



# Città Metropolitana di Milano

## Progettazione esecutiva e realizzazione dei lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" – 2° Lotto – 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+746 (Intersezione TEEM)

### PROGETTO ESECUTIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
ing. Carlo Maria Merlano

#### PROGETTAZIONE

Ing. Andrea Orio – OB2 Ingegneria Srl  
Prof. Ing. Antonio Capsoni – B&C Associate  
Ing. Valter Peisino – IG Ingegneria Geotecnica Srl  
Studio Ing. Alessandro Berdini  
Ing. Alex Pellegatta



I. G. INGEGNERIA GEOTECNICA s.r.l.  
Dott. Ing. Valter PEISINO  
ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI CUNEO  
n° 753

#### APPALTATORE



GIMACO COSTRUZIONI Srl

#### ELABORATO

GEOTECNICA  
Relazione Geotecnica Generale

doc.015

#### CODICE

1822\_E\_D\_2.3\_1

DATA 10/2018 REDATTO F. Denaro VER. M. Pepe APPR. V. Peisino

SCALA -

REVISIONE DATA REDATTO MOTIVAZIONE APPROVATO

NOME FILE

01 26/10/18 AGGIORNAMENTO

2.3\_1\_Rel. geotecnica gen.doc

REVISIONI

**Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)**

**Relazione geotecnica generale**

## **1 PREMESSA**

Il presente documento costituisce la relazione geotecnica del Progetto Esecutivo dei lavori di riqualifica e potenziamento della Strada Provinciale "Paullese", - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM).

Scopo del documento è la caratterizzazione geotecnica delle unità geologiche costituenti i terreni di fondazione, ai fini del calcolo geotecnico delle opere da realizzare.

Il presente documento è così organizzato:

- ✓ Definizione dei documenti di riferimento (Capitolo 2)
- ✓ Indagini eseguite (Capitolo 3)
- ✓ Inquadramento geologico (Capitolo 4)
- ✓ Situazione stratigrafica lungo il tracciato (Capitolo 5)
- ✓ Stima dei parametri geotecnici caratteristici per la progettazione (Capitolo 6)
- ✓ Discussione sulle problematiche di liquefazione (Capitolo 7)

## **2 NORMATIVE E RIFERIMENTI**

### **2.1 NORMATIVA**

Ai fini della redazione del presente progetto si e' fatto riferimento alle seguenti normative e circolari:

- D.M. 17 gennaio 2018 - pubblicato nella G.U. n. 42 del 20/02/2018 Suppl. Ord,
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- UNI EN 1997-1:2005: "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali";

### **2.2 DOCUMENTI PROGETTUALI**

- Profilo geologico-tecnico

### **3 INDAGINI ESEGUITE**

Nell'area interessata dall'opera sono state eseguite due campagne d'indagine comprendenti sondaggi a carotaggio continuo con prelievo, nel corso delle perforazioni, di campioni rimaneggiati, prove penetrometriche dinamiche, prove di permeabilità e prove di laboratorio sui campioni rimaneggiati. La maggioranza dei fori è stata attrezzata con piezometro.

Nel 2002 è stata eseguita una campagna d'indagine. Sono state eseguite le seguenti indagini:

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo, diametro esterno 101 mm, spinti a profondità variabili fra 20 e 36 m dal p.c., denominati S3, S4, S5, S6, SD e SE.

Nel corso delle perforazioni, oltre al recupero integrale del terreno attraversato, sono stati prelevati campioni rimaneggiati e sono state eseguite in avanzamento prove penetrometriche dinamiche SPT e prove di permeabilità Lefranc.

I sondaggi SD ed SE sono stati attrezzati con piezometro tipo Casagrande, installato nel primo a 15 m di profondità e nel secondo a 16 m, mentre i sondaggi S3 e S6 sono dotati di piezometro a tubo aperto, il primo a profondità 12 m ed il secondo a 15 m.

Nel 2009 è stata eseguita una campagna d'indagine per la TEEM. Nell'area di pertinenza della S.P.415 "Paulese" ricadono le seguenti indagini:

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo, spinti a profondità variabili fra 25 e 35 m dal p.c., denominati L3-S16, L4S1 e L4-S2.

Nel corso delle perforazioni, oltre al recupero integrale del terreno attraversato, sono stati prelevati campioni rimaneggiati e sono state eseguite in avanzamento prove penetrometriche dinamiche SPT e prove di permeabilità Lefranc.

I tre sondaggi sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto.

Sui campioni rimaneggiati sono state determinate le proprietà indice e la distribuzione granulometrica.

## **4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

La S.S. 415 "Paullese" risulta impostata su depositi alluvionali in giacitura sub-orizzontale con spessori di migliaia di metri di età plio-quadernaria e di ambiente marino e continentale. Tali materiali, disposti prevalentemente con giacitura monoclinale verso le Alpi si sono adeguati inferiormente alle superfici morfologiche formatesi nel periodo precedente alla trasgressione pliocenica: le indagini effettuate nell'area, solo raramente sono riuscite ad attraversare la spessa coltre pliocenica. I sedimenti pliocenici ricoprono in discordanza formazioni conglomeratico-arenaceo mioceniche ed un substrato marino piegato e fagliato (faglie listriche), costituito da rocce carbonatiche e terrigene mesozoiche. La struttura a faglie, legata ad un sistema di ricoprimento tipo "imbricate fan", può essere interpretata come il risultato dell'interferenza della più recente tettonica Appenninica con l'assetto strutturale della pianura Lombarda; il "foreland" del ricoprimento alpino, era già piegato quando la recente tettonica Appenninica lo aveva coinvolto. In altre parole, la sequenza pre-Pliocenica sempre caratterizzata da strutture con polarità Alpina potrebbe aver reagito alla susseguente compressione Appenninica, prima innalzando le strutture pre-esistenti e quindi piegando con esse anche la sequenza Pliocenica. La zona, come quasi tutto il territorio padano, è stata investigata tramite perforazioni petrolifere e tecniche esplorative superficiali (sismica a riflessione). La massima profondità raggiunta da queste indagini ha consentito di investigare le serie Paleoceniche-Eoceniche, consentendo quindi di evidenziare le serie in facies di "scaglia rossa". La presenza di tali litologie testimonia un regime di deposizione pelagico, di mare aperto. Durante il Miocene, l'area ha continuato ad essere un ambiente deposizionale di tipo marino, interessato da apporti prevalentemente terrigeni grossolani di spessore variabile e talora eccezionale. I termini miocenici possono raggiungere nella Pianura Padana complessivamente anche i 3000 m; nel Sud milanese tali depositi sono rappresentati solo da materiali ascrivibili al Miocene inferiore sui quali giacciono trasgressivi i sedimenti grossolani pliocenici. La Pianura Padana durante il Pliocene rappresentava un ambiente deposizionale di tipo marino, ovvero un ampio braccio di mare che partendo dal margine meridionale delle Alpi ricopriva completamente l'attuale pianura e buona parte delle aree ove attuale si rilevano le propaggini settentrionali dell'Appennino. I depositi plioceni, costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie alle quali si associano lateralmente depositi argillosi più o meno marnosi, sono stati più volte sollevati durante il Pleistocene inferiore. Sempre durante il Pleistocene, alle fasi di innalzamento subite dal substrato è seguita una fase di consistente subsidenza che portò le alluvioni pleistoceniche ad eliminare completamente la complessa struttura del sottosuolo padano. Con il Quaternario la subsidenza inizialmente si accentua: il dominio marino si estende maggiormente andando ad interessare i margini di bacino padano non ancora interessati dalla sedimentazione; successivamente si sviluppa un'evoluzione importante del fenomeno in atto (infossamento differenziato del substrato), che porta il bacino padano ad assumere

**Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paulese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)**

**Relazione geotecnica generale**

una morfologia caratterizzata da alti e bassi strutturali. Nel Quaternario padano si possono distinguere due serie stratigrafiche: una più superficiale, continentale e una più profonda, marina; la prima si caratterizza per l'intensa fase erosiva e per i consistenti depositi terrigeni alluvionali (fase post - glaciale Olocenica), la seconda per l'inizio della fase regressiva subita dal "mare padano" e per la sedimentazione dei depositi fluvio-lacustri, deltizi e di pianure costiere su parte della pianura (Pleistocene inferiore). Alle due serie stratigrafiche, come limite di demarcazione delle suddette successioni, deve essere aggiunta una terza serie che ha interessato il territorio durante il Pleistocene: la serie delle successioni glaciali, note in letteratura con i nomi di Gunz, Mindel, Riss e Würm. Le litofacies presenti nei depositi quaternari risultano estremamente mutevoli, con frequenti fenomeni di eteropia e discordanza: i litotipi predominanti sono rappresentati da ghiaie, sabbie e limi con la presenza di alcuni livelli torbosi. Secondo la cartografia geologica ufficiale (Foglio "Milano" della Carta Geologica Italiana alla scala 1:100.000, la "Carta geologica della Lombardia" alla scala 1:250.000), i terreni di pertinenza dell'opera sono sicuramente attribuibili alle due fasi più recenti ed in particolare a quella Olocenica.

## 5 DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DEL TRACCIATO

### 5.1 SITUAZIONE STRATIGRAFICA

La stratigrafia dei terreni di fondazione in corrispondenza della S.S. 415 "Paullese", II° Lotto - 1° stralcio, fino alle massime profondità indagate (35-36 m dal p.c.) è stata definita nelle precedenti fasi di progetto sulla base dei risultati della campagna geognostica eseguita nel 2002 e della campagna geognostica per la Progettazione esecutiva della Tangenziale Est Esterna di Milano nel 2009.

L'andamento stratigrafico è caratterizzato dalla presenza, al di sotto del terreno agrario superficiale, di spessore variabile da circa 1 a 2 m, di una alternanza di sabbie con limo e argilla e sabbie limose con ghiaia per i primi 10 m dal p.c., passanti, a profondità maggiori, a ghiaie con sabbie e limo. In linea generale si rileva un miglioramento delle caratteristiche meccaniche e di resistenza del terreno con la profondità.

### 5.2 CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

Per la definizione dell'assetto della circolazione idrica sotterranea nell'ambito della tratta parte dei fori di sondaggio furono attrezzati con piezometri del tipo a tubo aperto e con cella tipo Casagrande. Le tabelle seguenti riportano le letture piezometriche eseguite nel periodo 2002-2010.

Tabella 5.1 - Sondaggi Paullese: letture piezometriche

CODICE	QUOTA (m s.l.m.)	TIPO PIEZOMETRO	DATA INSTALLAZIONE	PROGRESSIVA CHILOMETRICA	TRATTO DRENANTE (m dal p.c.)	DATA LETTURE	LIVELLO FALDA (m dal p.c.)	QUOTA FALDA (m s.l.m.)
S 3	99,20	Tubo aperto	17/01/02	10+970	19,50-20,00	17/01/02	4,90	94,30
						03/11/03	4,50	94,70
						02/05	4,90	94,30
S 4	98,10			11+250				
S 5	98,90			11+700				
S 6	97,60	Tubo aperto	22/01/02	13+650	6,00-15,00	22/01/02	7,20	90,40
						03/11/03	8,90	88,70
						02/05	7,20	90,40
S D	99,20	Casagrande	07/03/2002	10+530	14,50-15,50	7/03/02	4,90	94,30
						03/11/03	3,90	95,30
						02/05	4,50	94,70
S E	97,50	Casagrande	19/03/2002	13+860	15,50-16,50	19/03/02	7,00	90,50
						03/11/03	6,60	90,90
						02/05	7,10	90,40

**Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)**

**Relazione geotecnica generale**

Tabella 5.2 - Sondaggi TEEM: letture piezometriche

CODICE	QUOTA	Tipo piez.	Data install.	DATE LETTURE									Quota assoluta p.c. m s.l.m.m.
				ott. 09	nov. 09	dic. 09	gen.10	febr.10	mar.10	apr.10	mag.10	giu. 10	
L3-S16	96.34	tubo aperto	13/09/09	4.3	4.24	4.14	4.01	4.09	4.16	4.25	4.30	4.36	92.3
L4-S1	96.07	tubo aperto	04/10/06	4.85	4.82	4.9	4.80	4.82	4.85	4.84	4.89	4.92	91.3
L4-S2	96.06	tubo aperto	06/10/09	5.34	5.22	5	4.93	4.98	5.12	5.25	5.34	5.43	91.1

L'assetto idrogeologico complessivo del sottosuolo della Provincia di Milano è molto ricco di acque che impregnano a varie profondità gli strati permeabili della coltre alluvionale. Le ricerche effettuate nelle aree prossime alla zona d'interesse per la realizzazione dell'opera (sono state eseguite indagini fino a circa 700 m di profondità) hanno evidenziato la presenza di una Unità idrogeologica superficiale, a volte compartimentata per la presenza di livelli di argilla con continuità laterale variabile, di spessore variabile da un minimo di 70 m a Nord ad un massimo di 100 m verso Ovest, in cui gli strati a maggiore permeabilità sono essenzialmente costituiti da ghiaia e sabbia, e di una Unità idrogeologica profonda costituita da una successione, pur con spessori molto variabili, di sedimenti del Quaternario marino e di una "litozona ghiaiosa-sabbiosa" con intercalazioni argillose, riferibili al quaternario continentale, che ha alla base una "litozona argillosa", attribuita al Pliocene medio, con profondità variabile, che costituisce lo strato impermeabile.

L'area di competenza della S.S. 415 "Paullese" presenta caratteristiche idrogeologiche unitarie, con saturazione da falda freatica a pochi metri di profondità. La presenza di una falda freatica superficiale nel sottosuolo padano è alimentata dalla filtrazione attraverso le formazioni pedemontane superficiali permeabili fino al substrato pliocenico. Lo studio idrogeologico del territorio ha evidenziato un andamento piuttosto blando e tabulare delle superfici piezometriche lontane dalle aree golenali, mentre una maggiore inclinazione delle stesse si può rilevare in corrispondenza degli alvei fluviali, che costituiscono le principali strutture drenanti dell'area. Uno studio più approfondito, realizzato a scala regionale, indica come gran parte delle risorse idriche sotterranee locali confluiscono nel fiume Adda e/o nei suoi affluenti. Nell'area in oggetto le linee di flusso tendono ad assumere un andamento suborizzontale e perlopiù subparallelo al corso dell'Adda.

Ai fini progettuali, essendo il livello di falda alquanto variabile e condizionato dalla natura litologica degli strati più superficiali e dagli afflussi, la soggiacenza della falda è stata assunta a circa 2 m dal p.c.

## 6 MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO

Come discusso nei paragrafi precedenti, lo studio geotecnico ha avuto come finalità la classificazione e caratterizzazione dei depositi presenti nell'area. Con riferimento a questo ultimo aspetto, il profilo geologico-tecnico riporta i confini tra le varie unità stratigrafiche, definiti sulla base delle indagini. In corrispondenza delle verticali di sondaggio è stato inoltre riportato il numero di colpi misurati durante l'esecuzione delle prove SPT.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica dei litotipi presenti ed i parametri geotecnici caratteristici.

### 6.1 SABBIE LIMOSE, LIMI, GHIAIE CON SABBIA

Trascurando i primi 1÷2 m superficiali di terreno agrario, la stratigrafia di calcolo assunta in fase di progettazione consta di 3 distinte unità geotecniche, caratterizzate dai seguenti parametri geotecnici caratteristici, definiti sulla base dei dati attualmente disponibili:

#### Unità 1:

- Profondità:  $z = 2\div 10$  m
- Peso unità di volume:  $\gamma = 18\div 19$  kN/m<sup>3</sup>
- Angolo di attrito interno:  $\varphi' = 33^\circ$
- Coesione drenata:  $c' = 0$  kPa
- Modulo elastico:  $E = 7+4z$  MPa.

#### Unità 2:

- Profondità:  $z = 10\div 17$  m
- Peso unità di volume:  $\gamma = 18\div 19$  kN/m<sup>3</sup>
- Angolo di attrito interno:  $\varphi' = 36^\circ$
- Coesione drenata:  $c' = 0$  kPa
- Modulo elastico:  $E = 7+4z$  MPa.

#### Unità 3:

- Profondità:  $z = > 17$  m
- Peso unità di volume:  $\gamma = 18\div 19$  kN/m<sup>3</sup>
- Angolo di attrito interno:  $\varphi' = 36^\circ$
- Coesione drenata:  $c' = 0$  kPa
- Modulo elastico:  $E = 80$  MPa.

**Lavori di riqualifica e potenziamento della S.P. EX S.S. 415 "Paullese" - 2° Lotto - 1° Stralcio tratto "A" da S.P. 39 "Cerca" alla progr. Km 12+476 (Intersezione TEEM)  
Relazione geotecnica generale**

Per i calcoli eseguiti nel seguito, il livello di falda è stato assunto a -2 m dal piano campagna.

Infine, ai fini della caratterizzazione sismica il terreno di fondazione, sulla base di quanto evidenziato dalla caratterizzazione geotecnica delle indagini esistenti, può essere classificato di categoria "C".

## 7 PROBLEMATICHE DI LIQUEFAZIONE

La normativa vigente (punto 7.11.3.4.2. delle NTC2018) recita che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{ciN} > 180$  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  $q_{ciN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici indicati nella figura 7.11.1 delle NTC2018.

Nel sito in esame i livelli di PGA calcolati in accordo alla normativa vigente, considerando vita nominale dell'opera  $V_N = 50$  anni, classe d'uso III, coefficiente d'uso  $C_u = 1,5$  e categoria di terreno "C" è pari a 0.073g.

Pertanto la verifica a liquefazione può essere omessa in quanto la condizione 1 è soddisfatta.

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVE E RIFERIMENTI .....</b>	<b>2</b>
2.1	NORMATIVA.....	2
2.2	DOCUMENTI PROGETTUALI.....	2
<b>3</b>	<b>INDAGINI ESEGUITE.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DEL TRACCIATO .....</b>	<b>6</b>
5.1	SITUAZIONE STRATIGRAFICA .....	6
5.2	CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA.....	6
<b>6</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO.....</b>	<b>8</b>
6.1	SABBIE LIMOSE, LIMI, GHIAIE CON SABBIA .....	8
<b>7</b>	<b>PROBLEMATICHE DI LIQUEFAZIONE.....</b>	<b>10</b>