



*Il Commissario Straordinario  
delegato all'attuazione degli interventi  
di mitigazione del rischio idrogeologico*



**Regione  
Lombardia**



**Parco Regionale  
Valle del Lambro**

**Comuni di Inverigo (CO), Nibionno (LC) e Veduggio con Colzano (MB)**



Oggetto

## **AREA DI LAMINAZIONE DI INVERIGO**

**INTERVENTI IDRAULICI E DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE NEI TERRITORI DI  
INVERIGO, NIBIONNO E VEDUGGIO CON COLZANO**

## **PROGETTO DEFINITIVO**

### **RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA**



PARCO REGIONALE DELLA  
VALLE DEL LAMBRO

Via Veneto 19  
TRIUGGIO

web: [www.parcovalldelambro.it](http://www.parcovalldelambro.it)  
web: [www.progettolambro.it](http://www.progettolambro.it)



Progettazione e Consulenze

Progettazione Idraulica: prof.ing. Maurizio ROSSO - ing. Santo LA FERLITA

Progettazione Strutturale: ing. Piergiorgio LOCATELLI - ing. Nicola NAVA

Consulenza Ambientale: arch. Moris LORENZI

Consulenza Geologica: dott. geol. Pietro ALBORGHETTI

Assistenza Grafica: arch. Massimo NEGRI

| VERSIONE N° | DATA        | DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI | Elaborato |
|-------------|-------------|---|-----------|
| 0           | MAGGIO 2014 | EMISSIONE   | <b>R4</b> |
|             |             |   | Scala     |
|             |             |   | -         |



## RELAZIONE GEOLOGICA

### 1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal Parco Regionale Valle del Lambro con determinazione del 05/02/2014 n. 19, è stata redatta la presente relazione geologica relativa al "*progetto definitivo delle opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"*", relativamente alle opere fondazionali.

In particolare secondo i dettami della norma vigente (D.M. 14.01.2008) il presente elaborato è finalizzato a:

- definizione del modello geologico/idrogeologico del sito
- definizione dei parametri geotecnici medi
- definizione dei parametri sismici
- verifica della compatibilità geologica di quanto in progetto rispetto alla Classe di Fattibilità geologica comunale ed ai vincoli di natura geologica presenti.

Per l'espletamento dell'incarico, le indagini e verifiche eseguite sono state le seguenti:

- analisi della bibliografia geologica relativa all'ambito di progetto ed a un suo intorno significativo, con particolare riferimento allo *Studio Geologico comunale di Inverigo*
- rilevamento geologico e geomorfologico dei luoghi
- esecuzione di n°2 prove penetrometriche dinamiche
- interpretazione ed elaborazione dei dati.

Si specifica che il presente elaborato non contempla le verifiche ed i calcoli di natura idraulica relativi al Fiume Lambro, in quanto esulano dall'incarico conferito.

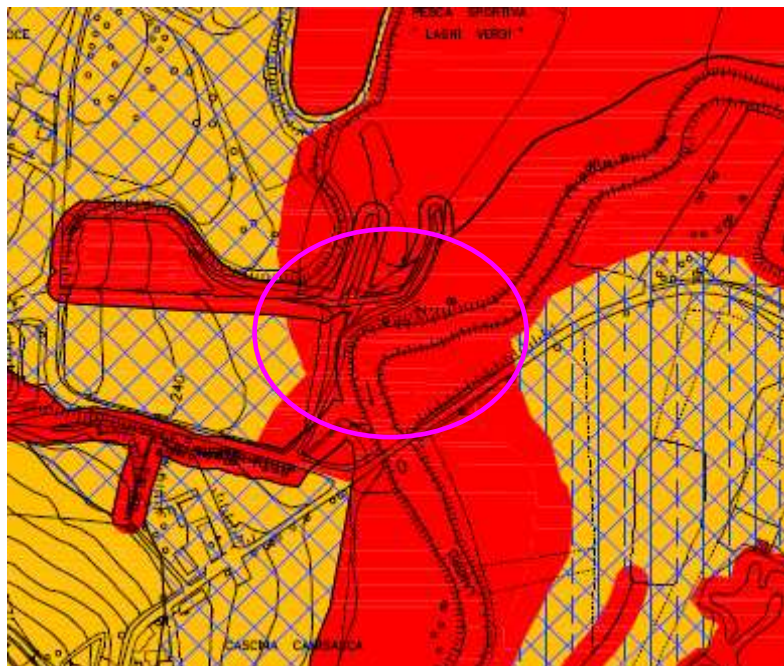
Per quanto riguarda tali aspetti, compreso la definizione di compatibilità idraulica dell'opera rispetto alla Normativa del Pai e quindi alla Classe 4 di fattibilità geologica, si rimanda agli elaborati redatti dalla società incaricata.



## 2. ANALISI DELLA VINCOLISTICA DI NATURA GEOLOGICA

L'area progettuale del ponte ciclopeditonale ricade nella *Classe 4 di Fattibilità Geologica* del Pgt di Inverigo, in quanto posta nelle fasce A e B di esondazione del PAI. Nello specifico l' *art. 38 delle Nta del Pai - Interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico*, al comma 3 riporta quanto segue: "le nuove opere di attraversamento, stradale o ferroviario, e comunque delle infrastrutture a rete, devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino". Pertanto rispetto a tali aspetti, come premesso, si rimanda agli elaborati e verifiche redatti dalla società incaricata.

**Stralcio della "Carta della Fattibilità Geologica allegata al Pgt di Inverigo"**



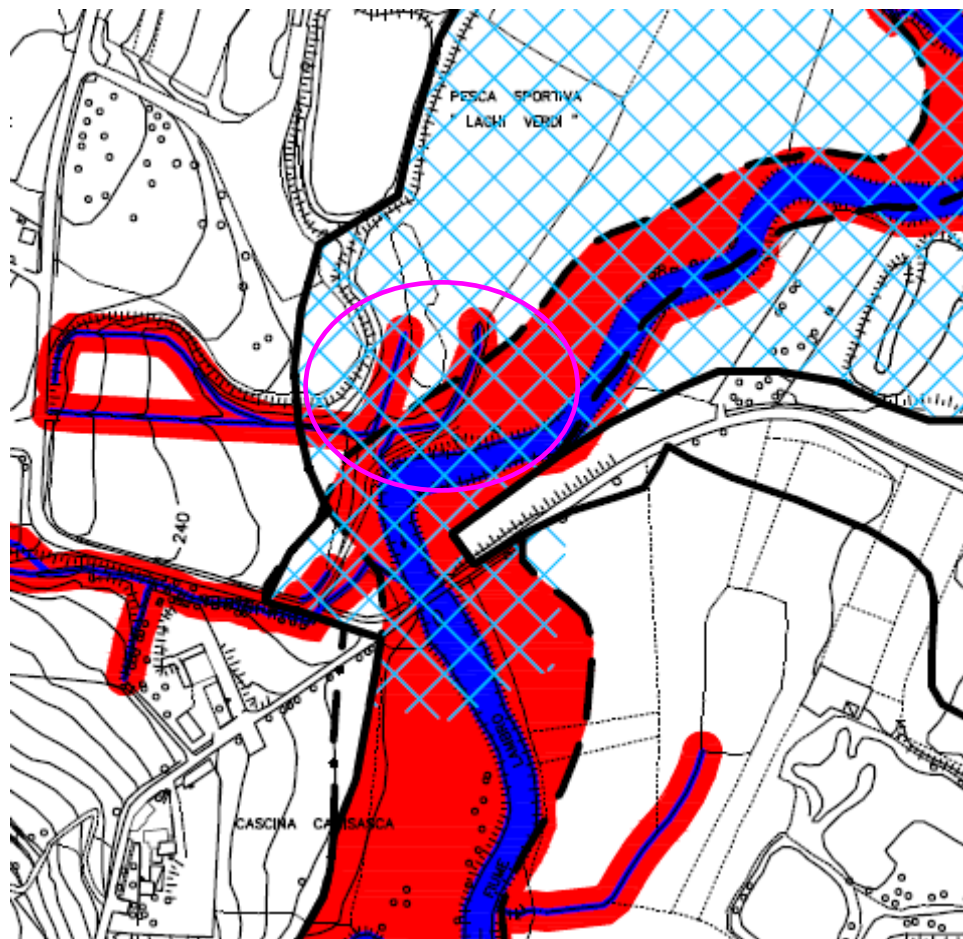
CLASSE 4 - FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI



CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI  
SOTTOCLASSE 3D



**Stralcio della "Carta dei vincoli allegata al Pgt di Inverigo"**



Fascia di rispetto elementi idrografici

Fasce Fluviali come presenti nel Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)



Fascia A



Fascia B



Fascia B di progetto



Fascia C

Vincoli PTR - Progetto Lambro -  
Area di Laminazione di Inverigo



Area di esondazione prevista



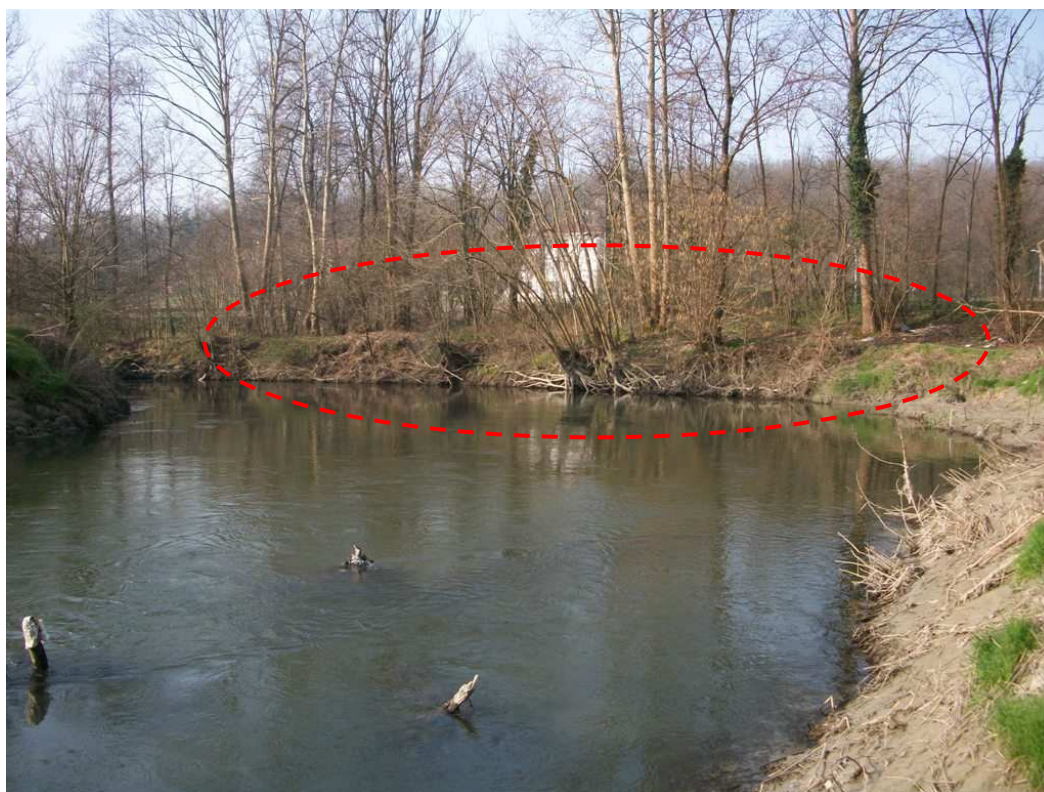


### 3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

L'area di progetto del ponte ciclopeditonale si colloca nella Valle di Inverigo a monte del ponte delle Fornacette, alla quota media di 234 m s.l.m.,

Dal punto di vista morfologico, l'ambito progettuale si colloca in corrispondenza di un'ansa fluviale del Fiume Lambro, all'interno della piana di origine glaciolacustre.

Dai rilievi geologici in sito è stato verificato che in sponda idrografica destra (esterna), si osserva un fenomeno erosivo laterale, come visibile nella fotografia sotto riportata.



In rosso la zona di erosione laterale della sponda.

Dal punto di vista geologico la zona è caratterizzata dalle seguenti unità geologiche:  
(la descrizione delle unità è estratta dallo Studio geologico per il Pgt di Inverigo)

**Depositi alluvionali:** rappresentano i depositi dei materiali trasportati ed elaborati dalle acque correnti, sono costituiti da accumuli di ciottoli e ghiaie più o meno arrotondati con locali intercalazioni di lenti sabbiose; di spessore contenuto e con scarsa estensione areale. Si



ritrovano principalmente lungo il corso del Fiume Lambro, nella parte orientale del territorio comunale.

**Depositi glaciolacustri attuali e recenti:** i depositi lacustri sono caratterizzati dalla presenza di depositi a granulometria fine, a comportamento coesivo, costituiti prevalentemente da argille, argille limose e limi argillosi, a volte laminati e con possibili intercalazioni con livelli torbosi.

**Formazione del "Ceppo":** è costituita da conglomerati cementati di originaria deposizione fluviale, formati da ghiaie e sabbie in lenti, con intercalazioni limose e sabbioso-limose più o meno abbondanti e con grado di cementazione variabile. Localmente si possono rinvenire livelli sciolti. Il "Ceppo" affiora in corrispondenza dei versanti delle incisioni vallive più importanti della zona, come ad originare le scarpate che degradano verso il Fiume Lambro, nella parte centrale del territorio comunale.

**Argille sotto il "Ceppo":** identificano i depositi argilloso-limosi, di origine marina, di età prequaternaria. Si tratta di argille plastiche di colore azzurro, sfruttate in passato in alcune cave. Le argille sotto il Ceppo affiorano in alcune zone alla base del Conglomerato del Ceppo lungo le scarpate che degradano verso la Valle del Lambro. Sono state inoltre ritrovate a profondità pari a circa 30-40 m dal p.c. in alcune perforazioni profonde eseguite in Valsorda sepolte sotto ghiaie e sabbie e depositi lacustri limoso-argillosi di età quaternaria.

**Substrato roccioso prequaternario:** rappresenta il substrato roccioso affiorante o sub-affiorante presente nella porzione settentrionale del territorio comunale al confine con Lambrugo.

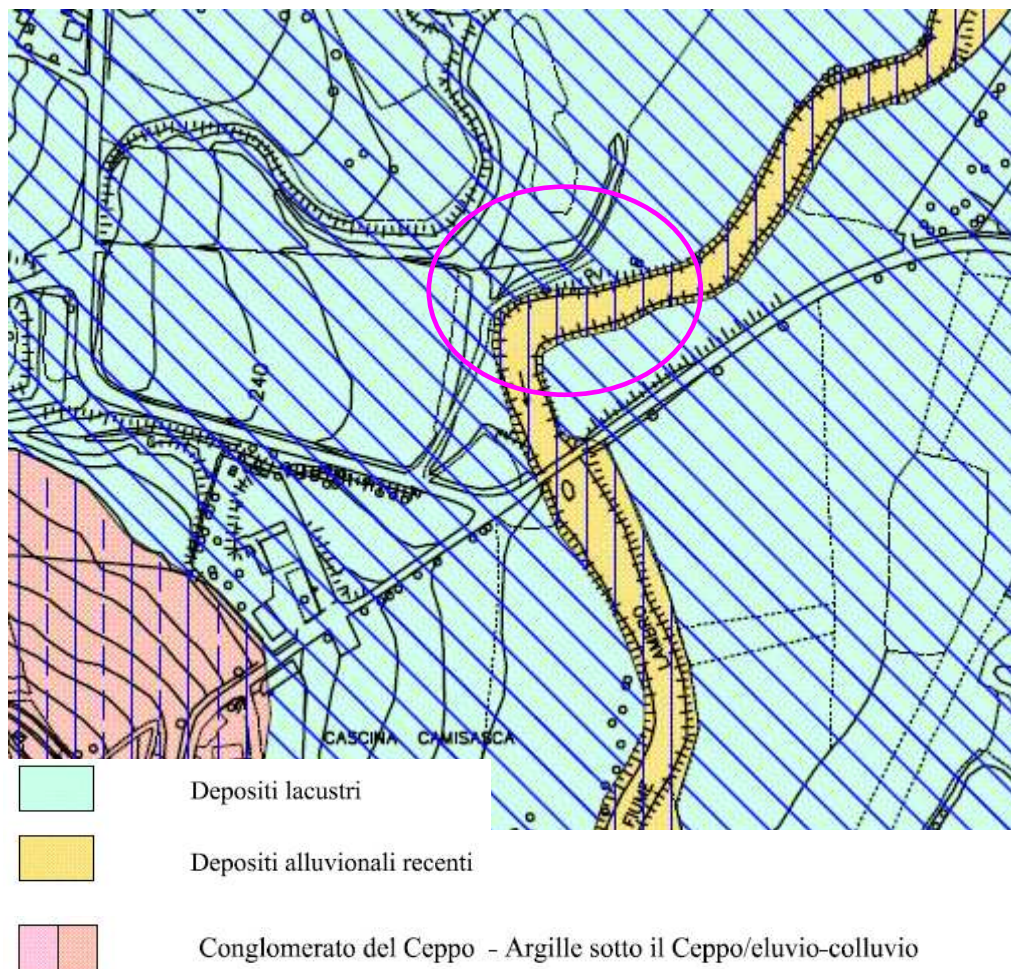
Si tratta di alternanze di arenarie rossastre chiare e puddinghe calcaree e silicee cementate da calcare grigio plumbeo. Presentano una consistenza da lapidea a quasi lapidea con uno strato superficiale alterato e meno compatto. Questi sedimenti si sono formati in ambiente marino durante il periodo Cretacico.

Di seguito si riporta lo stralcio della Carta geologica ed una sezione geologica interpretativa, allegate al Pgt di Inverigo

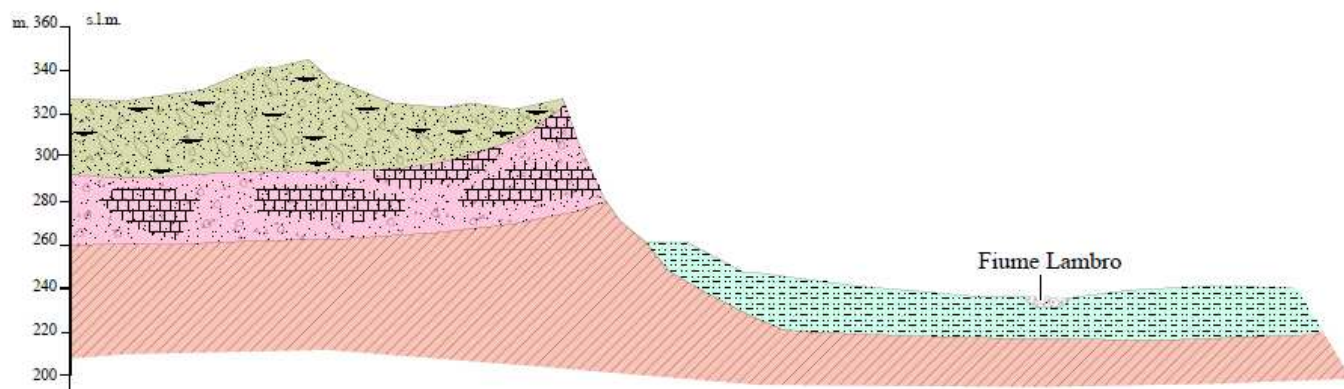




### Stralcio della "Carta geologica allegata al Pgt di Inverigo"



### Stralcio "Sezione geologica interpretativa" allegata al Pgt di Inverigo"





## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"

### Progetto Definitivo

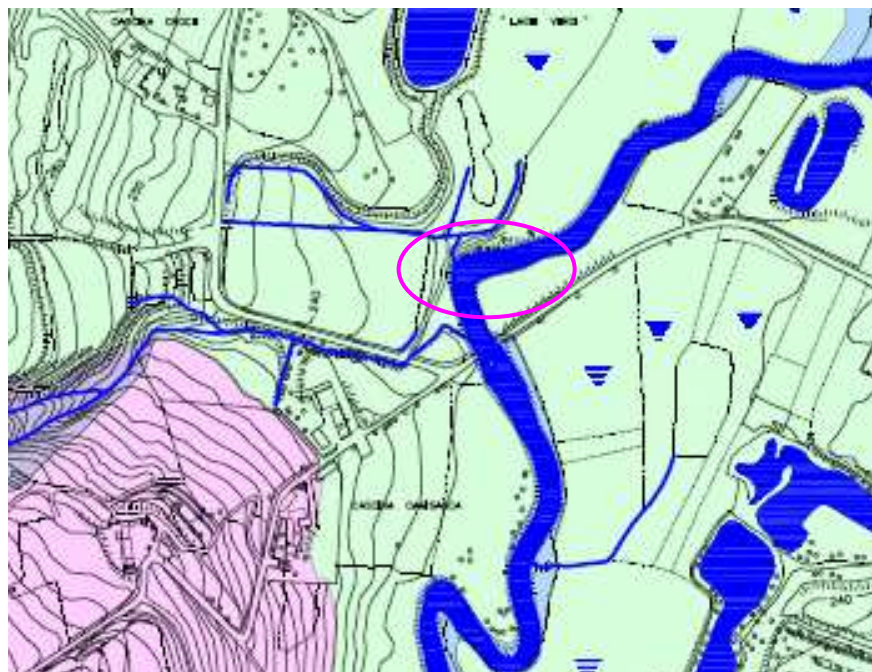
Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

Dal punto di vista idrogeologico, dalle prove eseguite è stato riscontrato che il livello piezometrico della falda freatica si colloca a -1,1 m da p.c. in sponda idrografica destra e a -2,4 m in sponda sinistra, in quanto topograficamente più elevata (misure effettuate in data 14.03.2014).




I depositi alluvionali recenti presentano una permeabilità *medio alta*, con coeff.  $K > 10^{-4}$  cm/s, mentre i sottostanti depositi glacialacustri presentano una permeabilità *bassa*, con coeff.  $K < 10^{-6}$  cm/s

Di seguito si riporta lo stralcio della carta idrogeologica allegata al Pgt di Inverigo.

### Stralcio della "Carta idrogeologica allegata al Pgt di Inverigo"



#### DEPOSITI SUPERFICIALI

|   |  |
|---|--|
|  | Permeabilità medio - alta $K > 10^{-4}$ cm/sec                     |
|  | Permeabilità medio - bassa $10^{-6}$ cm/sec $< K < 10^{-4}$ cm/sec |
|  | Permeabilità bassa $K < 10^{-6}$ cm/sec                            |





#### 4. INDAGINI IN SITO

Allo scopo di definire le caratteristiche stratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo nell'area di progetto, sono state eseguite n° 2 Prove *Penetrometriche Dinamiche* S.C.P.T. sulle due sponde del Fiume Lambro, in corrispondenza delle pile di appoggio della struttura.

##### Caratteristiche e attrezzatura utilizzata

###### Sonda: PAGANI TG 73/100

|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| Rif. Norme                      | DIN 4094              |
| Peso Massa battente             | 73 Kg                 |
| Altezza di caduta libera        | 0,75 m                |
| Peso sistema di battuta         | 0,63 Kg               |
| Diametro punta conica           | 51,00mm               |
| Area di base punta              | 20,43 cm <sup>2</sup> |
| Lunghezza delle aste            | 0,9 m                 |
| Peso aste a metro               | 5,58 Kg/m             |
| Profondità giunzione prima asta | 0,30 m                |
| Avanzamento punta               | 0,30 m                |
| Numero max colpi per punta      | N (50)                |
| Coeff. Correlazione             | 1,156                 |
| Rivestimento/fanghi             | No                    |
| Angolo di apertura punta        | 60°                   |



La prova consiste nel misurare il numero dei colpi (NSCPT) necessari all'infissione delle aste (diametro 34 mm) per un intervallo pari a 30 centimetri (N/colpi/piede) seguite dai tubi di rivestimento D. 48 mm per evitare attrito tra aste e terreno (e per l'avanzamento dei quali si registra il numero dei colpi necessario all'avanzamento).



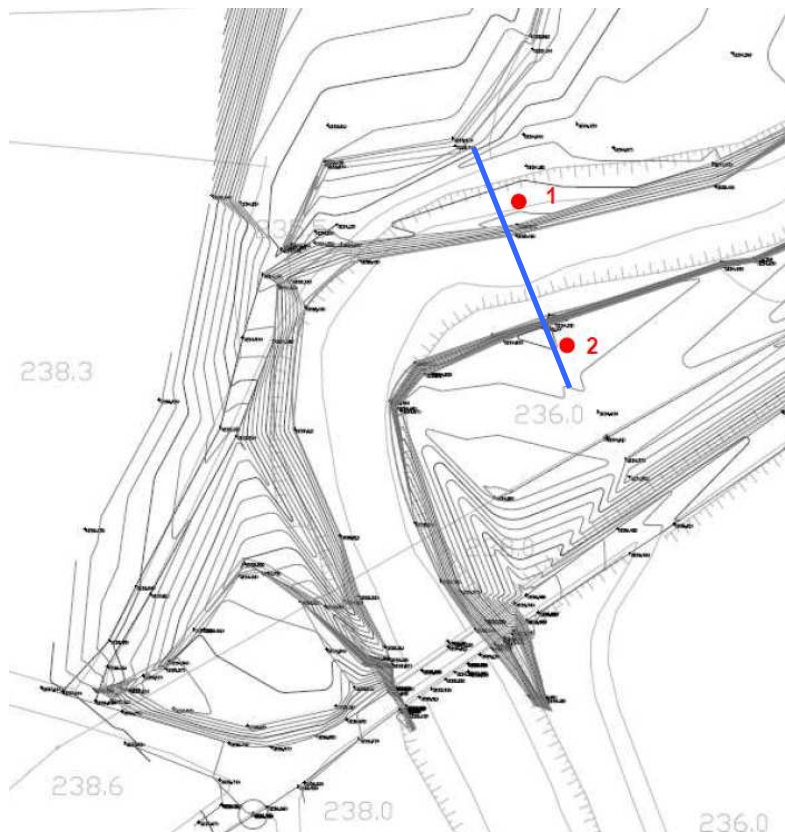
## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"  
**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

Di seguito si riporta l'ubicazione delle prove eseguite

● Prove penetrometriche dinamiche      — Sezione geologica interpretativa







## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

*Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"*

**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo



- Esecuzione della prova n. 1 in sponda idrografica destra –



- Esecuzione della prova n. 2 in sponda idrografica sinistra –





Di seguito si riporta la sintesi dei risultati delle prove penetrometriche eseguite, i diagrammi e la definizione dei parametri geotecnici medi dei terreni investigati.

### Prova penterometrica n. 1

| Strato                                | Profondità (m) |
|---------------------------------------|----------------|
| 1: sabbie limose                      | 0.0-2,40       |
| 2: sabbie debolmente limose           | 2,40-4,80      |
| 3: argilla grigia debolmente sabbiosa | 4,80-9,00      |
| 4 argilla grigia plastica             | 9,00-10,50     |
| 5: argilla grigia compatta            | 10,50-11,70    |
| 6: argilliti                          | 11,70-12,30    |

Lo strato 6 si estende per decine di metri in profondità dalla quota di rifiuto riscontrata dalle prove

### Prova penterometrica n. 2

| Strato                                | Profondità (m) |
|---------------------------------------|----------------|
| 1: sabbie limose                      | 0.0-2,40       |
| 2: sabbie debolmente limose           | 2,40-5,10      |
| 3: argilla grigia debolmente sabbiosa | 5,10-11,10     |
| 4: argilla grigia plastica            | 11,10-12       |
| 5: argilla grigia compatta            | 12-13,80       |
| 6: argilliti                          | 13,80-14       |

Lo strato 6 si estende per decine di metri in profondità dalla quota di rifiuto riscontrata dalle prove

### PARAMETRI GEOTECNICI PROVA N.1

| Strato | Prof. (m)   | Nspt  | Tipo       | Peso di volume (t/m³) | Peso di volume saturo (t/m³) | Angolo di resistenza al taglio (°) | Coesione non drenata (Kg/cm²) | Modulo Edometrico (Kg/cm²) | Modulo Elastico (Kg/cm²) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm²) |
|--------|-------------|-------|------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------|-----------------------------|
| 1      | 0.00-2,40   | 1     | Incoerente | 1,35                  | 1,86                         | 27,29                              | --                            | 41,54                      | 51,20                    | 0,35           | 65,00                       |
| 2      | 2,40-4,80   | 3,25  | Incoerente | 1,46                  | 1,88                         | 27,93                              | --                            | 49,51                      | 58,40                    | 0,35           | 196,83                      |
| 3      | 4,80-9,00   | 4,71  | Coesivo    | 1,74                  | 1,88                         | --                                 | 0,29                          | 21,61                      | 47,10                    | --             | --                          |
| 4      | 9,00-10,50  | 22,6  | Coesivo    | 2,11                  | 2,16                         | --                                 | 1,53                          | 103,69                     | 226,00                   | --             | --                          |
| 5      | 10,50-11,70 | 41,25 | Coesivo    | 2,50                  | 2,50                         | --                                 | 2,78                          | 189,26                     | 412,50                   | --             | --                          |
| 6      | 11,70-12,30 | 65,5  | Incoerente | 2,34                  | 2,50                         | 40,71                              | --                            | 748,02                     | 858,00                   | 0,22           | 3312,69                     |



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

*Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"*

### **Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

#### PARAMETRI GEOTECNICI PROVA N.2

| Strato | Prof. (m)   | Nspt  | Tipo       | Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> ) | Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> ) | Angolo di resistenza al taglio (°) | Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------|-------|------------|--|---|------------------------------------|--|---|---------------------------------------|----------------|--|
| 1      | 0,00-2,40   | 1,12  | Incoerente | 1,36                                     | 1,86  | 27,32                              | --   | 41,96                                   | 51,58                                 | 0,35           | 72,31                                    |
| 2      | 2,40-5,10   | 5,22  | Incoerente | 1,55                                     | 1,89  | 28,49                              | --   | 56,48                                   | 64,70                                 | 0,34           | 307,27                                   |
| 3      | 5,10-11,10  | 3,2   | Coesivo    | 1,65                                     | 1,86  | --                                 | 0,20                                       | 14,68                                   | 32,00                                 | --             | --                                       |
| 4      | 11,10-12,00 | 15,33 | Coesivo    | 2,07                                     | 2,28  | --                                 | 1,04                                       | 70,33                                   | 153,30                                | --             | --                                       |
| 5      | 12,00-13,80 | 42,83 | Coesivo    | 2,50                                     | 2,50  | --                                 | 2,89                                       | 196,50                                  | 428,30                                | --             | --                                       |
| 6      | 13,80-14,40 | 60,5  | Incoerente | 2,29                                     | 2,50  | 44,29                              | --   | 307,83                                  | 798,00                                | 0,23           | 3074,42                                  |



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"

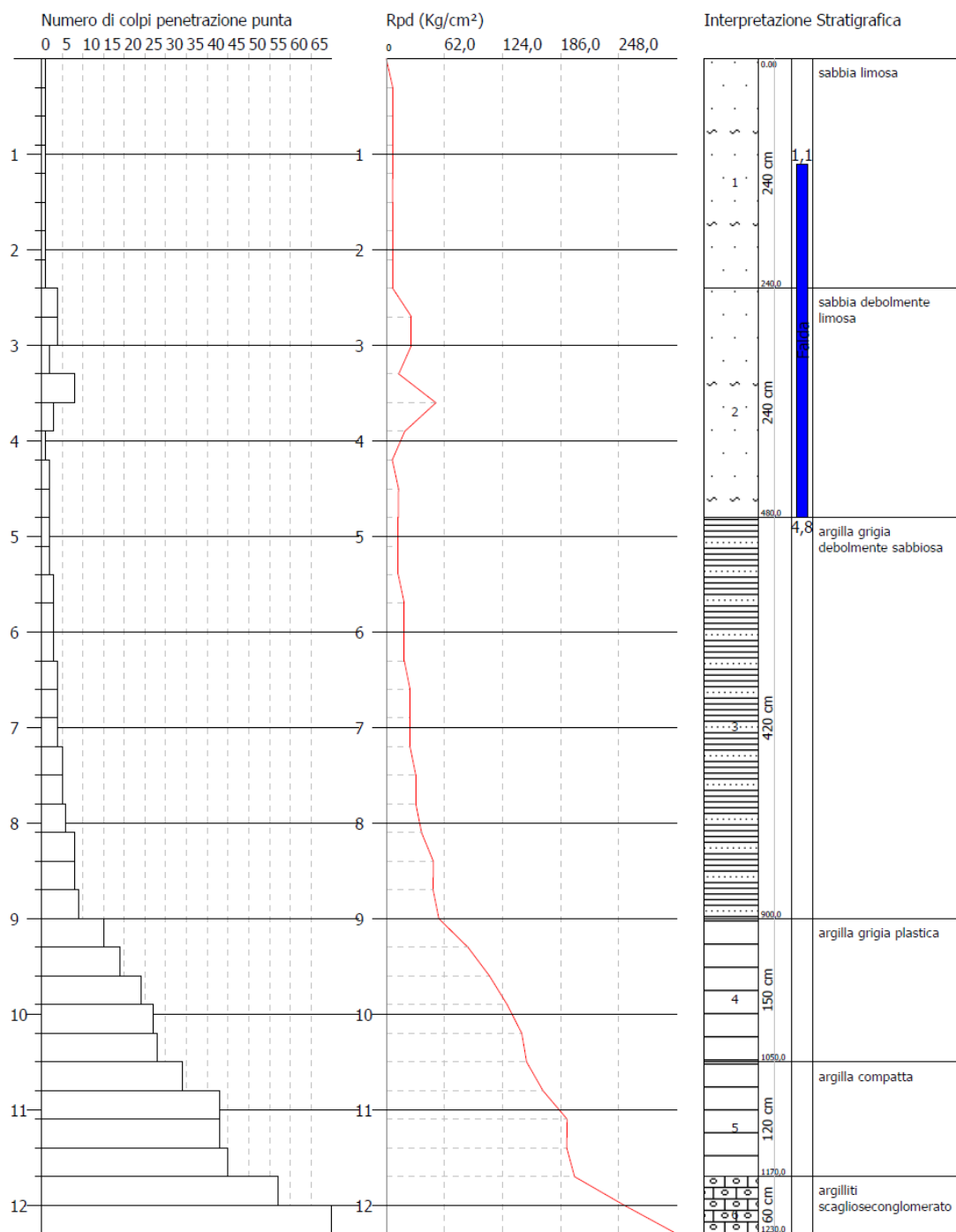
**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... PAGANI TG 73-100

Committente:  
Cantiere: Ponte ciclopedonale  
Località: Inverigo (Co)

Data: 14/03/2014







## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

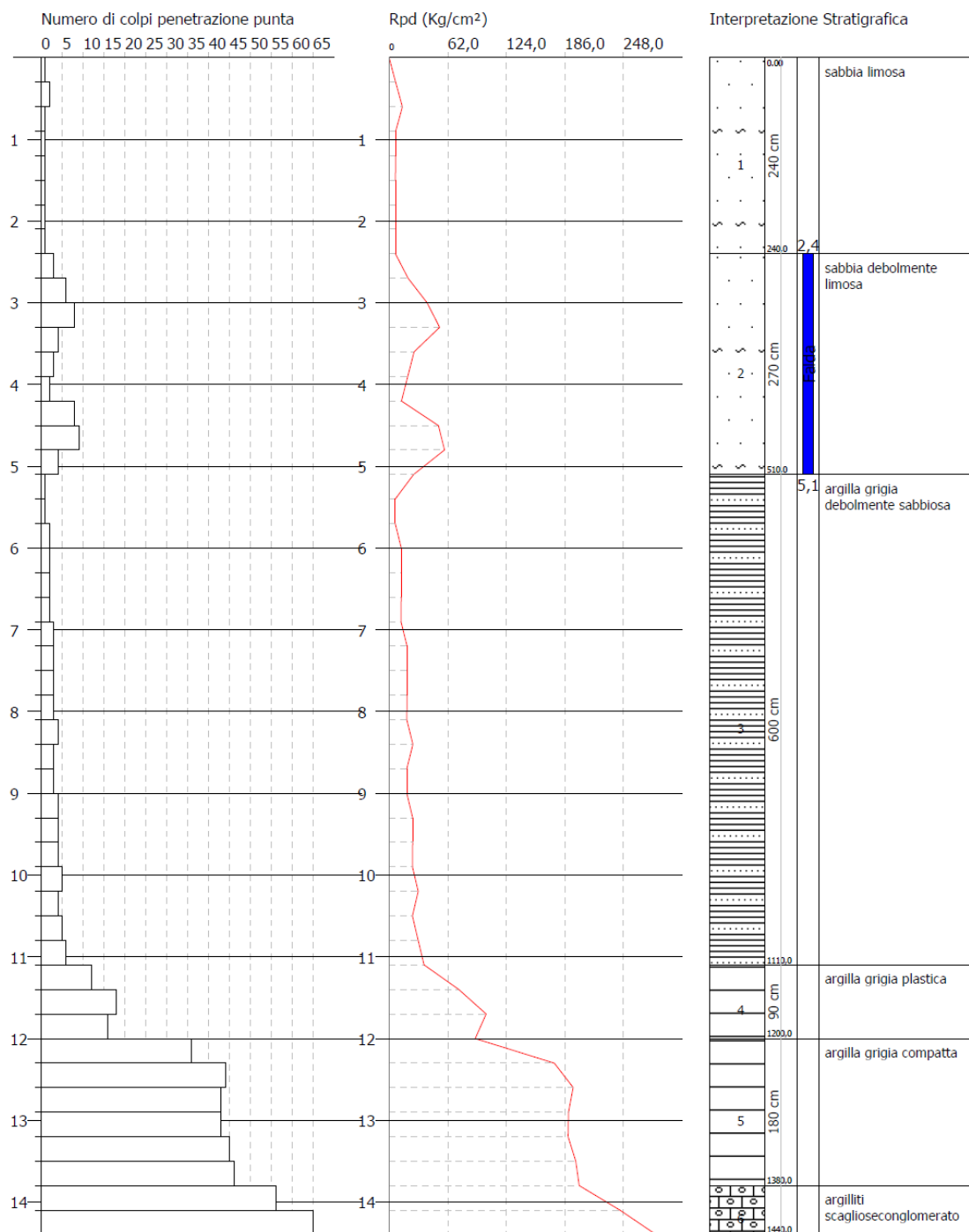
Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"  
**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... PAGANI TG 73-100

Committente:  
Cantiere: Ponte ciclopedonale  
Località: Inverigo (Co)

Data: 14/03/2014





## 5. MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Dalla correlazione delle prove eseguite, è stato definito il modello geologico del sottosuolo del sito progettuale ed i relativi parametri geotecnici medi, come riportato nella seguente tabella.

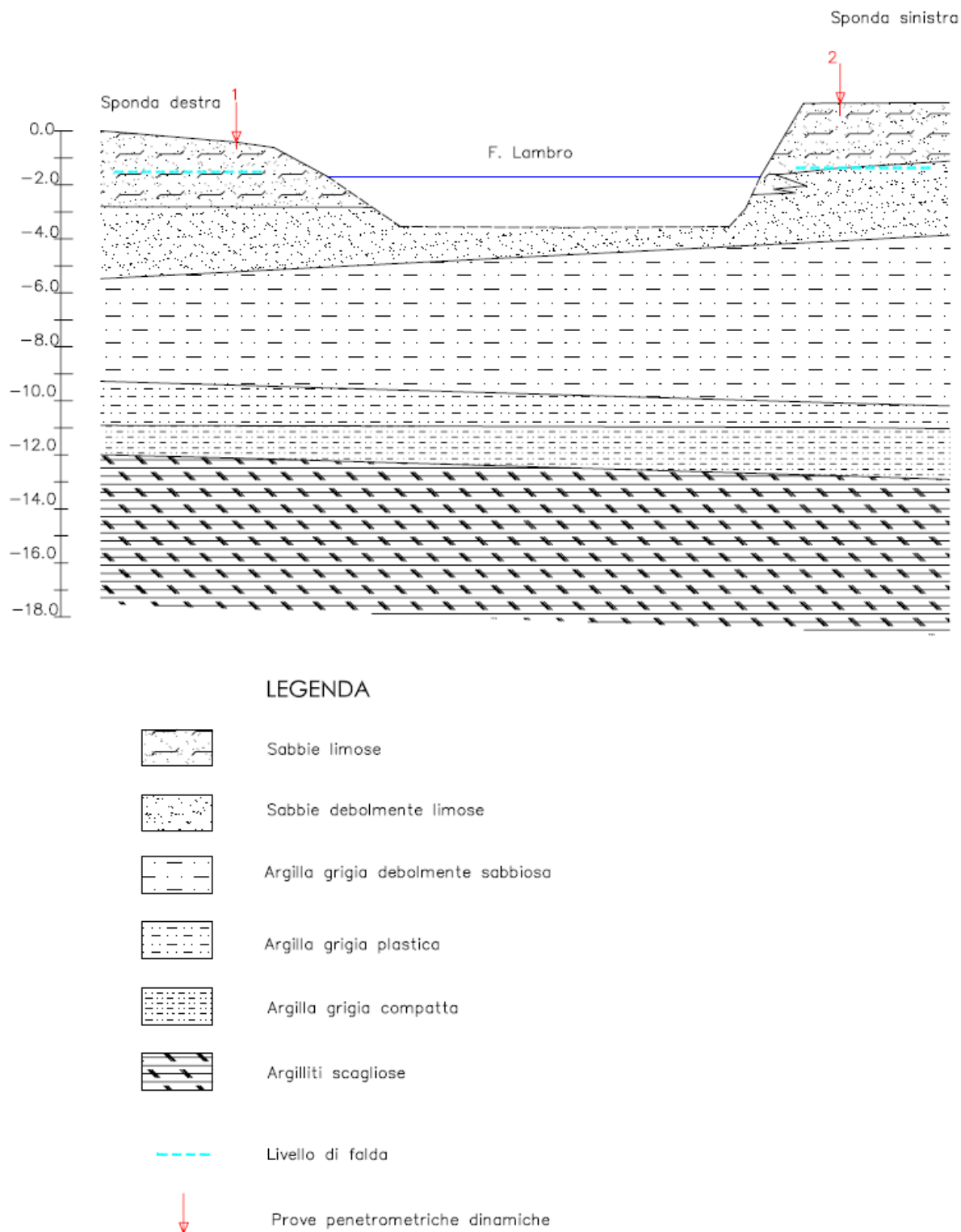
| Strato | Prof. (m)                | Nspt | Tipo                                   | Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> ) | Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> ) | Angolo di resistenza al taglio medio (°) | Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|--------------------------|------|--|--|---|--|--|---|---------------------------------------|----------------|--|
| 1      | da 0.0 a 2.1/2.4         | 1,7  | Incoerente (sabbie limose)             | 1,39                                     | 1,87  | 27                                       | --   | 44,05                                   | 53,47                                 | 0,35           | 107,63                                   |
| 2      | da 2.1/2.4 a 4.8-5.1     | 5    | Incoerente (sabbie deb. limose)        | 1,54                                     | 1,89  | 28                                       | --   | 55,70                                   | 64,00                                 | 0,34           | 295,08                                   |
| 3      | da 4.5/5.1 a 9.0/11.1    | 3,1  | Coesivo (argilla grigia deb. sabbiosa) | 1,64                                     | 1,86  | --                                       | 0,20                                       | 14,32                                   | 31,20                                 | --             | --                                       |
| 4      | da 9.0/11.1 a 10.5/12    | 21,3 | Coesivo (argilla grigia plastica)      | 2,10                                     | 2,13  | --                                       | 1,44                                       | 97,86                                   | 213,30                                | --             | --                                       |
| 5      | da 10.5/12 a 11.7/13.8   | 42,2 | Coesivo (argilla grigia compatta)      | 2,50                                     | 2,50  | --                                       | 2,85                                       | 193,84                                  | 422,50                                | --             | --                                       |
| 6      | da 11.7/13,8 a 12.3/14.4 | 64   | Incoerente (argilliti)                 | 2,32                                     | 2,50  | 40                                       | --   | 731,76                                  | 840,00                                | 0,22           | 3241,32                                  |

Lo strato 6 si estende per decine di metri in profondità dalla quota di rifiuto riscontrata dalle prove  
Falda a -1,1 m da p.c. in sponda destra e a - 2.4 m in sponda sinistra

Di seguito si riporta la sezione geologica dell'ambito progettuale, che schematizza il modello geologico del sito.



## Modello geologico







---

## 6. CARATTERISTICHE SISMICHE

Il comune di Inverigo ove ricade l'opera in progetto è in zona sismica 4.

Al fine della definizione della categoria sismica, è stata eseguita la correlazione tra i dati delle prove penetrometriche effettuate in sito, i dati geognostici relativi a perforazioni eseguite nella zona ed altri dati bibliografici.

Dall'analisi effettuata mediante le correlazioni è stata definita una  $V_{s30}$  variabile tra 176 m/s e 184 m/s, quindi al limite tra le categorie C e D.

Ai fini cautelativi si potrebbe assumere una categoria D.

Tuttavia, dato lo spessore non superiore a 20 m di tali suoli, posti sul substrato di riferimento, la normativa identifica la categoria E.

I parametri sismici di seguito elencati sono restituiti dallo specifico software PS Geostru e sono riportati nella relazione geotecnica (cfr. pag. 30).



## 7. CONCLUSIONI

Di seguito si riassumono i principali punti dell'indagine geologica eseguita:

- l'ambito di progetto si colloca in corrispondenza dell'ansa fluviale posta 70 m circa a monte del ponte della Fornacetta, in un'area pianeggiante di origine alluvionale e glaciolacustre
- le prove penetrometriche eseguite nell'ambito progettuale hanno evidenziato la presenza di strati a scadenti caratteristiche geotecniche sino a circa 9,5 m di profondità. E' stata quindi rilevato un miglioramento dello stato di addensamento sino a circa 12-14 m di profondità, ove sono state riscontrate la presenza di depositi ascrivibili ad argilliti compatte
- la falda freatica è stata riscontrata a -1,1 m da p.c. in sponda idrografica destra e a -2,4 m in sponda sinistra, in quanto topograficamente più elevata (misure effettuate in data 14.03.2014), corrispondenti al livello del Fiume Lambro
- le elaborazioni ed analisi eseguite hanno definito una *categoria sismica di suolo tipo D*

Sulla base delle verifiche eseguite è stato appurata la non idoneità a realizzare fondazioni di tipo diretto superficiali in quanto le unità presenti sino a 10-12 m di profondità presentano scadenti caratteristiche geotecniche. Le pile del ponte ciclopedonale dovranno pertanto essere realizzate con fondazioni indirette, mediante palificazioni.

L'area progettuale ricade nella *Classe 4 di Fattibilità Geologica* del Pgt di Inverigo, in quanto posta nelle fasce A e B di esondazione del PAI. Concordemente a quanto indicato all' *art. 38 delle Nda del Pai - Interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico*, l'opera dovrà essere progettata nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino.

Pertanto rispetto a tali aspetti ed alla definizione di compatibilità dell'opera, come premesso, si rimanda agli elaborati e verifiche di natura idraulica redatti dalla società incaricata.

Dott. Pietro Alborghetti -geologo

Lecco, maggio 2014





## RELAZIONE GEOTECNICA

### 1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal Parco Regionale Valle del Lambro (Det. N. 102 / Reg. Generale N. 87/ Reg. Servizio del 05/05/2014) è stata redatta la presente relazione geotecnica relativa al "progetto definitivo delle opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano", relativamente alle opere fondazionali.

Scopo del lavoro è l'esecuzione delle verifiche geotecniche di fondazioni indirette a mezzo pali di fondazione per la realizzazione della nuova passerella ciclopedonale con paratoie fluviali semoventi in comune di Inverigo (Co) – Località Fornacetta.

#### Normativa

La presente relazione geotecnica è stata prodotta secondo quanto previsto dalla vigente normativa in materia di opere edificatorie e più precisamente:

➤ **D.M. 14/01/2008**

N.T.C. (Norme Tecniche delle Costruzioni)

➤ **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 2 febbraio 2009

➤ **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale - Allegato al voto n°36 del 27/07/2007

➤ **Eurocodice 8**

➤ **Eurocodice 7.1 (1977)**

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. – UNI

➤ **Eurocodice 7.2 (2002)**

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione da prove di laboratorio - UNI

➤ **Eurocodice 7.3 (2002)**

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione da prove in sito – UNI

➤ **Leggi Regionali** in materia di pianificazione e vincolo idrogeologico

➤ **Ordinanze Autorità Leggi Regionali** in materia di pianificazione e vincolo idrogeologico

➤ **Ordinanze** Autorità di Bacino



- **Vita nominale**
- Viene di seguito riportata la vita nominale  $V_N$  della struttura in progetto intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.
- **Tipo di costruzione** : Ponte - Opera Pubblica
- **Vita nominale  $V_n$**  :  $\geq 100$  anni
- **Classi d'uso**
- In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di eventuale collasso, le opere sono suddivise in differenti classi d'uso; per l'opera in progetto si ha:
- **Tipo di costruzione** : Ponte - Opera Pubblica
- **Classe d'uso** : III
- **Periodo di riferimento azione sismica**
- Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  pari a:  $V_R = V_n \times C_u$  dove  $C_u$  è funzione della classe d'uso.
- **Classe d'uso** : III       **$C_u$** : 1,5       **$V_R$** : 150

Riepilogando si ha :

| Tipo di costruzione    | Vita nominale $V_N$ | Classe d'uso | $C_u$ | Periodo di rif. $V_R$ |
|------------------------|---------------------|--------------|-------|-----------------------|
| Ponte - Opera pubblica | $\geq 100$ anni     | III          | 1,5   | 150                   |

L'approccio di calcolo adottato nella presente relazione è, su indicazioni del progettista, quello dello **Stato Limite Ultimo – Approccio 2 (Combinazione unica)** così come previsto delle NTC (D.M. 14/01/2008). L'influenza dell'azione sismica viene valutata utilizzando i parametri sismici sito – dipendenti calcolati per tutto il territorio nazionale dal Ministero LL.PP.





## 2. INDAGINI GEOTECNICHE

Le caratteristiche fisico – meccaniche ed i principali parametri geotecnici utilizzati nei calcoli sono stati desunti da prove geognostiche dirette eseguite in sito per la caratterizzazione geologica dell'area a supporto della relazione geologica ed i cui risultati sono poi stati elaborati ed interpretati per risalire, sia pur indirettamente data la natura delle prove, sia alla probabile successione litologica locale che ai parametri geotecnici più significativi. Alle indagini geognostiche svolte per la caratterizzazione geologica (n° 2 S.C.P.T) sono state aggiunte, per la formulazione di un adeguato modello geotecnico da utilizzarsi nella progettazione esecutiva, ulteriori n° 2 prove penetrometriche dinamiche S.C. P.T..

Le indagini geognostiche, svolte ed acquisite, per la formulazione del modello geotecnico sono:

- N° 2 prove penetrometriche dinamiche a punta conica SCPT utilizzando un penetrometro dinamico pesante DPSH eseguite in data 14/03/2014 (S.C.P.T.1 – S.C.P.T.2)
- N° 2 prove penetrometriche dinamiche a punta conica SCPT utilizzando un penetrometro dinamico pesante DPSH eseguite in data 10/04/2014 (S.C.P.T.3 – S.C.P.T.4)
- Ricognizione freaticometrica all'interno dei fori di prova non attrezzati mediante sondino acustico

In particolare:

### **Prove penetrometriche DPSH**

| S.C.P.T. n° | Profondità raggiunta | Rifiuto alla penetrazione | Falda Idrica       |
|-------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| 1           | 12,30 m.             | Si                        | - 1,10 m. dal p.c. |
| 2           | 14,40 m.             | Si                        | - 2,40 m. dal p.c. |
| 3           | 13,20 m.             | Si                        | - 1,80 m. dal p.c. |
| 4           | 13,80 m.             | Si                        | -2,10 m. dal p.c.  |

### **Caratteristiche tecniche penetrometro**

Per le indagini è stata utilizzata una apparecchiatura penetrometrica standard pesante a sganciamento automatico del maglio e rispondente ai requisiti tecnici previsti dalla normativa A.G.I. e DIN 4094 sugli strumenti di prova; l'attrezzatura è sottoposta alla normale manutenzione ed alla revisione annuale da parte del costruttore. L'operatore è un tecnico abilitato e supportato da un geologo di cantiere. Le principali caratteristiche tecniche sono:

- Peso maglio 73,00 Kg
- Massa passiva 0,63 Kg
- Area punta 20,43 cm<sup>2</sup>
- Volata maglio 75,00 cm
- Angolo punta conica 60°
- Energia specifica per colpo 8,932941 Kg/cm<sup>2</sup>

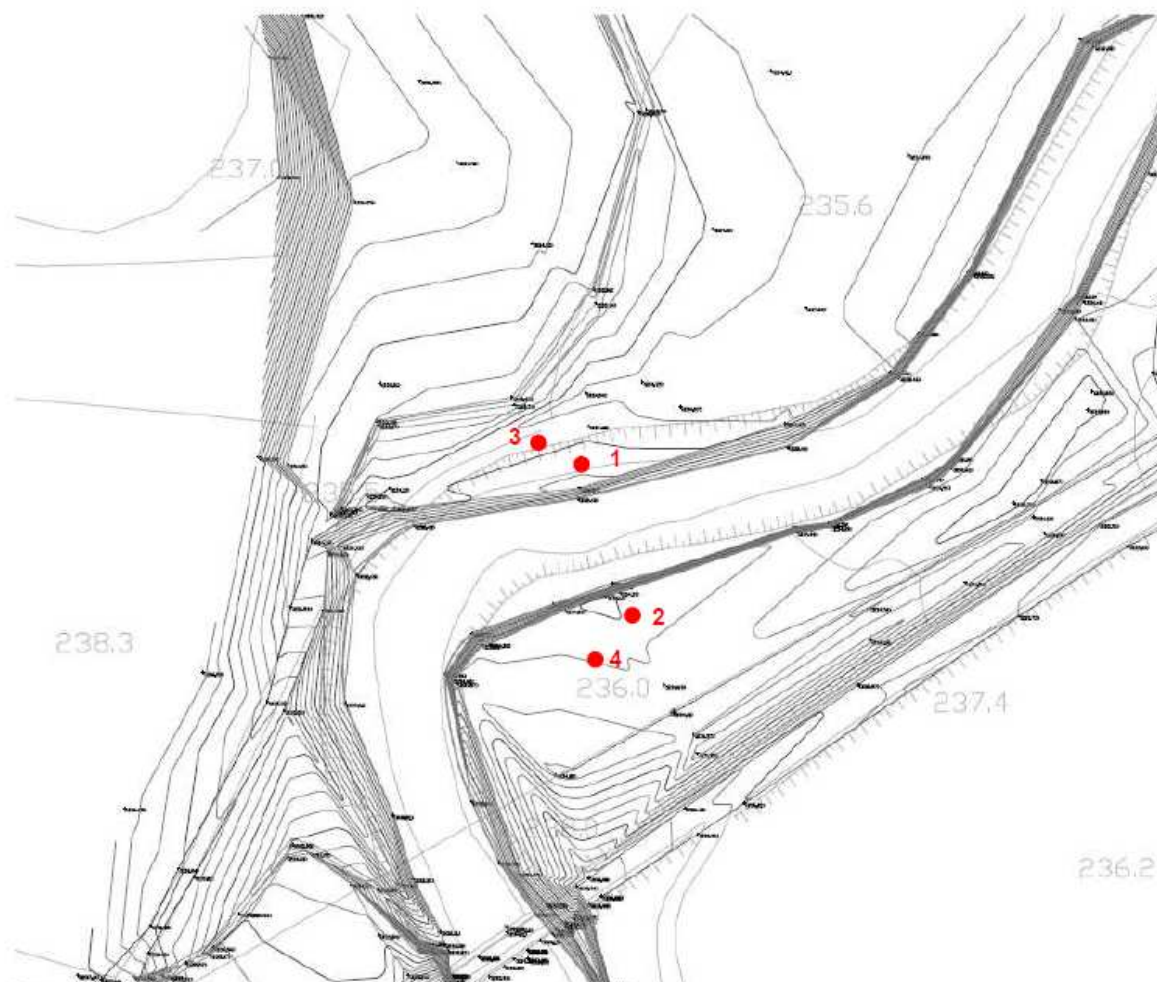


Di seguito si riporta la sintesi dei risultati delle prove penetrometriche n. 3 e n. 4.

I diagrammi delle prove n. 1 e n. 2 sono visibili nella relazione geologica (cfr. pag. 13-14).

### Ubicazione indagini geognostiche

● Prove penetrometriche







## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

*Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"*

**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo



-Esecuzione della prova n. 3 in sponda idrografica destra-



- Esecuzione della prova n. 4 in sponda idrografica sinistra -



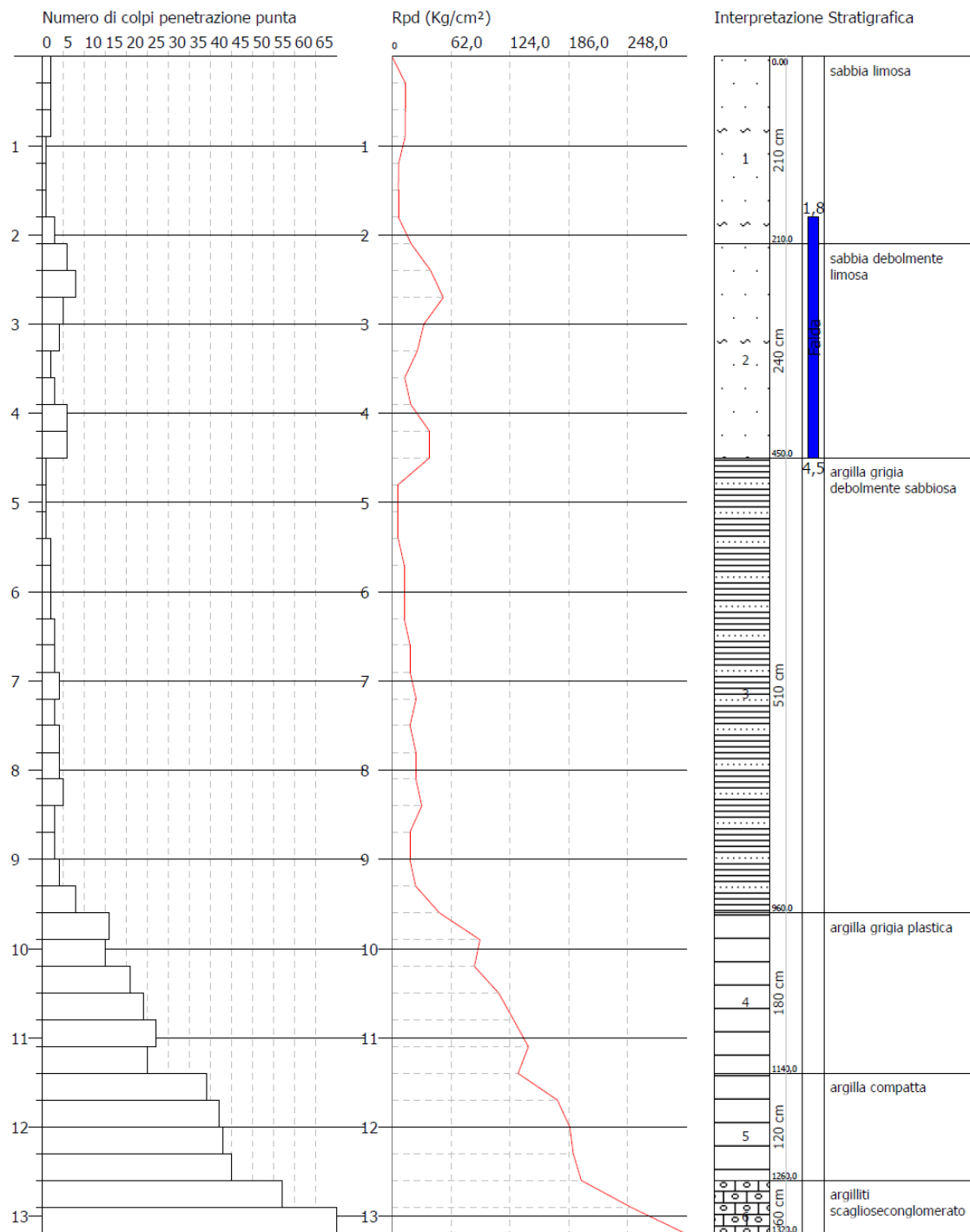
## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"  
**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

### Prova penetrometrica n. 3

Committente:  
Cantiere: Ponte ciclopedonale  
Località: Inverigo (Co)







## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

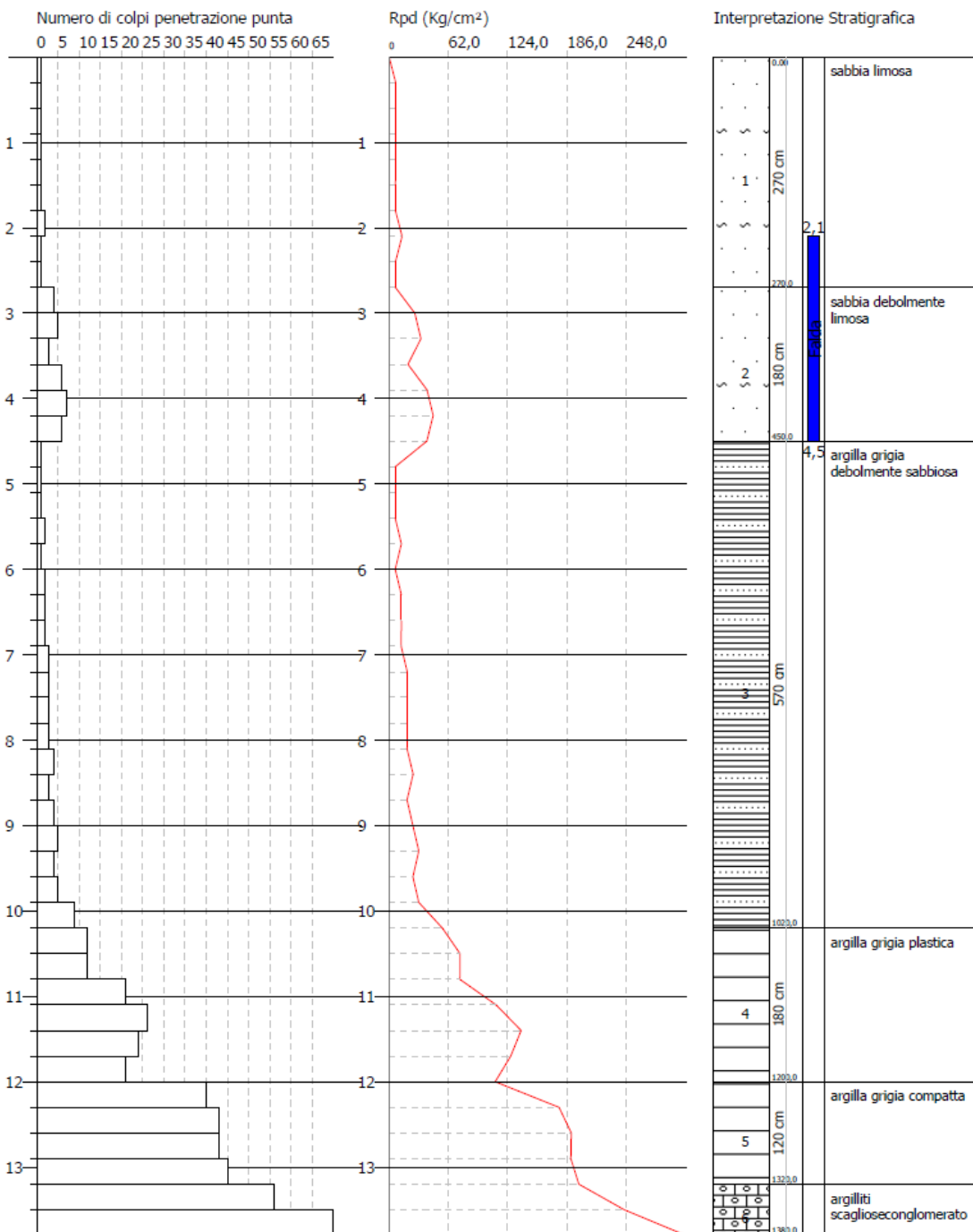
Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"  
**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

### Prova penetrometrica n. 4

Committente:  
 Cantiere: Ponte ciclopedonale  
 Località: Inverigo (Co)

Data: 14/03/2014





### 3. MODELLO GEOTECNICO

La valutazione e l'elaborazione delle caratteristiche geologiche dell'area desunte dalla relazione geologica unitamente all'analisi dei dati delle indagini geognostiche di supporto in sito hanno permesso di realizzare il modello geotecnico dell'area in esame con l'individuazione delle unità litotecniche presenti, la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione e la determinazione dei parametri geotecnici medi. E' stato quindi possibile individuare le seguenti **Unità litotecniche** ed i relativi **parametri medi**

#### **UNITA' LITOTECNICA 1: Sabbia limosa**

Presenta uno spessore compreso tra 2,10 m. e 2,70 m. con caratteristiche geotecniche e di resistenza alla penetrazione scadenti. Falda rilevata a partire da – 1,10 m. dal p.c. .

Si caratterizza per:

| Peso volume<br>T/m <sup>3</sup> | Angolo att. $\phi$<br>° | Modulo edom.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 1,37                            | 27,36                   | 42,37                              | 51,95                                 | 0,35           |

#### **UNITA' LITOTECNICA 2: Sabbia debolmente limosa**

Presenta uno spessore compreso tra 1,80 m. e 2,70 m. con caratteristiche geotecniche e di resistenza alla penetrazione mediocri. Orizzonte considerato saturo .

Si caratterizza per:

| Peso volume<br>T/m <sup>3</sup> | Angolo att. $\phi$<br>° | Modulo edom.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 1,53                            | 28,33                   | 54,50                              | 62,91                                 | 0,34           |

#### **UNITA' LITOTECNICA 3: Argilla grigia debolmente sabbiosa**

Presenta uno spessore compreso tra 4,20 m. e 6,00 m. con caratteristiche geotecniche e di resistenza alla penetrazione scadenti. Orizzonte considerato impermeabile.

Si caratterizza per:

| Peso volume<br>T/m <sup>3</sup> | Cu<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo edom.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 1,67                            | 0,22                     | 16,15                              | 35,20                                 | --             |

#### **UNITA' LITOTECNICA 4: Argilla grigia plastica**

Presenta uno spessore compreso tra 0,90 m. e 1,80 m. con caratteristiche geotecniche e di resistenza alla penetrazione buone. Orizzonte considerato impermeabile.

Si caratterizza per:

| Peso volume<br>T/m <sup>3</sup> | Cu<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo edom.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 2,10                            | 1,33                     | 90,14                              | 196,48                                | --             |



#### **UNITA' LITOTECNICA 5:** *Argilla grigia compatta*

Presenta uno spessore compreso tra 1,20 m. e 1,80 m. con caratteristiche geotecniche e di resistenza alla penetrazione buone. Orizzonte considerato impermeabile.

Si caratterizza per:

| Peso volume<br>T/m <sup>3</sup> | Cu<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo edom.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 2,50                            | 2,85                     | 193,94                             | 422,70                                | --             |

#### **UNITA' LITOTECNICA 6:** *Substrato lapideo - Argilliti*

Rappresenta l'orizzonte di fondo. Di spessore indeterminato presenta caratteristiche geotecniche e di resistenza alla penetrazione Buone. Poca acqua rilevata alla punta

Si caratterizza per:

| Peso volume<br>T/m <sup>3</sup> | Angolo att. $\phi$<br>° | Modulo edom.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo elastico<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Modulo Poisson |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 2,50                            | 45,11                   | 628,49                             | 832,50                                | 0,23           |

#### **Parametri geotecnici ed elastici medi**

| UNITA' LITOTECNICA                | Gamma<br>(t/m <sup>3</sup> ) | Fi<br>(°) | Cu<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo<br>Edometrico<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo<br>Elastico<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo<br>Poisson |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|---|---|-------------------|
| 1 – Sabbia limosa                 | 1,37                         | 27,36     | --                          | 42,37   | 51,95                                       | 0,35              |
| 2 – Sabbia deb. limosa            | 1,53                         | 28,33     | --                          | 54,50   | 62,91                                       | 0,34              |
| 3 – Argilla grigia deb. sabbiosa  | 1,67                         | --        | 0,22                        | 16,15   | 35,20                                       | --                |
| 4 – Argilla grigia plastica       | 2,10                         | --        | 1,33                        | 90,14   | 196,48                                      | --                |
| 5 – Argilla grigia compatta       | 2,50                         | --        | 2,85                        | 193,94  | 422,70                                      | --                |
| 6 – Substrato lapideo / Argilliti | 2,50                         | 45,11     | --                          | 628,49  | 832,50                                      | 0,23              |

*La ricognizione freaticometrica effettuata all'interno dei fori di prova ha evidenziato la presenza di falda sospesa a partire dalla profondità di circa 1,10 m. dal p.c. e coincidente con il livello del pelo libero dell'acqua dell'adiacente Fiume Lambro. Possibile innalzamento del livello piezometrico in concomitanza di eventi di piena. Le misurazioni della soggiacenza della falda sono state eseguite al termine dell'esecuzione delle indagini geotecniche e rappresentano la situazione idrogeologica locale al momento della misura.*



## 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Sulla base dei valori medi dei parametri geotecnici desunti dalla relazione geologica e dalle indagini eseguite a supporto della presente relazione, di seguito vengono calcolati i parametri caratteristici  $F_k$  dei parametri della resistenza al taglio del terreno e della coesione, definiti come valori ai quali è associata una probabilità di non superamento del 5% (frattile 5%) come previsto dalle NTC 2008 mentre i valori caratteristici dei parametri elastici vengono calcolati come mediana dei valori nominali.

I valori caratteristici di  $c'$  e  $\phi'$  sono definiti dalla seguente relazione:

$$\phi'_k = \phi'_m (1 + X * V_\phi)$$

$$c'_k = c'_m (1 + X * V_c)$$

dove :

$\phi'_k$  = valore caratteristico dell'angolo d'attrito interno;

$c'_k$  = valore caratteristico della coesione;

$\phi'_m$  = valore medio dell'angolo d'attrito;

$c'_m$  = valore medio della coesione;

$V_\phi$ ,  $V_c$  = coefficienti di variazione (scarto quadratico medio / media dei valori);

$X$  = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità;

### Distribuzione della probabilità – Eurocodice 7

| Frattile % | 50 % | 25 %    | 10 %    | 5 %     |
|------------|------|---------|---------|---------|
| X          | 0    | - 0,674 | - 1,282 | - 1,645 |

### Valori caratteristici $F_k$

Di seguito vengono riportati i valori dei parametri caratteristici  $F_k$  dei terreni di fondazione.

### Parametri SLU – Stato Limite Ultimo

| U. Litotecnica | Valori nominali ( $\gamma$ ) // (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Media ( $\gamma$ ) | Deviazione standard | Valore caratteristico   |
|----------------|---|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 1              | $\phi'$ : 27,29; 27,32; 27,49; 27,32                  | 27,36              | 0,09                | 27°,21                  |
| 2              | $\phi'$ : 27,93; 28,43; 28,49; 28,48                  | 28,33              | 0,27                | 27°,89                  |
| 3              | Cu: 0,29; 0,20; 0,20; 0,19                            | 0,22               | 0,04                | 0,14 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 4              | Cu: 1,53; 1,44; 1,04; 1,31                            | 1,33               | 0,21                | 0,98 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 5              | Cu: 2,78; 2,85; 2,89; 2,89                            | 2,85               | 0,05                | 2,77 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 6              | $\phi'$ : 45,71; 45,29; 44,29; 45,14                  | 45,11              | 0,59                | 44°,13                  |





## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

*Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"*

**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

### Parametri Elastici SLE – Stato Limite d'Esercizio

| U. Litotecnica | Valori nominali (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Mediana (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Valori caratteristico           |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1              | E : 51,20; 53,47; 51,58; 51,55        | 51,56                         | <b>51,56 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
|                | Eed : 41,54; 44,05; 41,96; 41,93      | 41,94                         | <b>41,94 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 2              | E : 58,40; 64,00; 64,70; 64,54        | 64,27                         | <b>64,27 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
|                | Eed : 49,51; 55,70; 56,48; 56,30      | 56,00                         | <b>56,00 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 3              | E : 47,10; 31,20; 32,00; 30,50        | 31,60                         | <b>31,60 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
|                | Eed : 21,61; 14,32; 14,68; 13,99      | 14,50                         | <b>14,50 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 4              | E : 226,00; 213,00; 153,30; 193,30    | 203,30                        | <b>203,30 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
|                | Eed : 103,69; 97,86; 70,33; 88,69     | 93,27                         | <b>93,27 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 5              | E : 412,50; 422,50; 428,30; 427,50    | 425,00                        | <b>425,00 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
|                | Eed : 189,26; 193,84; 196,50; 196,14  | 194,99                        | <b>194,99 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| 6              | E : 858,00; 840,00; 798,00; 834,00    | 837,00                        | <b>837,00 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
|                | Eed : 748,02; 731,76; 707,83; 726,34  | 729,05                        | <b>729,05 Kg/cm<sup>2</sup></b> |



## 5. REQUISITI DEL SITO E DEI TERRENI DI FONDAZIONE

### Dati generali

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Inclinazione piano di posa | < 15°                                   |
| Dislivello piano di posa   | 0.00 m.                                 |
| Falda                      | sospesa a partire da – 1,10 m. dal p.c. |
| Categoria sottosuolo:      | E                                       |
| Categoria topografica:     | T1                                      |
| Periodo di riferimento:    | 150 anni                                |
| Coefficiente $C_u$ :       | 1,5                                     |
| Classe:                    | 3                                       |
| Vita nominale:             | ≥100 anni                               |

### Coefficienti sismici

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento i dati disponibili nel reticolo di riferimento nazionale (Ministero LL.PP.).

### Sito in esame

|                |            |
|----------------|------------|
| Latitudine:    | 45,733123  |
| longitudine:   | 9,236325   |
| Classe:        | 3          |
| Vita nominale: | ≥ 100 anni |

### Siti di riferimento

|                  |              |             |                    |
|------------------|--------------|-------------|--------------------|
| Sito 1 ID: 11151 | Lat: 45,7090 | Lon: 9,1993 | Distanza: 3931,378 |
| Sito 2 ID: 11152 | Lat: 45,7115 | Lon: 9,2707 | Distanza: 3593,008 |
| Sito 3 ID: 10930 | Lat: 45,7614 | Lon: 9,2671 | Distanza: 3951,488 |
| Sito 4 ID: 10929 | Lat: 45,7589 | Lon: 9,1957 | Distanza: 4262,107 |

### Coefficienti sismici di sito - Tipo di elaborazione: Fondazioni superficiali - Stabilità dei pendii

| Stato limite | Ss    | Cc    | St    | Kh           | Kv              | Amax<br>m/sec <sup>2</sup> | Beta  |
|--------------|-------|-------|-------|--------------|-----------------|----------------------------|-------|
| SLO          | 1,600 | 2,160 | 1,000 | 0,009        | 0,005           | 0,457                      | 0,200 |
| <b>SLD</b>   | 1,600 | 2,080 | 1,000 | <b>0,011</b> | <b>0,006</b>    | <b>0,541</b>               | 0,200 |
| <b>SLV</b>   | 1,600 | 1,850 | 1,000 | <b>0,021</b> | <b>1. 0,010</b> | <b>1,026</b>               | 0,200 |
| SLC          | 1,600 | 1,830 | 1,000 | 0,024        | 0,012           | 1,185                      | 0,200 |

Dove:

**Kh** = coefficiente sismico orizzontale

**Kv** = coefficiente sismico verticale

**Amax** = accelerazione massima



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"

### Progetto Definitivo

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

Viene riportata di seguito la verifica a liquefazione dei terreni naturali del comparto edificatorio utilizzando il metodo proposto dal C.N.R. - GNDT (EC8: da Seed e Idriss). Per la stima del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione si è considerata la condizione idrogeologica locale al momento dell'esecuzione delle indagini, ovvero con presenza di falda sospesa con soggiacenza minima pari a – 1,10 m. dal p.c. attuale

### Verifica a liquefazione - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss

**Svo:** Pressione totale di confinamento; **S'vo:** Pressione efficace di confinamento; **T:** Tensione tangenziale ciclica; **R:** Resistenza terreno alla liquefazione; **Fs:** Coefficiente di sicurezza

| Strato | Prof. Strato (m)           | Nspt | Nspt' | Svo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | S'vo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | T     | R     | Fs   | Condizione:                        |
|--------|----------------------------|------|-------|---------------------------|----------------------------|-------|-------|------|------------------------------------|
| 1      | 2,40                       | 1,00 | 1,768 | 0,391                     | 0,261                      | 0,047 | 0,055 | 1,18 | Liquefazione incerta o discutibile |
| 2      | 5,10                       | 5,00 | 7,073 | 0,902                     | 0,502                      | 0,054 | 0,111 | 2,05 | Livello non liquefabile            |
| 3      | Liquefazione non possibile |      |       |                           |                            |       |       |      |                                    |
| 4      | Liquefazione non possibile |      |       |                           |                            |       |       |      |                                    |
| 5      | Liquefazione non possibile |      |       |                           |                            |       |       |      |                                    |
| 6      | Liquefazione non possibile |      |       |                           |                            |       |       |      |                                    |

Condizione media dei terreni: **terreni non liquefabili**; si segnala però come i terreni dell'Unità Litotecnica 1 risultino essere potenzialmente liquefabili in caso di evento sismico.



## 6. APPROCCIO PROGETTUALE E VALORI DI PROGETTO

### FONDAZIONI SU PALI

Per le opere in progetto sul comparto edificatorio sono state effettuate, in accordo con l'ingegnere progettista, le verifiche relative agli **stati limite ultimi (SLU)** e le verifiche relative alle **condizioni di esercizio (SLE)** nel rispetto dei principi proposti dalle NTC 2008 .

Le condizioni generali di verifica per l'approccio di calcolo prescelto sono:

$$\text{SLU} : E_p < R_p$$

$$\text{SLE} : E_p < C_p$$

dove  $E_p$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione mentre  $R_p$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico e  $C_p$  rappresenta il valore limite tabulato dell'effetto delle azioni.

#### Approccio di calcolo utilizzato

##### SLU - APPROCCIO 2

##### Combinazione unica : A1 + M1 + R3

I coefficienti parziali utilizzati sono definiti dalle seguenti tabelle (NTC 2008):

| CARICHI                    | EFFETTO     | Coefficiente parziale $\gamma_F$ | EQU | (A1) STR | (A2) GEO |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|-----|----------|----------|
| Permanenti                 | Favorevole  | $\gamma_{G1}$                    | 0.9 | 1.0      | 1.0      |
|                            | Sfavorevole |                                  | 1.1 | 1.3      | 1.0      |
| Permanenti non strutturali | Favorevole  | $\gamma_{G2}$                    | 0.0 | 0.0      | 0.0      |
|                            | Sfavorevole |                                  | 1.5 | 1.5      | 1.3      |
| Variabili                  | Favorevole  | $\gamma_{G3}$                    | 0.0 | 0.0      | 0.0      |
|                            | Sfavorevole |                                  | 1.5 | 1.5      | 1.3      |

| PARAMETRO                                     | GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE | COEFFICIENTE PARZIALE | (M1) | (M2) |
|---|--|-----------------------|------|------|
| Tangente dell' angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$                                 | $\gamma_\phi$         | 1.0  | 1.25 |
| Coesione efficace                             | $C'_k$   | $\gamma_{c'}$         | 1.0  | 1.25 |
| Coesione non drenata                          | $C_{uk}$                                       | $\gamma_{cu}$         | 1.0  | 1.40 |
| Peso dell'unità di volume                     | $\gamma$                                       | $\gamma_\gamma$       | 1.0  | 1.0  |





Il Valore di progetto di  $R_p$  della resistenza si ottiene, per fondazioni su pali, a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  della Tab. 6.4.II (NTC 2008)

**Tabella 6.4.II** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

| Resistenza               | Simbolo       | Pali infissi |      |      | Pali trivellati |      |      | Pali ad elica continua |      |      |
|--------------------------|---------------|--------------|------|------|-----------------|------|------|------------------------|------|------|
|                          | $\gamma_R$    | (R1)         | (R2) | (R3) | (R1)            | (R2) | (R3) | (R1)                   | (R2) | (R3) |
| Base                     | $\gamma_b$    | 1,0          | 1,45 | 1,15 | 1,0             | 1,7  | 1,35 | 1,0                    | 1,6  | 1,3  |
| Laterale in compressione | $\gamma_s$    | 1,0          | 1,45 | 1,15 | 1,0             | 1,45 | 1,15 | 1,0                    | 1,45 | 1,15 |
| Totale <sup>(*)</sup>    | $\gamma_t$    | 1,0          | 1,45 | 1,15 | 1,0             | 1,6  | 1,30 | 1,0                    | 1,55 | 1,25 |
| Laterale in trazione     | $\gamma_{st}$ | 1,0          | 1,6  | 1,25 | 1,0             | 1,6  | 1,25 | 1,0                    | 1,6  | 1,25 |

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

La resistenza caratteristica  $R_k$  è stata dedotta, nella presente relazione, da metodi di calcolo analitici a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici ricavati da prove dirette in sito; Il valore caratteristico  $R_k$  è dato, in questo caso, dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{cal}$  i fattori di correzione riportati nella tabella 6.4.IV in funzione del numero di indagini effettuate:

$$R_{c,k} = Min \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

| n = numero delle verticali indagate | 1          | 2           | 3           | 4           | 5           | 7           | 10          |
|-------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $\xi_3$                             | <b>1,7</b> | <b>1,65</b> | <b>1,60</b> | <b>1,55</b> | <b>1,50</b> | <b>1,45</b> | <b>1,40</b> |
| $\xi_4$                             | <b>1,7</b> | <b>1,55</b> | <b>1,48</b> | <b>1,42</b> | <b>1,34</b> | <b>1,28</b> | <b>1,21</b> |



## VALORI DI PROGETTO DEI PARAMETRI DI CALCOLO – $F_p$

### SLU – Calcolo allo Stato Limite Ultimo

Nei problemi connessi al raggiungimento dello Stato Limite di Ultimo (SLU) del terreno i valori di progetto  $F_p$  di  $\phi'$  e  $C_u$  sono uguali ai valori caratteristici a cui viene applicato un opportuno fattore di *sicurezza* ( $M$ ) variabile in funzione della combinazione di calcolo adottata:  $F_K / (M) = F_p$  mentre le differenti aliquote dei carichi gravanti sulle fondazioni vengono incrementate mediante opportuni fattori di amplificazione  $A$  differenti in funzione dell'approccio e della combinazione di calcolo adottata.

Le tipologie di fondazione ed i carichi forniti dal progettista delle strutture, Ing. Locatelli di Lecco, sono:

#### Dati palo di progetto

| Tipologia fondazione | Diametro | Quota testa palo   | Lunghezza a palo | Peso palo | Carico netto | Carico verticale | Carico laterale | N° Pali di progetto |
|----------------------|----------|--------------------|------------------|-----------|--------------|------------------|-----------------|---------------------|
| Palo trivellato      | 0,80 m.  | - 0,50 m. dal p.c. | 14,00 m.         | 17590 Kg  | 38500 Kg     | 56051 Kg         | xxx             | 12                  |

### AZIONI su palo singolo – COMBINAZIONE UNICA – coefficiente di amplificazione del carico **A1**

| Tipologia fondazione | Diametro | Quota testa palo   | Lunghezza palo | Peso palo | Carico netto | Carico verticale | Carico laterale |
|----------------------|----------|--------------------|----------------|-----------|--------------|------------------|-----------------|
| Palo trivellato      | 0,80 m.  | - 0,50 m. dal p.c. | 14,00 m.       | 22860 Kg  | 50000 Kg     | 72860 Kg         | 12580 Kg        |

### PARAMETRI GEOTECNICI – COMBINAZIONE UNICA

| UNITA' LITOTECNICA | $\phi'_K // C_{uK}$     | (M1) | $\phi'_P // C_{uP}$     |
|--------------------|-------------------------|------|-------------------------|
| 1                  | 27°21                   | 1.0  | 27°21                   |
| 2                  | 27°89                   | 1.0  | 27°89                   |
| 3                  | 0,14 Kg/cm <sup>2</sup> | 1.0  | 0,14 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 4                  | 0,98 Kg/cm <sup>2</sup> | 1.0  | 0,98 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 5                  | 2,77 Kg/cm <sup>2</sup> | 1.0  | 2,77 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 6                  | 44°13                   | 1.0  | 44°13                   |

### VERIFICHE su palo singolo – COMBINAZIONE UNICA

| VERIFICA  | COEFFICIENTE PARZIALE (R3) |
|---|----------------------------|
| Resistenza di base – pali trivellati                  | $\gamma_B = 1.35$          |
| Resistenza laterale in compressione – Pali trivellati | $\gamma_L = 1.15$          |



## **SLE – Calcolo allo Stato Limite d'Esercizio**

Nei problemi connessi al raggiungimento dello Stato Limite di Esercizio (SLE) del terreno i valori di progetto  $F_P$  di  $\phi'$  e  $Cu'$  sono uguali ai valori caratteristici  $F_K \rightarrow F_P = F_K$

I valori dei moduli di deformazione  $E_P$  ed  $E_{EDP}$  di progetto sono uguali ai valori caratteristici calcolati come valori rappresentativi della mediana dei valori. Nel calcolo dei cedimenti elastici e di consolidazione vengono invece utilizzati i carichi di esercizio trasmessi dalle fondazioni.

## **AZIONI – Calcolo allo Stato Limite d'Esercizio**

### **Fondazioni indirette**

#### **Dati palo di progetto**

| Tipologia fondazione | Diametro | Quota testa palo   | Lunghezza palo | Peso palo | Carico netto | Carico verticale | Momento Massimo sulla fondazione |
|----------------------|----------|--------------------|----------------|-----------|--------------|------------------|----------------------------------|
| Palo trivellato      | 0,80 m.  | - 0,50 m. dal p.c. | 14,00 m.       | 17590 Kg  | 38500 Kg     | 56051 Kg         | 532000 Kgm                       |

## **Parametri SLE**

### **Parametri elastici ed edometrici**

| UNITA' LITOTECNICA | Mediana      | Valori caratteristico     | Valori di progetto              |
|--------------------|--------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1                  | E : 51,56    | 51,56 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>51,56 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
|                    | Eed : 41,94  | 41,94 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>41,94 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 2                  | E : 64,27    | 64,27 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>64,27 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
|                    | Eed : 56,00  | 56,00 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>56,00 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 3                  | E : 31,60    | 31,60 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>31,60 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
|                    | Eed : 14,50  | 14,50 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>14,50 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 4                  | E : 203,30   | 203,30 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>203,30 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
|                    | Eed : 93,27  | 93,27 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>93,27 Kg/cm<sup>2</sup></b>  |
| 5                  | E : 425,00   | 425,00 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>425,00 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
|                    | Eed : 194,99 | 194,99 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>194,99 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| 6                  | E : 837,00   | 837,00 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>837,00 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
|                    | Eed : 729,05 | 729,05 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>729,05 Kg/cm<sup>2</sup></b> |

### **Angolo d'attrito/Coesione non drenata**

| UNITA' LITOTECNICA | $\Phi'_K // Cu_K$       | $\Phi'_P // Cu_P$             |
|--------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1                  | 27°,21                  | <b>27°,21</b>                 |
| 2                  | 27°,89                  | <b>27°,89</b>                 |
| 3                  | 0,14 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>0,14 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| 4                  | 0,98 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>0,98 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| 5                  | 2,77 Kg/cm <sup>2</sup> | <b>2,77 Kg/cm<sup>2</sup></b> |
| 6                  | 44°,13                  | <b>44°,13</b>                 |



## 7. CALCOLO DELLA PORTANZA E STIMA DEI CEDIMENTI

In base ai dati penetrometrici acquisiti si è proceduto alla determinazione della **Q<sub>lim</sub>**. (carico limite ultimo) delle fondazioni indirette ed alla verifica delle condizioni previste dalla normativa ( $SLU = E_p < R_p$  e  $SLE = E_p < C_p$ ) utilizzando nei differenti metodi di calcolo i coefficienti correttivi previsti dall' **Approccio 2 – Combinazione unica** ed alla stima dei potenziali cedimenti. I calcoli geotecnici per la determinazione del carico limite ultimo sono stati eseguiti adottando le relazioni di **BEREZANTZEV** per la determinazione della resistenza alla punta (**Q<sub>b</sub>**) e di **TOMLINSON** per la determinazione della resistenza lungo il fusto (**Q<sub>L</sub>**); la **Q<sub>lim</sub><sub>totale</sub>** è infatti data dalla relazione:

$$Q_{lim\ totale} = Q_b + Q_L - W_P \quad \text{dove:}$$

**Q<sub>b</sub>**= Resistenza alla punta calcolata con metodo di Beretzanzev

**Q<sub>L</sub>**= Resistenza lungo il fusto calcolata con metodo di Tomlinson

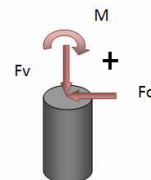
**W<sub>P</sub>**= Peso proprio del palo

I calcoli per la determinazione della resistenza trasversale sono stati eseguiti utilizzando il metodo di **BROMS**. I calcoli geotecnici in condizioni dinamiche sono inoltre stati eseguiti considerando anche gli effetti inerziali destabilizzanti indotti da un potenziale evento sismico ed adottando opportuni fattori di riduzione dei parametri geotecnici. Per la stima dei cedimenti sono invece stati utilizzati i metodi di **Davis - Poulos** ed il metodo del **Cedimento Iperbolico**; il primo considera il palo rigido indeformabile immerso in un mezzo elastico di spessore finito mentre il secondo stima il cedimento di pali singoli partendo dall'idea che il diagramma carico/cedimento per un palo abbia un andamento iperbolico. La resistenza di base ed il carico ultimo laterale rappresentano i termini asintotici della curva. Vengono forniti i risultati di entrambi i metodi per confronto.

### Convenzioni di calcolo adottate

Per le verifiche geotecniche sono state adottate le seguenti convenzioni di calcolo:

1. Tipologia, dimensioni, numero dei pali e carichi applicati forniti dall'ingegnere progettista (Studio Ing. Locatelli-Lecco)
2. Carichi verticali corretti con il contributo del momento agente
3. Direzione e versi di carichi e momenti secondo il seguente schema:
4. Accelerazione sismica di sito corretta secondo il metodo di Vesic
5. Falda considerata al piano campagna (simulazione condizioni di piena)
6. Coefficiente di adesione  $\alpha$  ricavato con il metodo di Caquot – Kerisel
7. Verifiche sul Carico Limite Ultimo eseguite con formule statiche e adottando la combinazione di calcolo A1+M1+R3 delle NTC 2008
8. Verifiche eseguite sia per il palo singolo che per l'intera palificata.







---

## 8. PORTANZA DI FONDAZIONI PROFONDE

### - Normative di riferimento

#### - D.M. LL.PP. del 14/01/2008

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.

#### - D.M. LL.PP. del 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

#### - D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

#### - D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

#### - D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

#### - Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

#### - Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

#### - Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica e succ. modifiche

#### Con particolare riferimento a:

D.M. 14/01/08; 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"  
**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

### PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEI TERRENI DI FONDAZIONE - F<sub>K</sub>

| Unità litotecnica | Peso unità di Volume [kg/m³] | Peso Unità di volume Saturo [kg/m³] | c [kg/cm²] | Fi (°) | Attrito negativo | Alfa | Modulo elastico [kg/cm²] | Vs [m/s] | Ks Kg/cm³ |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------|--------|------------------|------|--------------------------|----------|-----------|
| 1                 | 1370,00                      | 1860,00                             | 0,00       | 27,21  | No               | 1,00 | 51,56                    | 77,24    | 0,31      |
| 2                 | 1530,00                      | 1890,00                             | 0,00       | 27,89  | No               | 1,00 | 64,27                    | 117,08   | 0,38      |
| 3                 | 1670,00                      | 1870,00                             | 0,14       | 0,00   | No               | 0,90 | 31,60                    | 129,85   | 0,32      |
| 4                 | 2100,00                      | 2220,00                             | 0,98       | 0,00   | No               | 0,25 | 203,30                   | 182,08   | 2,24      |
| 5                 | 2500,00                      | 2500,00                             | 2,77       | 0,00   | No               | 0,16 | 425,00                   | 207,17   | 5,7       |
| 6                 | 2320,00                      | 2320,00                             | 0,00       | 34,00  | No               | 1,00 | 837,00                   | 248,34   | 1,51      |

### DATI GENERALI

#### Fondazioni di progetto

| Tipo Fondazione | Lunghezza | Diametro fusto / punta | Carico SLE fond | Carico SLU fond | Carico SLE palo | Carico SLU palo | Carico SLU laterale palo |
|-----------------|-----------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Palo trivellato | 14,00 m.  | 0,80 m. / 0,80 m.      | 672,61 T        | 874,32 T        | 56,05 T         | 72,86 T         | 12,58 T                  |

#### Condizioni sismiche

| Accelerazione sismica | Coeff. intensità sismica Kh | Coeff. intensità sismica Kv |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0,104                 | 0,0209                      | 0,0104                      |

#### Carico limite

| Stratigrafia | Nq    | Nc    | Fi/C strato punta Palo (°/[kg/cm²] | Peso palo [kg] | Carico limite punta [kg] | Carico limite laterale [kg] | Carico limite [kg] | Attrito negativo [kg] | Carico limite orizzontale [kg] |
|--------------|-------|-------|------------------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|
| A1+M1+R3     | 21,07 | 36,22 | 29/0,00                            | 17592,92       | 241969,70                | 91191,34                    | 315568,10          | --                    | 30832,86 [Lungo]               |
| A1+M1+R3     | 21,07 | 36,22 | 29/0,00                            | 17592,92       | 256111,60                | 84719,95                    | 323238,70          | --                    | 30459,01 [Lungo]               |
| A1+M1+R3     | 21,07 | 36,22 | 29/0,00                            | 17592,92       | 255158,20                | 71650,92                    | 309216,20          | --                    | 29839,23 [Lungo]               |
| A1+M1+R3     | 23,18 | 39,21 | 29,5/0,00                          | 17592,92       | 284122,90                | 76656,39                    | 343186,40          | --                    | 30064,06 [Lungo]               |

**Corto** si rompe il terreno senza che la sezione si plasticizzi. **Medio** si rompe la sezione in c.a. prima del terreno (una sola cerniera plastica). **Lungo** si rompe la sezione in c.a. prima del terreno (due cerniere plastiche).

### RESISTENZA CALCOLATA R<sub>c</sub>, RESISTENZA CARATTERISTICA R<sub>k</sub> E DI PROGETTO R<sub>d</sub> CARICHI ASSIALI

Nome combinazione: A1+M1+R3  
 Numero verticali di indagine: 4  
 Fattore correlazione verticale indagate media (xi3): 1,55  
 Fattore correlazione verticale indagate minima (xi4): 1,42

#### Resistenze calcolate

|                                | Rc, Min [kg] | Rc, Media [kg] | Rc, Max [kg] |
|--------------------------------|--------------|----------------|--------------|
| Base                           | 241969,70    | 259340,60      | 284122,90    |
| Laterale                       | 71650,92     | 81054,65       | 91191,34     |
| Totale=Base+Laterale-Peso palo | 309216,20    | 322802,30      | 343186,40    |



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"  
**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

### Resistenze caratteristiche $R_k$

| Resistenza di progetto base | Resistenza di progetto laterale | Resistenza di progetto |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 167316,50 Kg                | 50458,40 Kg                     | 208259,60 Kg           |

Coefficiente parziale resistenza caratteristica  $R_3$   
Base 1,35  
Laterale 1,15

### Resistenze di progetto $R_d$

| Resistenza di progetto base | Resistenza di progetto laterale | Resistenza di progetto |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 123938,20 kg                | 43876,87 kg                     | <b>150222,10 kg</b>    |

### Verifica carico assiale

| N° pali | Azione di progetto $E_d$ | Resistenza di progetto $R_d$ | Verifica $E_d < R_d$ | Fattore sicurezza |
|---------|--------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|
| 12      | 72860,00 kg              | 150222,10 kg                 | <b>Verificato</b>    | <b>2,06</b>       |

### RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI TRASVERSALI - BROMS

Nome combinazione: A1+M1+R3  
Numero verticali di indagine 4  
Fattore correlazione verticale indagate media ( $\xi_3$ ) 1,55  
Fattore correlazione verticale indagate minima ( $\xi_4$ ) 1,42  
Momento plasticizzazione 31626,96 kgm

### Resistenze calcolate

| Rc, Min [kg] | Rc, Media [kg] | Rc, Max [kg] |
|--------------|----------------|--------------|
| 29839,23     | 30298,79       | 29839,23     |

Resistenza caratteristica orizzontale  $R_{K0}$  19547,61 Kg  
Coefficiente parziale resistenza caratteristica 1,3  
**Resistenza di progetto  $R_{d0}$  15036,62 kg**

### Verifica carico trasversale

| N° pali | Azione di progetto $E_d$ | Resistenza di progetto $R_d$ | Verifica $E_d < R_d$ | Fattore sicurezza |
|---------|--------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|
| 12      | 12580 kg                 | 15036,62 kg                  | <b>Verificato</b>    | <b>1,55</b>       |

### Cedimento (Poulos e Davis 1968)

Carico applicato 56051,00 kg  
Coefficiente influenza 0,172  
**Cedimento 1,40 mm**

### Cedimento iperbolico (Fleming 1992)

Lunghezza 14,00 m  
Diametro testa 0,80 m  
Diametro punta 0,80 m  
Tratto attrito laterale nullo 0,00 m  
Modulo elastico sezione 2,94E+07 kN/mq



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"

**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

---

|  |                |
|--|----------------|
| Carico applicato                       | 560,00 kN      |
| Carico limite laterale                 | 716,50 kN      |
| Carico limite di punta                 | 2410,00 kN     |
| Modulo elastico terreno corrispondente | 8,20E+04 kN/mq |
| Accorciamento elastico                 | 0,24 mm        |
| Cedimento rigido                       | 1,22 mm        |
| <b>Cedimento totale</b>                | <b>1,46 mm</b> |

### CALCOLO DELL'EFFICIENZA DELLA PALIFICATA

| N° totale pali | N° file | N° pali per fila | Interasse | Efficienza di gruppo |
|----------------|---------|------------------|-----------|----------------------|
| 12             | 3       | 4                | 2,40 m.   | 0,60                 |

#### Verifica palificata

| N° pali | Azione totale di progetto $E_d$ | Resistenza totale palificata $R_d$ | Efficienza | Resistenza totale palificata efficace | Verifica $E_d < R_d$ |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|------------|---------------------------------------|----------------------|
| 12      | 874320,00 kg                    | 1502221,00 kg                      | 0,60       | 1080000,00 Kg                         | Verificato           |





## 9. CONCLUSIONI

Da quanto emerso dalle informazioni reperite presso gli uffici comunali, dalla cartografia ufficiale e dalle indagini in situ eseguite, di seguito si riassumono i punti salienti riportati nel presente elaborato:

### MODELLO GEOTECNICO

- Presenza di depositi di natura glaciolacustre e alluvionale a prevalente componente litologica di natura argilloso – sabbiosa ed argillosa sovrapposti a substrato lapideo pre quaternario

- **Parametri geotecnici ed elastici medi**

| UNITA' LITOTECNICA                | Gamma (t/m <sup>3</sup> ) | Fi (°) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Poisson |
|-----------------------------------|---------------------------|--------|--------------------------|---|---------------------------------------|----------------|
| 1 – Sabbia limosa                 | 1,37                      | 27,36  | --                       | 42,37                                   | 51,95                                 | 0,35           |
| 2 – Sabbia deb. limosa            | 1,53                      | 28,33  | --                       | 54,50                                   | 62,91                                 | 0,34           |
| 3 – Argilla grigia deb. sabbiosa  | 1,67                      | --     | 0,22                     | 16,15                                   | 35,20                                 | --             |
| 4 – Argilla grigia plastica       | 2,10                      | --     | 1,33                     | 90,14                                   | 196,48                                | --             |
| 5 – Argilla grigia compatta       | 2,50                      | --     | 2,85                     | 193,94                                  | 422,70                                | --             |
| 6 – Substrato lapideo / Argilliti | 2,50                      | 45,11  | --                       | 628,49                                  | 832,50                                | 0,23           |

- Falda idrica sospesa a partire dalla profondità di circa 1,10 m. dal p.c. e coincidente con il livello del pelo libero dell'acqua dell'adiacente Fiume Lambro
- categoria sismica dei suoli di fondazione  $V_{s30}$  pari a **E** (Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 Marzo 2003)
- Categoria Topografica **T1**

**Coefficienti sismici di sito** - Tipo di elaborazione: Fondazioni superficiali - Stabilità dei pendii

| Stato limite | Ss    | Cc    | St    | Kh    | Kv       | Amax m/sec <sup>2</sup> | Beta  |
|--------------|-------|-------|-------|-------|----------|-------------------------|-------|
| SLE (SLD)    | 1,600 | 2,080 | 1,000 | 0,011 | 0,006    | 0,541                   | 0,200 |
| SLU (SLV)    | 1,600 | 1,850 | 1,000 | 0,021 | 2. 0,010 | 1,026                   | 0,200 |

Condizione media dei terreni: **terreni non liquefabili**; si segnala però come i terreni dell'Unità **Litotecnica 1** risultino essere potenzialmente liquefabili in caso di evento sismico.



## OPERA IN PROGETTO

- Opera ad uso: ponte ciclopedonale – opera pubblica
- Vita nominale  $V_N = 100$  anni
- Classe d'uso III
- Periodo sismico di riferimento  $V_R = 150$  anni

## Dati palo di progetto

| Tipologia fondazione | Diametro | Quota testa palo   | Lunghezza palo | Peso palo | Carico netto | Carico verticale | Momento Massimo sulla fondazione |
|----------------------|----------|--------------------|----------------|-----------|--------------|------------------|----------------------------------|
| Palo trivellato      | 0,80 m.  | - 0,50 m. dal p.c. | 14,00 m.       | 17590 Kg  | 38500 Kg     | 56051 Kg         | 532000 Kgm                       |

## VERIFICHE (D.M. 14/01/2008; N.T.C. 2008) per fondazioni indirette su pali – APPROCCIO 2 A1 + M1 + R3

### VERIFICA CARICO LIMITE ASSIALE – SLU condizioni dinamiche

| N° pali | Azione di progetto $E_d$ | Resistenza di progetto $R_d$ | Verifica $E_d < R_d$ | Fattore sicurezza |
|---------|--------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|
| 12      | 72860,00 kg              | 150222,10 kg                 | Verificato           | 2,06              |

### VERIFICA CARICO LIMITE TRASVERSALE – SLU condizioni dinamiche

| N° pali | Azione di progetto $E_d$ | Resistenza di progetto $R_d$ | Verifica $E_d < R_d$ | F.S. |
|---------|--------------------------|------------------------------|----------------------|------|
| 12      | 12580 kg                 | 15036,62 kg                  | Verificato           | 1,55 |

### VERIFICHE PALIFICATA - SLU condizioni dinamiche

| N° pali | Azione totale di progetto $E_d$ | Resistenza totale palificata $R_d$ | Efficienza | Resistenza totale palificata efficace | Verifica $E_d < R_d$ |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|------------|---------------------------------------|----------------------|
| 12      | 874320,00 kg                    | 1802664 kg                         | 0,60       | 1081598 Kg                            | Verificato           |

## VERIFICHE CEDIMENTI - SLE (D.M. 14/01/2008; N.T.C. 2008)

### Cedimenti totali fondazioni indirette

| Metodo         | Tipologia fondazione | Carico SLE | Tipo di movimento | Fattore di Limitazione | Cedimento Totale Calcolato | Valore Amm. (N.T.C. '08) | Condizioni di Verifica |
|----------------|----------------------|------------|-------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| Poulos & Davis | palo                 | 56051 Kg   | Cedimento         | Murature Portanti      | 0,140 cm                   | 2,50 cm                  | Verificato             |
| Iperbolico     | palo                 | 56051 Kg   | Cedimento         | Murature Portanti      | 0,146 cm                   | 2,50 cm                  | Verificato             |



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

*Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"*

**Progetto Definitivo**

Dott. Pietro Alborghetti  
geologo

Le verifiche geotecniche riportate nel presente elaborato si riferiscono alla situazione di maggiore carico, ossia alla pila centrale. Tutte le verifiche risultano soddisfatte mediante la realizzazione di n. 12 pali trivellati di diametro 80 cm e lunghezza 14 m.

Relativamente alle pile laterali, il tecnico progettista dovrà valutare, in funzione dei carichi effettivi trasmessi e dei dati geotecnici riportati nel presente elaborato, il numero di pali necessari.

Dott. Pietro Alborghetti

Geologo

Lecco, maggio 2014

