



PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO
Via Vittorio Veneto, 19 - 20844 Triuggio (MB)

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”

APPALTO INTEGRATO - PROGETTO ESECUTIVO

| INDICE | DATA | MODIFICHE | DISEGN. | CONTR. | APPROV. |
|---|------|-----------|---|--------|---------|
| RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA | | | | | |
| APPALTATORE:  MAZZONI COSTRUZIONI S.r.l. VIA DONIZETTI, 3 – 20122 MILANO (MI) | | | RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Dott. Bernardino Farchi | | |
| PROGETTISTI indicati:  MAJONE & PARTNERS S.r.l. (Mandataria) Ing. Denis Cerlini Ing. Alessandro Balbo Ing. Giacomo Galimberti  BIOS.IS. S.r.l. (Mandante) - ASPETTI FORESTALI Agr. Giordano Fossi Ing. Achille Paolo Arcuri  STUDIO FRATI (Mandante) - GEOLOGIA Geol. Stefano Frati | | | SCALA: | | |
| PROGETTO DEFINITIVO: PROGETTAZIONE IDRAULICA: Ing. Maurizio Rosso - Ing. Santo La Ferlita PROGETTAZIONE STRUTTURALE: Ing. Piergiorgio Locatelli - Ing. Luigi Nava GEOLOGIA: Geol. Pietro Alborghetti | | | ELABORATO: INV 3.03 | | |
| | | | Giugno 2016 | | |

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO | 4 |
| 3 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO | 9 |
| 4. INDAGINI GEOGNOSTICHE | 12 |
| 4.1 Indagini pregresse | 12 |
| 4.2 Indagini realizzate nel 2016 (a supporto del progetto esecutivo) | 12 |
| 4.2.1 Indagini sismiche tipo masw | 13 |
| 4.2.2 Prove penetrometriche | 14 |
| 4.2.3 Sondaggi sismici verticali | 16 |
| 5. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO | 17 |
| 5.1 Zona Molino Nuovo -- prove CPT1 - CPT/DIN2 | 17 |
| 5.2 Zona Fornace Consonni -- prove DIN3 - CPT 4 - CPT 5 | 17 |
| 5.3 Zona Cascina Cattafame -- prove CPT 6 - CPT 7 | 18 |
| 5.4 Zona via Fornacetta -- prove CPT 8 | 18 |
| 6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA | 19 |
| 7. ESCLUSIONE VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE | 22 |
| 8. VERIFICHE GEOTECNICHE | 23 |
| 8.1 Verifiche di stabilità | 23 |
| 8.1.1 Molino Nuovo | 26 |
| 8.1.2 Fornace Consonni | 27 |
| 8.1.3 Cascina Cattafame | 28 |
| 8.1.4 zona via Fornacetta | 32 |
| 8.2 Stima dei cedimenti | 34 |
| 9. FORMAZIONE DI RILEVATI | 35 |
| 9.1 Caratteristiche del materiale per la costruzione dei rilevati | 35 |
| 9.2 Modalità esecutive | 35 |
| 9.3 Modalità di verifica in corso d'opera | 36 |
| 10. TERRE E ROCCE DA SCAVO | 36 |

ALLEGATI

- Tavole 1A, 1B, 1C, 1D - Ubicazione indagini
Allegato 1 - Prove penetrometriche statiche e dinamiche: grafici e tabelle
Allegato 2 - Indagine sismica con metodo MASW
Allegato 3 - Report sondaggio sismico verticale
Allegato 4 - Documentazione fotografica indagini geognostiche
Allegato 5 - Verifiche stabilità
Allegato 6 - Stima cedimenti
Allegato 7 - Relazione geologica-geotecnica a supporto del progetto definitivo

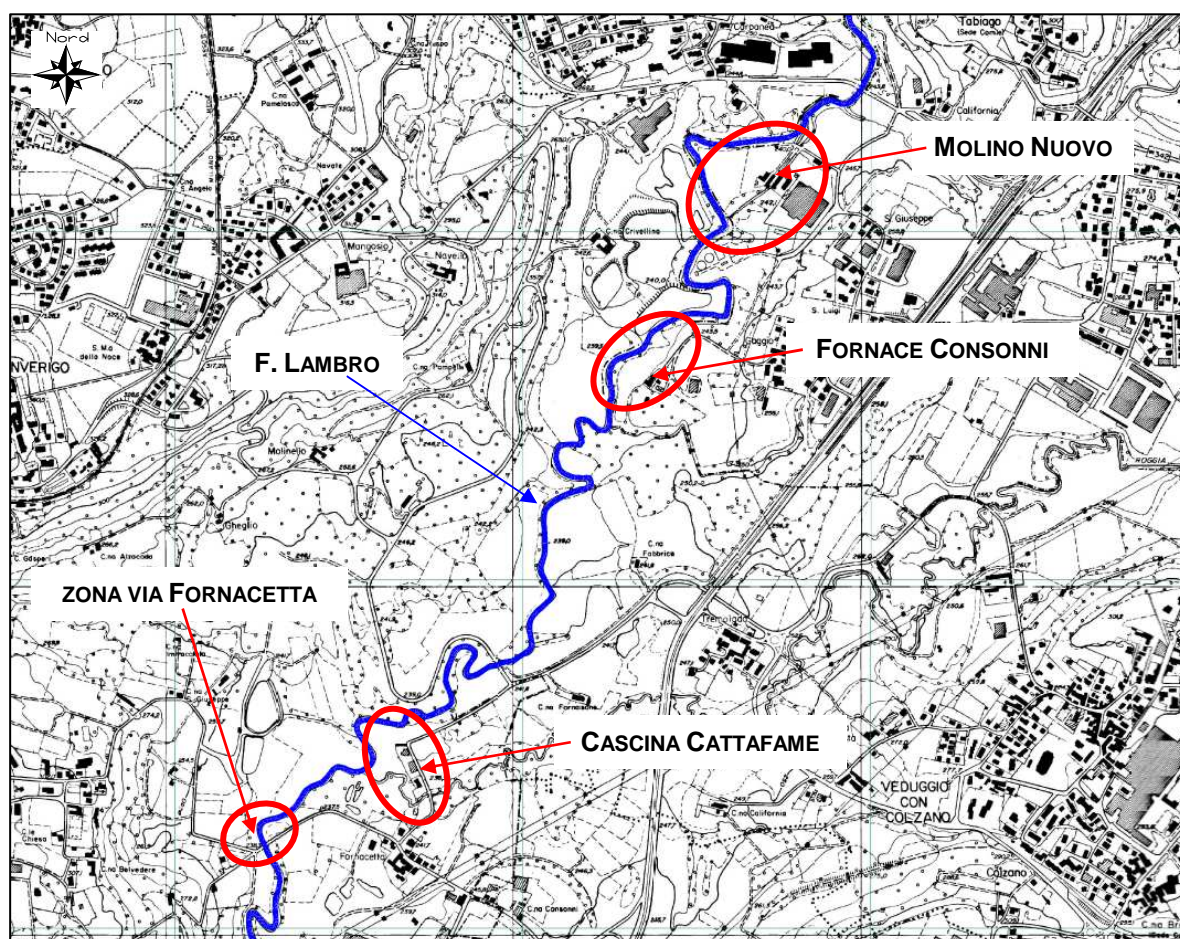
1. PREMESSA

La presente relazione geologica viene redatta a supporto della progettazione esecutiva delle opere previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo - interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano".

Il presente documento costituisce integrazione/approfondimento alla Relazione Geologica redatta da altro Professionista a supporto del Progetto Definitivo (Allegato 7).

Le opere idrauliche previste dal progetto vengono di seguito elencate partendo da valle verso monte:

- struttura per la regolazione delle portate collocata a monte del ponte di via Fornacetta in comune di Inverigo (CO);
- linea arginale a protezione della "Cascina Cattafame" in comune di Inverigo (CO);
- linea arginale in località "Fornace Consonni" in comune di Nibionno (LC)
- linea arginale in località "Molino Nuovo" in comune di Nibionno (LC).



Ubicazione aree in esame - fuori scala

La presente relazione ha analizzato alcuni aspetti specifici che i Progettisti di questa fase progettuale hanno ritenuto necessario approfondire rispetto a quanto era già riportato nel Progetto Definitivo.

In particolare ci si è concentrati sui seguenti aspetti:

- definizione della categoria sismica del sottosuolo;
- definizione del modello stratigrafico e geotecnico dei terreni presenti;
- valutazione dei cedimenti attesi dei rilevati arginali;
- valutazione della stabilità dei rilevati arginali.

A supporto di queste valutazioni è quindi stata condotta una campagna di indagini geognostiche consista in indagini sia dirette che indirette.

Sono state effettuate:

- prove penetrometriche statiche/dinamiche;
- indagini sismiche tipo masw
- sondaggi sismici verticali.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

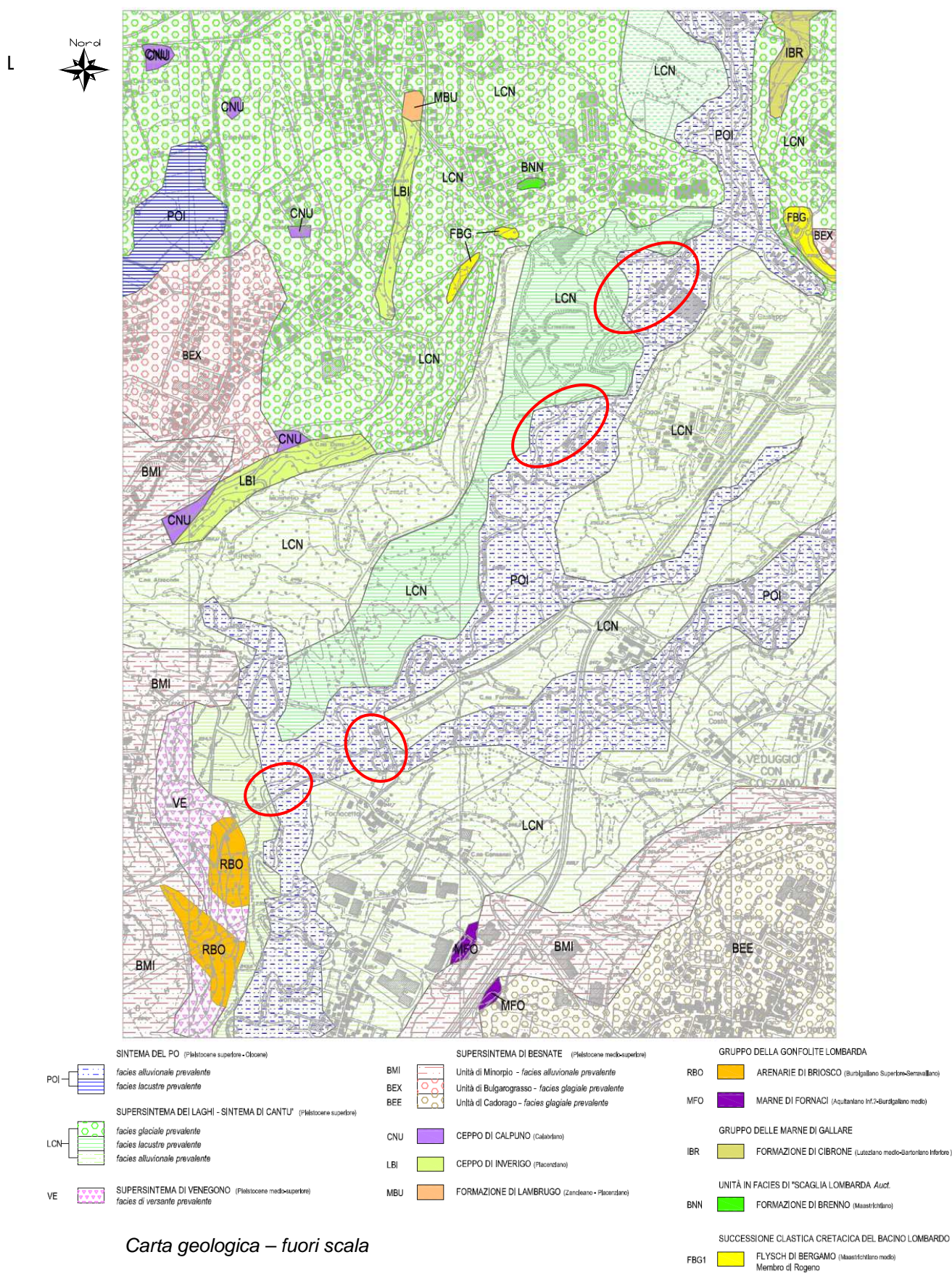
Le zone in esame si collocano nella porzione settentrionale della Brianza, in corrispondenza della fascia pedemontana prealpina a sud del lago di Pusiano e all'interno dell'anfiteatro morenico costituito dai depositi lasciati in posto durante le fasi glaciali quaternarie.

La conformazione del territorio è strettamente legata all'azione modellatrice esercitata delle lingue glaciali provenienti da Nord (ghiacciaio del Lario) che hanno interessato questa zona nel corso di varie fasi glaciali con cicli di erosione e deposizione che si sono succeduti nel tempo. I ghiacciai al loro ritiro hanno lasciato depositi morenici che sono stati in seguito rimodellati dalle acque di fusione del ghiacciaio e dagli altri agenti atmosferici tipici di un ambiente periglaciale (gelo - disgelo, vento): il risultato di tale azione è dato da una serie di terrazzi di origine glaciale e fluvioglaciale attualmente visibili nel settore centrale e meridionale del territorio comunale, con morfologie per lo più subpianeggianti interrotte da scarpate, localmente a pendenza elevata, che delimitano le differenti porzioni dei ripiani di origine fluvioglaciale.

La maggior parte dei rilievi presenti rappresentano le elevazioni del substrato roccioso sottostante, mascherato dalle colti di depositi superficiali.

Un altro importante agente morfogenetico della zona è il fiume Lambro che nel tempo si è scavato un varco verso sud, tra le colline, ed ha determinato la genesi di una morfologia di tipo fluviale, con terrazzi costituiti dai depositi legati all'azione modellatrice esercitata dal corso d'acqua. La piana fluviale del Fiume Lambro è caratterizzata da morfologie blande, è subpianeggiante, con salti di pendenza in genere bruschi rispetto alle adiacenti scarpate di origine morenica e/o fluvioglaciale.

Il F. Lambro ha un decorso in senso NW-SE con andamento sinuoso e in alcuni tratti meandriforme e risulta variamente incassato rispetto ai terrazzi circostanti.



SUBSTRATO ROCCIOSO PREQUATERNARIO

Il substrato roccioso prequaternario costituisce la base della successione geologica locale e affiora con continuità al di sotto delle unità deposizionali più antiche collegate alle glaciazioni quaternarie che si sono susseguite nell'area. Esso comprende una vasta gamma di tipi litologici quali calcari marnosi, marne, marne calcaree grigio rosate o rossastre ed è presente in affioramento lungo le principali incisioni dei corsi d'acqua ed in corrispondenza delle porzioni più elevate dell'area delle colline moreniche. Comprende le formazioni di seguito descritte.

FLYSCH DI BERGAMO - Costituito da alternanze di peliti e arenarie in strati da sottili a spessi, talora organizzati in cicli coarsening-upward; gli strati arenitici risultano gradati e laminati, con frequenti controimpronte e tracce di bioturbazione alla base. Nell'area in esame, il Flysch di Bergamo è presente con il *Membro di Rogeno* che comprende alternanze di peliti e areniti in strati sottili e, nella parte sommitale intercalazioni metriche di conglomerati e paraconglomerati canalizzati medio-grossolani.

UNITÀ STORICAMENTE RIFERITE ALLA SCAGLIA LOMBARDA : FORMAZIONE DI BRENNO E FORMAZIONE DI TABIAGO -

La Formazione del Piano di Brenno è costituita da calcari marnosi e marne calcaree di colore grigio, bianco o rosato, a stratificazione variabile da sottile a media (strati di spessore decimetrico), molto regolare, in cui si intercalano letti centimetrici di limi marnosi, torbiditici.

Nella Formazione di Tabiago le marne presentano un aumento della frazione argillosa rispetto alla formazione del Piano di Brenno e una colorazione rossastra.

GRUPPO DELLE MARNE DI GALLARE - FORMAZIONE DI CIBRONE - L'unità è costituita da marne grigie pelitiche o siltose, con frequenti intercalazioni di strati arenitici pluricentimetrici, caratterizzate da laminazioni piano-parallele e caratteristica sfaldatura a poliedri rettangolari.

GRUPPO DELLA GONFOLITE LOMBARDA (settore ells Brianza): MARNE DI FORNACI E ARENARIE DI BRIOSCO

- *Marne di Fornaci* → marne massive, di colore grigio, con sfaldatura a blocchetti o a scaglie, più raramente "a saponetta", con sottili intercalazioni di arenarie a granulometria da fine a grossolana. Gli intervalli marnosi sono spessi sino a 15 m (6 m in media) e a luoghi mostrano sottili veli rugginosi apparentemente legati a concentrazioni di materia organica ossidata. Le arenarie si presentano in strati planari o lenticolari, spessi al massimo 10 cm, che mostrano laminazioni parallele, convolute e incrociate
- *Arenarie di Briosco* → arenarie e marne arrangiate in sequenze ritmiche di Bouma, localmente troncate alla base o sottili e incomplete, subordinate intercalazioni di conglomerati. Le arenarie, in strati da planari a lenticolari, sovente con controimpronte basali, sono di granulometria fino a molto grossolana e possono presentarsi ciottolose; strati massivi, non gradati e privi di strutture, possono raggiungere spessori fino a 1,2 m.

DEPOSITI PLIOQUATERNARI

FORMAZIONE DI LAMBRUGO - Tale unità, che corrisponde alle "Argille sotto il Ceppo" degli autori precedenti, comprende argille varvate a laminazione piano-parallela, di origine lacustre, con livelli limosi localmente cementati e locali intercalazioni di sabbie.

UNITÀ DEI CONGLOMERATI - Corrisponde al "Ceppo" degli autori precedenti

In tale unità, che raggruppa a grande scala tutti i sedimenti cementati.

- *Ceppo di Inverigo* → conglomerati medio fini, organizzati in banchi di spessore variabile tra 20 - 40 cm e 100 cm. Sono presenti strati più fini, costituiti da arenarie e sabbie pulite. Il deposito è costituito da banchi a supporto di matrice arenacea e da banchi a supporto clastico con matrice interstiziale arenacea debolmente limosa. La cementazione è buona anche se sono presenti livelli di sabbie e ghiaie non cementate, spesso alterate.
- *Ceppo di Calpuno* → conglomerati grossolani organizzati in banchi con spessore mediamente di 50-60 centimetri, a blanda inclinazione. Sono presenti livelli lenticolari costituiti da sabbie medio grossolane passanti a ghiaie (Inverigo). Il supporto è di matrice principalmente arenacea a granulometria grossolana e localmente passante a conglomerato fine. I clasti hanno dimensioni da centimetriche a pluridecimetriche (40 cm), mal selezionati; la forma è ben arrotondata, con sfericità medio-bassa. La cementazione è variabile da buona a scarsa.

SUPERSINTEMA DI BESNATE - È costituito da depositi di origine glaciale e fluvioglaciale riferiti al Pleistocene medio e superiore (Wurm e al Riss nelle porzioni marginali della vecchia nomenclatura). È costituito da depositi glaciali e fluvioglaciali. Il profilo di alterazione non è molto evoluto con spessori di 3-4 metri; l'alterazione è variabile e interessa tra il 30% e il 50% dei clasti. Coperture loessiche presenti.

SINTEMA DI CANTÙ - È costituito da depositi di varia genesi riferiti al Pleistocene Superiore (Wurm secondo la nomenclatura tradizionale). È caratterizzata da un profilo di alterazione poco evoluto, inferiore a 2,5 m di spessore. La maggior parte dei clasti non è alterata o presenta un cortex di alterazione non molto sviluppato. I depositi di questa unità non sono coperti da coltre loessica.

Da un punto di vista litologico, l'alloformazione è composta da:

- *depositi glaciali*: costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice sabbioso limosa talora abbondante. I clasti sono eterometrici anche di notevoli dimensioni, da spigolosi a subarrotondati. Se, da un punto di vista genetico, sono definiti "Till di alloggiamento", i sedimenti sono sovraconsolidati con ciottoli striati o con forma a "ferro da stiro"; al contrario, se definiti come "Till di ablazione" i sedimenti sono normalconsolidati e con ciottoli di maggiori dimensioni rispetto ai precedenti.
- *depositi fluvioglaciali*: costituiti da ghiaia da media a grossolana a supporto di matrice sabbioso-ghiaiosa fine, da ben stratificata a grossolanamente stratificata con strati di spessore variabile da decimetrico a metrico. I clasti sono poligenici, da male a ben selezionati. Subordinatamente sono costituiti da sabbia da fine a grossolana, talora limosa, in lamine piano-parallele con ciottoli sparsi e più raramente massiva o con laminazione obliqua a basso angolo o incrociata concava. È presente una locale cementazione. In

superficie sono poco o nulla alterati, ricoperti unicamente da un modesto spessore di suolo.

- *depositi glaciolacustri*: costituiti da argilla, limo argilloso, limo sabbioso e sabbia limosa in lamine piano-parallele orizzontali con dropstone sparsi spesso striati. Localmente si rinvencono livelli torbosi e deformazioni (pieghe di piccole dimensioni) legate a glaciotettonica, ossia a spinta dovuta alla fronte della lingua glaciale in avanzata; in tali casi i sedimenti risultano sovraconsolidati. Affiorano prevalentemente lungo la piana fluviale del Lambro, interessando in parte le aree oggetto di intervento.

SUPERSINTEMA DI VENEGONO - è costituito essenzialmente da depositi di versante e in misura minore da depositi fluviali, appartenenti a più eventi sedimentari indistinguibili sul terreno.

- *Loess colluviali*: limi debolmente argillosi con clasti sparsi. Clasti di dimensioni centimetriche, in genere poco alterati o con cortex di alterazione di pochi millimetri.
- *Depositi fluviali*: limi debolmente sabbiosi con presenza di livelli centimetrici alternati costituiti da ghiaie fini. Ghiaie fini e sabbie grossolane, a supporto di matrice costituita da limi sabbiosi. Ghiaie poligeniche poco alterate o con una patina di alterazione superficiale.
- *Depositi di versante*: ghiaie massive a supporto di matrice costituita da limi sabbiosi, ghiaie massive a supporto di clasti. Clasti di dimensione decimetriche, ignei e metamorfici alterati.

UNITÀ POSTGLACIALE (Pleistocene Superiore – Olocene) - È caratterizzata da un'alterazione poco evoluta con suoli poco sviluppati. La sua superficie limite superiore coincide con la superficie topografica, mentre la sua superficie limite inferiore è una superficie di erosione che pone l'Unità Postglaciale a contatto con tutte le unità più antiche. Da un punto di vista litologico, l'unità è composta da:

- depositi fluviali e alluvionali: costituiti da ghiaie medio grossolane a supporto di matrice sabbiosa e da sabbie e ghiaie a supporto di matrice limoso sabbiosa; talora si intercalano dei livelli più grossolani con matrice in quantità ridotta, limi sabbiosi e limi con clasti sparsi (depositi di esondazione). I clasti sono da subarrotondati a spigolosi, poligenici. La stratificazione è piano-parallela orizzontale.
- depositi lacustri: costituiti da limo argilloso da massivo a grossolanamente laminato con rizocrezioni, a laminato. Presenza di sottili intercalazioni di sabbia fine e livelli di torba.

L'area in cui verranno realizzati gli interventi oggetto della presente relazione si ubica nella valle del F. Lambro. In questa zona sono presenti depositi alluvionali (recenti ed attuali), riscontrabili nei settori più prossimi dell'alveo fluviale, e da terreni di origine fluvio-glacio-lacustre.

I depositi presenti sono formati principalmente da depositi fini limoso-sabbiosi e limoso-argillosi di colore grigio; sono possibili sporadiche intercalazioni più grossolane di sabbie e sabbie ghiaiose.

L'intera valle del Lambro è occupata da una coltre di sedimenti, il cui spessore (per il settore territoriale in esame) supera generalmente i 30 m. Tale coltre è direttamente posta sul substrato roccioso formato da conglomerati e arenarie di età olocenica e cretacea che si presenta particolarmente ondulato e inciso in corrispondenza dell'attuale alveo.

I versanti laterali alla valle del Lambro presentano un'ossatura rocciosa ammantata in modo discontinuo da coltri glaciali quaternarie che, a tratti, celano il suddetto substrato lapideo.

Gli aspetti geomorfologici di maggiore importanza presenti nella zona sono connessi all'attività del fiume Lambro caratterizzato da una dinamica in continua evoluzione. Il fiume è meandriforme, con sponde basse e leggere erosioni, spesso con resti di meandri e/o zone umide all'esterno delle anse attuali.

Si segnala infine la presenza di numerose cavità di dimensioni ridotte, ad oggi occupate da stagni e/o laghetti adibiti a pesca sportiva o allagate in occasione di eventi meteorici intensi, derivate dall'attività mineraria che ha interessato in passato la zona (cave di argilla).

3 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

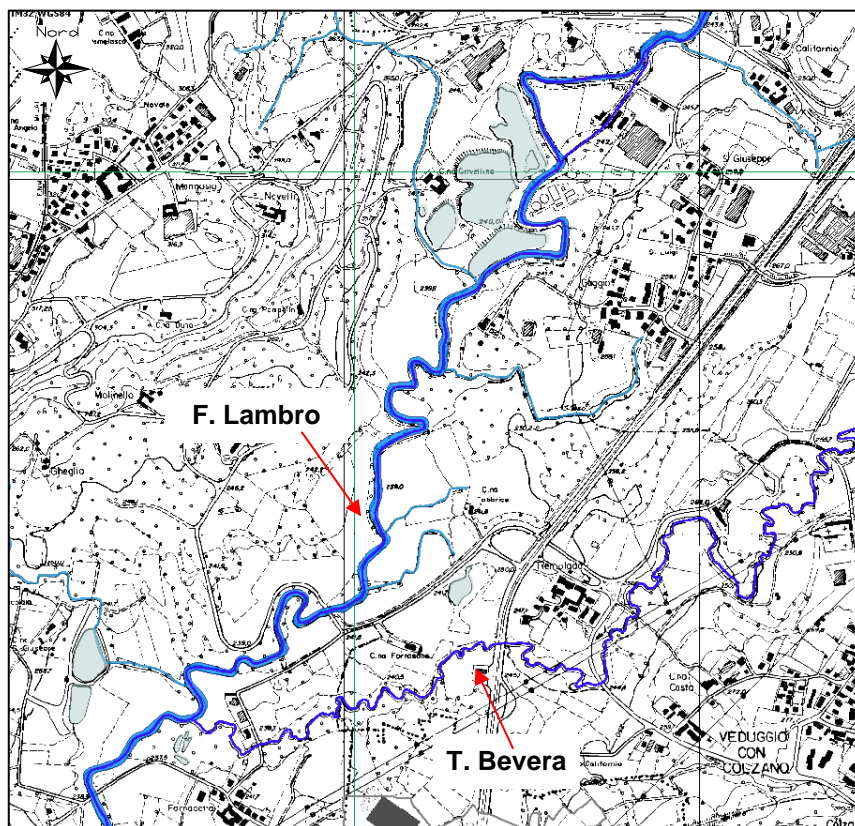
L'elemento idrico principale della zona è il F. Lambro. Esso nasce a nord di Erba, presso Piano Rancio, in località "Menaresta" (Comune di Magreglio) a quota 1456 m s.l.m.; da qui fino ad Asso il fiume ha carattere torrentizio e successivamente, fino ad Erba, scorre in un letto ampio e poco inciso. Mediante una canalizzazione (Lambrone) entra nel lago di Pusiano. Dall'uscita del lago di Pusiano, attraverso un emissario naturale ed uno artificiale (Cavo Diotti), il Lambro, dopo aver ricevuto anche le acque in uscita dal lago di Alserio, riprende il suo andamento con direzione principale nord-sud; assume il carattere di fiume e, col nome di Lambro settentrionale, inizia il suo percorso collinare.

L'alveo risulta essere generalmente incassato nel fondo valle; nella sua parte più settentrionale il fiume assume un andamento meandriforme e le aree perfluviali sono caratterizzate dalla presenza di lanche e aree umide naturali anche grazie alla presenza di diverse risorgive, piccoli affluenti e dreni presenti su entrambi i lati. Inoltre, nell'area d'interesse sono presenti una serie di laghetti di origine antropica, lascio dell'attività estrattiva lì svolta un tempo a servizio della produzione di laterizi e altri materiali da costruzione.

Il Lambro riceve anche i contributi idrici di alcuni affluenti (Bevere di Molteno, Veduggio e Renate).

Nella zona in esame il Lambro presenta un andamento meandriforme con direzione di flusso circa NE-SW, con alveo poco inciso e poco depresso rispetto alla quota del piano campagna circostante.

L'affluente principale è la Bevera che si immette, in sponda sinistra, in comune di Inverigo (poco a monte del ponte di via Fornacetta).



Idrografia dell'area – fuori scala

Per quanto concerne la circolazione idrica nel sottosuolo, la zona si contraddistingue per una scarsità di risorse idriche sotterranee a causa della presenza di prevalenti unità rocciose a bassa permeabilità. Gli acquiferi, sono in genere situati ad elevata profondità rispetto al piano campagna, contenuti nel conglomerato del Ceppo, ed in particolare nelle sue porzioni maggiormente fratturate, oppure nelle successioni prevalentemente ghiaioso-sabbiose dei depositi di origine glaciale e fluvioglaciale soprastanti il Ceppo. Le falde contenute nei depositi quaternari sono però di modesta significatività.

A tal proposito si riporta che l'assenza di pozzi sfruttati a scopo idropotabile sia in comune di Nibionno che di Inverigo (lungo la piana del fiume Lambro) da riscontro della limitata significatività della circolazione idrica sotterranea nel territorio comunale. Si ricava che la piana del fiume Lambro si imposta su ambito con terreni a bassa permeabilità, in cui è presente falda idrica posta a bassa profondità dal piano campagna.

Si osserva inoltre che tale bassa permeabilità si riflette nel maggiore sviluppo del reticolato idrografico superficiale nelle aree pianeggianti circostanti il fiume Lambro rispetto ai settori posti nel contesto collinare, con depositi superficiali maggiormente permeabili. La valle del fiume Lambro costituisce una conca morfologica che esercita azione di richiamo delle acque superficiali e sub superficiali. La presenza di vasti settori con depositi poco permeabili determina la venuta a giorno delle acque, con formazione di fitto reticolo di rogge secondarie o scoline e di aree di ristagno idrico. Il fiume Lambro rappresenta il recapito delle acque superficiali e sub superficiali, fungendo pertanto, in condizioni ordinarie di ricarica, da elemento drenante del sistema idrologico ed idrogeologico. Va ricordato che l'equilibrio idrogeologico tra corsi d'acqua e falde sub

superficiali è di tipo dinamico è varia in funzione delle condizioni di ricarica sia del corso d'acqua che delle falde sotterranee.

I depositi fluvio-lacustri che colmano la depressione alluvionale del Lambro ospitano una falda idrica che presenta un andamento generale da NNE verso SSW, segue cioè la valle del Lambro. Localmente, possono verificarsi variazioni di questo trend generale, per la flessione delle isopieze lungo i fianchi della valle del Lambro.

Nel settore territoriale in esame, la falda ha un livello idrico all'incirca uguale all'alveo attuale del Lambro.

Le misure piezometriche effettuate nelle vicinanze del fiume hanno infatti confermato quote idriche leggermente superiori a quelle dell'alveo.

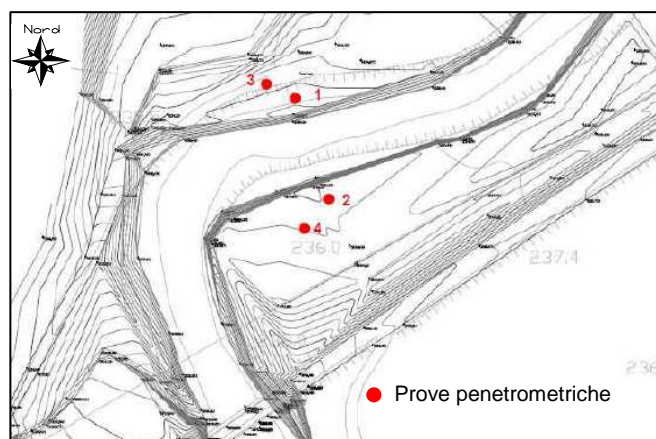
| zona | prova | Profondità falda il 6/05/2016 (m da p.c.) |
|--|-----------|--|
| Molino Nuovo | CPT1 | -2,6 |
| | CPT2/DIN2 | -2,5 |
| Fornace Consonni | DIN3 | -0,98 |
| | CPT4 | -0,61 |
| | CPT5 | -1,95 |
| Cascina Cattafame | CPT6 | -2,3 |
| | CPT7 | -2,18 |
| via Fornacetta | CPT8 | -1,7 |
| Indagini pregresse realizzate da altro professionista | | |
| zona | prova | Profondità falda nel marzo 2014 (m da p.c.) |
| via Fornacetta | 1 | -1,1 |
| | 2 | -2,4 |
| | 3 | -1,8 |
| | 4 | -2,1 |

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE

4.1 Indagini pregresse

A supporto del progetto definitivo, in corrispondenza della zona di realizzazione dell'opera per la regolazione delle portate, sono state eseguite nel 2014 (da Altro Professionista), n. 4 prove penetrometriche dinamiche.

Ubicazione indagini - fuori scala

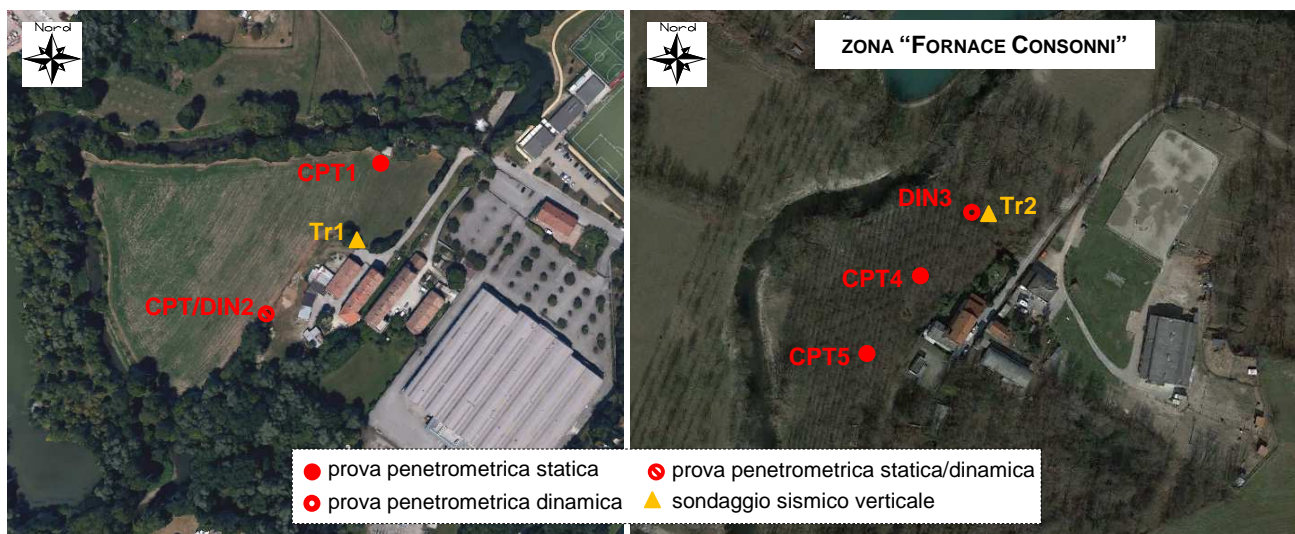


Esse, assieme alla loro elaborazione e interpretazione, sono riportate nella Relazione geologica-geotecnica redatta dal Dott. Geol. Pietro Alborghetti (maggio 2014 a supporto del Progetto Definitivo) allegata a fine testo; si rimanda ad essa per maggiori dettagli.

4.2 Indagini realizzate nel 2016 (a supporto del Progetto Esecutivo)

A integrazione è quindi stata eseguita una campagna di indagini consista in indagini sia dirette che indirette:

- indagini sismiche tipo masw;
- n. 8 prove penetrometriche statiche/dinamiche;
- n 4 sondaggi sismici verticali.



Ubicazione indagini su immagine tratta da Google Earth - fuori scala



Ubicazione indagini su immagine tratta da Google Earth - fuori scala

4.2.1 Indagini sismiche tipo MASW

Al fine di procedere ad una caratterizzazione sismica dei terreni presenti nella zona di via Fornacetta (dove verrà realizzata struttura per la regolazione delle portate di piena) è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche. Nello specifico, la metodologia utilizzata è stata quella delle prove sismiche tipo MASW per la ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde S con la profondità (V_s).

L'indagine è stata realizzata il giorno 27/04/2016 dalla società GEA ENGINEERING S.r.l. e la relativa relazione è allegata a fine testo.

Si sintetizzano di seguito i risultati ottenuti mentre si rimanda alla relazione allegata per maggiori dettagli.

L'analisi ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità delle onde S per la stesa sismica realizzata.

| Profondità da p.c. (m) | Spessore (m) | Velocità onde S (m/sec) |
|---------------------------|-----------------|----------------------------|
| -1,4 | 1,4 | 110 |
| -3,5 | 2,1 | 121 |
| -7,7 | 4,2 | 156 |
| -9,8 | 2,1 | 127 |
| -28,0 | 18,2 | 329 |
| -33,0 | 5,0 | 431 |

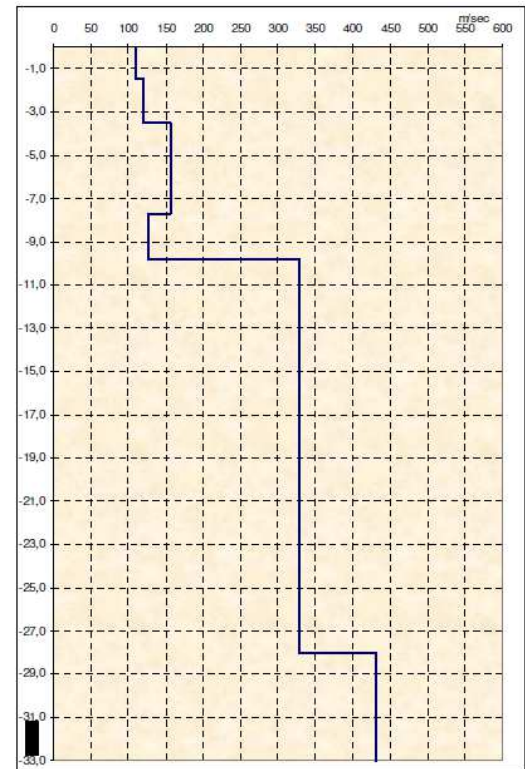
- Sismostratigrafia -

Il valore di V_{s30} ottenuto è:

- 225 m/sec → se riferito al p.c..
- 262 m/sec → se riferito al piano delle fondazioni (testa palo posto a circa -3,0 m rispetto p.c.);

Secondo normativa vigente, la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).



- Grafico velocità V_s /profondità -

4.2.2 Prove penetrometriche

Stante la tipologia dei terreni presenti si è optato per l'esecuzione di prove penetrometriche statiche.

Tale metodo consente di ricavare dati utili al riconoscimento preliminare, in base alle resistenze incontrate, delle caratteristiche granulometriche dei terreni attraversati, permettendo così di ricavare un profilo stratigrafico orientativo.

La *prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico)* consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante. La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri.

Fra i vari tipi di punte, viene di solito utilizzata la punta telescopica o punta Begemann. E' costituita da una parte conica terminale, con angolo di apertura del cono di 60° e diametro di apertura del cono di 37.5 mm, attraverso il quale si misura la resistenza di punta, e da un manicotto, con una superficie laterale di 150 cmq, con cui è possibile misurare la resistenza di attrito laterale. L'esecuzione della prova consiste nel far avanzare a intervalli regolari di 20 cm l'intera batteria di aste; si legge per i primi 2 cm di avanzamento la resistenza alla punta e poi, per i successivi altri 4 cm, quella alla punta più quella laterale; negli ultimi 12 cm si ritorna nella posizione iniziale.

E' stato utilizzato un penetrometro modello statico / dinamico PAGANI TG 73/200 con le seguenti caratteristiche tecniche.

| <u>CPT</u> | <u>DPSH</u> |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">- lunghezza asta: 1 m- peso totale asta: 6,5 kg- peso asta interna: 1,38 kg- penetrazione totale standard: 20 cm | <ul style="list-style-type: none">- peso del maglio: 73 kg- altezza di caduta: 75 cm- diametro aste: 34 mm- angolo al vertice punta conica: 60°- penetrazione standard: 30 cm |

Questo tipo di penetrometro permette di eseguire anche le prove penetrometriche dinamiche DPSH.

La *prova penetrometrica dinamica DPSH* consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno dal piano campagna una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta prolungabile mediante l'aggiunta di successivi spezzoni. L'infissione avviene per battitura facendo cadere da un'altezza costante un maglio di peso standard. Durante l'esecuzione della prova viene contato il numero di colpi (N_{30}) necessario all'avanzamento dell'asta per tratti successivi di 30 cm. Questo tipo d'indagine ha il pregio di fornire informazioni continue sulla resistenza alla penetrazione dinamica, ma presenta il grosso difetto di non dare indicazioni specifiche circa la natura litologica del terreno investigato.

Durante l'esecuzione delle indagini, in due punti, non è stato possibile procedere con l'esecuzione della prova di tipo statico ed è quindi stato necessario passare alla realizzazione di prove di tipo dinamico. In particolare:

- ❖ zona "Molino Nuovo" – CPT2/DIN2 → lungo questa verticale, alla profondità di -2,2 m, è stata interrotta la prova statica per l'incontro di un livello grossolano (sabbie-ghiaia) resistente; la prova è stata poi condotta secondo la metodologia dinamica fino alla profondità di -6,9 m da p.c.;
- ❖ zona "Fornace Consonni" – DIN3 → in questo punto è stata realizzata una prova di tipo dinamico in quanto non è stato possibile ancorare il penetrometro per l'esecuzione della prova secondo la metodologia statica.

Le indagini sono state spinte fino alla profondità di -6,8 / -6,9 m da p.c..

In ogni foro è stato misurato il livello idrico già riportato nel capitolo 3.

In linea generale le prove hanno evidenziato quanto segue.

- I terreni presenti sono costituiti da granulometrie prevalentemente fini. Si tratta di alternanze di limi con varie percentuali di argilla (limi argillose, limi con argille, limi e argille) e sabbie limose/argillose. Si individuano subordinate lenti/livelli sia più grossolani (sabbie e ghiaie fini) sia livelli francamente argillosi.
- Le indagini hanno evidenziato variazioni granulometriche anche a piccola scala, cioè, all'interno dei livelli individuati, si osservano sottili livelletti (centimetrici) a differente composizione granulometrica.

- I terreni sono, in linea generale, sciolti / molli e presentano caratteristiche geotecniche scadenti.
- Il livello idrico riscontrato nei fori di indagine coincide all'incirca al livello del Fiume Lambro.
- La zona con maggiore disomogeneità (in senso orizzontale) è risultata quella di Molino Nuovo dove le due prove realizzate hanno individuato terreni differenti a pari profondità. In particolare la prova CPT2/DIN2 ha riscontrato la presenza di un orizzonte moderatamente addensato e a composizione granulometrica più grossolana posto da -1,8 e -3,6 m circa da p.c.; tale livello non è stato rinvenuto nella verticale di indagine CPT1.

Il report completo delle indagini è allegato a fine testo.

4.2.3 Sondaggi sismici verticali

Al fine di procedere ad una caratterizzazione sismica locale dei terreni, è stata eseguita un'indagine geofisica con misurazione del rumore sismico ambientale mediante Tromino.

Sono state effettuate n. 4 misure di microtremore ambientale della durata di 20 minuti ciascuna con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento di misura è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente ed è fornito di GPS interno. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Queste indagini hanno confermato la presenza di una coltre di depositi con spessore maggiore di 30 m oltre che valori di V_{s30} compatibili con la categoria sismica di suolo C.

I diagrammi dei sondaggi sismici sono riportati in allegato a fine testo.

5. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Sulla base delle indagini condotte sono stati ricostruiti i modelli geologici e geotecnici locali delle diverse zone di intervento.

Per la correlazione con il valore dell'angolo di attrito è stata utilizzata la formula di Meyerof '51, mentre per la coesione non drenata è stata utilizzata la formula di De Beer. Gli altri parametri litotecnici sono stati ottenuti mediando valori di vari Autori.

5.1 Zona Molino Nuovo -- prove CPT1 - CPT/DIN2

| orizzonte | Profondità (m dal p.c.) | litologia prevalente | Qc medio (kg/cm ²) Nspt medio (c/p) |
|-----------|-------------------------------|--|--|
| A | da 0,0 a -3,6 / -4,2 | Limi - Argille Sabbiose con lenti / orizzonti più grossolani (sabbie) | 22,5 – 15,3 kg/cm ² 4 - 5 c/p |
| B | da -3,6 / -4,2 a -6,8 | Argille - Argille Limose – Limi argillosi | 6,9 kg/cm ² 2 - 5 c/p |
| A1 | da -1,8 a -3,6 in CPT/DIN2 | Lente più grossolana solo in CPT/DIN2 | 16 c/p |

| orizzonte | Peso di volume Yt (g/cm ³) | Peso di volume saturo Yt (g/cm ³) | Angolo di resistenza al taglio φ (°) | Coesione non drenata Cu (kg/cm ²) | Modulo edometrico Ed (kg/cm ²) |
|-----------|--|---|--|---|--|
| A | 1,8 | 2,1 | 23,9 ÷ 27,09 | 0,77 ÷ 1,12 | 45 ÷ 48 |
| B | 1,7 | 1,9 | 20 | 0,35 | 35 |
| A1 | 1,7 | 1,9 | 31 ÷ 32 | ---- | ---- |

5.2 Zona Fornace Consonni -- prove DIN3 - CPT 4 - CPT 5

| orizzonte | Profondità (m dal p.c.) | litologia prevalente | Qc medio (kg/cm ²) Nspt medio (c/p) |
|-----------|----------------------------|--|--|
| A | da 0,0 a -6,8 | Limi e argille con livelletti di sabbie limose | 6,5 ÷ 8 kg/cm ² 1 ÷ 5 c/p |

| orizzonte | Peso di volume Yt (g/cm ³) | Peso di volume saturo Yt (g/cm ³) | Angolo di resistenza al taglio φ (°) | Coesione non drenata Cu (kg/cm ²) | Modulo edometrico Ed (kg/cm ²) |
|-----------|--|---|--|---|--|
| A | 1,8 | 2,1 | 20,1 ÷ 20,6 | 0,34 ÷ 0,4 | 34,3 ÷ 37,7 |

5.3 Zona Cascina Cattafame -- prove CPT 6 - CPT 7

| orizzonte | Profondità (m dal p.c.) | litologia prevalente | Qc medio (kg/cm ²) |
|-----------|----------------------------|---|-----------------------------------|
| A | da 0,0 a -6,8 | Limi / Argille con livelli sabbiosi (a tratti anche con ghiaia fine) | 6,7 – 6,9 kg/cm ² |

| orizzonte | Peso di volume Yt (g/cm ³) | Peso di volume saturo Yt (g/cm ³) | Angolo di resistenza al taglio φ (°) | Coesione non drenata Cu (kg/cm ²) | Modulo edometrico Ed (kg/cm ²) |
|-----------|--|---|--|---|--|
| A | 1,8 | 2,1 | 20,1 | 0,34 | 34 ÷ 34,7 |

5.4 Zona Via Fornacetta -- prove CPT 8

| orizzonte | Profondità (m dal p.c.) | litologia prevalente | Qc medio (kg/cm ²) |
|-----------|----------------------------|---|-----------------------------------|
| A | da 0,0 a -2,8 | Terreni misti: Limi – Argille – Sabbie | 8,9 kg/cm ² |
| B | da -2,8 a -4,2 | Sabbie - Sabbie limose | 49,4 kg/cm ² |
| C | da -4,2 a 6,8 | Argille - Argille Limose – Limi argillosi | 7,3 kg/cm ² |

| orizzonte | Peso di volume Yt (g/cm ³) | Peso di volume saturo Yt (g/cm ³) | Angolo di resistenza al taglio φ (°) | Coesione non drenata Cu (kg/cm ²) | Modulo edometrico Ed (kg/cm ²) |
|-----------|--|---|--|---|--|
| A | 1,8 | 2,1 | 21 | 0,45 | 41 |
| B | 1,9 | 2,2 | 39,2 | 2,4 | 59 |
| C | 1,8 | 2,1 | 20,3 | 0,36 | 36 |

6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Per la definizione dell'azione sismica, i Progettisti del Progetto Definitivo avevano assunto i seguenti dati relativamente all'opera prevista in zona Fornacetta.

- **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** : ≥ 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 | ≥ 100 anni | III | 1,5 | 150 |

Stralcio relazione geologica-geotecnica redatta dal Dott. Geol. Pietro Alborghetti

Tali assunzioni sono state utilizzate anche per le altre zone in esame.

L'azione sismica è quindi stata valutata utilizzando i dati seguenti.

- Classe uso → III Vita nominale → 100
Periodo di riferimento → 150 anni Coefficiente c_u → 1,5
- Categoria sottosuolo → C (derivante dalla linea MASW e dai sondaggi sismici verticali)
- Categoria topografica → T1

Le coordinate dei punti esaminati ed i valori rispetto ai siti di riferimento della grigia sono i seguenti.

| | Coordinate sito in esame (ED50) | |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | <i>latitudine</i> | <i>longitudine</i> |
| Molino Nuovo | 45,749769 | 9,253866 |
| Fornace Consonni | 45,744607 | 9,249725 |
| Cascina Cattafame | 45,734531 | 9,240488 |
| Zona via Fornacetta | 45,733058 | 9,236114 |

Dall'elaborazione (effettuata con il programma online Geostru PS Parametri sismici) si ottengono i parametri di azione sismica per i diversi stati limite.

| | Stato limite | T_R [anni] | a_g [g] | F₀ [-] | T_c[*] [s] |
|--|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| Molino Nuovo | SLO | 90 | 0,029 | 2,579 | 0,206 |
| | SLD | 151 | 0,035 | 2,609 | 0,228 |
| | SLV | 1424 | 0,066 | 2,697 | 0,304 |
| | SLC | 2475 | 0,076 | 2,744 | 0,313 |
| Fornace Consonni | SLO | 90 | 0,029 | 2,580 | 0,206 |
| | SLD | 151 | 0,035 | 2,609 | 0,228 |
| | SLV | 1424 | 0,066 | 2,697 | 0,304 |
| | SLC | 2475 | 0,076 | 2,745 | 0,313 |
| Cascina Cattafame | SLO | 90 | 0,029 | 2,579 | 0,206 |
| | SLD | 151 | 0,035 | 2,609 | 0,227 |
| | SLV | 1424 | 0,066 | 2,698 | 0,304 |
| | SLC | 2475 | 0,076 | 2,746 | 0,313 |
| Zona via Fornacetta | SLO | 90 | 0,029 | 2,580 | 0,206 |
| | SLD | 151 | 0,034 | 2,609 | 0,227 |
| | SLV | 1424 | 0,065 | 2,698 | 0,304 |
| | SLC | 2475 | 0,076 | 2,747 | 0,313 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: 150 | | | | | |

I coefficienti sismici risultano i seguenti.

| | Molino Nuovo | Fornace Consonni | Cascina Cattafame | Zona via Fornacetta |
|------------|--|--|--|--|
| SLO | Ss: 1,500 Cc: 1,770 St: 1,000 Kh: 0,009 Kv: 0,004 Amax: 0,430 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,770 St: 1,000 Kh: 0,009 Kv: 0,004 Amax: 0,429 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,770 St: 1,000 Kh: 0,009 Kv: 0,004 Amax: 0,429 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,770 St: 1,000 Kh: 0,009 Kv: 0,004 Amax: 0,428 m/s ² Beta: 0,200 |
| SLD | Ss: 1,500 Cc: 1,710 St: 1,000 Kh: 0,010 Kv: 0,005 Amax: 0,510 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,710 St: 1,000 Kh: 0,010 Kv: 0,005 Amax: 0,509 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,710 St: 1,000 Kh: 0,010 Kv: 0,005 Amax: 0,508 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,710 St: 1,000 Kh: 0,010 Kv: 0,005 Amax: 0,507 m/s ² Beta: 0,20 |
| SLV | Ss: 1,500 Cc: 1,560 St: 1,000 Kh: 0,020 Kv: 0,010 Amax: 0,969 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,560 St: 1,000 Kh: 0,020 Kv: 0,010 Amax: 0,967 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,560 St: 1,000 Kh: 0,020 Kv: 0,010 Amax: 0,964 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,560 St: 1,000 Kh: 0,020 Kv: 0,010 Amax: 0,962 m/s ² Beta: 0,200 |
| SLC | Ss: 1,500 Cc: 1,540 St: 1,000 Kh: 0,023 Kv: 0,011 Amax: 1,120 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,540 St: 1,000 Kh: 0,023 Kv: 0,011 Amax: 1,117 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,540 St: 1,000 Kh: 0,023 Kv: 0,011 Amax: 1,114 m/s ² Beta: 0,200 | Ss: 1,500 Cc: 1,540 St: 1,000 Kh: 0,023 Kv: 0,011 Amax: 1,111 m/s ² Beta: 0,200 |

7. ESCLUSIONE VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Ai sensi par 7.11.3.4.2 delle NTC 08 (DM 14-1-2008) le verifiche alla liquefazione possono essere omesse quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0.1g$
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 7.11.1a nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in figura 7.11.1b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$

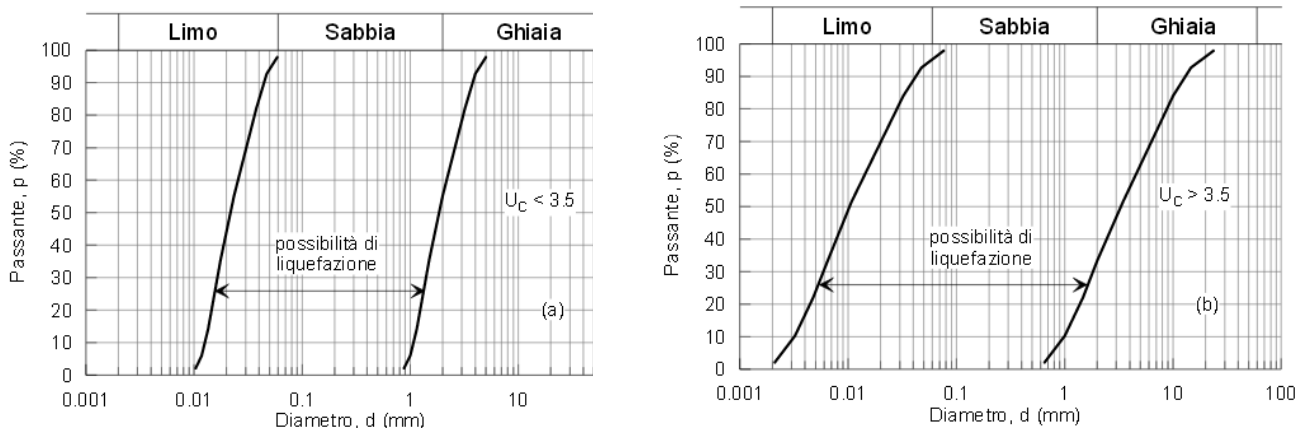


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Quando le condizioni 1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5.

Nel caso in esame:

- ❖ la magnitudo massima attesa è inferiore a 5;
- ❖ assumendo vita nominale 100 anni, classe uso 3 e sottosuolo tipo C si ottiene (per SLV) $a_{max} \approx 0,098 g$.

Si possono quindi omettere le verifiche alla liquefazione.

8. VERIFICHE GEOTECNICHE

Il progetto di un manufatto in materiali sciolti deve tenere conto dei requisiti prestazionali richiesti e delle caratteristiche dei terreni di fondazione.

Le verifiche SLU per opere di materiali sciolti devono essere effettuate secondo l'Approccio 1, Combinazione 2: (A2+M2+R2). La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi: al termine della costruzione e in esercizio.

Il punto 6.8.3 - verifiche in condizioni di esercizio SLE stabilisce inoltre che si debba verificare che i cedimenti del manufatto, dovuti alla deformazione dei terreni di fondazione e dell'opera, siano compatibili con la sua funzionalità.

Per quanto concerne le verifiche al sifonamento si rimanda agli elaborati a cura dei Progettisti della parte idraulica.

8.1 Verifiche di stabilità

Conformemente a quanto previsto dal D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" al Par. 6.4.2.1 le verifiche devono essere effettuate con l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2 + M2 + R2).

dove i coefficienti parziali sono riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I (R2=1.1) della stessa Norma.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

| CARICHI | EFFETTO | Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E) | EQU | (A1) STR | (A2) GEO |
|---|-------------|--|-----|----------|----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | Sfavorevole | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Permanenti non strutturali ⁽¹⁾ | Favorevole | γ_{G2} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qk} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| PARAMETRO | GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE PARZIALE γ_M | (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 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ | γ_r | 1,0 | 1,0 |

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

| Coefficiente | R2 |
|--------------|-----|
| γ_R | 1,1 |

La combinazione di verifica A2+M2+R2 ha quindi imposto di considerare come parametri di progetto M2 del terreno quelli ottenuti riducendo i parametri geotecnici caratteristici delle unità geotecniche definite con i coefficienti parziali da normativa.

Deve essere soddisfatta la condizione $E_d \leq R_d$ ossia:

$$F.S. = \frac{R_d}{E_d} \geq 1 \quad \text{dove } R_d = (R_k / \gamma_d) * (1/\gamma_R)$$

con R_d : resistenza di progetto R_k : resistenza caratteristica (parametri geotecnici caratteristici).

Le verifiche di stabilità globale sono state eseguite sul lato campagna e lato fiume del rilevato arginale in progetto. In particolare per ciascuna delle aree di intervento è stata scelta la sezione più rilevante e quindi rappresentativa delle condizioni più critiche.

La stabilità è stata verificata nelle seguenti condizioni:

- a termine costruzione (serbatoio vuoto);
- a serbatoio pieno con il livello di massimo invaso posto cautelativamente a -1 m dal ciglio del rilevato;
- a seguito di rapido svasso.

Tenuto conto delle durate complessivamente modeste dell'evento di piena atteso rispetto ai tempi di ricorrenza degli eventi simili, nella seconda e terza condizione di cui sopra non si è considerata l'azione del sisma in combinazione con il livello di massimo invaso e successivo rapido svasso, in quanto assai improbabile.

Le verifiche sono state eseguite sia in condizioni drenate (lungo termine) che in condizioni non drenate (breve termine).

Per le verifiche della stabilità è stato utilizzato un software dedicato che effettua l'analisi di stabilità dei pendii in terra con i metodi all'equilibrio limite.

E' stato utilizzato il *metodo di Spencer* (1967); tale metodo divide il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno.

La verifica a termine costruzione è stata eseguita anche in condizioni sismiche (adottato il metodo pseudo-statico), inserendo i parametri di amplificazione k_h e k_v (SLV) ricavati dall'inquadramento sismico sito dipendente per la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1.

Si ha nel caso specifico: $k_h = 0,020$ e $k_v = 0,010$

Nelle verifiche è stato considerato anche un carico alla sommità del rilevato. Sono state considerate due differenti tipologie di carico:

- Folla compatta (x2) → carico uniformemente distribuito su tutta la larghezza del rilevato

$$Q = 10 \text{ kN/m}^2 = 0,102 \text{ kg/cm}^2$$

- Mezzo di manutenzione o soccorso → carico uniformemente distribuito su una larghezza di 1,3 m e posto al centro del rilevato

$$Q = 30,77 \text{ kN/m}^2 = 0,314 \text{ kg/cm}^2$$

Adottando i coefficienti A2 della normativa i carichi utilizzati sono quindi i seguenti:

➤ **VERIFICHE CONDIZIONE STATICA**

- folla compatta → $Q = 0,102 \text{ kg/cm}^2 \times 1,3 \approx 0,133 \text{ kg/cm}^2$
- mezzo manutenzione o soccorso → $Q = 0,314 \text{ kg/cm}^2 \times 1,3 \approx 0,408 \text{ kg/cm}^2$

➤ **VERIFICHE CONDIZIONE SISMICA**

- folla compatta → $Q = 0,102 \text{ kg/cm}^2 \times 1 = 0,102 \text{ kg/cm}^2$
- mezzo manutenzione o soccorso → $Q = 0,314 \text{ kg/cm}^2 \times 1 \approx 0,314 \text{ kg/cm}^2$

Si fa notare che, data la tipologia dell'opera, l'adozione dei carichi suddetti è a favore di sicurezza.

Relativamente al terreno delle opere arginali sono stati utilizzati i seguenti parametri.

| RILEVATO | | | | |
|--|---|---|---|--|
| Peso di volume $\gamma_t \text{ (kg/m}^3\text{)}$ | Peso di volume saturo $\gamma_t \text{ (kg/m}^3\text{)}$ | Angolo di resistenza al taglio $\varphi \text{ (}^\circ\text{)}$ | Coesione $C' \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ | Coesione non drenata $C_u \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ |
| 1900 | 2100 | 28 | 0,1 | 0,7 |

I parametri geotecnici dei terreni naturali sono stati ricavati dalle indagini condotte.

La superficie di filtrazione all'interno del corpo arginale nelle condizioni di massimo invaso è stata ipotizzata con riferimento a schematizzazioni di letteratura. Essa si sviluppa da -1 m dalla sommità arginale (valore cautelativo rispetto alle simulazione idrauliche effettuale) lato fiume alla base dell'argine lato campagna fino ad intercettare il livello di falda individuato dalle indagini realizzate.

Stessa condizione di cautela sussiste anche per la verifica al rapido svasso, per la quale si ipotizza che il rilevato arginale del lato fiume cassa rimanga totalmente saturo al di sotto della linea di filtrazione di massimo invaso.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le condizioni di verifica ed i relativi coefficienti di sicurezza minimi ottenuti, mentre in allegato a fine testo si riportano gli output grafici delle varie verifiche effettuate con indicazione della superficie di instabilità più critica individuata (F_s minimo).

Le verifiche sul lato campagna di rapido svasso statiche in condizioni sia drenate che non drenate sono risultate identiche alle rispettive di massimo invaso e per questo non riportate in allegato a fine testo.

8.1.1 Molino Nuovo

| MOLINO NUOVO | | | | |
|---|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| CARICO SOMMITÀ DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| fine opera → serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume | 3,61 | 1,56 |
| | | lato campagna | 3,69 | 1,50 |
| | CON | lato fiume | 3,91 | 1,62 |
| | | lato campagna | 3,90 | 1,57 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume | 3,67 | 1,36 |
| | | lato campagna | 4,01 | 1,32 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume | 3,56 | 1,40 |
| CARICO SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| fine opera → serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume | 4,55 | 1,75 |
| | | lato campagna | 4,71 | 1,78 |
| | CON | lato fiume | 4,60 | 1,76 |
| | | lato campagna | 4,76 | 1,79 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume | 4,72 | 1,46 |
| | | lato campagna | 4,96 | 1,53 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume | 4,61 | 1,54 |

Le verifiche effettuate hanno ricavato coefficienti di sicurezza nei vari scenari e condizioni di analisi superiori a 1, con i valori nelle condizioni drenate generalmente inferiori a quelli non drenati.

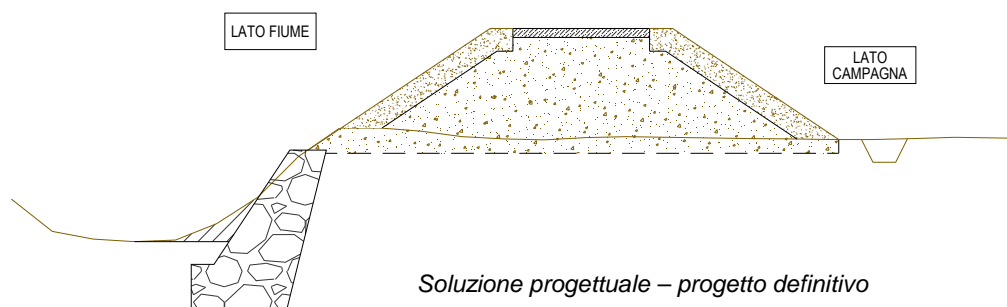
8.1.2 Fornace Consonni

| FORNACE CONSONNI | | | | |
|---|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| CARICO SOMMITÀ DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| Serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume | 2,25 | 1,38 |
| | | lato campagna | 2,21 | 1,53 |
| | CON | lato fiume | 2,30 | 1,41 |
| | | lato campagna | 2,27 | 1,58 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume | 2,48 | 1,10 |
| | | lato campagna | 2,25 | 1,33 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume | 2,23 | 1,12 |
| CARICO SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| Serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume | 2,43 | 1,60 |
| | | lato campagna | 2,39 | 1,75 |
| | CON | lato fiume | 2,38 | 1,57 |
| | | lato campagna | 2,37 | 1,74 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume | 2,69 | 1,22 |
| | | lato campagna | 2,42 | 1,49 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume | 2,37 | 1,23 |

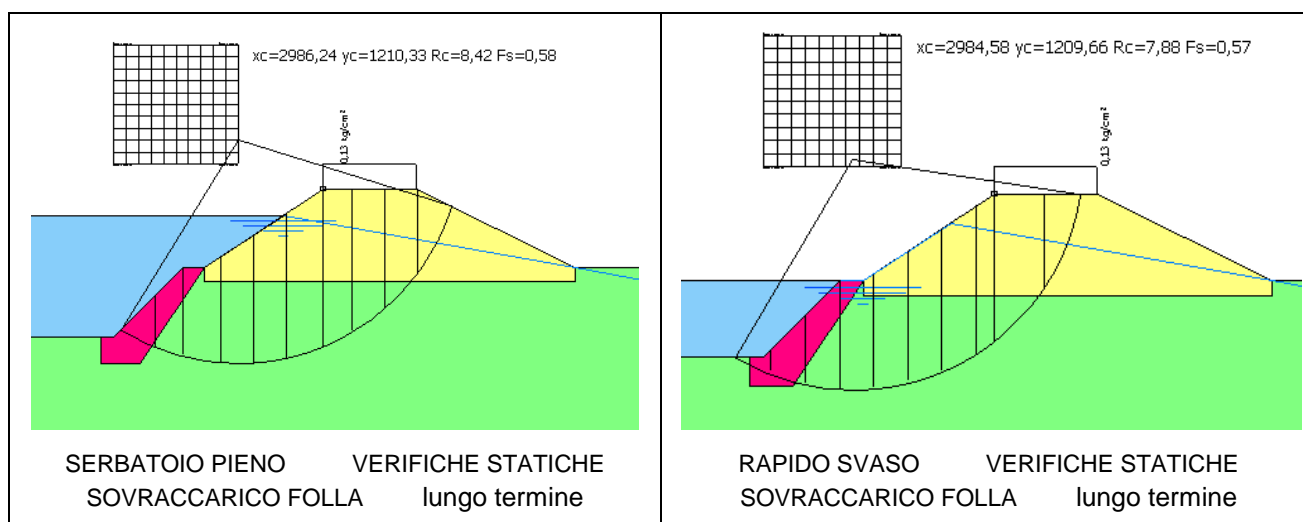
Le verifiche effettuate hanno ricavato coefficienti di sicurezza nei vari scenari e condizioni di analisi superiori a 1, con i valori nelle condizioni drenate generalmente inferiori a quelli non drenati.

8.1.3 Cascina Cattafame

Per quanto riguarda la zona di Cascina Cattafame, il progetto definitivo prevedeva, nei punti a ridosso del T. Bevera, la realizzazione di una scogliera di difesa spondale e la formazione del rilevato a ridosso della stessa.

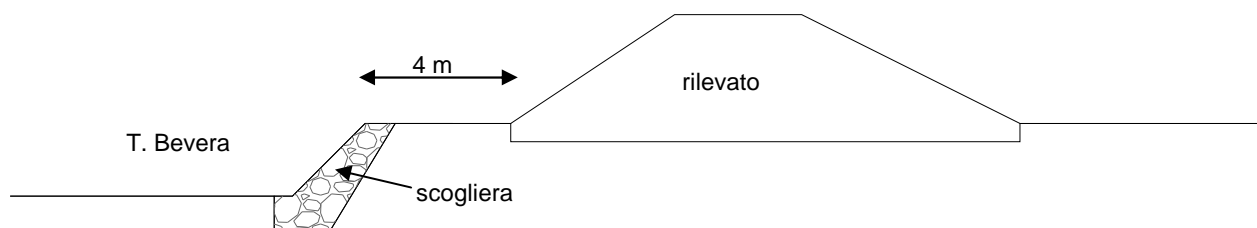


Le verifiche di stabilità effettuate hanno evidenziato la sostanziale instabilità di questa soluzione.



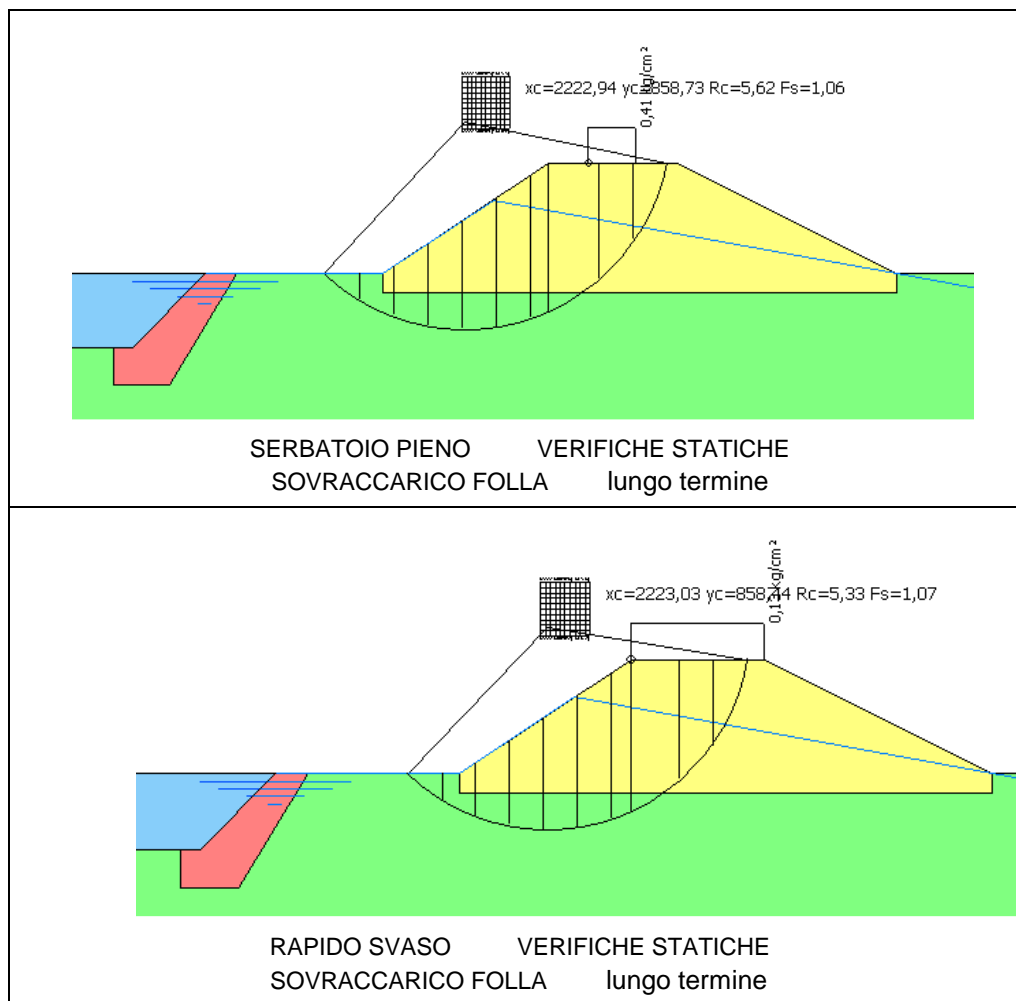
Per questa ragione sono state effettuate delle verifiche al fine di individuare la distanza minima da adottare tra la scogliera ed il rilevato per ottenere fattori di sicurezza maggiori dell'unità nelle differenti condizioni di verifica.

Tale distanza è risultata essere di 4 m.



Per quanto riguarda il lato fiume, in allegato a fine testo, si riportano solamente le verifiche globali (rilevato + sponda fluviale con scogliera) mentre per praticità si è omesso di restituire:

- verifiche sezione tipo zona vicino torrente - stabilità del solo rilevato → le verifiche realizzate hanno comunque evidenziato fattori di sicurezza leggermente minori di quelli della verifica globale ma comunque maggiori di 1. Si riportano di seguito le verifiche più ostative.



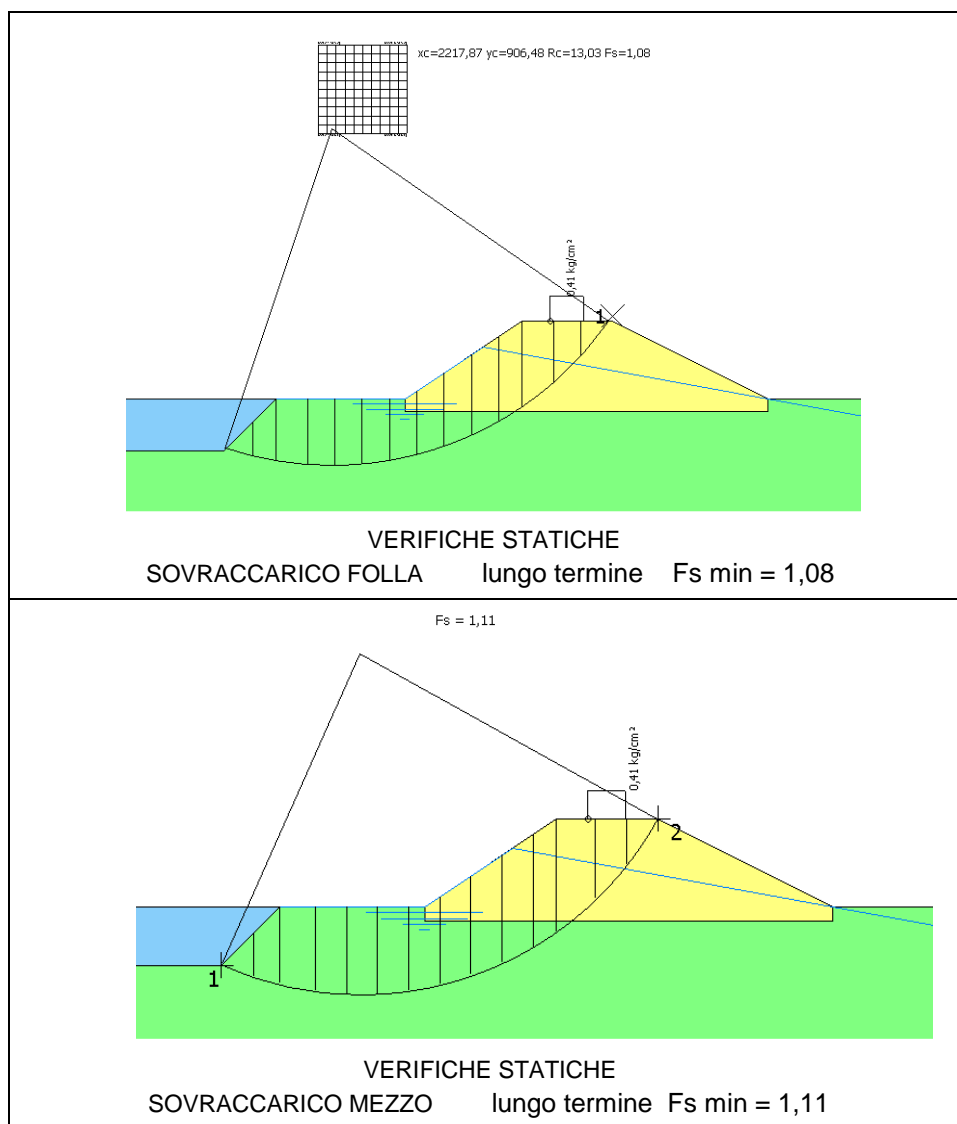
- verifiche sezione tipo zone distanti dal torrente (quindi prive di scogliera) che risultano uguali a quelle del punto precedente e con valori di Fs compresi tra 1,06 e 1,48 (a lungo termine).

| CASCINA CATTAFAME | | | | |
|---|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| CARICO SOMMITÀ DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| Serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume * | 1,66 | 1,43 |
| | | lato campagna | 1,91 | 1,51 |
| | CON | lato fiume * | 1,66 | 1,43 |
| | | lato campagna | 1,85 | 1,47 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume * | 1,66 | 1,43 |
| | | lato campagna | 1,86 | 1,31 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume * | 1,66 | 1,43 |
| CARICO SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| Serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume * | 1,66 | 1,43 |
| | | lato campagna | 1,94 | 1,63 |
| | CON | lato fiume * | 1,63 | 1,39 |
| | | lato campagna | 1,86 | 1,59 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume * | 1,91 | 1,18 |
| | | lato campagna | 1,89 | 1,50 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume * | 1,83 | 1,09 |

(*) verifiche globali (rilevato + sponda fluviale con scogliera) (scogliera posta a 4 m dal rilevato)

Volendo realizzare la sezione tipologica nelle zone adiacenti al torrente come quella prevista dal progetto definitivo (rilevato a ridosso della scogliera di difesa spondale) sarà necessario intervenire con opere di consolidamento per vincolare le superfici di potenziale scivolamento quali ad esempio realizzazione di micropali a ridosso della sponda.

Su invito dei Progettisti sono state effettuate delle verifiche finalizzate ad individuare la distanza minima da adottare tra la sponda del torrente priva di opere di difesa ed il rilevato per ottenere fattori di sicurezza ritenuti conformi. Tale distanza è risultata essere pari a 5 m.



8.1.4 zona via Fornacetta

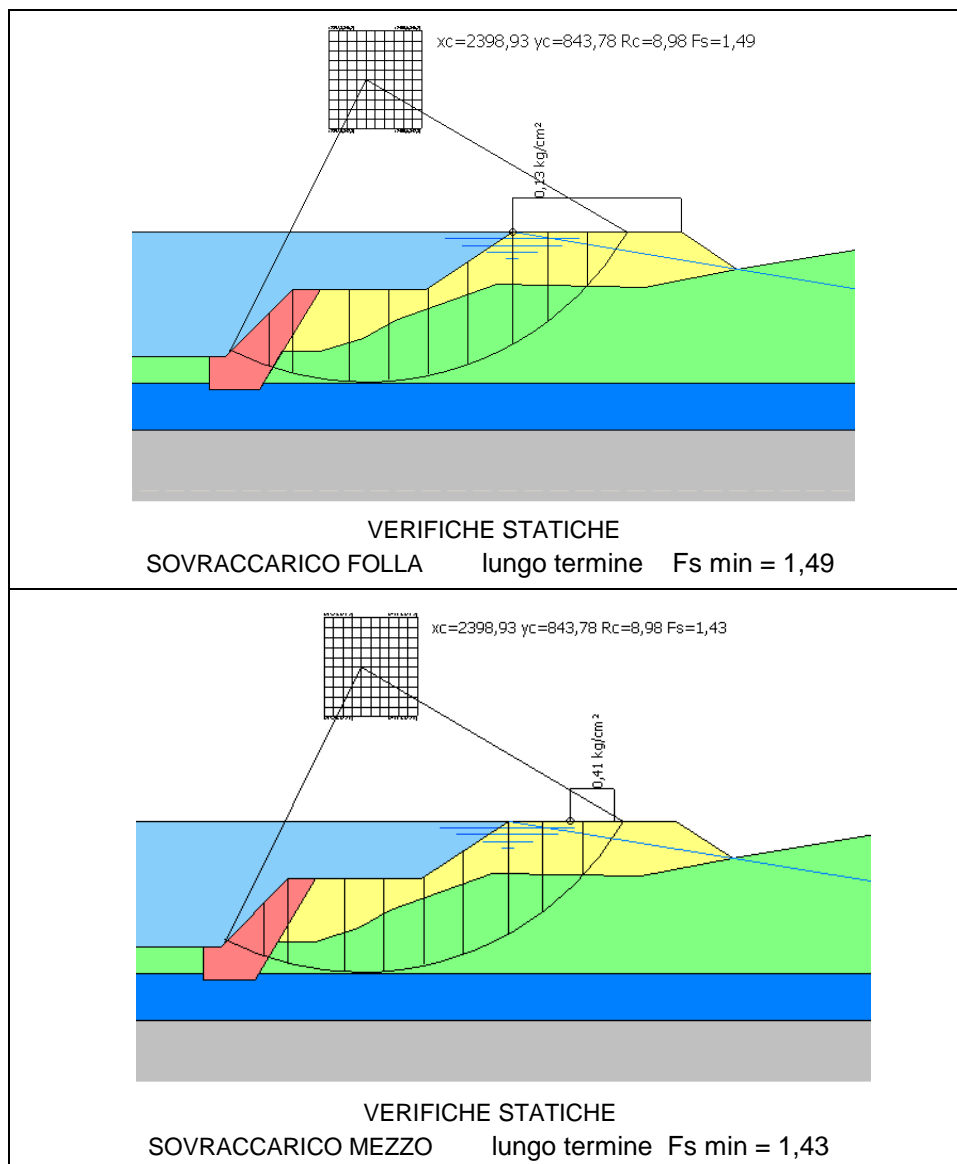
| ZONA VIA FORNACETTA | | | | |
|---|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| CARICO SOMMITÀ DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| fine opera → serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume | 2,03 | 1,39 |
| | | lato campagna | 2,04 | 1,51 |
| | CON | lato fiume | 2,02 | 1,38 |
| | | lato campagna | 2,06 | 1,50 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume | 2,41 | 1,05 |
| | | lato campagna | 2,03 | 1,29 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume | 2,02 | 1,07 |
| CARICO SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | | | | |
| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs min breve termine | Fs min lungo termine |
| fine opera → serbatoio vuoto | SENZA | lato fiume | 2,11 | 1,44 |
| | | lato campagna | 2,18 | 1,59 |
| | CON | lato fiume | 2,06 | 1,43 |
| | | lato campagna | 2,13 | 1,55 |
| Serbatoio pieno | SENZA | lato fiume | 2,50 | 1,08 |
| | | lato campagna | 2,17 | 1,35 |
| Rapido svaso | SENZA | lato fiume | 2,11 | 1,07 |

Dalle verifiche emergono coefficienti di sicurezza nei vari scenari e condizioni di analisi superiori a 1 con i valori nelle condizioni drenate generalmente inferiori a quelli non drenati.

In questo settore verrà realizzata anche una pista di accesso al manufatto di regolazione delle portate. Il punto più delicato di tale percorso è quello posto in corrispondenza dell'ansa del T. Lambro, dove la pista è ubicata a breve distanza dal torrente (circa 4 m).

In corrispondenza dell'ansa il progetto prevede la realizzazione di una scogliera in massi di difesa spondale. E' quindi stata effettuata una ulteriore verificata della sezione tipologica in tale punto.

Si riportano di seguito le verifiche più ostative rappresentate da un ipotetico livello idrico posto alla quota superiore della pista..



8.2 Stima dei cedimenti

Per la stima dei cedimenti indotti dal carico dei rilevati arginali ai terreni naturali presenti si è utilizzato un software dedicato. Tale applicativo utilizza il metodo edometrico.

Il calcolo è stato effettuato per ciascuna delle aree di intervento, scegliendo la sezione geometricamente più rilevante e, quindi, rappresentativa delle condizioni più critiche, semplificando ad una forma simmetrica opportuna la geometria del rilevato arginale (il software non prevede calcoli di cedimento edometrico per geometrie asimmetriche).

Relativamente al terreno di rilevato, si è attribuito il peso di volume $1,9 \text{ t/m}^3$, mentre si è considerato un piano di posa (incastro) ad una profondità di 0,5 m come da progetto.

I parametri geotecnici dei terreni naturali sono quelli delle varie unità recavate dalle indagini nelle diverse zone e già riportate precedentemente.

Relativamente alla determinazione del grado di consolidazione OCR (rapporto fra pressione di preconsolidazione e tensione verticale efficace attuale), che rappresenta la storia tensionale del deposito, è stato utilizzato (a favore di sicurezza) un valore unitario ($\text{OCR} = 1$).

Le verifiche sono state effettuate utilizzando tre tipologie di carico:

- sovraccarico assente (solo peso del rilevato)
- folla compatta \rightarrow pressione imposta in sul rilevato $= 1 \text{ t/m}^2$
- mezzo manutenzione o soccorso \rightarrow pressione imposta in sul rilevato $= 3,1 \text{ t/m}^2$

Come terreno interessato dai cedimenti è stato un orizzonte di spessore pari a circa la metà della larghezza totale del rilevato (da bibliografia).

La tabella seguente sintetizza i risultati ottenuti in asse rilevato (quelli maggiori) mentre in allegato a fine testo si riportano i report completi delle verifiche effettuate (cedimenti asse, bordo, piede ecc).

| Cedimenti di consolidazione attesi al centro (asse) del rilevato | | | | |
|--|--------------|------------------|-------------------|---------------------|
| sovraccarico | Molino Nuovo | Fornace Consonni | Cascina Cattafame | Zona via Fornacetta |
| assente | 2,54 cm | 3,36 cm | 5,81 cm | 6,71 cm |
| folla | 3,64 cm | 4,59 cm | 7,35 cm | 8,22 cm |
| mezzo | 5,74 cm | 7,23 cm | 10,64 cm | 11,47 cm |

Per quanto riguarda lo sviluppo dei cedimenti nel tempo, data la natura dei terreni presenti, si fa notare che essi avranno una evoluzione temporale piuttosto lunga.

9. FORMAZIONE DI RILEVATI

9.1 Caratteristiche del materiale per la costruzione dei rilevati

Facendo riferimento alla classificazione contenuta nelle norme CNR UNI 10006, le terre preferibilmente da utilizzare dovranno essere di tipo argilloso e limoso (classi A-4, A-6), con contenuto minimo di sabbia pari al 15% e con indice di plasticità inferiore a 25.

In casi di accertata impossibilità di utilizzare la tipologia di materiali sopra riportata è facoltà della Direzione Lavori di accettare materiale differente, ferma restando la necessità di effettuare le verifiche geotecniche di legge utilizzando i parametri riferiti al materiale utilizzato, sia in termini di resistenza che di permeabilità.

Non si dovranno in ogni caso utilizzare le materie organiche e le sabbie pulite.

Il materiale posto in opera dovrà avere valori del peso in volume allo stato secco pari al 95% del peso di volume secco ottenuto nella prova di compattazione Proctor normale, con tolleranza di $\pm 1\%$. La corrispondente umidità dovrà avere i valori compresi fra $\pm 2\%$ dell'umidità ottimale ottenuta nella suddetta prova di compattazione. Definita anche la percentuale di umidità, questa dovrà essere mantenuta costante con una tolleranza di $\pm 1\%$.

Il materiale da usarsi per il rivestimento delle scarpate dei rilevati dovrà essere terreno agrario, vegetale, proveniente da scotico. Dovrà essere a reazione neutra, sufficientemente dotato di sostanza organica e di elementi nutritivi, di medio impasto e comunque adatto a ricevere una coltura erbacea o arbustiva permanente.

9.2 Modalità esecutive

Nelle aree di impronta dei nuovi argini di progetto sono previste le seguenti lavorazioni.

- Asportazione del terreno vegetale e degli apparati radicali e predisposizione di uno scavo di cassonetto di altezza non inferiore a 50 cm. Il terreno vegetale dovrà essere accantonato all'interno dell'area di cantiere per il successivo rivestimento degli argini.
- Addensamento dei terreni presenti sul fondo scavo mediante passaggi con rullo statico. Prima della posa in opera del primo strato di terreno sarà valutata la necessità di ravvivare il terreno in superficie mediante erpice per migliorare il collegamento tra terreno naturale e materiale di riporto.
- Messa in opera dei terreni per la formazione degli argini. Il terreno sarà messo in opera per strati il cui spessore finito non sia superiore a 15-20 cm. Si dovrà garantire il collegamento tra uno strato e l'altro mediante erpicatura o altri procedimenti di pari efficacia. Ogni strato andrà adeguatamente compattato.

In linea generale il costipamento dei terreni fini risulta di maggiore efficacia se effettuato con rulli cilindrici associati a rulli a piedi costipanti.

9.3 Modalità di verifica in corso d'opera

Prima dell'accettazione dei terreni da utilizzare per la realizzazione degli argini si dovranno analizzare alcuni campioni rappresentativi. I campioni di terreno saranno innanzitutto classificati: sarà individuata la curva granulometrica che caratterizza ogni campione, verranno valutati i limiti di Atterberg (in particolare modo il limite liquido e l'indice di plasticità), l'indice di gruppo. Saranno poi eseguite le prove necessarie per la determinazione della resistenza al taglio e dell'optimum Proctor.

La verifica del rispetto delle prescrizioni di costipamento in corso d'opera sarà effettuata mediante la misura della densità secca in sito. La procedura consiste nel prelevare un campione di terreno costipato, nella misura del volume del relativo scavo mediante ad esempio il volumometro a sabbia, e nella determinazione della massa e del contenuto d'acqua del campione. Sullo stesso campione prelevato (o su un adiacente campione di terreno) saranno determinati in laboratorio la densità secca maximum ed il contenuto d'acqua optimum mediante prova Proctor standard.

La densità secca determinata in sito dovrà risultare maggiore o uguale al 95% della densità secca determinata in laboratorio mediante prova Proctor standard.

E' consigliabile per ognuno dei quattro siti la realizzazione di un tratto di argine da considerarsi come "campo prova" variando le modalità di messa in opera e ricavando le lavorazioni minime necessarie per ottenere i parametri di progetto, riferite alla tipologia di materiale utilizzato e al tipo di terreno naturale su cui vengono posate le opere. Una volta ricavate le modalità ottimali, tali lavorazioni potranno essere riproposte per la realizzazione dell'intero tratto arginale.

Potranno infine essere richieste delle verifiche a campione sull'opera ultimata da parte della Direzione Lavori.

10. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Il progetto comporta uno sbancamento generale dell'orizzonte di coltura superficiale e il suo sarà riutilizzo per il ricoprimento esterno degli argini. Il progetto non prevede l'allontanamento di terreni di scavo dall'area di cantiere.

La legge 2/2009, recependo le indicazioni della Direttiva 2008/98/CE, ha inserito all'interno dell'articolo 185 del D.lgs. 152/2006, che reca l'elenco dei materiali espressamente esclusi dal campo di applicazione dei rifiuti e dei sottoprodotti, una nuova previsione specifica di esclusione che riguarda *"il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso dell'attività di costruzione, ove sia certo che il materiale sarà utilizzato a fini di costruzione allo stato naturale nello stesso sito in cui è stato scavato"*.

Sulla base di quanto sopra riportato non sarà necessario richiedere specifiche autorizzazioni per quanto concerne il riutilizzo delle terre provenienti dallo scavo.

I siti di futuro intervento sono rappresentate in parte da aree naturali (a prato e a bosco) e in parte da aree coltivate a mais.

Come prima analisi non si ravvedono particolari condizioni locali che potrebbero far ritenere potenzialmente contaminati i terreni in posto.

In ogni caso, al fine di procedere con la verifica dell'assenza di contaminazione delle terre da scavo, sarà necessario effettuare specifiche analisi in corso d'opera.

Considerata la normativa di settore vigente si ritiene sufficiente effettuare due campionamenti di terreno per ognuno dei quattro siti di intervento, per un totale di n. 8 campionamenti.

I campioni di terreno dovranno essere prelevati nell'orizzonte di scavo, che risulta essere di 50 cm, prima dell'inizio dello sbancamento generale.

Il set analitico ritenuto opportuno, considerata la situazione ambientale presente, è il seguente:

- Arsenico
- Cadmio
- Cobalto
- Cromo
- Nichel
- Piombo
- Rame
- Zinco
- C>12

E' in ogni caso facoltà della Direzione Lavori integrare il set analitico sopra riportato con ulteriori parametri ritenuti necessari per la corretta valutazione della non contaminazione.

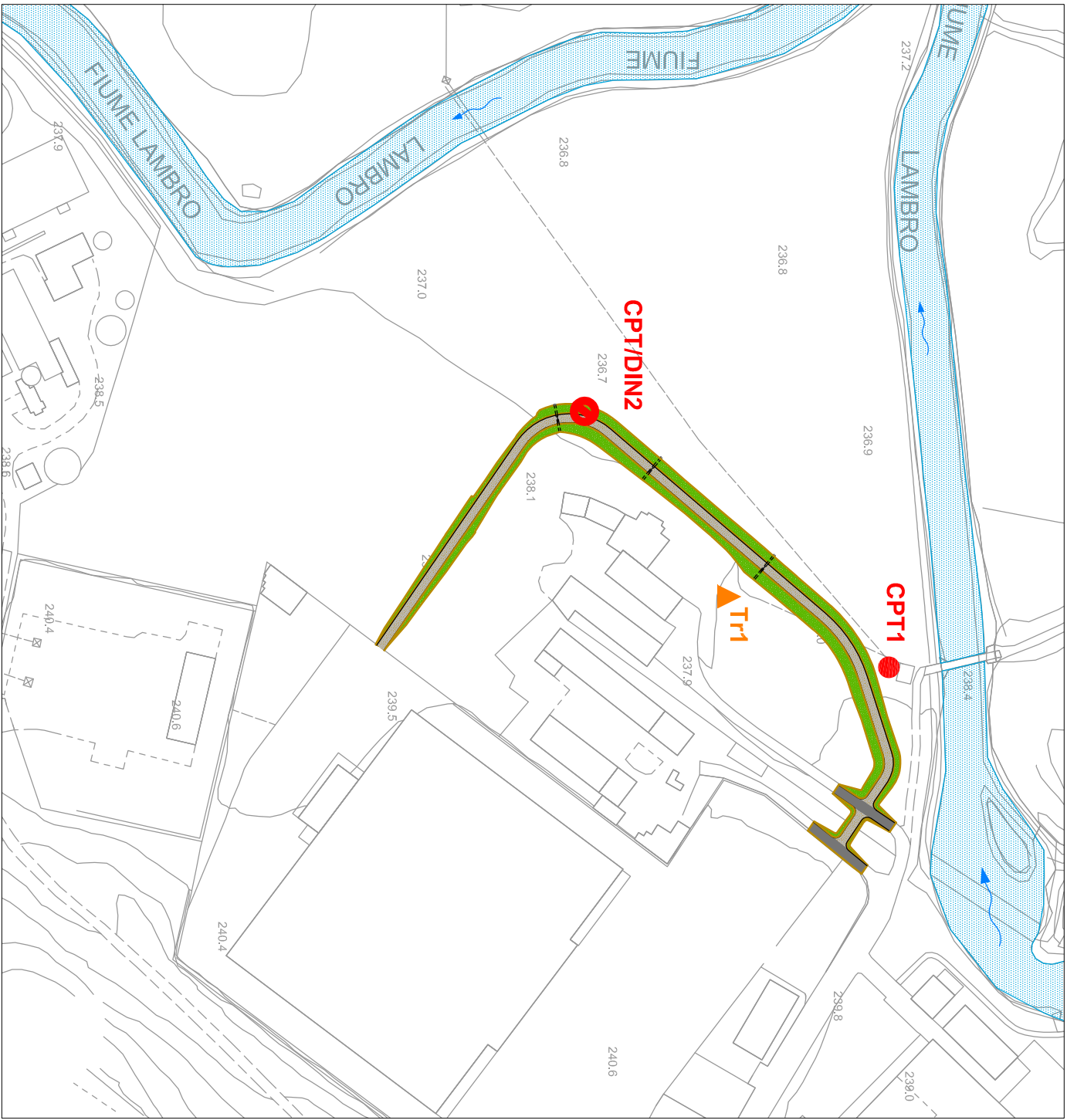
Per quanto riguarda i terreni utilizzati per la realizzazione delle strutture arginali dovranno rientrare nel campo delle terre naturali provenienti da scavo. Tali materiali dovranno essere accompagnati da specifica dichiarazione di compatibilità ambientale ai sensi della normativa vigente. Restano obbligatorie le analisi chimiche per la definizione della non contaminazione e della conformità con la destinazione d'uso delle aree oggetto di intervento.

Villa Guardia, 14 giugno 2016

Dott. Geologo

Frati Stefano





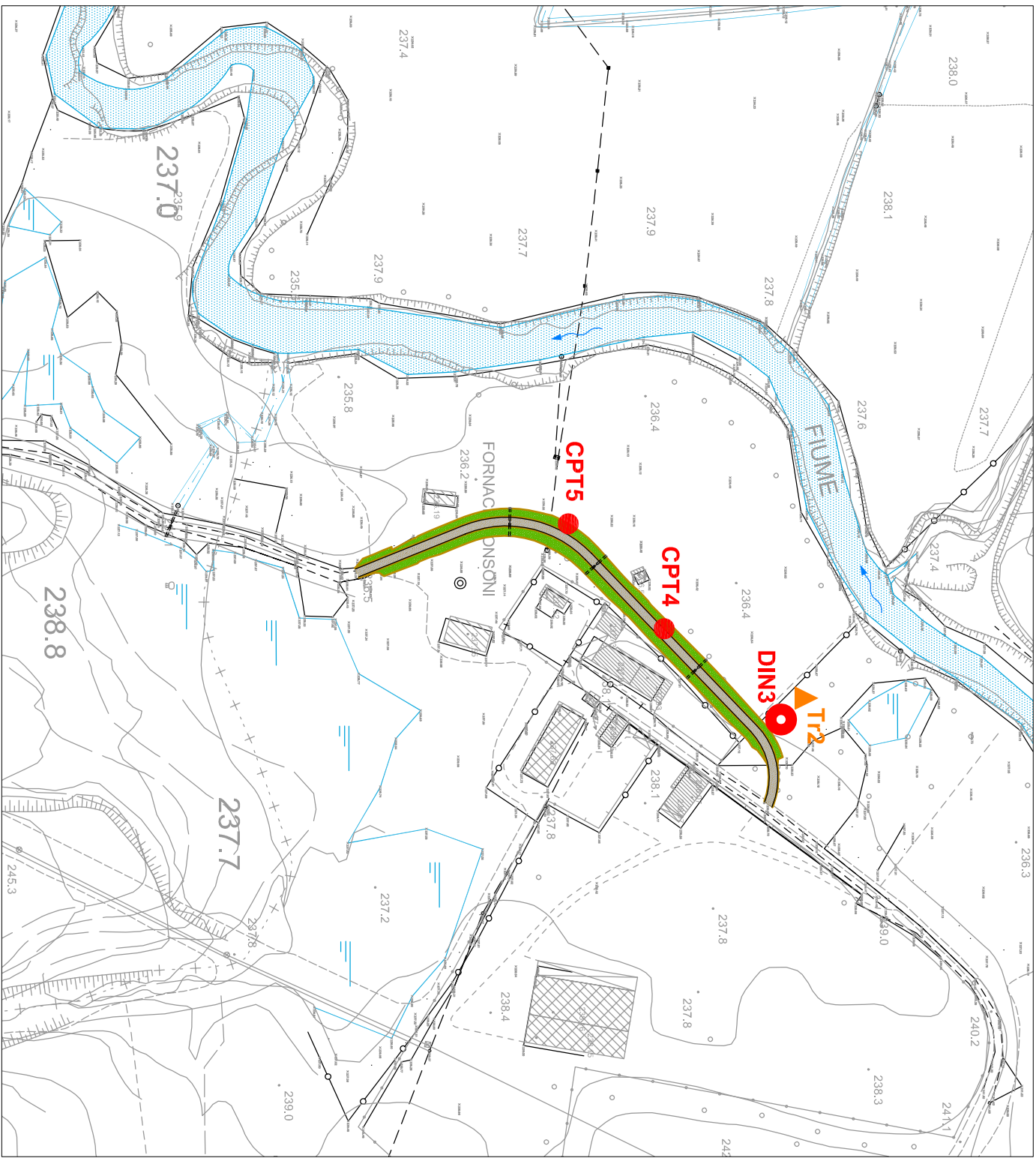
CPT8 ● prova penetrometrica statica

CPT/DIN2 ● prova penetrometrica statica/dinamica

T1 ▲ sondaggio sismico verticale

MOLINO NUOVO

TAVOLA 1A
UBICAZIONE INDAGINI
SCALA 1:2000

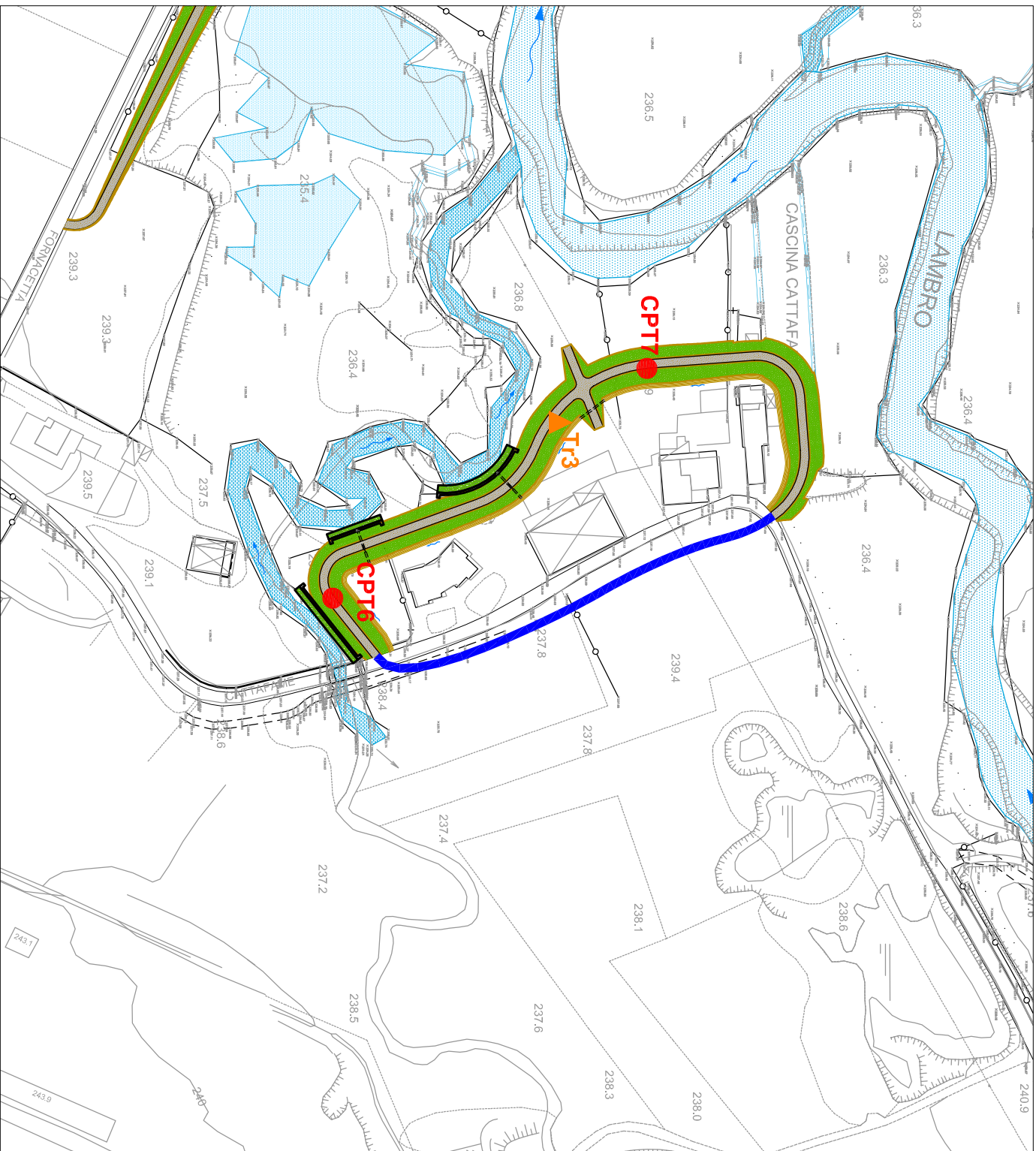


CPT8 ● prova penetrometrica statica
DIN3 ○ prova penetrometrica dinamica

T14 ▲ sondaggio sismico verticale

FORNACE CONSONNI

TAVOLA 1B
UBICAZIONE INDAGINI
SCALA 1:2000

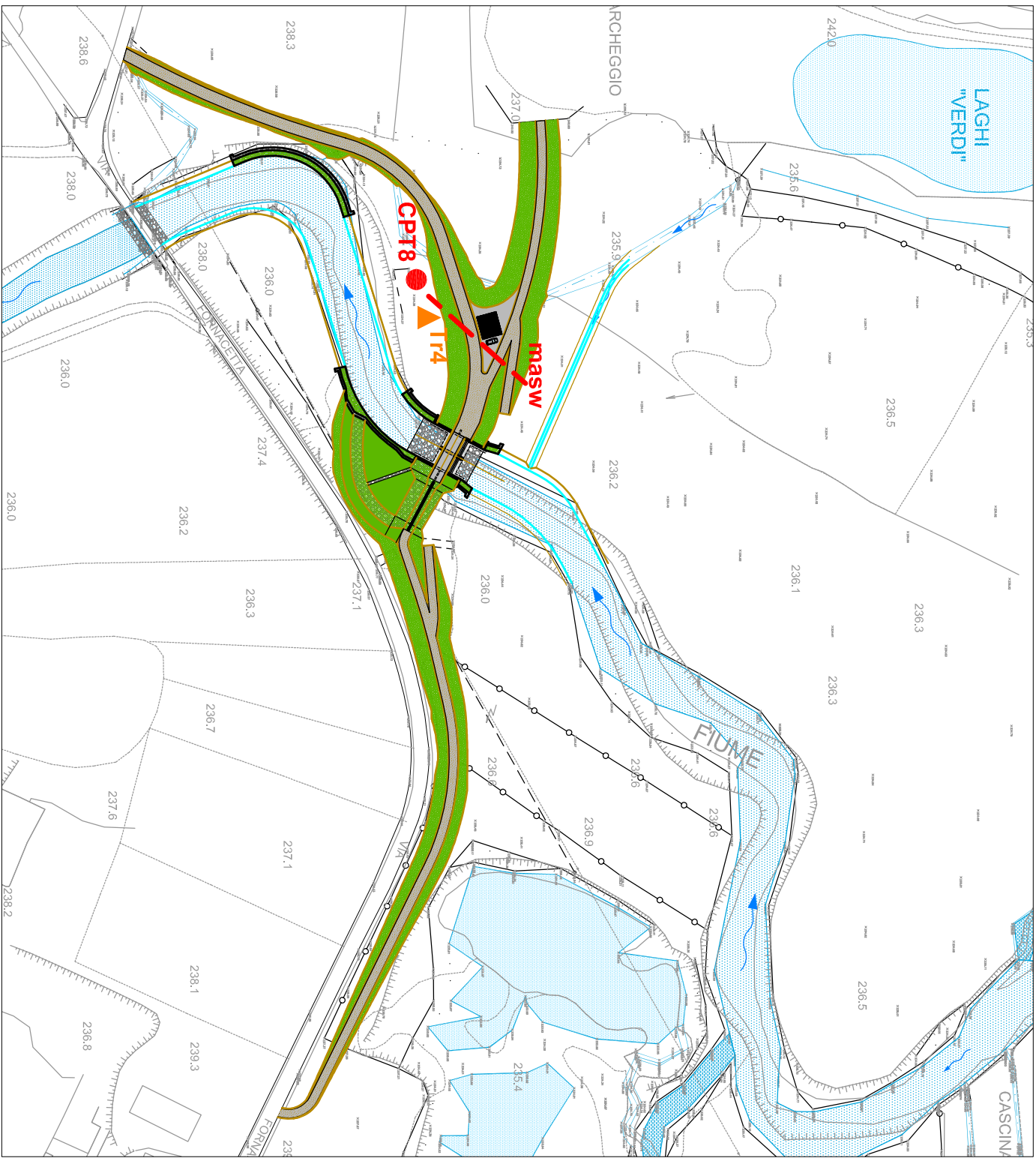


CPT8 ● prova penetrometrica statica

TT4 ▲ sondaggio sismico verticale

CASCINA CATTAFAME

TAVOLA 1C
UBICAZIONE INDAGINI
SCALA 1:2000



CPT8 ● prova penetrometrica statica

Tt4 ▲ sondaggio sismico verticale

masw — linea masw

TAVOLA 1D
UBICAZIONE INDAGINI
SCALA 1:2000

ZONA VIA FORNACETTA

ALLEGATO 1

Prove penetrometriche statiche e dinamiche: grafici e tabelle

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE E DINAMICHE INVERIGO (CO) – NIBIONNO (LC)

COMMITTENTE: **MAZZONI COSTRUZIONI SRL**
Via Vittor Pisani, 19
20124 - Milano (MI)

Sede Legale: Via Mantova, 307 – 25018 Montichiari (BS) - Partita I.V.A. e C.F. n. 02323360988

Sede operativa : Via Enrico Fermi, 18 – 25013 Carpenedolo (BS)

Uffici : Via Antonio Meucci, 26 – 25013 Carpenedolo (BS)

Tel.: 030.9983413 - Fax: 030.9698872 - web: <http://www.singea.it> - E-mail: info@singea.it - PEC: singea@pec.singea.it

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica $\varnothing 35.7$ mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing 35.7$ mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. \Rightarrow Spinta) $C_t = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$

fase 1 - resistenza alla punta $R_p \text{ (Kg / cm}^2 \text{)} = (\text{L. punta}) C_t / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale $R_L \text{ (Kg / cm}^2 \text{)} = [(\text{L. laterale}) - (\text{L. punta})] C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale $R_t \text{ (Kg)} = (\text{L. totale}) C_t$

$R_p / R_L = \text{'rapporto Begemann'}$

- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione C_t .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale R_L viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

$1 \text{ kN (kiloNewton)} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t}$ - $1 \text{ MN (megaNewton)} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$

$1 \text{ kPa (kiloPascal)} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$

$1 \text{ MPa (MegaPascal)} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t / m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$

$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$

$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: **$F = (R_p / R_L)$**

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

| $F = R_p / R_L$ | NATURA LITOLOGICA | PROPRIETA' |
|------------------|-------------------------------|------------|
| $F < 15$ | TORBE ED ARGILLE ORGANICHE | COESIVE |
| $15 < F \leq 30$ | LIMI ED ARGILLE | COESIVE |
| $30 < F \leq 60$ | LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE | GRANULARI |
| $F > 60$ | SABBIE E SABBIE CON GHIAIA | GRANULARI |

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di R_p e di $FR = (R_L / R_p) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

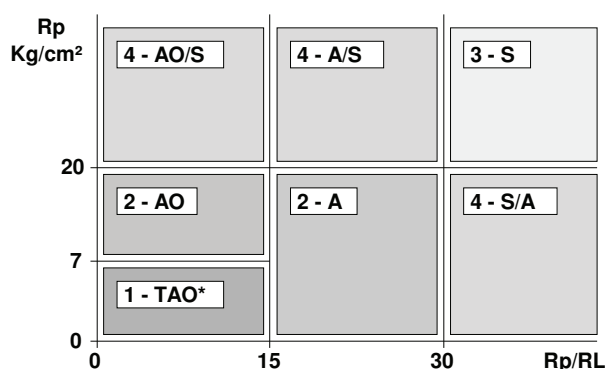
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto R_p / R_L
(Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$R_p \leq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni COESIVI anche se $(R_p / R_L) > 30$

$R_p \geq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni GRANULARI anche se $(R_p / R_L) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - R_p - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - R_p]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - R_p]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - R_p - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - R_p - σ'_{vo}]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
 ϕ'_{1s} - (Schmertmann) sabbia fine uniforme ϕ'_{2s} - sabbia media unif./ fine ben gradata
 ϕ'_{3s} - sabbia grossa unif./ media ben gradata ϕ'_{4s} - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.
 ϕ'_{dm} - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. ϕ'_{my} - (Meyerhof) sabbie limose
- A_{max} = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - D_r]

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 1

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,60 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI | prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI |
|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|
| m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - | m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - |
| 0,20 | ---- | ---- | -- | 0,93 | ---- | 3,60 | 24,0 | 29,0 | 24,0 | 1,07 | 22,0 |
| 0,40 | 31,0 | 45,0 | 31,0 | 1,47 | 21,0 | 3,80 | 36,0 | 52,0 | 36,0 | 1,00 | 36,0 |
| 0,60 | 29,0 | 51,0 | 29,0 | 1,27 | 23,0 | 4,00 | 14,0 | 29,0 | 14,0 | 0,40 | 35,0 |
| 0,80 | 23,0 | 42,0 | 23,0 | 0,80 | 29,0 | 4,20 | 13,0 | 19,0 | 13,0 | 0,33 | 39,0 |
| 1,00 | 17,0 | 29,0 | 17,0 | 0,80 | 21,0 | 4,40 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | 0,20 | 30,0 |
| 1,20 | 17,0 | 29,0 | 17,0 | 1,67 | 10,0 | 4,60 | 6,0 | 9,0 | 6,0 | 0,20 | 30,0 |
| 1,40 | 61,0 | 86,0 | 61,0 | 0,53 | 114,0 | 4,80 | 6,0 | 9,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 1,60 | 48,0 | 56,0 | 48,0 | 1,27 | 38,0 | 5,00 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,27 | 19,0 |
| 1,80 | 38,0 | 57,0 | 38,0 | 0,93 | 41,0 | 5,20 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 2,00 | 37,0 | 51,0 | 37,0 | 1,13 | 33,0 | 5,40 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 2,20 | 48,0 | 65,0 | 48,0 | 0,40 | 120,0 | 5,60 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 2,40 | 13,0 | 19,0 | 13,0 | 0,20 | 65,0 | 5,80 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 2,60 | 15,0 | 18,0 | 15,0 | 0,20 | 75,0 | 6,00 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 2,80 | 10,0 | 13,0 | 10,0 | 0,27 | 37,0 | 6,20 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,27 | 26,0 |
| 3,00 | 13,0 | 17,0 | 13,0 | 0,27 | 49,0 | 6,40 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,27 | 26,0 |
| 3,20 | 15,0 | 19,0 | 15,0 | 0,20 | 75,0 | 6,60 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,33 | 21,0 |
| 3,40 | 19,0 | 22,0 | 19,0 | 0,33 | 57,0 | 6,80 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | ----- | ---- |

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 2

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - data emiss. : 12/05/2016

| prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI | prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI |
|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|-------------|-------|-------|--------------------|--------------------|-------|
| m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - | m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - |
| 0,20 | ---- | ---- | -- | 0,87 | ---- | 1,40 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,27 | 26,0 |
| 0,40 | 12,0 | 25,0 | 12,0 | 0,27 | 45,0 | 1,60 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,60 | 10,0 |
| 0,60 | 21,0 | 25,0 | 21,0 | 0,53 | 39,0 | 1,80 | 25,0 | 34,0 | 25,0 | 2,07 | 12,0 |
| 0,80 | 23,0 | 31,0 | 23,0 | 0,93 | 25,0 | 2,00 | 218,0 | 249,0 | 218,0 | 3,40 | 64,0 |
| 1,00 | 17,0 | 31,0 | 17,0 | 0,47 | 36,0 | 2,20 | 245,0 | 296,0 | 245,0 | ----- | ---- |
| 1,20 | 10,0 | 17,0 | 10,0 | 0,27 | 37,0 | | | | | | |

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 4

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 0,61 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI | prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI |
|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|
| m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - | m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - |
| 0,20 | ---- | ---- | -- | 0,53 | ---- | 3,60 | 6,0 | 14,0 | 6,0 | 0,33 | 18,0 |
| 0,40 | 10,0 | 18,0 | 10,0 | 0,53 | 19,0 | 3,80 | 8,0 | 13,0 | 8,0 | 0,20 | 40,0 |
| 0,60 | 13,0 | 21,0 | 13,0 | 0,93 | 14,0 | 4,00 | 4,0 | 7,0 | 4,0 | 0,20 | 20,0 |
| 0,80 | 9,0 | 23,0 | 9,0 | 0,67 | 13,0 | 4,20 | 2,0 | 5,0 | 2,0 | 0,20 | 10,0 |
| 1,00 | 5,0 | 15,0 | 5,0 | 0,73 | 7,0 | 4,40 | 3,0 | 6,0 | 3,0 | 0,20 | 15,0 |
| 1,20 | 2,0 | 13,0 | 2,0 | 0,40 | 5,0 | 4,60 | 6,0 | 9,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 |
| 1,40 | 2,0 | 8,0 | 2,0 | 0,13 | 15,0 | 4,80 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 0,27 | 15,0 |
| 1,60 | 8,0 | 10,0 | 8,0 | 0,47 | 17,0 | 5,00 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 1,80 | 7,0 | 14,0 | 7,0 | 0,33 | 21,0 | 5,20 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,20 | 35,0 |
| 2,00 | 10,0 | 15,0 | 10,0 | 0,40 | 25,0 | 5,40 | 23,0 | 26,0 | 23,0 | 0,40 | 57,0 |
| 2,20 | 6,0 | 12,0 | 6,0 | 0,33 | 18,0 | 5,60 | 18,0 | 24,0 | 18,0 | 0,53 | 34,0 |
| 2,40 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | 0,27 | 19,0 | 5,80 | 18,0 | 26,0 | 18,0 | 0,67 | 27,0 |
| 2,60 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,47 | 15,0 | 6,00 | 7,0 | 17,0 | 7,0 | 0,33 | 21,0 |
| 2,80 | 10,0 | 17,0 | 10,0 | 0,33 | 30,0 | 6,20 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | 0,27 | 19,0 |
| 3,00 | 17,0 | 22,0 | 17,0 | 0,33 | 51,0 | 6,40 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 3,20 | 24,0 | 29,0 | 24,0 | 0,33 | 72,0 | 6,60 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,27 | 19,0 |
| 3,40 | 22,0 | 27,0 | 22,0 | 0,53 | 41,0 | 6,80 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | ----- | ---- |

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 5

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,95 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI | prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI |
|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|
| m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - | m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - |
| 0,20 | ---- | ---- | -- | 0,67 | ---- | 3,60 | 8,0 | 12,0 | 8,0 | 0,27 | 30,0 |
| 0,40 | 15,0 | 25,0 | 15,0 | 0,60 | 25,0 | 3,80 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,27 | 26,0 |
| 0,60 | 29,0 | 38,0 | 29,0 | 0,93 | 31,0 | 4,00 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,20 | 35,0 |
| 0,80 | 31,0 | 45,0 | 31,0 | 0,73 | 42,0 | 4,20 | 15,0 | 18,0 | 15,0 | 0,27 | 56,0 |
| 1,00 | 29,0 | 40,0 | 29,0 | 1,40 | 21,0 | 4,40 | 8,0 | 12,0 | 8,0 | 0,33 | 24,0 |
| 1,20 | 28,0 | 49,0 | 28,0 | 0,87 | 32,0 | 4,60 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | 0,33 | 18,0 |
| 1,40 | 9,0 | 22,0 | 9,0 | 0,53 | 17,0 | 4,80 | 13,0 | 18,0 | 13,0 | 0,33 | 39,0 |
| 1,60 | 6,0 | 14,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 | 5,00 | 10,0 | 15,0 | 10,0 | 0,33 | 30,0 |
| 1,80 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,40 | 12,0 | 5,20 | 7,0 | 12,0 | 7,0 | 0,33 | 21,0 |
| 2,00 | 6,0 | 12,0 | 6,0 | 0,53 | 11,0 | 5,40 | 7,0 | 12,0 | 7,0 | 0,47 | 15,0 |
| 2,20 | 8,0 | 16,0 | 8,0 | 0,53 | 15,0 | 5,60 | 13,0 | 20,0 | 13,0 | 0,33 | 39,0 |
| 2,40 | 25,0 | 33,0 | 25,0 | 0,47 | 54,0 | 5,80 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 2,60 | 14,0 | 21,0 | 14,0 | 0,27 | 52,0 | 6,00 | 7,0 | 11,0 | 7,0 | 0,27 | 26,0 |
| 2,80 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 | 6,20 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,20 | 30,0 |
| 3,00 | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 0,20 | 15,0 | 6,40 | 6,0 | 9,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 3,20 | 4,0 | 7,0 | 4,0 | 0,27 | 15,0 | 6,60 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,20 | 30,0 |
| 3,40 | 8,0 | 12,0 | 8,0 | 0,27 | 30,0 | 6,80 | 7,0 | 10,0 | 7,0 | ----- | ---- |

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 6

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,30 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI | prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI |
|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|-------------|-----|-----|--------------------|--------------------|-------|
| m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - | m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - |
| 0,20 | ---- | ---- | -- | 0,80 | ---- | 3,60 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 |
| 0,40 | 62,0 | 74,0 | 62,0 | 1,20 | 52,0 | 3,80 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 0,07 | 75,0 |
| 0,60 | 23,0 | 41,0 | 23,0 | 0,33 | 69,0 | 4,00 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 |
| 0,80 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | 0,33 | 18,0 | 4,20 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 |
| 1,00 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 | 4,40 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 0,13 | 30,0 |
| 1,20 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,33 | 15,0 | 4,60 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 |
| 1,40 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | 0,33 | 18,0 | 4,80 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 0,07 | 75,0 |
| 1,60 | 7,0 | 12,0 | 7,0 | 0,33 | 21,0 | 5,00 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 |
| 1,80 | 7,0 | 12,0 | 7,0 | 0,27 | 26,0 | 5,20 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 |
| 2,00 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,47 | 11,0 | 5,40 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 |
| 2,20 | 9,0 | 16,0 | 9,0 | 0,53 | 17,0 | 5,60 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 |
| 2,40 | 26,0 | 34,0 | 26,0 | 0,87 | 30,0 | 5,80 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,07 | 75,0 |
| 2,60 | 61,0 | 74,0 | 61,0 | 0,93 | 65,0 | 6,00 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 |
| 2,80 | 39,0 | 53,0 | 39,0 | 0,87 | 45,0 | 6,20 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 |
| 3,00 | 52,0 | 65,0 | 52,0 | 1,00 | 52,0 | 6,40 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 |
| 3,20 | 17,0 | 32,0 | 17,0 | 0,40 | 42,0 | 6,60 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 |
| 3,40 | 7,0 | 13,0 | 7,0 | 0,07 | 105,0 | 6,80 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | ----- | ---- |

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 7

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,18 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI | prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI |
|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|-------------|-----|-----|--------------------|--------------------|-------|
| m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - | m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - |
| 0,20 | ---- | ---- | -- | 0,73 | ---- | 3,80 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 |
| 0,40 | 34,0 | 45,0 | 34,0 | 0,80 | 42,0 | 4,00 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 |
| 0,60 | 33,0 | 45,0 | 33,0 | 0,67 | 49,0 | 4,20 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 |
| 0,80 | 24,0 | 34,0 | 24,0 | 0,47 | 51,0 | 4,40 | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 0,13 | 22,0 |
| 1,00 | 6,0 | 13,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 | 4,60 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 0,13 | 30,0 |
| 1,20 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,33 | 18,0 | 4,80 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,07 | 75,0 |
| 1,40 | 13,0 | 18,0 | 13,0 | 0,67 | 19,0 | 5,00 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 |
| 1,60 | 10,0 | 20,0 | 10,0 | 0,47 | 21,0 | 5,20 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 0,13 | 30,0 |
| 1,80 | 8,0 | 15,0 | 8,0 | 0,40 | 20,0 | 5,40 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 0,13 | 30,0 |
| 2,00 | 13,0 | 19,0 | 13,0 | 0,27 | 49,0 | 5,60 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 0,20 | 20,0 |
| 2,20 | 9,0 | 13,0 | 9,0 | 0,40 | 22,0 | 5,80 | 3,0 | 6,0 | 3,0 | 0,13 | 22,0 |
| 2,40 | 10,0 | 16,0 | 10,0 | 0,20 | 50,0 | 6,00 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 |
| 2,60 | 5,0 | 8,0 | 5,0 | 0,20 | 25,0 | 6,20 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 |
| 2,80 | 5,0 | 8,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 | 6,40 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 0,13 | 30,0 |
| 3,00 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,20 | 25,0 | 6,60 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,20 | 25,0 |
| 3,20 | 6,0 | 9,0 | 6,0 | 0,07 | 90,0 | 6,80 | 5,0 | 8,0 | 5,0 | 0,20 | 25,0 |
| 3,40 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 | 7,00 | 6,0 | 9,0 | 6,0 | ----- | ---- |
| 3,60 | 8,0 | 10,0 | 8,0 | 0,07 | 120,0 | | | | | | |

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA **LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

CPT 8

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,70 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI | prf | LP | LL | Rp | RL | Rp/RI |
|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|-------------|------|------|--------------------|--------------------|-------|
| m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - | m | - | - | Kg/cm ² | Kg/cm ² | - |
| 0,20 | ---- | ---- | -- | 0,73 | ---- | 3,60 | 19,0 | 29,0 | 19,0 | 0,27 | 71,0 |
| 0,40 | 31,0 | 42,0 | 31,0 | 0,87 | 36,0 | 3,80 | 11,0 | 15,0 | 11,0 | 1,33 | 8,0 |
| 0,60 | 27,0 | 40,0 | 27,0 | 0,73 | 37,0 | 4,00 | 51,0 | 71,0 | 51,0 | 0,73 | 70,0 |
| 0,80 | 18,0 | 29,0 | 18,0 | 0,87 | 21,0 | 4,20 | 56,0 | 67,0 | 56,0 | 0,40 | 140,0 |
| 1,00 | 10,0 | 23,0 | 10,0 | 0,67 | 15,0 | 4,40 | 10,0 | 16,0 | 10,0 | 0,40 | 25,0 |
| 1,20 | 9,0 | 19,0 | 9,0 | 0,13 | 67,0 | 4,60 | 5,0 | 11,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 |
| 1,40 | 18,0 | 20,0 | 18,0 | 0,33 | 54,0 | 4,80 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,40 | 12,0 |
| 1,60 | 6,0 | 11,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 | 5,00 | 9,0 | 15,0 | 9,0 | 0,27 | 34,0 |
| 1,80 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 | 5,20 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,27 | 19,0 |
| 2,00 | 5,0 | 7,0 | 5,0 | 0,13 | 37,0 | 5,40 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,40 | 12,0 |
| 2,20 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 | 5,60 | 8,0 | 14,0 | 8,0 | 0,33 | 24,0 |
| 2,40 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 | 5,80 | 8,0 | 13,0 | 8,0 | 0,27 | 30,0 |
| 2,60 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 0,13 | 45,0 | 6,00 | 5,0 | 9,0 | 5,0 | 0,27 | 19,0 |
| 2,80 | 15,0 | 17,0 | 15,0 | 0,73 | 20,0 | 6,20 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 3,00 | 53,0 | 64,0 | 53,0 | 0,87 | 61,0 | 6,40 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 3,20 | 76,0 | 89,0 | 76,0 | 1,07 | 71,0 | 6,60 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 0,27 | 22,0 |
| 3,40 | 76,0 | 92,0 | 76,0 | 0,67 | 114,0 | 6,80 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | ----- | ---- |

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA

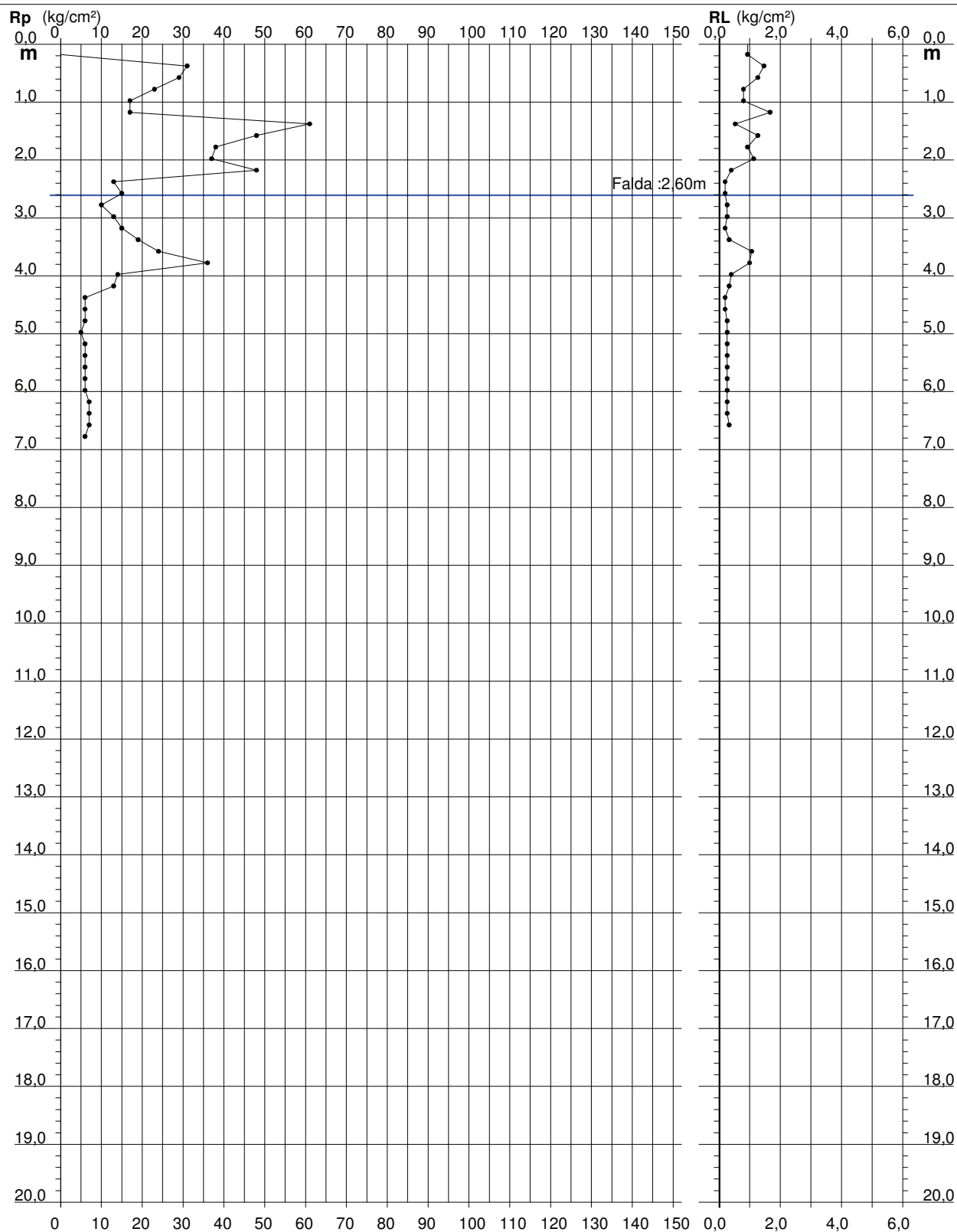
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,60 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



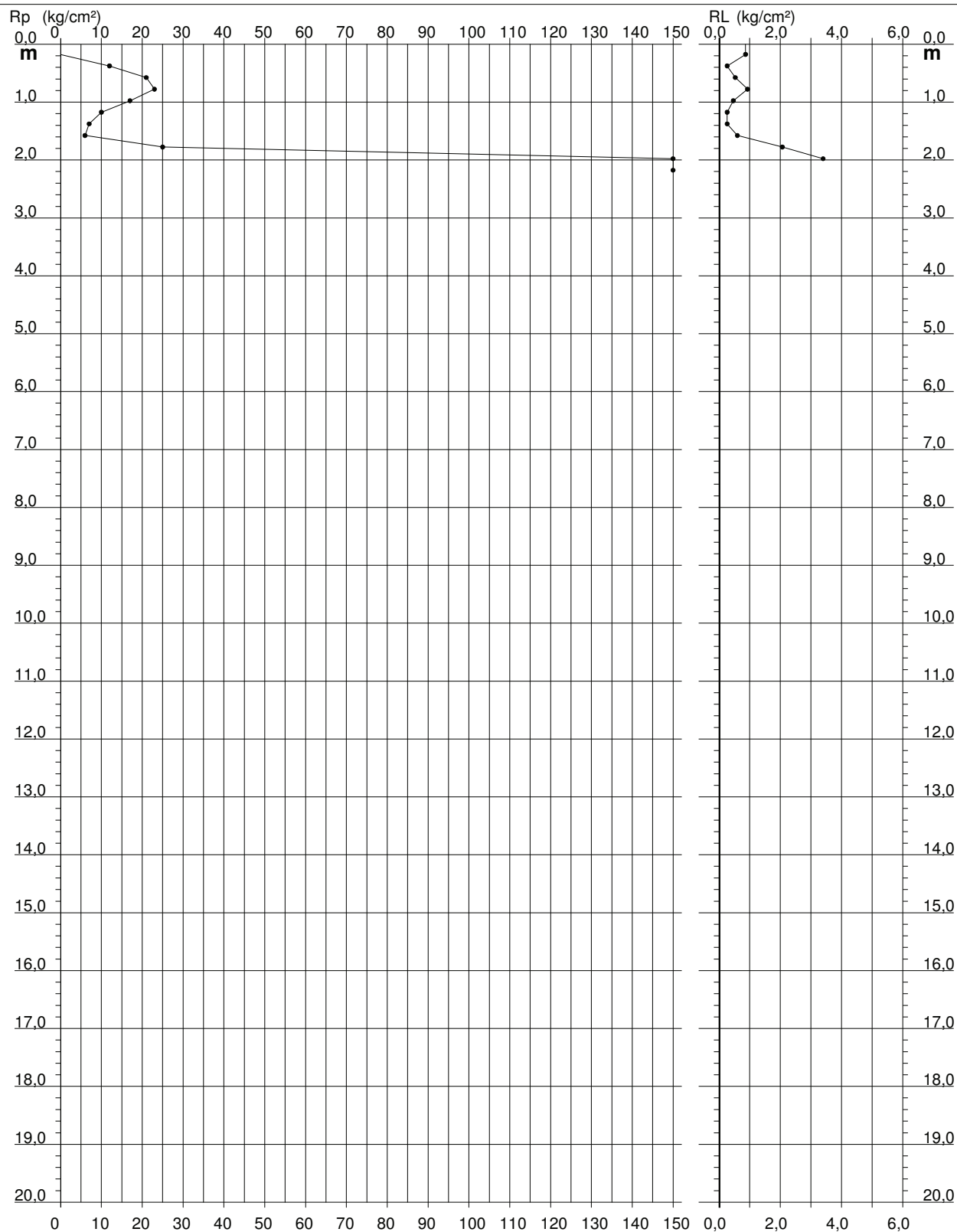
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



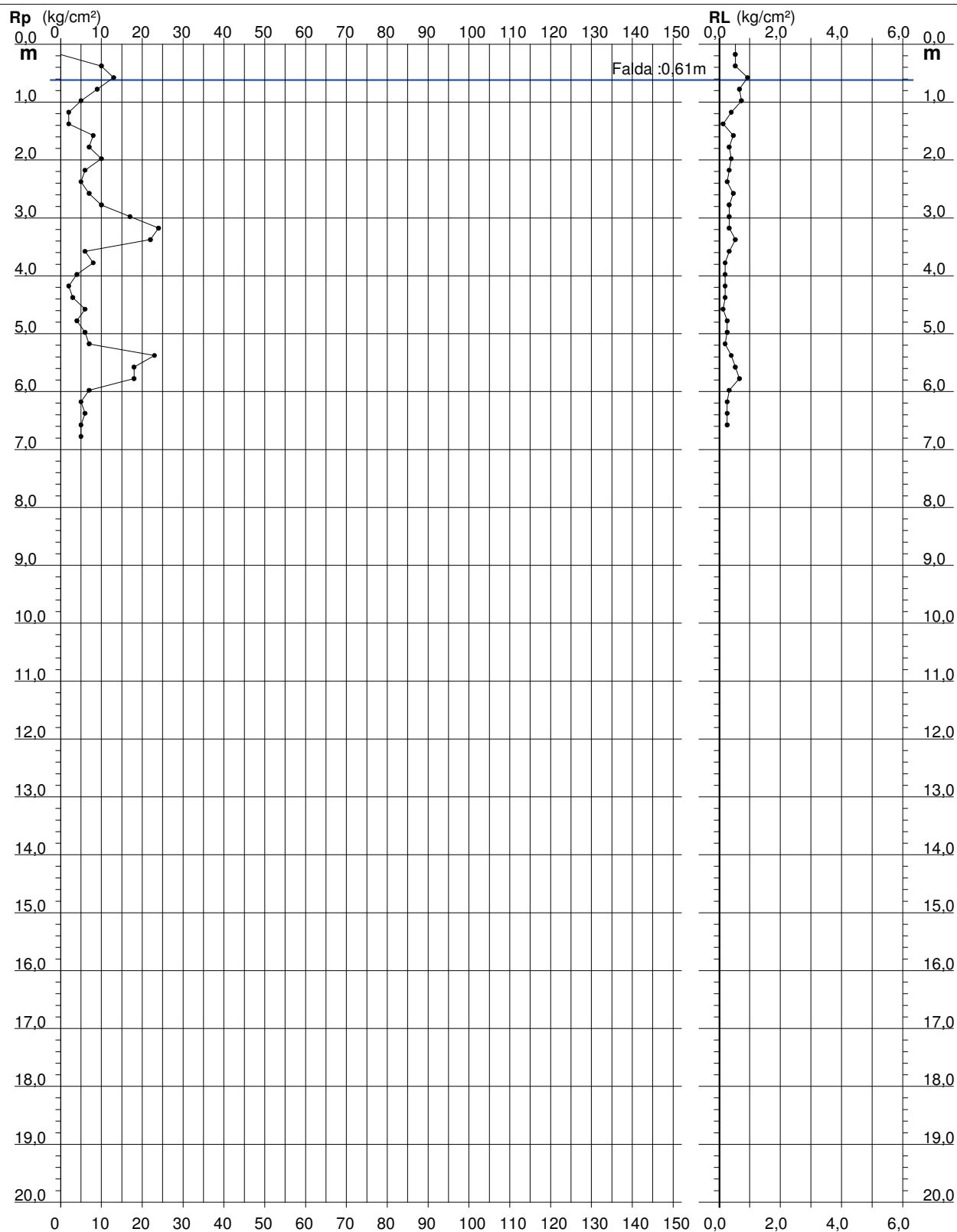
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 0,61 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



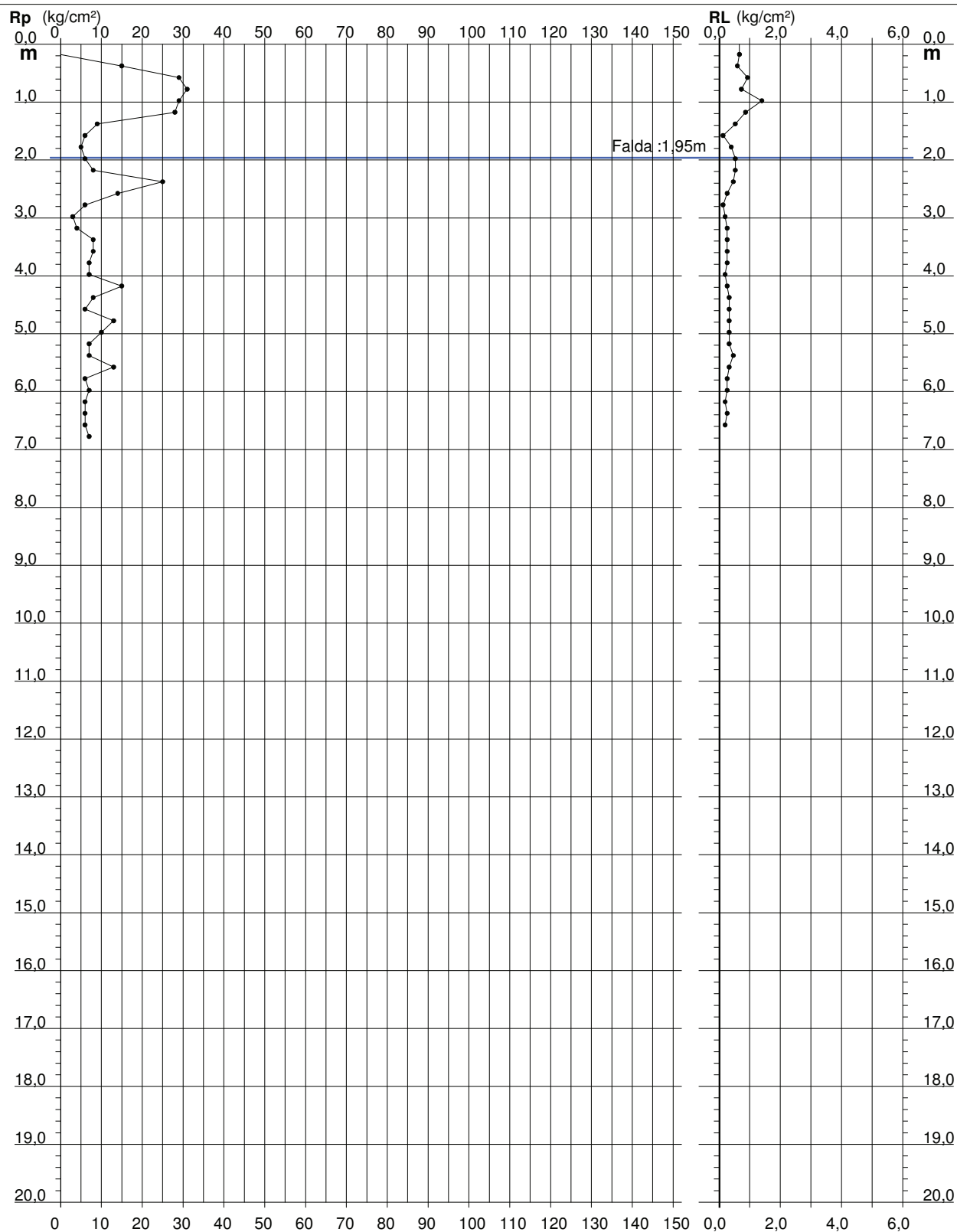
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,95 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



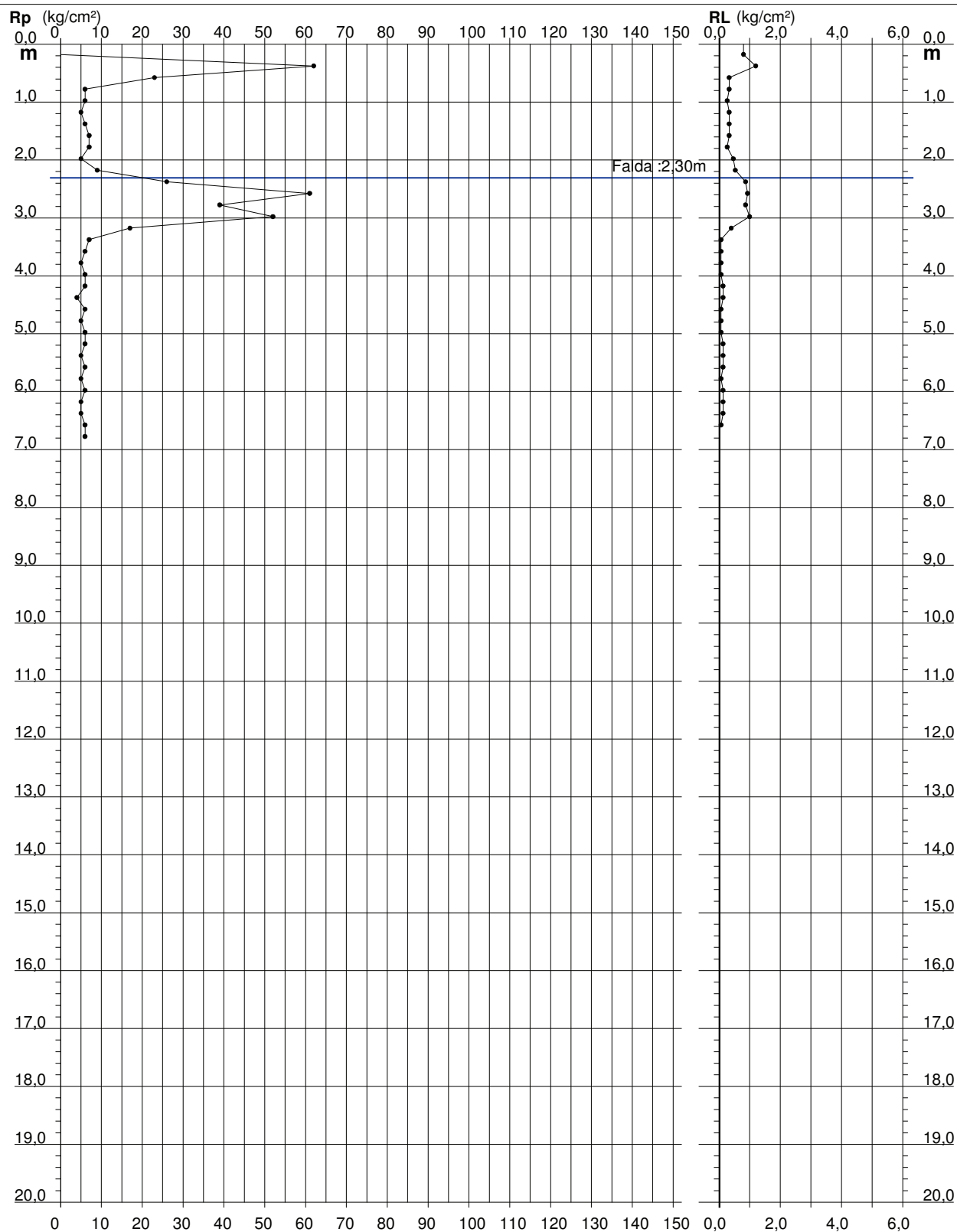
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 6

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,30 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



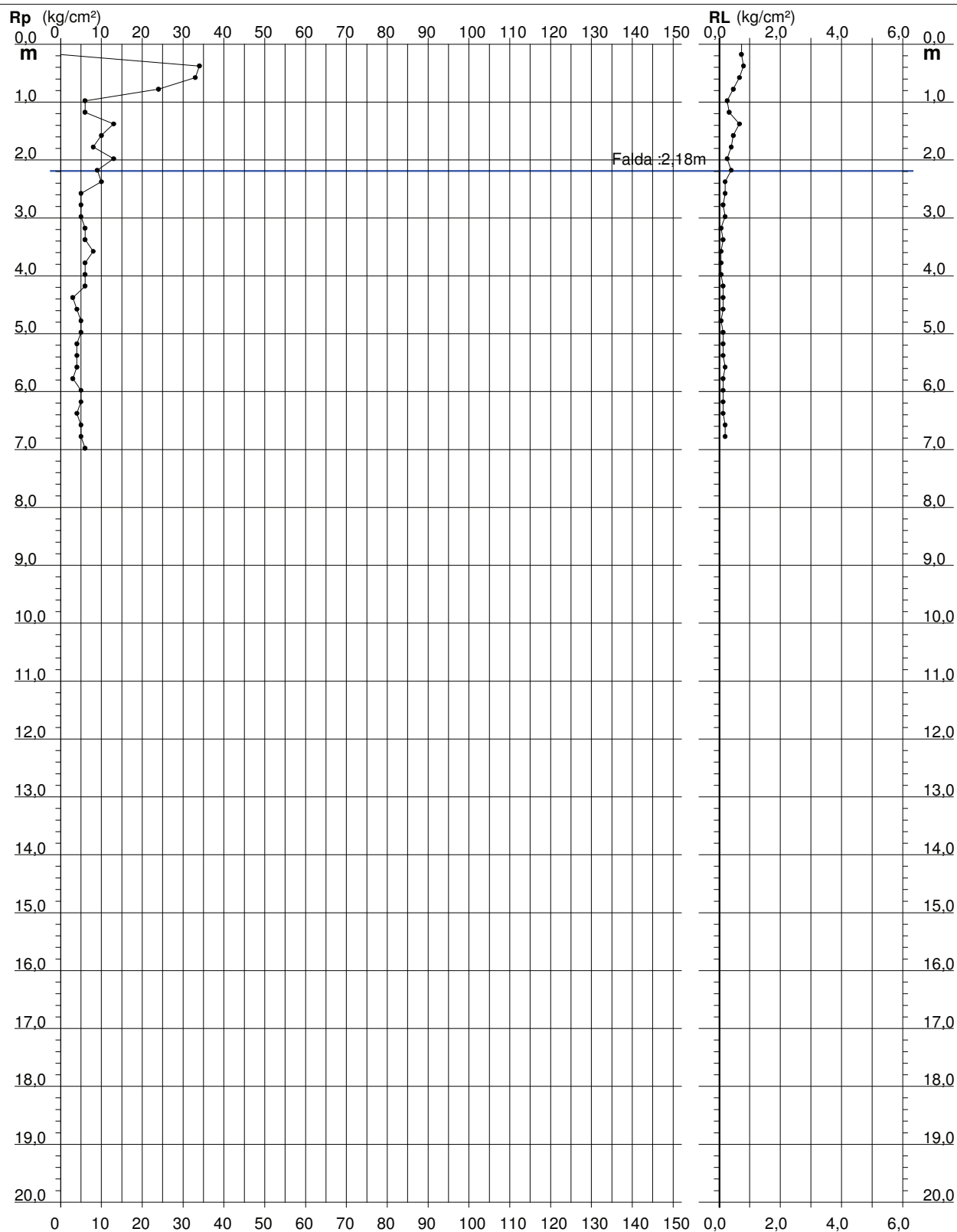
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 7

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,18 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



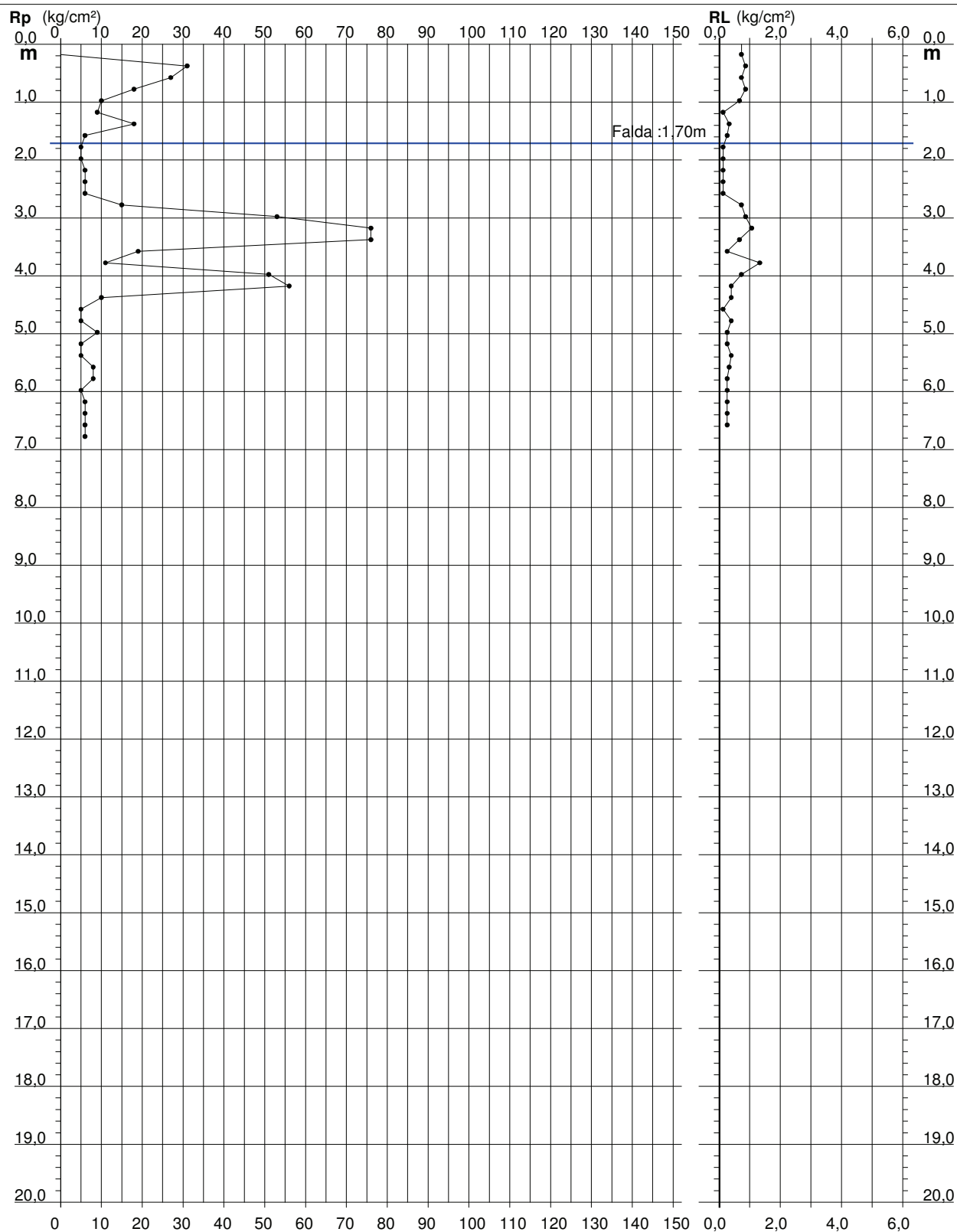
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,70 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



PROVA PENETROMETRICA STATICA

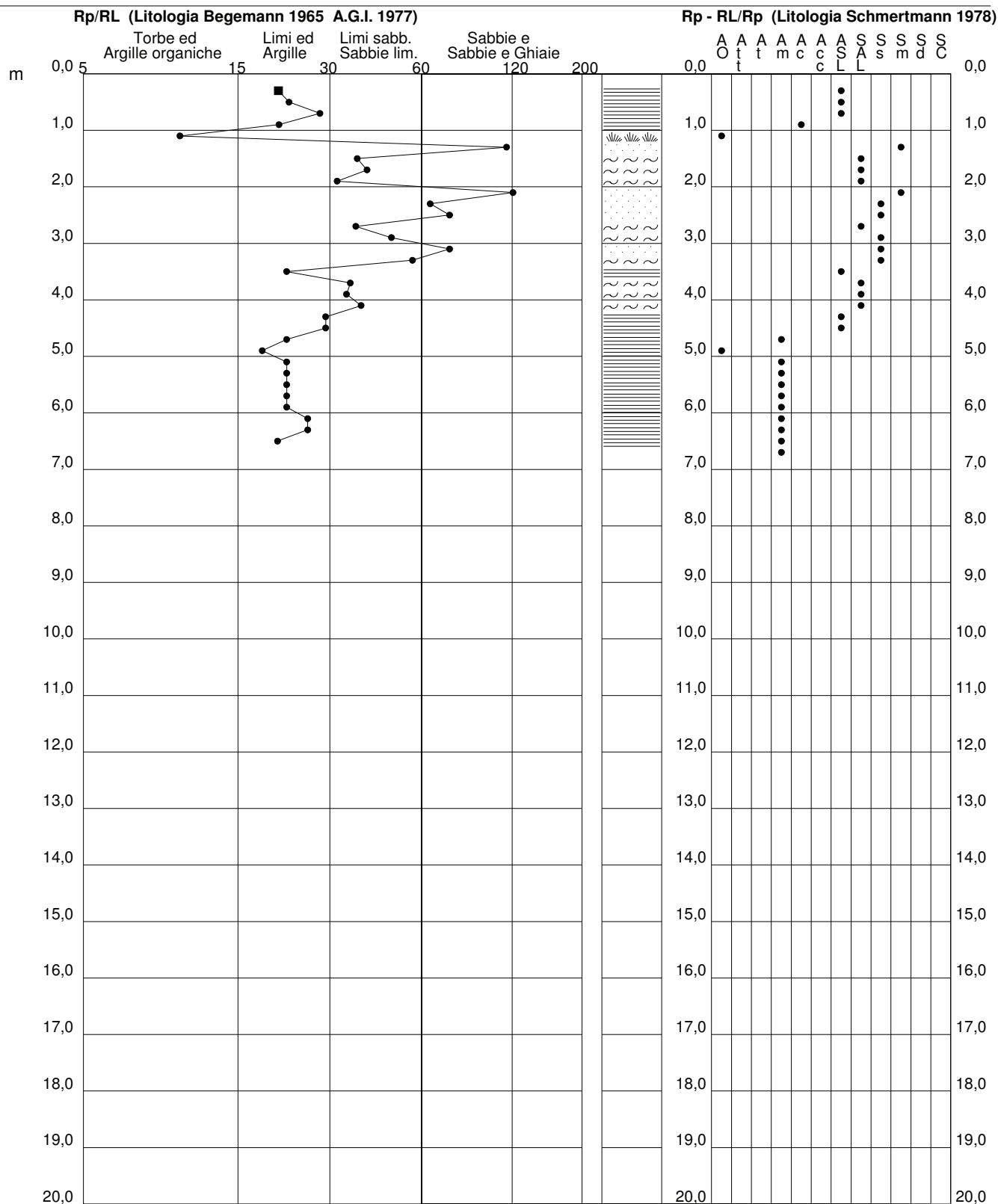
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,60 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



PROVA PENETROMETRICA STATICA

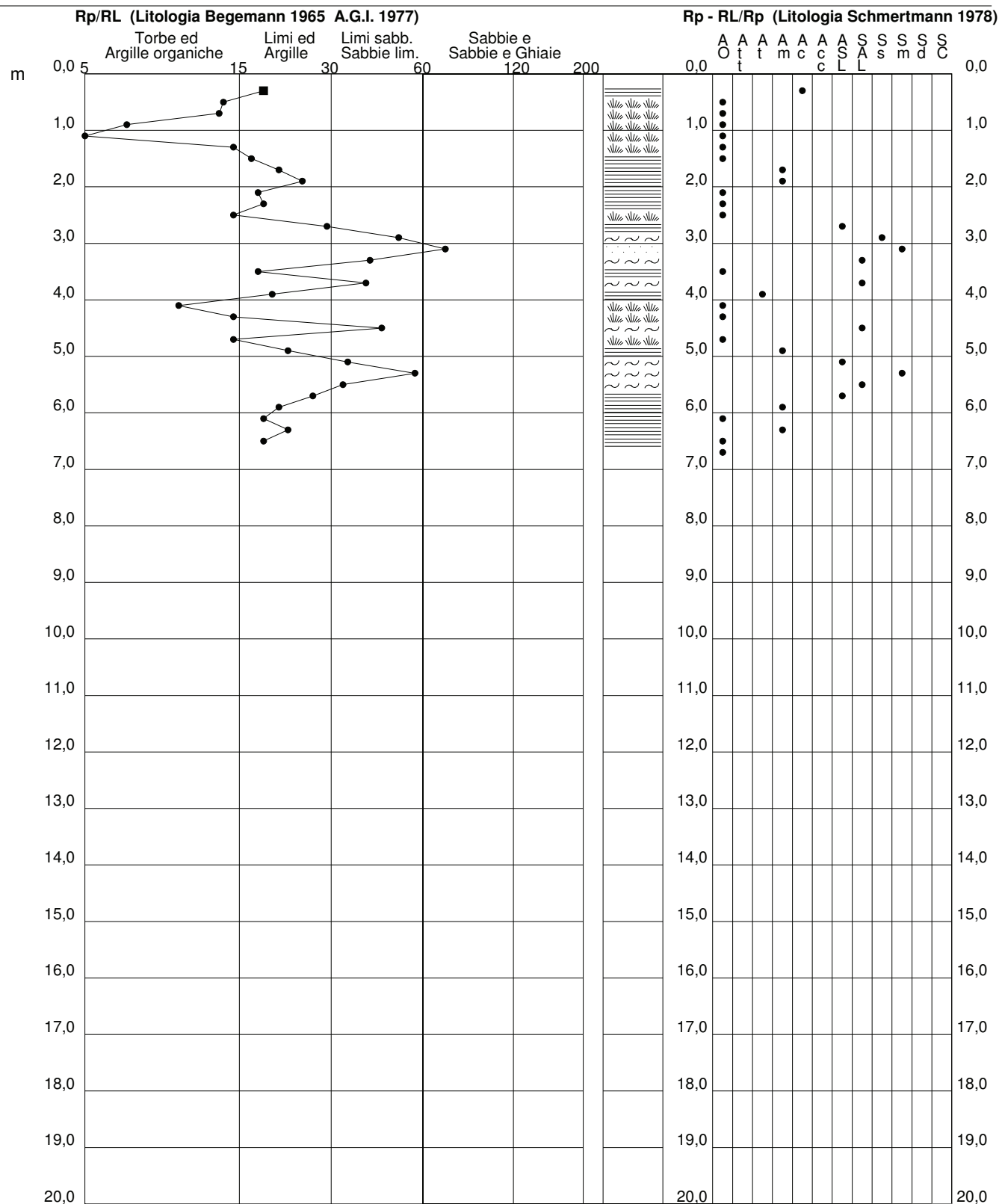
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 4

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 0,61 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



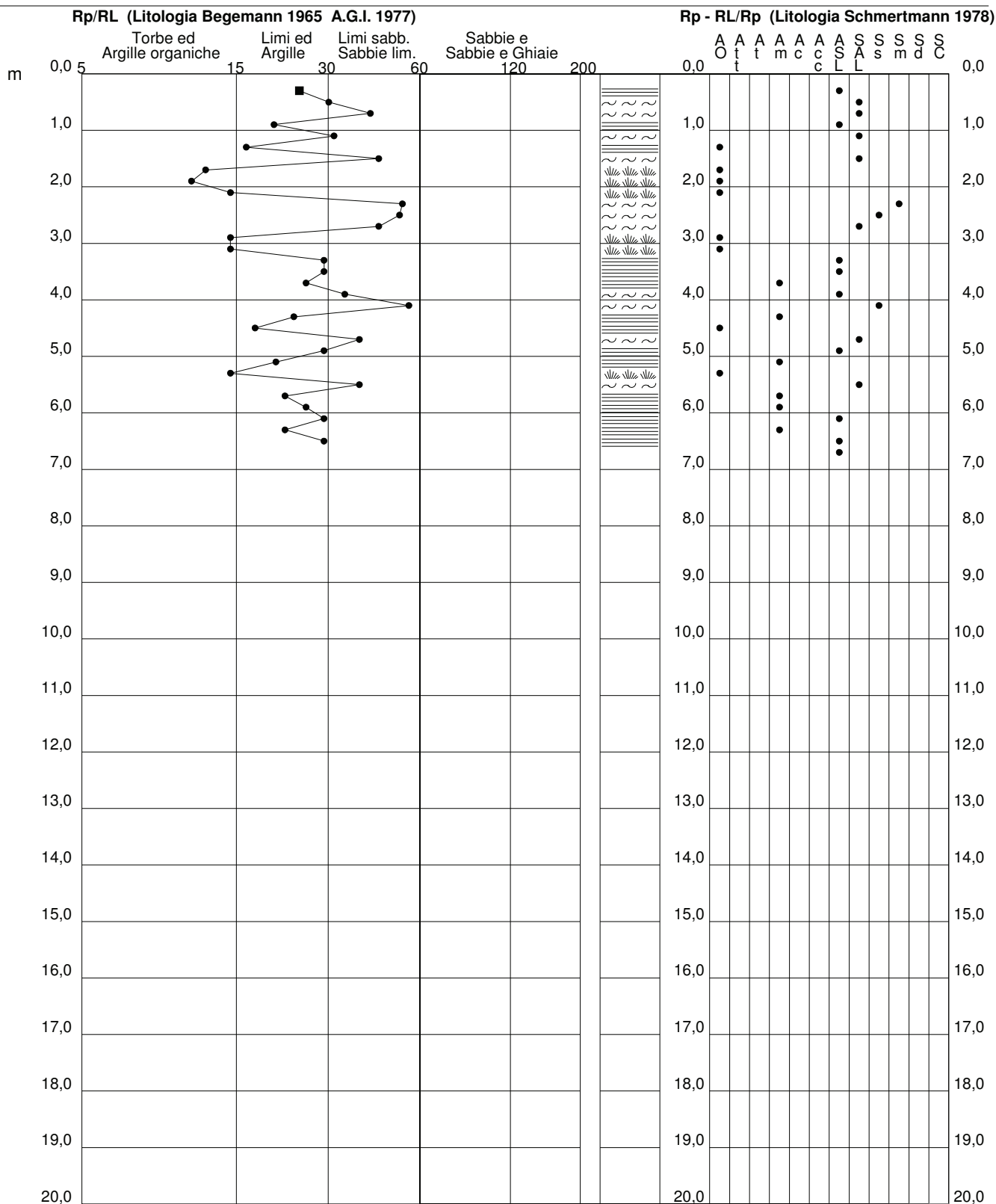
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 5

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
- lavoro: Indagine geognostica
- località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
- resp. cantiere:
- assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,95 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100
- data emiss. : 12/05/2016



PROVA PENETROMETRICA STATICA

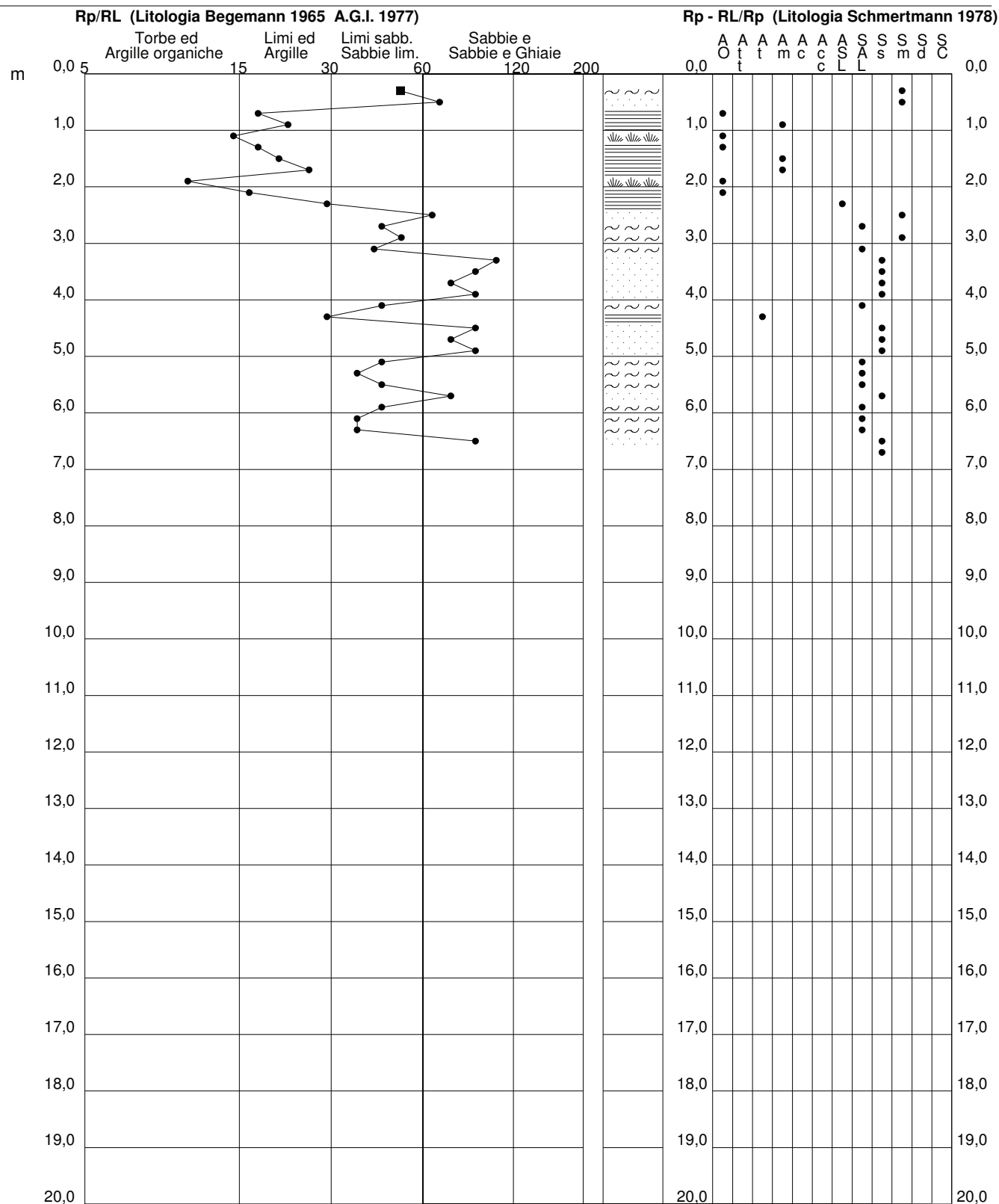
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 6

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,30 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



PROVA PENETROMETRICA STATICA

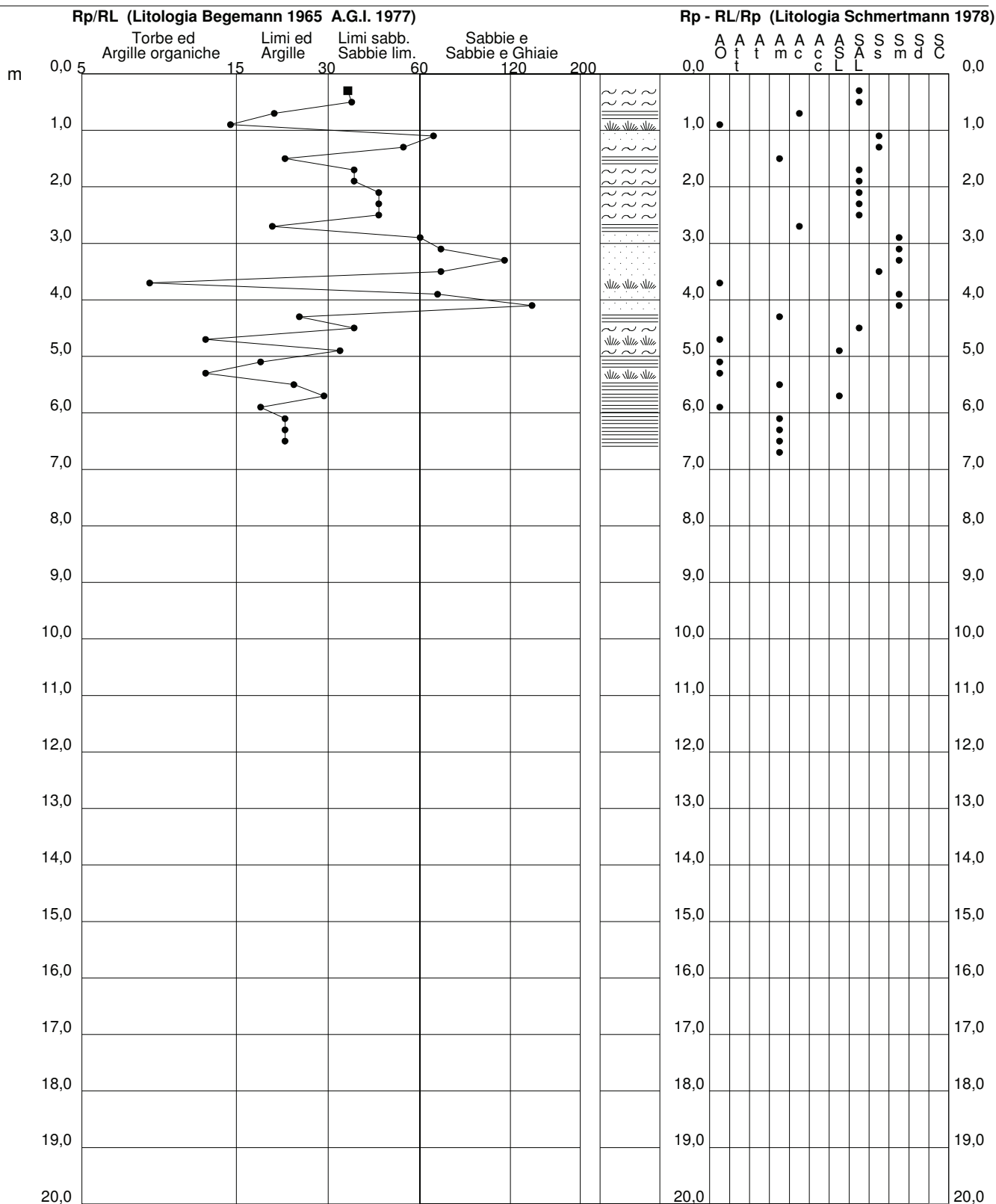
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 8

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,70 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 100
 - data emiss. : 12/05/2016



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,60 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Prof. m | Rp kg/cm² | Rp/Rl (-) | Natura Litol. | Y' t/m³ | p'vo kg/cm² | Cu kg/cm² | OCR (-) | Eu50 kg/cm² | Eu25 kg/cm² | Mo kg/cm² | Dr % | ø1s (°) | ø2s (°) | ø3s (°) | ø4s (°) | ødm (°) | ømy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm² | E'25 kg/cm² | Mo kg/cm² |
| 0,20 | -- | -- | ??? | 1,85 | 0,04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,40 | 31 | 21 | 4/:: | 1,85 | 0,07 | 1,03 | 99,9 | 176 | 264 | 93 | 95 | 41 | 43 | 44 | 46 | 43 | 29 | 0,241 | 52 | 78 | 93 |
| 0,60 | 29 | 23 | 4/:: | 1,85 | 0,11 | 0,98 | 95,9 | 167 | 251 | 87 | 83 | 40 | 41 | 43 | 45 | 41 | 29 | 0,200 | 48 | 73 | 87 |
| 0,80 | 23 | 29 | 4/:: | 1,85 | 0,15 | 0,87 | 57,3 | 148 | 221 | 69 | 68 | 38 | 39 | 41 | 43 | 39 | 28 | 0,153 | 38 | 58 | 69 |
| 1,00 | 17 | 21 | 2//// | 1,85 | 0,19 | 0,72 | 34,5 | 123 | 184 | 54 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,20 | 17 | 10 | 2//// | 1,85 | 0,22 | 0,72 | 27,5 | 123 | 184 | 54 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,40 | 61 | 114 | 3::: | 1,85 | 0,26 | -- | -- | -- | -- | -- | 88 | 40 | 42 | 43 | 45 | 41 | 32 | 0,216 | 102 | 153 | 183 |
| 1,60 | 48 | 38 | 3::: | 1,85 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- | 76 | 39 | 40 | 42 | 44 | 39 | 31 | 0,179 | 80 | 120 | 144 |
| 1,80 | 38 | 41 | 3::: | 1,85 | 0,33 | -- | -- | -- | -- | -- | 66 | 37 | 39 | 41 | 43 | 38 | 30 | 0,146 | 63 | 95 | 114 |
| 2,00 | 37 | 33 | 3::: | 1,85 | 0,37 | -- | -- | -- | -- | -- | 62 | 37 | 39 | 41 | 43 | 37 | 30 | 0,136 | 62 | 93 | 111 |
| 2,20 | 48 | 120 | 3::: | 1,85 | 0,41 | -- | -- | -- | -- | -- | 69 | 38 | 39 | 41 | 43 | 38 | 31 | 0,155 | 80 | 120 | 144 |
| 2,40 | 13 | 65 | 4/:: | 1,85 | 0,44 | 0,60 | 9,2 | 106 | 159 | 47 | 22 | 31 | 34 | 37 | 40 | 30 | 26 | 0,041 | 22 | 33 | 39 |
| 2,60 | 15 | 75 | 4/:: | 0,89 | 0,46 | 0,67 | 9,9 | 113 | 170 | 50 | 26 | 32 | 34 | 37 | 40 | 31 | 27 | 0,049 | 25 | 38 | 45 |
| 2,80 | 10 | 37 | 4/:: | 0,86 | 0,48 | 0,50 | 6,6 | 123 | 184 | 40 | 11 | 30 | 33 | 36 | 39 | 28 | 26 | 0,022 | 17 | 25 | 30 |
| 3,00 | 13 | 49 | 4/:: | 0,88 | 0,50 | 0,60 | 8,0 | 119 | 179 | 47 | 19 | 31 | 34 | 36 | 40 | 29 | 26 | 0,036 | 22 | 33 | 39 |
| 3,20 | 15 | 75 | 4/:: | 0,89 | 0,51 | 0,67 | 8,7 | 122 | 183 | 50 | 23 | 31 | 34 | 37 | 40 | 30 | 27 | 0,044 | 25 | 38 | 45 |
| 3,40 | 19 | 57 | 4/:: | 0,92 | 0,53 | 0,78 | 10,0 | 132 | 198 | 58 | 30 | 32 | 35 | 38 | 40 | 31 | 27 | 0,058 | 32 | 48 | 57 |
| 3,60 | 24 | 22 | 4/:: | 0,94 | 0,55 | 0,89 | 11,4 | 151 | 227 | 72 | 37 | 33 | 36 | 38 | 41 | 32 | 28 | 0,074 | 40 | 60 | 72 |
| 3,80 | 36 | 36 | 3::: | 0,89 | 0,57 | -- | -- | -- | -- | -- | 51 | 35 | 37 | 40 | 42 | 34 | 30 | 0,106 | 60 | 90 | 108 |
| 4,00 | 14 | 35 | 4/:: | 0,89 | 0,59 | 0,64 | 6,9 | 148 | 222 | 48 | 17 | 30 | 33 | 36 | 39 | 29 | 26 | 0,033 | 23 | 35 | 42 |
| 4,20 | 13 | 39 | 4/:: | 0,88 | 0,60 | 0,60 | 6,3 | 158 | 237 | 47 | 14 | 30 | 33 | 36 | 39 | 28 | 26 | 0,027 | 22 | 33 | 39 |
| 4,40 | 6 | 30 | 4/:: | 0,82 | 0,62 | 0,30 | 2,5 | 158 | 238 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,60 | 6 | 30 | 4/:: | 0,82 | 0,64 | 0,30 | 2,4 | 160 | 240 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,80 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,65 | 0,30 | 2,4 | 162 | 242 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,00 | 5 | 19 | 2//// | 0,80 | 0,67 | 0,25 | 1,8 | 142 | 213 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,20 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,69 | 0,30 | 2,2 | 164 | 246 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,40 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,70 | 0,30 | 2,2 | 165 | 248 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,60 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,72 | 0,30 | 2,1 | 166 | 249 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,80 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,74 | 0,30 | 2,0 | 167 | 251 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,00 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,75 | 0,30 | 2,0 | 168 | 252 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,20 | 7 | 26 | 2//// | 0,84 | 0,77 | 0,35 | 2,3 | 189 | 283 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,40 | 7 | 26 | 2//// | 0,84 | 0,79 | 0,35 | 2,3 | 190 | 285 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,60 | 7 | 21 | 2//// | 0,84 | 0,80 | 0,35 | 2,2 | 192 | 287 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,80 | 6 | -- | 2//// | 0,82 | 0,82 | 0,30 | 1,8 | 171 | 257 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

PROVA PENETROMETRICA STATICA **TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 2

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - data emiss. : 12/05/2016

| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Prof. m | Rp kg/cm² | Rp/Rl (-) | Natura Litol. | Y' t/m³ | p'vo kg/cm² | Cu kg/cm² | OCR (-) | Eu50 kg/cm² | Eu25 kg/cm² | Mo kg/cm² | Dr % | ø1s (°) | ø2s (°) | ø3s (°) | ø4s (°) | ødm (°) | ømy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm² | E'25 kg/cm² | Mo kg/cm² |
| 0,20 | -- | -- | ??? | 1,85 | 0,04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,40 | 12 | 45 | 4/:/: | 1,85 | 0,07 | 0,57 | 80,8 | 97 | 146 | 45 | 63 | 37 | 39 | 41 | 43 | 39 | 26 | 0,138 | 20 | 30 | 36 |
| 0,60 | 21 | 39 | 3::: | 1,85 | 0,11 | -- | -- | -- | -- | -- | 72 | 38 | 40 | 42 | 44 | 40 | 27 | 0,165 | 35 | 53 | 63 |
| 0,80 | 23 | 25 | 4/:/: | 1,85 | 0,15 | 0,87 | 57,3 | 148 | 221 | 69 | 68 | 38 | 39 | 41 | 43 | 39 | 28 | 0,153 | 38 | 58 | 69 |
| 1,00 | 17 | 36 | 4/:/: | 1,85 | 0,19 | 0,72 | 34,5 | 123 | 184 | 54 | 52 | 35 | 38 | 40 | 42 | 37 | 27 | 0,110 | 28 | 43 | 51 |
| 1,20 | 10 | 37 | 4/:/: | 1,85 | 0,22 | 0,50 | 17,3 | 85 | 128 | 40 | 30 | 32 | 35 | 37 | 40 | 33 | 26 | 0,057 | 17 | 25 | 30 |
| 1,40 | 7 | 26 | 2/// | 1,85 | 0,26 | 0,35 | 9,1 | 62 | 92 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,60 | 6 | 10 | 1*** | 1,85 | 0,30 | 0,30 | 6,4 | 16 | 24 | 9 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,80 | 25 | 12 | 4/:/: | 1,85 | 0,33 | 0,91 | 22,0 | 155 | 232 | 75 | 51 | 35 | 37 | 40 | 42 | 35 | 28 | 0,107 | 42 | 63 | 75 |
| 2,00 | 218 | 64 | 3::: | 1,85 | 0,37 | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 42 | 43 | 45 | 46 | 45 | 38 | 0,258 | 363 | 545 | 654 |
| 2,20 | 245 | -- | 3::: | 1,85 | 0,41 | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 42 | 43 | 45 | 46 | 45 | 39 | 0,258 | 408 | 613 | 735 |

PROVA PENETROMETRICA STATICA **TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 4

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 0,61 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Prof. m | Rp kg/cm² | Rp/Rl (-) | Natura Litol. | Y' t/m³ | p'vo kg/cm² | Cu kg/cm² | OCR (-) | Eu50 kg/cm² | Eu25 kg/cm² | Mo kg/cm² | Dr % | ø1s (°) | ø2s (°) | ø3s (°) | ø4s (°) | ødm (°) | ømy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm² | E'25 kg/cm² | Mo kg/cm² |
| 0,20 | -- | -- | ??? | 1,85 | 0,04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,40 | 10 | 19 | 2//// | 1,85 | 0,07 | 0,50 | 68,4 | 85 | 128 | 40 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,60 | 13 | 14 | 2//// | 1,85 | 0,11 | 0,60 | 52,2 | 103 | 154 | 47 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,80 | 9 | 13 | 2//// | 0,88 | 0,13 | 0,45 | 30,0 | 77 | 115 | 38 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,00 | 5 | 7 | 1*** | 0,46 | 0,14 | 0,25 | 13,2 | 10 | 15 | 8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,20 | 2 | 5 | 1*** | 0,46 | 0,15 | 0,10 | 3,9 | 7 | 11 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,40 | 2 | 15 | 1*** | 0,46 | 0,16 | 0,10 | 3,6 | 8 | 13 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,60 | 8 | 17 | 2//// | 0,86 | 0,17 | 0,40 | 17,8 | 68 | 102 | 35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,80 | 7 | 21 | 2//// | 0,84 | 0,19 | 0,35 | 13,5 | 59 | 89 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,00 | 10 | 25 | 2//// | 0,90 | 0,21 | 0,50 | 18,8 | 85 | 128 | 40 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,20 | 6 | 18 | 2//// | 0,82 | 0,22 | 0,30 | 9,0 | 53 | 80 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,40 | 5 | 19 | 2//// | 0,80 | 0,24 | 0,25 | 6,6 | 62 | 93 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,60 | 7 | 15 | 1*** | 0,46 | 0,25 | 0,35 | 9,6 | 14 | 21 | 11 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,80 | 10 | 30 | 4/:- | 0,86 | 0,27 | 0,50 | 13,8 | 85 | 128 | 40 | 25 | 32 | 34 | 37 | 40 | 31 | 26 | 0,048 | 17 | 25 | 30 |
| 3,00 | 17 | 51 | 4/:- | 0,91 | 0,29 | 0,72 | 20,1 | 123 | 184 | 54 | 42 | 34 | 36 | 39 | 41 | 34 | 27 | 0,084 | 28 | 43 | 51 |
| 3,20 | 24 | 72 | 3::: | 0,86 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- | 52 | 35 | 38 | 40 | 42 | 36 | 28 | 0,109 | 40 | 60 | 72 |
| 3,40 | 22 | 41 | 3::: | 0,86 | 0,32 | -- | -- | -- | -- | -- | 48 | 35 | 37 | 39 | 42 | 35 | 28 | 0,098 | 37 | 55 | 66 |
| 3,60 | 6 | 18 | 2//// | 0,82 | 0,34 | 0,30 | 5,5 | 91 | 137 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3,80 | 8 | 40 | 4/:- | 0,84 | 0,35 | 0,40 | 7,3 | 87 | 130 | 35 | 11 | 29 | 33 | 36 | 39 | 29 | 26 | 0,021 | 13 | 20 | 24 |
| 4,00 | 4 | 20 | 2//// | 0,78 | 0,37 | 0,20 | 2,9 | 100 | 150 | 20 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,20 | 2 | 10 | 1*** | 0,46 | 0,38 | 0,10 | 1,2 | 13 | 19 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,40 | 3 | 15 | 1*** | 0,46 | 0,39 | 0,15 | 1,9 | 18 | 27 | 5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,60 | 6 | 45 | 4/:- | 0,82 | 0,40 | 0,30 | 4,3 | 113 | 169 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 26 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,80 | 4 | 15 | 1*** | 0,46 | 0,41 | 0,20 | 2,5 | 22 | 33 | 6 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,00 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,43 | 0,30 | 4,0 | 120 | 179 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,20 | 7 | 35 | 4/:- | 0,83 | 0,45 | 0,35 | 4,6 | 124 | 186 | 32 | 0 | 28 | 31 | 35 | 38 | 27 | 26 | -- | 12 | 18 | 21 |
| 5,40 | 23 | 57 | 3::: | 0,86 | 0,46 | -- | -- | -- | -- | -- | 40 | 34 | 36 | 39 | 41 | 33 | 28 | 0,080 | 38 | 58 | 69 |
| 5,60 | 18 | 34 | 4/:- | 0,91 | 0,48 | 0,75 | 11,0 | 128 | 191 | 56 | 31 | 32 | 35 | 38 | 40 | 31 | 27 | 0,060 | 30 | 45 | 54 |
| 5,80 | 18 | 27 | 2//// | 0,98 | 0,50 | 0,75 | 10,4 | 128 | 191 | 56 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,00 | 7 | 21 | 2//// | 0,84 | 0,52 | 0,35 | 3,9 | 145 | 218 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,20 | 5 | 19 | 2//// | 0,80 | 0,53 | 0,25 | 2,4 | 134 | 200 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,40 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,55 | 0,30 | 2,9 | 149 | 224 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,60 | 5 | 19 | 2//// | 0,80 | 0,57 | 0,25 | 2,3 | 136 | 204 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,80 | 5 | -- | 1*** | 0,46 | 0,57 | 0,25 | 2,2 | 29 | 44 | 8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

PROVA PENETROMETRICA STATICA **TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

CPT 5

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,95 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------------|------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Prof. m | Rp kg/cm² | Rp/Rl (-) | Natura Litol. | Y' t/m³ | p'vo kg/cm² | Cu kg/cm² | OCR (-) | Eu50 kg/cm² | Eu25 kg/cm² | Mo kg/cm² | Dr % | σ1s (°) | σ2s (°) | σ3s (°) | σ4s (°) | σdm (°) | σmy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm² | E'25 kg/cm² | Mo kg/cm² |
| 0,20 | -- | -- | ??? | 1,85 | 0,04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,40 | 15 | 25 | 2//// | 1,85 | 0,07 | 0,67 | 98,0 | 113 | 170 | 50 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,60 | 29 | 31 | 3::: | 1,85 | 0,11 | -- | -- | -- | -- | -- | 83 | 40 | 41 | 43 | 45 | 41 | 29 | 0,200 | 48 | 73 | 87 |
| 0,80 | 31 | 42 | 3::: | 1,85 | 0,15 | -- | -- | -- | -- | -- | 78 | 39 | 41 | 42 | 44 | 40 | 29 | 0,185 | 52 | 78 | 93 |
| 1,00 | 29 | 21 | 4:/: | 1,85 | 0,19 | 0,98 | 50,7 | 167 | 251 | 87 | 71 | 38 | 40 | 42 | 44 | 39 | 29 | 0,161 | 48 | 73 | 87 |
| 1,20 | 28 | 32 | 3::: | 1,85 | 0,22 | -- | -- | -- | -- | -- | 65 | 37 | 39 | 41 | 43 | 38 | 28 | 0,144 | 47 | 70 | 84 |
| 1,40 | 9 | 17 | 2//// | 1,85 | 0,26 | 0,45 | 12,5 | 77 | 115 | 38 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,60 | 6 | 45 | 4:/: | 1,85 | 0,30 | 0,30 | 6,4 | 77 | 115 | 29 | 5 | 29 | 32 | 35 | 38 | 28 | 26 | 0,013 | 10 | 15 | 18 |
| 1,80 | 5 | 12 | 1*** | 1,85 | 0,33 | 0,25 | 4,4 | 17 | 25 | 8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,00 | 6 | 11 | 1*** | 0,46 | 0,34 | 0,30 | 5,3 | 18 | 27 | 9 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,20 | 8 | 15 | 2//// | 0,86 | 0,36 | 0,40 | 7,2 | 89 | 134 | 35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,40 | 25 | 54 | 3::: | 0,86 | 0,38 | -- | -- | -- | -- | -- | 48 | 35 | 37 | 39 | 42 | 35 | 28 | 0,099 | 42 | 63 | 75 |
| 2,60 | 14 | 52 | 4:/: | 0,89 | 0,39 | 0,64 | 11,4 | 108 | 162 | 48 | 27 | 32 | 35 | 37 | 40 | 31 | 26 | 0,052 | 23 | 35 | 42 |
| 2,80 | 6 | 45 | 4:/: | 0,82 | 0,41 | 0,30 | 4,2 | 115 | 172 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 26 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 3,00 | 3 | 15 | 1*** | 0,46 | 0,42 | 0,15 | 1,7 | 19 | 28 | 5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3,20 | 4 | 15 | 1*** | 0,46 | 0,43 | 0,20 | 2,4 | 23 | 34 | 6 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3,40 | 8 | 30 | 4:/: | 0,84 | 0,45 | 0,40 | 5,5 | 121 | 181 | 35 | 5 | 29 | 32 | 35 | 38 | 27 | 26 | 0,012 | 13 | 20 | 24 |
| 3,60 | 8 | 30 | 4:/: | 0,84 | 0,46 | 0,40 | 5,2 | 127 | 190 | 35 | 4 | 29 | 32 | 35 | 38 | 27 | 26 | 0,010 | 13 | 20 | 24 |
| 3,80 | 7 | 26 | 2//// | 0,84 | 0,48 | 0,35 | 4,2 | 134 | 201 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,00 | 7 | 35 | 4:/: | 0,83 | 0,50 | 0,35 | 4,1 | 138 | 208 | 32 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 26 | 26 | -- | 12 | 18 | 21 |
| 4,20 | 15 | 56 | 4:/: | 0,89 | 0,51 | 0,67 | 8,7 | 122 | 183 | 50 | 23 | 31 | 34 | 37 | 40 | 30 | 27 | 0,044 | 25 | 38 | 45 |
| 4,40 | 8 | 24 | 2//// | 0,86 | 0,53 | 0,40 | 4,4 | 148 | 222 | 35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,60 | 6 | 18 | 2//// | 0,82 | 0,55 | 0,30 | 3,0 | 149 | 223 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,80 | 13 | 39 | 4:/: | 0,88 | 0,57 | 0,60 | 6,8 | 143 | 215 | 47 | 16 | 30 | 33 | 36 | 39 | 29 | 26 | 0,030 | 22 | 33 | 39 |
| 5,00 | 10 | 30 | 4:/: | 0,86 | 0,58 | 0,50 | 5,2 | 160 | 240 | 40 | 6 | 29 | 32 | 35 | 38 | 27 | 26 | 0,014 | 17 | 25 | 30 |
| 5,20 | 7 | 21 | 2//// | 0,84 | 0,60 | 0,35 | 3,2 | 167 | 250 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,40 | 7 | 15 | 1*** | 0,46 | 0,61 | 0,35 | 3,1 | 34 | 51 | 11 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,60 | 13 | 39 | 4:/: | 0,88 | 0,63 | 0,60 | 6,0 | 166 | 248 | 47 | 13 | 30 | 33 | 36 | 39 | 28 | 26 | 0,026 | 22 | 33 | 39 |
| 5,80 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,64 | 0,30 | 2,4 | 161 | 241 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,00 | 7 | 26 | 2//// | 0,84 | 0,66 | 0,35 | 2,8 | 177 | 265 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,20 | 6 | 30 | 4:/: | 0,82 | 0,68 | 0,30 | 2,3 | 163 | 245 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 6,40 | 6 | 22 | 2//// | 0,82 | 0,69 | 0,30 | 2,2 | 164 | 247 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,60 | 6 | 30 | 4:/: | 0,82 | 0,71 | 0,30 | 2,1 | 166 | 248 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 6,80 | 7 | -- | 2//// | 0,84 | 0,73 | 0,35 | 2,5 | 185 | 277 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 6

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,30 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Prof. m | Rp kg/cm² | Rp/Rl (-) | Natura Litol. | Y' t/m³ | p'vo kg/cm² | Cu kg/cm² | OCR (-) | Eu50 kg/cm² | Eu25 kg/cm² | Mo kg/cm² | Dr % | σ1s (°) | σ2s (°) | σ3s (°) | σ4s (°) | σdm (°) | σmy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm² | E'25 kg/cm² | Mo kg/cm² |
| 0,20 | -- | -- | ??? | 1,85 | 0,04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,40 | 62 | 52 | 3::: | 1,85 | 0,07 | -- | -- | -- | -- | -- | 100 | 42 | 43 | 45 | 46 | 45 | 32 | 0,258 | 103 | 155 | 186 |
| 0,60 | 23 | 69 | 3::: | 1,85 | 0,11 | -- | -- | -- | -- | -- | 75 | 39 | 40 | 42 | 44 | 40 | 28 | 0,175 | 38 | 58 | 69 |
| 0,80 | 6 | 18 | 2/// | 1,85 | 0,15 | 0,30 | 15,2 | 51 | 77 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,00 | 6 | 22 | 2/// | 1,85 | 0,19 | 0,30 | 11,5 | 51 | 77 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,20 | 5 | 15 | 1*** | 1,85 | 0,22 | 0,25 | 7,3 | 12 | 18 | 8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,40 | 6 | 18 | 2/// | 1,85 | 0,26 | 0,30 | 7,5 | 63 | 95 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,60 | 7 | 21 | 2/// | 1,85 | 0,30 | 0,35 | 7,7 | 72 | 108 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,80 | 7 | 26 | 2/// | 1,85 | 0,33 | 0,35 | 6,7 | 85 | 127 | 32 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,00 | 5 | 11 | 1*** | 1,85 | 0,37 | 0,25 | 3,8 | 19 | 28 | 8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,20 | 9 | 17 | 2/// | 1,85 | 0,41 | 0,45 | 7,1 | 102 | 152 | 38 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,40 | 26 | 30 | 4/: | 0,95 | 0,43 | 0,93 | 16,6 | 158 | 237 | 78 | 47 | 35 | 37 | 39 | 42 | 34 | 28 | 0,095 | 43 | 65 | 78 |
| 2,60 | 61 | 65 | 3::: | 0,94 | 0,44 | -- | -- | -- | -- | -- | 75 | 38 | 40 | 42 | 44 | 39 | 32 | 0,174 | 102 | 153 | 183 |
| 2,80 | 39 | 45 | 3::: | 0,90 | 0,46 | -- | -- | -- | -- | -- | 58 | 36 | 38 | 40 | 43 | 36 | 30 | 0,126 | 65 | 98 | 117 |
| 3,00 | 52 | 52 | 3::: | 0,92 | 0,48 | -- | -- | -- | -- | -- | 67 | 37 | 39 | 41 | 43 | 37 | 31 | 0,151 | 87 | 130 | 156 |
| 3,20 | 17 | 42 | 4/: | 0,91 | 0,50 | 0,72 | 10,0 | 123 | 184 | 54 | 28 | 32 | 35 | 37 | 40 | 31 | 27 | 0,054 | 28 | 43 | 51 |
| 3,40 | 7 | 105 | 4/: | 0,83 | 0,52 | 0,35 | 3,9 | 145 | 217 | 32 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 26 | 26 | -- | 12 | 18 | 21 |
| 3,60 | 6 | 90 | 4/: | 0,82 | 0,53 | 0,30 | 3,1 | 146 | 220 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 3,80 | 5 | 75 | 4/: | 0,81 | 0,55 | 0,25 | 2,4 | 135 | 202 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 4,00 | 6 | 90 | 4/: | 0,82 | 0,56 | 0,30 | 2,8 | 152 | 227 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,20 | 6 | 45 | 4/: | 0,82 | 0,58 | 0,30 | 2,7 | 154 | 231 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,40 | 4 | 30 | 4/: | 0,80 | 0,60 | 0,20 | 1,6 | 116 | 174 | 20 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 7 | 10 | 12 |
| 4,60 | 6 | 90 | 4/: | 0,82 | 0,61 | 0,30 | 2,6 | 158 | 236 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,80 | 5 | 75 | 4/: | 0,81 | 0,63 | 0,25 | 2,0 | 140 | 210 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 5,00 | 6 | 90 | 4/: | 0,82 | 0,65 | 0,30 | 2,4 | 161 | 241 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 5,20 | 6 | 45 | 4/: | 0,82 | 0,66 | 0,30 | 2,3 | 162 | 243 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 5,40 | 5 | 37 | 4/: | 0,81 | 0,68 | 0,25 | 1,8 | 142 | 214 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 5,60 | 6 | 45 | 4/: | 0,82 | 0,69 | 0,30 | 2,2 | 165 | 247 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 5,80 | 5 | 75 | 4/: | 0,81 | 0,71 | 0,25 | 1,7 | 144 | 216 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 6,00 | 6 | 45 | 4/: | 0,82 | 0,73 | 0,30 | 2,1 | 167 | 250 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 6,20 | 5 | 37 | 4/: | 0,81 | 0,74 | 0,25 | 1,6 | 145 | 217 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 6,40 | 5 | 37 | 4/: | 0,81 | 0,76 | 0,25 | 1,6 | 145 | 218 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 6,60 | 6 | 90 | 4/: | 0,82 | 0,78 | 0,30 | 1,9 | 169 | 254 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 6,80 | 6 | -- | 2/// | 0,82 | 0,79 | 0,30 | 1,9 | 170 | 255 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 7

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,18 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Prof. m | Rp kg/cm² | Rp/Rl (-) | Natura Litol. | Y' t/m³ | p'vo kg/cm² | Cu kg/cm² | OCR (-) | Eu50 kg/cm² | Eu25 kg/cm² | Mo kg/cm² | Dr % | ø1s (°) | ø2s (°) | ø3s (°) | ø4s (°) | ødm (°) | ømy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm² | E'25 kg/cm² | Mo kg/cm² |
| 0,20 | -- | -- | ??? | 1,85 | 0,04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,40 | 34 | 42 | 3::: | 1,85 | 0,07 | -- | -- | -- | -- | -- | 98 | 42 | 43 | 44 | 46 | 44 | 29 | 0,253 | 57 | 85 | 102 |
| 0,60 | 33 | 49 | 3::: | 1,85 | 0,11 | -- | -- | -- | -- | -- | 88 | 40 | 42 | 43 | 45 | 42 | 29 | 0,215 | 55 | 83 | 99 |
| 0,80 | 24 | 51 | 3::: | 1,85 | 0,15 | -- | -- | -- | -- | -- | 70 | 38 | 40 | 42 | 44 | 39 | 28 | 0,158 | 40 | 60 | 72 |
| 1,00 | 6 | 22 | 2/// | 1,85 | 0,19 | 0,30 | 11,5 | 51 | 77 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,20 | 6 | 18 | 2/// | 1,85 | 0,22 | 0,30 | 9,1 | 53 | 79 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,40 | 13 | 19 | 2/// | 1,85 | 0,26 | 0,60 | 18,1 | 103 | 154 | 47 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,60 | 10 | 21 | 2/// | 1,85 | 0,30 | 0,50 | 12,1 | 85 | 128 | 40 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,80 | 8 | 20 | 2/// | 1,85 | 0,33 | 0,40 | 7,9 | 80 | 120 | 35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,00 | 13 | 49 | 4:/: | 1,85 | 0,37 | 0,60 | 11,6 | 103 | 154 | 47 | 26 | 32 | 34 | 37 | 40 | 31 | 26 | 0,050 | 22 | 33 | 39 |
| 2,20 | 9 | 22 | 2/// | 0,88 | 0,39 | 0,45 | 7,6 | 95 | 142 | 38 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,40 | 10 | 50 | 4:/: | 0,86 | 0,40 | 0,50 | 8,2 | 97 | 145 | 40 | 15 | 30 | 33 | 36 | 39 | 29 | 26 | 0,029 | 17 | 25 | 30 |
| 2,60 | 5 | 25 | 2/// | 0,80 | 0,42 | 0,25 | 3,3 | 118 | 176 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 2,80 | 5 | 37 | 4:/: | 0,81 | 0,44 | 0,25 | 3,1 | 121 | 181 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 3,00 | 5 | 25 | 2/// | 0,80 | 0,45 | 0,25 | 3,0 | 124 | 185 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3,20 | 6 | 90 | 4:/: | 0,82 | 0,47 | 0,30 | 3,6 | 132 | 199 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 3,40 | 6 | 45 | 4:/: | 0,82 | 0,49 | 0,30 | 3,4 | 137 | 205 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 3,60 | 8 | 120 | 4:/: | 0,84 | 0,50 | 0,40 | 4,7 | 140 | 209 | 35 | 2 | 28 | 31 | 35 | 38 | 27 | 26 | 0,005 | 13 | 20 | 24 |
| 3,80 | 6 | 90 | 4:/: | 0,82 | 0,52 | 0,30 | 3,2 | 144 | 216 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,00 | 6 | 90 | 4:/: | 0,82 | 0,54 | 0,30 | 3,0 | 147 | 220 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,20 | 6 | 45 | 4:/: | 0,82 | 0,55 | 0,30 | 2,9 | 150 | 224 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 4,40 | 3 | 22 | 2/// | 0,76 | 0,57 | 0,15 | 1,2 | 89 | 134 | 15 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,60 | 4 | 30 | 4:/: | 0,80 | 0,58 | 0,20 | 1,6 | 115 | 173 | 20 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 7 | 10 | 12 |
| 4,80 | 5 | 75 | 4:/: | 0,81 | 0,60 | 0,25 | 2,1 | 139 | 208 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 5,00 | 5 | 37 | 4:/: | 0,81 | 0,61 | 0,25 | 2,0 | 139 | 209 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 5,20 | 4 | 30 | 4:/: | 0,80 | 0,63 | 0,20 | 1,5 | 117 | 175 | 20 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 7 | 10 | 12 |
| 5,40 | 4 | 30 | 4:/: | 0,80 | 0,65 | 0,20 | 1,4 | 117 | 176 | 20 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 7 | 10 | 12 |
| 5,60 | 4 | 20 | 2/// | 0,78 | 0,66 | 0,20 | 1,4 | 117 | 176 | 20 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,80 | 3 | 22 | 2/// | 0,76 | 0,68 | 0,15 | 1,0 | 90 | 135 | 15 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,00 | 5 | 37 | 4:/: | 0,81 | 0,69 | 0,25 | 1,8 | 143 | 215 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 6,20 | 5 | 37 | 4:/: | 0,81 | 0,71 | 0,25 | 1,7 | 144 | 215 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 6,40 | 4 | 30 | 4:/: | 0,80 | 0,73 | 0,20 | 1,3 | 118 | 178 | 20 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 7 | 10 | 12 |
| 6,60 | 5 | 25 | 2/// | 0,80 | 0,74 | 0,25 | 1,6 | 145 | 217 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,80 | 5 | 25 | 2/// | 0,80 | 0,76 | 0,25 | 1,6 | 145 | 218 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 7,00 | 6 | -- | 2/// | 0,82 | 0,77 | 0,30 | 1,9 | 169 | 254 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 8

3.010496-127

- committente: Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro: Indagine geognostica
 - località: Inverigo (CO) - Nibionno (LC)
 - resp. cantiere:
 - assist. cantiere:

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,70 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| Prof. m | Rp kg/cm² | Rp/Rl (-) | Natura Litol. | Y' t/m³ | p'vo kg/cm² | Cu kg/cm² | OCR (-) | Eu50 kg/cm² | Eu25 kg/cm² | Mo kg/cm² | Dr % | ø1s (°) | ø2s (°) | ø3s (°) | ø4s (°) | ødm (°) | ømy (°) | Amax/g (-) | E'50 kg/cm² | E'25 kg/cm² | Mo kg/cm² |
| 0,20 | -- | -- | ??? | 1,85 | 0,04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 0,40 | 31 | 36 | 3:--- | 1,85 | 0,07 | -- | -- | -- | -- | -- | 95 | 41 | 43 | 44 | 46 | 43 | 29 | 0,241 | 52 | 78 | 93 |
| 0,60 | 27 | 37 | 3:--- | 1,85 | 0,11 | -- | -- | -- | -- | -- | 81 | 39 | 41 | 43 | 44 | 41 | 28 | 0,192 | 45 | 68 | 81 |
| 0,80 | 18 | 21 | 2:--- | 1,85 | 0,15 | 0,75 | 47,7 | 128 | 191 | 56 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,00 | 10 | 15 | 2:--- | 1,85 | 0,19 | 0,50 | 21,8 | 85 | 128 | 40 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,20 | 9 | 67 | 4:/: | 1,85 | 0,22 | 0,45 | 15,2 | 77 | 115 | 38 | 26 | 32 | 34 | 37 | 40 | 32 | 26 | 0,050 | 15 | 23 | 27 |
| 1,40 | 18 | 54 | 4:/: | 1,85 | 0,26 | 0,75 | 23,7 | 128 | 191 | 56 | 46 | 34 | 37 | 39 | 42 | 35 | 27 | 0,094 | 30 | 45 | 54 |
| 1,60 | 6 | 22 | 2:--- | 1,85 | 0,30 | 0,30 | 6,4 | 77 | 115 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1,80 | 5 | 37 | 4:/: | 0,81 | 0,31 | 0,25 | 4,8 | 87 | 130 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 27 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 2,00 | 5 | 37 | 4:/: | 0,81 | 0,33 | 0,25 | 4,5 | 92 | 137 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 26 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 2,20 | 6 | 45 | 4:/: | 0,82 | 0,34 | 0,30 | 5,3 | 94 | 141 | 29 | 1 | 28 | 31 | 35 | 38 | 27 | 26 | 0,003 | 10 | 15 | 18 |
| 2,40 | 6 | 45 | 4:/: | 0,82 | 0,36 | 0,30 | 5,0 | 100 | 149 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 27 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 2,60 | 6 | 45 | 4:/: | 0,82 | 0,38 | 0,30 | 4,7 | 105 | 157 | 29 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 27 | 26 | -- | 10 | 15 | 18 |
| 2,80 | 15 | 20 | 2:--- | 0,95 | 0,40 | 0,67 | 12,0 | 113 | 170 | 50 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3,00 | 53 | 61 | 3:--- | 0,92 | 0,41 | -- | -- | -- | -- | -- | 72 | 38 | 40 | 42 | 44 | 38 | 31 | 0,164 | 88 | 133 | 159 |
| 3,20 | 76 | 71 | 3:--- | 0,96 | 0,43 | -- | -- | -- | -- | -- | 83 | 40 | 41 | 43 | 45 | 40 | 33 | 0,199 | 127 | 190 | 228 |
| 3,40 | 76 | 114 | 3:--- | 0,96 | 0,45 | -- | -- | -- | -- | -- | 82 | 39 | 41 | 43 | 45 | 39 | 33 | 0,196 | 127 | 190 | 228 |
| 3,60 | 19 | 71 | 4:/: | 0,92 | 0,47 | 0,78 | 11,7 | 132 | 198 | 58 | 33 | 33 | 35 | 38 | 41 | 32 | 27 | 0,065 | 32 | 48 | 57 |
| 3,80 | 11 | 8 | 2:--- | 0,91 | 0,49 | 0,54 | 7,0 | 123 | 184 | 42 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,00 | 51 | 70 | 3:--- | 0,92 | 0,51 | -- | -- | -- | -- | -- | 65 | 37 | 39 | 41 | 43 | 37 | 31 | 0,146 | 85 | 128 | 153 |
| 4,20 | 56 | 140 | 3:--- | 0,93 | 0,53 | -- | -- | -- | -- | -- | 68 | 37 | 39 | 41 | 43 | 37 | 31 | 0,152 | 93 | 140 | 168 |
| 4,40 | 10 | 25 | 2:--- | 0,90 | 0,54 | 0,50 | 5,6 | 147 | 220 | 40 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4,60 | 5 | 37 | 4:/: | 0,81 | 0,56 | 0,25 | 2,3 | 136 | 204 | 25 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 25 | -- | 8 | 13 | 15 |
| 4,80 | 5 | 12 | 1*** | 0,46 | 0,57 | 0,25 | 2,2 | 29 | 44 | 8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,00 | 9 | 34 | 4:/: | 0,85 | 0,59 | 0,45 | 4,5 | 164 | 246 | 38 | 2 | 28 | 32 | 35 | 38 | 27 | 26 | 0,006 | 15 | 23 | 27 |
| 5,20 | 5 | 19 | 2:--- | 0,80 | 0,60 | 0,25 | 2,1 | 139 | 208 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,40 | 5 | 12 | 1*** | 0,46 | 0,61 | 0,25 | 2,0 | 30 | 45 | 8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,60 | 8 | 24 | 2:--- | 0,86 | 0,63 | 0,40 | 3,6 | 178 | 266 | 35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 5,80 | 8 | 30 | 4:/: | 0,84 | 0,65 | 0,40 | 3,4 | 182 | 273 | 35 | -- | 28 | 31 | 35 | 38 | 25 | 26 | -- | 13 | 20 | 24 |
| 6,00 | 5 | 19 | 2:--- | 0,80 | 0,66 | 0,25 | 1,9 | 142 | 213 | 25 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,20 | 6 | 22 | 2:--- | 0,82 | 0,68 | 0,30 | 2,3 | 164 | 245 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,40 | 6 | 22 | 2:--- | 0,82 | 0,69 | 0,30 | 2,2 | 165 | 247 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,60 | 6 | 22 | 2:--- | 0,82 | 0,71 | 0,30 | 2,1 | 166 | 249 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 6,80 | 6 | -- | 2:--- | 0,82 | 0,73 | 0,30 | 2,1 | 167 | 250 | 29 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : SCPT

| Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici | | |
|---|--------------------|-------------------------------|
| TIPO | Sigla Certificato | Peso Massa Battente M (kg) |
| Leggero | DPL (Light) | $M \leq 10$ |
| Medio | DPM (Medium) | $10 < M < 40$ |
| Pesante | DPH (Heavy) | $40 \leq M < 60$ |
| Super pesante | DPSH (Super Heavy) | $M \geq 60$ |

CARATTERISTICHE TECNICHE : SCPT

| | |
|-------------------------------------|---|
| PESO MASSA BATTENTE | M = 73,00 kg |
| ALTEZZA CADUTA LIBERA | H = 0,75 m |
| PESO SISTEMA BATTUTA | Ms = 30,00 kg |
| DIAMETRO PUNTA CONICA | D = 50,80 mm |
| AREA BASE PUNTA CONICA | A = 20,27 cm ² |
| ANGOLO APERTURA PUNTA | $\alpha = 60^\circ$ |
| LUNGHEZZA DELLE ASTE | La = 1,00 m |
| PESO ASTE PER METRO | Ma = 8,00 kg |
| PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA | P1 = 0,80 m |
| AVANZAMENTO PUNTA | $\delta = 0,30$ m |
| NUMERO DI COLPI PUNTA | N = N(30) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 30 cm |
| RIVESTIMENTO / FANGHI | NO |
| ENERGIA SPECIFICA x COLPO | Q = (MH)/(A δ) = 9,00 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²) |
| COEFF.TEORICO DI ENERGIA | $\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,150$ (teoricamente : Nspt = β_t N) |

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa \approx 0,1 MPa
 1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
 1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
 1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- cantiere : Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro : Indagine geognostica
 - località : Inverigo (CO) - Nibionno (LC)

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : - 1,80 m da p.c.
 - prof. falda : 2,50 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

- note : Prova eseguita nel foro della CPT2

| Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta | Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta |
|-------------|------------|--------------------------|------|-------------|------------|--------------------------|------|
| 0,00 - 0,30 | ---- | ---- | 1 | 3,60 - 3,90 | 2 | 9,7 | 4 |
| 0,30 - 0,60 | ---- | ---- | 1 | 3,90 - 4,20 | 2 | 9,2 | 5 |
| 0,60 - 0,90 | ---- | ---- | 1 | 4,20 - 4,50 | 2 | 9,2 | 5 |
| 0,90 - 1,20 | ---- | ---- | 2 | 4,50 - 4,80 | 2 | 9,2 | 5 |
| 1,20 - 1,50 | ---- | ---- | 2 | 4,80 - 5,10 | 2 | 8,7 | 6 |
| 1,50 - 1,80 | ---- | ---- | 2 | 5,10 - 5,40 | 3 | 13,1 | 6 |
| 1,80 - 2,10 | 15 | 77,6 | 3 | 5,40 - 5,70 | 3 | 13,1 | 6 |
| 2,10 - 2,40 | 20 | 103,5 | 3 | 5,70 - 6,00 | 3 | 13,1 | 6 |
| 2,40 - 2,70 | 13 | 67,3 | 3 | 6,00 - 6,30 | 3 | 12,4 | 7 |
| 2,70 - 3,00 | 12 | 62,1 | 3 | 6,30 - 6,60 | 2 | 8,3 | 7 |
| 3,00 - 3,30 | 23 | 112,0 | 4 | 6,60 - 6,90 | 3 | 12,4 | 7 |
| 3,30 - 3,60 | 14 | 68,2 | 4 | | | | |

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **SCPT**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,27** cm² - D(diam. punta)= **50,80** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 3

- cantiere : Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro : Indagine geognostica
 - località : Inverigo (CO) - Nibionno (LC)

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : 0,98 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

- note :

| Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta | Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta |
|-------------|------------|--------------------------|------|-------------|------------|--------------------------|------|
| 0,00 - 0,30 | 1 | 5,9 | 1 | 4,20 - 4,50 | 3 | 13,8 | 5 |
| 0,30 - 0,60 | 1 | 5,9 | 1 | 4,50 - 4,80 | 2 | 9,2 | 5 |
| 0,60 - 0,90 | 1 | 5,9 | 1 | 4,80 - 5,10 | 3 | 13,1 | 6 |
| 0,90 - 1,20 | 1 | 5,5 | 2 | 5,10 - 5,40 | 4 | 17,4 | 6 |
| 1,20 - 1,50 | 1 | 5,5 | 2 | 5,40 - 5,70 | 4 | 17,4 | 6 |
| 1,50 - 1,80 | 1 | 5,5 | 2 | 5,70 - 6,00 | 4 | 17,4 | 6 |
| 1,80 - 2,10 | 1 | 5,2 | 3 | 6,00 - 6,30 | 4 | 16,5 | 7 |
| 2,10 - 2,40 | 1 | 5,2 | 3 | 6,30 - 6,60 | 4 | 16,5 | 7 |
| 2,40 - 2,70 | 2 | 10,4 | 3 | 6,60 - 6,90 | 5 | 20,7 | 7 |
| 2,70 - 3,00 | 2 | 10,4 | 3 | 6,90 - 7,20 | 5 | 19,7 | 8 |
| 3,00 - 3,30 | 2 | 9,7 | 4 | 7,20 - 7,50 | 5 | 19,7 | 8 |
| 3,30 - 3,60 | 2 | 9,7 | 4 | 7,50 - 7,80 | 5 | 19,7 | 8 |
| 3,60 - 3,90 | 2 | 9,7 | 4 | 7,80 - 8,10 | 5 | 18,8 | 9 |
| 3,90 - 4,20 | 2 | 9,2 | 5 | | | | |

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **SCPT**- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,27** cm² - D(diam. punta)= **50,80** mm- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

Scala 1: 50

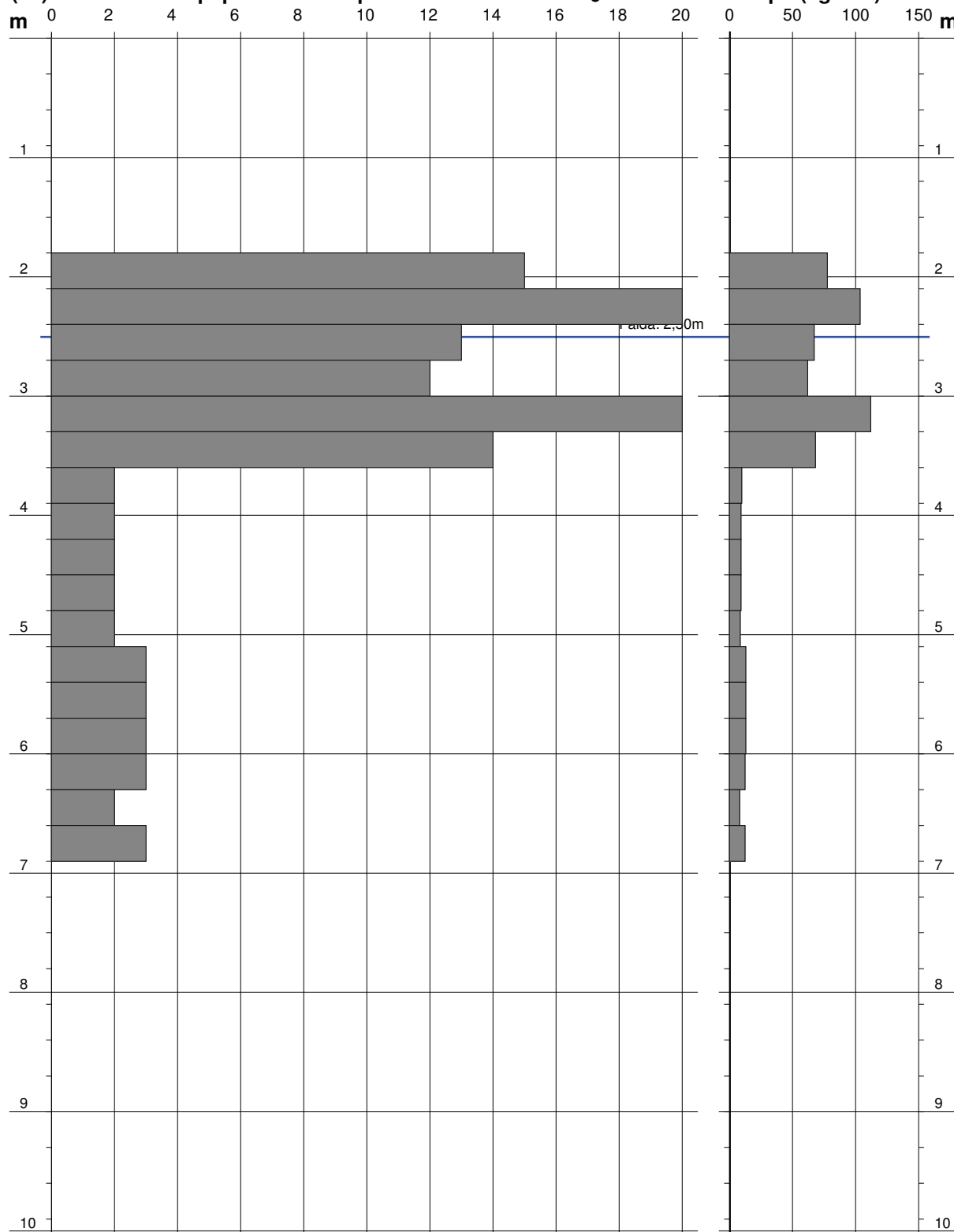
- cantiere : Mazzone Costruzioni Srl
 - lavoro : Indagine geognostica
 - località : Inverigo (CO) - Nibionno (LC)

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : - 1,80 m da p.c.
 - prof. falda : 2,50 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

- note : Prova eseguita nel foro della CPT2

N = N(30) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 30$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

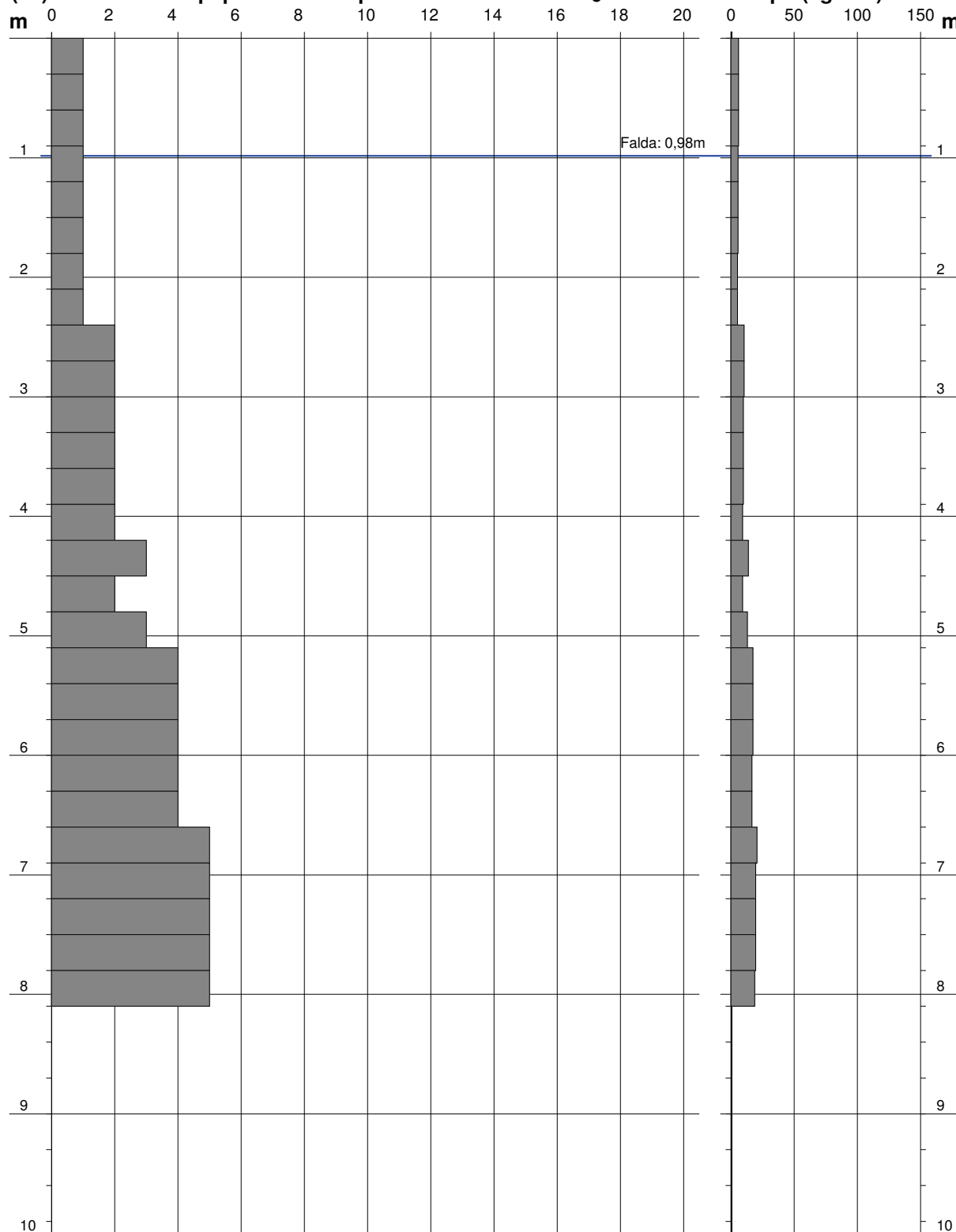
DIN 3

Scala 1: 50

- cantiere : Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro : Indagine geognostica
 - località : Inverigo (CO) - Nibionno (LC)

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : 0,98 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

- note :

N = N(30) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 30$ cm
Rpd (kg/cm²)


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 2

- cantiere : Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro : Indagine geognostica
 - località : Inverigo (CO) - Nibionno (LC)

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : - 1,80 m da p.c.
 - prof. falda : 2,50 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

- note : Prova eseguita nel foro della CPT2

| n° | Profondità (m) | PARAMETRO | ELABORAZIONE STATISTICA | | | | | | | VCA | β | Nspt |
|----|----------------|-----------|-------------------------|-----|-----|----------------------|------|------|-------|-----|---------|-----------|
| | | | M | min | Max | $\frac{1}{2}(M+min)$ | s | M-s | M+s | | | |
| 1 | 0,00 1,80 | N | 0,0 | 0 | 0 | 0,0 | ---- | ---- | ---- | 0 | 1,15 | 0 |
| | | Rpd | 0,0 | 0 | 0 | 0,0 | ---- | ---- | ---- | 0 | | |
| 2 | 1,80 3,60 | N | 16,2 | 12 | 23 | 14,1 | 4,4 | 11,8 | 20,5 | 16 | 1,15 | 18 |
| | | Rpd | 81,8 | 62 | 112 | 71,9 | 20,9 | 60,9 | 102,7 | 81 | | |
| 3 | 3,60 6,90 | N | 2,5 | 2 | 3 | 2,2 | ---- | 1,9 | 3,0 | 2 | 1,15 | 2 |
| | | Rpd | 10,8 | 8 | 13 | 9,5 | 2,0 | 8,7 | 12,8 | 9 | | |

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 30$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,15$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 2

| n° | Prof.(m) | LITOLOGIA | Nspt | NATURA GRANULARE | | | | | NATURA COESIVA | | | |
|----|-----------|-----------|------|------------------|---------|------|------|------|----------------|------|------|-------|
| | | | | DR | ϕ' | E' | Ysat | Yd | Cu | Ysat | W | e |
| 1 | 0.00 1.80 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2 | 1.80 3.60 | | 18 | 47.0 | 32.4 | 330 | 1.98 | 1.57 | 1.13 | 2.00 | 26 | 0.708 |
| 3 | 3.60 6.90 | | 2 | 7.5 | 26.8 | 207 | 1.85 | 1.36 | 0.13 | 1.75 | 47 | 1.267 |

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 3

- cantiere : Mazzoni Costruzioni Srl
 - lavoro : Indagine geognostica
 - località : Inverigo (CO) - Nibionno (LC)

- data prova : 06/05/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : 0,98 m da quota inizio
 - data emiss. : 12/05/2016

- note :

| n° | Profondità (m) | PARAMETRO | ELABORAZIONE STATISTICA | | | | | | | VCA | β | Nspt |
|----|----------------|-----------|-------------------------|---------|---------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|------|
| | | | M | min | Max | $\frac{1}{2}(M+\min)$ | s | M-s | M+s | | | |
| 1 | 0,00 4,80 | N Rpd | 1,6 7,9 | 1 5 | 3 14 | 1,3 6,5 | ---- 2,6 | ---- 5,3 | 2,2 10,6 | 2 10 | 1,15 | 2 |
| 2 | 4,80 8,10 | N Rpd | 4,4 17,9 | 3 13 | 5 21 | 3,7 15,5 | ---- 2,1 | 3,7 15,8 | 5,0 20,0 | 4 16 | 1,15 | 5 |

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 30$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,15$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 3

| n° | Prof.(m) | LITOLOGIA | Nspt | NATURA GRANULARE | | | | | NATURA COESIVA | | | |
|----|-----------|-----------|------|------------------|---------|-----|------|------|----------------|------|----|-------|
| | | | | DR | ϕ' | E' | Ysat | Yd | Cu | Ysat | W | e |
| 1 | 0.00 4.80 | | 2 | 7.5 | 26.8 | 207 | 1.85 | 1.36 | 0.13 | 1.75 | 47 | 1.267 |
| 2 | 4.80 8.10 | | 5 | 18.3 | 28.0 | 230 | 1.88 | 1.41 | 0.31 | 1.83 | 39 | 1.061 |

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

ALLEGATO 2

Indagine sismica con metodo masw

Provincia di Como
COMUNE DI INVERIGO

**AREA DI LAMINAZIONE DI INVERIGO
INTERVENTI IDRAULICI E DI RIQUALIFICAZIONE
FLUVIALE NEI TERRITORIO DI INVERIGO, NIBIONNO E
VERDUGGIO CON COLZANO**

PROGETTO ESECUTIVO

PROSPEZIONE SISMICA CON METODO MASW



RAPPORTO TECNICO

Carpenedolo (BS), 29/04/2016

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 1 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

INDICE

| | |
|------------------------------------|----------|
| PREMESSA | 3 |
| 1. METODO DI INDAGINE | 4 |
| 2. STRUMENTAZIONE | 6 |
| 3. ELABORAZIONE | 7 |
| 4. RISULTATI..... | 9 |

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 2 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

PREMESSA

In data 27 aprile 2016 per conto di Mazzoni Costruzioni Srl, nei pressi del Fiume Lambro in Comune di Inverigo, è stata svolta una campagna sismica con metodo MASW. L'indagine, svolta in corrispondenza di uno sbarramento in progetto nell'ambito di riqualificazione fluviale del territorio comunale, ha avuto l'obiettivo di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri dal piano delle fondazioni (V_{S30}), in riferimento alla classificazione sismica del territorio (O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03, O.P.C.M. n. 3316 del 02/10/03 e O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/06) ed alle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/08).

A tal scopo è stata realizzata una stesa sismica della lunghezza di 46,0 m, disposta circa parallelamente all'asse fluviale.

Di seguito si riportano la metodologia della ricerca e i risultati dell'indagine eseguita.



- Ubicazione area di indagine (tratto da Google Earth) -

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 3 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

1. METODO DI INDAGINE

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un record sismico che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

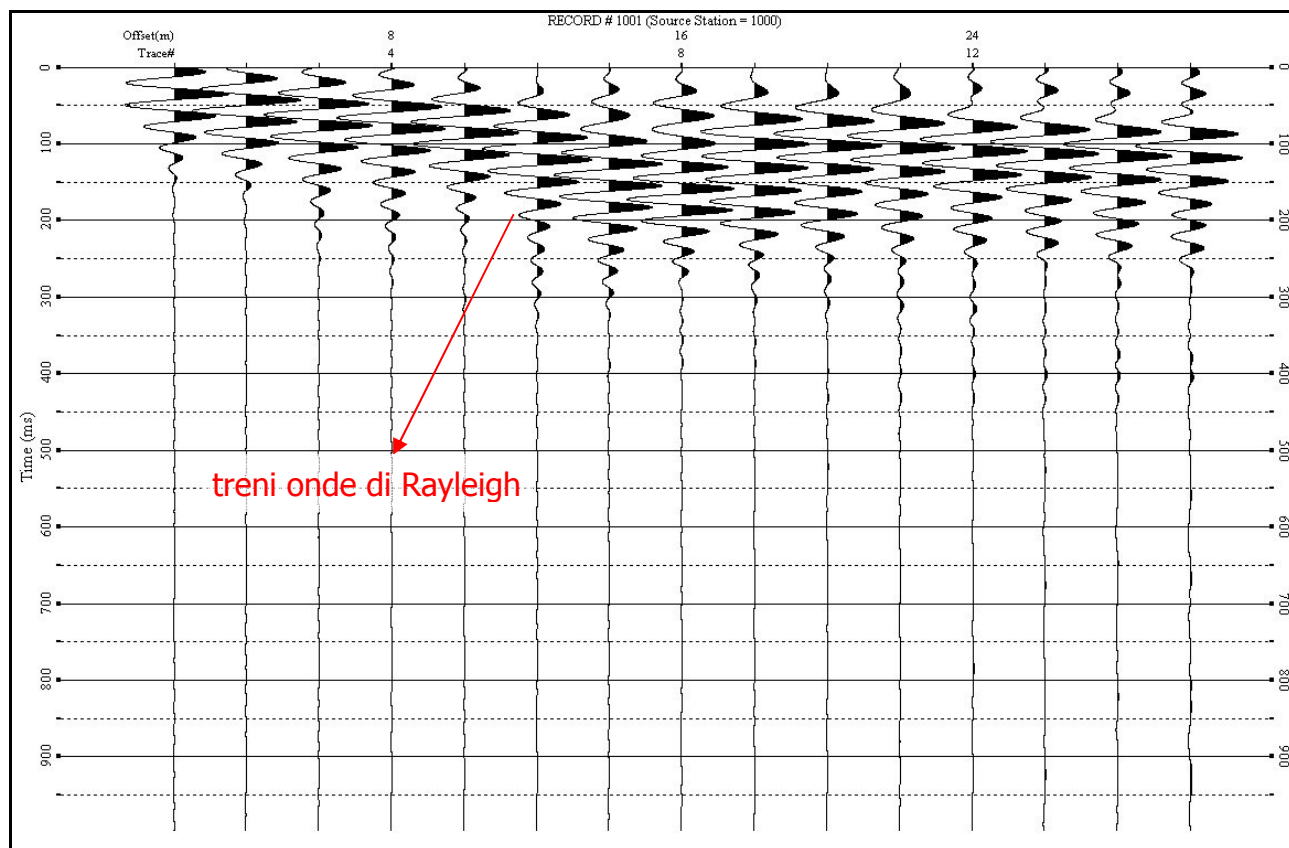
La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento.

Il metodo MASW sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 4 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |



- Record sismico -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto sono stati eseguiti 2 stendimenti di 24 geofoni ciascuno con spaziatura tra i geofoni di 2,0 metri, per una lunghezza di ogni linea sismica di 46,0 metri.

L'energizzazione è stata eseguita a 2,0, a 5,0 e a 10,0 metri dal primo geofono. Allo scopo ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei record sismici sono stati eseguiti più tiri in ogni stazione e, ove ritenuto utile, essi sono stati sommati (stacking).

Il sito di indagine, collocato su terreno agricolo in prossimità del corso fluviale del Lambro, non evidenzia particolari fonti di rumore antropico in grado di interferire in modo significativo con il segnale sismico.

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 5 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

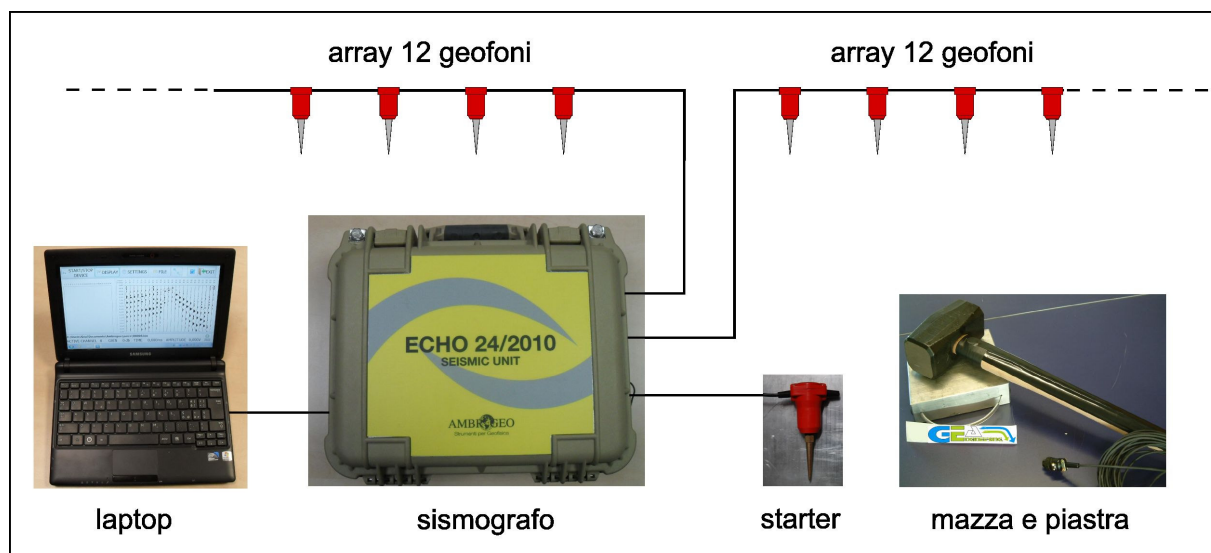
2. STRUMENTAZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "ECHO 24/2010", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Lo strumento è in grado di acquisire simultaneamente su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono starter collegato al canale n. 25. La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

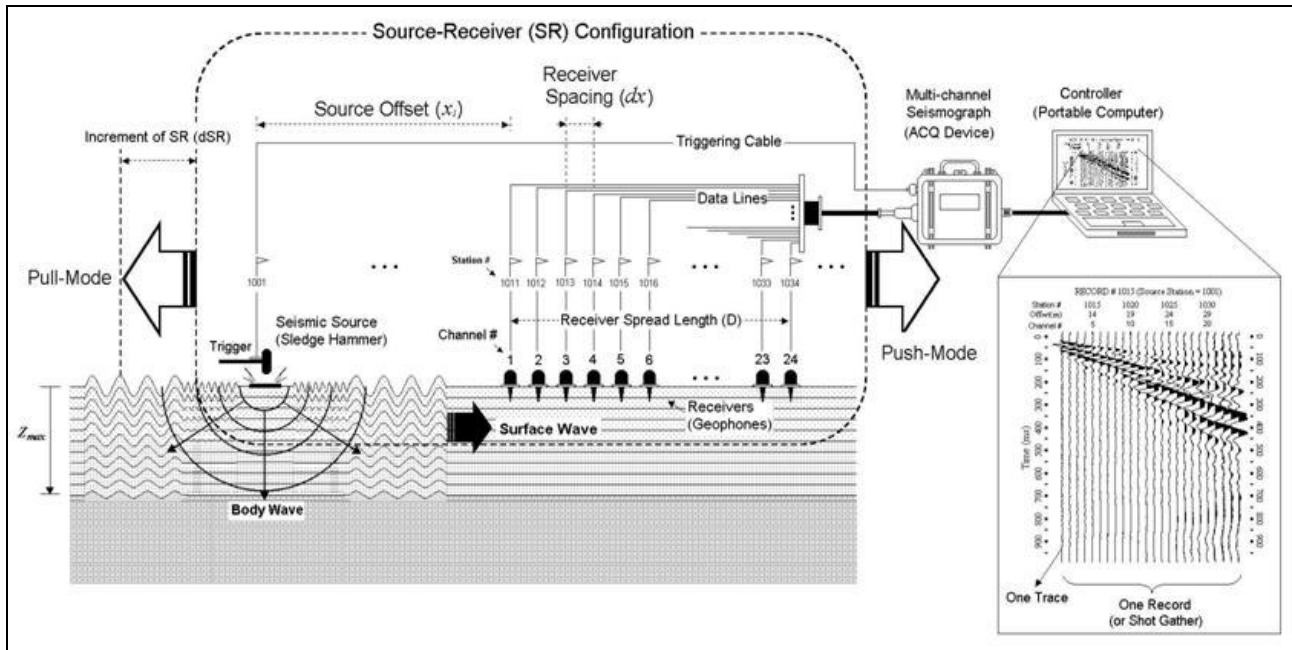
- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del record sismico con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma di ulteriori record sismici;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è utilizzata una mazza del peso di 8 kg ed una piastra di battuta di alluminio.



- "ECHO 24/2010" con due stringhe da 12 geofoni -

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 6 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |



- Schema esecuzione MASW -

3. ELABORAZIONE

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 4.3 – Eliosoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il "rumore" ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare il record sismico nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri "passa basso", "passa alto", "passa banda", "taglia banda", il "muting" e l'ACG. Inoltre tramite le curve di attenuazione delle onde superficiali è possibile valutare con maggior precisione la qualità dei dati acquisiti.

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d'onda con appropriata scala cromatica dell'ampiezza.

Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente del modo fondamentale e, ove possibile, dei modi superiori.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di procedimenti calcolo e algoritmi genetici di inversione (global-search methods), che gestiscono all'intero di un "spazio di ricerca", modelli caratterizzati da parametri velocità di taglio (Vs) e spessori degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 7 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

di Poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello di inversione in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata. Viene inoltre restituita una stima dell'attendibilità (deviazione standard) del modello proposto ottenuta con tecniche statistiche.

Avendo a disposizione informazioni aggiuntive, quali ad esempio stratigrafie di sondaggio, analisi granulometriche, di densità, prove CPT ecc, è possibile impostare un modello geologico\geofisico con il quale definire parametri quali lo spessore degli strati, la velocità delle onde P stimata e coefficiente di Poisson. Tale modello consente una più accurata inversione dei dati di campagna e di conseguenza una migliore definizione della sismostratigrafia del sito.

In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle V_{s30} e correlazione al tipo di terreno, come da normativa.

Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismostratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 8 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

4. RISULTATI

Determinazione delle categoria del suolo di fondazione.

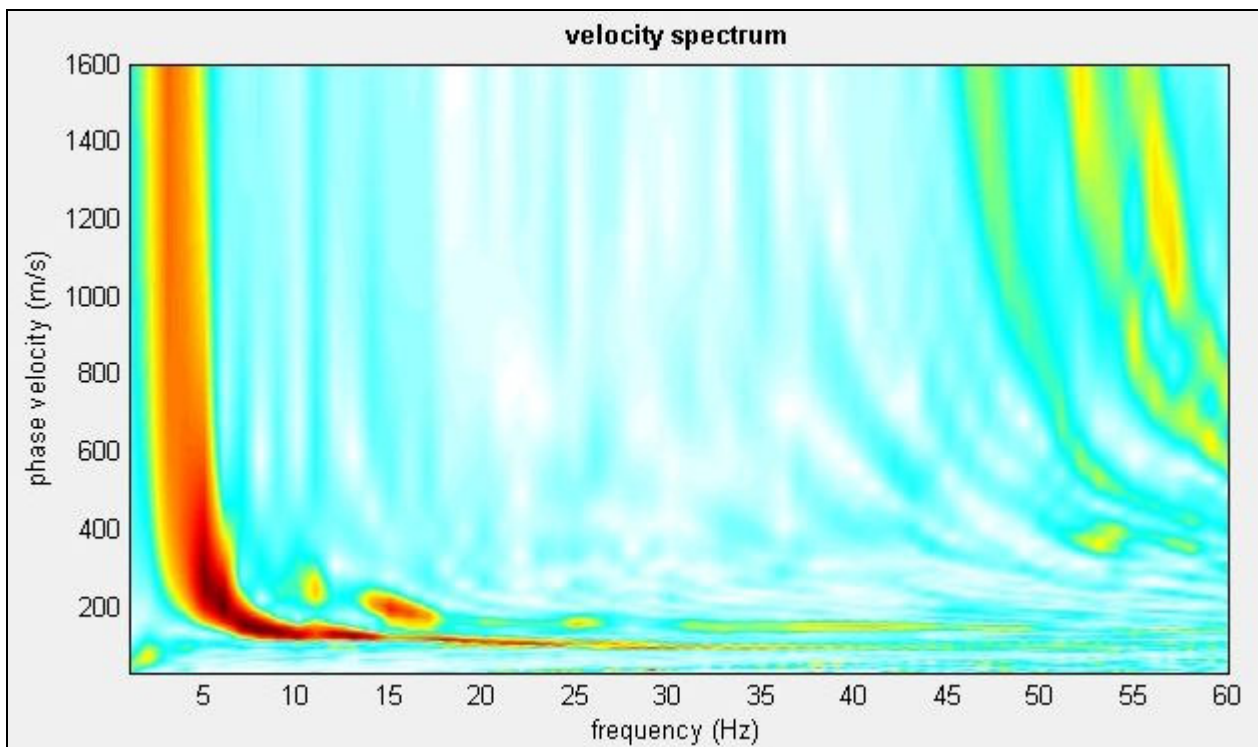
L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite metodo MASW ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio per la stesa sismica realizzata, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore V_{s30} per la sezione sismica.

I valori di V_{s30} sono riferiti al piano delle fondazioni (testa palo) posto a circa -3,0 m rispetto all'attuale p.c..



-Ubicazione stesa (indicativa)-

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 9 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

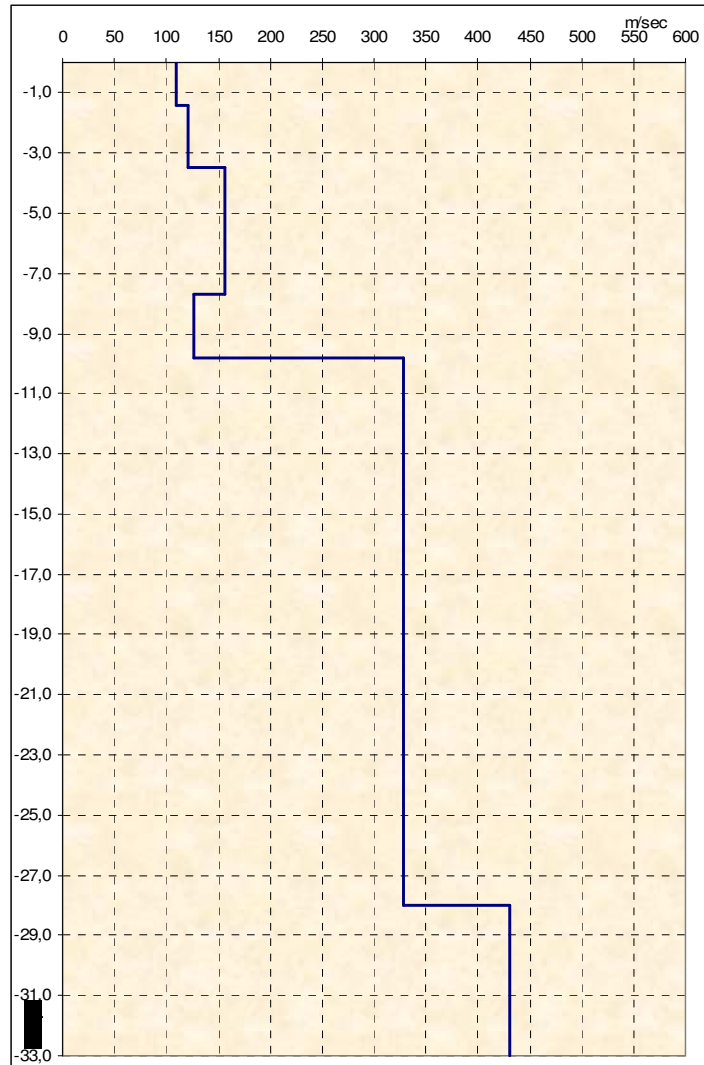


- Diagramma della curva di dispersione -

| Profondità da p.c. (m) | Spessore (m) | Velocità onde S (m/sec) |
|---------------------------|-----------------|----------------------------|
| -1,4 | 1,4 | 110 |
| -3,5 | 2,1 | 121 |
| -7,7 | 4,2 | 156 |
| -9,8 | 2,1 | 127 |
| -28,0 | 18,2 | 329 |
| -33,0 | 5,0 | 431 |

- Sismostratigrafia -

| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|-----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 10 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |



- Grafico velocità Vs/profondità -

Il valore V_{s30} è **262 m/sec.**

Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Carpenedolo lì, 29/04/2016

Il geologo



| REV. | DATA | N. REG. | TITOLO | PAG. |
|-----------|------------|--------------------------------|--|-----------------|
| 0 | 29.04.2016 | 045.2016 | Rapporto tecnico Comune di Inverigo Prospezione sismica MASW | Pagina 11 di 11 |
| N. COPIE: | | Autore: Gea Engineering S.r.l. | | |

ALLEGATO 3

Report sondaggi sismici verticali

Sondaggio sismico verticale – HVSR

Microtremori ambientali

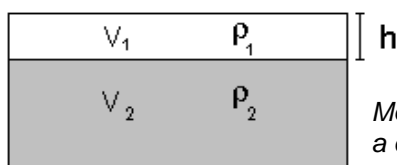
Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Viene definito microtremore in quanto riguarda oscillazioni di ridotta entità, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. L'utilizzo della tecnica HVSR comporta la misurazione di tali microtremori naturali.

Basi teoriche

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi sono stati proposti diversi metodi per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale; sebbene su questo punto non sia ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli.

L'utilizzo della tecnica HVSR comporta la misurazione di tali microtremori naturali ed è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli.

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Si consideri il sistema di figura 2, in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).



*Modello di suolo costituito da due strati
a diverse velocità delle onde sismiche e densità*

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati; l'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1}/(4 H)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{S1}/(4 H)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore H degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, per la risposta strumentale e per l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime è poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica delle formule sopra indicate è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cf. Gallipoli *et al.*, 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro *et al.*, 2005).

Procedura di analisi

L'indagine prevede l'acquisizione del rumore sismico nelle sue tre componenti attraverso un tromografo digitale ad alta sensibilità (TROMINO® - vedi Figura).

Lo strumento è dotato di tre velocimetri che misurano le componenti N-S, E-W, e verticale del tremore che vengono amplificate, digitalizzate e memorizzate nella memoria dello strumento. La durata di acquisizione per ogni sondaggio è stata di 20 minuti.



Tromografo digitale

Il segnale acquisito viene quindi rielaborato mediante software dedicato (*Grilla®*). Esso procede nel seguente modo:

- Suddivide la registrazione in finestre della durata di qualche decina di secondi ciascuna;
- Elimina il trend da ciascuna finestra;
- Ne fa il "taper" con una finestra Bartlett;
- Fa il "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
- Calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- Calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- Liscia ciascuna finestra secondo una funzione di liscio prescelta;
- Calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra;
- Calcola la funzione HVSR finale effettuando la media di tutte le finestre. Per produrre l'HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale.

Le profondità H delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula di seguito riportata in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v} + 1 \right]^{\frac{1}{1-a}} - 1$$

In presenza di variazioni litologiche, il rapporto H/V (componenti orizzontali/componenti verticali) mostra dei picchi in corrispondenza di determinate frequenze. Tali picchi sono tanto più marcati, quanto il cambiamento di litologia è netto e la loro posizione è funzione sia della profondità di tale variazione, che della velocità di trasmissione delle onde Vs nello strato superiore all'interfaccia di variazione. Per risalire alla profondità delle variazioni litologiche si ricorre a punti di taratura a stratigrafia nota.

Di seguito si allegano i report delle misurazioni eseguite.

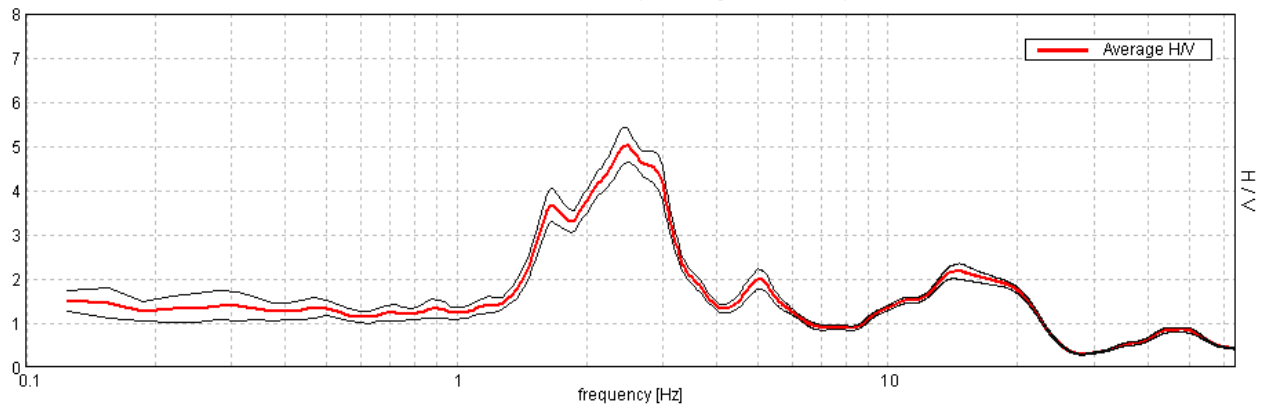
Comune di Nibionno (CO) - località MOLINO NUOVO

Start recording: 06/05/16 10:09:37 End recording: 06/05/16 10:29:38
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

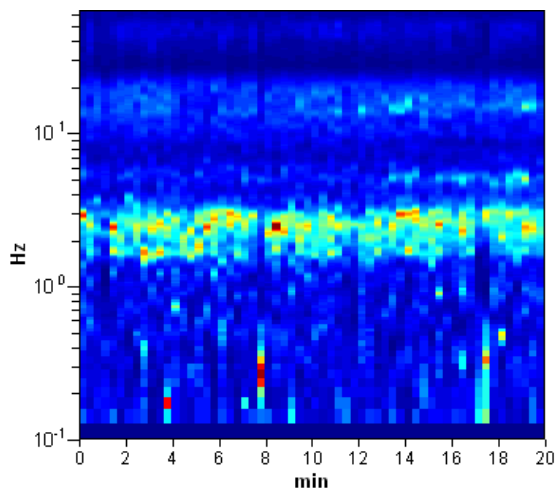
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

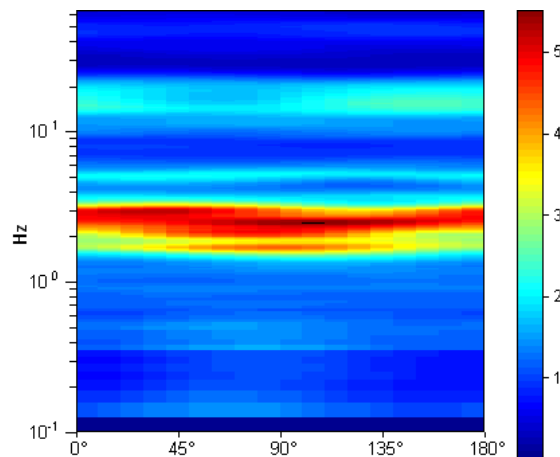
Max. H/V at 2.47 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



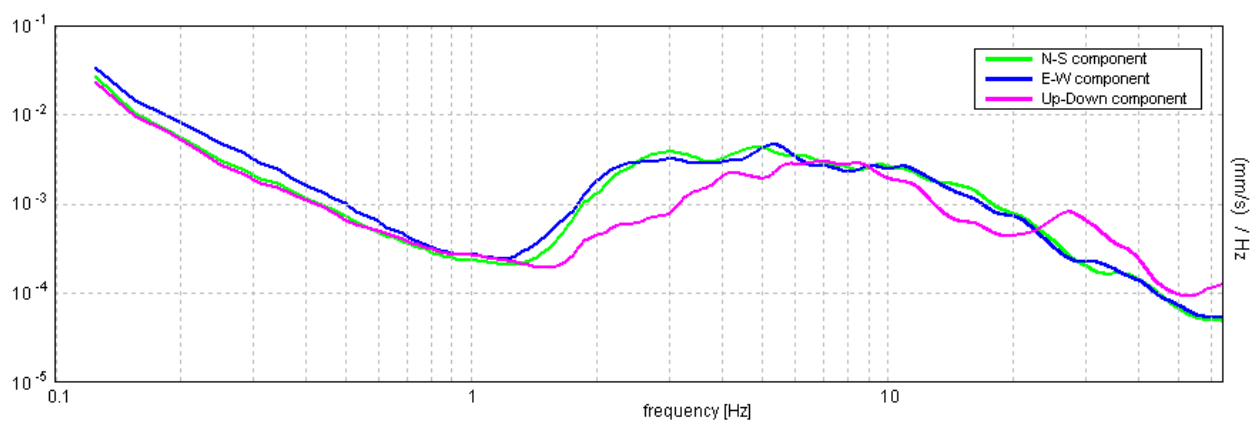
H/V TIME HISTORY



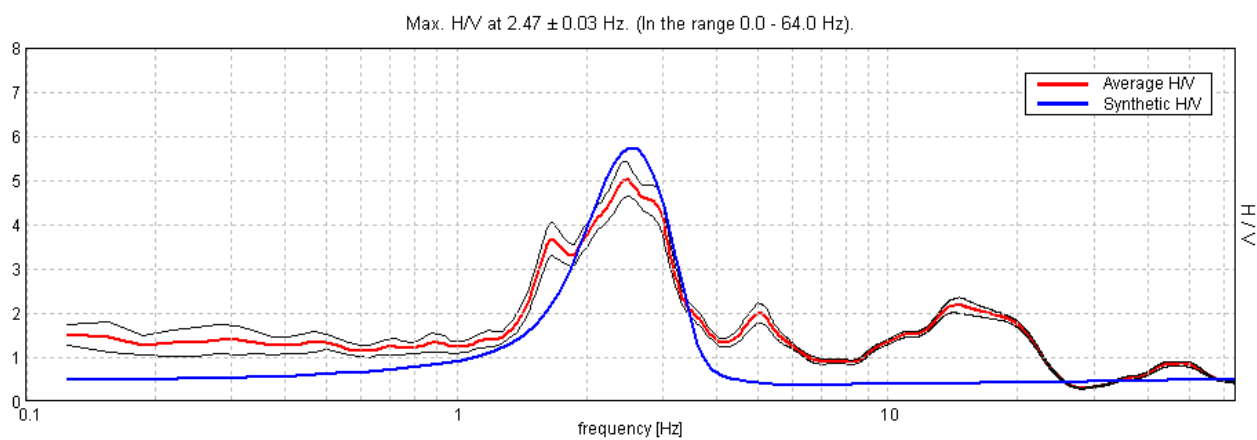
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer

[m]

1.50

13.50

36.50

inf.

Thickness [m]

1.50

12.00

23.00

inf.

Vs [m/s]

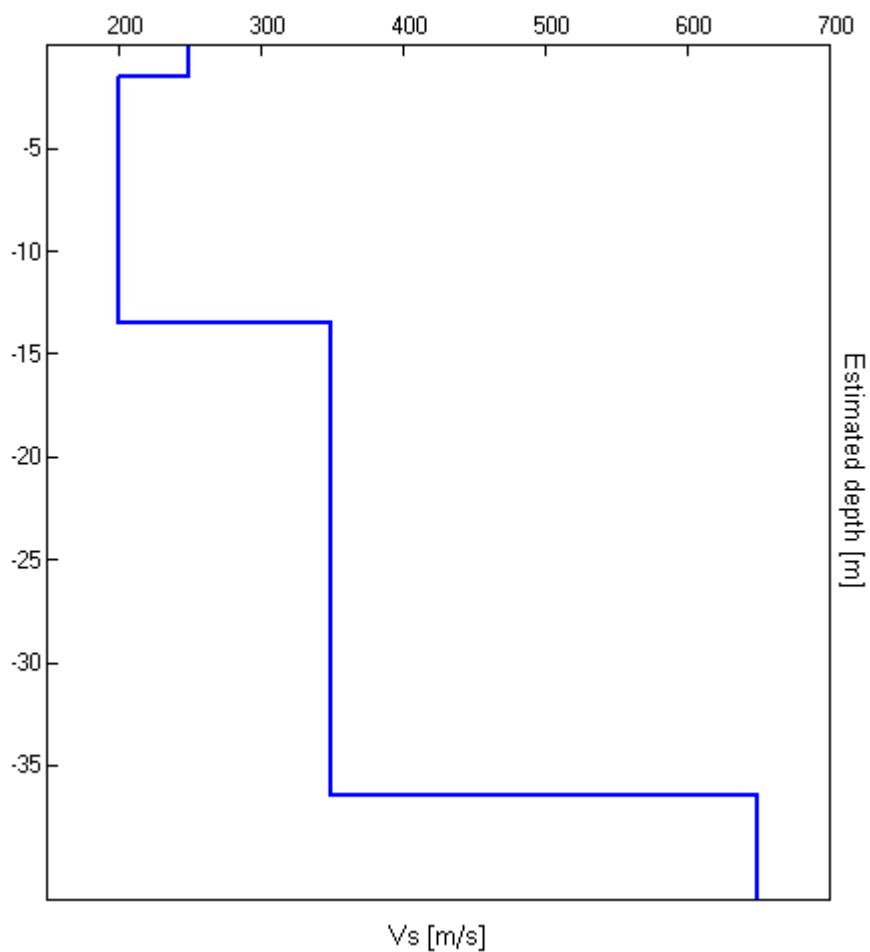
250

200

350

650

Vs(0.0-30.0)=265m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 2.47 ± 0.03 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

| Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled] | | | |
|--|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $2.47 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $2962.5 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 120 times | OK | |
| Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled] | | | |
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 1.5 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 3.313 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $5.02 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00534 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.01319 < 0.12344$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.1983 < 1.58$ | OK | |

| | |
|------------------------|---|
| L_w | window length |
| n_w | number of windows used in the analysis |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | number of significant cycles |
| f | current frequency |
| f_0 | H/V peak frequency |
| σ_f | standard deviation of H/V peak frequency |
| $\varepsilon(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| A_0 | H/V peak amplitude at frequency f_0 |
| $A_{H/V}(f)$ | H/V curve amplitude at frequency f |
| f^- | frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| f^+ | frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve |
| $\theta(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

| Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| Freq.range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

Comune di Nibionno (CO) - località FORNACE CONSONNI

Start recording: 06/05/16 13:40:51 End recording: 06/05/16 14:00:52

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

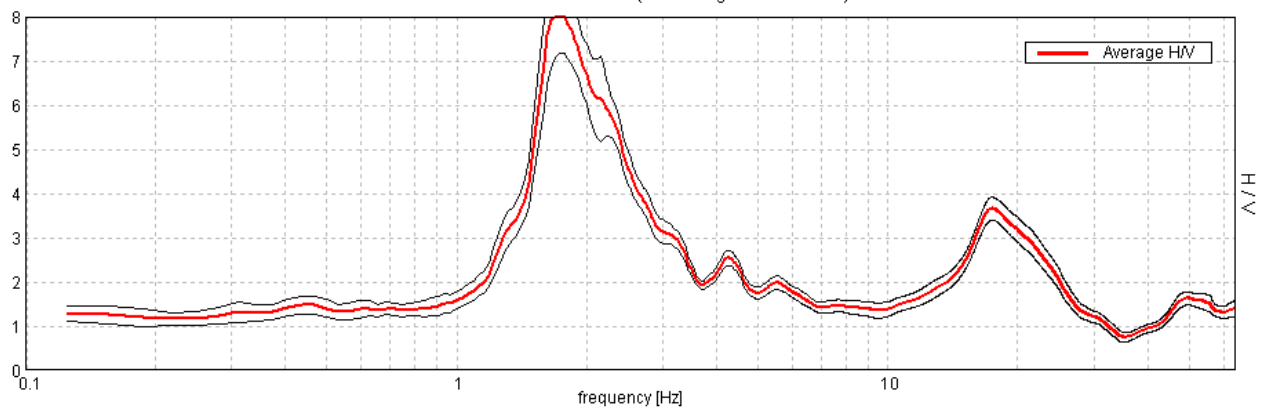
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

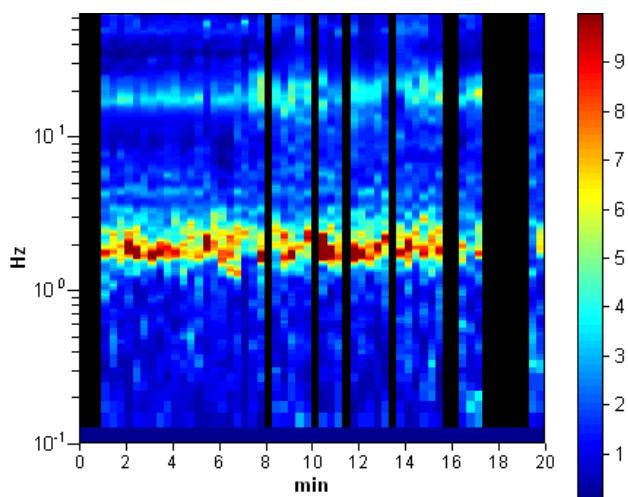
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

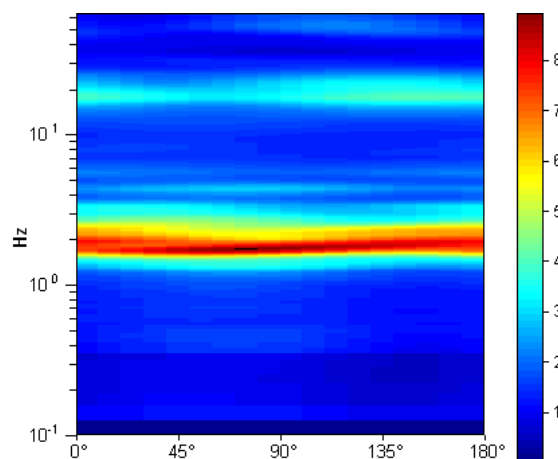
Max. H/V at 1.72 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



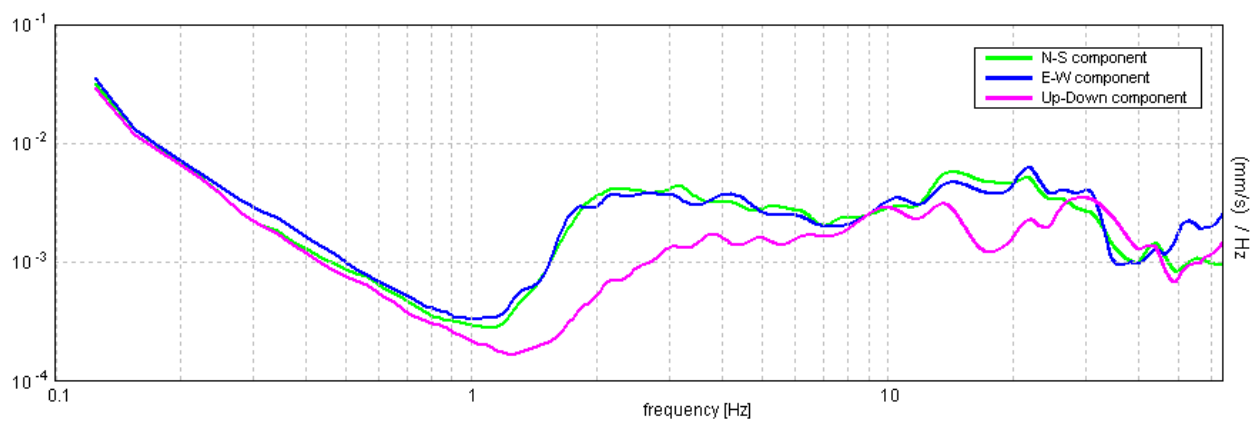
H/V TIME HISTORY



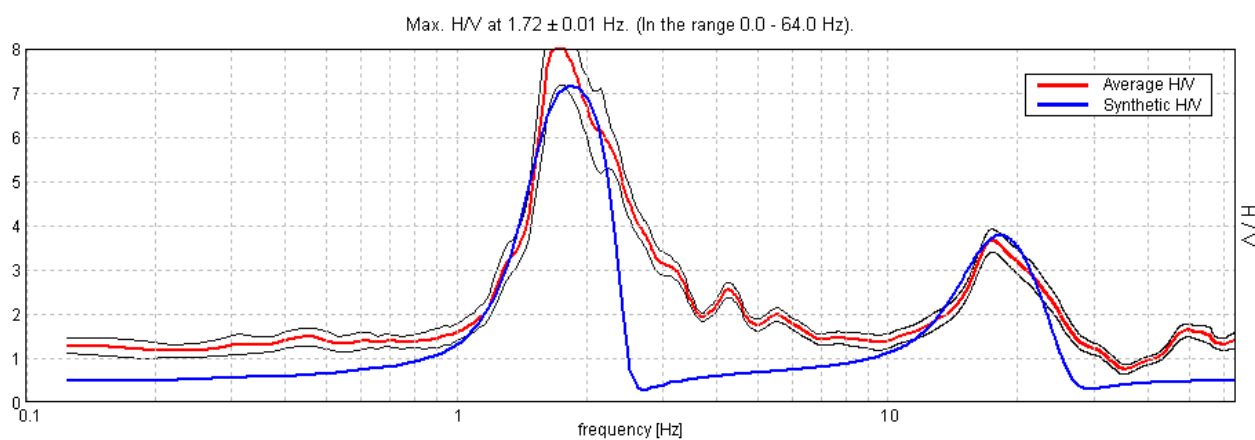
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer

[m]

1.50
41.50
inf.

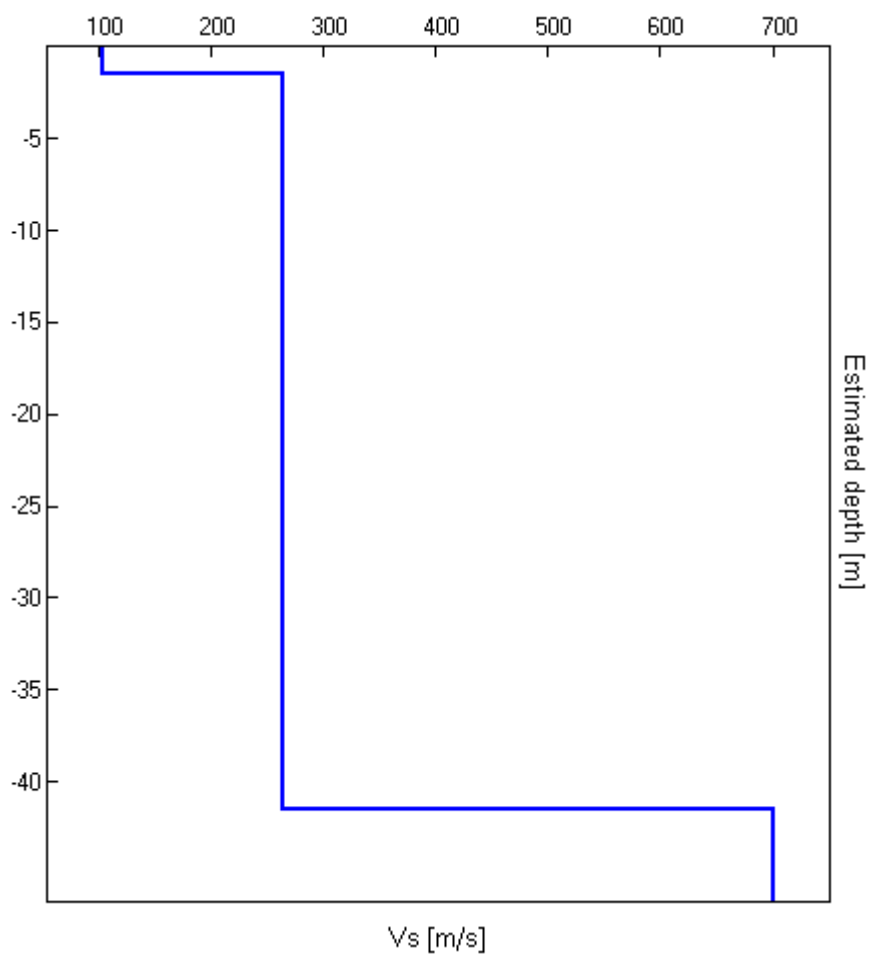
Thickness [m]

1.50
40.00
inf.

Vs [m/s]

105
265
700

$V_s(0.0-30.0)=246\text{m/s}$



[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 1.72 ± 0.01 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve
[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|--|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $1.72 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $1546.9 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 84 times | OK | |

Criteria for a clear HVSR peak
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|---|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 1.438 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 2.656 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $8.10 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00236 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.00405 < 0.17188$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.4758 < 1.78$ | OK | |

| | |
|------------------------|---|
| L_w | window length |
| n_w | number of windows used in the analysis |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | number of significant cycles |
| f | current frequency |
| f_0 | H/V peak frequency |
| σ_f | standard deviation of H/V peak frequency |
| $\varepsilon(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| A_0 | H/V peak amplitude at frequency f_0 |
| $A_{H/V}(f)$ | H/V curve amplitude at frequency f |
| f^- | frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| f^+ | frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve |
| $\theta(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

| Freq.range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
|--|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

Comune di Inverigo (CO) - località CASCINA CATTAFAME

Start recording: 06/05/16 17:02:32 End recording: 06/05/16 17:22:33

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

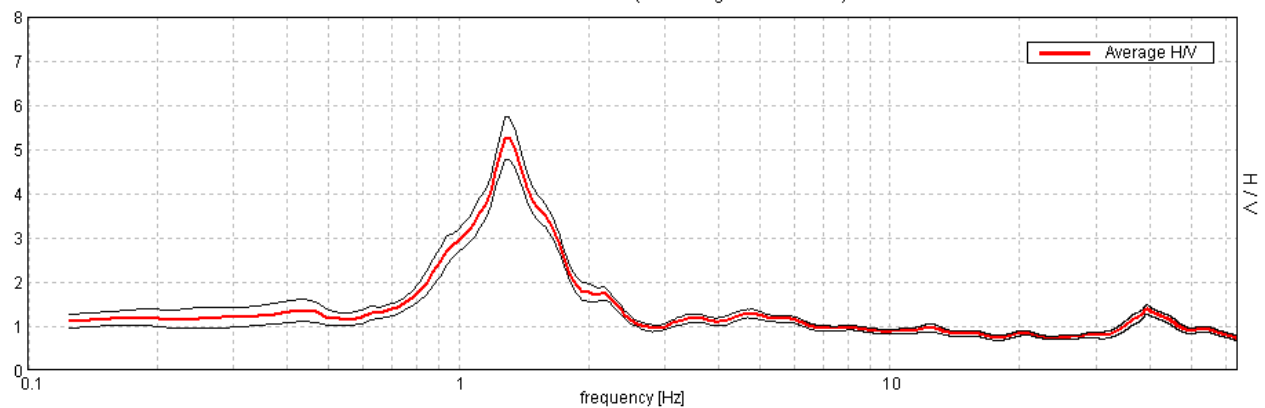
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

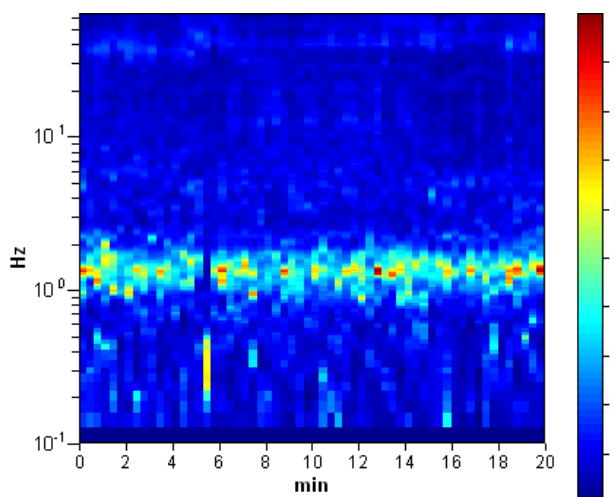
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

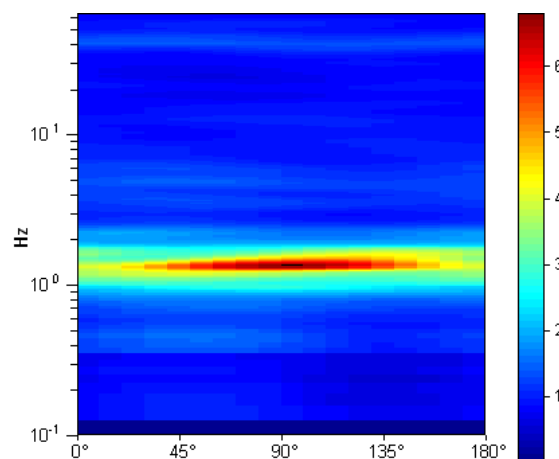
Max. H/V at 1.31 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



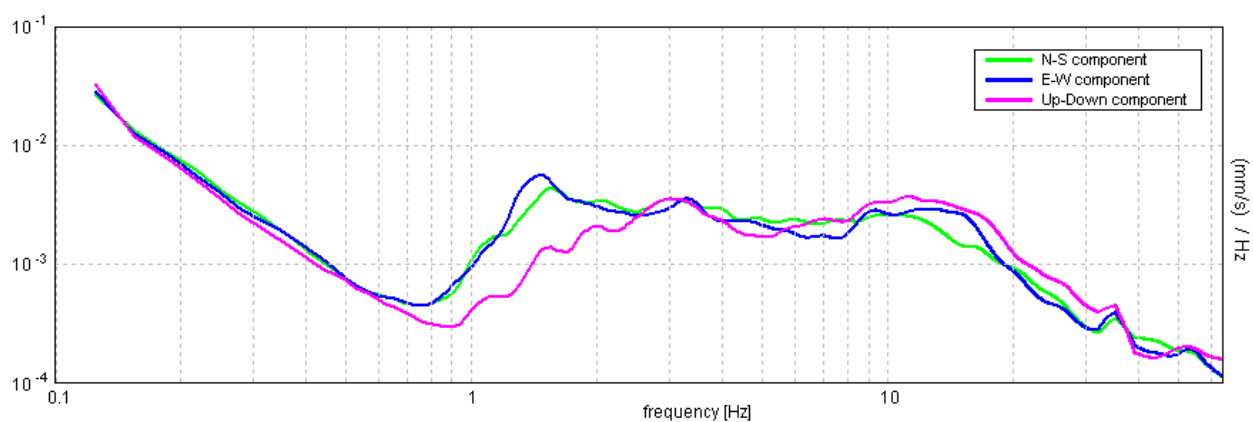
H/V TIME HISTORY



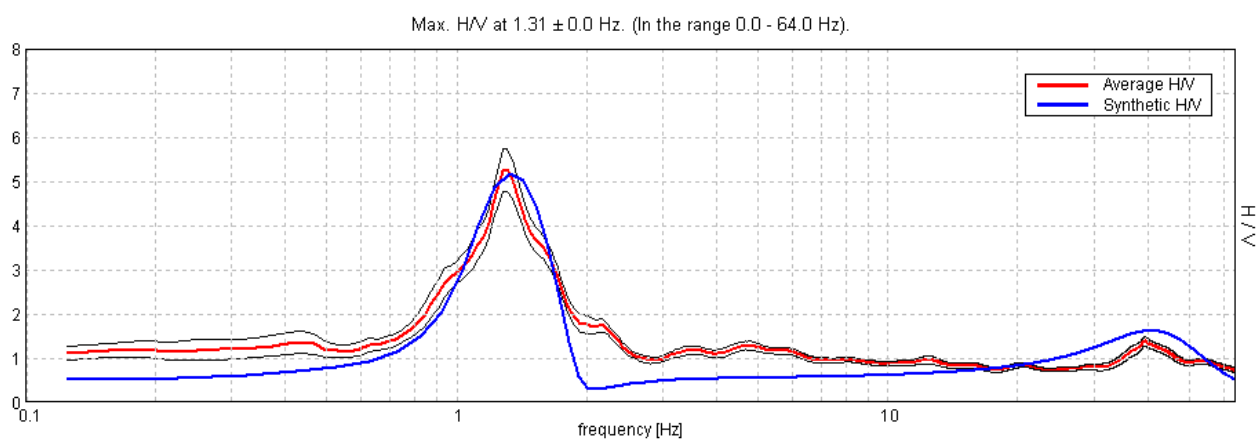
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer

[m]

0.75

51.75

inf.

Thickness [m]

0.75

51.00

inf.

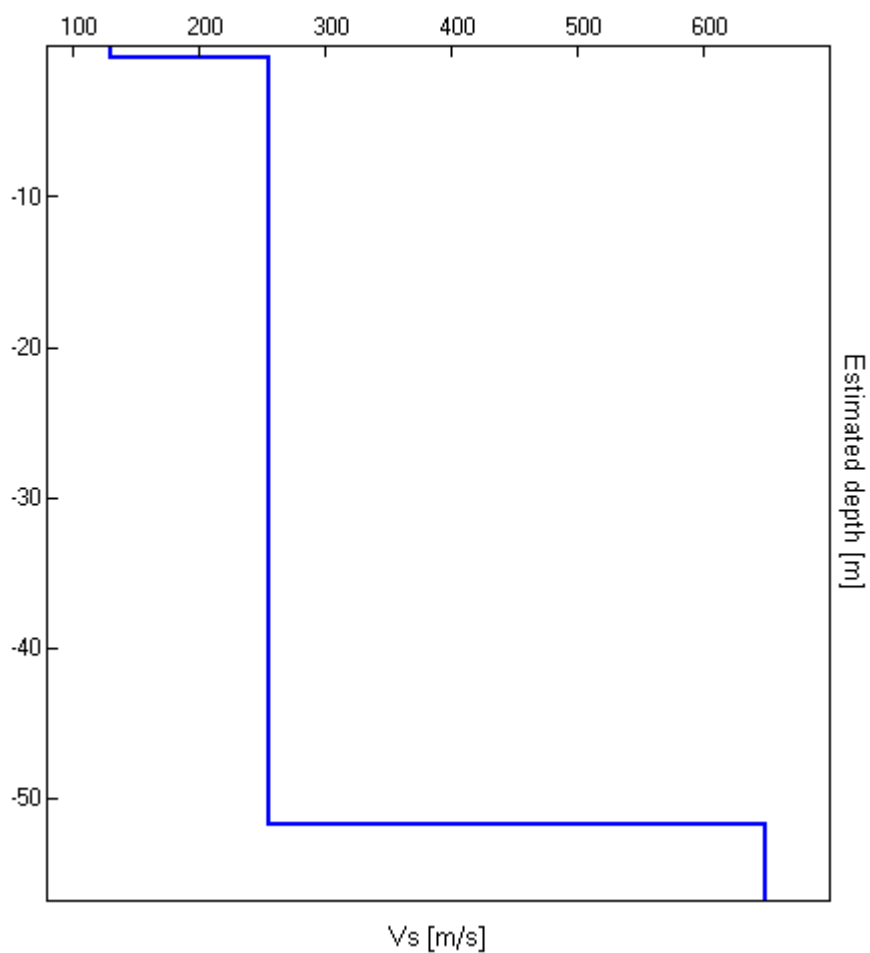
Vs [m/s]

130

255

650

Vs(0.0-30.0)=249m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 1.31 ± 0.0 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve
[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|--|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $1.31 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $1575.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 64 times | OK | |

Criteria for a clear HVSR peak
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|---|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 0.906 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 1.75 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $5.25 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00173 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.00227 < 0.13125$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.236 < 1.78$ | OK | |

| | |
|------------------------|---|
| L_w | window length |
| n_w | number of windows used in the analysis |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | number of significant cycles |
| f | current frequency |
| f_0 | H/V peak frequency |
| σ_f | standard deviation of H/V peak frequency |
| $\varepsilon(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| A_0 | H/V peak amplitude at frequency f_0 |
| $A_{H/V}(f)$ | H/V curve amplitude at frequency f |
| f^- | frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| f^+ | frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve |
| $\theta(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

| Freq.range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
|--|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

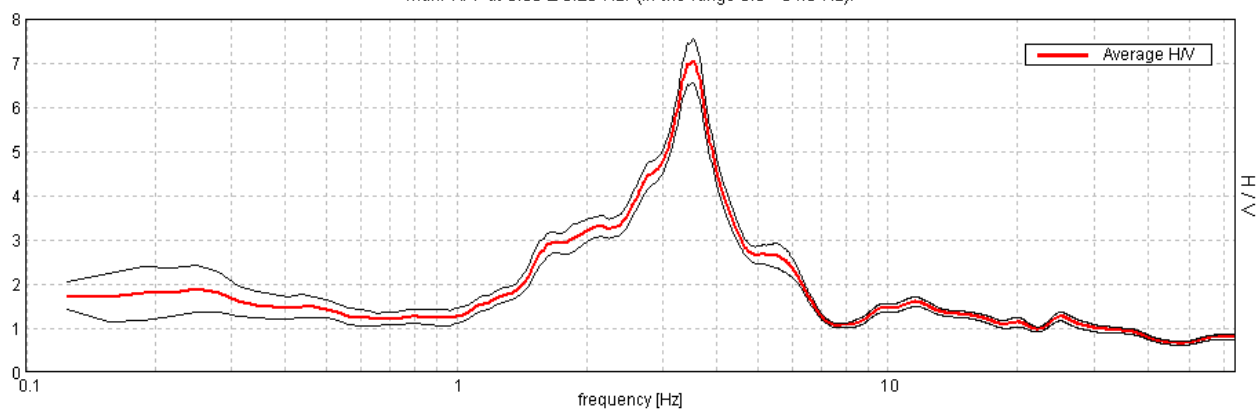
Comune di Inverigo (CO) – zona via FORNACETTA

Start recording: 27/05/16 09:52:41 End recording: 27/05/16 10:12:42
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

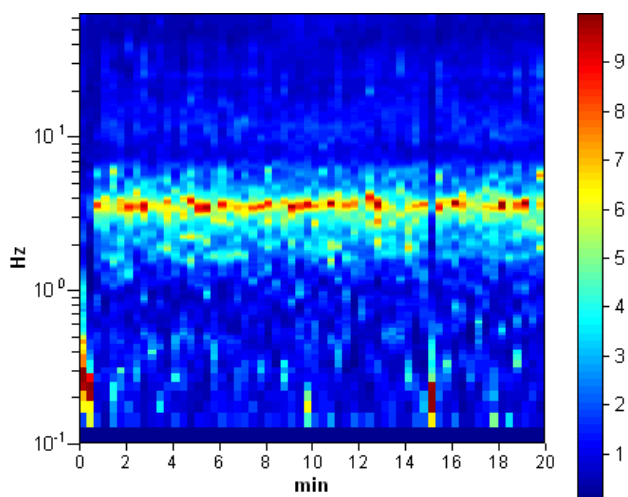
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

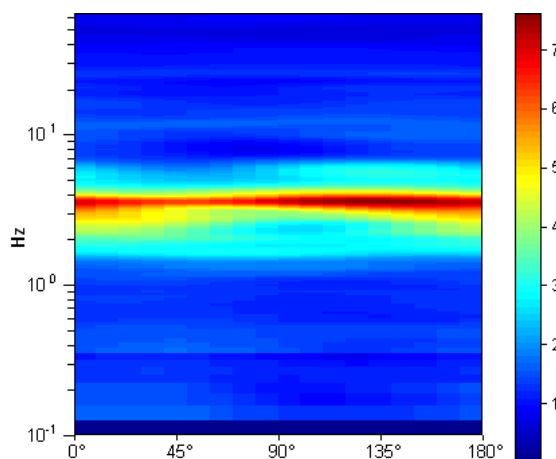
Max. H/V at 3.53 ± 0.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



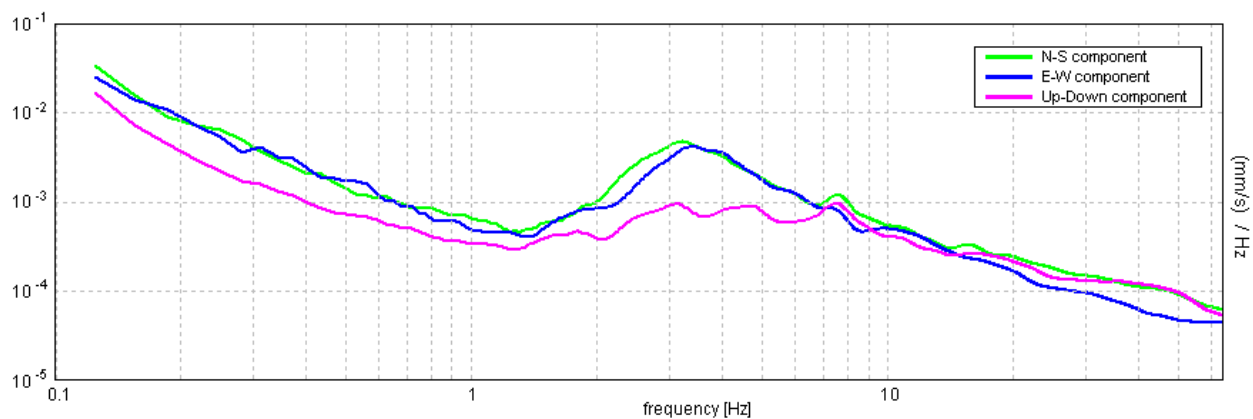
H/V TIME HISTORY



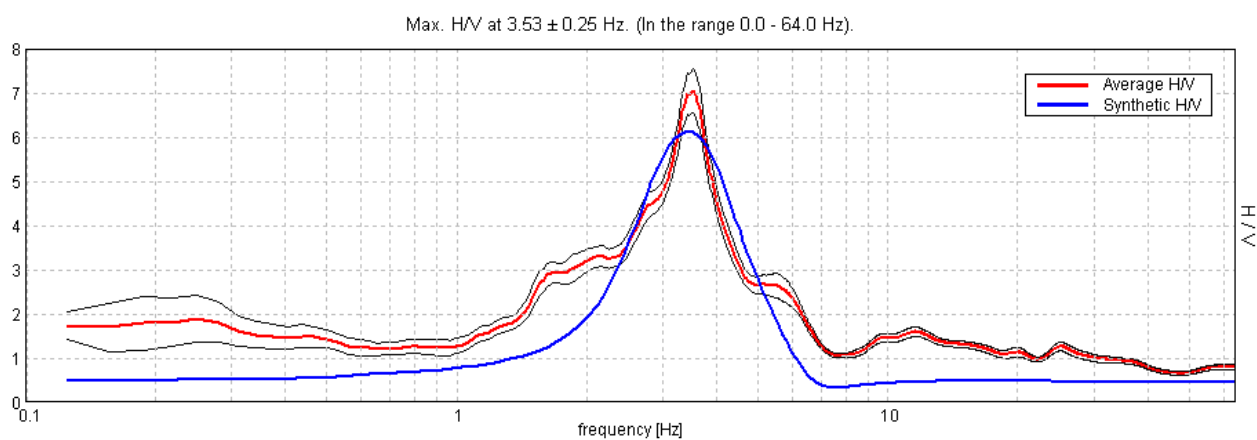
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer

Thickness [m]

Vs [m/s]

[m]

10.00

10.00

180

35.00

25.00

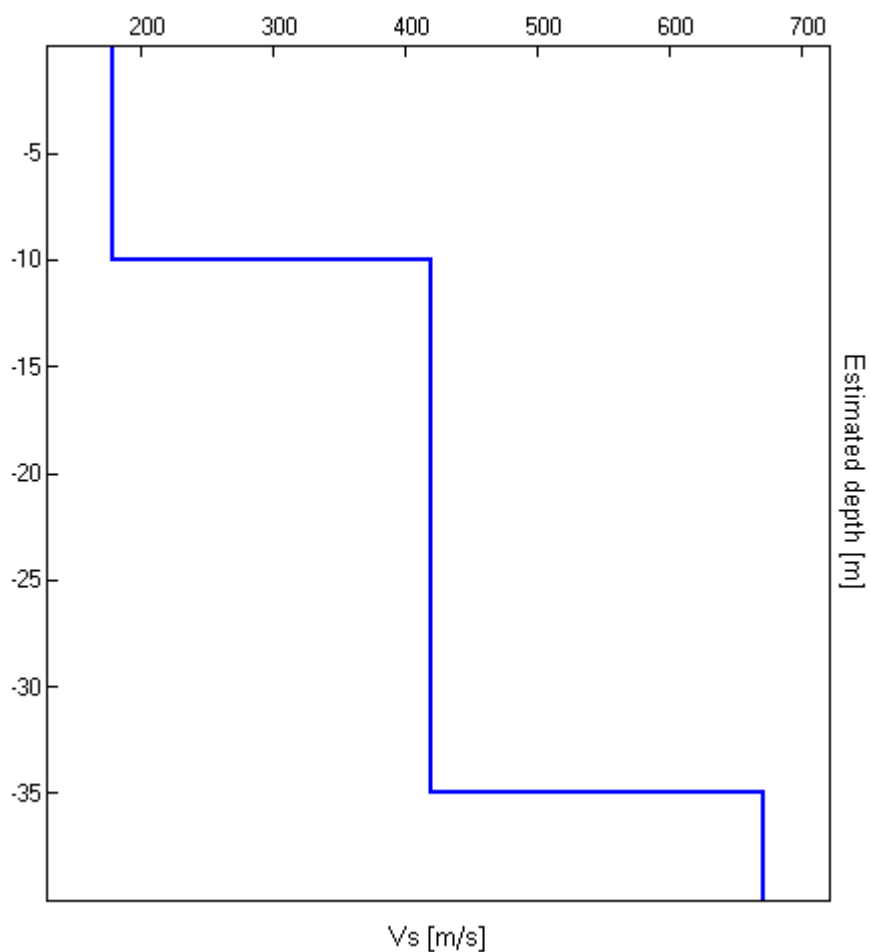
420

inf.

inf.

670

Vs(0.0-30.0)=291m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 3.53 ± 0.25 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve
[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|--|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $3.53 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $4237.5 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 170 times | OK | |

Criteria for a clear HVSR peak
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|---|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 2.469 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 4.344 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $7.05 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.03471 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.12256 < 0.17656$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2428 < 1.58$ | OK | |

| | |
|------------------------|---|
| L_w | window length |
| n_w | number of windows used in the analysis |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | number of significant cycles |
| f | current frequency |
| f_0 | H/V peak frequency |
| σ_f | standard deviation of H/V peak frequency |
| $\varepsilon(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| A_0 | H/V peak amplitude at frequency f_0 |
| $A_{H/V}(f)$ | H/V curve amplitude at frequency f |
| f^- | frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| f^+ | frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve |
| $\theta(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

| Freq.range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
|--|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

ALLEGATO 4

Documentazione fotografica indagini geognostiche



Prova CPT 1



Prova CPT/DIN 2



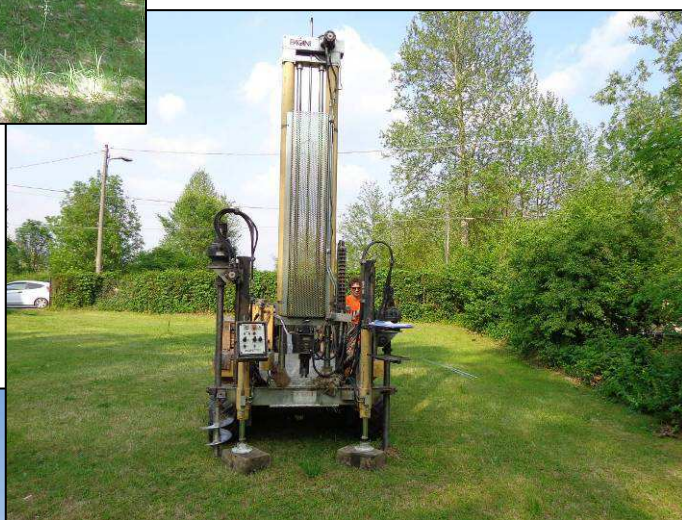
Prova DIN 3



Prova CPT 4



Prova CPT 5



Prova CPT 6



Prova CPT 7



Prova CPT 8



Indagine sismica tipo masw



Sondaggio sismico verticale

ALLEGATO 5

Verifiche di stabilità

MOLINO NUOVO

Stratigrafia

| Strato | Coesione (kg/cm ²) | Coesione non drenata (kg/cm ²) | Angolo resistenza al taglio (°) | Peso unità di volume (Kg/m ³) | Peso satturo (Kg/m ³) | Litologia | |
|--------|-----------------------------------|---|--|---|---|-----------|--|
| 1 | 0.1 | 0.7 | 28 | 1900 | 2200 | rilevato | |
| 2 | 0.1 | 1.12 | 27 | 1800 | 2100 | D | |
| 3 | 0.07 | 0.35 | 20 | 1700 | 1900 | C | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine |
|---|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 3,61 | 1,56 |
| | | | 3,69 | 1,50 |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 3,91 | 1,62 |
| | | | 3,90 | 1,57 |
| PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 3,67 | 1,36 |
| | | | 4,01 | 1,32 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 3,56 | 1,40 |
| | | | | |
| CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine | |
|------------|-------------------|-------------------|--|-----------------------|------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 4,55 | 1,75 | |
| | | | 4,71 | 1,78 | |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 4,60 | 1,76 | |
| | | | 4,76 | 1,79 | |
| | PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 4,72 | 1,46 |
| | | | | 4,96 | 1,53 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 4,61 | 1,54 | |
| | | | CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | | |

MOLINO NUOVO

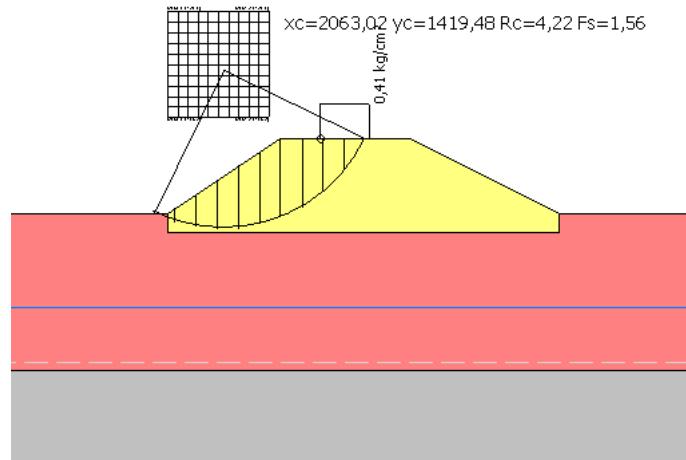
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

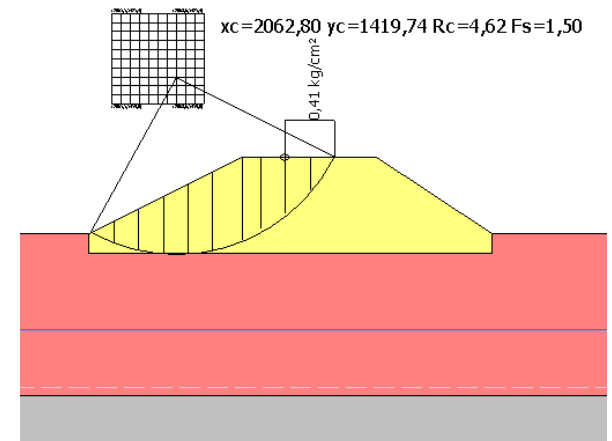
SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

lato fiume

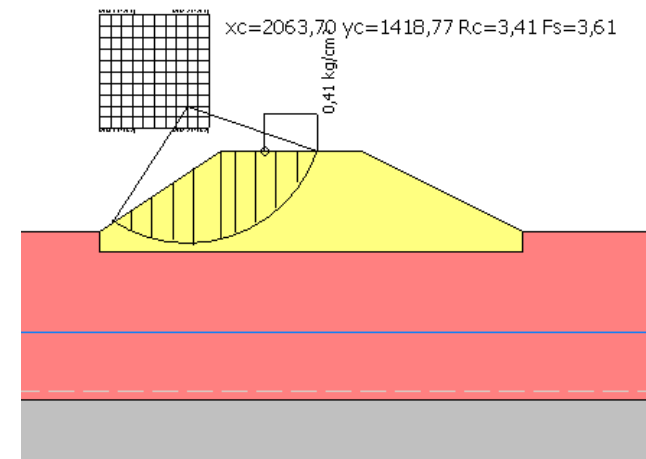
lato campagna



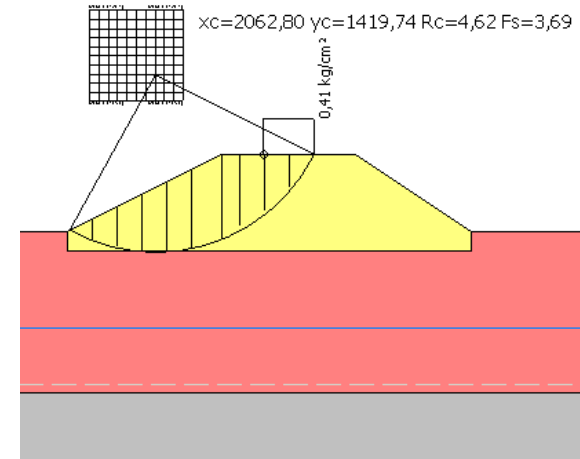
Fs min = 1,56



Fs min = 1,5



Fs min = 3,61



Fs min = 3,69

MOLINO NUOVO

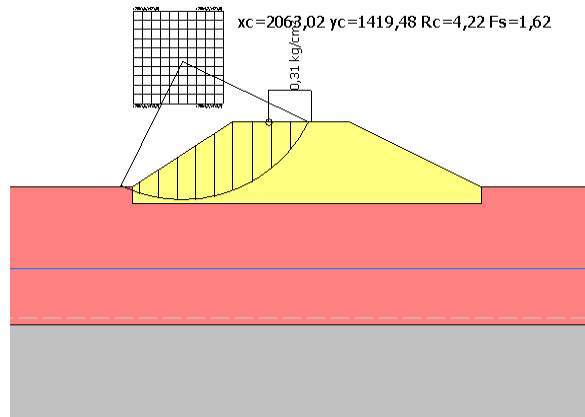
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

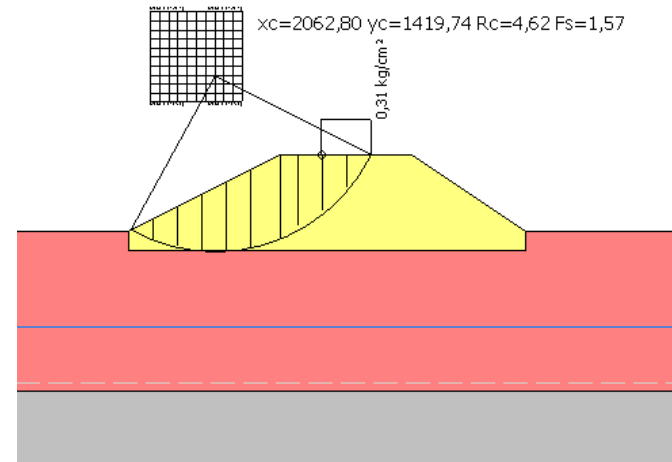
lato fiume

lato campagna



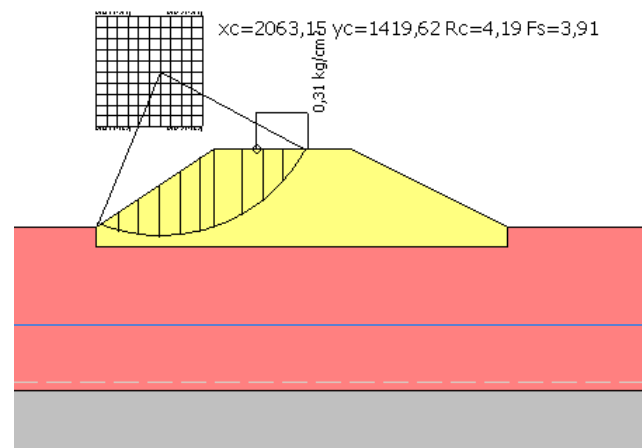
lungo termine

Fs min = 1,62



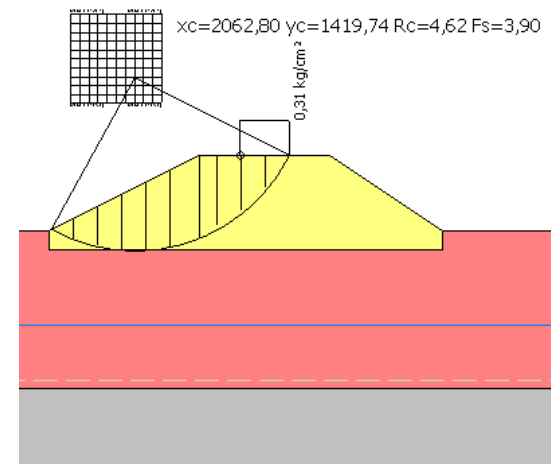
lungo termine

Fs min = 1,57



breve termine

Fs min = 3,91



breve termine

Fs min = 3,9

MOLINO NUOVO

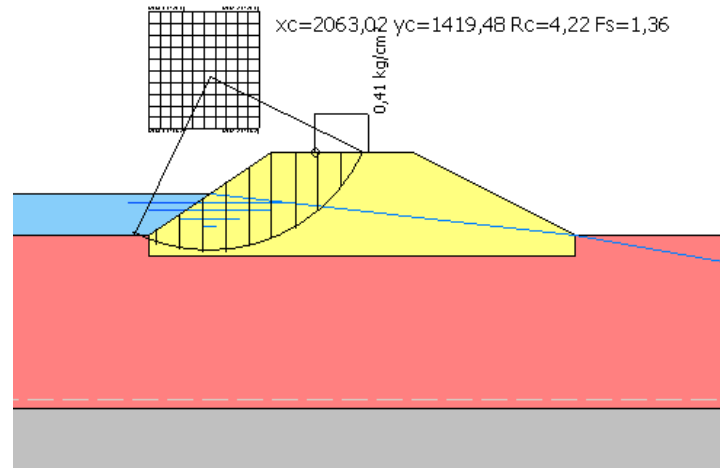
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

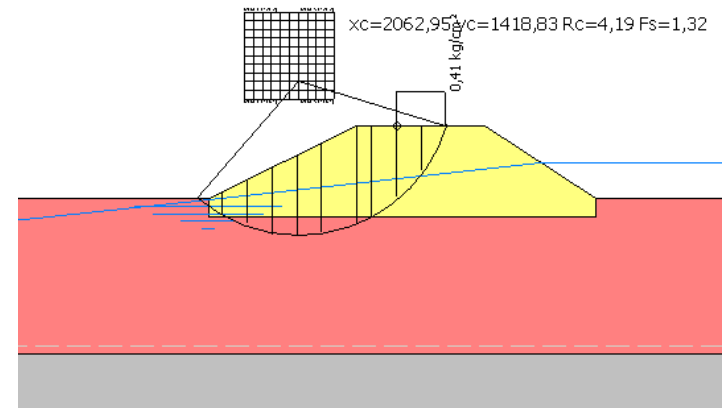
lato fiume

lato campagna



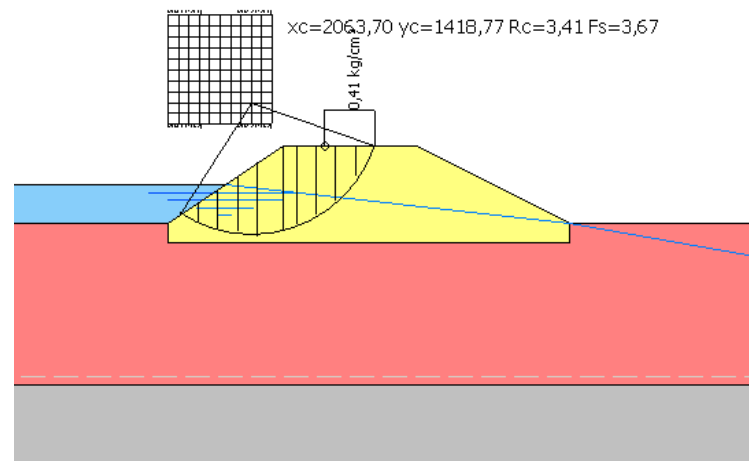
lungo termine

Fs min = 1,36



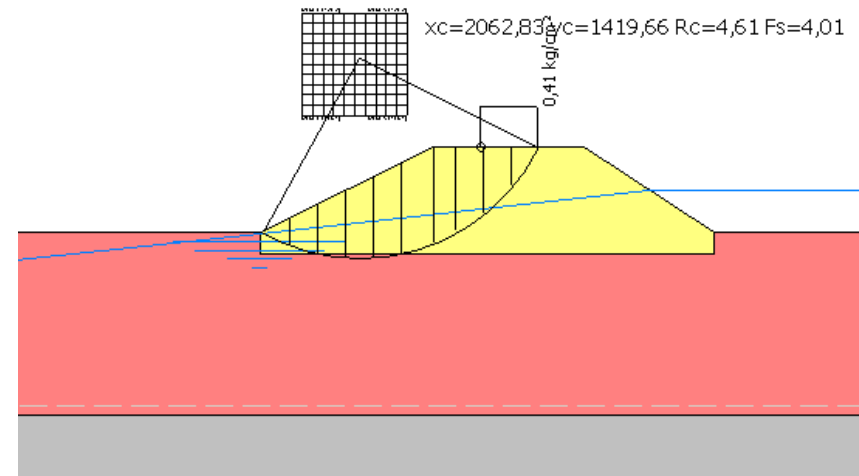
lungo termine

Fs min = 1,32



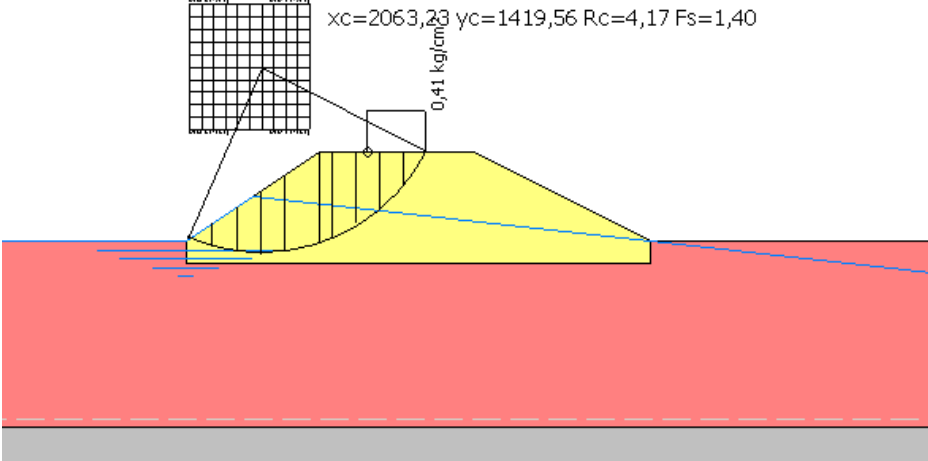
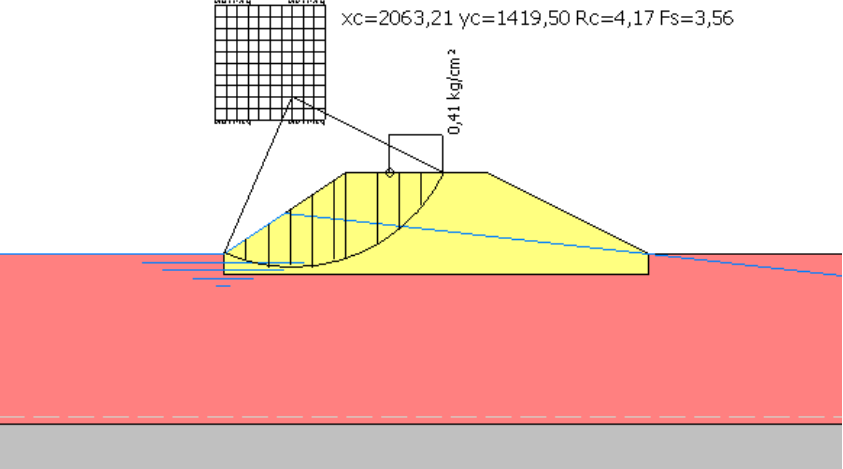
breve termine

Fs min = 3,67



breve termine

Fs min = 4,01

| MOLINO NUOVO | | |
|--|--------------------|--|
| RAPIDO SVASO | VERIFICHE STATICHE | SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO |
| lato fiume | | |
|  <p>xc=2063,23 yc=1419,56 Rc=4,17 Fs=1,40</p> <p>0,41 kg/cm</p> <p>lungo termine</p> <p>Fs min = 1,40</p> | | |
|  <p>xc=2063,21 yc=1419,50 Rc=4,17 Fs=3,56</p> <p>0,41 kg/cm²</p> <p>breve termine</p> <p>Fs min = 3,56</p> | | |

MOLINO NUOVO

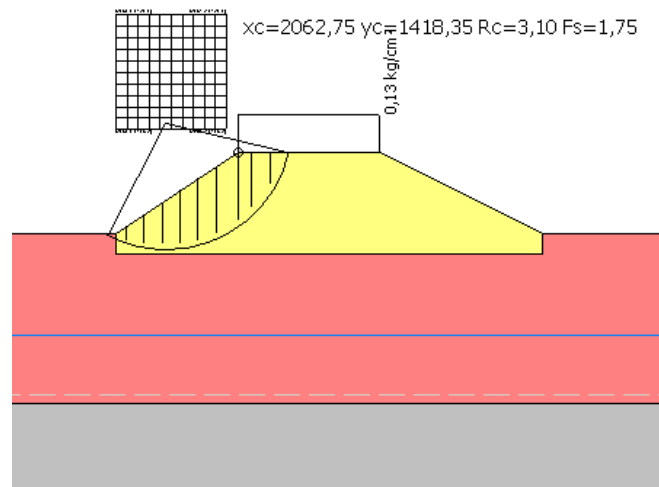
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO FOLLA

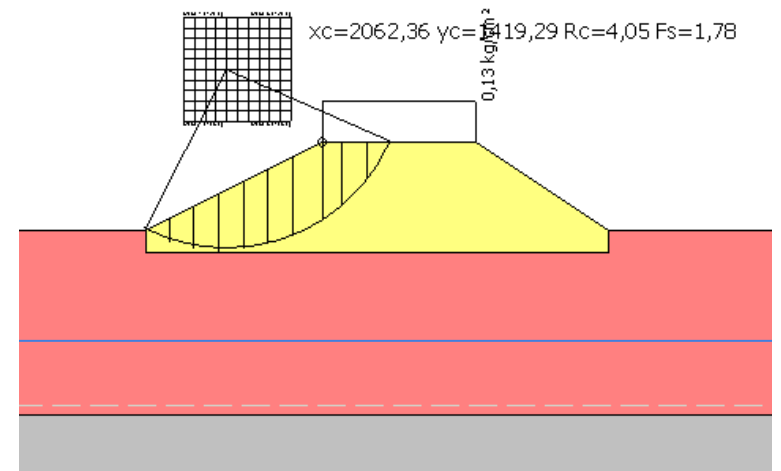
lato fiume

lato campagna



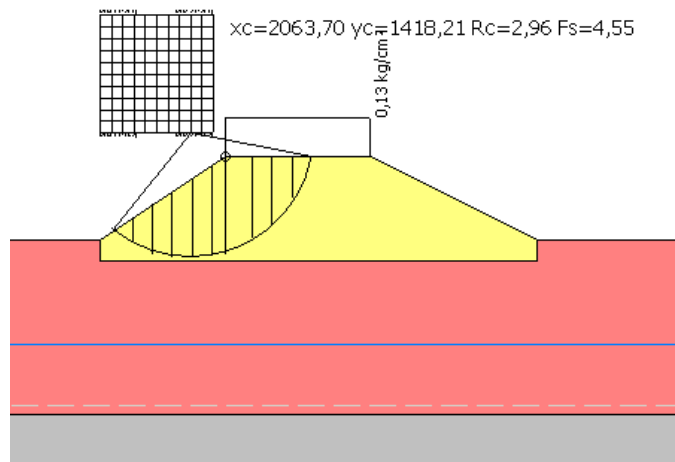
lungo termine

Fs min = 1,75



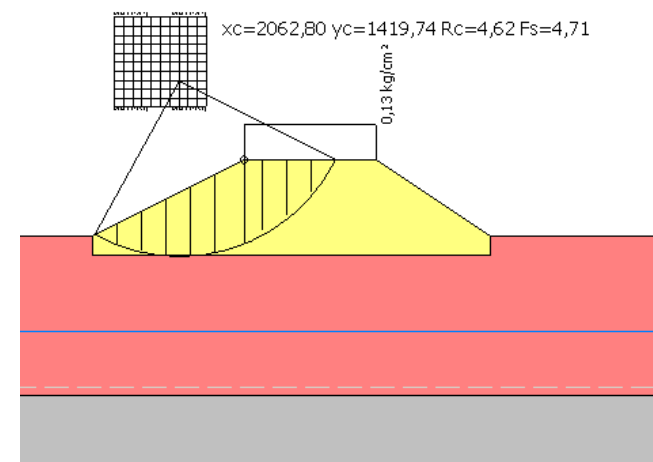
lungo termine

Fs min = 1,78



breve termine

Fs min = 4,55



breve termine

Fs min = 4,71

MOLINO NUOVO

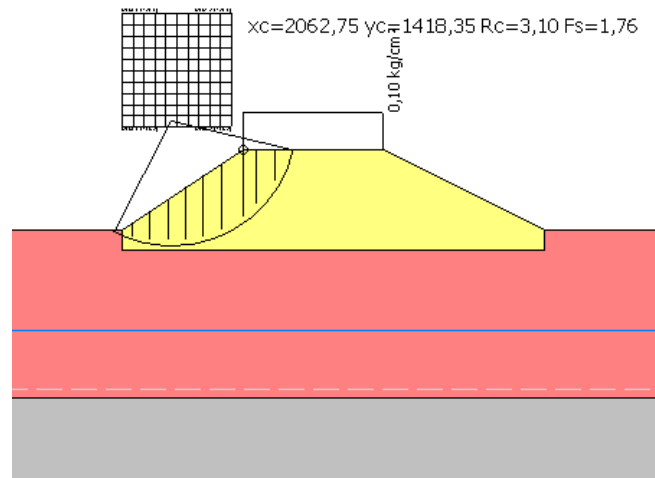
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO FOLLA

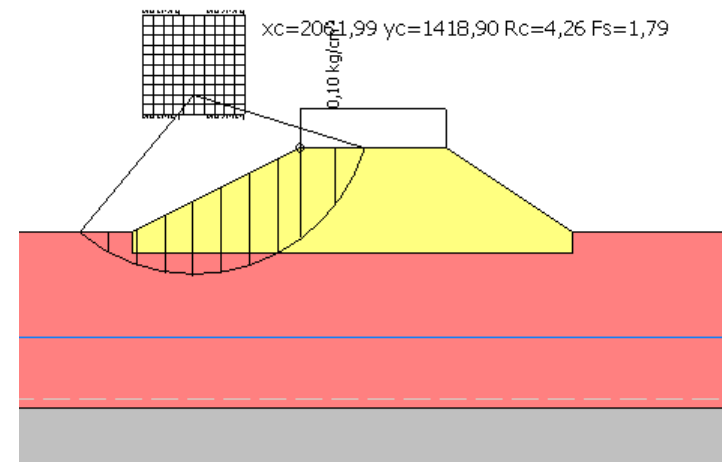
lato fiume

lato campagna



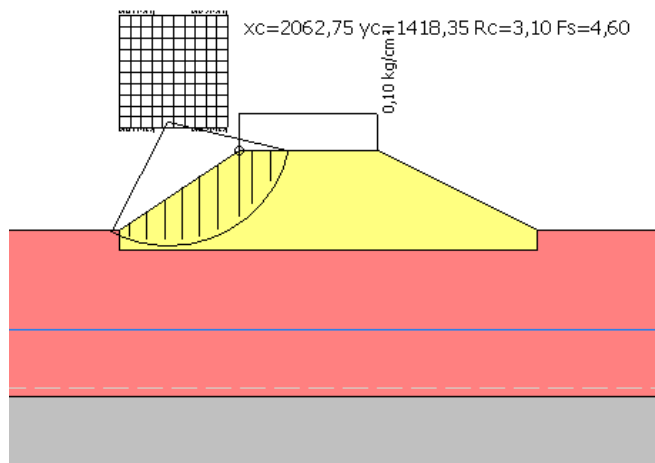
lungo termine

Fs min = 1,76



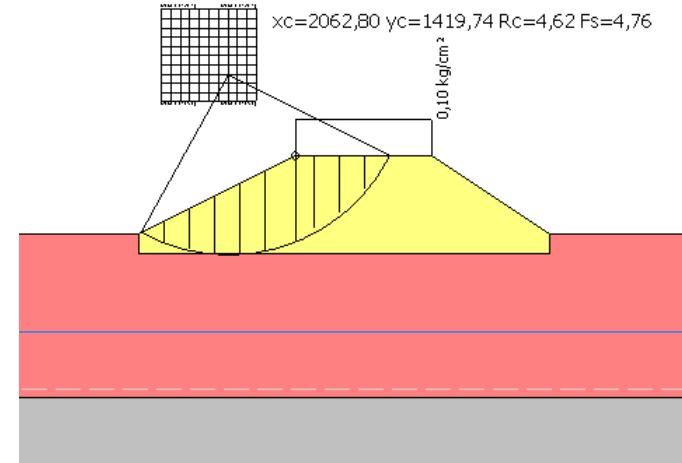
lungo termine

Fs min = 1,79



breve termine

Fs min = 4,6



breve termine

Fs min = 4,76

MOLINO NUOVO

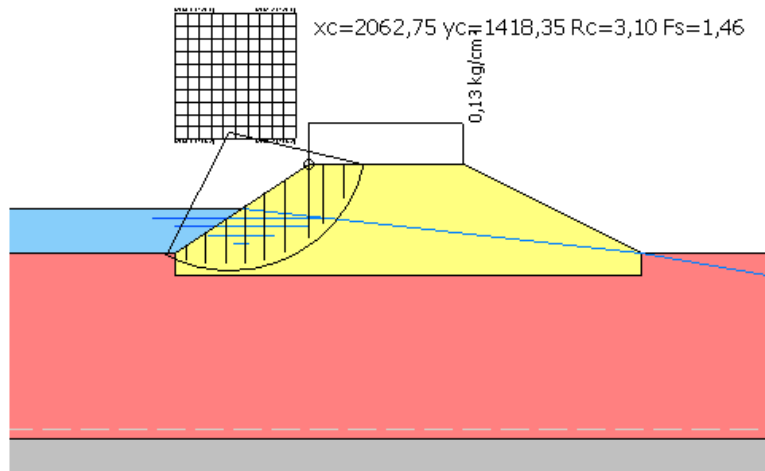
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO FOLLA

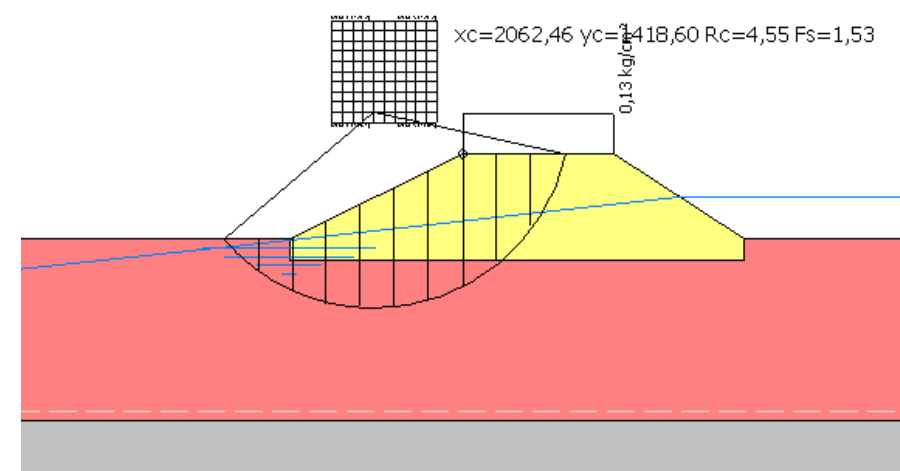
lato fiume

lato campagna



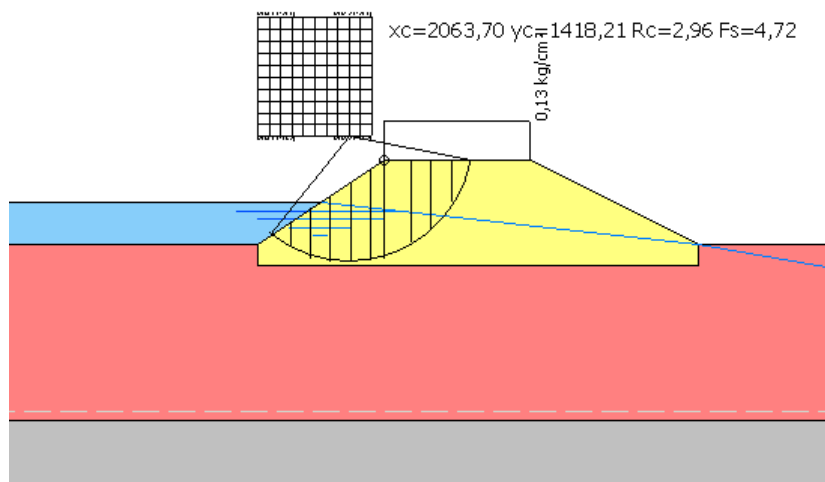
lungo termine

Fs min = 1,46



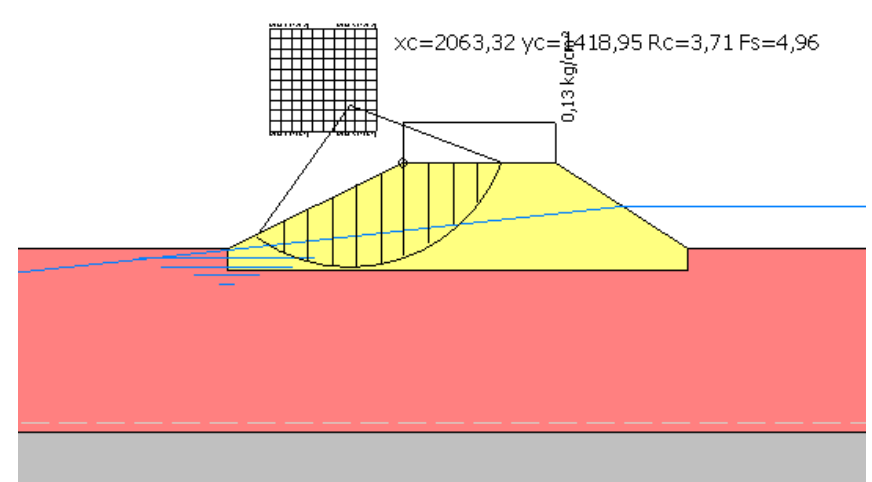
lungo termine

Fs min = 1,53



breve termine

Fs min = 4,72



breve termine

Fs min = 4,96

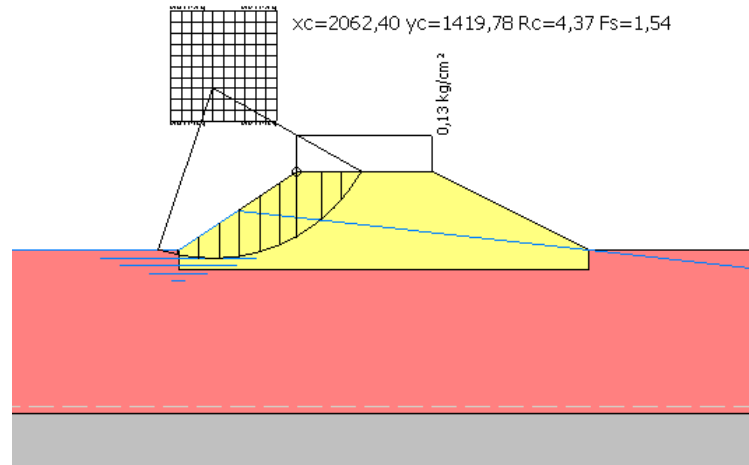
MOLINO NUOVO

RAPIDO SVASO

VERIFICHE STATICHE

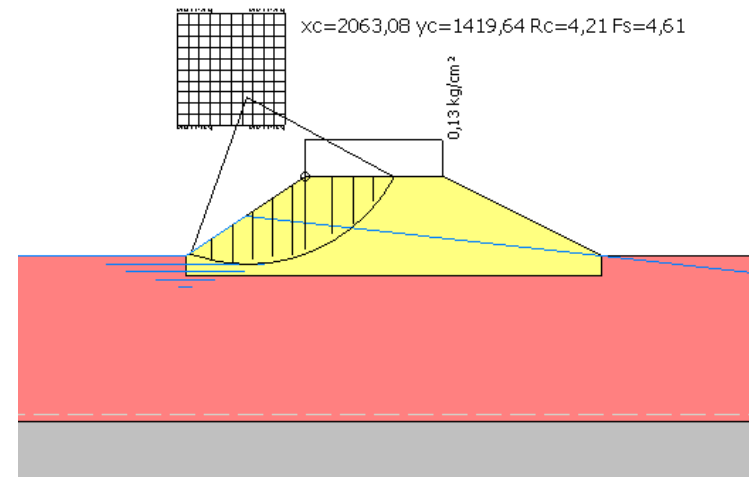
SOVRACCARICO FOLLA

lato fiume



lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,54$



breve termine

$F_s \text{ min} = 4,61$

FORNACE CONSONNI

Stratigrafia

| Strato | Coesione (kg/cm ²) | Coesione non drenata (kg/cm ²) | Angolo resistenza al taglio (°) | Peso unità di volume (Kg/m ³) | Peso saturato (Kg/m ³) | Litologia | |
|--------|-----------------------------------|---|--|---|--|-----------|--|
| 1 | 0.1 | 0.7 | 28 | 1900 | 2200 | rilevato | |
| 2 | 0.08 | 0.34 | 20 | 1800 | 2100 | A | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine |
|---|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,25 | 1,38 |
| | | | 2,21 | 1,53 |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 2,30 | 1,41 |
| | | | 2,27 | 1,58 |
| PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,48 | 1,10 |
| | | | 2,25 | 1,33 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 2,23 | 1,12 |
| | | | | |
| CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine |
|------------|-------------------|-------------------|--|-----------------------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,43 | 1,60 |
| | | | 2,39 | 1,75 |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 2,38 | 1,57 |
| | | | 2,37 | 1,74 |
| PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,69 | 1,22 |
| | | | 2,42 | 1,49 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 2,37 | 1,23 |
| | | | CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | |

FORNACE CONSONNI

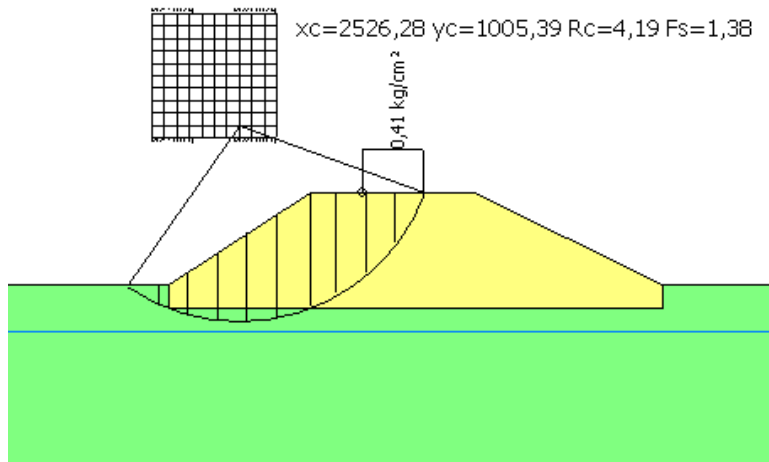
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

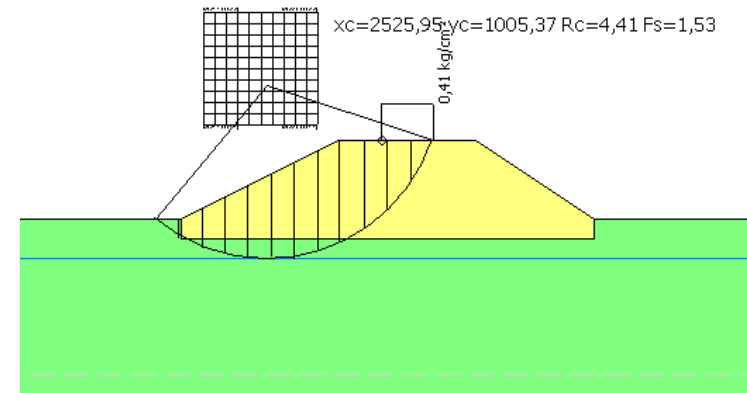
lato fiume

lato campagna



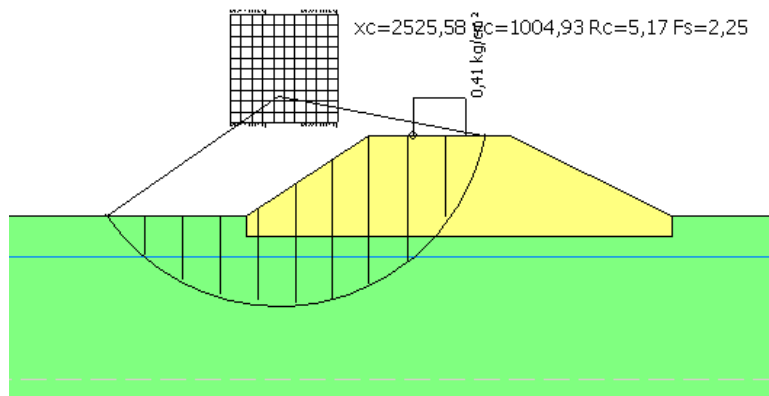
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,38$



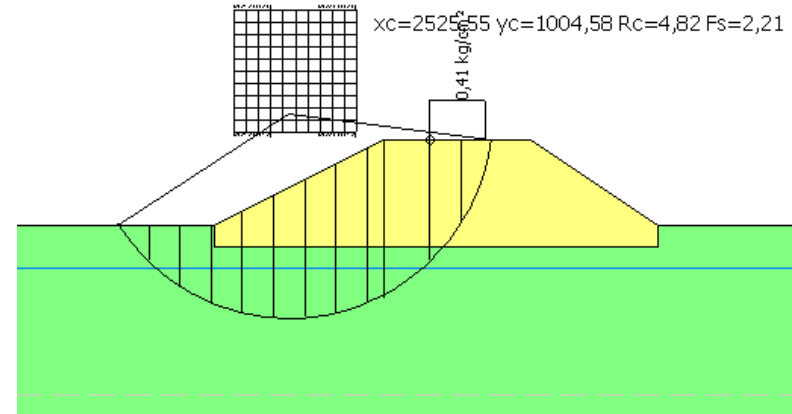
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,53$



breve termine

$F_s \text{ min} = 2,25$



breve termine

$F_s \text{ min} = 2,21$

FORNACE CONSONNI

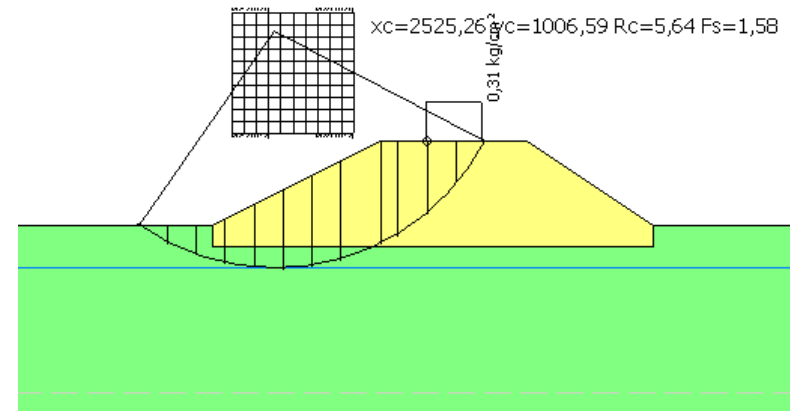
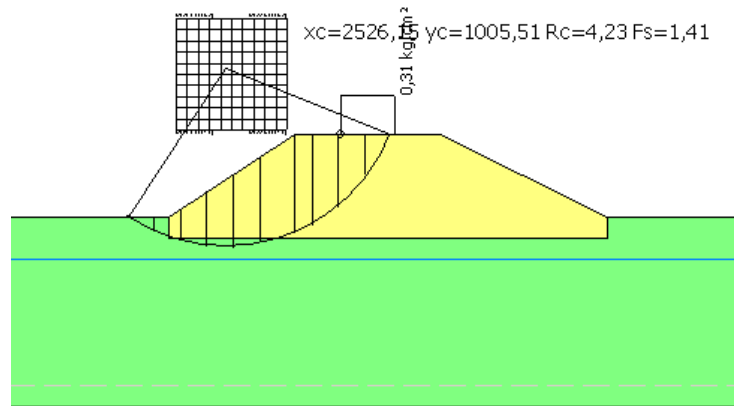
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

lato fiume

lato campagna

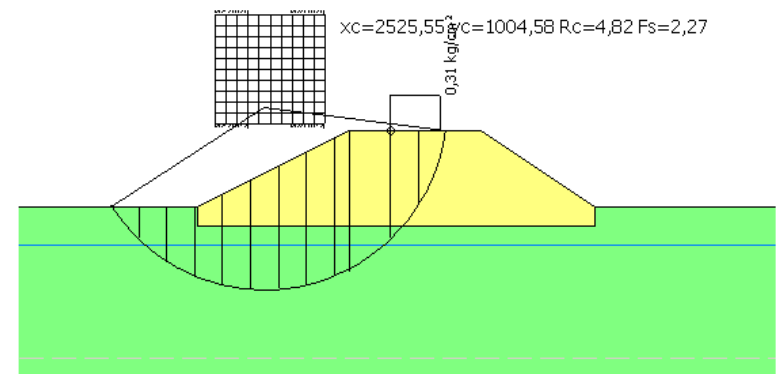
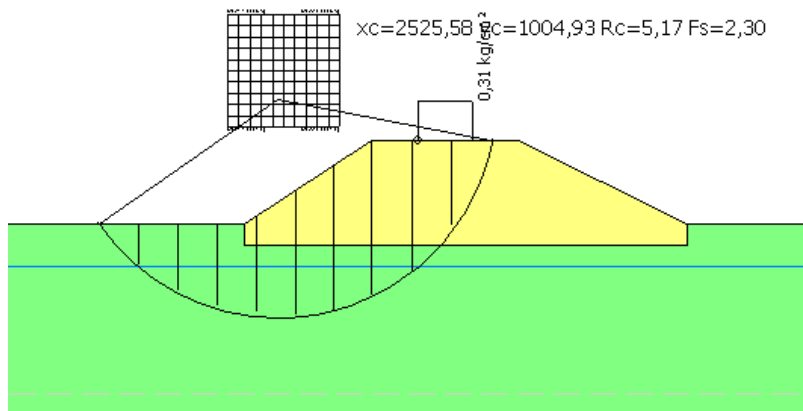


lungo termine

Fs min = 1,41

lungo termine

Fs min = 1,58



breve termine

Fs min = 2,3

breve termine

Fs min = 2,27

FORNACE CONSONNI

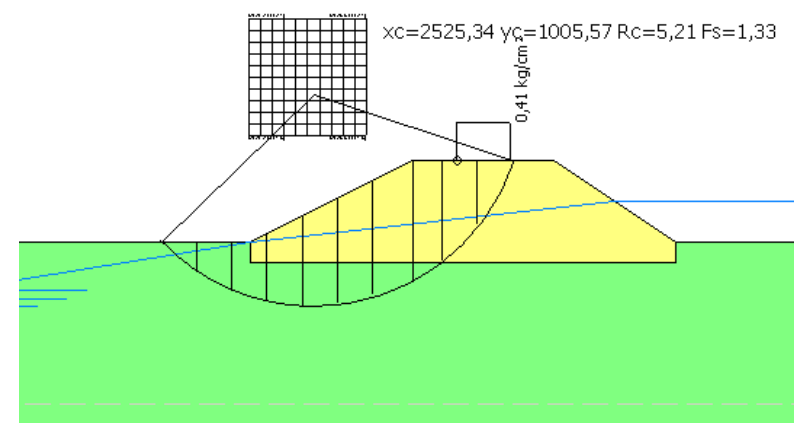
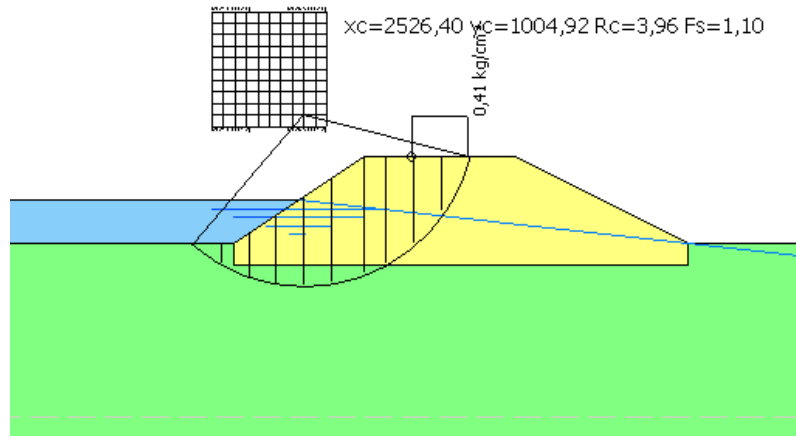
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

lato fiume

lato campagna

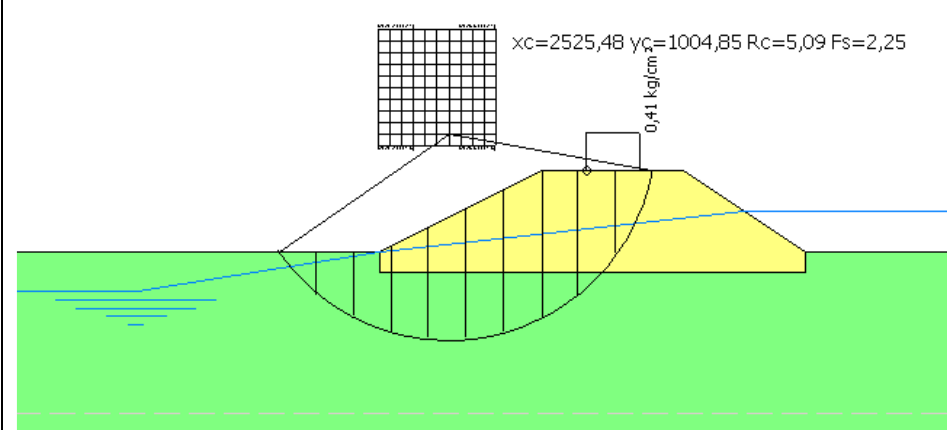
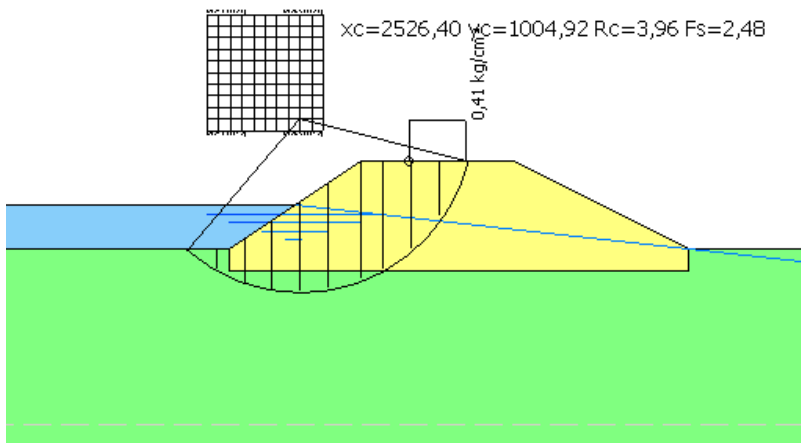


lungo termine

Fs min = 1,1

lungo termine

Fs min = 1,33

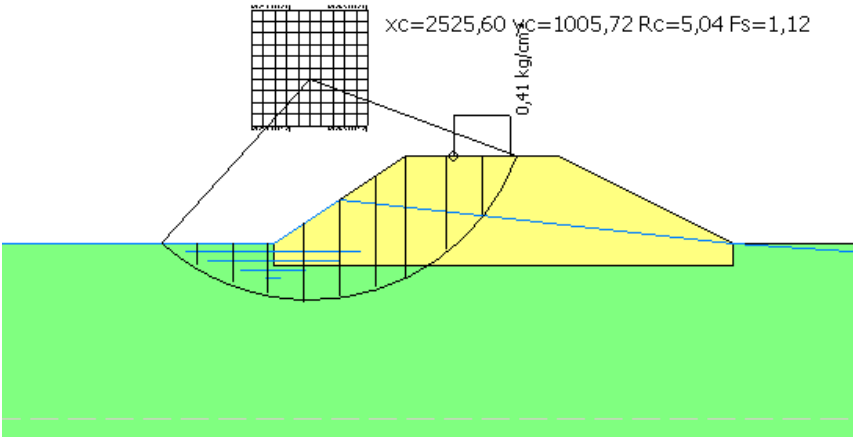
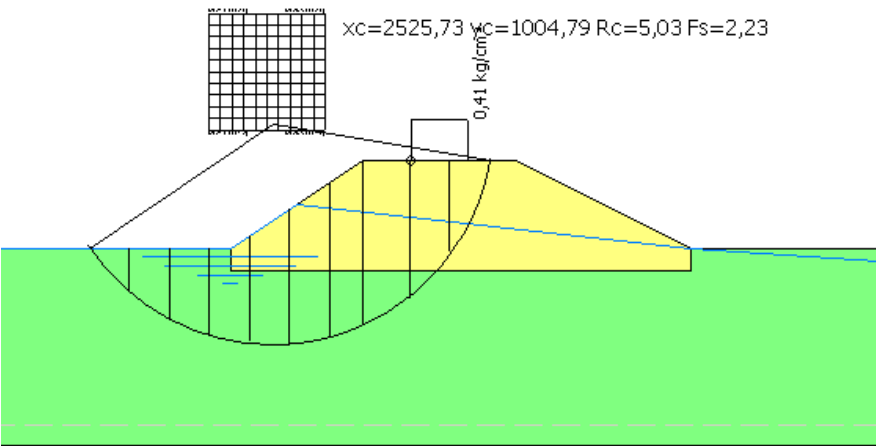


breve termine

Fs min = 2,48

breve termine

Fs min = 2,25

| FORNACE CONSONNI | | |
|---|--------------------|--|
| RAPIDO SVASO | VERIFICHE STATICHE | SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO |
| lato fiume | | |
|  <p>xc=2525,60 yc=1005,72 Rc=5,04 Fs=1,12</p> <p>0,41 kg/cm²</p> | | |
| lungo termine | Fs min = 1,12 | |
|  <p>xc=2525,73 yc=1004,79 Rc=5,03 Fs=2,23</p> <p>0,41 kg/cm²</p> | | |
| breve termine | Fs min = 2,23 | |

FORNACE CONSONNI

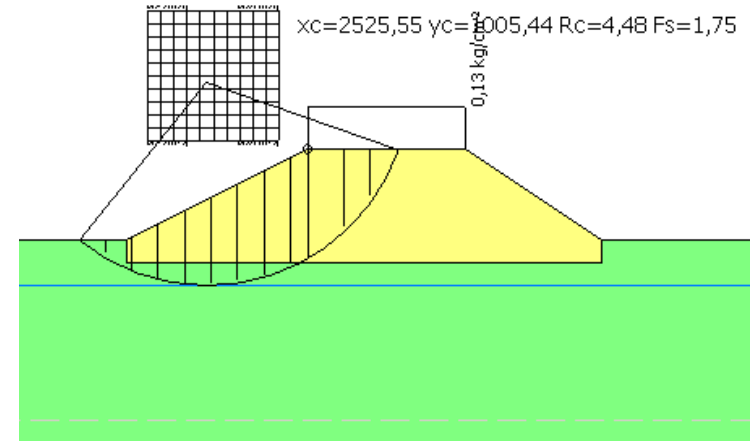
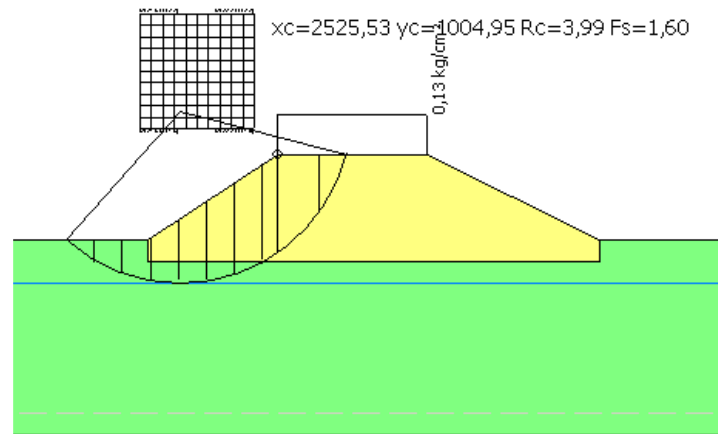
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO FOLLA

lato fiume

lato campagna

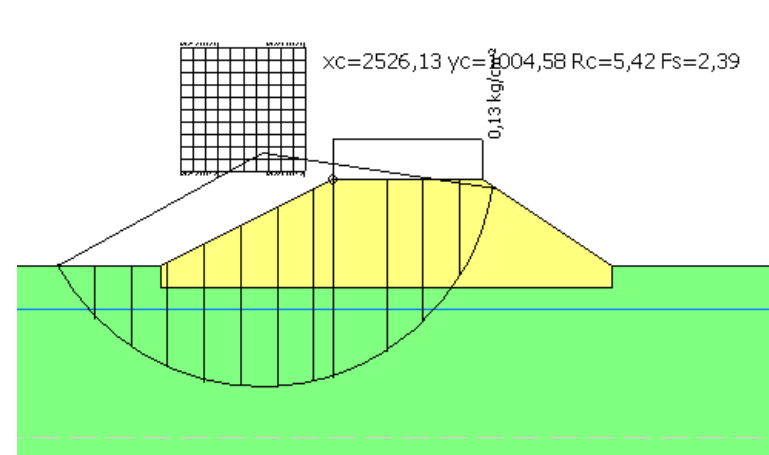
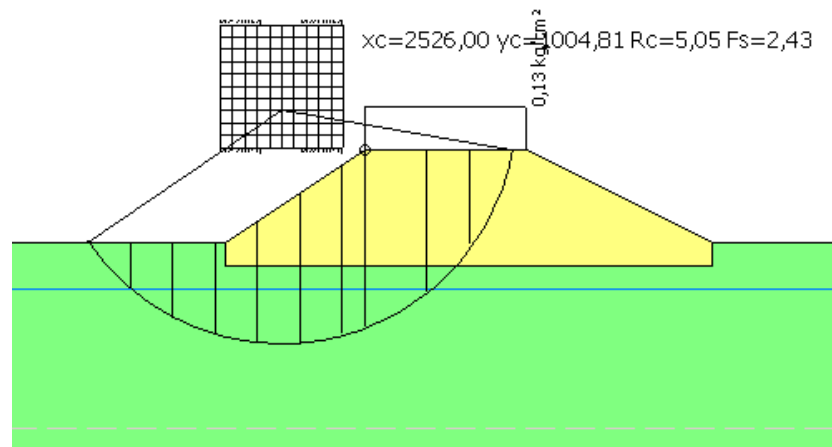


lungo termine

Fs min = 1,6

lungo termine

Fs min = 1,75



breve termine

Fs min = 2,43

breve termine

Fs min = 2,39

FORNACE CONSONNI

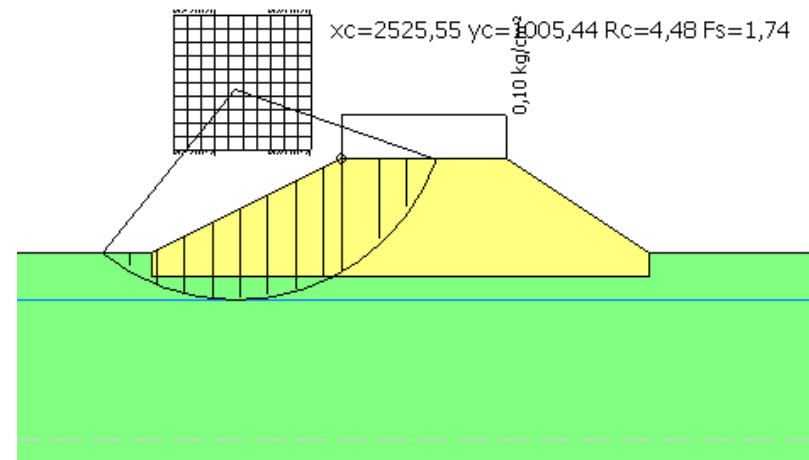
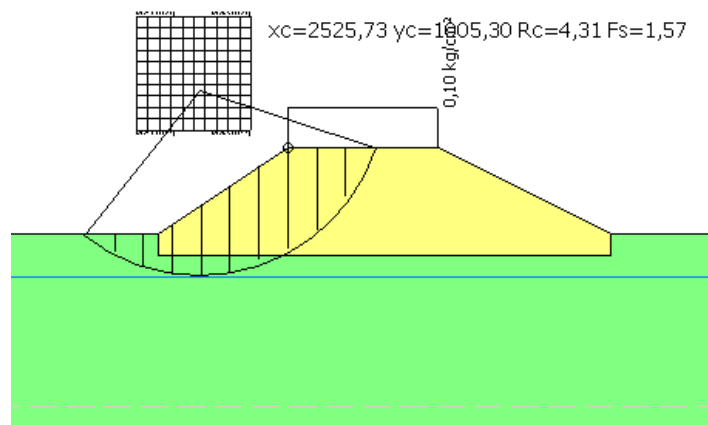
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO FOLLA

lato fiume

lato campagna

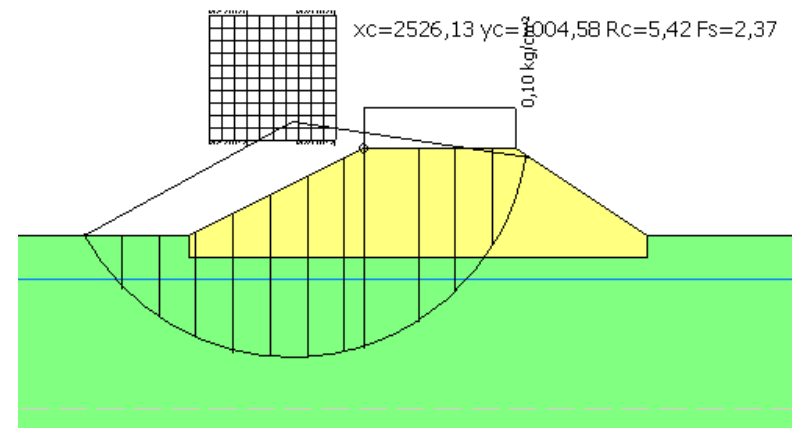
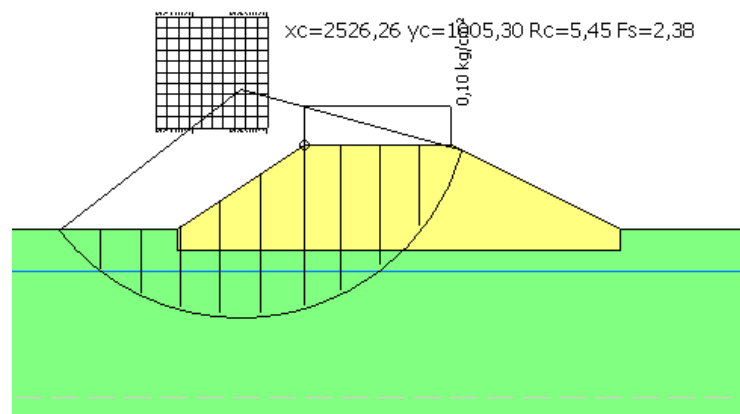


lungo termine

Fs min = 1,57

lungo termine

Fs min = 1,74



breve termine

Fs min = 2,38

breve termine

Fs min = 2,37

FORNACE CONSONNI

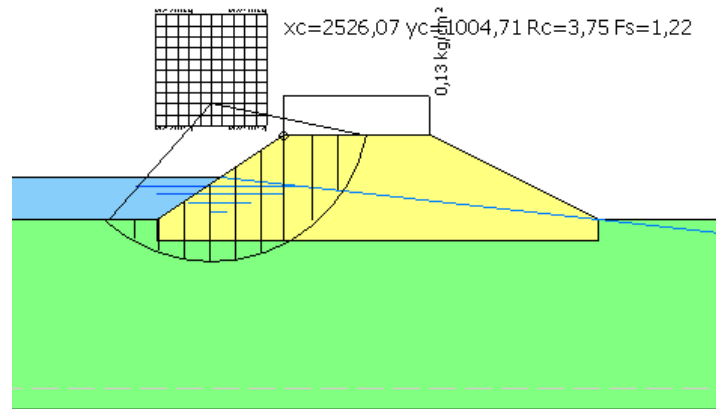
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO FOLLA

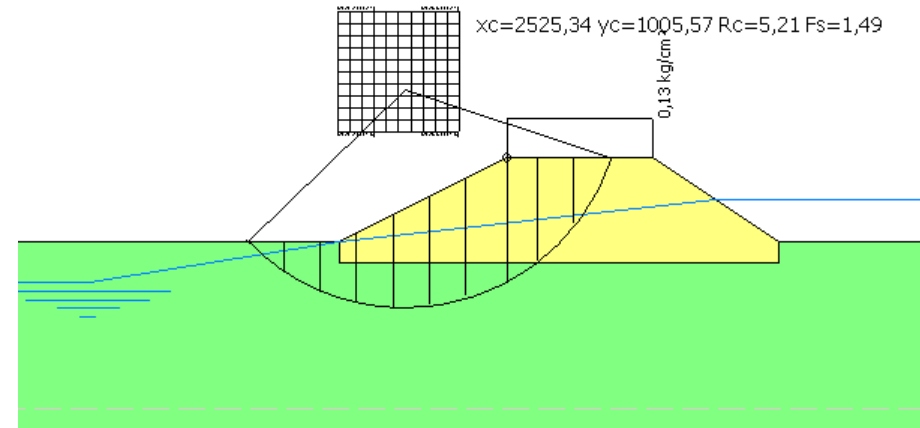
lato fiume

lato campagna



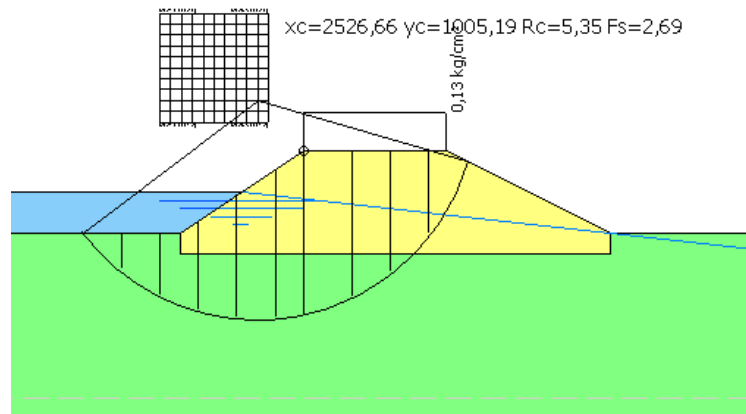
lungo termine

Fs min = 1,22



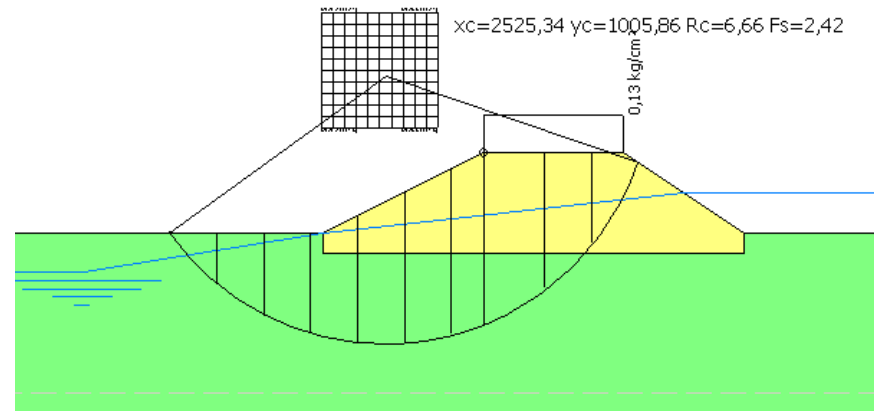
lungo termine

Fs min = 1,49



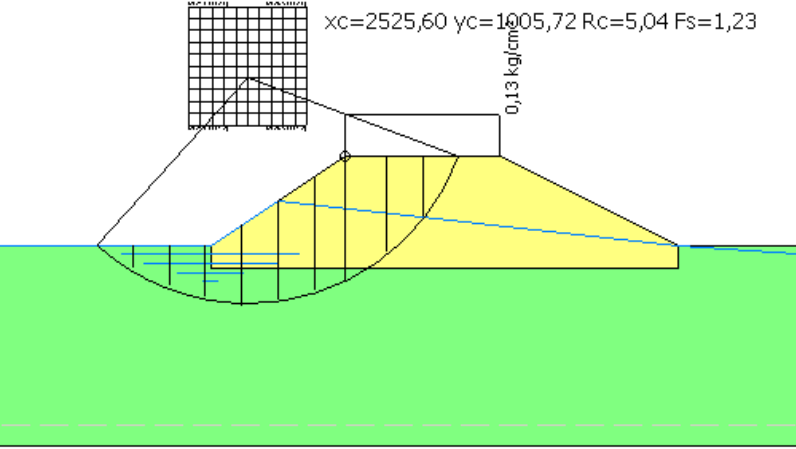
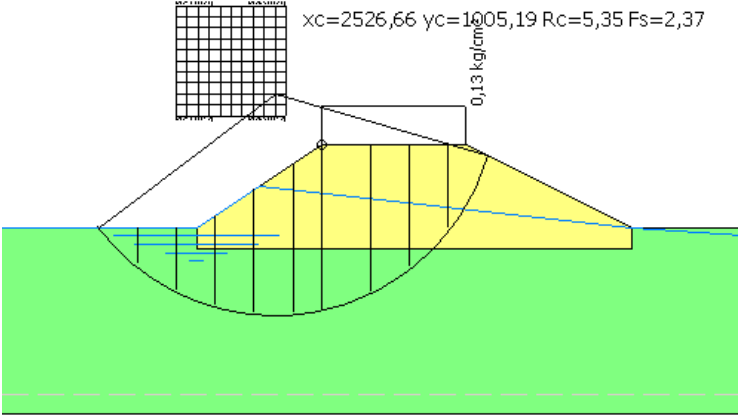
breve termine

Fs min = 2,69



breve termine

Fs min = 2,42

| FORNACE CONSONNI | | |
|---|--------------------|--------------------|
| RAPIDO SVASO | VERIFICHE STATICHE | SOVRACCARICO FOLLA |
| lato fiume | | |
|  <p>xc=2525,60 yc=1005,72 Rc=5,04 Fs=1,23</p> <p>0,13 kg/cm</p> <p>lungo termine</p> <p>Fs min = 1,23</p> | | |
|  <p>xc=2526,66 yc=1005,19 Rc=5,35 Fs=2,37</p> <p>0,13 kg/cm</p> <p>breve termine</p> <p>Fs min = 2,37</p> | | |

CASCINA CATTAFAME

Stratigrafia

| Strato | Coesione (kg/cm ²) | Coesione non drenata (kg/cm ²) | Angolo resistenza al taglio (°) | Peso unità di volume (Kg/m ³) | Peso saturato (Kg/m ³) | Litologia | |
|--------|-----------------------------------|---|--|---|--|-----------|--|
| 1 | 0.1 | 0.7 | 28 | 1900 | 2200 | rilevato | |
| 2 | - | - | 50 | 2200 | 2300 | scogliera | |
| 3 | 0.09 | 0.34 | 20 | 1800 | 2100 | A | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine |
|---|----------------|----------------|--------------------|--------------------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 1,66 | 1,43 |
| | | | 1,91 | 1,51 |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 1,61 | 1,38 |
| | | | 1,85 | 1,47 |
| PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 1,88 | 1,17 |
| | | | 1,86 | 1,31 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 1,80 | 1,08 |
| CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine |
|------------|-------------------|-------------------|--|-----------------------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 1,69 | 1,44 |
| | | | 1,94 | 1,63 |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 1,63 | 1,39 |
| | | | 1,86 | 1,59 |
| PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 1,91 | 1,18 |
| | | | 1,89 | 1,50 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 1,83 | 1,09 |
| | | | CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | |

CASCINA CATTAFAME

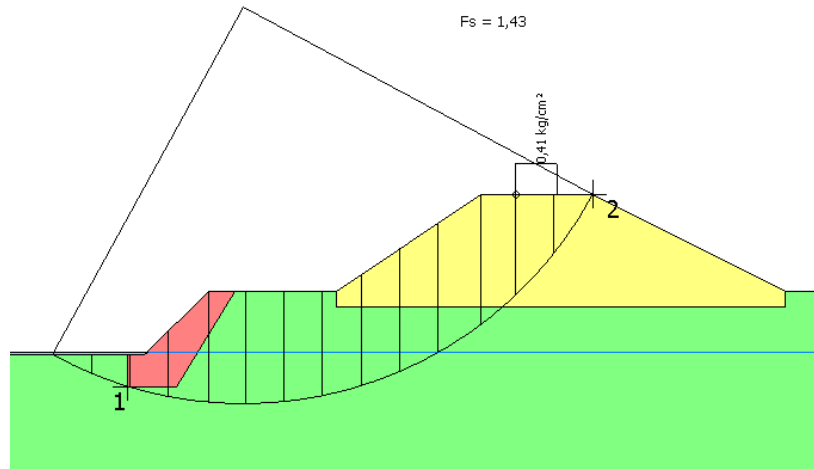
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

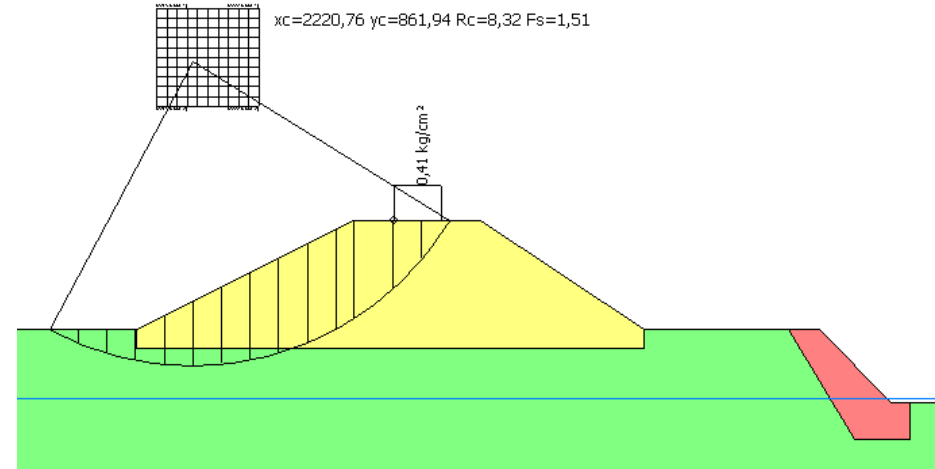
lato fiume

lato campagna



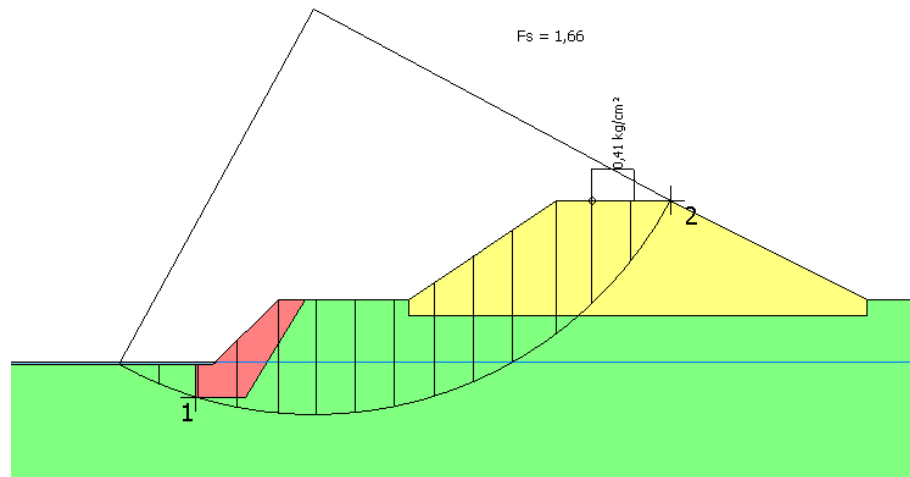
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,43$



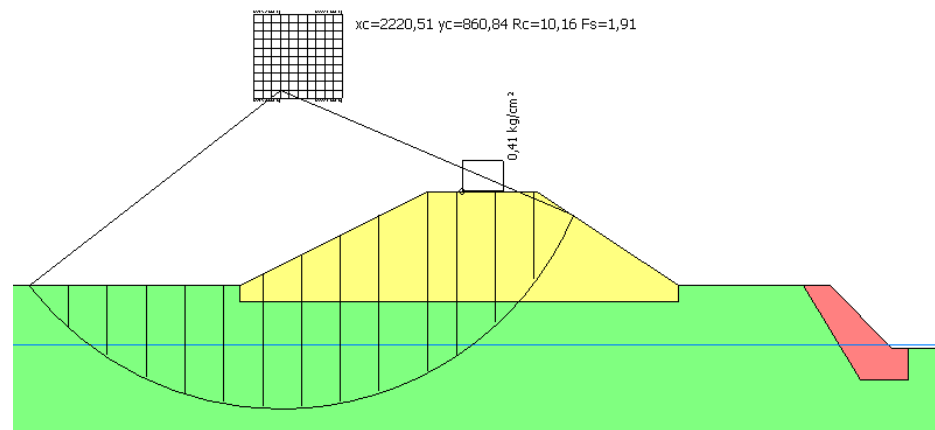
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,51$



breve termine

$F_s \text{ min} = 1,66$



breve termine

$F_s \text{ min} = 1,91$

CASCINA CATTAFAME

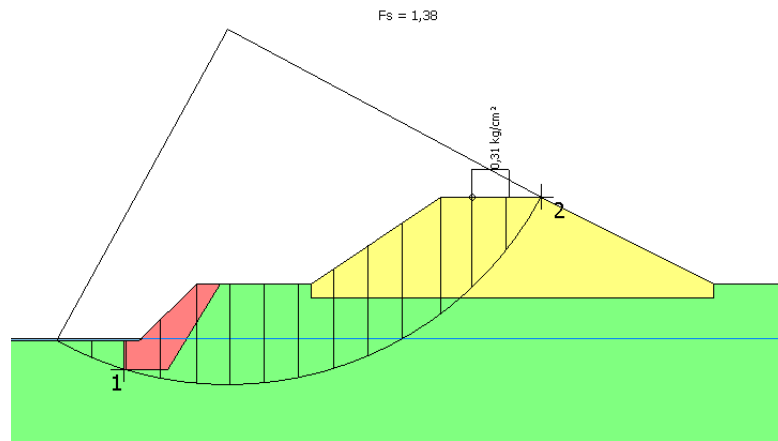
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

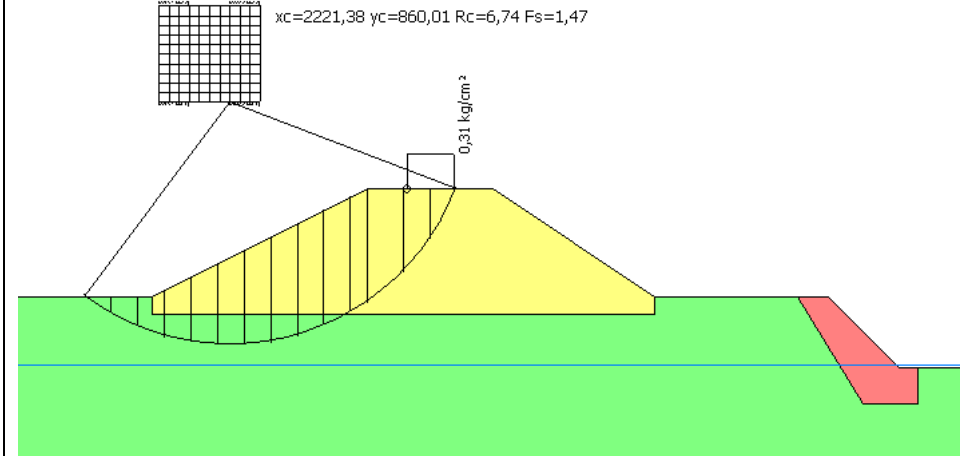
lato fiume

lato campagna



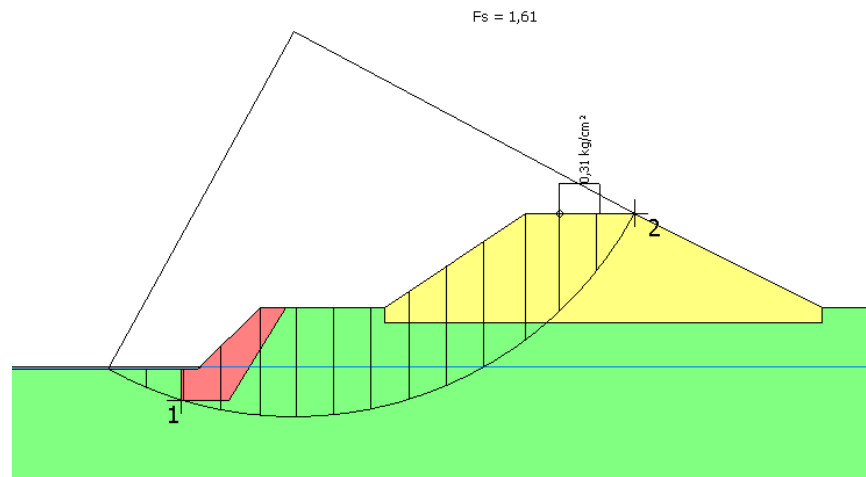
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,38$



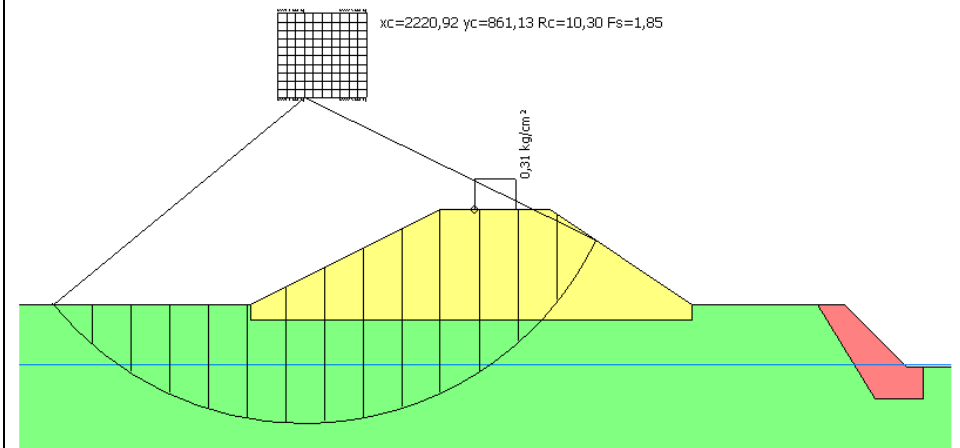
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,47$



breve termine

$F_s \text{ min} = 1,61$



breve termine

$F_s \text{ min} = 1,85$

CASCINA CATTAFAME

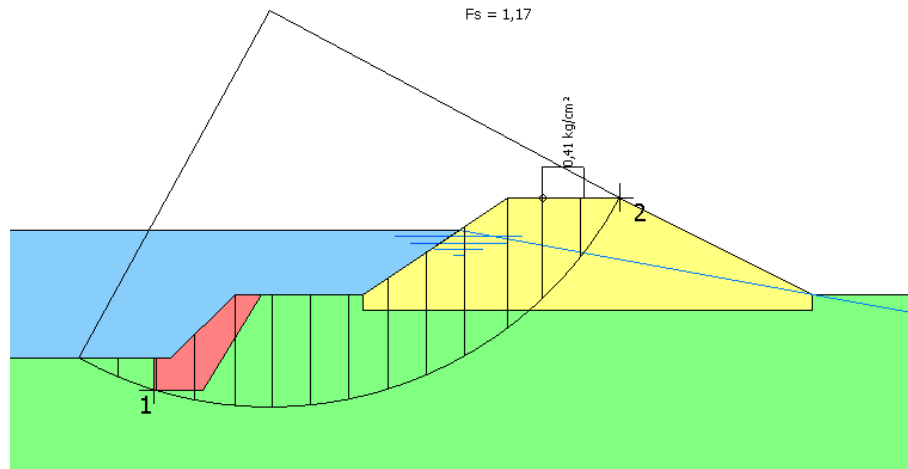
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

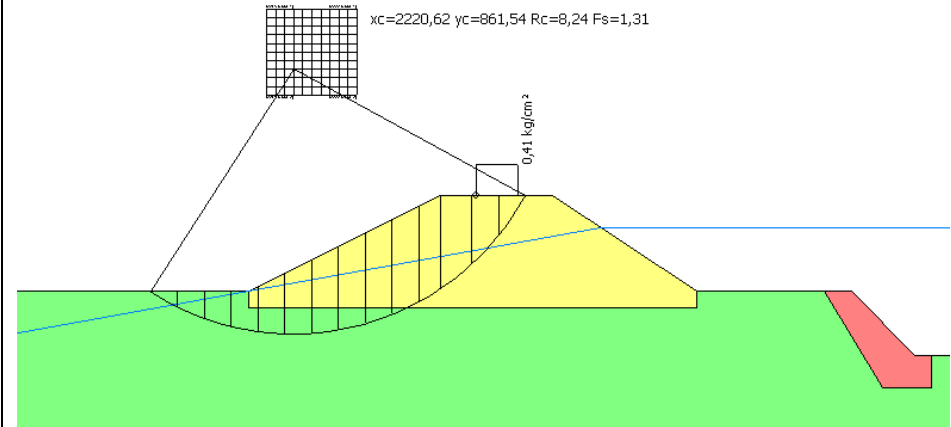
lato fiume

lato campagna



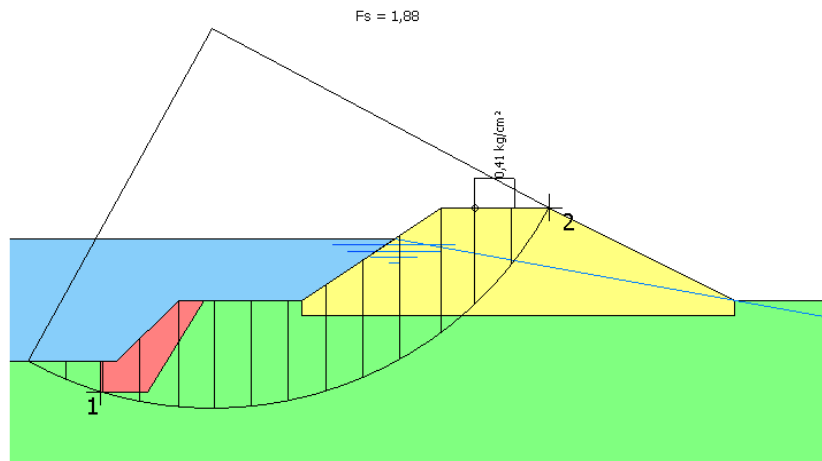
lungo termine

Fs min = 1,17



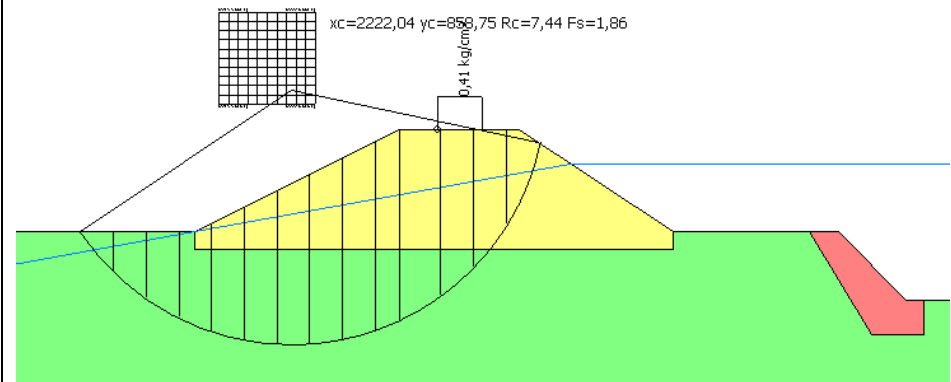
lungo termine

Fs min = 1,31



breve termine

Fs min = 1,88



breve termine

Fs min = 1,86

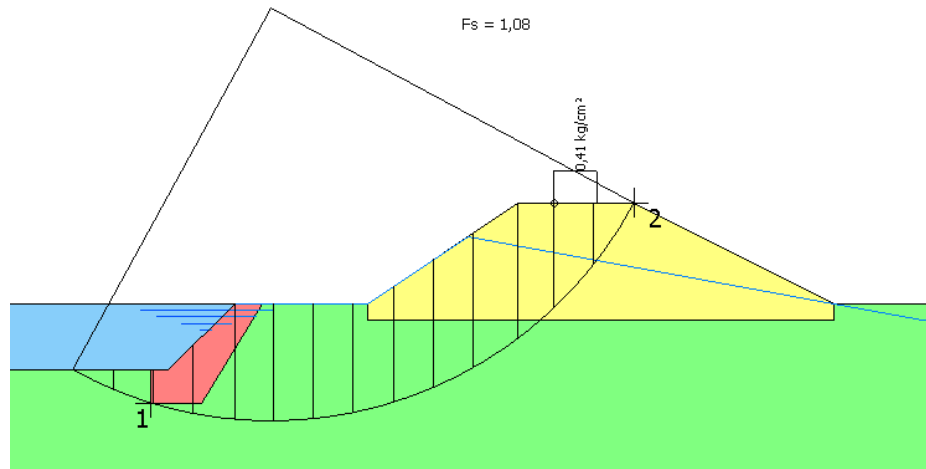
CASCINA CATTAFAME

RAPIDO SVASO

VERIFICHE STATICHE

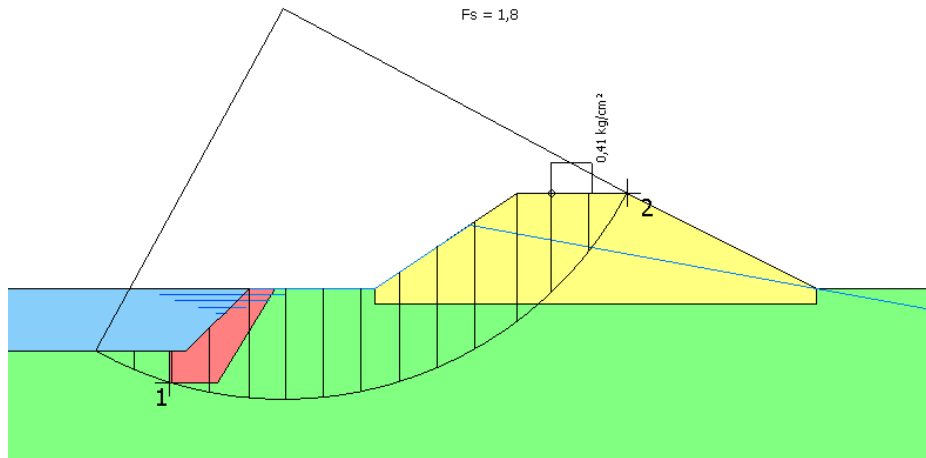
SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

lato fiume



lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,08$



breve termine

$F_s \text{ min} = 1,8$

CASCINA CATTAFAME

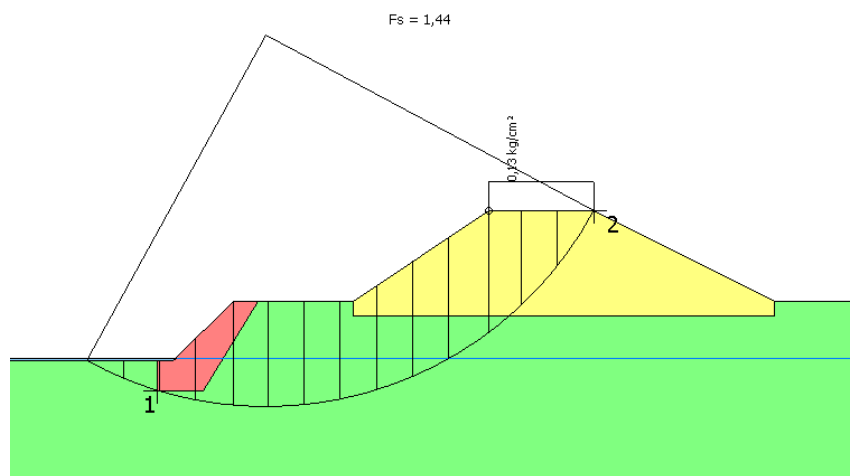
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO FOLLA

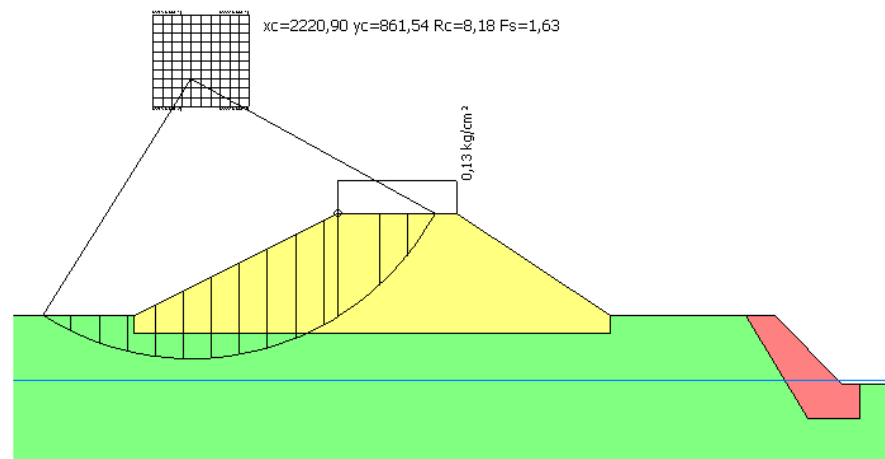
lato fiume

lato campagna



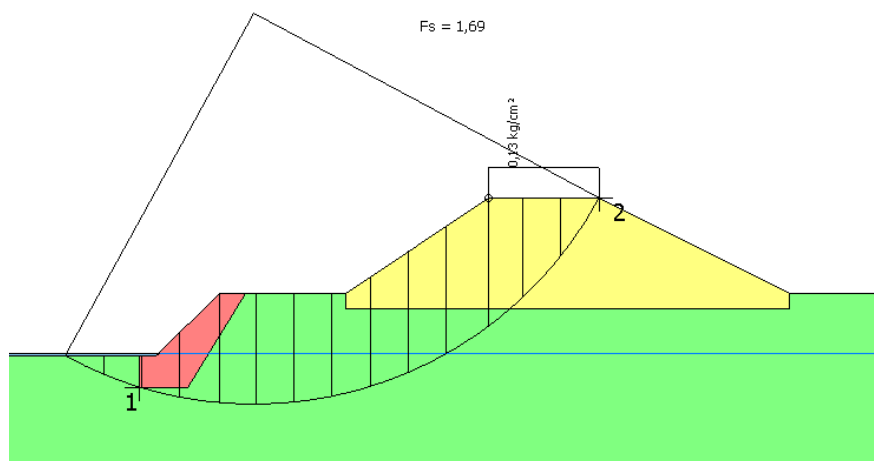
lungo termine

Fs min = 1,44



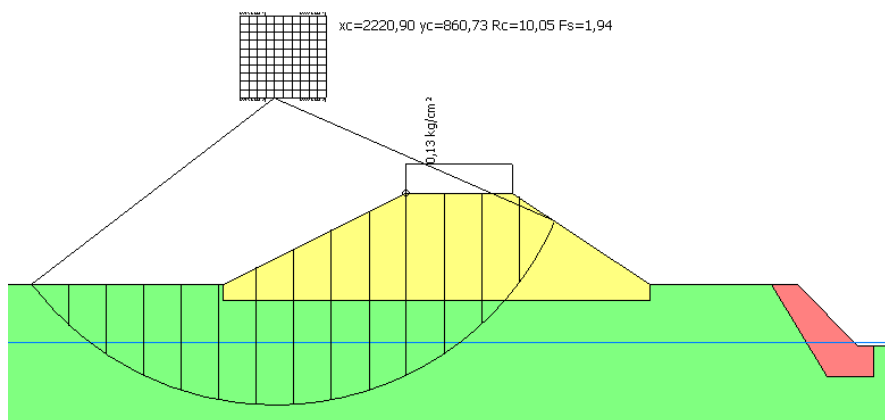
lungo termine

Fs min = 1,63



breve termine

Fs min = 1,69



breve termine

Fs min = 1,94

CASCINA CATTAFAME

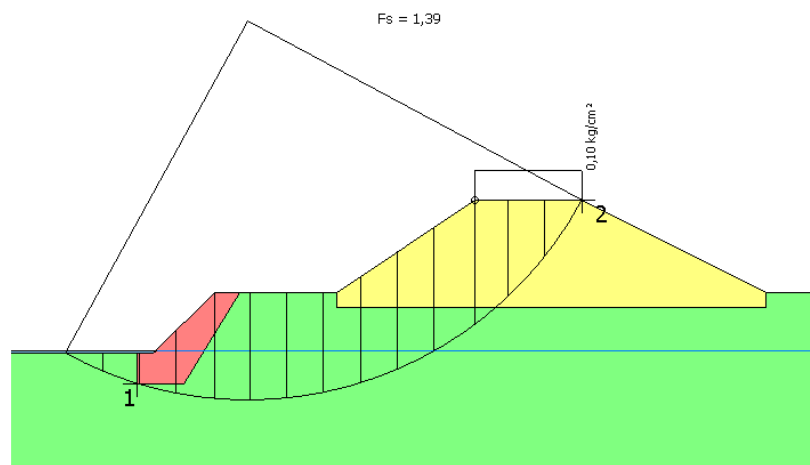
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO FOLLA

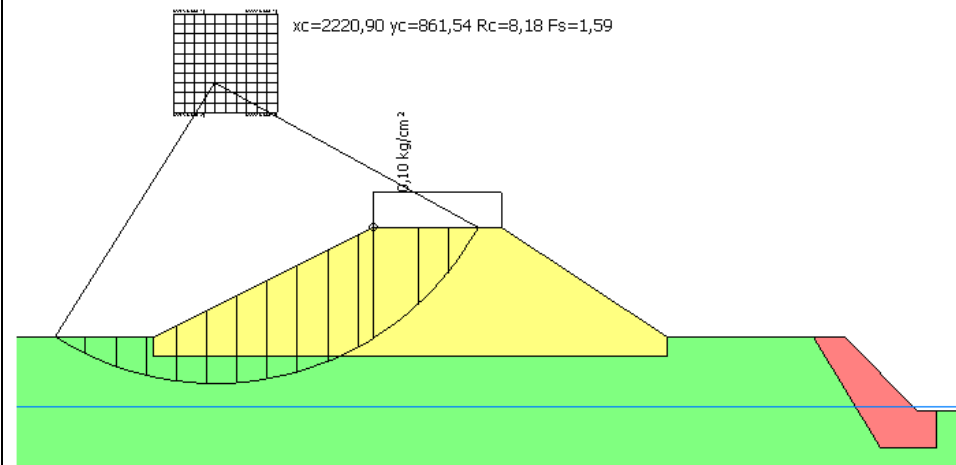
lato fiume

lato campagna



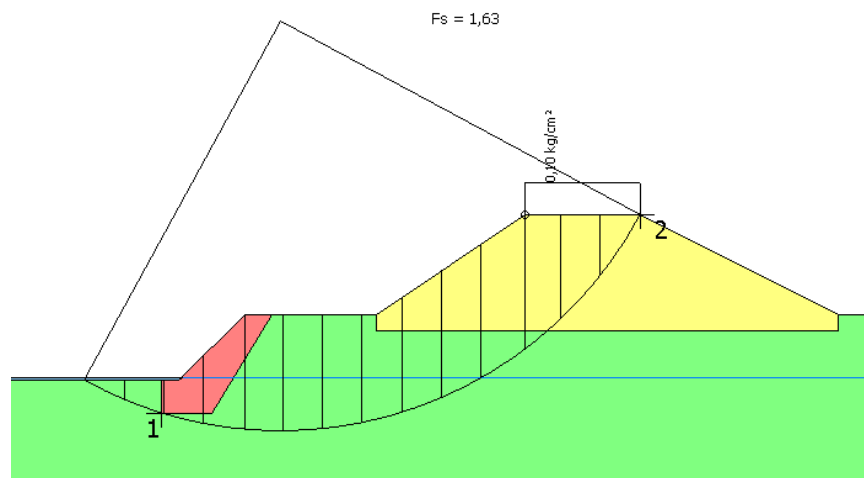
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,39$



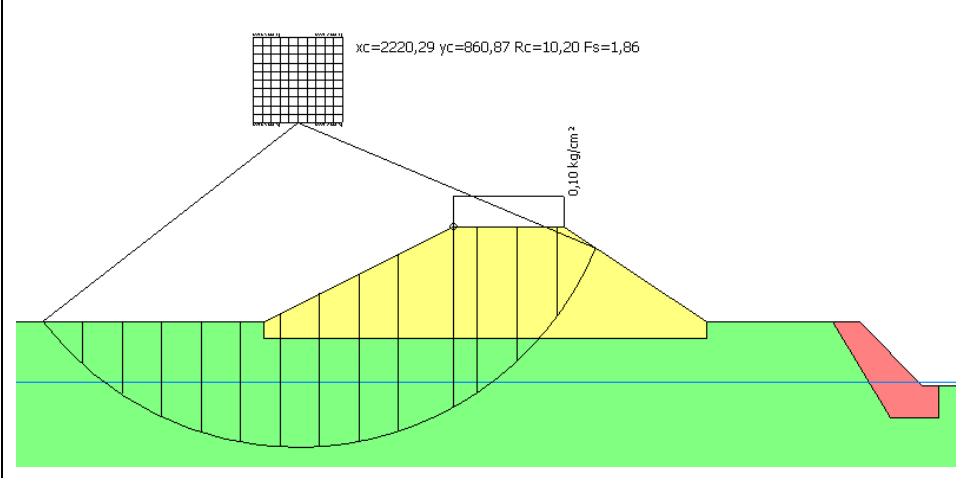
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,59$



breve termine

$F_s \text{ min} = 1,63$



breve termine

$F_s \text{ min} = 1,86$

CASCINA CATTAFAME

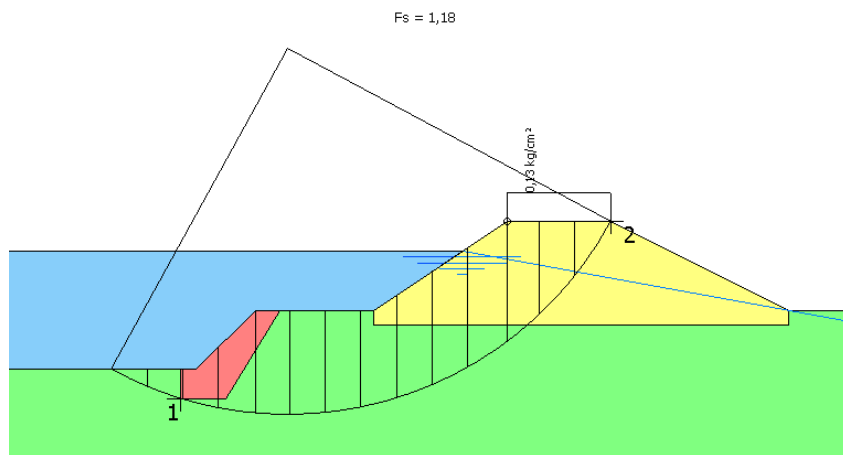
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

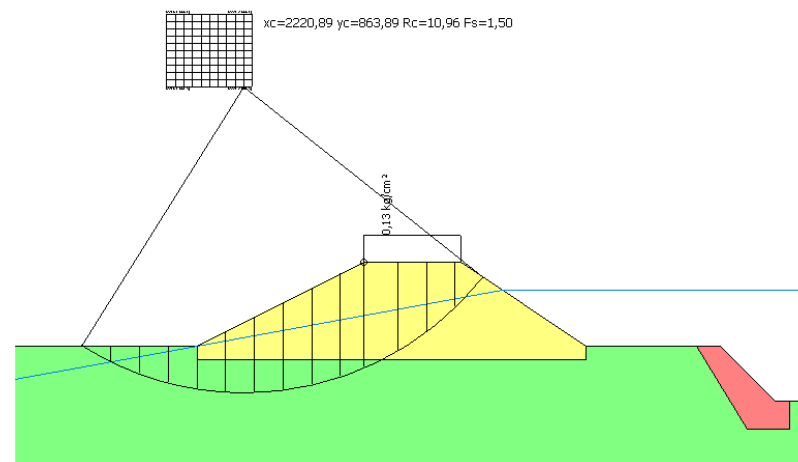
SOVRACCARICO FOLLA

lato fiume

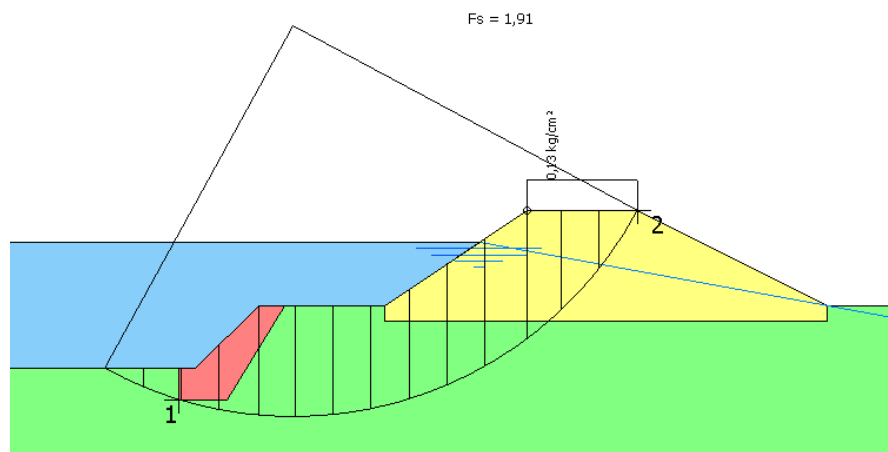
lato campagna



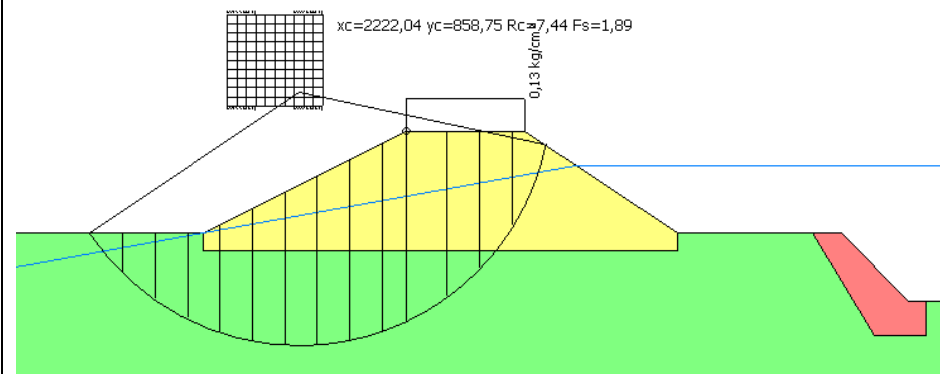
$F_s \text{ min} = 1,18$



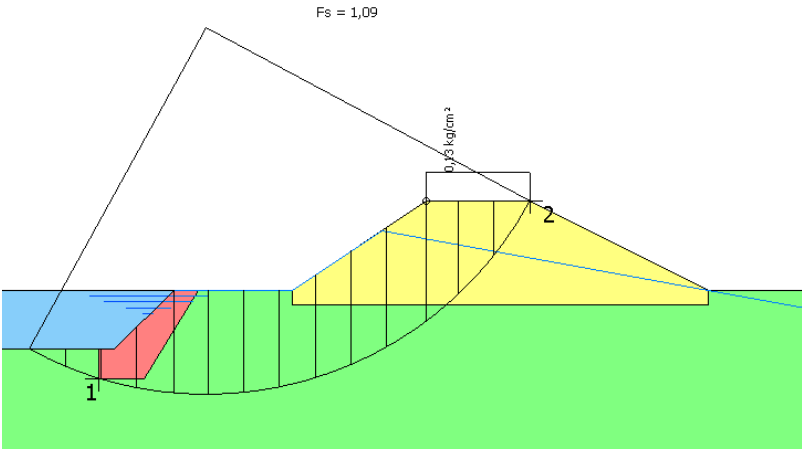
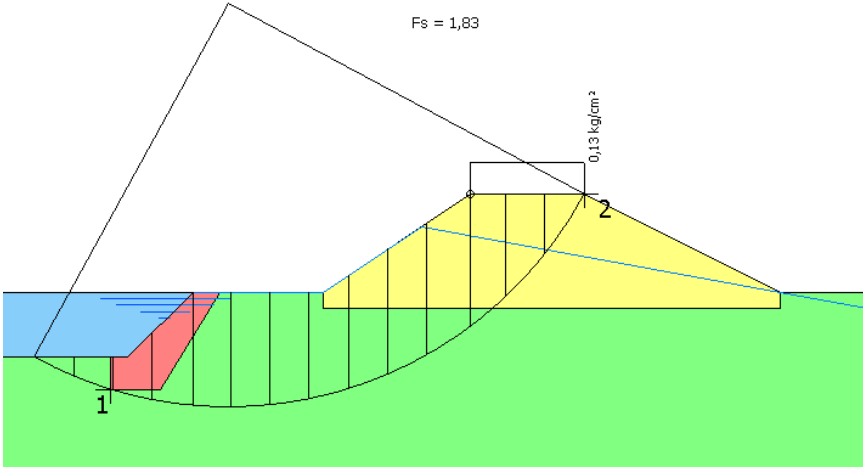
$F_s \text{ min} = 1,50$



$F_s \text{ min} = 1,91$



$F_s \text{ min} = 1,89$

| CASCINA CATTAFAME | | |
|---|--------------------|--------------------|
| RAPIDO SVASO | VERIFICHE STATICHE | SOVRACCARICO FOLLA |
| lato fiume | | |
| <div><p>$F_s = 1,09$</p><p>0,13 kg/cm²</p><p>1</p><p>2</p></div> <p>lungo termine</p> <p>$F_s \text{ min} = 1,09$</p> | | |
| <div><p>$F_s = 1,83$</p><p>0,13 kg/cm²</p><p>1</p><p>2</p></div> <p>breve termine</p> <p>$F_s \text{ min} = 1,83$</p> | | |

ZONA VIA FORNACETTA

Stratigrafia

| Strato | Coesione (kg/cm ²) | Coesione non drenata (kg/cm ²) | Angolo resistenza al taglio (°) | Peso unità di volume (Kg/m ³) | Peso saturato (Kg/m ³) | Litologia | |
|--------|-----------------------------------|---|--|---|--|-----------|--|
| 1 | 0.1 | 0.7 | 28 | 1900 | 2200 | rilevato | |
| 2 | 0.1 | 0.45 | 21 | 1800 | 2100 | A | |
| 3 | 0.15 | 2.4 | 39 | 1900 | 2200 | B | |
| 4 | 0.1 | 0.36 | 20 | 1800 | 2100 | C | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine |
|---|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,03 | 1,39 |
| | | | 2,04 | 1,51 |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 2,02 | 1,38 |
| | | | 2,06 | 1,50 |
| PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,41 | 1,05 |
| | | | 2,03 | 1,29 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 2,02 | 1,07 |
| CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : MEZZO DI MANUTENZIONE E SOCCORSO | | | | |

| CONDIZIONE | AZIONE SISMICA | LATO | Fs a breve termine | Fs a lungo termine | |
|------------|-------------------|-------------------|--|-----------------------|------|
| VUOTO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,11 | 1,44 | |
| | | | 2,18 | 1,59 | |
| | CON | FIUME CAMPAGNA | 2,06 | 1,43 | |
| | | | 2,13 | 1,55 | |
| | PIENO | SENZA | FIUME CAMPAGNA | 2,50 | 1,08 |
| | | | | 2,17 | 1,35 |
| SVASO | SENZA | FIUME | 2,11 | 1,07 | |
| | | | CARICO ALLA SOMMITA' DELL'ARGINE : FOLLA | | |

ZONA VIA FORNACETTA

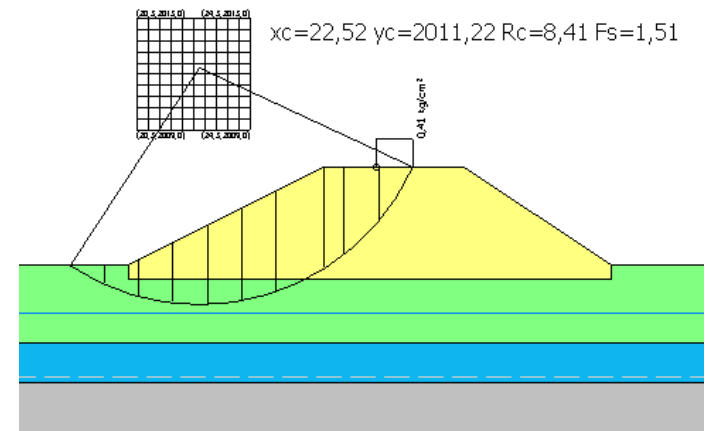
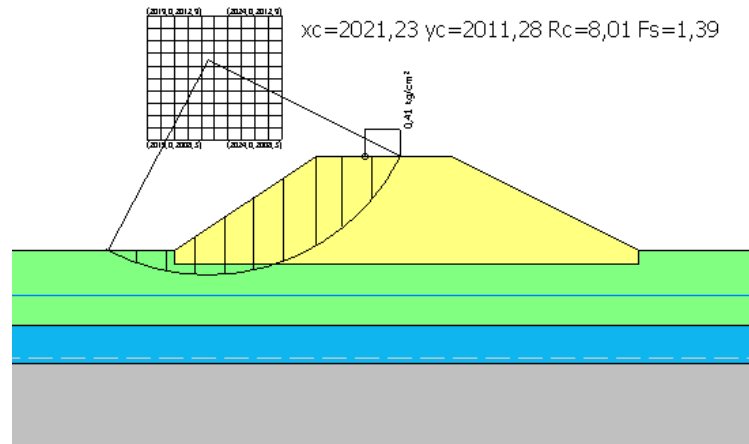
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

lato fiume

lato campagna

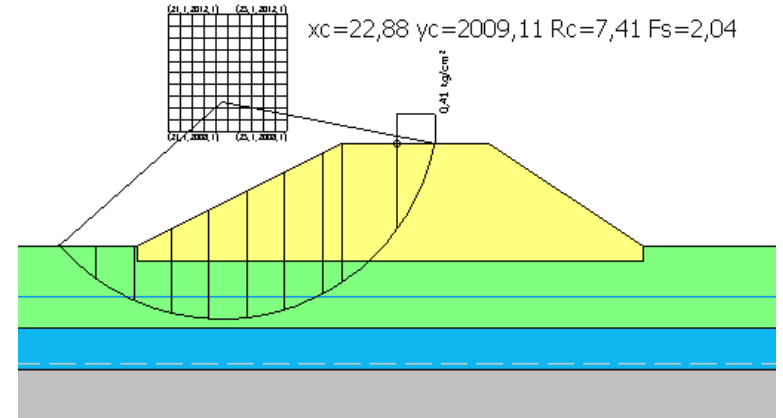
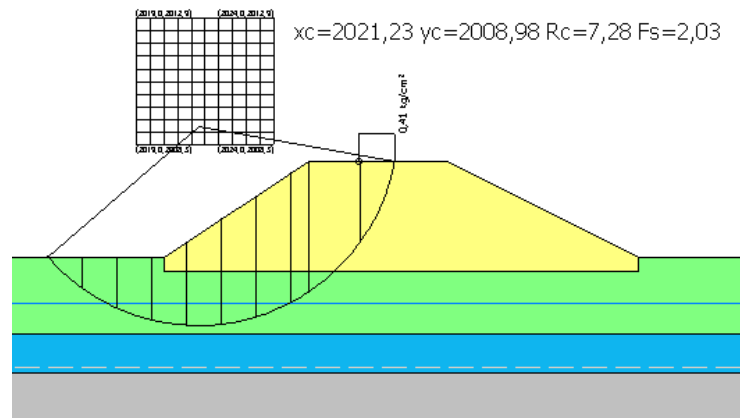


lungo termine

Fs min = 1,39

lungo termine

Fs min = 1,51



breve termine

Fs min = 2,03

breve termine

Fs min = 2,04

ZONA VIA FORNACETTA

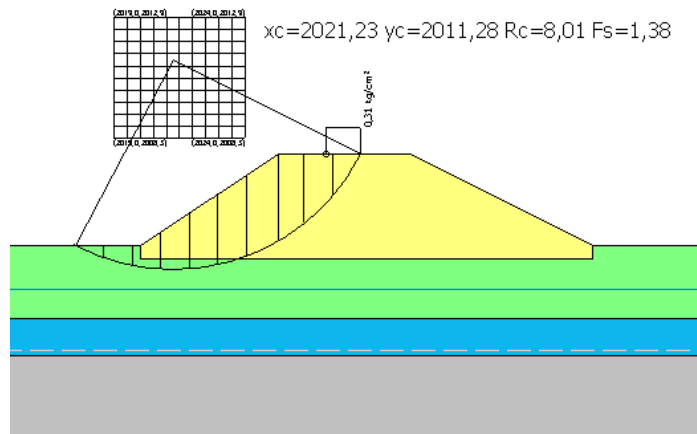
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

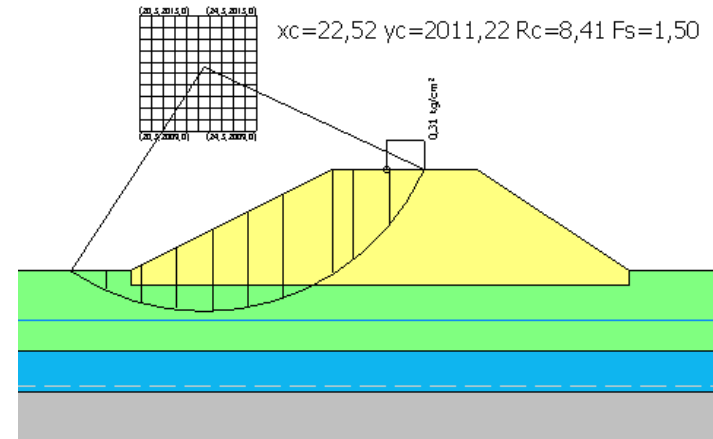
lato fiume

lato campagna



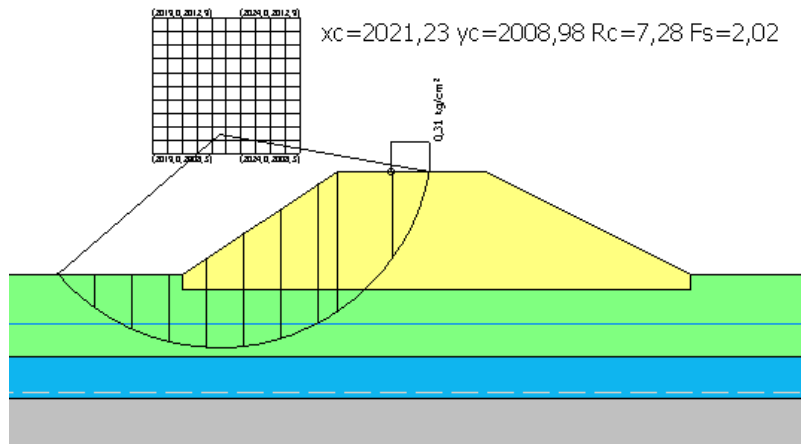
lungo termine

Fs min = 1,38



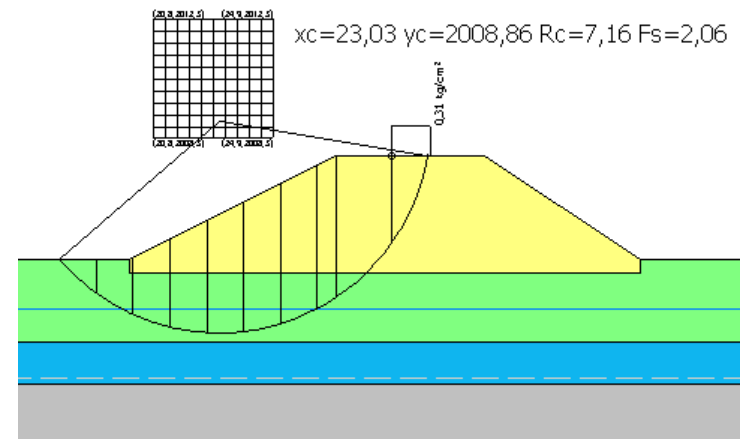
lungo termine

Fs min = 1,5



breve termine

Fs min = 2,02



breve termine

Fs min = 2,06

ZONA VIA FORNACETTA

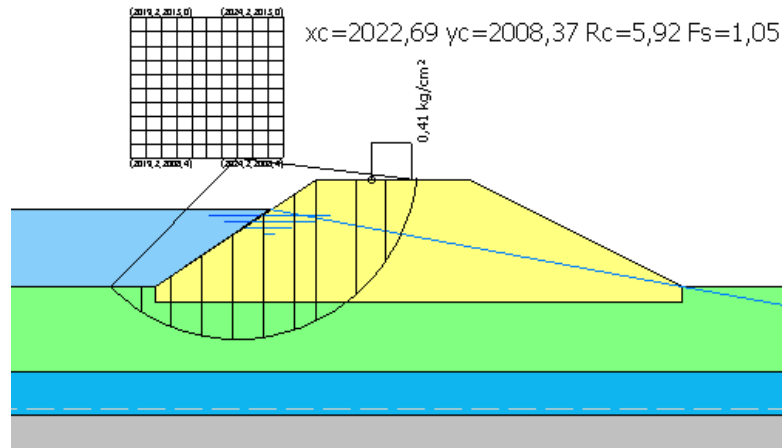
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

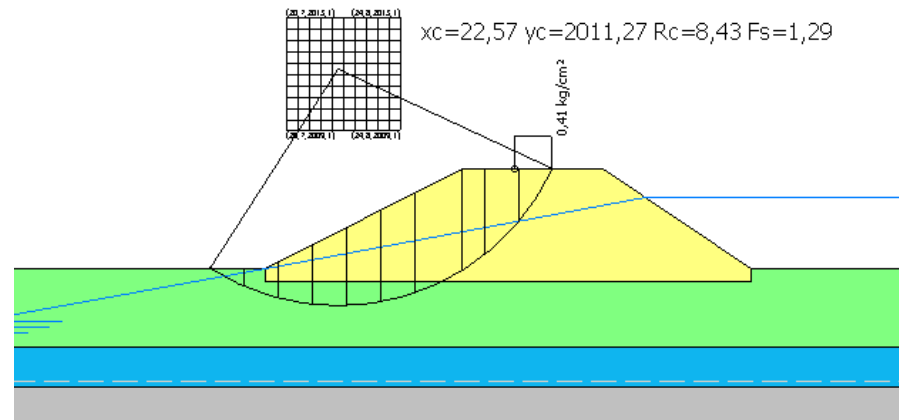
lato fiume

lato campagna



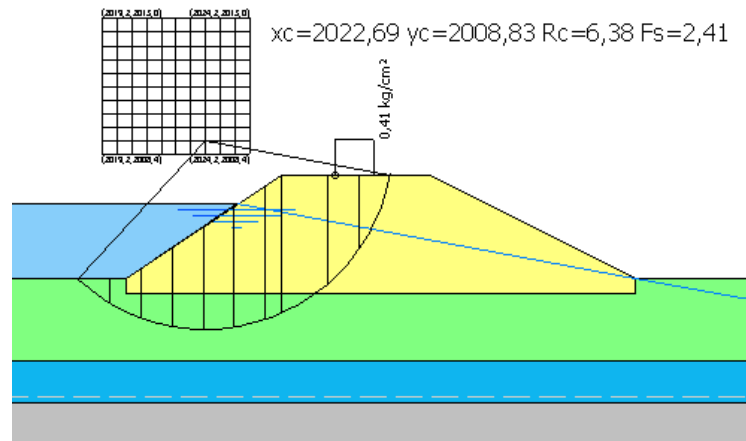
lungo termine

Fs min = 1,05



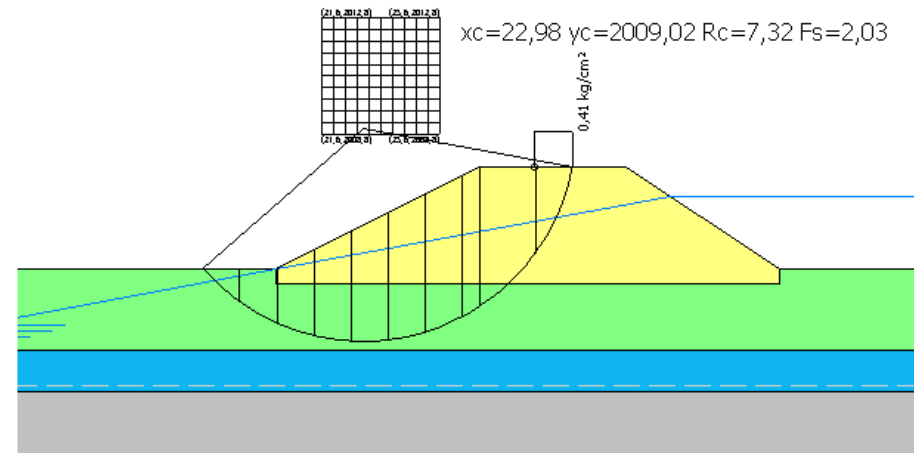
lungo termine

Fs min = 1,29



breve termine

Fs min = 2,41



breve termine

Fs min = 2,03

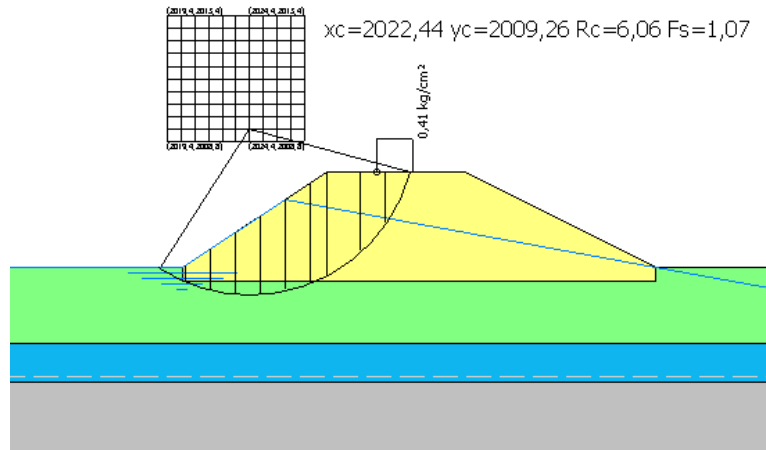
ZONA VIA FORNACETTA

RAPIDO SVASO

VERIFICHE STATICHE

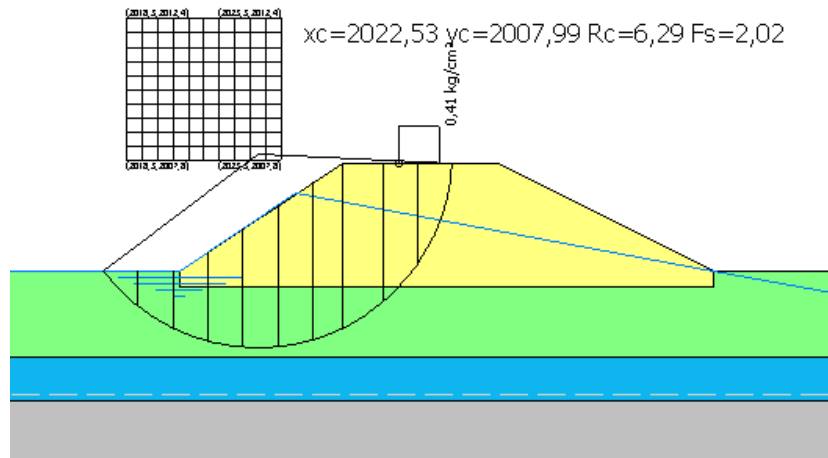
SOVRACCARICO MEZZO MANUTENZIONE E SOCCORSO

lato fiume



lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,07$



breve termine

$F_s \text{ min} = 2,02$

ZONA VIA FORNACETTA

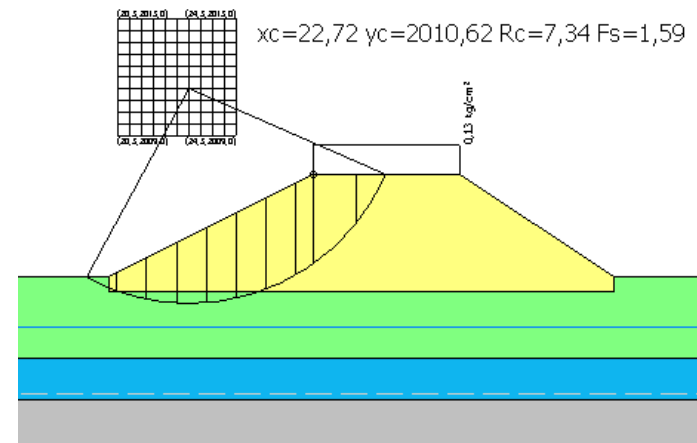
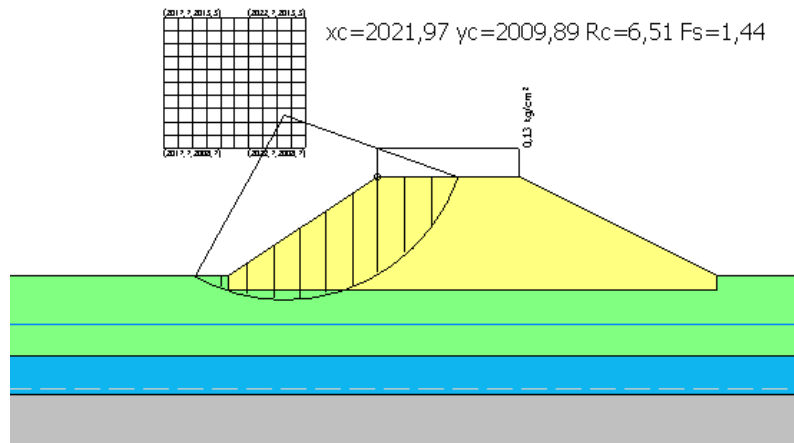
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO FOLLA

lato fiume

lato campagna

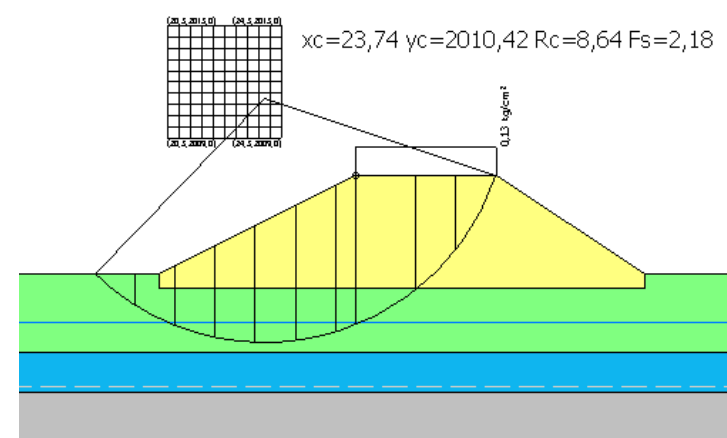
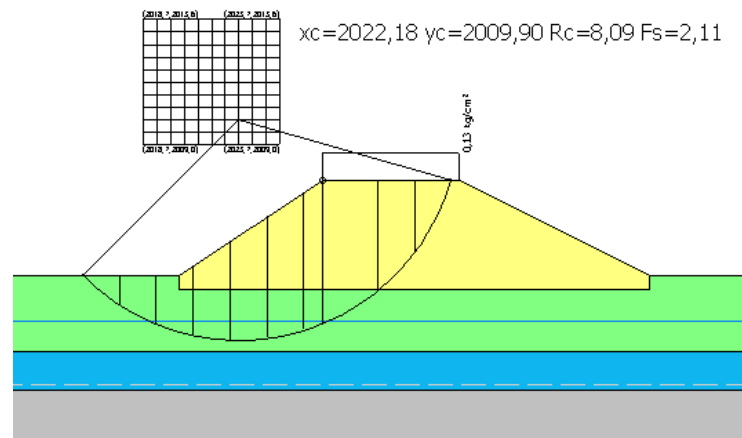


lungo termine

Fs min = 1,44

lungo termine

Fs min = 1,59



breve termine

Fs min = 2,11

breve termine

Fs min = 2,18

ZONA VIA FORNACETTA

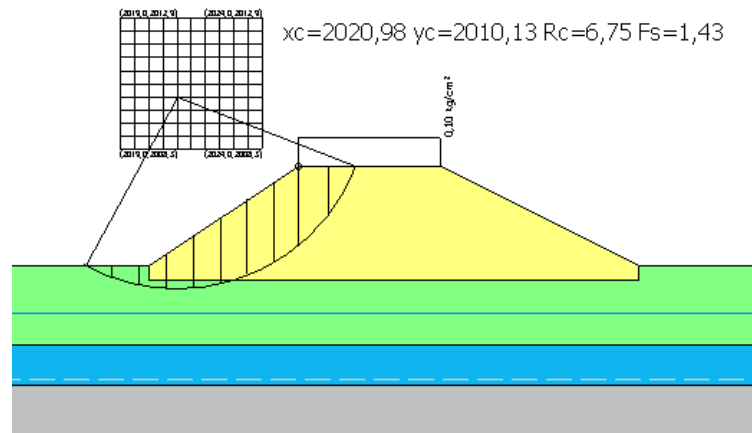
FINE OPERA → SERBATOIO VUOTO

VERIFICHE SISMICHE

SOVRACCARICO FOLLA

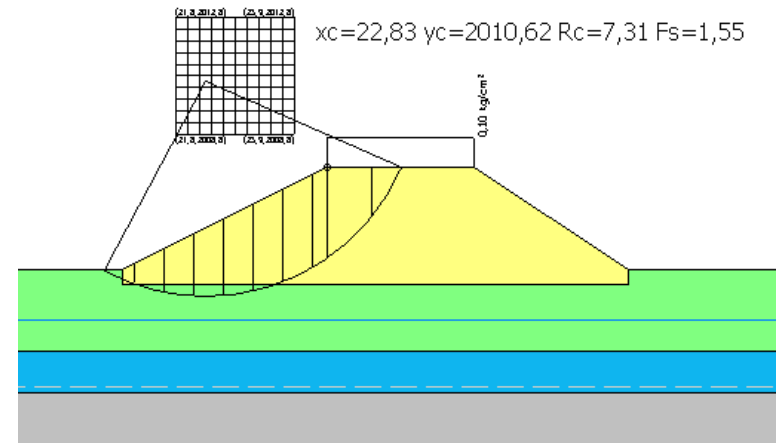
lato fiume

lato campagna



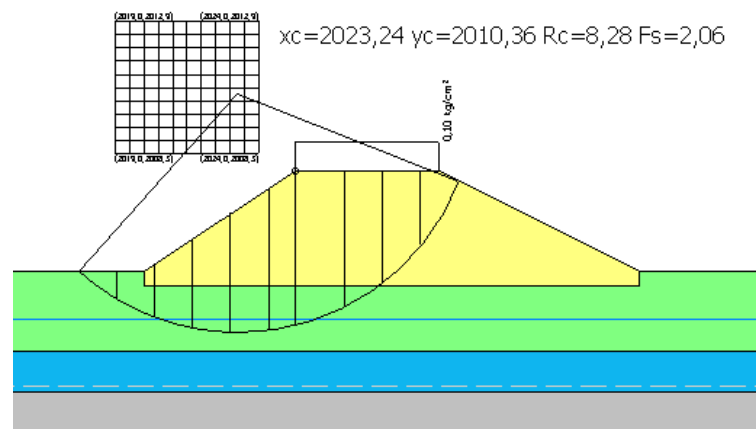
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,43$



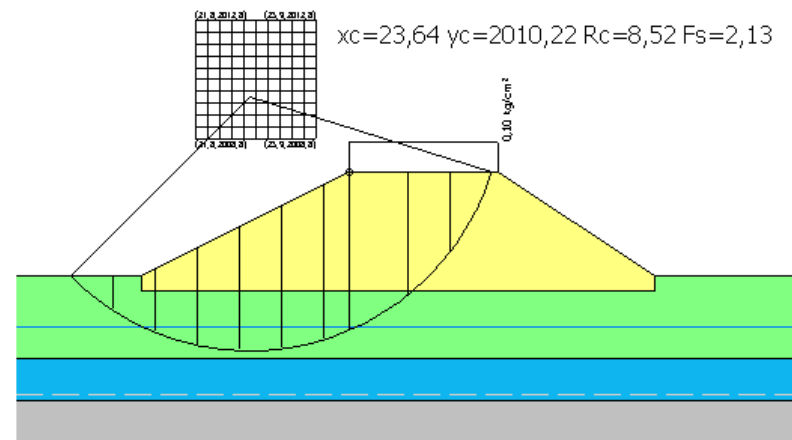
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,55$



breve termine

$F_s \text{ min} = 2,06$



breve termine

$F_s \text{ min} = 2,13$

ZONA VIA FORNACETTA

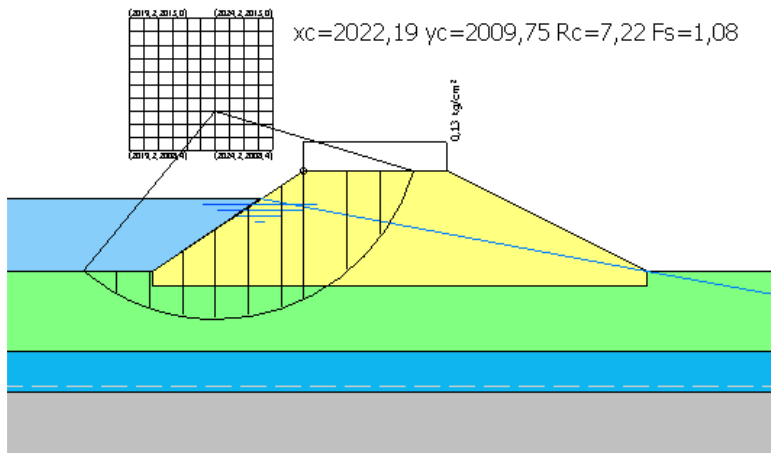
SERBATOIO PIENO

VERIFICHE STATICHE

SOVRACCARICO FOLLA

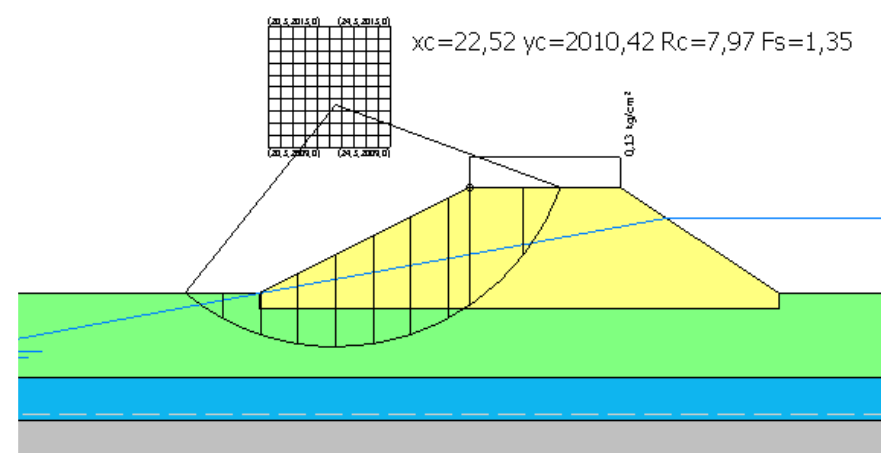
lato fiume

lato campagna



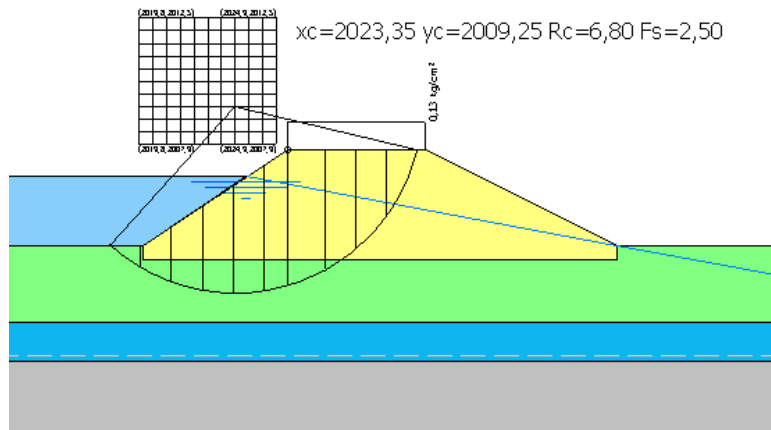
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,08$



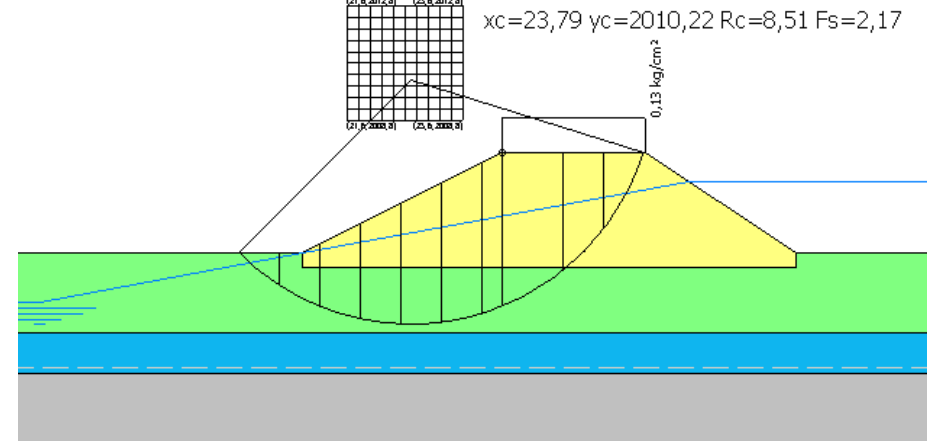
lungo termine

$F_s \text{ min} = 1,35$



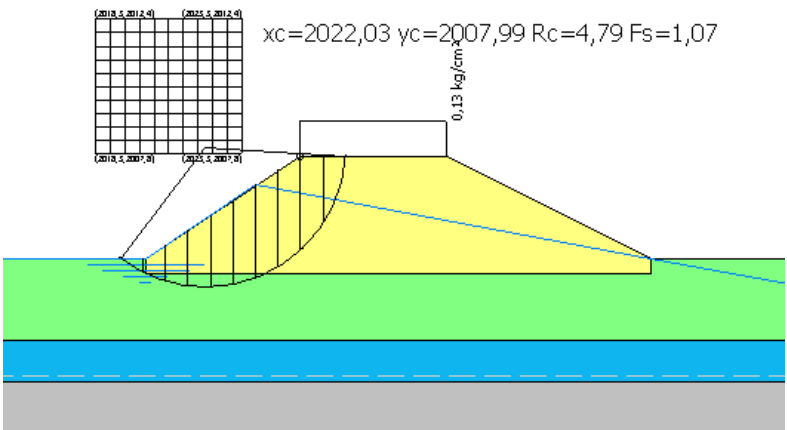
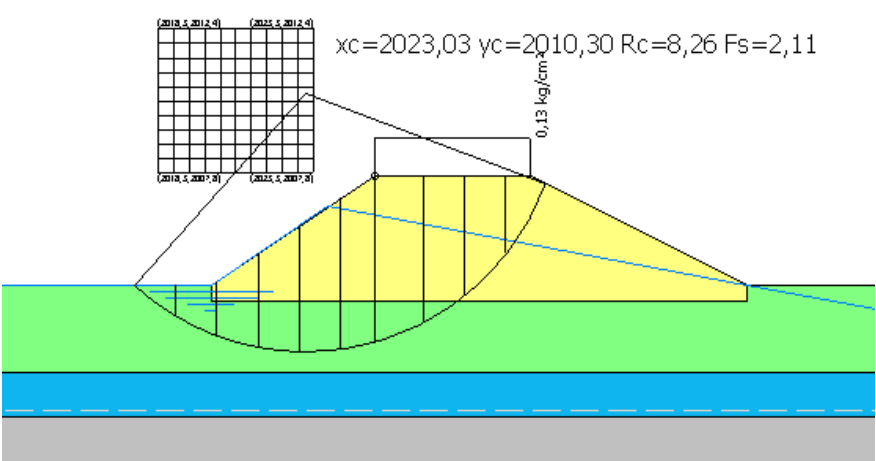
breve termine

$F_s \text{ min} = 2,5$



breve termine

$F_s \text{ min} = 2,17$

| ZONA VIA FORNACETTA | | |
|---|--------------------|--------------------|
| RAPIDO SVASO | VERIFICHE STATICHE | SOVRACCARICO FOLLA |
| lato fiume | | |
| <div><p>$x_c=2022,03$ $y_c=2007,99$ $R_c=4,79$ $F_s=1,07$</p><p>0,13 kg/cm²</p></div> <p>lungo termine $F_s \text{ min} = 1,07$</p> | | |
| <div><p>$x_c=2023,03$ $y_c=2010,30$ $R_c=8,26$ $F_s=2,11$</p><p>0,13 kg/cm²</p></div> <p>breve termine $F_s \text{ min} = 2,11$</p> | | |

ALLEGATO 6

Stima cedimenti

MOLINO NUOVO - sovraccarico assente

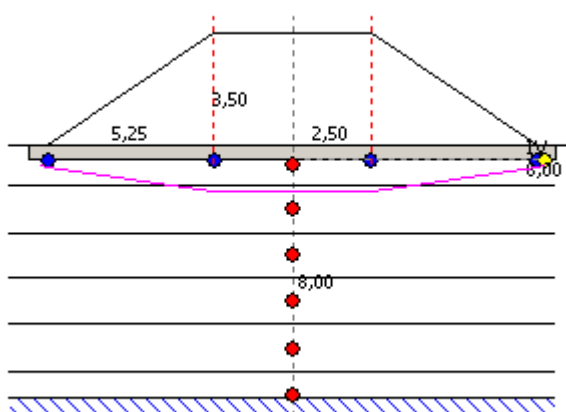
| | | |
|---------------------------------------|--------------|------------------|
| Riferimento zona | Molino Nuovo | |
| Pressione imposta in sul rilevato | 0 | t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 | m |
| Larghezza base triangolo | 3 | m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 | m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 | t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 2,7 | t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 | m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 5,1 | m |
| Altezza rilevato | 2 | m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 | t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 | t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,4 | 45 | 1 | 0,848 | 0,832 | 0,075 | 0,008 |
| 2 | 1,4 | 45 | 1 | 0,721 | 0,656 | 0,158 | 0,02 |
| 3 | 1,4 | 45 | 1 | 0,553 | 0,507 | 0,185 | 0,038 |
| 4 | 1,3 | 35 | 1 | 0,535 | 0,487 | 0,222 | 0,065 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|-------|----|
| Asse | 2,657 | cm |
| Bordo | 2,482 | cm |
| Piede | 0,64 | cm |
| IV Punto | 0,131 | cm |



MOLINO NUOVO - sovraccarico folla

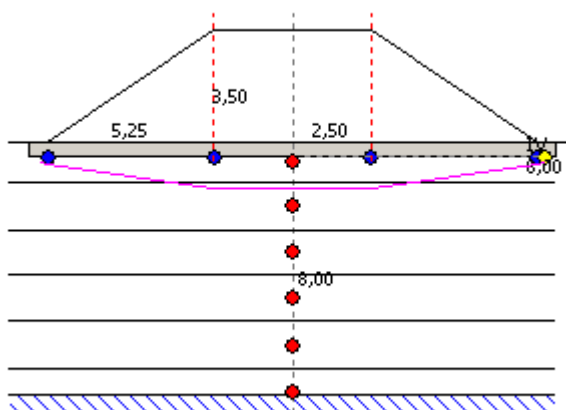
| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Riferimento zona | Molino Nuovo |
| Pressione imposta in sul rilevato | 1 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 m |
| Larghezza base triangolo | 3 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 3,7 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 5,1 m |
| Altezza rilevato | 2 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,4 | 45 | 1 | 1,161 | 1,139 | 0,102 | 0,011 |
| 2 | 1,4 | 45 | 1 | 0,987 | 0,898 | 0,216 | 0,028 |
| 3 | 1,4 | 45 | 1 | 0,756 | 0,694 | 0,253 | 0,053 |
| 4 | 1,3 | 35 | 1 | 0,733 | 0,666 | 0,304 | 0,089 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|-------|----|
| Asse | 3,637 | cm |
| Bordo | 3,397 | cm |
| Piede | 0,875 | cm |
| IV Punto | 0,181 | cm |



MOLINO NUOVO - sovraccarico mezzo manutenzione / soccorso

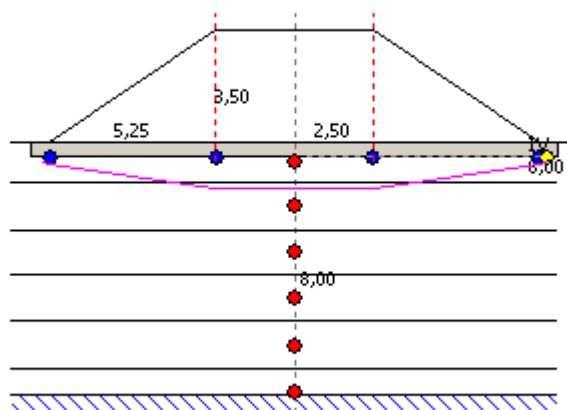
| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Riferimento zona | Molino Nuovo |
| Pressione imposta in sul rilevato | 3,14 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 m |
| Larghezza base triangolo | 3 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 5,9 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 5,1 m |
| Altezza rilevato | 2 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,4 | 45 | 1 | 1,83 | 1,795 | 0,161 | 0,017 |
| 2 | 1,4 | 45 | 1 | 1,556 | 1,415 | 0,34 | 0,044 |
| 3 | 1,4 | 45 | 1 | 1,193 | 1,095 | 0,399 | 0,083 |
| 4 | 1,3 | 35 | 1 | 1,156 | 1,051 | 0,479 | 0,14 |

Cedimenti total

| | |
|----------|----------|
| Asse | 5,735 cm |
| Bordo | 5,356 cm |
| Piede | 1,379 cm |
| IV Punto | 0,284 cm |



FORNACE CONSONNI - sovraccarico assente

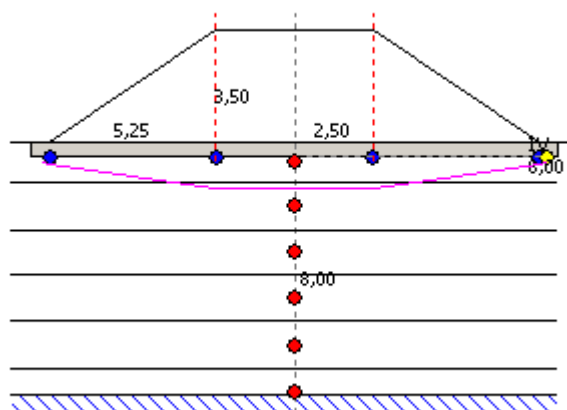
| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Riferimento zona | Fornace Consonni |
| Pressione imposta in sul rilevato | 0 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 m |
| Larghezza base triangolo | 3 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 2,7 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 5 m |
| Altezza rilevato | 2 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 34 | 1 | 1,204 | 1,172 | 0,112 | 0,012 |
| 2 | 1,5 | 34 | 1 | 0,989 | 0,904 | 0,231 | 0,031 |
| 3 | 2,5 | 34 | 1 | 1,158 | 1,058 | 0,442 | 0,113 |

Cedimenti total

| | |
|----------|----------|
| Asse | 3,351 cm |
| Bordo | 3,134 cm |
| Piede | 0,785 cm |
| IV Punto | 0,156 cm |



FORNACE CONSONNI - sovraccarico folla

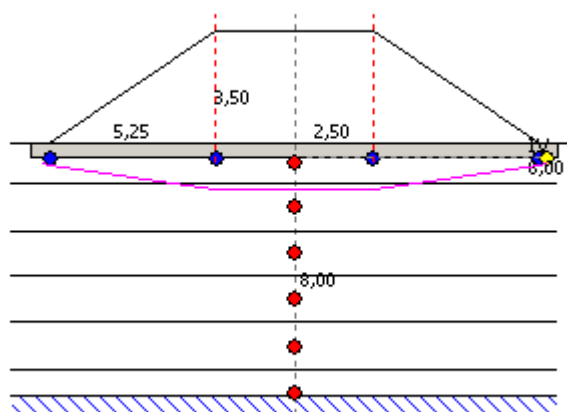
| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Riferimento zona | Fornace Consonni |
| Pressione imposta in sul rilevato | 1 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 m |
| Larghezza base triangolo | 3 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 3,7 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 5 m |
| Altezza rilevato | 2 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 34 | 1 | 1,648 | 1,605 | 0,153 | 0,016 |
| 2 | 1,5 | 34 | 1 | 1,355 | 1,237 | 0,316 | 0,043 |
| 3 | 2,5 | 34 | 1 | 1,585 | 1,448 | 0,606 | 0,155 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|-------|----|
| Asse | 4,588 | cm |
| Bordo | 4,29 | cm |
| Piede | 1,075 | cm |
| IV Punto | 0,214 | cm |



FORNACE CONSONNI - sovraccarico mezzo manutenzione / soccorso

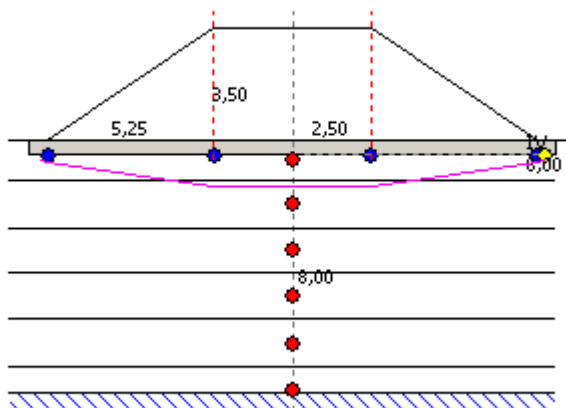
| | | |
|---------------------------------------|------------------|------------------|
| Riferimento zona | Fornace Consonni | |
| Pressione imposta in sul rilevato | 3.14 | t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 | m |
| Larghezza base triangolo | 3 | m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 | m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 | t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 5,9 | t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 | m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 5 | m |
| Altezza rilevato | 2 | m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 | t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1.9 | t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 34 | 1 | 2,598 | 2,531 | 0,242 | 0,025 |
| 2 | 1,5 | 34 | 1 | 2,136 | 1,951 | 0,498 | 0,067 |
| 3 | 2.5 | 34 | 1 | 2,5 | 2,283 | 0,955 | 0,244 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|-------|----|
| Asse | 7,234 | cm |
| Bordo | 6,765 | cm |
| Piede | 1,695 | cm |
| IV Punto | 0,336 | cm |



CASCINA CATTAFAME - sovraccarico assente

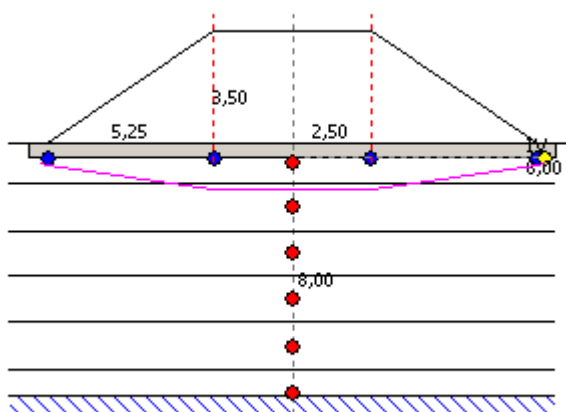
| Riferimento zona | Cascina Cattafame |
|---------------------------------------|----------------------|
| Pressione imposta in sul rilevato | 0 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 m |
| Larghezza base triangolo | 4,48 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 3,8 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 8 m |
| Altezza rilevato | 3 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 34 | 1 | 1,68 | 1,677 | 0,105 | 0,025 |
| 2 | 1,5 | 34 | 1 | 1,399 | 1,355 | 0,234 | 0,105 |
| 3 | 1,5 | 34 | 1 | 1,089 | 1,067 | 0,291 | 0,167 |
| 4 | 1,5 | 34 | 1 | 0,891 | 0,86 | 0,308 | 0,201 |
| 5 | 1,5 | 34 | 1 | 0,751 | 0,712 | 0,304 | 0,215 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|-------|----|
| Asse | 5,81 | cm |
| Bordo | 5,671 | cm |
| Piede | 1,242 | cm |
| IV Punto | 0,713 | cm |



CASCINA CATTAFAME - sovraccarico folla

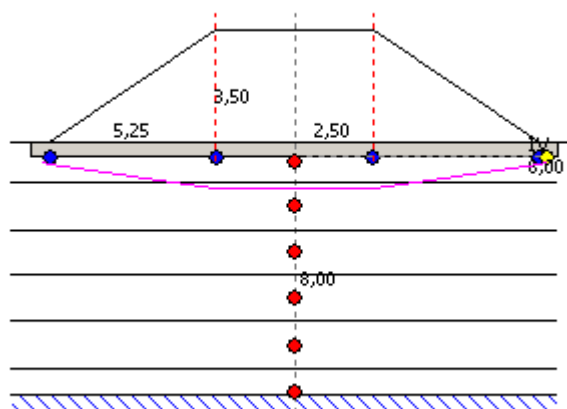
| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Riferimento zona | Cascina Cattafame |
| Pressione imposta in sul rilevato | 1 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 m |
| Larghezza base triangolo | 4,48 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 4,8 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 8 m |
| Altezza rilevato | 3 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 34 | 1 | 2,124 | 2,121 | 0,133 | 0,032 |
| 2 | 1,5 | 34 | 1 | 1,769 | 1,714 | 0,296 | 0,132 |
| 3 | 1,5 | 34 | 1 | 1,377 | 1,349 | 0,368 | 0,211 |
| 4 | 1,5 | 34 | 1 | 1,127 | 1,087 | 0,389 | 0,255 |
| 5 | 1,5 | 34 | 1 | 0,949 | 0,901 | 0,384 | 0,272 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|-------|----|
| Asse | 7,346 | cm |
| Bordo | 7,172 | cm |
| Piede | 1,57 | cm |
| IV Punto | 0,902 | cm |



CASCINA CATTAFAME - sovraccarico mezzo manutenzione / soccorso

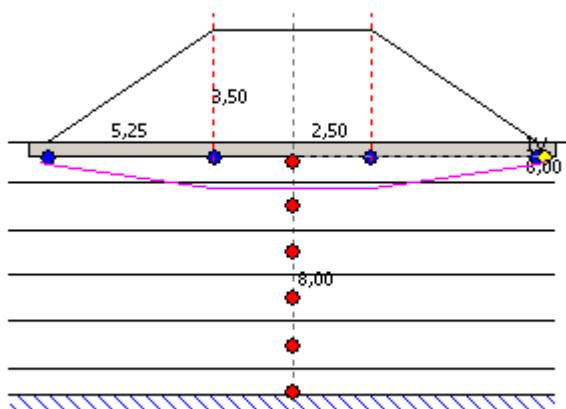
| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Riferimento zona | Cascina Cattafame |
| Pressione imposta in sul rilevato | 3,14 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2 m |
| Larghezza base triangolo | 4,48 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,8 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 6,9 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 7,5 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 8 m |
| Altezza rilevato | 3 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 34 | 1 | 3,076 | 3,07 | 0,192 | 0,046 |
| 2 | 1,5 | 34 | 1 | 2,561 | 2,481 | 0,428 | 0,191 |
| 3 | 1,5 | 34 | 1 | 1,993 | 1,953 | 0,533 | 0,306 |
| 4 | 1,5 | 34 | 1 | 1,632 | 1,574 | 0,563 | 0,368 |
| 5 | 1,5 | 34 | 1 | 1,374 | 1,304 | 0,556 | 0,394 |

Cedimenti total

| | |
|----------|-----------|
| Asse | 10,636 cm |
| Bordo | 10,382 cm |
| Piede | 2,272 cm |
| IV Punto | 1,305 cm |



ZONA VIA FORNACETTA - sovraccarico assente

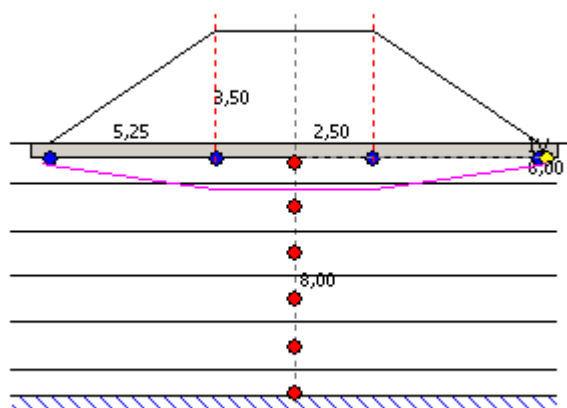
| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Riferimento zona | Fornacetta |
| Pressione imposta in sul rilevato | 0 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2,5 m |
| Larghezza base triangolo | 5,25 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,83 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 4,4 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 8 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 8 m |
| Altezza rilevato | 3,5 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1.3 | 41 | 1 | 1,409 | 1,433 | 0,069 | 0,042 |
| 2 | 1.5 | 41 | 1 | 1,554 | 1,441 | 0,198 | 0,163 |
| 3 | 1.4 | 59 | 1 | 0,795 | 0,772 | 0,173 | 0,152 |
| 4 | 1.5 | 36 | 1 | 1,162 | 1,126 | 0,34 | 0,309 |
| 5 | 1.5 | 36 | 1 | 0,989 | 0,945 | 0,351 | 0,325 |
| 6 | 1.4 | 36 | 1 | 0,803 | 0,759 | 0,324 | 0,304 |

Cedimenti total

| | |
|----------|----------|
| Asse | 6,712 cm |
| Bordo | 6,476 cm |
| Piede | 1,455 cm |
| IV Punto | 1,295 cm |



ZONA VIA FORNACETTA - sovraccarico folla

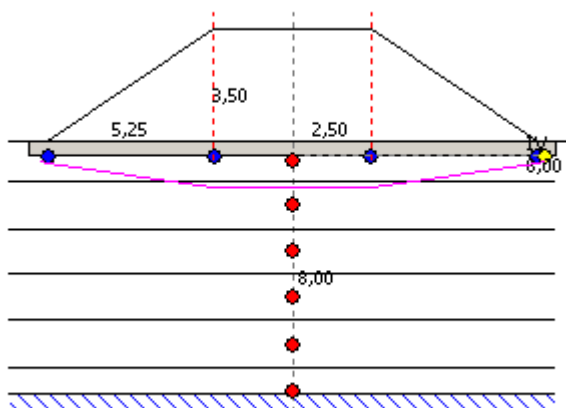
| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Riferimento zona | Fornacetta |
| Pressione imposta in sul rilevato | 1 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2,5 m |
| Larghezza base triangolo | 5,25 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,83 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 5,4 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 8 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 8 m |
| Altezza rilevato | 3,5 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1.3 | 41 | 1 | 1,727 | 1,756 | 0,084 | 0,052 |
| 2 | 1.5 | 41 | 1 | 1,904 | 1,766 | 0,243 | 0,2 |
| 3 | 1.4 | 59 | 1 | 0,974 | 0,946 | 0,212 | 0,187 |
| 4 | 1.5 | 36 | 1 | 1,425 | 1,379 | 0,417 | 0,378 |
| 5 | 1.5 | 36 | 1 | 1,212 | 1,158 | 0,431 | 0,398 |
| 6 | 1.4 | 36 | 1 | 0,985 | 0,93 | 0,398 | 0,372 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|-------|----|
| Asse | 8,227 | cm |
| Bordo | 7,935 | cm |
| Piede | 1,785 | cm |
| IV Punto | 1,587 | cm |



ZONA VIA FORNACETTA - sovraccarico mezzo manutenzione / soccorso

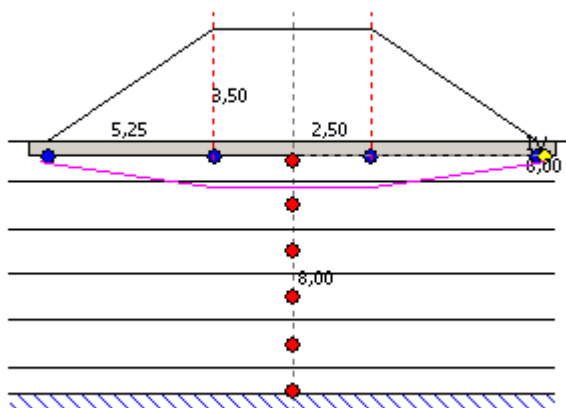
| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Riferimento zona | Fornacetta |
| Pressione imposta in sul rilevato | 3.14 t/m ² |
| 1/2 Larghezza rettangolo | 2,5 m |
| Larghezza base triangolo | 5,25 m |
| Imposta piano di posa sbancamento | 0,5 m |
| Peso unità volume sbancamento | 1,83 t/m ³ |
| Incremento netto al piano di posa | 7,6 t/m ² |
| Distanza asse - IV punto a scelta | 8 m |
| DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO | 8 m |
| Altezza rilevato | 3,5 m |
| Peso unità volume rilevato | 1,9 t/m ³ |
| Peso unità volume fondazione rilevato | 1,9 t/m ³ |

Cedimenti per ogni strato

| Strato | Spessore DH strato m | Modulo edometrico Kg/cm ² | Grado di consolidazi one OCR | Asse (cm) | Bordo esterno (cm) | Piede (cm) | IV Punto (cm) |
|--------|----------------------------|--|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1.3 | 41 | 1 | 2,408 | 2,448 | 0,117 | 0,072 |
| 2 | 1.5 | 41 | 1 | 2,654 | 2,462 | 0,339 | 0,279 |
| 3 | 1.4 | 59 | 1 | 1,358 | 1,319 | 0,296 | 0,26 |
| 4 | 1.5 | 36 | 1 | 1,986 | 1,923 | 0,582 | 0,527 |
| 5 | 1.5 | 36 | 1 | 1,689 | 1,615 | 0,6 | 0,555 |
| 6 | 1.4 | 36 | 1 | 1,372 | 1,296 | 0,554 | 0,519 |

Cedimenti total

| | | |
|----------|--------|----|
| Asse | 11,467 | cm |
| Bordo | 11,063 | cm |
| Piede | 2,488 | cm |
| IV Punto | 2,212 | cm |



ALLEGATO 7

Relazione Geologica-Geotecnica a supporto del progetto definitivo



*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
web: 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 | R4 |
| | | | 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.

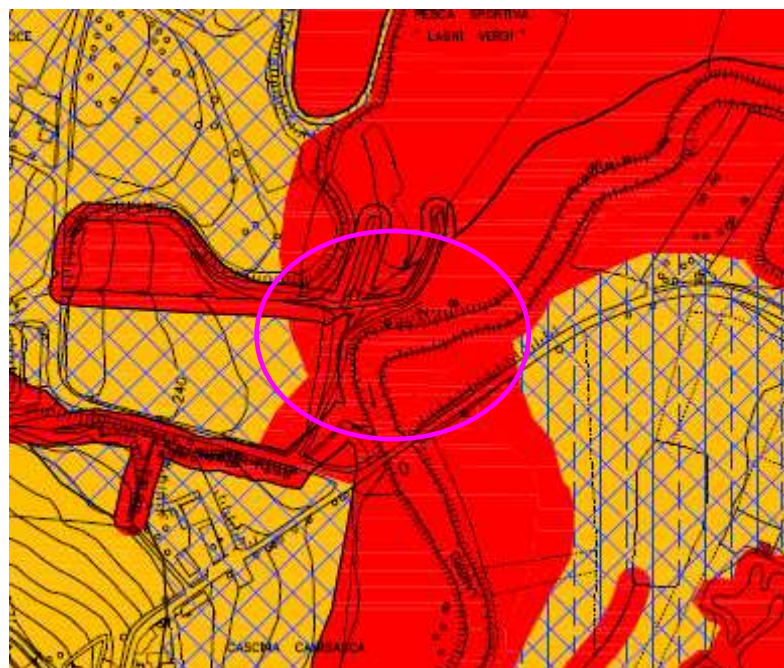
Per quanto riguarda tali aspetti, compreso la definizione di compatibilità idraulica dell'opera rispetto alla Normativa del Pai e quindi alla Classe 4 di fattibilità geologica, si rimanda agli elaborati redatti dalla società incaricata.



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



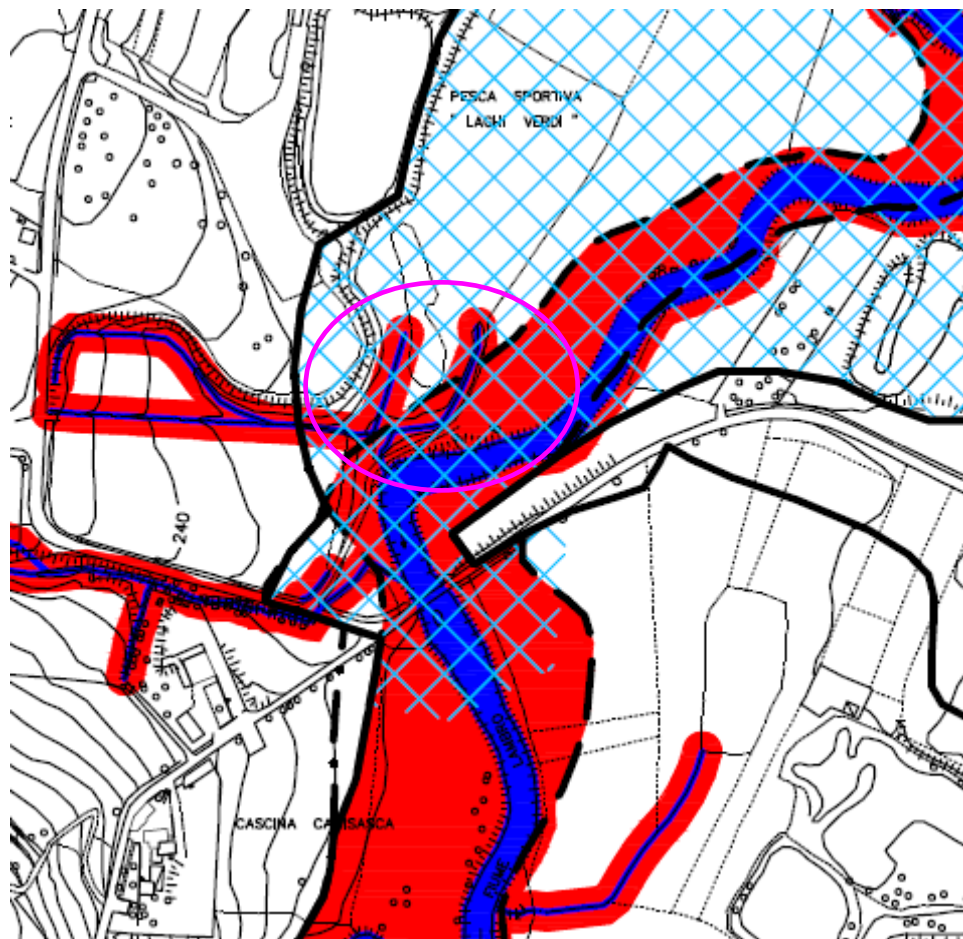
PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

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

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

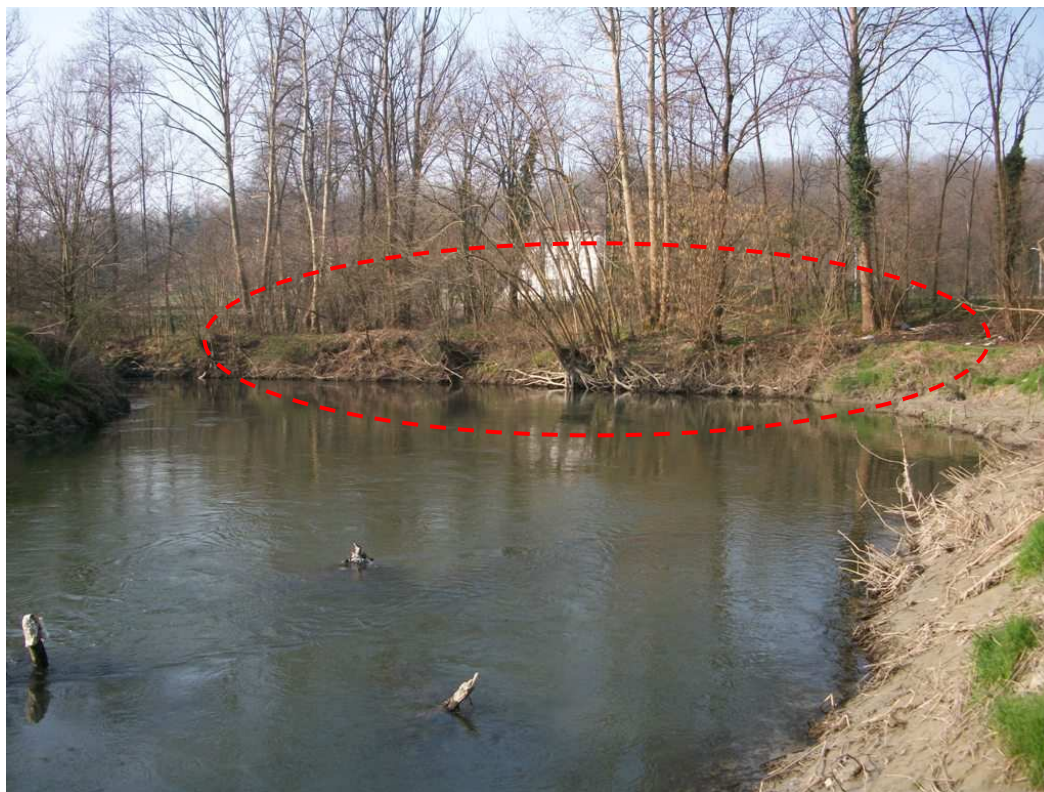


3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

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

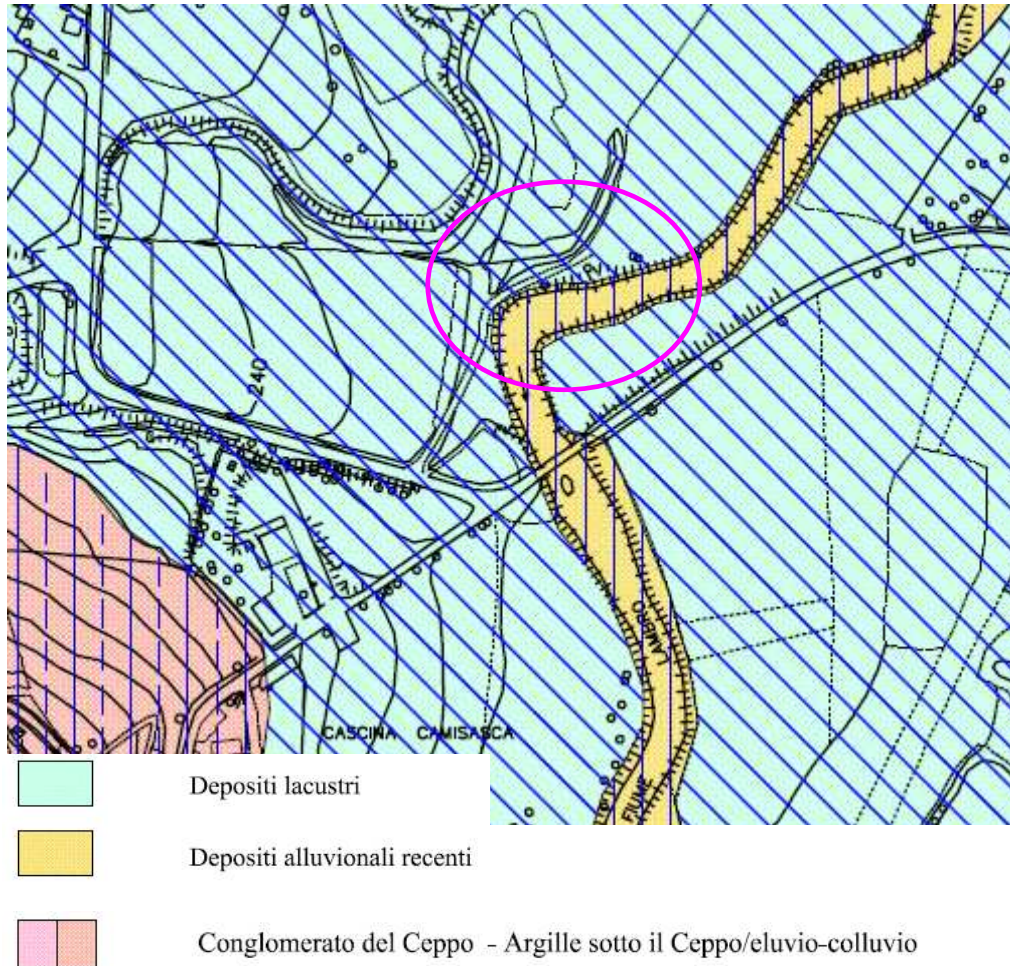


PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

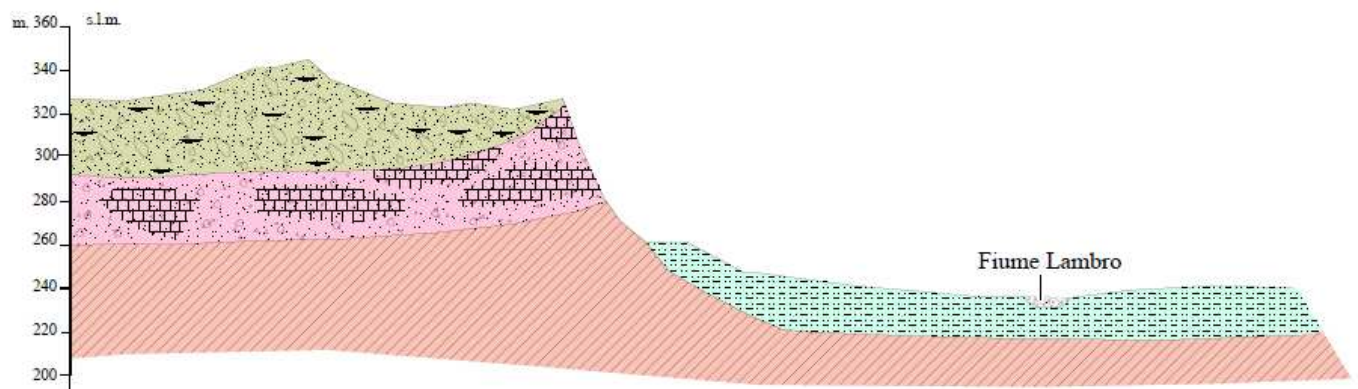
Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"
Progetto Definitivo

Dott. Pietro Alborghetti
geologo

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

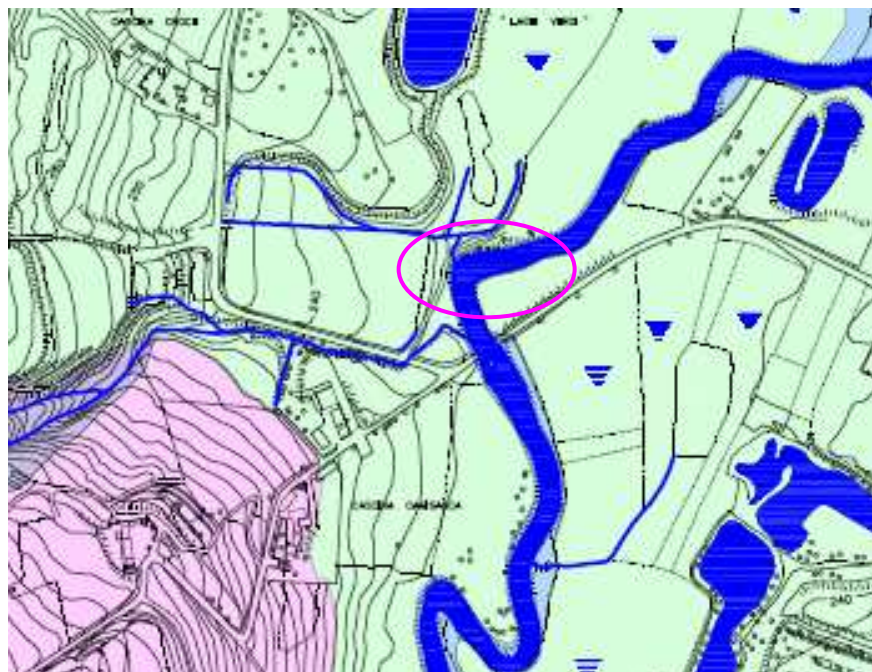
Dott. Pietro Alborghetti
geologo

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 ² |
| 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"

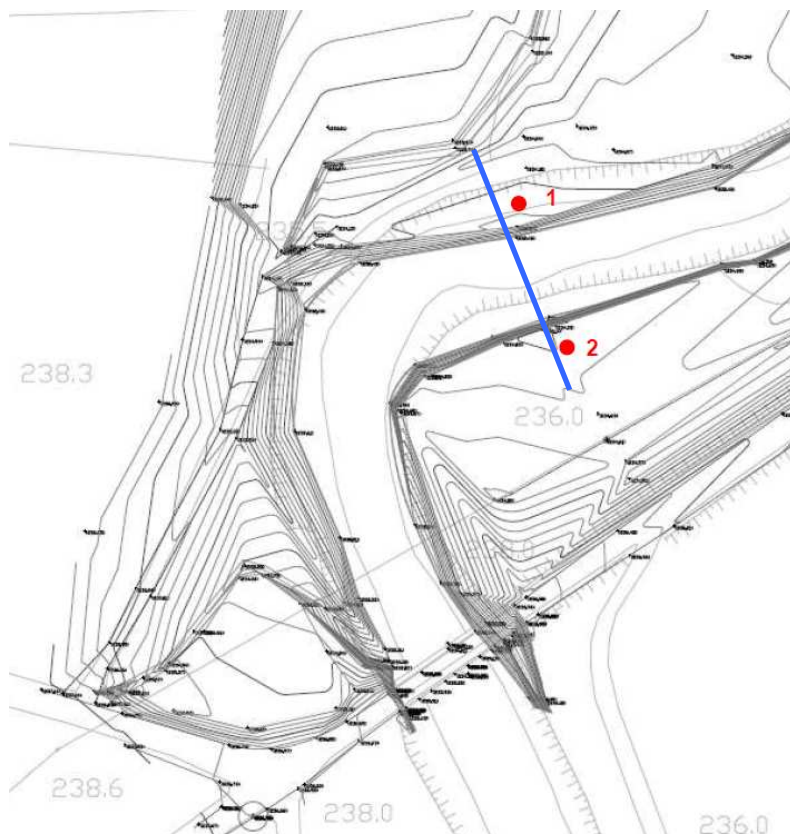
Progetto Definitivo

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 ³) | Peso unità di volume saturo (t/m ³) | Angolo di resistenza al taglio (°) | Coesione non drenata (Kg/cm ²) | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) | Modulo Elastico (Kg/cm ²) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm ²) |
|--------|-------------|-------|------------|--|---|------------------------------------|--|---|---------------------------------------|----------------|--|
| 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

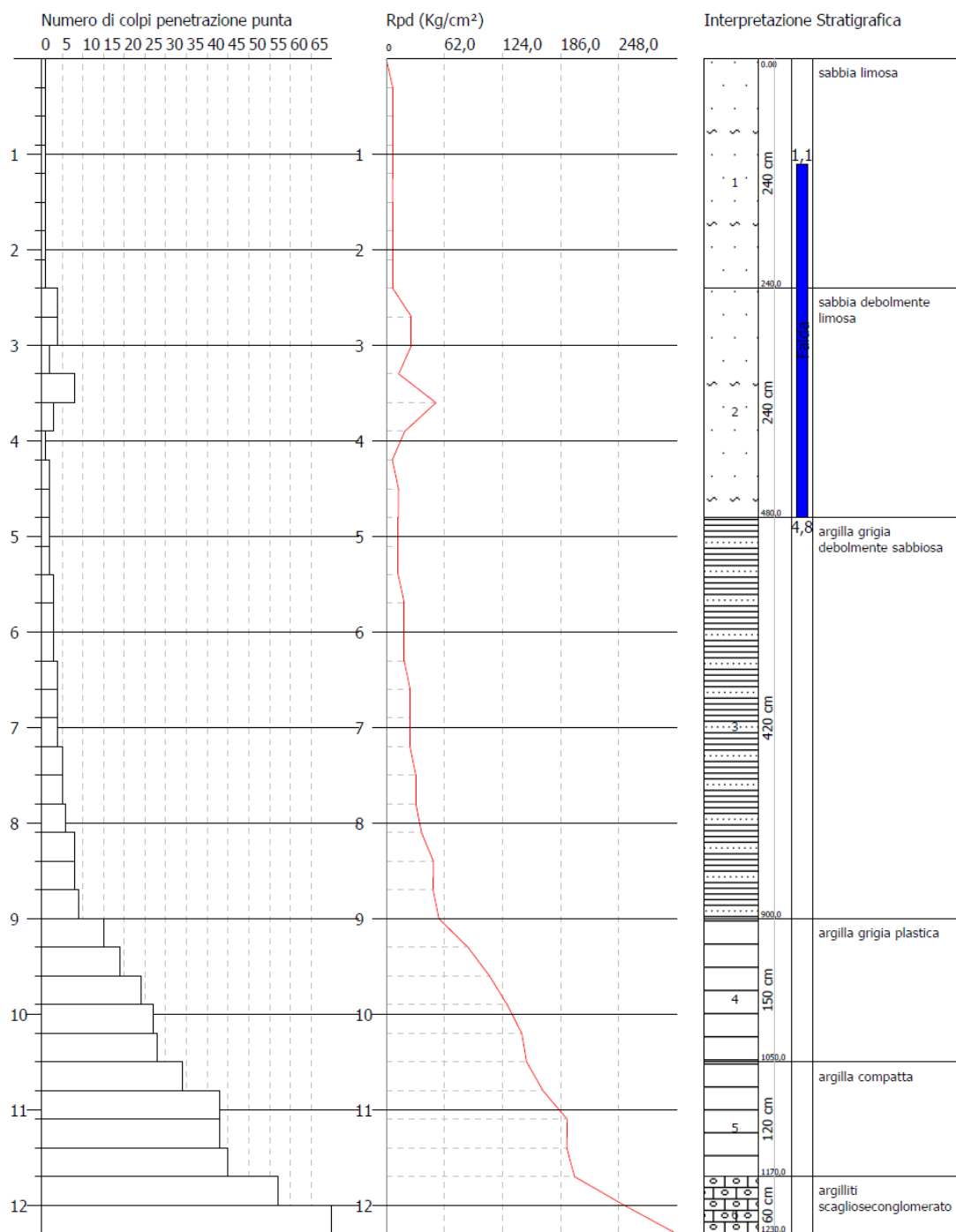
Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"
Progetto Definitivo

Dott. Pietro Alborghetti
geologo

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

Committente:
Cantiere: Ponte ciclopeditonale
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"

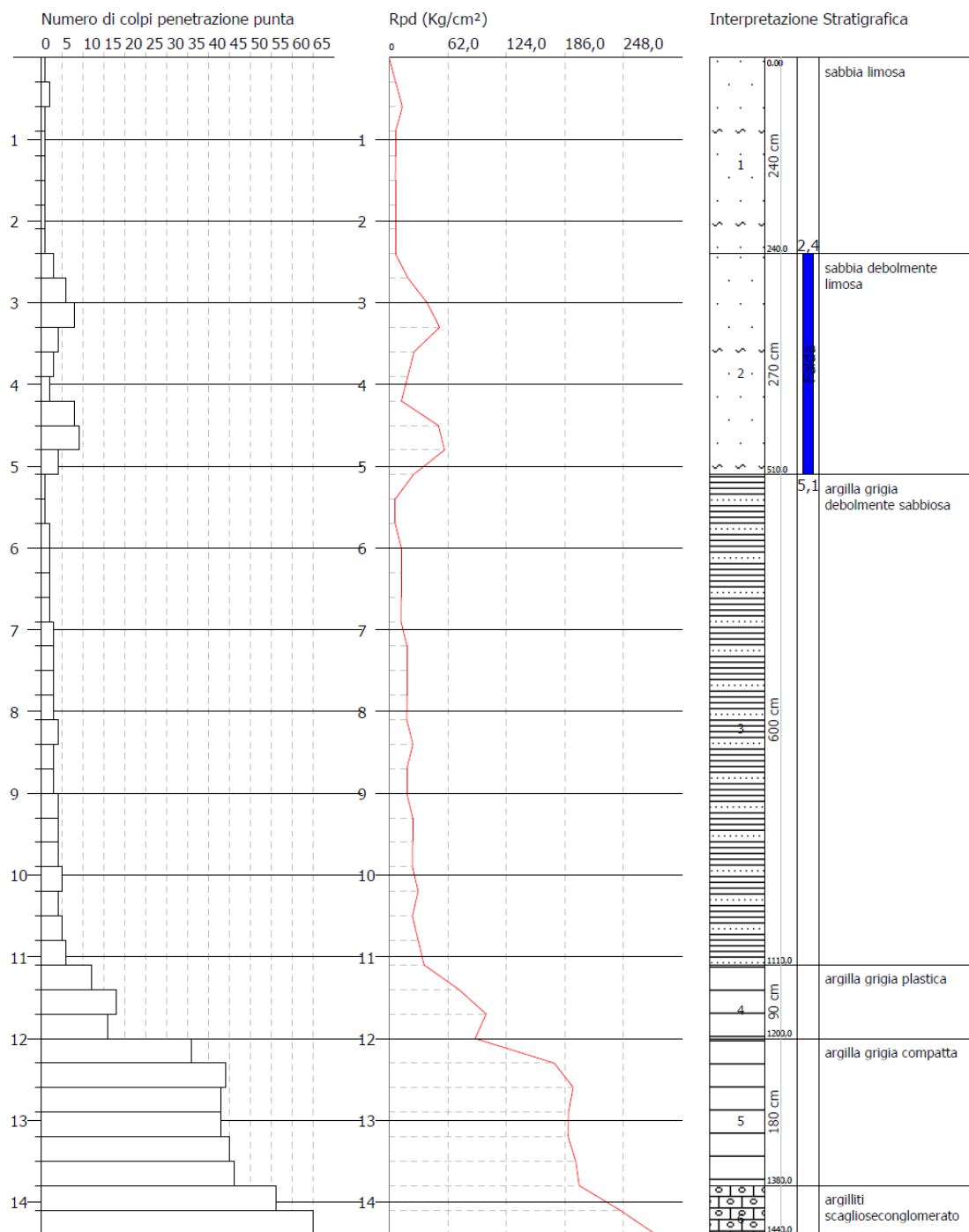
Progetto Definitivo

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.

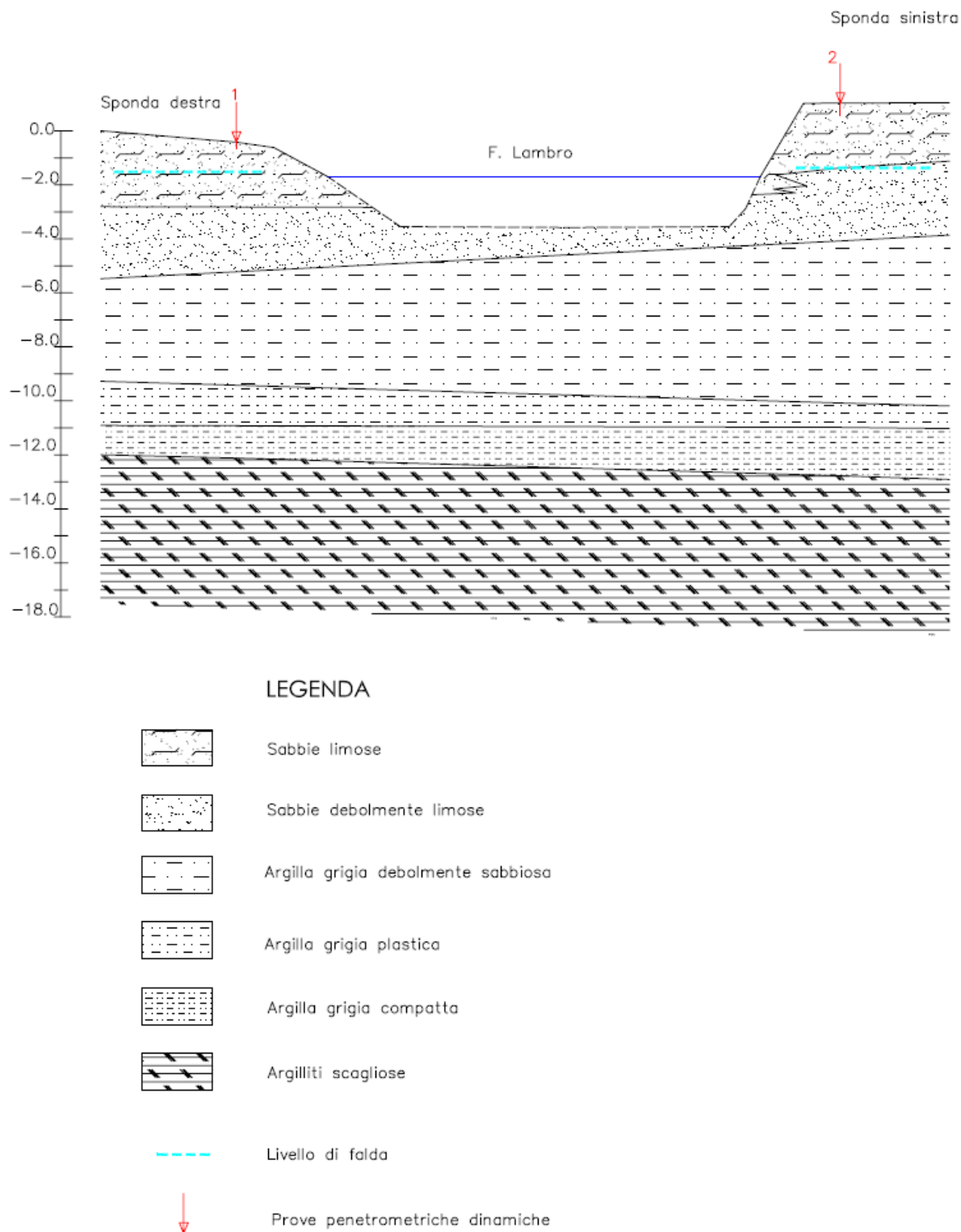
| Strato | Prof. (m) | Nspt | Tipo | Peso unità di volume (t/m ³) | Peso unità di volume saturo (t/m ³) | Angolo di resistenza al taglio medio (°) | Coesione non drenata (Kg/cm ²) | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) | Modulo Elastico (Kg/cm ²) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm ²) |
|--------|--------------------------|------|--|--|---|--|--|---|---------------------------------------|----------------|--|
| 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** : ≥ 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 | ≥ 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 cm²
- Volata maglio 75,00 cm
- Angolo punta conica 60°
- Energia specifica per colpo 8,932941 Kg/cm²

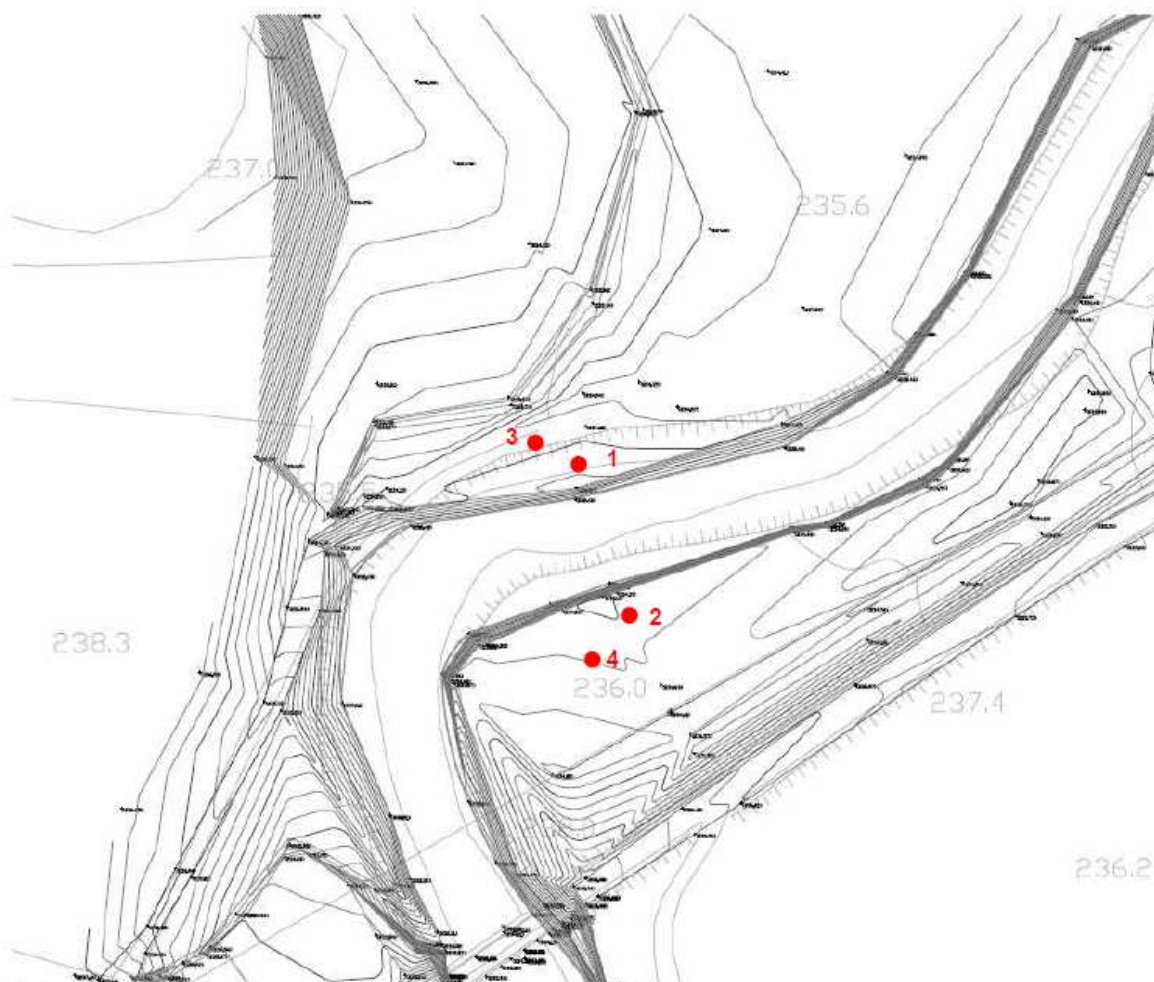


Di seguito si riporta la sintesi dei risultati delle prove penetrometriche n. 3 e n. 4.

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 -



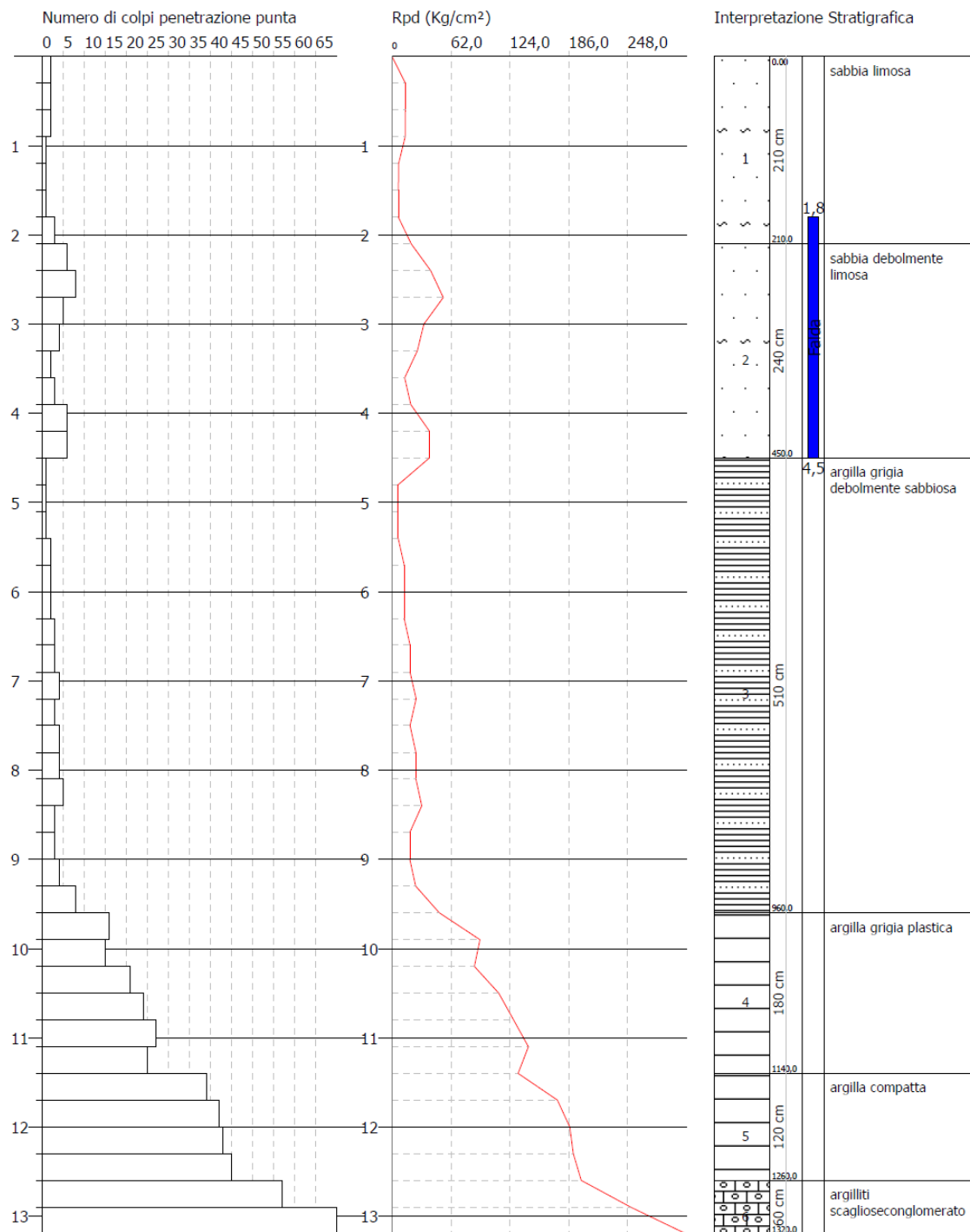
PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

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

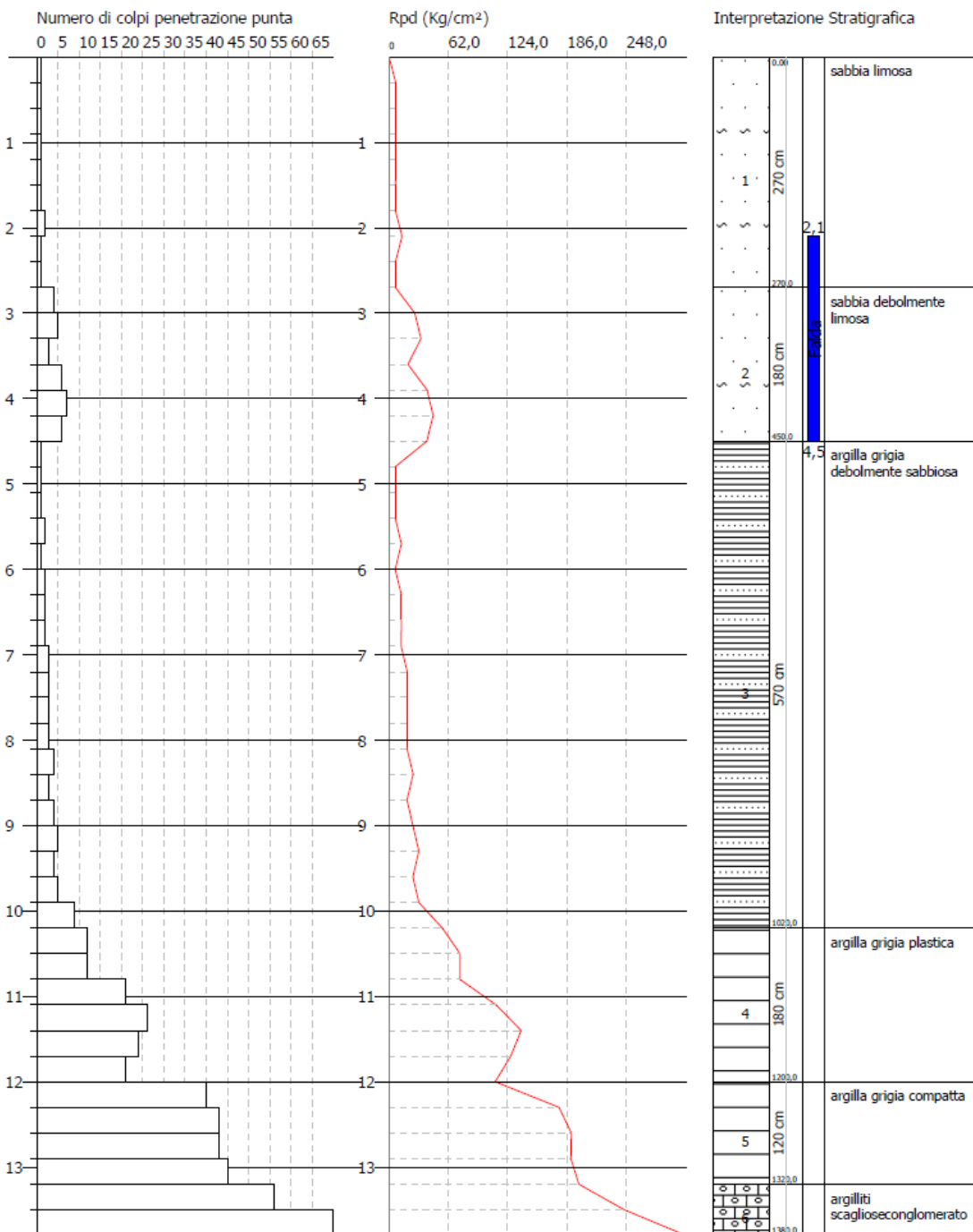
Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo – Interventi idraulici e di riqualificazione fluviale nei territori di Inverigo, Nibionno e Veduggio con Colzano"
Progetto Definitivo

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 T/m ³ | Angolo att. ϕ ° | Modulo edom. Kg/cm ² | Modulo elastico Kg/cm ² | 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 T/m ³ | Angolo att. ϕ ° | Modulo edom. Kg/cm ² | Modulo elastico Kg/cm ² | 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 T/m ³ | Cu Kg/cm ² | Modulo edom. Kg/cm ² | Modulo elastico Kg/cm ² | 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 T/m ³ | Cu Kg/cm ² | Modulo edom. Kg/cm ² | Modulo elastico Kg/cm ² | 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 T/m ³ | Cu Kg/cm ² | Modulo edom. Kg/cm ² | Modulo elastico Kg/cm ² | 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 T/m ³ | Angolo att. ϕ ° | Modulo edom. Kg/cm ² | Modulo elastico Kg/cm ² | Modulo Poisson |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 2,50 | 45,11 | 628,49 | 832,50 | 0,23 |

Parametri geotecnici ed elastici medi

| UNITA' LITOTECNICA | Gamma (t/m ³) | Fi (°) | Cu (Kg/cm ²) | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) | Modulo Elastico (Kg/cm ²) | 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 |

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 ϕ' sono definiti dalla seguente relazione:

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

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

dove :

ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo d'attrito interno;

c'_k = valore caratteristico della coesione;

ϕ'_m = valore medio dell'angolo d'attrito;

c'_m = valore medio della coesione;

V_ϕ , 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 (γ) // (Kg/cm ²) | Media (γ) | Deviazione standard | Valore caratteristico |
|----------------|---|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | ϕ' : 27,29; 27,32; 27,49; 27,32 | 27,36 | 0,09 | 27°,21 |
| 2 | ϕ' : 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 ² |
| 4 | Cu: 1,53; 1,44; 1,04; 1,31 | 1,33 | 0,21 | 0,98 Kg/cm ² |
| 5 | Cu: 2,78; 2,85; 2,89; 2,89 | 2,85 | 0,05 | 2,77 Kg/cm ² |
| 6 | ϕ' : 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 ²) | Mediana (Kg/cm ²) | Valori caratteristico |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 | E : 51,20; 53,47; 51,58; 51,55 | 51,56 | 51,56 Kg/cm² |
| | Eed : 41,54; 44,05; 41,96; 41,93 | 41,94 | 41,94 Kg/cm² |
| 2 | E : 58,40; 64,00; 64,70; 64,54 | 64,27 | 64,27 Kg/cm² |
| | Eed : 49,51; 55,70; 56,48; 56,30 | 56,00 | 56,00 Kg/cm² |
| 3 | E : 47,10; 31,20; 32,00; 30,50 | 31,60 | 31,60 Kg/cm² |
| | Eed : 21,61; 14,32; 14,68; 13,99 | 14,50 | 14,50 Kg/cm² |
| 4 | E : 226,00; 213,00; 153,30; 193,30 | 203,30 | 203,30 Kg/cm² |
| | Eed : 103,69; 97,86; 70,33; 88,69 | 93,27 | 93,27 Kg/cm² |
| 5 | E : 412,50; 422,50; 428,30; 427,50 | 425,00 | 425,00 Kg/cm² |
| | Eed : 189,26; 193,84; 196,50; 196,14 | 194,99 | 194,99 Kg/cm² |
| 6 | E : 858,00; 840,00; 798,00; 834,00 | 837,00 | 837,00 Kg/cm² |
| | Eed : 748,02; 731,76; 707,83; 726,34 | 729,05 | 729,05 Kg/cm² |



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 m/sec ² | Beta |
|--------------|-------|-------|-------|--------------|-----------------|----------------------------|-------|
| SLO | 1,600 | 2,160 | 1,000 | 0,009 | 0,005 | 0,457 | 0,200 |
| SLD | 1,600 | 2,080 | 1,000 | 0,011 | 0,006 | 0,541 | 0,200 |
| SLV | 1,600 | 1,850 | 1,000 | 0,021 | 1. 0,010 | 1,026 | 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



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 ²) | S'vo (Kg/cm ²) | 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 γ_F | EQU | (A1) STR | (A2) GEO |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|-----|----------|----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{G1} | 0.9 | 1.0 | 1.0 |
| | Sfavorevole | | 1.1 | 1.3 | 1.0 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole | γ_{G2} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Sfavorevole | | 1.5 | 1.5 | 1.3 |
| Variabili | Favorevole | γ_{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 | $\tan \phi'_k$ | γ_ϕ | 1.0 | 1.25 |
| Coesione efficace | C'_k | $\gamma_{c'}$ | 1.0 | 1.25 |
| Coesione non drenata | C_{uk} | γ_{cu} | 1.0 | 1.40 |
| Peso dell'unità di volume | γ | γ_γ | 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 γ_R della Tab. 6.4.II (NTC 2008)

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

| Resistenza | Simbolo | Pali infissi | | | Pali trivellati | | | Pali ad elica continua | | |
|--------------------------|---------------|--------------|------|------|-----------------|------|------|------------------------|------|------|
| | γ_R | (R1) | (R2) | (R3) | (R1) | (R2) | (R3) | (R1) | (R2) | (R3) |
| Base | γ_b | 1,0 | 1,45 | 1,15 | 1,0 | 1,7 | 1,35 | 1,0 | 1,6 | 1,3 |
| Laterale in compressione | γ_s | 1,0 | 1,45 | 1,15 | 1,0 | 1,45 | 1,15 | 1,0 | 1,45 | 1,15 |
| Totale ^(*) | γ_t | 1,0 | 1,45 | 1,15 | 1,0 | 1,6 | 1,30 | 1,0 | 1,55 | 1,25 |
| Laterale in trazione | γ_{st} | 1,0 | 1,6 | 1,25 | 1,0 | 1,6 | 1,25 | 1,0 | 1,6 | 1,25 |

^(*) 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 |
|-------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ξ_3 | 1,7 | 1,65 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,40 |
| ξ_4 | 1,7 | 1,55 | 1,48 | 1,42 | 1,34 | 1,28 | 1,21 |



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 ϕ' e Cu' 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 | $\phi'_K // Cu_K$ | (M1) | $\phi'_P // Cu_P$ |
|--------------------|-------------------------|------|-------------------------|
| 1 | 27°21 | 1.0 | 27°21 |
| 2 | 27°89 | 1.0 | 27°89 |
| 3 | 0,14 Kg/cm ² | 1.0 | 0,14 Kg/cm ² |
| 4 | 0,98 Kg/cm ² | 1.0 | 0,98 Kg/cm ² |
| 5 | 2,77 Kg/cm ² | 1.0 | 2,77 Kg/cm ² |
| 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 ϕ' 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 ² | 51,56 Kg/cm² |
| | Eed : 41,94 | 41,94 Kg/cm ² | 41,94 Kg/cm² |
| 2 | E : 64,27 | 64,27 Kg/cm ² | 64,27 Kg/cm² |
| | Eed : 56,00 | 56,00 Kg/cm ² | 56,00 Kg/cm² |
| 3 | E : 31,60 | 31,60 Kg/cm ² | 31,60 Kg/cm² |
| | Eed : 14,50 | 14,50 Kg/cm ² | 14,50 Kg/cm² |
| 4 | E : 203,30 | 203,30 Kg/cm ² | 203,30 Kg/cm² |
| | Eed : 93,27 | 93,27 Kg/cm ² | 93,27 Kg/cm² |
| 5 | E : 425,00 | 425,00 Kg/cm ² | 425,00 Kg/cm² |
| | Eed : 194,99 | 194,99 Kg/cm ² | 194,99 Kg/cm² |
| 6 | E : 837,00 | 837,00 Kg/cm ² | 837,00 Kg/cm² |
| | Eed : 729,05 | 729,05 Kg/cm ² | 729,05 Kg/cm² |

Angolo d'attrito/Coesione non drenata

| UNITA' LITOTECNICA | $\Phi'_K // Cu_K$ | $\Phi'_P // Cu_P$ |
|--------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | 27°,21 | 27°,21 |
| 2 | 27°,89 | 27°,89 |
| 3 | 0,14 Kg/cm ² | 0,14 Kg/cm² |
| 4 | 0,98 Kg/cm ² | 0,98 Kg/cm² |
| 5 | 2,77 Kg/cm ² | 2,77 Kg/cm² |
| 6 | 44°,13 | 44°,13 |



7. CALCOLO DELLA PORTANZA E STIMA DEI CEDIMENTI

In base ai dati penetrometrici acquisiti si è proceduto alla determinazione della **Q_{lim}**. (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_b**) e di **TOMLINSON** per la determinazione della resistenza lungo il fusto (**Q_L**); la **Q_{lim}_{totale}** è infatti data dalla relazione:

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

Q_b= Resistenza alla punta calcolata con metodo di Beretzanzev

Q_L= Resistenza lungo il fusto calcolata con metodo di Tomlinson

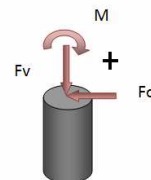
W_P= Peso proprio del palo

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 α 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_k

| 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_c , RESISTENZA CARATTERISTICA R_k E DI PROGETTO R_d CARICHI ASSIALI

Nome combinazione: A1+M1+R3
 Numero verticali di indagine: 4
 Fattore correlazione verticale indagate media (ξ_3): 1,55
 Fattore correlazione verticale indagate minima (ξ_4): 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 | 150222,10 kg |

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 | Verificato | 2,06 |

RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI TRASVERSALI - BROMS

Nome combinazione: A1+M1+R3
Numero verticali di indagine 4
Fattore correlazione verticale indagate media (ξ_3) 1,55
Fattore correlazione verticale indagate minima (ξ_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 | Verificato | 1,55 |

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 |
| Cedimento totale | 1,46 mm |

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 ³) | Fi (°) | Cu (Kg/cm ²) | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) | Modulo Elastico (Kg/cm ²) | 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 ² | 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.



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

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

