultati ottenuti indicano per il deposito fluvio-glaciale, in facies ghiaiosa (G) un grado di addensamento piuttosto variabile, con valori di Nspt mediamente compresi tra 50 e 90 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno a molto addensato. Localmente si possono rinvenire livelli di maggiore addensamento, per la presenza di materiale più grossolano e/o compatto, che hanno dato rifiuto alla penetrazione nella prova dinamica S.P.T.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

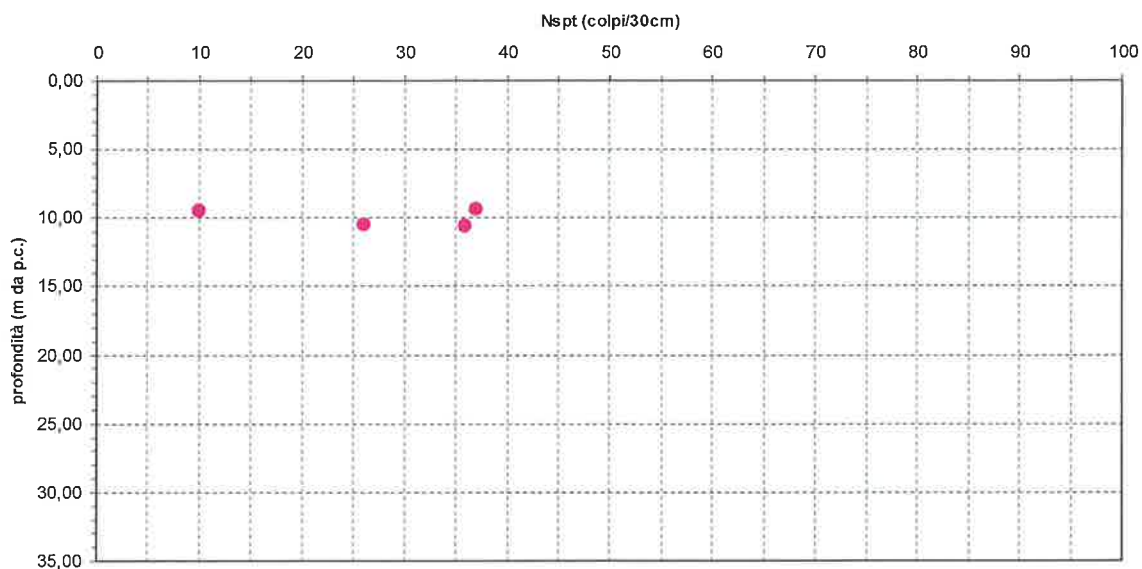


Distribuzione dei valori di Nspt - Deposito Fluvio-glaciale - Facies sabbiosa (S)

Figura 8.7 - Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c.)

I risultati ottenuti indicano per il deposito fluvio-glaciale, in facies sabbiosa (S) un grado di addensamento piuttosto regolare, con valori di Nspt mediamente compresi tra 10 e 20 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno moderatamente addensato. Localmente si possono rinvenire livelli di maggiore addensamento, per la presenza di materiale più grossolano e/o compatto, che hanno dato rifiuto alla penetrazione nella prova dinamica S.P.T.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A



Distribuzione dei valori di Nspt - Deposito Fluvio-glaciale - Facies limoso- sabbiosa (LS)

Figura 8.8 - Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c.)

I risultati ottenuti indicano per il deposito fluvio-glaciale, in facies limoso-sabbiosa (LS) un grado di addensamento variabile, con valori di Nspt compresi tra 10 e 35 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno da moderatamente addensato a addensato. Localmente si possono rinvenire livelli di maggiore addensamento, per la presenza di materiale più grossolano e/o compatto, che hanno dato rifiuto alla penetrazione nella prova dinamica S.P.T..

Per quanto riguarda il deposito fluvio-glaciale, in facies sabbioso-limoso (SL), avendo solo a disposizione un valore a rifiuto di S.P.T., non è stato possibile definire per tale deposito un corrispondente stato di addensamento.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Prove di permeabilità tipo Lefranc

Nei fori di sondaggio sono state eseguite, in fase di avanzamento della perforazione, prove di permeabilità tipo Lefranc a carico costante. Nella Tabella 8.3 si riportano, per ciascuna prova, il foro di sondaggio in cui è stata eseguita, la profondità raggiunta e il valore del coefficiente di permeabilità k calcolato sulla base dei risultati sperimentali ottenuti.

Sondaggio	Prof. da p.c. [m]	k [m/s]	Anno di esecuzione
PNMDL1O04	10,30	1.38E-04	2008
PNMDL1O08	28,00-29,00	2.82E-06	2008
SCMDL1O10	28,50-29,10	4.74E-06	2008
SCMDL1O11	15,50-16,00	1.79E-05	2008
PNMDL1O12	19,50	4.41E-06	2008
PNMDL1O14	22,00-22,50	1.73E-05	2008
SCMDL1P16	24,00-24,70	1.17E-05	2008
PNMDL1O19	26,00-27,00	1.42E-06	2008
SCMDL1R20	18,00-18,70	1.32E-05	2008
SCMDL1O21	15,50	9.66E-05	2008
PNMDL1O23	14,00-15,00	1.06E-05	2008
PNMDL1O24	15,00	5.17E-05	2008
PNMDL1R26	10,00-10,50	6.46E-07	2008
PNMDL1M28	14,00-14,70	3.40E-05	2008

Tabella 8.3 - Campagna di indagine 2008 – Prove di permeabilità Lefranc

I valori di permeabilità ricavati dalle prove Lefranc indicano per i terreni appartenenti alla "Litozona ghiaioso-sabbiosa" un valore di conducibilità idraulica medio dell'ordine di $2,89 \times 10^{-5}$ m/s; tali valori di permeabilità, così determinati, risultano inferiori a quelli riportati in letteratura per tale litozona; tale differenza può essere attribuita alla presenza locale di frazioni fini

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 45 di 86

(con passante al setaccio ASTM 200 pari al 20÷30% circa) che possono influenzare i valori di conducibilità idraulica alla scala rappresentativa della prova, mentre a macro-scala il deposito può per l'appunto essere caratterizzato da valori di conducibilità più elevati, più vicini a quelli di letteratura. In relazione al tipo di problematica geologico-geotecnica da affrontare, si suggerisce in questa sede di adottare di volta in volta i valori più cautelativi tra quelli di letteratura e quelli derivanti dalle prove Lefranc.

8.1.5 Prove geotecniche di laboratorio

Sui campioni di terreno, rimaneggiati ed indisturbati, prelevati durante l'avanzamento del foro di sondaggio e nei pozzetti esplorativi, sono state eseguite le seguenti prove:

- Campioni rimaneggiati:
 - apertura e preparazione del campione
 - descrizione ed identificazione del campione
 - analisi granulometrica con vagliatura meccanica.
 - analisi granulometrica per sedimentazione.
 - Determinazione limiti di consistenza e indice di plasticità con classificazione, per le terre a grana fine, secondo la "Carta di plasticità di Casagrande".

- Campioni indisturbati:
 - apertura e preparazione del campione
 - descrizione ed identificazione del campione
 - determinazione contenuto naturale d'acqua
 - determinazione del peso dell'unità di volume allo stato naturale
 - determinazione limiti di consistenza e indice di plasticità con classificazione, per le terre a grana fine, secondo la "Carta di plasticità di Casagrande"
 - prove di compressione triassiale CU

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

8.2 CAMPAGNA DI INDAGINE 2012

Nel febbraio 2012, ad ulteriore integrazione delle indagini sopracitate, è stata svolta una campagna di indagini geognostiche in relazione all'intervento di potenziamento della linea Rho-Arona, nella tratta Rho-Gallarate - adeguamento per PRG di Rho, 1° Lotto Funzionale; in dettaglio l'area interessata è compresa tra la zona in entrata nella stazione di Rho, la stazione di Rho ed il collegamento fra questa e le linee Milano-Torino e Rho-Arona.

In dettaglio, sono state sviluppate, nei sondaggi eseguiti, le seguenti attività:

- prelievo di campioni rimaneggiati (n.28), successivamente sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio;
- n. 28 prove SPT (Standard Penetration Test);
- n. 9 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc;
- n. 3 indagini sismiche attive/passive per determinazione effetti sismici di sito e ricostruzione del profilo Vs30;
- rilievo del livello dell'acqua all'interno dei fori di sondaggio, durante le operazioni di perforazione ed in tempi successivi;
- stratigrafie dei terreni.

Nel seguito Tabella 8.4 si riporta l'elenco delle attività sviluppate nell'ambito delle indagini integrative.

Tabella 8.4 - Indagini integrative condotte nel 2012

Codifica sondaggi 2012	Profondità (m da p.c.)	Piezometro (m)	SPT	LE	CR	CE
S1	-10.0 m	-	1	-	1	-
S2	-10.0 m	-	2	-	-	-
S3	-10.0 m	-	2	-	1	-
S3	-12.0 m	-12.0 m	-	2	2	-
S5	-15.0 m	-15.0 m	-	3	2	-
S7	-15.0 m	-	3	-	1	-
S8	-30.0 m	-30.0 m	-	3	3	-
S9	-30.0 m	-22.0 m	2	-	3	-
S10	-30.0 m	-	7	-	3	-

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Codifica sondaggi	Profondità	Piezometro	SPT	LE	CR	CE
S11	-10.0 m	-	-	-	-	2
S12	-30.0 m	-	6	-	2	-
S13	-10.0 m	-	1	-	2	-
S14	-10.0 m	-	1	-	2	-
S16	-15.0 m	-	3	-	3	-
S18	-13.5 m	-13.5 m	-	1	3	-

SPT: Standard Penetration Test
 LE: Prove di permeabilità tipo Lefranc
 CR: Campioni rimaneggiati
 CE: campioni prelevati per Test di cessione

8.2.1 Prove geotecniche di laboratorio

Relativamente alle prove di laboratorio geotecnico si è fatto riferimento alla Relazione Geologica (rif. Documento 6 codifica MDL111D26RBGE0005001A) prodotta nell'ambito del Progetto Definitivo, integrata dalle analisi eseguite nel corso dell'integrazione alle indagini del febbraio-marzo 2012.

Complessivamente, sono a disposizione sia campioni indisturbati che campioni rimaneggiati su cui sono state eseguite prove di laboratorio di identificazione e classificazione e prove meccaniche.

Le indagini integrative di febbraio-marzo 2012 hanno riguardato:

- apertura e descrizione campione rimaneggiato secondo norma ASTM D2488, su tutti i campioni;
- analisi granulometrica per setacciatura secondo norma ASTM D2487;
- analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione secondo norme ASTM D2487 e ASTM D422;
- determinazione contenuto naturale d'acqua ASTM D2216;
- classificazione del campione secondo norme ASTM 422-ASTM 2487;
- classificazione del campione secondo norme A.G.I. 1994;
- determinazione speditiva del coefficiente di permeabilità (stima), attraverso la formula di Hazen mod.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Sinteticamente tali analisi si ritrovano nella tabella 5 riferita alla Relazione Geotecnica (rif. MWL111EZZRGGE0001001B).

8.2.2 Prove di permeabilità

Nella Tabella 8.5, sono riportati i valori di permeabilità k , desunti dalle prove di permeabilità Lefranc a carico costante effettuati per la Linea AC-AV Milano-Torino (documento A20124CF2RBVI1TF5001B).

Sondaggio	Unità	Profondità [m]	Permeabilità [m/s]
SCMDL1O10	LS	7,0 ÷ 7,5	$7,3 \cdot 10^{-6}$
PNMDL1R26	LS	10,0 ÷ 10,5	$6,46 \cdot 10^{-7}$
PNMDL1M28	SL	14,0 ÷ 14,7	$3,40 \cdot 10^{-5}$

Tabella 8.5 Risultati delle prove di permeabilità in foro della Linea AC-AV Milano-Torino

I risultati evidenziano come per le ghiaie sabbiose GS e le sabbie limose SL siano stati misurati valori del coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-5} m/s.

Valori di un ordine di grandezza inferiore si ottengono per le sabbie ghiaiose SG ($k=10^{-6}$ m/s), mentre per i terreni LS sono stati misurati valori ancora inferiori ($k=10^{-7}$ m/s).

Nella Tabella 8.6 e nella Tabella 8.7, sono riportati i valori di permeabilità k , desunti dalle prove di permeabilità Lefranc realizzate appositamente per la progettazione del PRG di Rho, I° Lotto Funzionale dal gruppo in ATI Ingegneri Riuniti – I.R. S.r.l. e SALCEF S.p.A..

Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc			
S4	S5	S8	S18
-5.50 m da p.c.	-3.70 m da p.c.	-5.50 m da p.c.	-5.65 m da p.c.
-11.70 m da p.c.	-7.00 m da p.c.	-11.50 m da p.c.	
	-12.90m da p.c.	-20.50 m da p.c.	

Tabella 8.6 Distribuzione delle prove in foro di tipo Lefranc

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Codifica sondaggi 2012	Unità	Codice prova di permeabilità Lefranc	Profondità di prova [m]	Coefficiente di permeabilità K_v [m/s]
S4	GS	S4-PA	-5.50	3.134E-06
	LS	S4-PB	-11.70	2.813E-06
S5	C	S5-PA	-3.70	3.959E-06
	GS	S5-PB	-7.00	1.181E-04
	GS1	S5-PC	-12.90	1.964E-04
S8	GS	S8-PA	-5.50	3.367E-06
	GS	S8-PB	-11.50	1.800E-06
	LS1	S8-PC	-20.50	4.073E-07
S18	GS	S18-PA	-5.65	5.730E-06

Tabella 8.7 - Risultati di K_v ottenuti mediante le prove Lefranc in foro (2012)

I risultati risultano conformi rispetto ai dati del Progetto Definitivo ed evidenziano valori simili per le ghiaie sabbiose GS variabili tra 5.73×10^{-6} e 1.2×10^{-4} m/s, mentre per le unità LS e LS1 i valori sono inferiori di circa un ordine di grandezza e compresi tra 3.95×10^{-6} e 4.07×10^{-7} m/s.

8.3 CAMPAGNA DI INDAGINE 2017

Nell'area di studio sono stati realizzati n.8 sondaggi geognostici lungo il tratto compreso tra i comuni di Rho (MI) e Castellanza (VA), al fine di caratterizzare i terreni interessati dalle opere che riguardano il potenziamento della linea Gallarate - Rho nella tratta Rho – Parabiago e raccordo Y. In dettaglio, nel corso dei sondaggi sono state sviluppate le seguenti attività:

- prelievo di campioni rimaneggiati (n.72), successivamente sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio;
- n. 64 prove SPT (Standard Penetration Test);
- n. 9 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc;
- n. 11 indagini sismiche attive/passive MASW;
- rilievo del livello dell'acqua all'interno dei fori di sondaggio, durante le operazioni di perforazione ed in tempi successivi;
- stratigrafie dei terreni.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

I sondaggi effettuati sono i rispettivi: PNMDL1O01, PNMDL1O02, PNMDL1O03, PNMDL1O04 (campagna 2017), PNMDL1O05, PNMDL1O06, PNMDL1O07 e PNMDL1O08 (campagna 2017), eseguiti a carotaggio continuo, sono stati spinti ad una profondità finale rispettivamente di 30,00 m dal piano campagna e strumentati con piezometro a tubo aperto da 3”.

Per il controllo della falda freatica nel tempo, in tutti i sondaggi sono state installate delle tubazioni piezometriche in PVC avente diametro 3”, classe P8, spessore 3.7 mm. I filtri hanno una fessurazione di 0.5 mm. Il tratto cieco va da 0.00 a 15,00 m mentre il microfessurato dai 15,00 m a 30,00 m da p.c. Lo spazio anulare tra tubazione microfessurata e il terreno adiacente è stato riempito con ghiaietto siliceo calibrato (3.0 ÷ 5.0 mm) fino a p.c.

A protezione della testa piezometrica è stato posto un chiusino metallico protetto da un pozzetto carrabile.

Nei sondaggi PNMDL1O02 e PNMDL1O03, in fase di avanzamento della perforazione, sono state eseguite n° 2 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico costante; nei rimanenti 6 sondaggi sono state eseguite n° 6 prove di permeabilità a carico variabile.

In Tabella 8.8 si riassumono i risultati di conducibilità idraulica (k) ottenuti.

Sondaggi 2017	Prof. da p.c. (m)	K (m/sec)	Data esecuzione prova
PNMDL1O01	6,50-7,20	1.503E-04	13/06/2017
PNMDL1O02	1,50-2,20	7.55E-05	28/06/2017
PNMDL1O03	1,00-1,70	2.44E-05	26/06/2017
PNMDL1O04	16,50-17,20	1.633E-04	05/06/2017
PNMDL1O05	10,50-11,20	3.743E-05	01/06/2017
PNMDL1O06	12,80-13,50	7.918E-05	07/06/2017
PNMDL1O07	10,50-11,20	4.063E-04	10/06/2017
PNMDL1O08	8,00-8,60	2.790E-04	30/05/2017

Tabella 8.8 – Prove Lefranc effettuate nella campagna 2017

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

In seguito (Tabella 8.9) sono riportate le caratteristiche e le ubicazioni di ciascun punto d'indagine.

	Sondaggi 2017			
	PNMDL1001	PNMDL1002	PNMDL1003	PNMDL1004
Località	Rho (MI)	Pregnana Milanese (MI)	Pogliano Milanese (MI)	Nerviano (MI)
Coordinate (WGS84)	Nord: 45° 31' 30,45501"; Est: 09° 02' 51,51555"	Nord: 45° 31' 07,27369"; Est: 09° 00' 29,42136"	Nord: 45° 31' 58,12220"; Est: 08° 58' 58,63313"	Nord: 45° 32' 23,19549"; Est: 08° 58' 07,70006"
Piezometro	3" a tubo aperto	3" a tubo aperto	3" a tubo aperto	3" a tubo aperto
Profondità	30m	30m	30m	30m
Campioni rimaneggiati	9	9	9	9
Campioni indisturbati	0	0	0	0
SPT	n° 9	n° 9	n° 1	n° 9
Prova Lefranc	n° 1	n° 1	n° 1	n° 1

	Sondaggi 2017			
	PNMDL1005	PNMDL1006	PNMDL1007	PNMDL1008
Località	Nerviano (MI)	Parabiago (MI)	Canegrate (MI)	Castellanza (MI)
Coordinate (WGS84)	Nord: 45° 32' 39,31688"; Est: 08° 57' 42,42339"	Nord: 45° 33' 10,45502"; Est: 08° 56' 42,37492"	Nord: 45° 33' 40,62462"; Est: 08° 56' 05,50143"	Nord: 45° 36' 25,49684"; Est: 08° 52' 43,646229"
Piezometro	3" a tubo aperto	3" a tubo aperto	3" a tubo aperto	3" a tubo aperto
Profondità	30m	30m	30m	30m
Campioni rimaneggiati	9	9	9	9
Campioni indisturbati	0	0	0	0
SPT	n° 9	n° 9	n° 1	n° 9
Prova Lefranc	n° 1	n° 1	n° 1	n° 1

Tabella 8.9 – Caratteristiche e ubicazione dei nuovi sondaggi

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

8.3.1 Prove in foro di sondaggio

Prove S.P.T. (Standard Penetration Test)

Durante il sondaggio, attraversando formazioni di terreno non coesivo (sabbie, sabbie con ghiaie, ghiaie con sabbie), sono state realizzate sul fondo foro prove di resistenza alla penetrazione dinamica S.P.T. (Standard Penetration Test).

In Tabella 8.10 si riportano tutti i valori di N_{spt} registrati in foro nei nuovi sondaggi, espressi rispettivamente in funzione della profondità da p.c.

Tabella 8.10 Valori di N_{spt} registrati (in termini di m da p.c.)

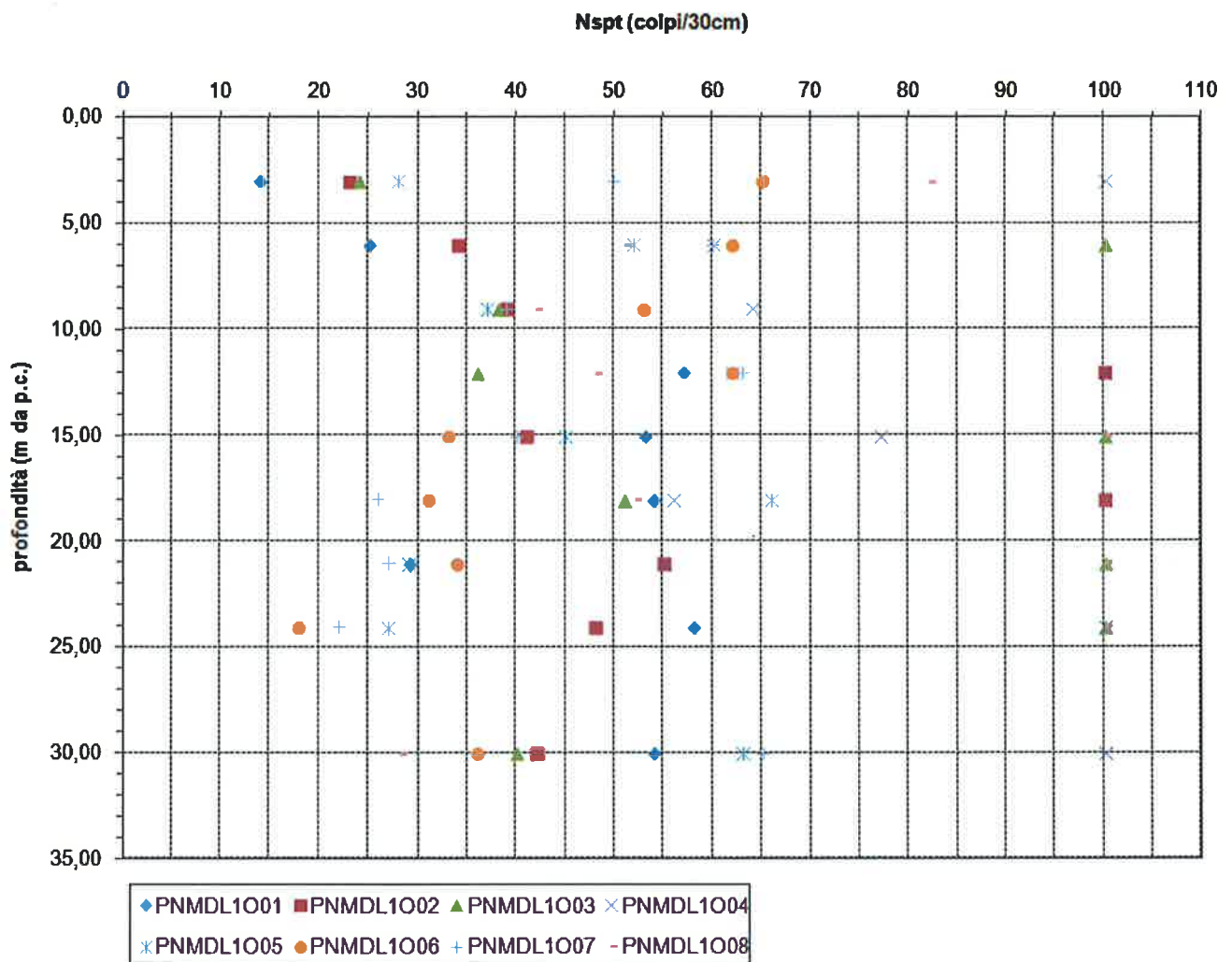
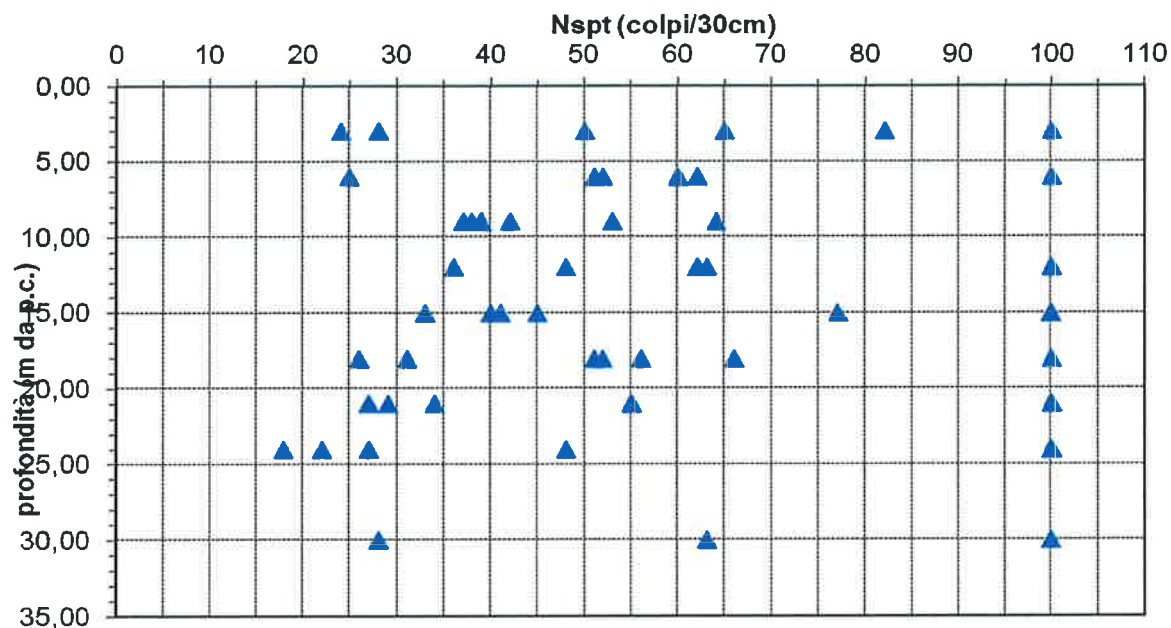


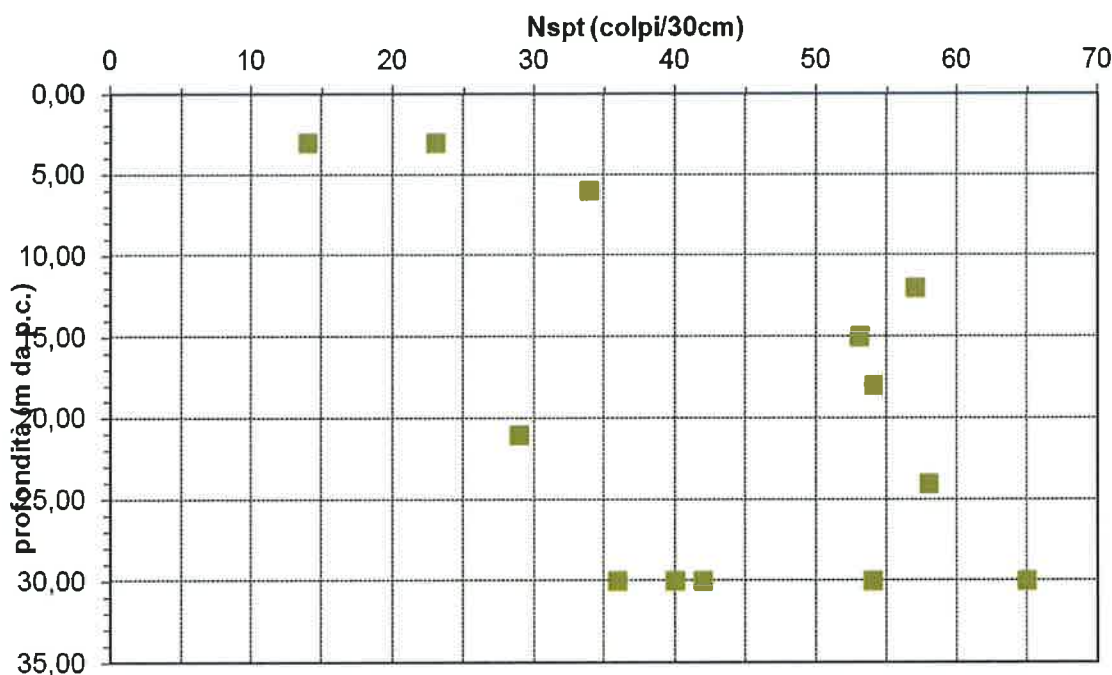
Tabella 8.11 Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c)



Distribuzione dei valori di Nspt - Deposito Fluvio-Glaciale - Facies ghiaioso-sabbiosa (GS)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Tabella 8.12 Valori di Nspt registrati (in termini di m da p.c)



Distribuzione dei valori di Nspt - Deposito Fluvio-Glaciale - Facies sabbioso-ghiaiosa (SG)

I risultati ottenuti, riportati in Tabella 8.11 indicano per il deposito fluvio-glaciale, in facies ghiaioso-sabbiosa (GS), un grado di addensamento variabile, con valori di Nspt compresi tra 15 e 82 colpi/30 cm, corrispondenti ad un terreno da moderatamente addensato a molto addensato. Localmente si possono rinvenire livelli di maggiore addensamento, per la presenza di materiale più grossolano e/o compatto, che hanno dato rifiuto alla penetrazione nella prova dinamica S.P.T..

Per quanto riguarda i risultati, riferiti alla Tabella 8.12, per il deposito fluvio-glaciale, in facies sabbioso-ghiaiosa (SG), il grado di addensamento è in relazione con la profondità. I valori di Nspt variano nei primi metri dai 10 ai 35 colpi/30 cm e oltre i 10 m di profondità si raggiungono valori nell'intervallo 45-65 colpi/30 cm.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 55 di 86

9. GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO

La cartografia geolitologica è stata elaborata sulla base della bibliografia esistente e della campagna di indagini Italferr 2008, 2012 e 2017.

La distinzione tra le differenti unità è stata effettuata su criteri litologici: i depositi, infatti, sono geneticamente riconducibili ad uno stesso fenomeno e quindi presentano caratteristiche granulometriche e compositive molto simili. Analogamente non è applicabile un criterio di tipo paleontologico a causa della mancanza di elementi di valutazione.

Sono state quindi distinte e cartografate le seguenti Unità litologiche:

- **Depositi superficiali**, si tratta di ghiaie con sabbie e/o sabbie limose di colore bruno. Sciolte/poco addensate (Su). Localmente sostituite da materiale di riporto costituito da ghiaie sabbiose di colore grigio con clasti poligenici e frammenti di laterizi e calcestruzzo (R). Ad est della linea ferroviaria, in una porzione di territorio compresa tra i comuni di castellana e Rho, i depositi superficiali sono formati da depositi alluvionali olocenici (a₁) costituiti da alluvioni fluvioglaciali e fluviali ciottolose, non alterate, terrazzate.
- **Depositi fluvioglaciali del Pleistocene medio superiore**, si tratta dei depositi continentali correlabili al ciclo wurmiano. Si tratta di terreni piuttosto eterogenei dal punto di vista delle caratteristiche granulometriche e geotecniche; per questo motivo sono state introdotte, all'interno dell'unità principale, sei facies:
 - Depositi del ciclo wurmiano a prevalente facies ghiaioso-sabbiosa (ghiaie con sabbie da debolmente limose a limose), ricoperti da suoli lacustri (**GS**);
 - Depositi del ciclo wurmiano a prevalente facies sabbioso-ghiaiosa (sabbie con ghiaie limose) (**SG**);
 - Depositi del ciclo wurmiano a prevalente facies ghiaiosa (ghiaie in matrice sabbiosa) (**G**);
 - Depositi del ciclo wurmiano a prevalente facies sabbiosa (sabbie grossolane debolmente limose) (**S**);
 - Depositi del ciclo wurmiano a prevalente facies sabbioso-limosa (sabbie medio-fini limose) (**SL**);

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

- Depositi del ciclo wurmiano a prevalente facies limoso-sabbiosa (limi sabbiosi, localmente limi argillosi) (**LS**).

Per quanto riguarda i dati geomorfologici di superficie, in considerazione del fatto che l'opera si colloca in un'area pianeggiante completamente antropizzata, le rilevanze morfologiche sono ridotte.

La legenda geomorfologica è stata concepita in maniera tale da suddividere le forme ed i processi in due categorie primarie:

- forme legate ai processi fluviali: limite di letto ordinario, orlo di terrazzo e scarpata di erosione fluviale, paleo alvei fluviali.
- forme legate ai processi antropici: area di cava, orlo di scarpata artificiale, aree con terreno di riporto di spessore > 3 m.

Per gli elaborati cartografici si rimanda ai seguenti documenti: Carte geologiche e geomorfologiche Tav.1 ÷ Tav.4 alla scala 1:5000 codifiche Italferr MDL130D69P5GE0001001A, MDL130D69P5GE0001002A, MDL130D69P5GE0001003A e MDL130D69P5GE0001004A.

9.1 DESCRIZIONE GEOLOGICA LUNGO IL TRACCIATO

Il profilo geologico tecnico longitudinale della tratta ferroviaria in esame è stato predisposto per una lunghezza di circa 14 km, indicativamente tra l'Inizio intervento Bretella Nord e la Fine Intervento Lotto 2 quadruplicamento Rho-Parabiago, per la tratta Rho-Parabiago. Tra i comuni di Busto Arsizio e Castellanza ricadono gli 800 m previsti per il raccordo Y.

Le indagini geognostiche utilizzate per la redazione dei profili geologici sono state eseguite nell'ambito delle campagne indagini realizzate nel 2008, 2012 e 2017. Ad integrazione di tali indagini sono stati utilizzati dati bibliografici (stratigrafie di pozzi pubblici e piezometri) raccolti presso gli Enti pubblici.

Le quote del piano campagna, in corrispondenza del tracciato ferroviario, variano tra i 147 m e i 188 m nella tratta Rho-Parabiago e aumentano gradualmente dirigendosi verso NO. Il raccordo Y invece, si mantiene costante a quota 225 m s.l.m.

Come si evince dal profilo geologico, lungo la sezione del tracciato compresa tra l'Inizio Intervento Bretella Nord fino alla Stazione di Rho da piano campagna fino a circa 2-4,5 metri di profondità si

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

rinviene materiale di riporto (R) costituito da ghiaie sabbiose di colore grigio con clasti poligenici e frammenti di laterizi e calcestruzzo, da sciolto a poco addensato. A profondità maggiori si rinviene ghiaia-sabbiosa (GS) fino a circa 21 metri da p.c. al di sotto della quale, le indagini geognostiche individuano sabbia-ghiaiosa (SG) sino alle massime profondità indagate. All'interno del livello ghiaioso-sabbioso (GS) si rinviene la presenza di due livelli limoso-sabbioso (LS), collocati rispettivamente a circa 8-10 m da p.c. per il primo livello e a 15-19 m da p.c. per il secondo livello.

Dal sondaggio S10 fino alla stazione di Rho da piano campagna si rinviene un potente livello costituito da ghiaie sabbiose (GS) di spessore di circa 20-25 m. Al di sotto si rinviene la presenza di un importante orizzonte di sabbie-ghiaiose (SG) riconosciuto mediante i sondaggi S10 e PNMDL1001.

Nella sezione dalla Stazione di Rho fino a raggiungere la Fine Intervento, in prossimità di PNMDL1R26, da piano campagna fino alla profondità di 2 -3 m da p.c. si trova materiale di riporto (R) non continuo. Al di sotto del materiale di riporto si rinviene una stratigrafia analoga a quella descritta precedentemente con le lenti limoso argillose meno estese. Fa' eccezione il sondaggio PNMDL1M28, in cui nell'intervallo 14-20 m si rinviene una lente costituita da depositi prevalentemente sabbiosi (S).

Proseguendo lungo la tratta dalla Fine Intervento fino alla fermata di Nerviano si rinviene da piano campagna fino alla quota di circa 2,5-4 metri di profondità un deposito superficiale (Su) costituito da ghiaie con sabbie limose di colore bruno, da sciolte a poco addensate. A profondità maggiori si riconosce una stratigrafia analoga a quella descritta precedentemente.

Dalla fermata di Nerviano alla Fine dell'Intervento Lotto 2 quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo Y, il sottosuolo, in corrispondenza dei sondaggi PNMDL1O19 e SCMDL1P16, è caratterizzato dalla presenza di una lente costituita principalmente da ghiaia (G) al di sotto del deposito superficiale (Su) di spessore variabile da 2-10 m all'interno del livello ghiaioso-sabbioso (GS). Nei pressi del sondaggio PNMDL1O14 si rinviene un'altra lente prevalentemente formata da depositi ghiaiosi (G), da piano campagna fino 15 m di profondità. Si osserva anche che il limite ghiaia-sabbiosa (GS) e sabbia ghiaiosa (SG) è a minor profondità rispetto alle quote dei sondaggi limitrofi, a circa 18,5 m da p.c.

Nel raccordo Y da piano campagna fino a 4 m di profondità si rinviene materiale di riporto (R) e dai 4 m fino ai 26 m si ritrova il livello ghiaia-sabbiosa (GS), molto addensata. All'interno del livello

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 58 di 86

ghiaioso-sabbioso (GS) si rinvengono lenti a granulometria più fine costituite da sabbie grossolane (S).

Occorre ricordare che nel profilo geologico tecnico sono stati riportati solo i depositi con potenza superiore al metro. Pertanto, in corrispondenza di aree intensamente urbanizzate o a prevalente destinazione agricola, non si esclude la possibilità di rinvenire lungo il tracciato in oggetto locali depositi superficiali, non riportati nel profilo, costituiti da materiale di riporto (R) e/o da suoli (Su).

Per il profilo geologico tav.1 e profilo geologico tav.2 in scala 1:5000/1:500 si rimanda ai documenti MDL130D69F5GE0001001A e MDL130D69F5GE0001002A.

9.2 DESCRIZIONE IDROGEOLOGICA LUNGO IL TRACCIATO

L'area di studio è contraddistinta da depositi fluvio-glaciali ed alluvionali, costituiti da ghiaie e sabbie con conducibilità idraulica da media ad alta ($k = 1 \times 10^{-7}$ a 1×10^{-3} m/sec), ad eccezione delle intercalazioni limose ed argillose a cui si associano bassi valori ($k = 1 \times 10^{-7}$ a 1×10^{-9} m/sec),.

Il depositi costituiscono un acquifero libero per porosità primaria, in cui sono stati misurati livelli di soggiacenza che aumentano gradualmente lungo il tracciato da Sud a Nord, variando da -5,29 m a -24,10 m dal p.c., misurati rispettivamente nei piezometri PNMDL1001 e PNMDL1007 a fine tratta. I dati di soggiacenza misurati sono riportati nei profili idrogeologici (valori riferiti al rilievo di settembre 2017) e confrontati con quelli Provinciali (dati resi pubblici dalla Città Metropolitana di Milano 2013).

Dai profili idrogeologici allegati (si veda profilo idrogeologico tav.1 e profilo idrogeologico tav.2) al presente elaborato si evince che la maggior parte dell'area è interessata da depositi con alta permeabilità, tuttavia si può suddividere il tracciato di intervento in due macro aree e precisamente: a Sud e a Nord della fermata di Vanzago.

Nella porzione a Sud da inizio intervento alla Fermata Vanzago si osservano depositi da media ad alta permeabilità intercalati con depositi più fini a bassa permeabilità.

Nella porzione a Nord, ovvero dalla di Fermata Vanzago al punto di Fine Intervento, si osservano sedimenti a media ed alta permeabilità: i più permeabili si collocano dal piano campagna fino alla profondità compresa tra 25-30 m, mentre oltre i 25-30 m si rinvengono sabbie ghiaiose a media permeabilità.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 59 di 86

In relazione ai valori di conducibilità idraulica riportati nei paragrafi precedenti e relativi alle indagini 2008, 2012 e 2017 si può osservare che le permeabilità di tipo Lefranc hanno mostrato per gli orizzonti prevalentemente ghiaiosi-sabbiosi GS conducibilità idrauliche variabili tra 5.73×10^{-6} e 1.2×10^{-4} m/s, mentre per le unità fini e coesive i valori di conducibilità idraulica sono inferiori di circa un ordine di grandezza e compresi tra 3.95×10^{-6} e 4.07×10^{-7} m/s; gli orizzonti meno permeabili sono concentrati prevalentemente nell'area di Rho. Si segnala come già indicato in precedenza che i valori di permeabilità ricavati dalle prove Lefranc indicano per i terreni appartenenti alla "Litozona ghiaioso-sabbiosa" un valore di conducibilità idraulica medio dell'ordine di $2,89 \times 10^{-5}$ m/s; tali valori di permeabilità, così determinati, risultano inferiori a quelli riportati in letteratura per tale litozona; tale differenza può essere attribuita alla presenza locale di frazioni fini (con passante al setaccio ASTM 200 pari al 20+30% circa) che possono influenzare i valori di conducibilità idraulica alla scala rappresentativa della prova, mentre a macro-scala il deposito può per l'appunto essere caratterizzato da valori di conducibilità più elevati, più vicini a quelli di letteratura. In relazione al tipo di problematica geologico-geotecnica da affrontare, si suggerisce in questa sede di adottare di volta in volta i valori più cautelativi tra quelli di letteratura e quelli derivanti dalle prove Lefranc.

I valori delle prove ed i dati bibliografici hanno permesso di distinguere i sedimenti rappresentati nel profilo idrogeologico (si veda profilo idrogeologico tav.1 e profilo idrogeologico tav.2) in funzione delle caratteristiche di conducibilità idraulica:

- Depositi a permeabilità alta ($1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-5}$ m/s)
 Terreni appartenenti alla formazione dei depositi alluvionali a granulometria prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa (identificazione in G-GS-Su);
- Depositi a permeabilità media ($1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$ m/s)
 Terreni appartenenti alla formazione dei depositi alluvionali a granulometria prevalentemente sabbiosa e ghiaiosa (identificazione in S);
- Depositi a permeabilità bassa ($1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-9}$ m/s)
 Terreni appartenenti alla formazione dei depositi alluvionali a granulometria prevalentemente limosa e argillosa.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

9.2.1 Vulnerabilità della prima falda e rischi idrogeologici ed idraulici lungo il tracciato

Le caratteristiche di vulnerabilità del primo acquifero variano da elevate a molto elevate e non vi sono orizzonti a bassa permeabilità nel tratto insaturo che garantiscono le condizioni sufficienti per conferire una protezione alla falda in esso contenuta.

Il territorio in corrispondente della zona meridionale della tratta oggetto di studio, è caratterizzato da una falda con soggiacenza prossima al piano campagna, un acquifero ad elevata conducibilità idraulica e un'assenza di una copertura a protezione, di conseguenza il grado di vulnerabilità si innalza sino a raggiungere il massimo grado della scala prevista. La vulnerabilità della prima falda freatica nell'area di Rho e Pregnana Milanese è alta ma la risorsa risulta in parte compromessa in termini qualitativi da tutte le attività industriali ed agricole presenti sul territorio a nord di Milano.

Per quanto riguarda le restanti aree d'interesse la vulnerabilità scende da elevata ad alta in relazione ad una maggiore soggiacenza della falda dal piano campagna.

Pozzi ad uso idropotabile presenti lungo il tracciato

Per quanto riguarda la presenza di pozzi ad uso idropotabile lungo il tracciato, si segnala che preso il comune di Canegrate il pozzo denominato Somallia presenta la fascia di salvaguardia che lambisce la linea ferroviaria oggetto di potenziamento. L'interazione tra la fascia di rispetto (raggio dei 200 metri) e l'opera in progetto non rappresenta un rischio in quanto il pozzo Somalla è costituito da una serie di filtri che attingono dagli acquiferi profondi e non dall'acquifero superficiale (prima falda o acquifero tradizionale della pianura milanese). Dall'immagine di seguito riportata in Figura 9.1 si evince che i tratti filtranti sono posti tra i 60 e 150 m da p.c., mentre il pozzo Terni la cui fascia di rispetto è lontana dalla linea ferroviaria presente i tratti filtranti tra i 120-150 m da p.c. I restanti tratti di potenziamento della linea ferroviaria non presentano interazione con lo sfruttamento dei pozzi potabili.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

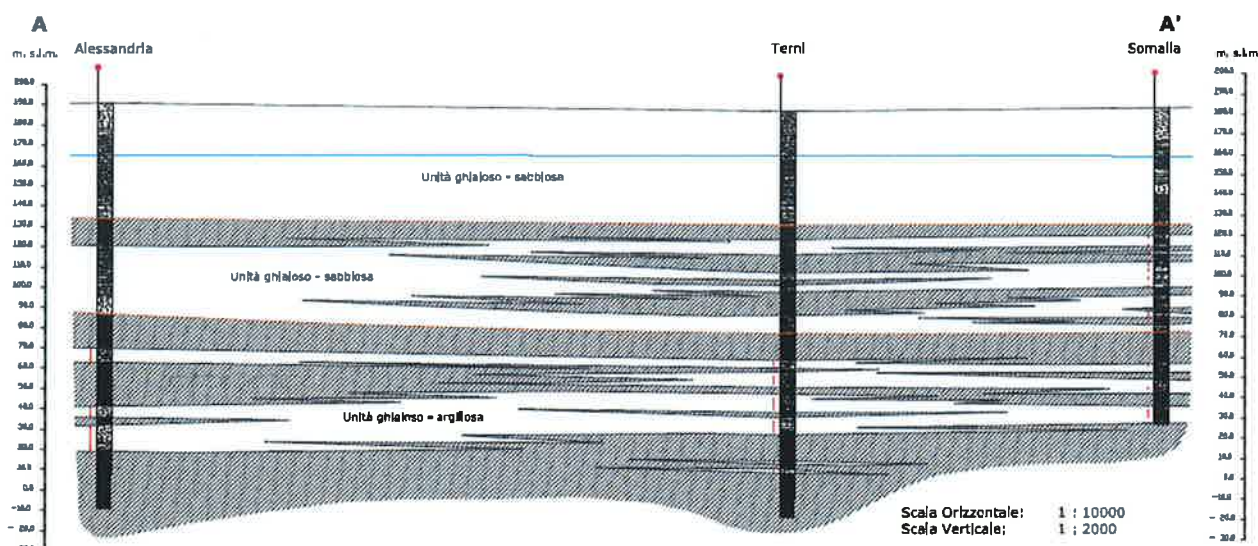


Figura 9.1 - Sezione idrogeologica con tre pozzi potabili denominati "Alessandria", "Terni" e "Somalla" (da P.G.T. del Comune di Canegrate)

Rischio idraulico

I dati a disposizione, estratti dalle carte di sintesi nei P.G.T. dei comuni che ricadono nel territorio in esame, dimostrano che sono presenti delle aree adiacenti al tracciato della linea ferroviaria con pericolosità idraulica da bassa a media.

Generalmente l'intera tratta ferroviaria è caratterizzata da un basso rischio idraulico, ad eccezione delle aree più prossime al Fiume Olona, caratterizzate da un rischio medio. Queste ultime si trovano in corrispondenza dei comuni di Rho (Figura 9.2), Pregnana Milanese (Figura 9.3) e Nerviano (Figura 9.4).

Di seguito si riportano alcuni stralci contenuti nei seguenti P.G.T.:

- Carta dei dissesti con legenda uniformata PAI alla scala 1:5.000 di Rho;
- Tavola 7 Sintesi elementi conoscitivi alla scala 1:5000 del comune di Pregnana Milanese;
- Carta Potenzialità e criticità D2 alla scala 1:5.000 del comune di Nerviano.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

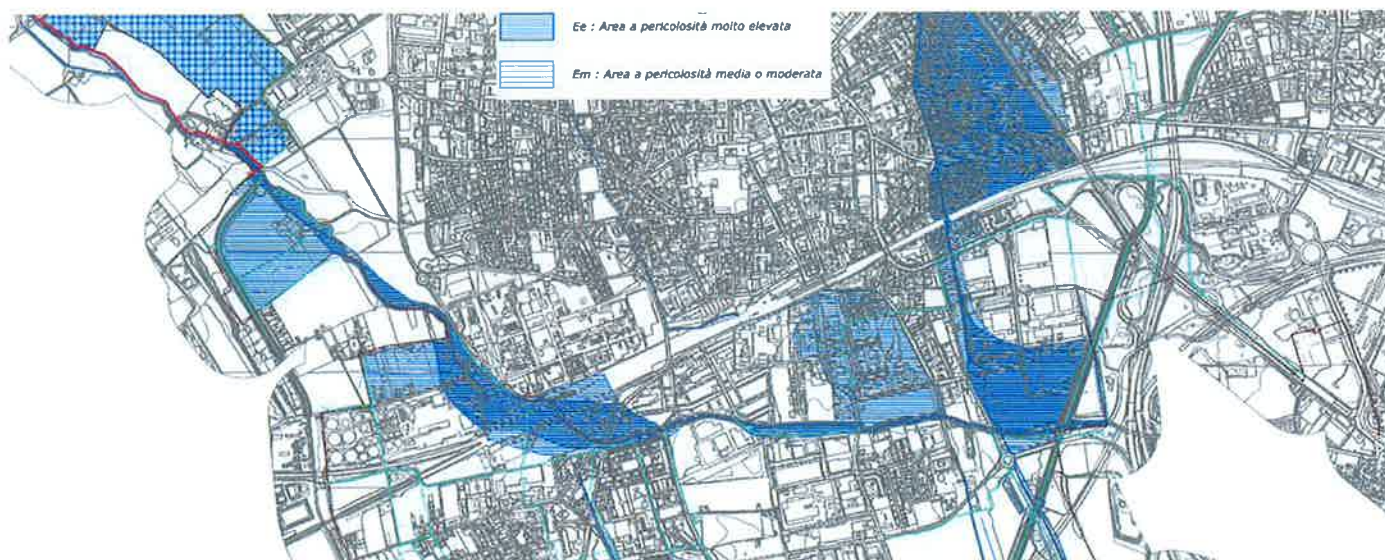


Figura 9.2 - Rho Stralcio della Carta dei dissesti con legenda uniformata PAI del comune di Rho. Si differenziano due aree: quelle blu scuro (il codice Ee) aree a pericolosità molto elevata e quelle più chiare (codice Em) aree a pericolosità media o moderata. Le linee azzurre rappresentano invece i corsi principali e secondari.



Figura 9.3 - Stralcio della tavola 7 estratta dalla Carta di sintesi degli elementi conoscitivi del comune di Pregnana Milanese. In coincidenza del tracciato ferroviario si incontra la fascia a barre di colore verde (simbolo riportato in basso a sinistra) che indica le aree potenzialmente allagabili per evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

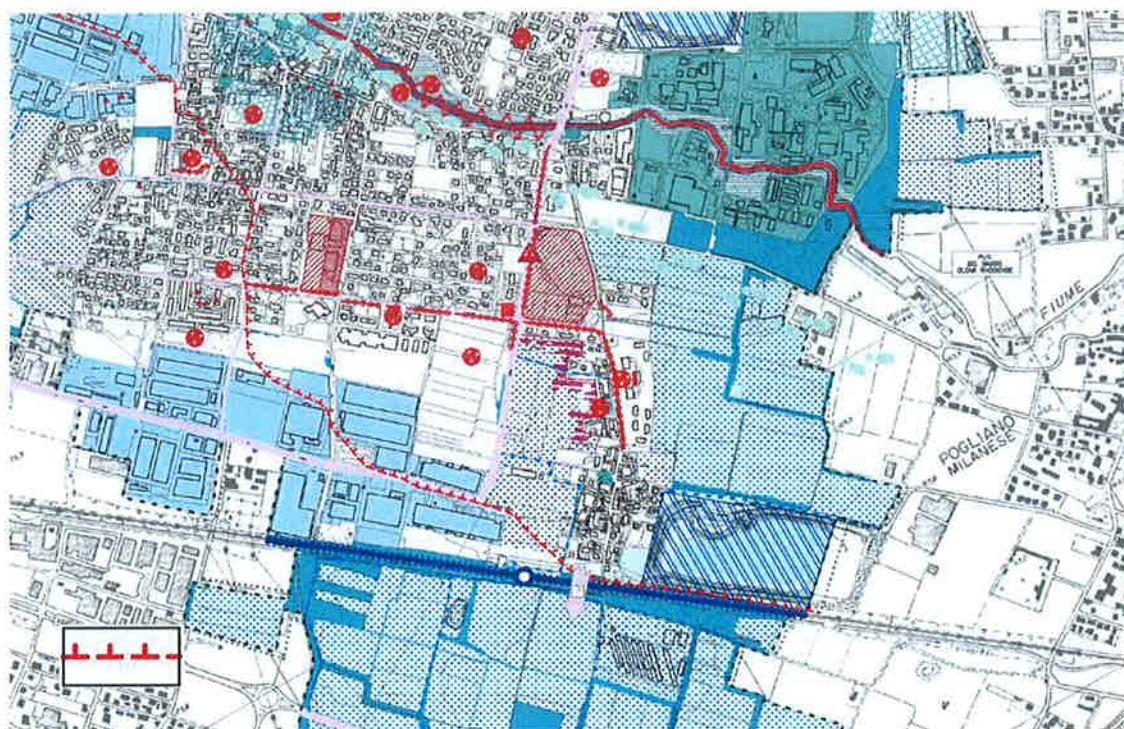


Figura 9.4 - Stralcio della carta Potenzialità e criticità del P.G.T di Nerviano. Con la linea tratteggiata rossa, riportata in basso a sinistra, è rappresentato il limite di rischio idraulico riferito alla fascia di territorio in concomitanza della linea ferroviaria. Si sottolinea che il tracciato non ricade nella fascia critica ma è nelle zone limitrofe.

9.3 PIEZOMETRIA DELL'AREA DI STUDIO

Nelle planimetrie idrogeologiche allegato al progetto (si veda per maggiori dettagli le Carte idrogeologiche Tav. 1 ÷ Tav. 4) sono riportate le isopiezometriche della falda freatica regionale estrapolata dal sito internet denominato SIF della Città Metropolitana di Milano; le linee isopiezometriche sono state disegnate con equidistanza di 5 m. Nota l'estensione dell'area di studio e visti i piezometri oggetto di monitoraggio che si trovano in gran parte a ridosso della linea ferroviaria, per poter inquadrare in dettaglio e su larga scala l'andamento della prima falda freatica si è optato di riportare sulle planimetrie il rilievo a scala regionale della piezometria anche se datato (settembre 2013).

Per quanto riguarda il profilo idrogeologico sono stati inseriti sia i livelli piezometri raccolti negli n.8 piezometri di nuova costruzione (indagini 2017) ubicati in prossimità del tracciato ferroviario (da Rho a Parabiago) sia il livello piezometrico regionale. Dall'analisi del profilo si evince che i dati raccolti nel periodo agosto-ottobre 2017 possono essere confrontati con quelli regionali e storici ed

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 64 di 86

utilizzati come strumento per l'analisi delle variazioni stagionali di falda, anche durante il proseguito del monitoraggio; quanto detto è riportato nei profili idrogeologici.

9.3.1 Dati piezometrici a carattere generale

Allo scopo di consentire una valutazione dell'andamento piezometrico dell'area sul lungo periodo con l'individuazione delle fasi di innalzamento e abbassamento dei livelli medi delle falde, visto il periodo di misura relativamente breve a cui si riferiscono i valori di soggiacenza e di falda misurati durante la campagna di indagine 2017, si riportano di seguito l'escursione dei livelli di falda registrata in pozzi della Città Metropolitana di Milano (Figura 9.5 e Figura 9.6).

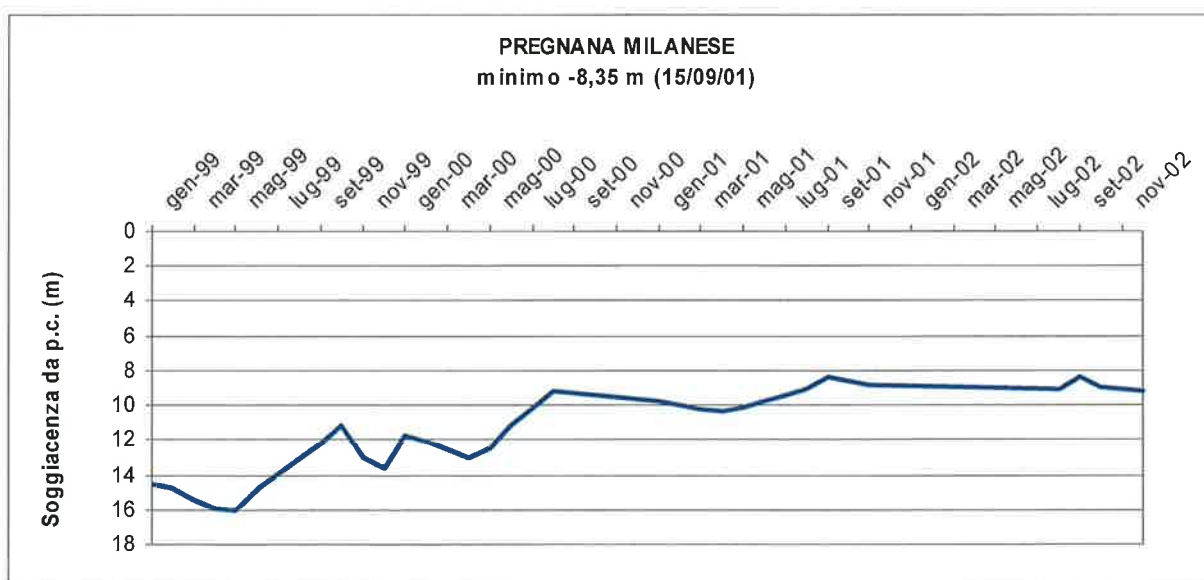


Figura 9.5 Escursione storica del livello di falda nel comune di Pregnana Milanese (da gen-99 a nov-02)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

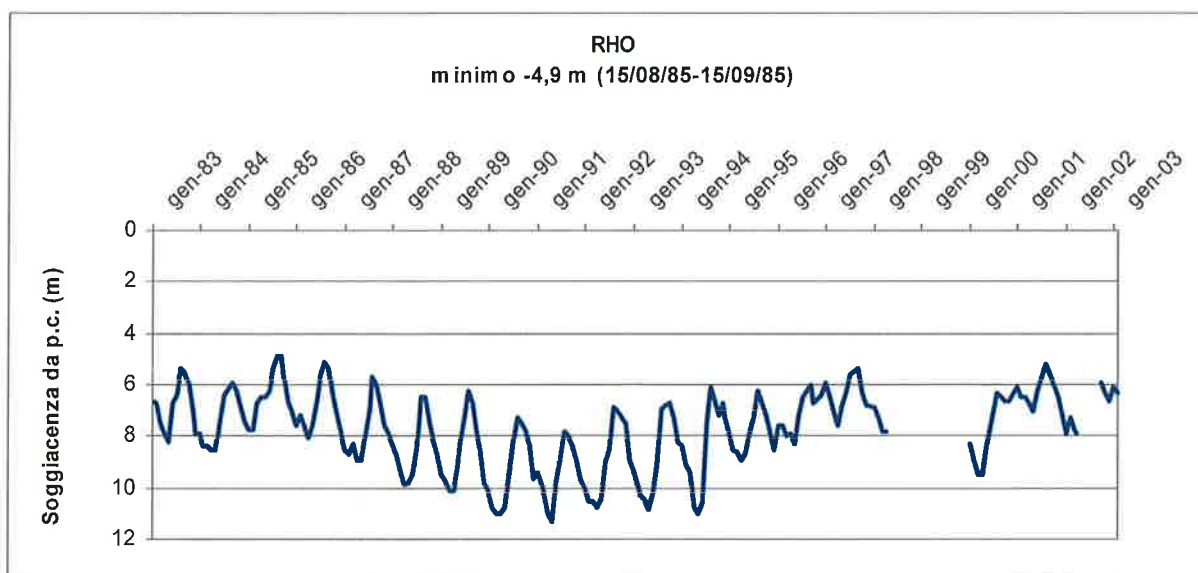


Figura 9.6 Escursione storica del livello di falda nel comune di Rho (da gen-83 a gen-03)

La soggiacenza della falda è influenzata da variazioni stagionali, con oscillazioni anche di alcuni metri in funzione del regime pluviometrico stagionale annuo e dei periodi di maggior alimentazione della stessa. A tale proposito si sottolinea la particolarità della zona ove i valori minimi di soggiacenza sono registrati in estate (maggio-settembre), periodo di maggior irrigazione dei campi da parte dei canali e di intensa pratica agricola di sommersione delle risaie, mentre i massimi coincidono con i mesi autunnali-invernali. L'oscillazione tra il minimo ed il massimo approfondimento è dell'ordine di almeno 3/4 metri.

Occorre ricordare come a partire dai primi anni novanta si è cominciato ad assistere, in corrispondenza del capoluogo lombardo, e nei comuni limitrofi, ad un costante ed ingente innalzamento dei livelli freatici della prima falda.

Sarà pertanto necessario, in quei comuni caratterizzati da una ridotta soggiacenza della falda freatica (comuni di Rho e Pregnana Milanese), tenere conto, durante la realizzazione dell'opera, di tale tendenza, al fine di limitare possibili disagi dovuti all'interferenza delle acque di falda con le strutture sotterranee, come parcheggi, sottopassi o scantinati, soggette a possibili periodici fenomeni di allagamento che ne determinano l'inutilizzo parziale o totale.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

In particolare in quasi tutto il territorio comunale di Rho si rinviene la presenza di un livello argilloso a 5-9 m di profondità da p.c., di spessore tra 0,5 e 2 m, che determina la presenza di una falda sospesa di interesse locale, definita come “falda superficiale” (Beretta et al., 2005). Per la falda superficiale sono stati calcolati dei valori medi di trasmissività pari a $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, conducibilità idraulica pari a 10^{-3} m/s e coefficiente di immagazzinamento pari al 0,22 (Avanzini et al., 1996).

9.3.2 Monitoraggio piezometrico 2017 dell’area di studio

In Tabella 9.1 vi sono i dati di monitoraggio dei seguenti periodi di rilievo: agosto, settembre e ottobre 2017 che costituiscono le prime tre campagne di monitoraggio piezometriche destinate a protrarsi anche nei mesi successivi.

Tabella 9.1 - Misure del livello di falda (2017)

PIEZOMETRO	Quota piezometro	09-ago-17		06-set-17		06-ott-17	
		metri dal p.c.	FALDA metri s.l.m.	metri dal p.c.	FALDA metri s.l.m.	metri dal p.c.	FALDA metri s.l.m.
Denominazione	metri s.l.m.						
PNMDL1O01	148,10	5,52	142,58	5,29	142,81	5,57	142,53
PNMDL1O02	150,49	7,18	143,31	7,24	143,25	8,18	142,31
PNMDL1O03	161,00	11,47	149,53	11,51	149,49	12,37	148,63
PNMDL1O04	166,87	14,56	152,31	14,78	152,09	15,78	151,09
PNMDL1O05	172,08	16,84	155,24	16,74	155,34	17,81	154,27
PNMDL1O06	177,18	19,96	157,22	19,71	157,47	20,10	157,08
PNMDL1O07	183,94	24,50	159,44	24,10	159,84	24,44	159,50
PNMDL1O08	217,90	asciutto		asciutto	-	asciutto	-

Lungo il tracciato la soggiacenza della falda diminuisce in termini di profondità dal p.c. procedendo da nord verso sud fino a quote prossime al piano campagna nel settore meridionale. Le soggiacenze rilevate durante l’ultima campagna di monitoraggio (ottobre 2017) individuano livelli di falda compresi tra i 5,5-8 m nel tratto meridionale d’intervento ed i circa 20-25 m da p.c. nel tratto comunale di Parabiago; nel comune di Busto Arsizio e Castellanza il piezometro PNMDL1O08 (2017) è risultato asciutto. Nell’area del raccordo Y, dalla piezometria regionale, si evince che la soggiacenza della falda da piano campagna è pari circa 45 m.

La piezometria delineata nel settembre 2017 rispetto alla piezometria ricostruita grazie ai dati della Città Metropolitana di Milano presenta la stessa morfologia come visibile dai profili idrogeologici ai

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 67 di 86

cui si rimanda per maggiori dettagli (si veda tavola 1 e tavola 2); la differenza di quota piezometrica tra settembre 2017 e settembre 2013 è molto contenuta e pressoché identica nella zona di Rho e Pregnana Milanese, mentre percorrendo il profilo idrogeologico dalla fermata di Vanzago a quella Parabiago si evince che la quota piezometrica rilevata nel 2017 è più bassa di circa 1.6-2.0 m.

Per quanto riguarda il gradiente di falda le due piezometrie sono pressoché identiche, ed in particolare dall'inizio del potenziamento ferroviario, al comune di Vanzago abbiamo un gradiente con pendenza pari a 1‰, mentre procedendo verso nord-ovest il gradiente è compreso tra 3-6 ‰.

Il monitoraggio dei piezometri di nuova realizzazione (campagna 2017) continuerà ancora per diverso tempo e di conseguenza sarà possibile valutare con maggior dettaglio le variazioni della soggiacenza della falda anche nei periodi di morbida.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 68 di 86

10. INQUADRAMENTO SISMICO

10.1 INQUADRAMENTO SISMOLOGICO

La stratigrafia della porzione di Pianura Padana interessata dal tracciato di progetto è dominata dalla presenza di depositi di età pliocenica – quaternaria, per spessori di alcune centinaia di metri al di sopra del substrato inferiore. Dal punto di vista tettonico, il sistema strutturale della Pianura e delle zone collinari deriva dall'interazione tra l'arco Appenninico a S, quello Alpino a N e la placca adriatica a E (quest'ultima a costituire un cuneo, spinto dalle due precedenti). La cinematica del complesso è governata da una compressione lungo l'allineamento NS che influenza tutto il Nord Italia, così come documentato dai meccanismi focali degli eventi sismici più recenti, e da rilievi GPS dei movimenti della superficie. Tale evoluzione, iniziata durante il periodo Cenozoico, è tuttora in corso: si può sicuramente concludere che la sismicità del Nord Italia è principalmente governata dai moti compressivi generati dalla spinta verso N degli Appennini e verso S della Catena Alpina.

La Figura 10.1 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida, 2011), relativa al N Italia. Gli epicentri sono sovrapposti alle sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti *et al.*, 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC 2008). Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) e sistemi di faglie composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Si osserva come la definizione delle zone sismogenetiche ZS9 corrisponda sia alla distribuzione delle faglie sul territorio nazionale, sia alla distribuzione degli epicentri dei terremoti e delle magnitudo. Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura geologica, sia dettate dalla sismicità storica. Soprattutto, è possibile osservare come gli eventi di maggiore magnitudo siano localizzati in corrispondenza dell'arco alpino, ed in particolare al bordo tra la zona prealpina e le pianure lombarda e friulana. Rilevanti contributi alla sismicità del Nord Italia provengono anche dalle aree dell'Appennino Tosco-Emiliano, con particolare riferimento al terremoto dell'Emilia nel 2012. Il modello sismotettonico ZS9 individua, nell'area del NE, tre zone a sismicità diffusa: ZS904, ZS905 e ZS906. Tra queste, la ZS905 presenta caratteristiche di sismicità in termini di magnitudo

¹ Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008 – Supplemento Ordinario n. 159

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 69 di 86

massime (~ 6.5) e frequenza degli eventi nettamente superiore rispetto alle altre come evidente dalla distribuzione degli epicentri di Figura 10.1. Fra gli eventi più significativi della storia recente ivi assegnabili, si ricordano le scosse del terremoto dei Friuli del 1976. Generalmente, i terremoti di questa regione, sono ben vincolati e associati, in letteratura, a specifiche sorgenti sismiche sulla base di dati geologici affidabili.

Procedendo verso O, la ZS906 include terremoti originati nella pianura del Po i cui dati sono sicuramente più scarsi e di affidabilità incerta, come ad esempio l'evento del Veronese del 1117 di $M_w \sim 6.5$, la cui sorgente non è stata ancora definita in letteratura (Galadini et al., 2001) e del Bresciano del 1222, $M_w \sim 6$, il quale ha interessato una porzione della provincia di Brescia in cui è presente un sistema di faglie inverse.

La ZS907, zona più prossima al Comune di Milano (circa 27 km), include la parte meridionale delle province di Bergamo e Brescia ed è caratterizzata da una sismicità medio-bassa, con la sola eccezione del terremoto di Soncino del 1802 di $M_w = 5.9$ (cerchietto in giallo nella ZS907) in Figura 10.1.

La ZS911, altrettanto vicina al comune di Milano in direzione S, delimita l'estremità settentrionale dell'arco appenninico, oltre a comprendere l'arco di Pavia. Si ipotizza che le strutture di questa zona abbiano una funzione di "svincolo" cinematico del sistema in migrazione (Gruppo di Lavoro, 2004). Procedendo sempre verso S le zone sismogenetiche seguono longitudinalmente l'asse appenninico, perdendo di interesse in termini di effetti potenziali al sito di progetto al crescere della distanza. Si evidenzia la ZS915 contenente eventi di magnitudo superiori a 6, fra cui il terremoto della Garfagnana del 1920 (Guidoboni et al., 2007).

A Nord, nell'area pedemontana fra i laghi di Como e Maggiore, al fronte della catena Subalpina, la pericolosità sismica viene considerata praticamente insignificante e nessuna sorgente sismogenetica è stata pertanto associata nel modello sismotettonico ZS9 a questa area. L'area 903 appositamente definita, è stata vincolata in termini di parametri più dai cataloghi di terremoti, per unire la maggiore sismicità di quell'area, che non da specifiche informazioni geologiche.

Infine, a NO si incontra la ZS902, caratterizzata dalla concentrazione di alcuni terremoti di maggiore energia, la cui geometria è stata basata sulla distribuzione degli epicentri del catalogo CPTI. La zona ha una magnitudo massima di 6.14 in quanto include in particolare la sorgente del Vallese che ha generato i terremoti del 1755 ($M_w = 5.9$) e del 1946 ($M_w = 6.1$).

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 70 di 86

A O, lungo il confine fra Italia e Francia, sono identificate le ZS901, ZS908, ZS909 e ZS910 le quali presentano una sismicità diffusa di intensità modesta, a distanze ragguardevoli dal sito di progetto. I lineamenti di faglia più prossimi sono sistemi di faglie composite. In dettaglio, si evidenziano i lineamenti Western S-Alps external Thrust con andamento E-W e Western S-Alps Internal Thrust con andamento NE-SW con magnitudo 6.1 e 5.5 rispettivamente (ZS907), (Basili et al, 2008).

Per completare quanto sopra descritto, e quindi restituire un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di progetto, un'utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Rovida et al., 2016), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014. In particolare, l'estratto dimostra la storia sismica associata ai Comuni di Parabiago e Rho (rispettivamente, dall'alto): si osserva ovviamente (tenuto conto dell'evoluzione nel tempo dell'abitato) una scarsità di osservazioni che, se presenti, conducono comunque ad intensità macrosismiche massime pari a 5. Per completezza, si riposta anche la storia di intensità macrosismica del Comune di Milano (in basso, in Figura 10.2) dalla quale si osserva come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia bassa, e che le intensità sismiche massime avvertite a Milano nell'ordine di IS=7 in conseguenza dell'evento del Veronese del 1117, e IS=6 durante il terremoto del basso bresciano del 1222, del Vallese del 1755 e del Lodigiano del 1951.

Da quanto sopra si evince come sia associabile al tracciato di progetto una sismicità complessivamente bassa.

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 71 di 86

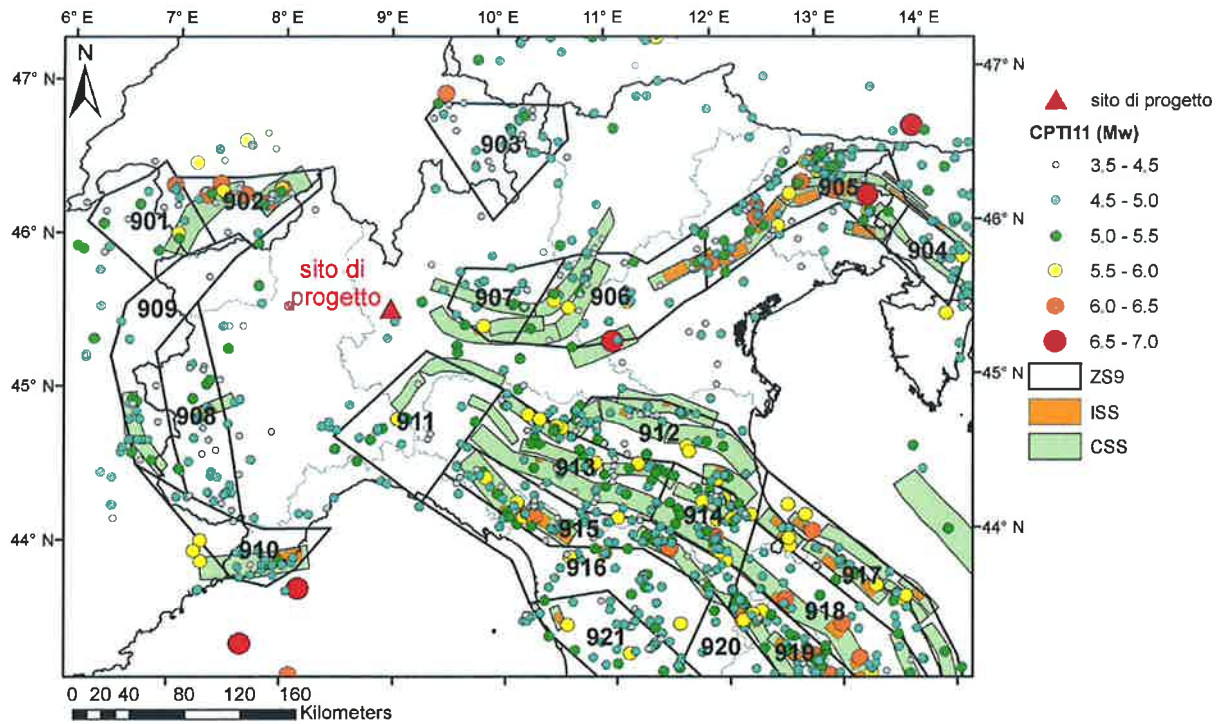


Figura 10.1 Contesto sismotettonico della regione estesa nell'intorno del sito di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPT11). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composte.

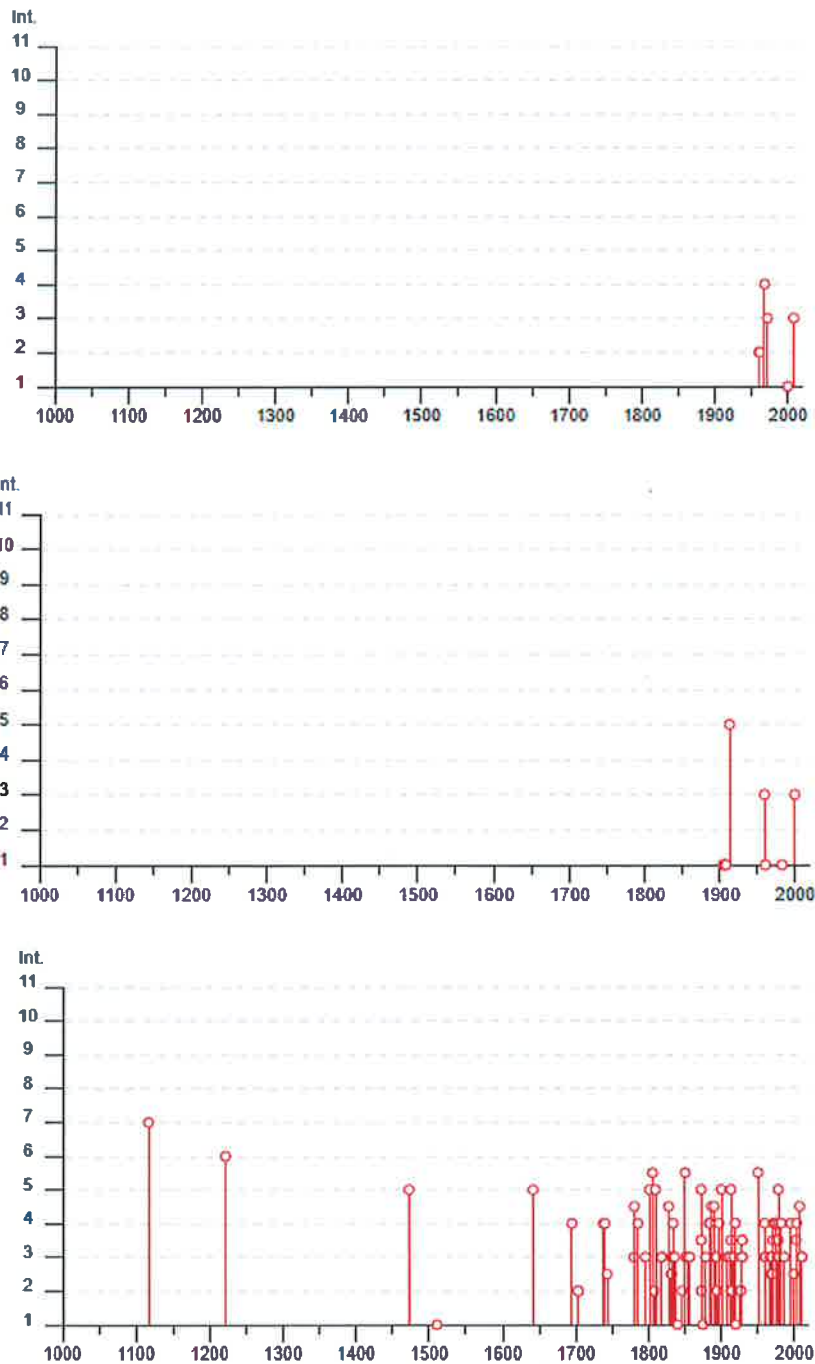


Figura 10.2 Dall'alto, storia macrosismica dei Comuni di Parabiago, Rho e Milano (dal catalogo DBMI 2015, Rovida et al., 2016).

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 73 di 86

10.2 DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NTC 2008

La definizione dell’azione sismica di progetto per l’opera segue quanto disposto dalle NTC 2008. In particolare, l’azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell’azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle NTC 2008 i valori dei suddetti parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori di punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. In Tabella 10.1 si riporta l’identificativo dei nodi del reticolo di riferimento (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009) per quattro punti notevoli individuati lungo il tracciato (inizio, fine e punto mediano localizzato all’estremo Sud, connessione a Y).

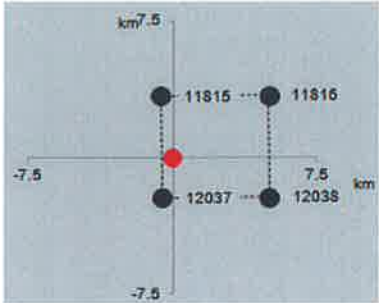
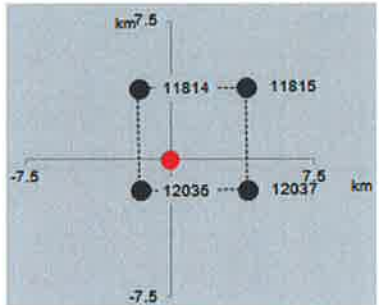
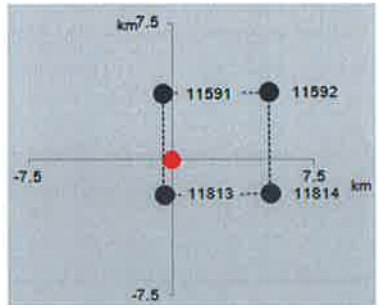
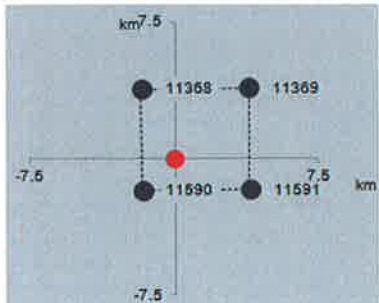
Punto	Latitudine	Longitudine	Nodi reticolo
Inizio tracciato	45.524374°	9.077504°	
Estremo Sud del tracciato	45.517660°	9.019664°	
Fine Tracciato Lotto 1	45.566458°	8.929784°	
Raccordo Y	45.612533°	8.870713°	

Tabella 10.1 Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno di punti notevoli del tracciato di progetto. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 75 di 86

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC 2008:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame (opera ordinaria), ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC 2008 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame, l'opera è ragionevolmente da ritenersi parte di una linea ferroviaria rientrante nel sistema di grande viabilità ferroviaria, e quindi appartenere alla Classe d'Uso III, ossia:

“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”.

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC 2008, alla Classe d'Uso III corrisponde un coefficiente d'uso C_U pari a:

$$C_U = 1.5$$

L'azione sismica di verifica delle opere viene quindi definita in relazione ad un periodo di riferimento V_R ottenuto, per ciascun tipo di opera, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 75 \text{ anni}$$

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 76 di 86

L'azione sismica di progetto va determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R . Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC 2008 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento PVR dalla relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1-PVR)$$

I valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite, sono indicati in Tabella 10.2.

La definizione dell'azione di progetto da NTC risulta in linea con quanto definito dal DGR X/2129 del 11/7/2004¹ in termini di classificazione sismica dei Comuni attraversati dall'opera, generalmente classificabili in Zona 4.

¹ •D.G.R. 11/7/2014 - n. X/2129, Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d).

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Tabella 10.2. Valori dei parametri a_g , F_0 , Tc^* , coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 50$ anni.

Punto	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	Tc^* (s)	S (-)	a_{max} (g)
Inizio tracciato	SLO	45	0.021	2.531	0.183	1.5	0.032
	SLD	75	0.026	2.586	0.198	1.5	0.039
	SLV	712	0.049	2.701	0.293	1.5	0.074
	SLC	1462	0.058	2.770	0.311	1.5	0.087
Estremo Sud del tracciato	SLO	45	0.020	2.531	0.183	1.5	0.030
	SLD	75	0.025	2.570	0.197	1.5	0.038
	SLV	712	0.047	2.702	0.296	1.5	0.071
	SLC	1462	0.055	2.775	0.314	1.5	0.083
Fine Tracciato Lotto 1	SLO	45	0.019	2.537	0.166	1.5	0.029
	SLD	75	0.023	2.515	0.197	1.5	0.035
	SLV	712	0.044	2.682	0.298	1.5	0.066
	SLC	1462	0.052	2.747	0.318	1.5	0.078
Raccordo Y	SLO	45	0.018	2.539	0.165	1.5	0.027
	SLD	75	0.022	2.512	0.198	1.5	0.033
	SLV	712	0.043	2.653	0.294	1.5	0.065
	SLC	1462	0.050	2.714	0.316	1.5	0.075

Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

I valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e Tc^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per le coordinate dei punti notevoli lungo il tracciato ed i periodi di riferimento di interesse sono riportati in Tabella 10.2, assieme al valore dell'accelerazione massima al sito a_{max} , che tiene conto della risposta sismica locale (vedasi paragrafo successivo). Si osserva una sostanziale stabilità del parametro a_g per i diversi punti considerati su valori moderati inferiori al decimo di g (max. 0.087g). In funzione della ridotta variazione della pericolosità sismica di base lungo il tracciato, in via semplificativa, si suggerisce l'applicazione dei valori di inizio tracciato (in grassetto in Tabella 10.2) a tutta la tratta in progetto.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Risposta sismica locale

Le NTC 2008 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

Sulla base di quanto riportato nei documenti fattuali delle indagini geofisiche condotte nelle diverse campagne, i terreni sede del tracciato di progetto sono classificati su terreni in Categoria di suolo C (Tabella 10.3), con valori del parametro $V_{s,30}$ compresi tra 293 e 356 m/s, ad aumentare da inizio a fine tratta.

Il coefficiente S_s per la categoria di sottosuolo C si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.V del par. 3.2.3 delle NTC 2008):

$$S_s = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50$$

Nello specifico:

$$S_s = 1.5$$

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il sito di progetto è caratterizzato da piano campagna sostanzialmente orizzontale e, pertanto, in accordo alle NTC 08 par. 3.2.3.2.1 ("la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario"), il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 10.3.

Si rimanda al testo delle NTC 2008 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 10.3. Classificazione suolo secondo la Tabella 3.2.II-III delle NTC 2008.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30	360÷800

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
	compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).	
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	180+360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).	<180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).	-
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	-

10.3 PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC 2008 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 80 di 86

penetrometriche statiche (Cone Penetration Test), normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 10.3 (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$) e Figura 10.4 (coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

I valori di accelerazione massima attesa al piano campagna sono sempre inferiori a 0.1 g per tutti gli stati limite considerati (vedi Tabella 10.3) e, pertanto, in accordo alle NTC 2008 non è necessaria la verifica rispetto al fenomeno della liquefazione.

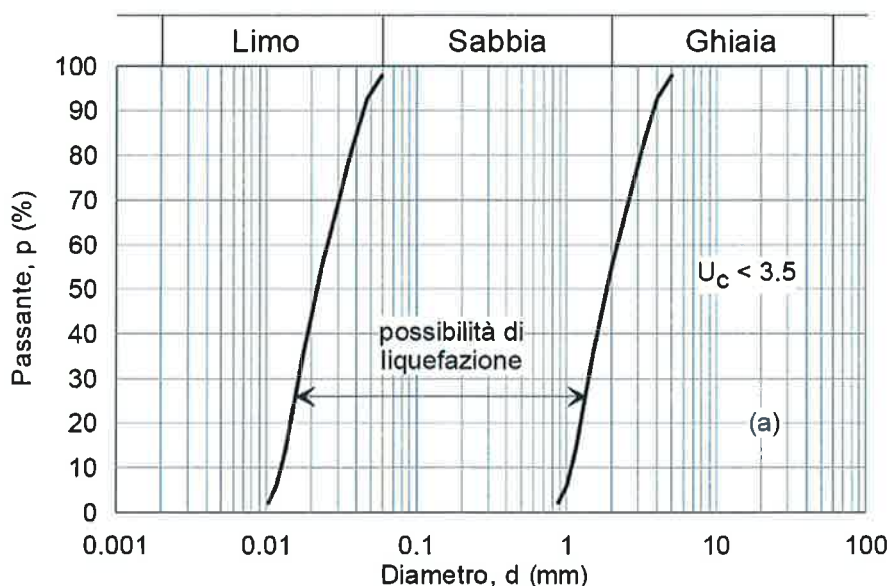


Figura 10.3 Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c < 3.5$).

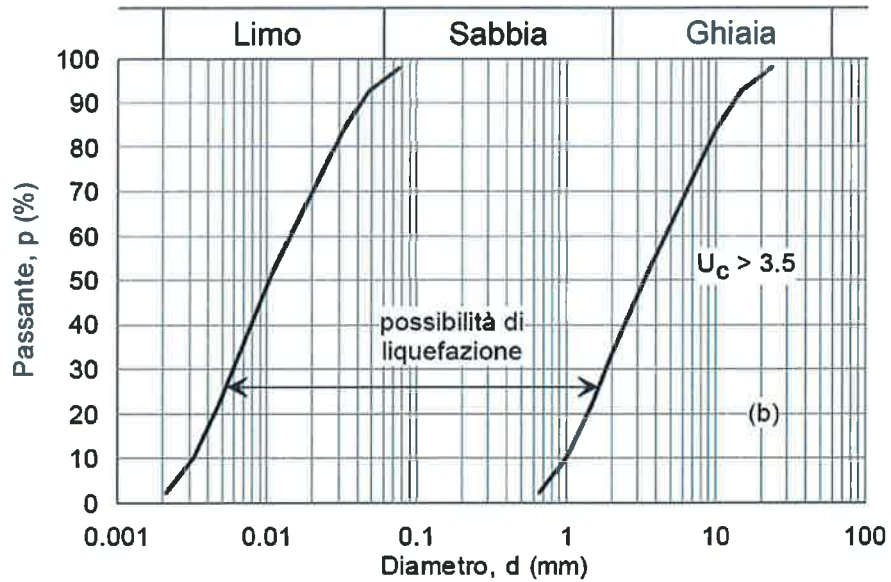


Figura 10.4 Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c > 3.5$).

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 82 di 86

11. SINTESI E CONCLUSIONI

In conclusione si può affermare che:

- Dal punto di vista stratigrafico:
L'assetto dell'area d'interesse è guidato dagli eventi geologici che si sono succeduti dal Miocene superiore fino al Quaternario, con la deposizione di sedimenti prevalentemente di tipo continentale e transizionale, depositi fluviali, glaciali e subordinatamente lacustri e palustri, al di sopra del substrato pre-Pliocenico. I profili geologici evidenziano la presenza di una formazione ghiaiosa-sabbiosa sino alla profondità di circa 15-20 m dal p.c., con lenti sabbiose-ghiaiose intercalate a livelli limoso-argillosi; a cui segue, sino alla massima profondità indagata, una formazione prevalentemente sabbiosa. Si segnala che in corrispondenza del territorio di Rho le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza a modeste profondità, pari a circa 10 m, di lenti non continue costituite da materiali più coesivi limoso argillosi a limitata capacità portante; lo spessore di tali è variabile e compreso tra 0,5 e 3 m.

- Dal punto di vista geomorfologico:
La zona interessata dal tracciato in progetto è caratterizzata da una morfologia pianeggiante, corrispondente al livello fondamentale della pianura, con variazioni di quota estremamente limitate, dell'ordine di pochi metri. Trattandosi di una zona essenzialmente pianeggiante le rilevanze morfologiche sono ridotte. Le uniche evidenze morfologiche sono rappresentate dalla blanda incisione fluviale del fiume Olona, dal relativo orlo di terrazzo e dal riconoscimento di tracce di paleo alvei situati lungo la piana alluvionale del fiume Olona allo stesso livello del p.c.. Sono presenti inoltre alcune scarpate artificiali in corrispondenza di cave, per lo più di sabbia e ghiaia, ed un fitto reticolato di canali artificiali e rogge scavate prevalentemente a scopo irriguo. Si segnala la presenza nel comune di Nerviano, in adiacenza all'opera, di una cava non attiva.

- Dal punto di vista idrogeologico:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 83 di 86

Il tracciato del progetto, viste le sue caratteristiche costruttive può interferire localmente con la falda freatica del primo acquifero (nel tratto meridionale del tracciato la dove la soggiacenza è molto prossima al piano campagna). Il primo acquifero è caratterizzato dalla netta prevalenza di litotipi grossolani con lenti limoso-argillose di limitato spessore ed estensione areale, che presentano spessore maggiore di 35 m. Da un punto di vista qualitativo le risorse idriche sono spesso compromesse dal punto di vista idropotabile e quindi sono utilizzabili a solo scopo agricolo e industriale. L'acquifero tradizionale, ospitato nei terreni alluvionali ghiaioso-sabbiosi, è ricaricato dalle acque di infiltrazione, dai corsi d'acqua e dai canali di irrigazione. A livello regionale la soggiacenza della falda diminuisce in termini di profondità dal p.c. procedendo da nord verso sud fino a quote prossime al piano campagna nel settore meridionale. Le soggiacenze rilevate durante il monitoraggio dell'agosto 2017 individuano livelli di falda compresi tra i - 5.2 a -7.0 m da p.c. nel tratto meridionale d'intervento (comune di Rho), e via via aumentano sino ad arrivare ad circa -20 a -25 m da p.c. a fine lotto nel comune di Parabiago. La soggiacenza della falda è influenzata da variazioni stagionali, con oscillazioni anche di alcuni metri in funzione del regime pluviometrico stagionale annuo e dei periodi di maggior alimentazione della stessa. A tale proposito si sottolinea la particolarità della zona ove i valori minimi di soggiacenza sono registrati nei periodi di maggior irrigazione per uso agricolo e da parte della fitta rete di canali che vengono alimentati sempre per le pratiche agricola.

Si evidenzia inoltre che il monitoraggio piezometrico realizzato nel settembre 2017 ha evidenziato un trend del tutto analogo alla piezometria regionale del settembre 2013 (ultima disponibile) redatta dalla Città Metropolitana di Milano. Il proseguo del monitoraggio permetterà di analizzare con maggiori dettaglio la variazione stagionale della soggiacenza lungo il tratto ferroviario in esame.

- Dal punto di vista della vulnerabilità e rischio idraulico:
 Dall'analisi della carta idrogeologica e della vulnerabilità del P.G.T dei comuni interessati dal quadruplicamento della linea storica, il tracciato incontra terreni aventi grado di vulnerabilità da molto elevato ad elevato. Il tratto più vulnerabile è in corrispondenza dell'abitato di Rho in cui l'acquifero libero costituito da materiale alluvionale e depositi fluviali è saturo già da pochi metri da piano campagna (soggiacenza della falda prossima al piano campagna). Le aree frequentemente inondabili si concentrano nelle fasce di

	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 84 di 86

territorio dove scorrono i corsi d'acqua principali, secondari e artificiali; in particolare si fa riferimento all'intersezione del tracciato ferroviario con il Fiume Olona in cui nei PGT dei Comuni di Rho, Pregnana Milanese e Nerviano si individuano aree potenzialmente esondabili.

- Dal punto di vista sismico:

Sulla base di quanto riportato nel documento descrittivo dei risultati delle indagini geofisiche di tipo MASW, il tracciato sede delle opere in progetto è classificabile nella categoria di suolo C. I valori di accelerazioni massime attese al piano campagna sono inferiori a 0.1 g per tutti gli stati limite considerati, pertanto può essere esclusa la verifica rispetto al fenomeno della liquefazione.

La definizione dell'azione di progetto da NTC risulta in linea con quanto definito dal DGR X/2129 del 11/7/2004 in termini di classificazione sismica dei Comuni attraversati dall'opera, generalmente classificabili in Zona 4.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	Pag. 85 di 86

12. BIBLIOGRAFIA

- Avanzini et al., 1996 – Remediation system of a hydroxyisobutyronitrile spill in Milano area (Italy) – proceedings 1st International Conference “The Impact of Industry on Groundwater Resources”. Cernobbio, Como (Italy), 22-24 May, 797-805.
- Beretta et al., 2005 – Importanza delle indagini per la caratterizzazione geologica ed idrogeologica di un sito inquinato nel comune di Rho (Milano) – Giornale di geologia Applicata 2, 106-112.
- Carcano C. & Piccini (2002) – Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia. Regione Lombardia & Eni Divisione Agip, S.E.L.CA, Firenze.
- CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO, Dir. Centrale risorse ambientali, Settore risorse idriche, Servizio acque sotterranee, Sistema informativo falda (<http://www.provincia.milano.it/ambiente/acqua/sotterranee.shtml>).
- Servizio Geologico Nazionale – Carta Geologica d’Italia a scala 1:100.000 Foglio Novara e Foglio Milano.
- U.R.B.I.M (<http://www.regione.lombardia.it>)
- Basili, R., Kastelic, V., Valensise, G., and DISS Working Group 2009 (2009), DISS3 tutorial series: Guidelines for compiling records of the Database of Individual Seismogenic Sources, version 3, Rapporti Tecnici INGV, no. 108, 20 p., <http://portale.ingv.it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/archivio/rapporti-tecnici-2009/>.
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi: 10.1016/j.tecto.2007.04.014 (Second-most cited paper on topic "earthquake*" in 2008-2010)
- Galadini, F., Galli, P., Molin, D., Ciurletti, D. (2001), Searching for the seismogenic source of the 1117 earthquake in northern Italy: a multi- disciplinary approach. In: Glade, T., Albini, P., Frances, F. (Eds.), The use of historical data in natural hazards assessment. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 3–27
- Gruppo di Lavoro, (2004), per la redazione della mappa di pericolosità sismica. INGV, Final Report, (<http://esse1.mi.ingv.it>) con Appendici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NODO DI MILANO POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA TRATTA RHO-GALLARATE QUADRUPPLICAMENTO RHO- PARABIAGO E RACCORDO Y PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica	PROGETTO MDL1	LOTTO 30 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., 2007. CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med>
- Haller K. M. and R. Basili (2011), Developing seismogenic source models based on geologic fault data, *Seismological Research Letters*, 82(4), 519-525, doi: 10.1785/gssrl.82.4.519
- M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11
- Meletti, C., Galadini, F., Valensise, G., Stucchi, M., Basili, R., Barba, S., Vannucci, G., and Boschi, E., (2008). A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics (online version)* 450, 85-108.
- Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11
- Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., Seismic Hazard Assessment (2003–2009) for the Italian Building Code *Bulletin of the Seismological Society of America* August 2011 101:1885-1911