

AREA DI LAMINAZIONE DEL TORRENTE SEVESO

Comune di Lentate sul Seveso (MB)

PROGETTO PRELIMINARE - MI-E-795

AGOSTO 2015



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. LUIGI MILLE

PROGETTAZIONE:

PROFESSIONISTI INCARICATI:

Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI

Dott. Ing. STEFANO CROCI

Dott. Ing. FILIPPO MALINGEGNO

Dott. Ing. CRISTINA PASSONI

Dott. Ing. MASSIMO COCCATO

Dott. Ing. ELISABETTA CUDINI

Dott. Geol. MARIO SPADA

Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI

Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI

Dott. Ing. ALESSANDRO BARBON

ETATEC

S.R.L.

STUDIO PAOLETTI

SOCIETA' DI INGEGNERIA

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax: +39 02 26681553
etatec@etatec.it - etatec@pec.etatec.it - www.etatec.it

STUDIO PAOLETTI

INGEGNERI ASSOCIATI

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax: +39 02 26681553
Studiopaoletti@etatec.it - Studiopaoletti@pec.etatec.it



BETA Studio S.R.L.

Ponte San Nicolò (PD) 35020 - Via Guido Rossa 29/a

Tel +39.049.8961120 - Fax +39 049.8961090 - info@betastudio.it



Studio Associato di Geologia Spada

Via Donizetti 17 24020 Ranica (BG)

tel: +39 035 516090 - +39 035 513738

Vicolo Manzoni 3 27038 Robbio (PV)



Swiss
Certified
ISO 9001



CONSULENZE SPECIALISTICHE:

ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

Arch. ANDREAS KIPAR

Dott. Agr. GIOVANNI SALA

Arch. LUISA BELLINI

QUALITA' DELLE ACQUE:

Prof. Dott. VALERIA MEZZANOTTE

LAND Milano Srl

ISO 9001:2015

ISO 14001:2015



Via Varese 16 20121 Milano

tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.30 www.landmilano.com

GRUPPO LAND Milano Roma Cagliari Duisburg

Landscape
Architecture
Nature
Development

Piazzale Aquileia 6 20144 Milano | tel: +39 02 4814701

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Revisioni

1

2

Numero
elaborato

TIPOLOGIA

PP

COMMESSA





250-24

DOCUMENTO

AT





NUMERO

A.3.4





| | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|--|
| A.T.P.: | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1.0 PREMESSE | 4 |
| 1.1 PROGRAMMA DI LAVORO E FONTI CONSULTATE | 5 |
| 2.0 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE | 6 |
| 3.0 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO | 9 |
| 3.1 QUADRO GEOLOGICO COMPLESSIVO | 11 |
| 4.0 DETTAGLIO DELLE INDAGINI ESEGUITE | 14 |
| 4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI | 14 |
| 4.2 SAGGI CON ESCAVATORE | 17 |
| 4.3 PROVE S.P.T. IN FORO | 18 |
| 4.4 PROVE DI PERMEABILITA' IN FORO | 19 |
| 4.5 PIEZOMETRO PER IL CONTROLLO DALLA FALDA | 20 |
| 4.6 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE | 21 |
| 4.7 INDAGINI GEOFISICHE: MASW | 23 |
| 5.0 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE | 25 |
| 5.1 SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE | 25 |
| 5.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO | 27 |
| 6.0 MODELLO GEOLOGICO COMPLESSIVO DEL SOTTOSUOLO | 30 |
| 7.0 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL SOTTOSUOLO | 32 |
| 7.1 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DELL'AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE | 32 |
| 7.2 MODELLO GEOLOGICO DELLA ZONA DELLA VASCA DI LAMINAZIONE | 33 |

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

| | |
|--|-----------|
| 8.0 STABILITA' DEGLI ARGINI DELL'AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE | 38 |
| 8.1 APPROCCIO PROGETTUALE | 38 |
| 8.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO | 40 |
| 8.3 VERIFICHE DI STABILITA' DEGLI ARGINI | 42 |
| 9.0 STABILITA' DELLE SCARPATE DELLA VASCA DI LAMINAZIONE | 51 |
| 9.1 APPROCCIO PROGETTUALE | 51 |
| 9.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO | 52 |
| 9.3 VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE | 54 |
| 9.4 VERIFICHE DI STABILITA' DEL PARAMETRO ESTERNO DEL RILEVATO ARGINALE | 59 |
| 9.5 VERIFICA AL SOLLEVAMENTO DEL TELO BENTONITICO DI FONDO | 62 |
| 9.6 VERIFICHE DI SCIVOLAMENTO DEI TERRENI DI COPERTURA DEL TELO BENTONITICO | 64 |
| ALLEGATI | 67 |

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |
| | | <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> | | |

1.0 PREMESSE

La presente relazione ha lo scopo di illustrare e dettagliare le caratteristiche geologico-tecniche del territorio interessato dalla realizzazione della vasca di laminazione del fiume Seveso in Comune di Lentate sul Seveso (MB).





La stessa è parte integrante del progetto preliminare delle opere, predisposto dalla scrivente A.T.P. “ETATEC Studio Paoletti s.r.l. – Studio Paoletti ing. Associati – BETA Studio s.r.l. – Studio ass. di geologia Spada – ing. Barbon” aggiudicataria della gara pubblica “*MI-E-795 – incarico di progettazione preliminare e supporto alla progettazione definitiva degli interventi denominati – Aree di laminazione del torrente Seveso nei Comuni di Paderno Dugnano (MI), Varedo e Bovisio Masciago (MB), Lentate sul Seveso ed adeguamento delle aree golenali del torrente Seveso nei Comuni di Carimate, Vertemate con Minoprio e Cantù (CO)*” su incarico di A.I.PO – Agenzia Interregionale per il Fiume Po.

Si premette che le caratteristiche geologiche, litologiche ed idrogeologiche sono state analizzate nella relazione specifica, cui si rimanda per tutti i dettagli.

La presente nota si concentra sulle analisi e sulle valutazioni a carattere geologico-tecnico e sismico.

I referti delle indagini geogostiche e geofisiche effettuati nell’area di intervento sono allegati alla presente relazione.

Di seguito si riprendono gli elementi essenziali derivati da tali indagini, funzionali alla caratterizzazione geologico-tecnica del territorio, con una serie di valutazioni relativamente alle problematiche geologiche e geotecniche dello scavo e della stabilità delle scarpate delle opere di progetto.





| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

1.1 PROGRAMMA DI LAVORO E FONTI CONSULTATE

Per la stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione di carattere tecnico e scientifico disponibile:

1. *“Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – foglio 096 SEREGNO: note illustrative – carta geologica”* – ISPRA Servizio Geologico d’Italia – a cura di Bini A., Sciunnach D. et al. (bozza di lavoro al febbraio 2011 disponibile sul sito internet della Regione Lombardia);
2. *“Comune di Lentate sul Seveso – Componente geologica, idrogeologica e sismica del PTG ai sensi della L.R. 12/05 e secondo i criteri della D.G.R. n° 8/7374: relazione – tavole grafiche”* – a cura di Studio Idrogeotecnico Associato – agg. novembre 2012;
3. *“Comune di Barlassina – Componente geologica, idrogeologica e sismica del PTG ai sensi della L.R. 12/05 e secondo i criteri della D.G.R. n° 8/7374: relazione – allegati - tavole grafiche”* – a cura di Studio Idrogeotecnico Associato – agg. gennaio 2011;
4. *“Comune di Meda – Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica a supporto del PTG ai sensi della L.R. 12/05 – tavole grafiche”* – a cura di Studio Tecnico Associato di Geologia – luglio 2011;

I dati sopra citati sono stati integrati da verifiche e rilievi in sito nonché da una serie di indagini geognostiche e geofisiche, che verranno di seguito descritte.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

2.0 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE

Al fine di acquisire dati diretti sulle caratteristiche del sottosuolo delle aree interessate dalle opere e di un loro significativo intorno è stato predisposto e realizzato un programma di indagini geologiche.

Un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, fino alla profondità di 27 metri con prove SPT in foro, era stato effettuato dagli Scriventi durante la fase di gara nell'ottobre 2014.

Successivamente, al fine di acquisire dati diretti delle caratteristiche del sottosuolo delle aree interessate dalle opere e di un loro significativo intorno, ai fini della stesura del presente progetto preliminare, è stato predisposto e realizzato un programma di indagini geologiche relativamente all'area della vasca di laminazione.

Lo stesso è stato progettato dagli Scriventi ed appaltato da AIPO alla soc. Geolambda Engineering s.r.l. di Codogno (LO), specializzata nel settore.

Le indagini sono state effettuate nel mese di agosto ed al momento della stesura della presente relazione non sono disponibili i risultati delle analisi di laboratorio sui campioni di terreno, relativamente agli aspetti geotecnici, merceologici e sulla qualità ambientale.

Le indagini su cui si basano le presenti valutazioni sono le seguenti:

- n° 3 sondaggi a carotaggio continuo, ad una profondità tra 27 e 35 m dal p.c.;
- allestimento di n° 1 piezometro, nel sondaggio S1 fino alla profondità di 35 m. da p.c., per la verifica dei livelli di falda;
- n° 22 prove penetrometriche SPT nei fori di sondaggio in avanzamento;
- n° 5 prove di permeabilità in foro in avanzamento di tipo Lefranc;

- n° 8 prove penetrometriche dinamiche fino alla profondità di 6,9 m. da p.c.;
- n° 5 saggi con escavatore fino alla profondità di 4 metri dal p.c. per la verifica dei terreni del primo sottosuolo;
- n° 1 stendimento sismico di tipo MASW;

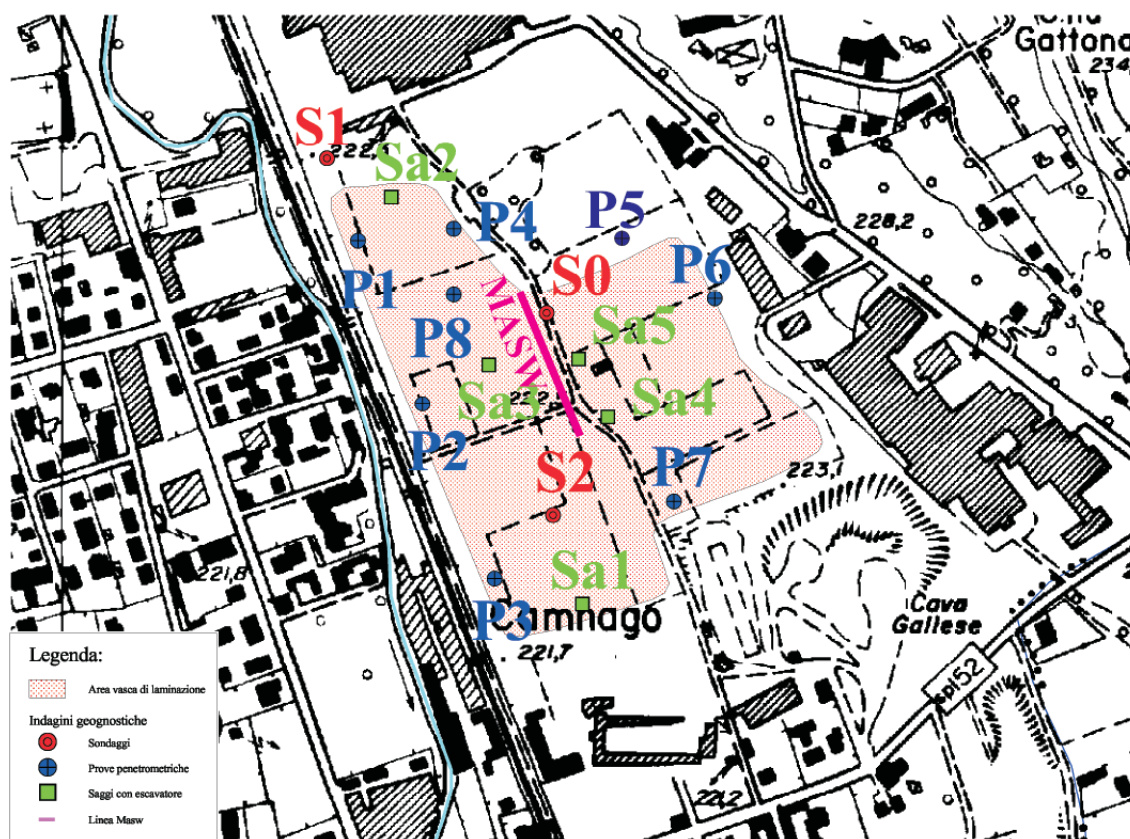






Fig. 1: Ubicazione delle indagini effettuate





Il progetto delle indagini prevedeva un ulteriore sondaggio ed una serie di stendimenti geofisici di tipo elettrico sul terrazzamento superiore, che costituisce la propaggine nord-est del corpo di vasca, al fine di investigare i terreni posti in contiguità con una ex area di cava e di discarica di rifiuti metallici, ora utilizzata come impianto di trattamento inerti.

Tali indagini non sono state eseguite, stante l'impossibilità di accedere alle aree.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Le stesse, a parere degli Scriventi, dovranno essere completate, ed eventualmente integrate con ulteriori indagini ove ritenute necessarie, a supporto dei successivi gradi di progettazione, al fine di completare le valutazioni su tutti i terreni interessati dalle opere.

Ulteriori approfondimenti geognostici saranno opportuni anche nella zona di realizzazione dell'area di laminazione golenale, che allo stato attuale non è stata oggetto di alcuna indagine specifica.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

3.0 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le opere di progetto sono localizzate nella porzione meridionale del Comune di Lentate sul Seveso (MB), in sponda idrografica sinistra del torrente Seveso.

In ampio la zona di intervento è localizzata nell'alta pianura Milanese – Brianzola, presso il confine con la Provincia di Como.





Dal punto di vista morfologico, l'elemento caratterizzante è rappresentato dal torrente Seveso, che attraversa il territorio comunale in direzione NW-SE e che scorre all'interno di una valle ben incisa ed evidente, circondata, lateralmente da una serie di terrazzamenti che progressivamente rialzano la quota del terreno.

La valle attuale è un'eredità di quella attraversata dagli scaricatori fluviali e fluvioglaciali, connessi alle variazioni climatiche che hanno interessato il territorio, ed è caratterizzata da una serie di successivi fenomeni di erosione e riempimento alluvionale, progressivamente meno intensi.

Nello specifico la struttura morfologica del territorio di Lentate è caratterizzata da quattro ordini di terrazzi fluviali / fluvioglaciali, con andamento parallelo a quello del torrente Seveso; gli stessi sono separati da orli di terrazzo generalmente ancora ben evidenti.

La valle fluviale risulta profondamente incassata rispetto alle aree terrazzate circostanti, anche per una profondità di 10-30 metri.

La zona di intervento è caratterizzata dalla presenza sia del fondovalle attuale che dal primo terrazzo recente, che è rilevato da 1-2 metri fino a circa 6 metri dalla piana attuale. Localmente il limite tra le due strutture morfologiche risulta quasi assente ed il primo terrazzo tende blandamente a confluire nel fondovalle.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

La zona in cui è prevista la realizzazione di un'area di laminazione di tipo golenale è ubicata nei pressi dell'abitato principale di Lentate, nella porzione settentrionale del territorio Comunale, in sponda idrografica destra del fiume Seveso.

L'area è allungata in senso nord - sud ed è delimitata, oltre che dal fiume Seveso, dal rilevato ferroviario della linea Milano – Como – Chiasso.

Le quote attuali del terreno variano da 229 a 224 m. s.l.m., degradanti verso sud.

L'opera di progetto interessa la piana alluvionale attuale e recente del Seveso.





Per quanto riguarda la vasca di laminazione, la stessa è localizzata nei pressi della località di Camnago, in sponda idrografica sinistra del fiume Seveso, oltre la linea ferroviaria.

Le quote dell'area di intervento variano tra 221 m. s.l.m., nei pressi della linea ferroviaria, e 223-224 m. s.l.m., nella porzione terminale nord-est dell'area di intervento, con una leggera scarpata che tende ad azzerarsi verso nord; la stessa separa la piana alluvionale dal primo terrazzamento.

Il terreno sale poi rapidamente verso nord-est, con una serie di scarpate e gradini morfologici successivi, fino a guadagnare la quota di 243-245 m. s.l.m.

Immediatamente a sud / sud-est sono presenti aree interessate in passato da attività estrattive di sabbia e ghiaia.

Le aree, in ampio, sono costituite interamente da depositi sedimentari di origine fluvioglaciale e fluviale, depositati durante il Quaternario, caratterizzato da periodi glaciali ed interglaciali, con le differenti dinamiche di erosione, smantellamento, trasporto e deposizione.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

3.1 QUADRO GEOLOGICO COMPLESSIVO

L'area, in ampio, è caratterizzata da una serie di terrazzamenti, orientati circa nord-sud / nord-ovest – sud-est che, nelle distinzioni classiche, erano attribuiti alla varie fasi glaciali (Donau, Gunz, Mindel, Riss, Wurm) ed interglaciali, con relativi fenomeni erosivi e deposizionali, che si sono susseguiti nel quaternario.

Il fondovalle attuale del torrente Seveso è caratterizzato dai depositi più recenti, mentre le aree più elevate coincidono con i depositi più antichi.

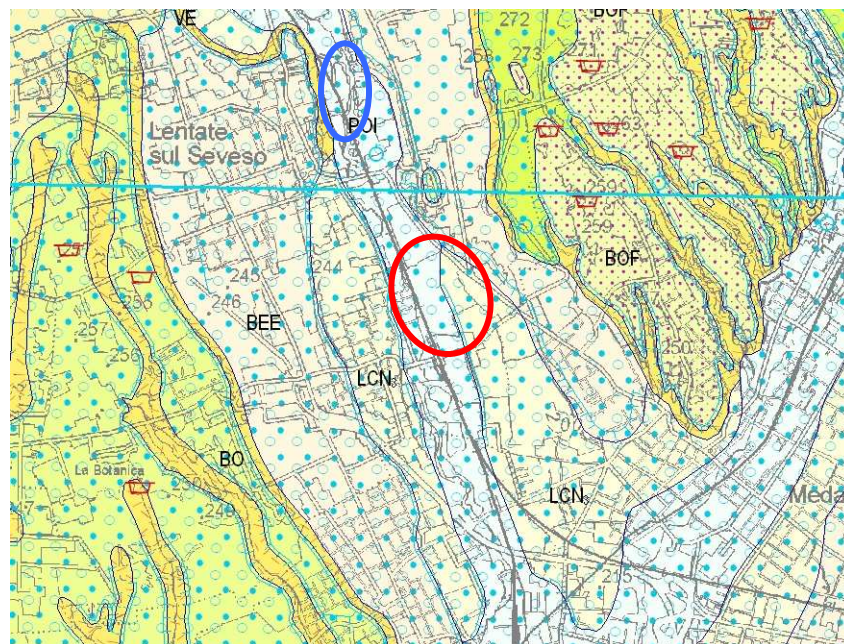
I nuovi rilievi effettuati nell'ambito del progetto CARG hanno rivisto questa metodologia di rilevamento e distinzione dei corpi geologici, adottando il nuovo criterio (prescritto dal Servizio Geologico Nazionale) che utilizza sia le classiche unità litostratigrafiche sia, ove possibile, le unità a limiti in conformi (UBSU).

I dati dei nuovi rilievi e delle nuove distinzioni adottate sono riassunti nella “Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – foglio 096 Seregno”, a cura di Bini et al., che è attualmente disponibile nella versione in bozza.

Nel presente lavoro si è quindi ritenuto di utilizzare le medesime distinzioni per l'assetto geologico dell'area di intervento (vedi fig. 2).

L'area di intervento, in cui verrà realizzata la vasca di laminazione interessa sia il Sintema del Po che il Supersintema di Laghi - Sintema di Cantù – Subsintema della Cà Morta.

L'area in cui verrà realizzata l'area di laminazione golenale è allungata lungo la piana alluvionale attuale e recente del fiume Seveso ed interessa direttamente solo il Sintema del Po.



SUCCESSIONE CONTINENTALE NEOGENICO-QUATERNARIA

UNITA' NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA



POI

SINTEMA DEL PO

Da sabbie a supporto di matrice a ghiaie fini con sabbia grossolana a supporto di clasti, ma con matrice abbondante costituita da sabbie grossolane: depositi fluviali e di conoide dominati da *debris flow*. Argille e torbe: depositi lacustri. Alterazione assente. Morfologia ben espressa nelle piane fluviali dei principali corsi d'acqua.

PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE

UNITA' DEL BACINO DEL FIUME ADDA



LCN

SUPERINTEMA DEI LAGHI - SINTEMA DI CANTÙ

Diamicton massivi a supporto sia di matrice sia di clasti: *till* di ablazione. Diamicton a supporto di matrice, sovraconsolidati: *till* di alloggiamento. Sabbie fini con *ripple* da corrente (tipo B); sabbie a laminazione incrociata; sabbie da fini a medie, a laminazione incrociata concava.

LCN₂

Sabbie fini in strati centimetrici orizzontali passanti a sabbie fini limose, letti di ghiaie e sabbie a stratificazione inclinata: depositi di delta. Limi spesso laminati, ma anche massivi, e sabbie per lo più massive. Sono frequenti i *dropstones*: depositi glaciolacustri.

LCN₂





Ghiaie grossolane massive e stratificate a supporto sia di matrice sia clastico; sabbie stratificate e laminate con strutture di trazione e massive, alternate a limi sabbiosi con accenni di laminazione incrociata; sabbie limose debolmente argillose; alternanze di livelli limoso argilloso e livelli sabbiosi; sabbie laminate passanti verso l'alto a sabbie limose massive con ghiaie; sabbie limose da fini a grossolane: depositi fluvio-glaciali. Colore della matrice 10YR. Alterazione da assente a scarsa con spessore massimo di 1-1,5 metri. Morfologie ben conservate.

LCN₁

SUBSINTEMA DELLA CA' MORTA (LCN₂): diamicton massivi a supporto di matrice sabbiosa; alternanze di ghiaie in matrice sabbiosa grossolana; ghiaie pulite; sabbie grossolane con laminazione incrociata a basso angolo; sabbie fini e limi con laminazione piana o ondulata: *till* di colata. Diamicton massivi a supporto di matrice; alcuni orizzonti risultano sovraconsolidati: *till* di alloggiamento.

Limi e argille laminati e in strati pianoparalleli; limi e in minor misura sabbie fini e argille a laminazione pianoparallela; depositi lacustri proglaciali. Alternanze di ghiaie a matrice sabbiosa grossolana e lenti di sabbie da medie a grossolane, massive o a laminazione incrociata; sabbie da grossolane a fini con limi in lamine pianoparallele o incrociate a basso angolo: depositi di contatto glaciale. Alternanze di livelli di ghiaie in matrice sabbiosa grossolana, ghiaie pulite con sabbie da medie a fini e sabbie da medie a grossolane; sabbie da medie a grossolane con laminazione pianoparallela e incrociata concava: depositi fluvio-glaciali. Colore della matrice 10YR. Alterazione da scarsa ad assente. Morfologie ben conservate con grandi estensioni di piane lacustri e di contatto glaciale; morene ben evidenti.

Fig. 2: Estratto della bozza della "Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – foglio 096 Seregno". Il contorno rosso individua l'area in cui è prevista la vasca di laminazione; il contorno blu indica l'area di laminazione golenale. In legenda sono riportate le Unità geologiche interessate dalle opere

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Sintema del Po (POI - Pleistocene sup. – Olocene)

L'Unità è costituita da ghiaie da medie a grossolane, a supporto di matrice sabbiosa o di clasti, localmente passanti a limi argillosi, privi di alterazione superficiale.

Localmente è presente una struttura gradata e/o embricata del deposito.

I clasti sono di natura poligenica, arrotondati, con dimensione variabile da 1 cm fino ad 1 metro, con valori medi di circa 10 cm.

Si tratta dei depositi alluvionali che costituiscono la piana attuale del Fiume Seveso.

Supersintema dei Laghi – Sintema di Cantù – Subsintema della Ca' Morta (LCN₃ – Pleistocene superiore)





L'unità, più antica della precedente, rappresenta l'espansione glaciale più recente (Wurm) ed è caratterizzata da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie massive e grossolane, poligeniche, a supporto di clasti o con matrice limoso sabbiosa.

I clasti sono arrotondati, con diametro massimo di 50-60 cm e diametro medio di circa 5 cm. Il profilo di alterazione è poco evoluto o localmente assente e non ha mai uno spessore superiore a 1,5 – 2 metri.

L'unità affiora sui primi terrazzi rialzati rispetto alla piana del Seveso ed è stata oggetto di intensa attività estrattiva di sabbia e ghiaia nei pressi dell'area di intervento.

L'unità costituisce la porzione NW dell'area interessata dalla vasca, anche se il terrazzo di separazione con i depositi di fondovalle è molto contenuto e/o assente.

Tutto l'ambito di intervento è quindi caratterizzato dalla presenza di depositi a prevalente natura ghiaiosa e ghiaioso sabbiosa, di origine fluviale e fluvioglaciale, privi o con limitato spessore di alterazione superficiale.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

4.0 DETTAGLIO DELLE INDAGINI ESEGUITE

Le principali risultanze delle varie tipologie di indagine, con le relative ubicazioni, sono riportate nella tavola D.2.3; la documentazione completa sulle indagini effettuate è allegata alla presente (allegati n° 1 e 2).

Di seguito si riprendono gli elementi essenziali di tali indagini.

4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi disponibili fanno riferimento a due differenti campagne di indagine:

S0 – sondaggio a carotaggio realizzato dalla Ditta Eurogeo di Paderno Dugnano nel mese di ottobre 2014 su incarico degli Scriventi (profondità 27 metri)





S1 – S2 - sondaggi a carotaggio realizzati dalla Ditta Geolambda di Codogno, su incarico di AIPO, nell'agosto 2015 (profondità 35 e 30 metri).

Si reputa importante ribadire nuovamente che, a supporto dei successivi gradi di progettazione, sarà importante completare le indagini previste anche sul terrazzo superiore (sondaggio e geofisica di tipo elettrico), per investigare adeguatamente anche questa zona di intervento.

I tre sondaggi effettuati hanno rinvenuto una situazione sufficientemente omogenea lungo tutto l'area di intervento e lungo tutta la verticale di investigazione, con presenza di depositi prevalentemente ghiaiosi, con sabbie e sabbie limose.

I sondaggi sono stati utilizzati anche per una serie di prove in foro (SPT e permeabilità) e per il prelievo di campioni per la caratterizzazione granulometria (che ad oggi non è ancora disponibile).

Le stratigrafie dei sondaggi sono di seguito riportate.





| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Sondaggio S0

| Profondità in m | Descrizione unità |
|-----------------|---|
| 0.00-1.00 | Sabbia medio-fine, con limo marrone scuro, ghiaiosa eterometrica, ϕ max 6 cm, poligenica, arrotondata. |
| 1.00-1.50 | Sabbia medio-fine, con ghiaia eterometrica, ϕ max 5 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, limosa marrone. |
| 1.50-1.70 | Ciottolo. |
| 1.70-3.60 | Sabbia eterometrica, con ghiaia medio-fine, ϕ max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, ϕ max 9 cm, limosa marrone-grigio. |
| 3.60-5.40 | Ghiaia eterometrica, ϕ max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, con sabbia medio-grossa, da limosa a debolmente limosa grigio-marrone. |
| 5.40-10.00 | Ghiaia eterometrica, ϕ max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, ϕ max 10 cm, con sabbia medio-grossa, localmente medio-fine, limosa marrone verdastro. |
| 10.00-11.10 | Sabbia medio-grossa, con ghiaia medio-fine, ϕ max 4 cm, poligenica, arrotondata, debolmente limosa verdastro. |
| 11.10-24.10 | Ghiaia eterometrica, ϕ max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, pot. max 12 cm, con sabbia medio-grossa, localmente medio-fine, limosa grigio verdastro. |
| 24.10-25.00 | Ghiaia medio-fine, ϕ max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, ϕ max 7, con sabbia eterometrica, limosa grigio verdastro. |
| 25.00-27.00 | Ghiaia eterometrica, ϕ max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, ϕ max 8 cm, con sabbia medio-grossa, limosa grigio verdastro. |

Sondaggio S1





| Profondità in m | Descrizione unità |
|-----------------|---|
| 0.00-0.30 | Terreno vegetale. |
| 0.30-1.00 | Limo molto consistente poco plastico di colore marrone. |
| 1.00-3.70 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore grigio. |
| 3.70-4.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia di colore grigio. |
| 4.00-5.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia da fine a media) di colore grigio. |
| 5.00-7.60 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio. |
| 7.60-10.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia grossolana) di colore grigio. |
| 10.00-13.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia fine) limosa di colore grigio. |
| 13.00-14.60 | Sabbia molto fine con ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) di colore grigio. |
| 14.60-15.50 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio. |
| 15.50-16.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da media a grossolana di colore grigio. |
| 16.00-18.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine di colore |

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

| | |
|-------------|---|
| | grigio. |
| 18.00-19.30 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia grossolana) di colore grigio. |
| 19.30-20.90 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbioso limosa di colore grigio. |
| 20.90-22.50 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana limosa di colore grigio. |
| 22.50-25.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media limosa di colore grigio. |
| 25.00-27.10 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media di colore grigio. |
| 27.10-30.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio. |
| 30.00-32.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con poco limo di colore grigio. |
| 32.00-32.30 | Sabbia media con pochi ciottoli di colore grigio. |
| 32.30-33.30 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media di colore grigio. |
| 33.30-34.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana di colore grigio. |
| 34.00-35.00 | Sabbia da media a grossolana ghiaiosa di colore grigio. |

Sondaggio S2

| Profondità in m | Descrizione unità |
|-----------------|---|
| 0.00-0.30 | Terreno vegetale. |
| 0.30-0.90 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore nocciola. |
| 0.90-1.70 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) limosa di colore nocciola. |
| 1.70-2.30 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media di colore nocciola. |
| 2.30-2.80 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media limosa di colore nocciola. |
| 2.80-5.60 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da media a grossolana limosa di colore grigio. |
| 5.60-8.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio. |
| 8.00-9.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore grigio. |
| 9.00-10.10 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana limosa di colore grigio. |
| 10.10-11.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media limosa di colore grigio. |
| 11.00-11.20 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore grigio. |
| 11.20-15.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio. |
| 15.00-19.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana limosa di colore grigio. |
| 19.00-21.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio. |
| 21.00-22.70 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana limosa di colore grigio. |

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

| | |
|-------------|---|
| 22.70-25.30 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media limosa di colore grigio. |
| 25.30-26.50 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) di colore grigio. |
| 26.50-30.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana di colore grigio. |





4.2 SAGGI CON ESCAVATORE

Per verificare in maniera estensiva le caratteristiche dei primi metri del sottosuolo, con particolare riferimento ai terreni superficiali di alterazione e/o alla presenza di terreni di riporto, sono stati effettuati n° 5 saggi con escavatore, fino alla profondità massima di 4 metri dal p.c..

I saggi sono stati effettuati il 03/08/2015, con la presenza in continuo in cantiere di un geologo della Soc. Gerolambda ed all'interno degli stessi sono stati prelevati i campioni per le analisi chimiche sui terreni.

Le stratigrafie sono di seguito riportate.

| Profondità in m | Descrizione unità |
|-------------------|---|
| SAGGIO SA1 | |
| 0.00-0.40 | Terreno vegetale. |
| 0.40-1.30 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore marrone. |
| 1.30-4.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media di colore grigio. |
| SAGGIO SA2 | |
| 0.00-0.30 | Terreno vegetale. |
| 0.30-1.10 | Limo consistente poco plastico di colore marrone. |
| 1.10-2.10 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore marrone. |
| 2.10-2.70 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore marrone. |
| 2.70-4.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media limosa di colore grigio. |
| SAGGIO SA3 | |
| 0.00-0.40 | Terreno vegetale. |
| 0.40-1.20 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore marrone. |
| 1.20-2.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media limosa di |

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

| | |
|-------------------|--|
| | colore marrone. |
| 2.00-4.00 | Sabbia media con pochi ciottoli centimetrici di colore grigio. |
| SAGGIO SA4 | |
| 0.00-0.30 | Terreno vegetale. |
| 0.30-1.60 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia molto fine limosa di colore nocciola. |
| 1.60-4.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine di colore nocciola. |
| SAGGIO SA5 | |
| 0.00-0.40 | Terreno vegetale. |
| 0.40-2.10 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia molto fine limosa di colore ocra. |
| 2.10-4.00 | Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia molto fine di colore grigio. |

La porzione superficiale, comprendente il terreno coltivo ed eventuali livelli limosi presenta, nell'area investigata, uno spessore variabile tra 0,30 e 1,10 m. da p.c..

4.3 PROVE S.P.T. IN FORO





Nei sondaggi, in fase di avanzamento, sono state eseguite le prove SPT per valutare il grado di compattazione e resistenza alla penetrazione dei terreni.

La strumentazione utilizzata per le prove ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- diametro aste 76 mm
- dispositivo di infissione con maglio automatico Pilcon
- campionatore a punta conica (presenza di ghiaie)

Il dettaglio delle prove SPT eseguite nei fori è il seguente:

| Profondità (m. da p.c.) | S0 | S1 | S2 |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 3.00 | 17/24/25 | 5/6/9 | 10/7/9 |
| 6.00 | 23/21/27 | 50R | 40/R |
| 9.00 | 18/24/31 | 31/44/46 | 50R |
| 12.00 | 24/41/50R | 29/39/25 | 50R |
| 15.00 | 15/50R | 50R | 31/48/50R |

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

| | | | |
|-------|-----------|-------|-----|
| 18.00 | 37/50R | 2/50R | 50R |
| 21.00 | 33/44/50R | 50R | |
| 24.00 | 50R | | |
| 27.00 | 33/41/50R | | |

I terreni presentano un grado di addensamento solamente nei primi 3 metri di profondità.

Oltre tale profondità e fino alla massima profondità investigata con le prove (27 metri), i valori di SPT risultano generalmente alti o molto alti, ad indicare buone caratteristiche di addensamento dei terreni, con valori che molto spesso arrivano fino al rigetto della prova (per es. nel foro S2 si è ritenuto di non fare la prova SPT prevista a -21 metri dal p.c. perché tutte le altre prove, oltre i – 3 metri da p.c., avevano dato rigetto).

4.4 PROVE DI PERMEABILITA' IN FORO





Nei fori di sondaggio S1 ed S2, in avanzamento, sono state effettuate una serie di prove di permeabilità immettendo acqua in foro.

Le prove di tipo Lefranc sono state eseguite a carico costante (cioè misurando la portata necessaria a mantenere il livello costante) e/o a carico variabile (cioè immettendo acqua e poi misurando gli abbassamenti nel tempo), in base alla velocità con cui il terreno smaltiva l'acqua.

Si tratta di prove a carattere locale (interessanti un tratto di foro di circa 50 cm) e realizzate comunque durante una perforazione di piccolo diametro.

I referti delle prove, con i grafici dei risultati, sono contenuti nell'allegato 2.

I dati confermano la buona capacità di drenaggio, trattandosi sempre di terreni prevalentemente ghiaiosi, con subordinata matrice sabbiosa e sabbioso – limosa.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

4.5 PIEZOMETRO PER IL CONTROLLO DALLA FALDA





Il foro di sondaggio S1 è stato attrezzato con un piezometro per la misure dei livelli di falda.

La scelta di utilizzare questo sondaggio deriva dai seguenti elementi:

- la perforazione è quella più profonda realizzata e che quindi ha interessato la porzione maggiore dell'acquifero superiore;
- la posizione è al limite della zona di intervento ed in questa posizione lo stesso potrà restare operativo sia durante che al termine dei lavori, per verificare le variazioni del livello di falda.

Il piezometro ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ la profondità è di 35 metri;
- ✓ la stratigrafia è dettagliata nel paragrafo 4.1;
- ✓ Il piezometro interessa solamente la falda superficiale;
- ✓ la tubazione definitiva è da 3" in PCV;
- ✓ la tubazione è fenestrata a partire da 15 metri fino a fondo foro, dove è stato realizzato un piccolo fondello di chiusura; la restante parte della tubazione (da p.c. fino a – 15 metri) è cieca;
- ✓ In foro, tra la tubazione e la parete, è stato posato ghiaietto siliceo con funzione di dreno, a protezione delle fenestrature;
- ✓ La parte superiore, da p.c. fino a – 10 metri è stata cementata con una miscela di cemento e bentonite, in modo da garantire la massima protezione dell'acquifero;

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

- ✓ Sul p.c. è stato messo in opera un pozzetto, contenente all'interno un boccapozzo con lucchetto di chiusura.

La soggiacenza misurata il 05/08 è risultata di 21,34 metri da boccapozzo.

4.6 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

In aggiunta ai sondaggi con SPT in foro, sono state eseguite alcune prove penetrometriche dinamiche, per affinare maggiormente la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere.

Per il presente studio sono state eseguite n° 8 prove penetrometriche fino alla profondità massima di 6,9 metri: tutte le prove sono arrivate a rifiuto nei primissimi metri.

La localizzazione delle prove è principalmente lungo il margine esterno della vasca, per investigare la verticale delle scarpate di scavo, con una particolare attenzione ai principali manufatti idraulici ed alla vicina linea ferroviaria.

Per le prove la strumentazione utilizzata è la seguente:





- penetrometro Pagani (tipo DPSH – AGI-MEARDI)
- prova senza rivestimento
- peso massa 73 Kg – altezza di caduta 75 cm – diametro 51 mm
- passo letture 30 cm

Tali prove consentono di avere un profilo del terreno analizzato, in modo da poterne caratterizzare il grado di addensamento e le caratteristiche geotecniche principali.

Questo tipo di prova, tarata in base ai sondaggi eseguiti, consente di suddividere i diversi livelli e caratterizzarne il comportamento.

Le tabelle seguenti riassumono le prove effettuate.





I dati sono espressi in termini di resistenza della punta e del rivestimento all'infissione.

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | Consulenti: | | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

| prova n. 1 | | | prova n. 2 | | | prova n. 3 | | | prova n. 4 | | |
|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv |
| 0,3 | 3 | 5 | 0,3 | 3 | 8 | 0,3 | 5 | 9 | 0,3 | 11 | 7 |
| 0,6 | 5 | | 0,6 | 5 | | 0,6 | 9 | | 0,6 | 14 | |
| 0,9 | 6 | | 0,9 | 12 | | 0,9 | 16 | | 0,9 | 9 | |
| 1,2 | 6 | 7 | 1,2 | 7 | 11 | 1,2 | 35 | | 1,2 | 8 | 18 |
| 1,5 | 7 | | 1,5 | 9 | | 1,5 | 46 | | 1,5 | 16 | |
| 1,8 | 3 | | 1,8 | 18 | | 1,8 | rif | | 1,8 | 13 | |
| 2,1 | 3 | 12 | 2,1 | 13 | | 2,1 | | | 2,1 | 25 | |
| 2,4 | 26 | | 2,4 | 25 | | 2,4 | | | 2,4 | 38 | |
| 2,7 | 35 | | 2,7 | 46 | | 2,7 | | | 2,7 | 55 | |
| 3,0 | 38 | | 3,0 | 68 | | 3,0 | | | 3,0 | rif | |
| 3,3 | 46 | | 3,3 | rif | | 3,3 | | | 3,3 | | |
| 3,6 | 60 | | 3,6 | | | 3,6 | | | 3,6 | | |
| 3,9 | rif | | 3,9 | | | 3,9 | | | 3,9 | | |
| 4,2 | | | 4,2 | | | 4,2 | | | 4,2 | | |

| prova n. 5 | | | prova n. 6 | | | prova n. 7 | | | prova n. 8 | | |
|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv |
| 0,3 | 6 | 3 | 0,3 | 2 | 5 | 0,3 | 15 | 6 | 0,3 | 2 | 6 |
| 0,6 | 12 | | 0,6 | 6 | | 0,6 | 21 | | 0,6 | 9 | |
| 0,9 | 9 | | 0,9 | 11 | | 0,9 | 13 | | 0,9 | 17 | |
| 1,2 | 5 | 5 | 1,2 | 7 | 5 | 1,2 | 9 | 13 | 1,2 | 21 | 9 |
| 1,5 | 7 | | 1,5 | 6 | | 1,5 | 11 | | 1,5 | 7 | |
| 1,8 | 9 | | 1,8 | 10 | | 1,8 | 18 | | 1,8 | 8 | |
| 2,1 | 24 | 8 | 2,1 | 18 | 8 | 2,1 | 23 | | 2,1 | 5 | 12 |
| 2,4 | 13 | | 2,4 | 15 | | 2,4 | 35 | | 2,4 | 7 | |
| 2,7 | 10 | | 2,7 | 11 | | 2,7 | 62 | | 2,7 | 8 | |
| 3,0 | 11 | 13 | 3,0 | 9 | 13 | 3,0 | rif | | 3,0 | 8 | inc. |
| 3,3 | 16 | | 3,3 | 12 | | 3,3 | | | 3,3 | 23 | |
| 3,6 | 15 | | 3,6 | 8 | | 3,6 | | | 3,6 | 38 | |
| 3,9 | 13 | | 3,9 | 4 | | 3,9 | | | 3,9 | 47 | |
| 4,2 | 18 | inc. | 4,2 | 9 | 18 | 4,2 | | | 4,2 | 58 | |
| 4,5 | 20 | | 4,5 | 19 | | 4,5 | | | 4,5 | rif | |
| 4,8 | 33 | | 4,8 | 15 | | 4,8 | | | 4,8 | | |
| 5,1 | 24 | | 5,1 | 19 | 23 | 5,1 | | | 5,1 | | |
| 5,4 | 31 | | 5,4 | 22 | | 5,4 | | | 5,4 | | |
| 5,7 | 55 | | 5,7 | 33 | | 5,7 | | | 5,7 | | |
| 6,0 | rif | | 6,0 | 42 | | 6,0 | | | 6,0 | | |
| 6,3 | | | 6,3 | 35 | | 6,3 | | | 6,3 | | |
| 6,6 | | | 6,6 | 51 | | 6,6 | | | 6,6 | | |
| 6,9 | | | 6,9 | rif | | 6,9 | | | 6,9 | | |

Le prove vanno tutte a rigetto entro la profondità massima di 6,9 metri da p.c. e generalmente di 2-3 m., ad indicare un grado di addensamento da buono a molto buono.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

4.7 INDAGINI GEOFISICHE: MASW

Nella parte mediana dell'area interessata della vasca di laminazione, lungo la strada sterrata che taglia da nord a sud l'area di intervento, è stata eseguita un'indagine di tipo MASW (tecnica di indagine indiretta attiva – Multistation Analysis of Surface Waves).





L'indagine tipo MASW serve a determinare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs nel punto centrale dello stendimento sismico e può quindi essere utilizzata:

- per trarre informazioni sul profilo stratigrafico del suolo (spessore terreni ed individuazione delle unità litotecniche)
- per avere informazioni indirette sul grado di addensamento del sottosuolo,
- per classificare il suolo dal punto di vista sismico, come previsto dal DM 14/01/2008,
- per ottenere i parametri dinamici di rigidezza del terreno.

La prove è stata effettuata in due fasi differenti, adottando sia la tecnica attiva che quella passiva di misura (vedi report contenuto in allegato 2).

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 18 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti.

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtrempi (MASW passiva o ReMi) acquisendo in totale 12 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

| | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|--|
| A.T.P.: | | | Consulenti: | | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

I dati sperimentali acquisiti sono stati elaborati con il programma SurfSeis 4.0 della Kansas University, Park C. B., 2006-2013. Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'elaborazione del modello del terreno derivata dal MASW è la seguente:

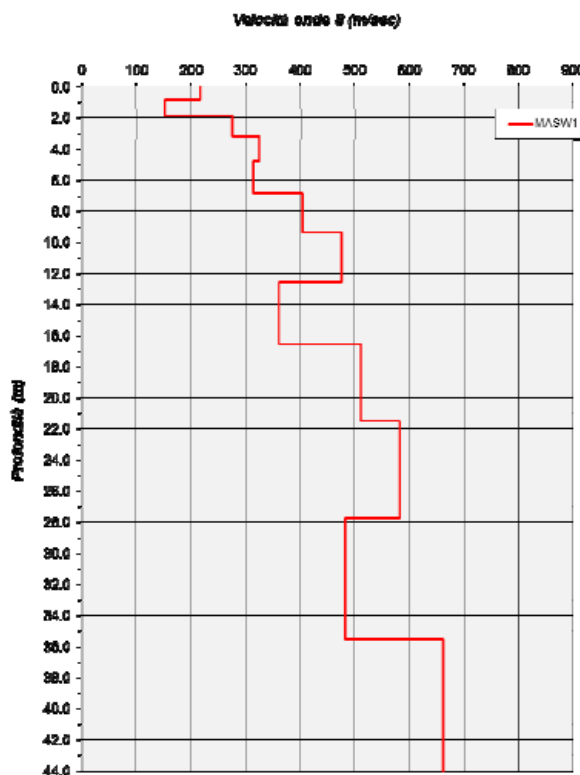


Fig. 3: Modello Vs- profondità del terreno investigato, ricavato dall'elaborazione della prova MASW

L'immagine sopra riportata contiene il profilo verticale del terreno in termini di onde sismiche di taglio Vs fino alla profondità di circa 44 metri da p.c..

Il valore di **Vs30** calcolato sulla base del modello sopra illustrato è di **437 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

5.0 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Il Comune di Lentate sul Seveso antecedentemente al 2003 non era classificato come comune “sismico”.

Le successive revisioni operate dalla recente O.P.C.M. 3274, hanno classificato il territorio comunale come **Zona Sismica 4**, quella con il grado di sismicità minore previsto dalla normativa.

Di seguito si riporta la tabella, tratta dalla normativa sopra menzionata, che indica, per le diverse zone in cui è stato suddiviso il territorio Nazionale, i valori di accelerazione di picco orizzontale al suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni:





| zona sismica | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g) | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro ri risposta elastico (a_g/g) |
|--------------|---|--|
| 1 | > 0.25 | 0.35 |
| 2 | 0.15 – 0.25 | 0.25 |
| 3 | 0.05 – 0.15 | 0.15 |
| 4 | < 0.05 | 0.05 |

Il D.M. 14 gennaio 2008 prevede che la valutazione della pericolosità sismica venga definita attraverso un approccio “sito dipendente”, e non più con un criterio “zona dipendente”.

Anche la nuova classificazione sismica del territorio Regionale della Lombardia, approvata con D.G.R. 2129 del 11/07/2014, che entrerà in vigore a fine ottobre ma che è già in salvaguardia, conferma per il territorio di Lentate s/s la zona sismica 4.

5.1 SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

In prima battuta è assolutamente fondamentale identificare i possibili scenari di pericolosità sismica locale.

| | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|--|
| A.T.P.: | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |





A tale scopo si è fatto riferimento allo studio effettuato dal dr. Geol. Ghezzi nel 2010 (agg. 2012) per il PGT di Lentate sul Seveso.

Tali studi sono stati condotti sulla base delle disposizioni della Regione Lombardia, ed hanno previsto l'individuazione delle aree di possibile pericolosità sismica, sulla scorta degli scenari riportati nella tabella sottostante (che riassumono le possibili tipologie note nella letteratura ed adattate alla realtà territoriale Lombarda):

| SIGLA | SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE | EFFETTI |
|-------|---|--|
| Z1a | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi | Instabilità |
| Z1b | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti | |
| Z1c | Zona parzialmente franosa o esposta a rischio di frana | |
| Z2 | Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zona con depositi granulari fini saturi | Cedimenti e/o liquefazioni |
| Z3a | Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.) | Amplificazioni topografiche |
| Z3b | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo Appuntite – arrotondate | |
| Z4a | Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| Z4b | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre | |
| Z4c | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese coltri loessiche) | |
| Z4d | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale | |
| Z5 | Zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse | Cedimenti differenziali |

Per l'area in esame, come per altri territori analizzati nel medesimo contesto geologico (per es. Bollate e Senago), gli studi escludono la presenza di possibili fenomeni di amplificazione litologica e geometrica (Z4a), per l'assenza di un substrato rigido entro i primi 30-40 m. di sottosuolo.

Entro tali profondità le velocità delle onde sismiche sono nettamente inferiori ad 800 m/sec (velocità del bedrock sismico) e quindi non sono prevedibili fenomeni di amplificazione.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Gli studi geologici escludono, per l'area specifica, la presenza di altri possibili elementi di criticità.

Nel caso specifico è quindi possibile escludere scenari di pericolosità sismica locale e/o di amplificazione sismica.

5.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO





L'altro aspetto di grande importanza, relativamente alla pericolosità sismica, è quello dell'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento della nostra zona.

Il N.T.C. prevede, infatti, per la definizione dell'azione sismica di progetto, la valutazione dell'effetto della risposta locale, cioè delle modificazioni che subisce l'azione sismica nel passaggio dal substrato rigido alla superficie del sito.

Per questo tipo di valutazione la norma prevede un approccio di tipo semplificato che si basa proprio sull'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento, sulla base della distinzione riportata nella tabella seguente (tab. 3.2.II del NTC):

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

| Categoria | Descrizione |
|-----------|---|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i> |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i> |
| C | <i>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 $V_{s,30}$ 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 fina).</i> |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i> |
| E | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i> |

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Per individuare la classificazione del sito in oggetto si è fatto riferimento ai sondaggi effettuati a supporto del presente lavoro, con le prove SPT in foro, nonché ai dati geofisici citati nello studio geologico di supporto al PGT.

I sondaggi hanno evidenziato la presenza di terreni a prevalente natura granulare, con caratteristiche di addensamento che migliorano progressivamente in profondità.

Per la valutazione delle V_{s30} , come richiesto dalla normativa per la classificazione della categoria di sottosuolo, è possibile fare riferimento ai dati riportati nello studio geologico Comunale di Lentate sul Seveso.

Si rammenta che il calcolo è effettuato secondo la seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove :





h_i = spessore in metri dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo

V_i = velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $g < 10^{-8}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo

N = numero strati nell'ambito dei primi 30 metri di sottosuolo

Il valore di **Vs30** calcolato utilizzando il profilo Vs/profondità ricavato dalla prova MASW effettuata nell'area (considerando come riferimento il piano campagna) è pari a 437 m/sec.





Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008) il sito in esame rientra quindi nella **categoria di suolo B** corrispondente a - : *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT30 > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu30 > 250$ kPa nei terreni a grana fine)”*.

| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Tale classificazione è pienamente confermata anche dai sondaggi effettuati e dall'analisi delle SPT in foro in avanzamento.

Considerato il grafico Vs/prof ricavato dalla MASW, anche prevedendo quote di imposta inferiori a quella dell'attuale p.c., la classificazione della categoria di suolo B resta invariata, stante l'assenza di un substrato rigido.

Con questa tipologia di terreni (ghiaie e sabbie addensate) non si pongono problemi di liquefazione o densificazione.





| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

6.0 MODELLO GEOLOGICO COMPLESSIVO DEL SOTTOSUOLO





L'assetto geologico dell'area di intervento è risultato sufficientemente omogeneo, sulla base dei dati disponibili, dei rilievi e del sondaggio effettuato.

I principali elementi sono di seguito indicati:

- Le zone di intervento sono caratterizzate dalla presenza di due Unità geologiche: Sintema del Po (POI - Pleistocene sup. – Olocene) ed il Supersintema dei Laghi – Sintema di Cantù – Subsintema della Ca' Morta (LCN3 – Pleistocene superiore). La prima rappresenta i depositi alluvionali recenti del fiume Seveso e si posiziona sul fondovalle ed interessa sia l'area golenale che la vasca di laminazione. La seconda unità geologica è più antica della precedente, rappresenta l'espansione glaciale più recente (Wurm) e si posiziona ad una quota analoga o leggermente rialzata (un paio di metri, al massimo, nell'area della vasca). La stessa costituisce integralmente il terrazzo rialzato nonché la porzione geologica al di sotto dei depositi recenti, anche nella zona del fondovalle.
- Entrambe le unità sono costituite, dal punto di vista litologico, fino alla massima profondità investigata (35 metri da p.c.), da ghiaie da medie a grossolane, a supporto di matrice sabbiosa o granulare, con clasti di natura poligenica, arrotondati, di dimensione variabile da 1 cm fino ad 1 metro, con valori medi di circa 5-10 cm. Il grado di addensamento è generalmente buono ed aumenta con la profondità.
- La porzione superficiale di alterazione è pressoché assente per i depositi alluvionali, mentre è caratterizzata da limi argillosi sabbiosi di colore marrone, di spessore limitato, variabile tra 0,3 ed 1,1 metri per i depositi fluvioglaciali.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

- I terreni sopra descritti appartengono idrogeologicamente all'acquifero superiore. Tale acquifero superiore è sede di una falda freatica che, nella zona di interesse ha una quota piezometrica, al marzo 2010, di circa 195 m. s.l.m., un gradiente tra 0,3 – 0,5%) e la direzione di flusso è circa NNE-SSW. L'attuale livello della falda, stante gli innalzamenti degli ultimi anni, è di circa 199-200 m. s.l.m. (per maggiori dettagli sull'assetto idrogeologico dell'area è possibile fare riferimento alla relazione geologica ed idrogeologica).

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

7.0 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL SOTTOSUOLO





Il modello geologico-tecnico è diretta conseguenza di quello geologico, con l'integrazione degli elementi relativi alle caratteristiche di resistenza dei terreni stessi.

La struttura complessiva è omogenea e può essere schematizzata come di seguito dettagliato.

7.1 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DELL'AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE

I principali elementi sono di seguito indicati:

- L'intera area di intervento è caratterizzata dalla presenza di una unica Unità geologica: il Sintema del Po (POI - Pleistocene sup. – Olocene). L'Unità contiene tutti i depositi alluvionali recenti del fiume Seveso e costituisce l'intero fondovalle attuale.
- L'unità è costituita, dal punto di vista litologico, da ghiaie da medie a grossolane e sabbie, con possibile locale presenza di limi sabbiosi. Le caratteristiche litologiche puntuali dipendono dalle condizioni di energia del flusso delle acque del torrente Seveso. Non sono comunque state rilevate aree paludose e/o torbose.
- Il grado di addensamento dei depositi è variabile: generalmente è mediocre in superficie ed aumenta con la profondità.
- La porzione superficiale di alterazione, in base ai dati disponibili anche in altre aree lungo il Seveso, è pressoché assente o limitata ad alcuni decimetri di terreno coltivo, a maggiore componente limosa.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

- Le opere di progetto, che hanno carattere assolutamente superficiale (rilevato arginale fuori terra e riprofilature del terreno dell'ordine massimo di qualche metro), non presentano interferenze di sorta con l'assetto idrogeologico sotterraneo.

In via cautelativa ai primi 4-5 metri di spessore dei terreni (tolto, chiaramente, il coltivo e gli eventuali riporti antropici) è possibile attribuire le seguenti caratteristiche cautelative:

- peso di volume: 18-19 KN/mc
- densità relativa: 25-35 %
- angolo di attrito: 28°
- coesione 0

7.2 MODELLO GEOLOGICO DELLA ZONA DELLA VASCA DI LAMINAZIONE

Livello 0





E' costituito dalla porzione più superficiale, per uno spessore variabile tra 0,00 e circa 1,00 metri.

Dal punto di vista litologico si tratta di sabbie medio fini, con limi.

Tali terreni, per le scarse caratteristiche e l'eterogeneità, devono essere rimossi per l'appoggio di eventuali strutture.

Livello 1

E' costituito dai depositi attribuiti sia al Sintema del Po che al Subsintema della Ca' Morta, che costituiscono tutta la zona di intervento ed un significativo intorno, almeno fino alla massima profondità investigata (35 metri da p.c.).

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Tale profondità è ampiamente superiore a quella interessata dalla opere, dell'ordine massimo di circa 22-23 metri.

Questi terreni presentano alcune caratteristiche comuni lungo tutto la verticale investigata e precisamente:

- litologia: ghiaie eteroetriche, poligeniche, con ciottoli da arrotondati a subarrotondati, con sabbia medio-grossa, limosa grigio-verdastro
- permeabilità: da elevata (depositi fluvioglaciali) a molto elevata (depositi fluviali)
- classe di sottosuolo NTC = categoria di suolo C

Al fine di valutare le caratteristiche geologico-tecniche dei terreni lungo la verticale è possibile fare riferimento a tutti i dati disponibili, con particolare attenzione ai sondaggi ed alle prove SPT in avanzamento.





In relazione a quanto sopra, utilizzando come riferimento i dati del sondaggio S0 ubicato nella porzione mediana dell'area di intervento, è possibile sommariamente dividere questi terreni in due differenti porzioni:

Livello 1A

Rappresenta la porzione superiore, che si presenta comunque da moderatamente a ben addensata (anche le prove penetrometriche pesanti sono andate a rigetto nei primissimi metri e dove sono giunte fino a 5-6 metri di profondità i valori di avanzamento erano già molto alti).

Questo livello, facendo riferimento alla stratigrafia al sondaggio S0, è stato rinvenuto fino ad una profondità massima di circa 10 metri da p.c.

Negli altri sondaggi lo spessore è minore, ma in via cautelativa si mantiene la situazione più gravosa

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

I principali parametri geotecnici sono i seguenti:

- peso di volume: 19 KN/mc
- densità relativa: 50-70 %
- Nspt 50
- angolo di attrito: 31°-33° (valori cautelativi, in relazione ad Nspt alla sola quota di 3 metri da p.c. ed attribuito a tutto il livello)
- coesione 0

Livello 1B

Rappresenta la porzione più profonda, presente al di sotto del livello 1A e fino alla massima profondità investigata.

Le caratteristiche di resistenza aumentano con la profondità e tutti i valori indicano un livelli di addensamento da buono a molto buono.





Le prove SPT sono spesso a rigetto

I principali parametri geotecnici sono i seguenti:

- peso di volume: 19-20 KN/mc
- densità relativa: > 60 % fino al 100%
- Nspt tutti a rigetto
- angolo di attrito: > 35° (valore cautelativo – i valori di SPT sono spesso a rigetto o comunque molto alti, con angoli di attrito anche > 38°)
- coesione 0

Falda

I terreni del livello 1 sono sede dell'acquifero superiore, freatico, con una direzione di flusso circa NNE-SSW.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

La quota piezometrica, al marzo 2010, di circa 195 m. s.l.m.

ATTIVITA' PRESSO LA FALDA

Rispetto ai dati sopra riportati vi è da considerare che la falda, dopo tale data, ha subito ulteriori innalzamenti anche significativi nell'alta pianura (anche superiori a 5 metri) e non è possibile fare previsioni per il futuro.

Infatti, a seguito della realizzazione del piezometro S1 nell'agosto 2015 è stato rilevato che l'attuale livello della falda, stante gli innalzamenti degli ultimi anni, è di circa 199-200 m. s.l.m. (per maggiori dettagli sull'assetto idrogeologico dell'area è possibile fare riferimento alla relazione geologica ed idrogeologica).





Il fondo della vasca nella porzione più profonda è pari a 201,80 m. s.l.m..

Diviene quindi necessario garantire la sicurezza e la stabilità delle opere di progetto anche nel caso di una imponente risalita della falda.

Si è quindi ritenuto, progettualmente, di prevedere l'impermeabilizzazione delle vasche per impedire la percolazione, e più in generale il contatto, tra acque invase del fiume Seveso (che presentano caratteristiche qualitative scadenti), con quelle della prima falda.

Contestualmente il progetto prevede la realizzazione di un sistema che consente l'afflusso dell'acqua di falda nella vasca per gravità, in caso di innalzamento della stessa, onde evitare problemi di sottospinte sulle opere di impermeabilizzazione.

Il sistema è però monodirezionale e consente l'afflusso in vasca delle acque di falda, ma non l'immissione nel suolo di quelle invase, e questa scelta rappresenta la massima garanzia per la tutela delle acque sotterranee.

| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Per quanto riguarda le fasi operative, in caso di un ulteriore contenuto innalzamento della falda si potrebbe verificare un interessamento limitato, per una fase transitoria e contenuta del cantiere stesso, nella zona di fondo vasca.





Il fondo è previsto a quota 201,80 nella zona maggiormente depressa ed in questa porzione è previsto un “pacchetto di appesantimento” di terra e roccia di 1,5 metri complessivi.

La quota del fondo scavo è quindi dell’ordine di 200 m. s.l.m.

Tale quota garantisce attualmente un franco di circa 50-100 cm dal livello della falda attuale ed è quindi gestibile, allo stato attuale, senza elementi particolari.

Nel caso di ulteriori innalzamenti della falda vi potrebbero essere interferenze dirette, da gestire prevedendo attività di dewatering per le attività di cantiere oppure stabilendo un innalzamento del fondo, sempre ai fini delle fasi cantieristiche.

Quello dell’interazione con la falda è sicuramente un problema da considerare con attenzione nelle successive fasi di progettazione, stante anche il trend di innalzamento registrato negli ultimi anni nella zona del nord Milanese.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

8.0 STABILITA' DEGLI ARGINI DELL'AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE

Nel presente paragrafo si procede alla valutazione della stabilità degli argini di contenimento dell'area di laminazione golenale.

I parametri geotecnici dei terreni di sottofondo, stante l'assenza di indagini (che sarà necessario effettuare nei successivi approfondimenti progettuali), sono stati scelti in base ai dati disponibili nel medesimo contesto geologico, utilizzando un criterio di precauzione.

Le caratteristiche dei terreni di realizzazione dell'argine sono quelle previste dai Progettisti.

8.1 APPROCCIO PROGETTUALE

Il riferimento normativo per l'esecuzione delle verifiche è rappresentato dalla NTC 2008.

La norma prevede le verifiche nei confronti degli **Stati Limite Ultimi (SLU)**.





Per ogni stato limite deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_D \leq R_D$$

Cioè il valore di progetto dell'azione (o dell'effetto dell'azione) deve essere minore o al massimo uguale rispetto al valore di progetto della resistenza.

La verifica deve essere effettuata impiegando differenti combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, definiti:

- Per le azioni (A1 – A2)
- Per i parametri geotecnica (M1 – M2)
- Per le resistenze (R1 – R2 – R3)

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Nel presente lavoro le scarpate della vasca verranno realizzate per la quasi totalità in scavo rispetto al p.c. attuale e per una piccola parte in riporto (argini di regolarizzazione della quota esterna).

Queste casistiche sono normate dal par. 6.8 delle NTC “opere in materiali sciolti e fronti di scavo”

Le verifiche devono quindi essere eseguite secondo la seguente combinazione dei parametri (approccio 1 – combinazione 2):

A2+M2+R2





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_{Q1} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

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) |
|---|---|--|------|------|
| <i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i> | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\phi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| <i>Coesione efficace</i> | c'_k | γ_c | 1,0 | 1,25 |
| <i>Resistenza non drenata</i> | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| <i>Peso dell'unità di volume</i> | γ | γ_r | 1,0 | 1,0 |

$$R2 = 1.1 \text{ (tab. 6.8.1)}$$

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

8.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Le NTC hanno introdotto, per i parametri geotecnici del terreno, il concetto di VALORE CARATTERISTICO: tale valore è associato al concetto di una prefissata probabilità di non superamento.





Per la definizione del valore caratteristico la norma prevede due differenti approcci:

- Approccio statistico
- Approccio geotecnico.

Nell'approccio statistico il valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie di prove. E' evidente che per questo tipo di approccio serve un adeguato numero di dati su cui condurre l'analisi, secondo uno dei vari metodi disponibili nella letteratura scientifica.

L'approccio geotecnico è stato introdotto dalla circolare del Consiglio Superiore dei LLPP e assimila il valore caratteristico ad un valore operativo che è basato sul giudizio geotecnico, che tenga conto sia della variabilità del terreno che del tipo di problema da verificare. In particolare la circolare ritiene giustificato l'utilizzo di un valore medio del parametro quando il problema riguarda ampi volumi di terreno (stabilità versanti e fondazioni superficiali) mentre richiede l'uso di un valore minimo quando sono coinvolti volumi modesti (base di un palo, scorrimento di un muro, ecc.).

Nel caso specifico si ritiene di poter rientrare, per tipologia di problema, per entità dei volumi coinvolti e per omogeneità del contesto geologico, in questa ultima casistica e quindi per il valore caratteristico si è fatto riferimento ai valori geotecnici medi.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Si farà riferimento ai valori geotecnici indicati in precedenza, nonché ai valori disponibili nella letteratura scientifica per i terreni sabbioso – ghiaiosi, stante l'impossibilità di effettuare indagini specifiche nella presente fase preliminare.





Nello specifico si è ritenuto di attribuire ai terreni alluvionali recenti ed attuali un valore dell'angolo di attrito cautelativo di 28°, con coesione nulla.

Per quanto riguarda i terreni che costituiscono il rilevato arginale si è fatto riferimento alle caratteristiche geotecniche prescritte dai Progettisti idraulici per la realizzazione dell'opera.

Il passaggio successivo richiesto dalla NTC è quello della definizione dei parametri di progetto, derivati dai parametri caratteristici, con l'applicazione dei fattori riduttivi dettagliati al par. 8.1.

Nel caso specifico il riepilogo dei parametri è il seguente:





| Parametri | Valore caratteristico | Coefficiente parziale M2 | Valore di progetto |
|---|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Livello 1 – depositi alluvionali sabbioso ghiaiosi di appoggio dei rilevati | | | |
| Peso di volume (KN/mc) | 18,50-19,00 | 1,0 | 18,50 |
| Coesione | 0 | 1,25 | 0 |
| Angolo di attrito (°) | 28 | 1,25 (sulla tg) | 23° |
| Rilevato arginale | | | |
| Peso di volume (KN/mc) | 20,00-20,50 | 1,0 | 20,00 |
| Coesione drenata c' | 13 kPa | 1,25 | 10,4 kPa |
| Angolo di attrito (°) | 35° | 1,25 (sulla tg) | 29° |
| Coesione non drenata Cu | 30 kPa | 1,40 | 21,4 kPa |

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

8.3 VERIFICHE DI STABILITA' DEGLI ARGINI

Le verifiche seguenti sono state condotte, sulla base dei parametri geotecnici e della combinazione delle NTC sopra illustrati, in considerazione dei seguenti elementi:

- stante l'assenza di una superficie di scivolamento predefinita e/o di una struttura geologica che possa condizionarne la geometria, si è provveduto alla modellazione di migliaia di superfici (almeno 10.000 per ogni simulazione), con differenti vertici e con differenti raggi di sviluppo, con l'ausilio del software SSAP 2010 ("Slope Stability Analysis Program" – ver. marzo 2014 – dr. geol. L. Borselli, Ph. D.);
- le simulazioni di calcolo sono state effettuate con il metodo di Calcolo di Morgenstern e Price (1965);
- verifiche in condizioni sismiche, di tipo pseudo-statico, allo SLU (quindi SLV) con l'applicazione dei componenti sismici rispettivamente pari a: $K_h = 0,015$ – $K_v = 0,075$, calcolati in base a quanto previsto dalle NTC.;
- la geometria ha riguardato la sezione tipo dell'argine maggiormente critico:
 - altezza: 4 metri (cautelativa, in genere la massima è 3 metri ma si è ritenuto opportuno, stante il livello preliminare, verificare un argine più alto),
 - pendenza della scarpata: 3/2 (circa 33°),
 - larghezza in testa minima: 3 metri,
 - massimo livello dell'acqua invasata: 3 metri (1 metro di franco minimo sulla massima altezza arginale);
- tipologia delle verifiche:

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |





a) verifiche a breve termine (fine costruzione) con parametri non drenati (per il solo corpo arginale, mentre il sottofondo è granulare ed anche a breve termine i parametri sono comunque drenati),

b) verifiche a lungo termine, con parametri drenati;

per ognuna sono state modellate 3 differenti casistiche, relative alle modalità di funzionamento delle aree golenali e precisamente:

1. assenza di acqua nelle aree golenali,
2. falda a + 3 metri da p.c. (aree golenali con presenza di acqua al massimo livello di invaso, con saturazione dell'argine),
3. scavo rapido. Questa ultima condizione si verificherebbe solo nel caso in cui la permeabilità dell'argine fosse tale da consentirne la saturazione e la successiva instaurazione di un reticolo di flusso verso l'esterno. Considerata la bassa permeabilità (10^{-7} m/sec) ed i bassi tempi di permanenza dell'acqua la condizione è molto poco probabile, ma è stata comunque simulata in via cautelativa;

- le analisi hanno riguardato la stabilità sia complessiva (insieme argine – terreno di fondazione) sia quella interna dell'argine. Le condizioni maggiormente critiche sono risultate quelle complessive, stante la mediocri caratteristiche geotecniche attribuite al piano di fondazione degli argini, in assenza di prove.
- Di seguito si riportano quindi solamente le analisi della stabilità globale (maggiormente critiche), perchè quelle del solo argine presentano valori del fattore di sicurezza nettamente superiori.

| | | | | | | |
|---|--|---|--|-------------------------|--|------------------------------|
|  | A.T.P.:  |  | Studio Associato Geologia Spada | Dott. Ing. A. Barbon | Consulenti:  | Prof. Dott. V. Mezzanotte |
|---|--|---|--|-------------------------|--|------------------------------|

Le immagini seguenti riassumono i risultati di alcune delle simulazioni effettuate, variando la posizione e la potenziale ampiezza delle superfici di scivolamenti nelle differenti condizioni verificate.

a) Verifiche in condizioni NON DRENATE (breve termine)

a1) Assenza di acqua nelle aree golenali

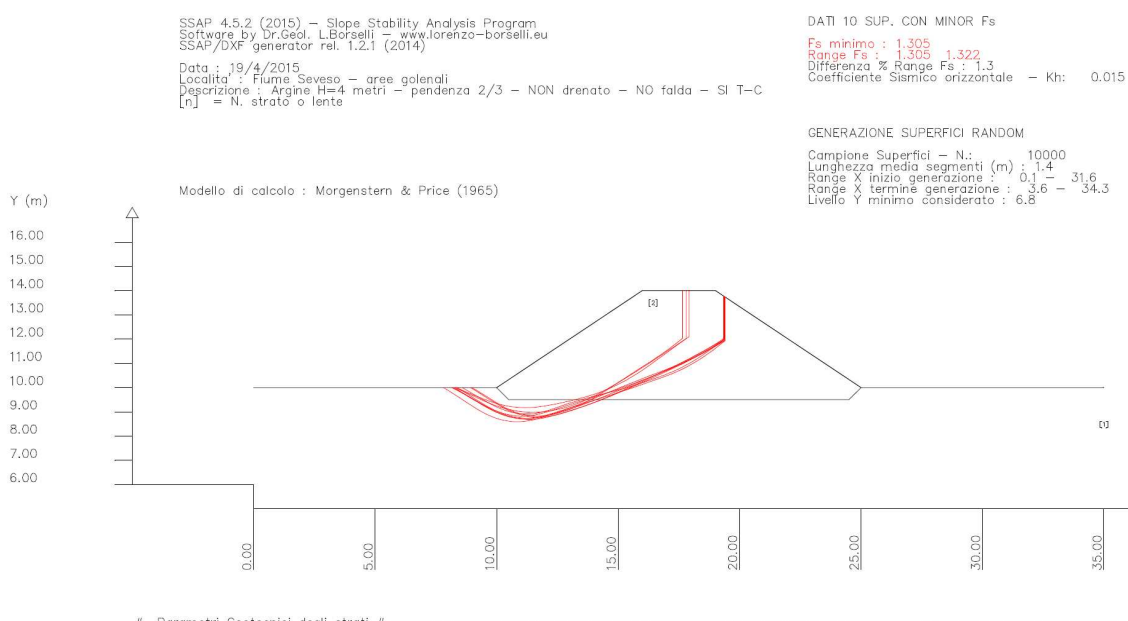


Fig. 4: Verifica di stabilità dell'argine dell'area golenale – breve termine – assenza di acqua





In queste condizioni non vi è acqua nelle golene e vi è assenza di falda.

E' stato anche considerato il possibile sviluppo di fessure di trazione (tension crack) nella parte alta dell'argine, che potrebbero indebolirne la struttura.

Il Fattore di Sicurezza minimo è risultato sempre $Fs > 1,35$, ampiamente superiore al valore di 1,1 previsto dalle vigenti normative.

a2) Aree golenali in condizioni di massimo invaso

In queste condizioni è stata ipotizzata la creazione di una porzione di argine saturo, a partire dal livello dell'acqua fino al piede della sponda opposta.

| | | | | | | |
|---|--|---|--|-------------------------|--|------------------------------|
|  | A.T.P.:  |  | Studio Associato Geologia Spada | Dott. Ing. A. Barbon | Consulenti:  | Prof. Dott. V. Mezzanotte |
|---|--|---|--|-------------------------|--|------------------------------|

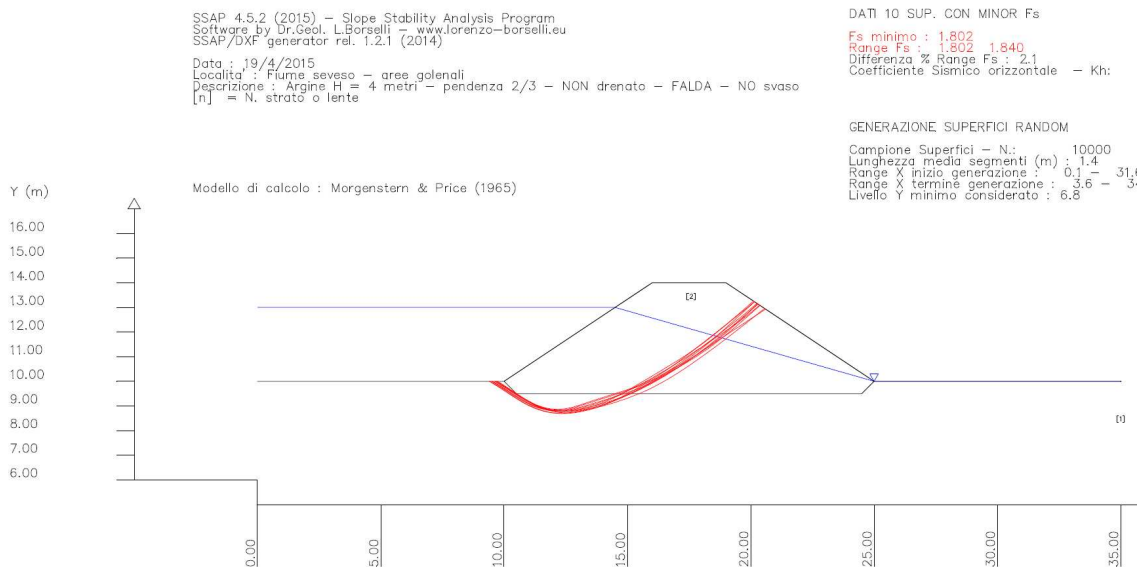


Fig. 5: Verifica di stabilità dell'argine dell'area golenale – breve termine – massimo invaso

Il Fattore di Sicurezza minimo è risultato sempre $F_s > 1,80$, ampiamente superiore al valore di 1,1 previsto dalle vigenti normative.

L'aumento del fattore di sicurezza rispetto al caso precedente è connesso all'effetto di stabilizzazione alla base dell'argine (e conseguentemente al piede delle potenziali superfici di scivolamento) dato dal peso dell'acqua.

a3) Svaso rapido

Si tratta di una condizione particolarmente critica, perché viene considerato l'effetto di saturazione dell'argine, come nel caso precedente, ma viene escluso l'effetto di stabilizzazione garantito dal peso dell'acqua.

Queste condizioni, eccezionalmente gravose, anche perché valutate in coincidenza con un evento sismico, andrebbero verificate in relazione alle caratteristiche di permeabilità dell'argine ed al tempo di permanenza dell'acqua.

In via cautelativa si è ritenuto comunque di valutarla In queste condizioni il fattore di sicurezza si abbassava al di sotto dei valori richiesti dalla normativa, con l'innescò di superfici globali, interessanti il terreno alla base del rilevato.

Al fine di garantire il rispetto del fattore di sicurezza di legge è stato introdotto un rinforzo alla base del rilevato dell'argine.

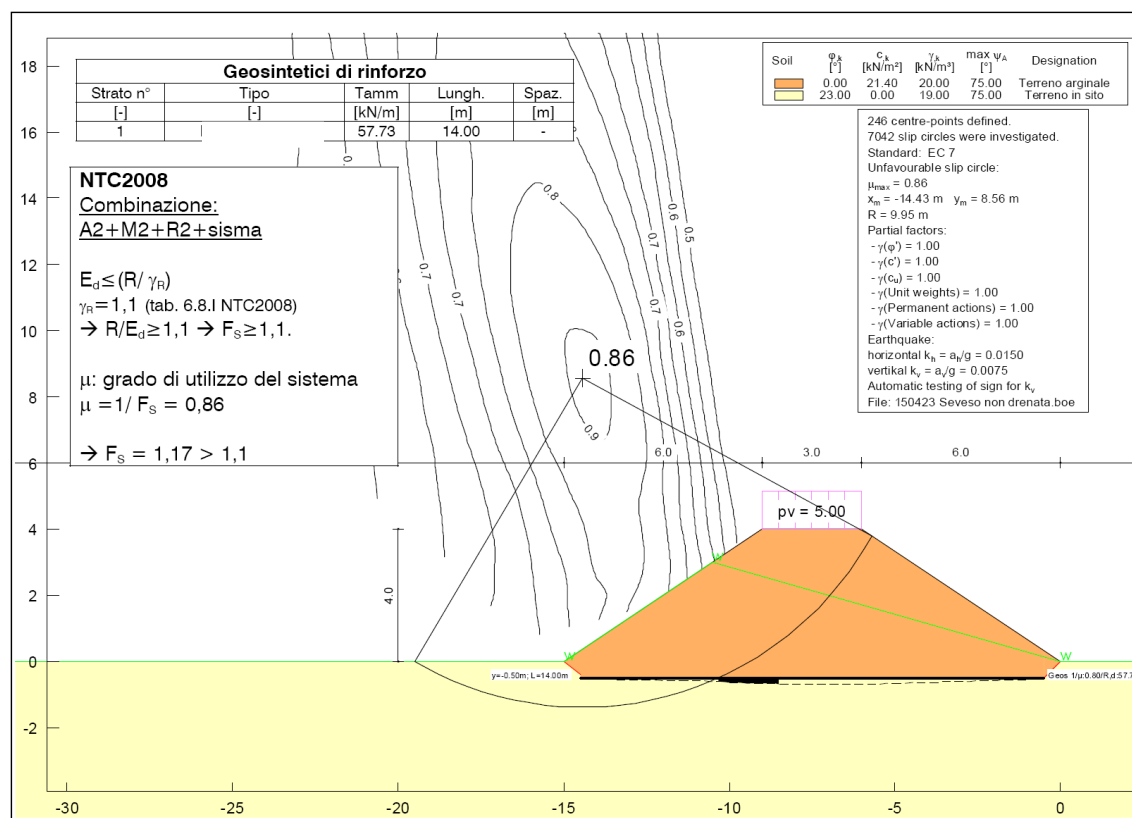






Fig. 6: Verifica di stabilità dell'argine dell'area golenale – breve termine – svasso rapido – con rinforzo in geotessile alla base

Il rinforzo ipotizzato consiste in un geotessuto posto alla base del rilevato arginale, con funzione di separazione e rinforzo, con una resistenza a trazione longitudinale minima a breve termine di 130 kN/m e minima di 57 kN/m di progetto, applicando tutti i fattori di riduzione previsti dalla normativa.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Con l'inserimento del geotessile di rinforzo il fattore di sicurezza minimo diviene pari a $Fs_{min} = 1,17$, superiore al valore di $Fs = 1,1$ previsto dalla norma.

In sede esecutiva deve quindi essere previsto il rinforzo alla base del rilevato con un geotessuto, con le caratteristiche minime sopra indicate.

b) Verifiche in condizioni DRENATE (lungo termine)

b1) Assenza di acqua nelle aree golenali

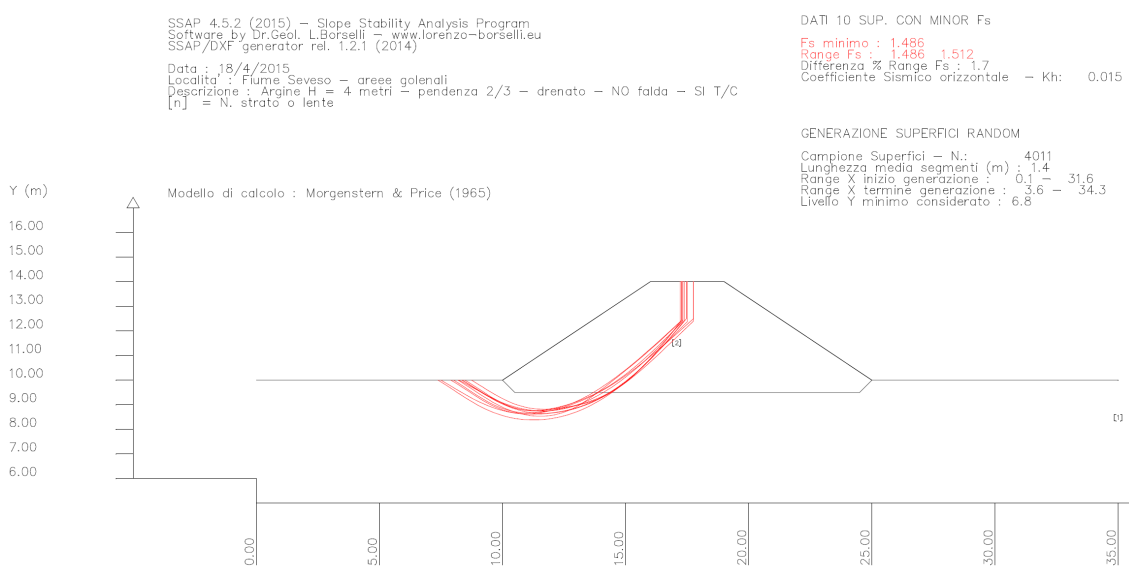


Fig. 7: Verifica di stabilità dell'argine dell'area golenale – lungo termine – assenza di acqua





In queste condizioni non vi è acqua nelle golene e vi è assenza di falda.

E' stato anche considerato il possibile sviluppo di fessure di trazione (tension crack) nella parte alta dell'argine, che potrebbero indebolirne la struttura.

Il Fattore di Sicurezza minimo è risultato sempre $Fs > 1,48$, ampiamente superiore al valore di 1,1 previsto dalle vigenti normative.

Questa condizione di esercizio risulta anche meno gravosa di quella a breve termine, con analoghe condizioni di assenza di acqua.

b2) Aree golenali in condizioni di massimo invaso

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

In queste condizioni è stata ipotizzata la creazione di una porzione di argine saturo, a partire dal livello dell'acqua fino al piede della sponda opposta.

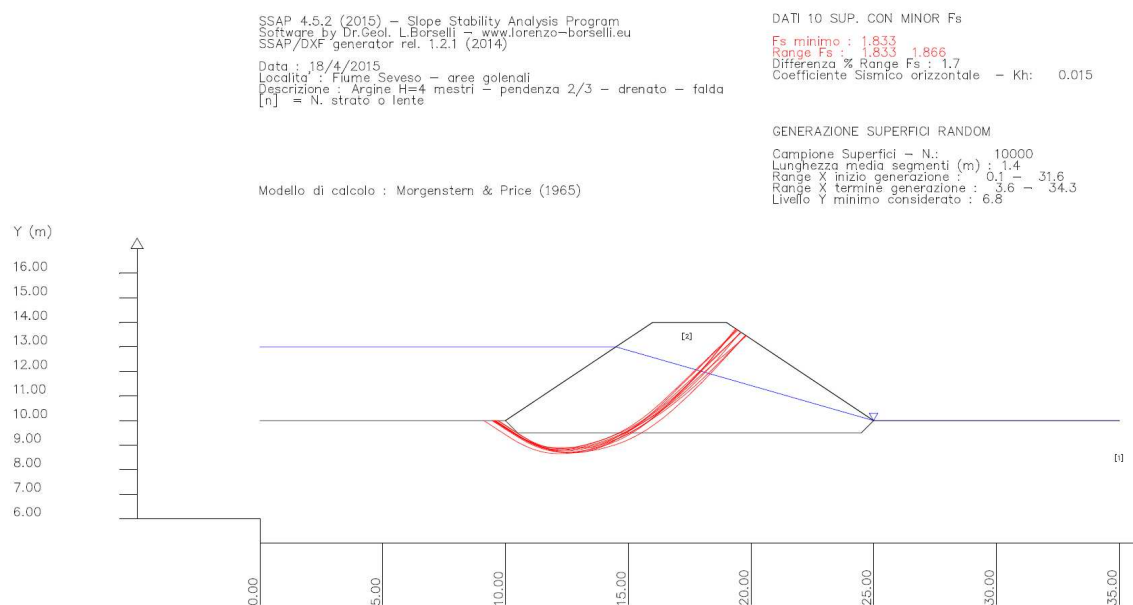


Fig. 8: Verifica di stabilità dell'argine dell'area golenale – lungo termine – massimo invaso

Il Fattore di Sicurezza minimo è risultato sempre $Fs > 1,83$, ampiamente superiore al valore di 1,1 previsto dalle vigenti normative.

L'aumento del fattore di sicurezza rispetto al caso precedente è connesso all'effetto di stabilizzazione alla base dell'argine (e conseguentemente al piede delle potenziali superfici di scivolamento) dato dal peso dell'acqua, come già osservato anche nelle condizioni di verifica a breve termine.

b3) Svaso rapido

La particolare criticità della verifica è già stata analizzata in precedenza.

Anche in questo caso, come per le condizioni non drenate, al fine di garantire il rispetto del fattore di sicurezza di legge, è stato introdotto un rinforzo alla base del rilevato dell'argine.

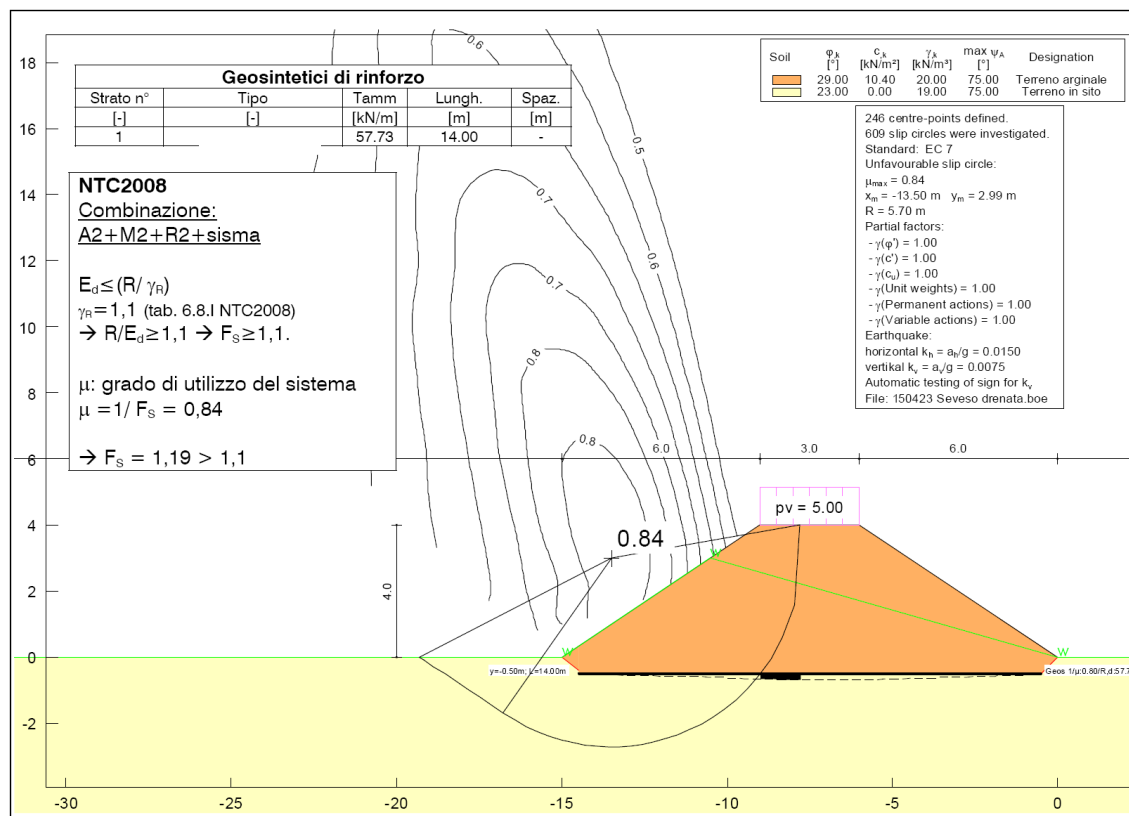






Fig. 9: Verifica di stabilità dell'argine dell'area golenale – lungo termine – svaso rapido con rinforzo in geotessile alla base

Il rinforzo ipotizzato è analogo a quello della verifica in condizioni non drenate (geotessuto posto alla base del rilevato arginale, con funzione di separazione e rinforzo, con una resistenza a trazione longitudinale minima a breve termine di 130 kN/m e minima di 57 kN/m di progetto, applicando tutti i fattori di riduzione previsti dalla normativa).

Con l'inserimento del geotessile di rinforzo il fattore di sicurezza minimo diviene pari a $F_s \min = 1,19$, superiore al valore di $F_s = 1,1$ previsto dalla norma.





In sede esecutiva deve quindi essere previsto il rinforzo alla base del rilevato con un geotessuto, con le caratteristiche minime sopra indicate.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

In aggiunta a quanto sopra si reputa necessario prevedere le seguenti attività, per una corretta base di appoggio degli argini:

- *rimozione di eventuali livelli fini e/o scadenti rinvenuti in fase operativa,*
- *compattazione del fondo, con rullatura con idoneo mezzo pesante.*

Nei successivi gradi progettuali resta comunque fondamentale procedere alle già prescritte indagini geognostiche e geofisiche, per verificare puntualmente i parametri di progetto adottati nei presenti calcoli.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

9.0 STABILITA' DELLE SCARPATE DELLA VASCA DI LAMINAZIONE

Nel presente paragrafo si procede alla valutazione della stabilità delle scarpate della vasca, sia in termini generali sia relativamente al riporto di terreni previsto al di sopra del telo bentonitico di impermeabilizzazione.

9.1 APPROCCIO PROGETTUALE

Il riferimento normativo per l'esecuzione delle verifiche è rappresentato dalla NTC 2008.

La norma prevede le verifiche nei confronti degli **Stati Limite Ultimi (SLU)**.

Per ogni stato limite deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_D \leq R_D$$

Cioè il valore di progetto dell'azione (o dell'effetto dell'azione) deve essere minore o al massimo uguale rispetto al valore di progetto della resistenza.

La verifica deve essere effettuata impiegando differenti combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, definiti:

- Per le azioni (A1 – A2)
- Per i parametri geotecnici (M1 – M2)
- Per le resistenze (R1 – R2 – R3)

Nel presente lavoro le scarpate della vasca verranno realizzate per la quasi totalità in scavo rispetto al p.c. attuale e per una piccola parte in riporto (argini di regolarizzazione della quota esterna).

Queste casistiche sono normate dal par. 6.8 delle NTC “opere in materiali sciolti e fronti di scavo”

Le verifiche devono quindi essere eseguite secondo la seguente combinazione dei parametri (approccio 1 – combinazione 2):

A2+M2+R2

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_{Q1} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

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) |
|---|---|--|------|------|
| <i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i> | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\phi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| <i>Coesione efficace</i> | c'_k | γ_c | 1,0 | 1,25 |
| <i>Resistenza non drenata</i> | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| <i>Peso dell'unità di volume</i> | γ | γ_r | 1,0 | 1,0 |





R2 = 1.1 (tab. 6.8.1)

9.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Le NTC hanno introdotto, per i parametri geotecnici del terreno, il concetto di VALORE CARATTERISTICO: tale valore è associato al concetto di una prefissata probabilità di non superamento.

Per la definizione del valore caratteristico la norma prevede due differenti approcci:

- Approccio statistico
- Approccio geotecnico.

| | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|--|
| A.T.P.: | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Nell'approccio statistico il valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie di prove. E' evidente che per questo tipo di approccio serve un adeguato numero di dati su cui condurre l'analisi, secondo uno dei vari metodi disponibili nella letteratura scientifica.





L'approccio geotecnico è stato introdotto dalla circolare del Consiglio Superiore dei LLPP e assimila il valore caratteristico ad un valore operativo che è basato sul giudizio geotecnico, che tenga conto sia della variabilità del terreno che del tipo di problema da verificare. In particolare la circolare ritiene giustificato l'utilizzo di un valore medio del parametro quando il problema riguarda ampi volumi di terreno (stabilità versanti e fondazioni superficiali) mentre richiede l'uso di un valore minimo quando sono coinvolti volumi modesti (base di un palo, scorrimento di un muro, ecc.).

Nel caso specifico si ritiene di poter rientrare, per tipologia di problema, per entità dei volumi coinvolti e per omogeneità del contesto geologico, in questa ultima casistica e quindi per il valore caratteristico si è fatto riferimento ai valori geotecnici medi del paragrafo precedente.

Il passaggio successivo richiesto dalla NTC è quello della definizione dei parametri di progetto, derivati dai parametri caratteristici, con l'applicazione dei fattori riduttivi dettagliati al par. 9.1.

Nel caso specifico il riepilogo dei parametri è il seguente:

| Parametri | Valore caratteristico | Coefficiente parziale M2 | Valore di progetto |
|--|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Livello 1 – spessore 10 metri (da 0 a 10 m. da p.c.) | | | |
| Peso di volume (KN/mc) | 19 | 1,0 | 19 |
| Coesione | 0 | 1,25 | 0 |





| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

| | | | |
|---|-----|--------------------|-------|
| Angolo di attrito (°) | 31 | 1,25 (sulla tg) | 25,5° |
| Livello 2 – spessore circa 20 metri (da 10 a 30 m. da p.c.) | | | |
| Peso di volume (KN/mc) | 20 | 1,0 | 20 |
| Coesione | 0 | 1,25 | 0 |
| Angolo di attrito (°) | 35° | 1,25 (sulla tg) | 29,2° |

9.3 VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE





Le verifiche seguenti sono state condotte, sulla base dei parametri geotecnici e della combinazione delle NTC sopra illustrati, in considerazione dei seguenti elementi:

- verifica a lungo termine, con parametri drenati e coesione pari a zero;
- verifica della scarpata maggiormente critica. La vasca ha scarpate tutte uguali con una pendenza di circa 22° (rapporto 1:2,5). La scarpata maggiormente critica è quella di altezza maggiore, dell'ordine dei 22-23 metri. In via cautelativa, stante il livello preliminare della progettazione, sono state effettuate le verifiche per scarpate di altezza fino a 25 metri;
- assenza di interferenze idrauliche tra le operazioni di riempimento e svaso della vasca ed i terreni circostanti. Tale circostanza è garantita, oltre che dai tempi brevi di riempimento e svuotamento della vasca, soprattutto dalla totale impermeabilizzazione della vasca stessa con un telo bentonitico. Tale telo, che separa i due ambienti, garantisce una totale indipendenza idraulica ed impedisce l'instaurarsi di condizioni di flusso connesse.
- la condizione maggiormente critica di funzionamento per la vasca è quella in assenza di acqua. Questo perché con l'impermeabilizzazione, che impedisce

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

qualunque saturazione dei terreni delle scarpate, in condizione di invaso l'acqua ha solamente una funzione di stabilizzazione della scarpata al piede. Le verifiche sono state quindi condotte, in via cautelativa, in due differenti condizioni: falda al di sotto del fondo della vasca (condizione di realizzazione dell'opera) e falda al di sopra, con un battente di 3 metri sopra il fondo;

- gli eventuali innalzamenti della falda causano un proporzionale allagamento della vasca, per la presenza di un sistema di compensazione monodirezionale. La presenza della falda causa quindi la saturazione dei terreni interessati, ma contemporaneamente vi è l'effetto di stabilizzazione al piede della scarpata per la presenza dell'acqua invasata all'interno;
- non si verifica mai la condizione di svasso rapido proprio per la presenza del telo impermeabile di separazione e per la compensazione delle quote piezometriche dentro e fuori la vasca;
- verifiche in condizioni sismiche, di tipo pseudo-statico, allo SLU (quindi SLV) con l'applicazione dei componenti sismici rispettivamente pari a: $K_h = 0,016$ – $K_v = 0,008$, calcolati in base a quanto previsto dalle NTC.;
- stante l'assenza di una superficie di scivolamento predefinita e/o di una struttura geologica che possa condizionarne la geometria, si è provveduto alla modellazione di migliaia di superfici, con differenti vertici e con differenti raggi di sviluppo, con l'ausilio del software SSAP 2010 ("Slope Stability Analysis Program" – ver. marzo 2014 – dr. geol. L. Borselli, Ph. D.);
- le simulazioni di calcolo sono state effettuate con il metodo di Calcolo di Morgenstern e Price (1965);

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

- le analisi hanno riguardato la stabilità complessiva del fronte di scavo, con superfici potenzialmente interessanti tutta la scarpata, che rappresentano la situazione di massima criticità;
- ulteriori simulazioni sono state effettuate con superfici parziali, interessanti in modo limitato il pendio, anche a carattere superficiale (decorticamenti e/o scivolamenti del suolo), con differenti zone di inizio e di uscita delle superfici di scivolamento, soprattutto concentrate nel livello geologico superiore 1A, che presenta le caratteristiche geotecniche minori.

I parametri geometrici, geologici, geotecnici e sismici sono quelli in precedenza illustrati.

Le immagini seguenti visualizzano i risultati di alcune delle simulazioni effettuate, verificando tutti i possibili scenari di scivolamento, dalla stabilità globale della scarpata fino ai piccoli decorticamenti a carattere superficiale.

Le simulazioni sono state eseguite in due differenti condizioni idrogeologiche:

1. falda al di sotto del fondo della vasca e quindi senza alcuna interferenza con le possibili superfici di scivolamento;
2. falda a + 3 metri dal fondo della vasca (ma con medesimo livello dell'acqua all'interno della vasca, per i sistemi di bilanciamento delle pressioni idrostatiche).

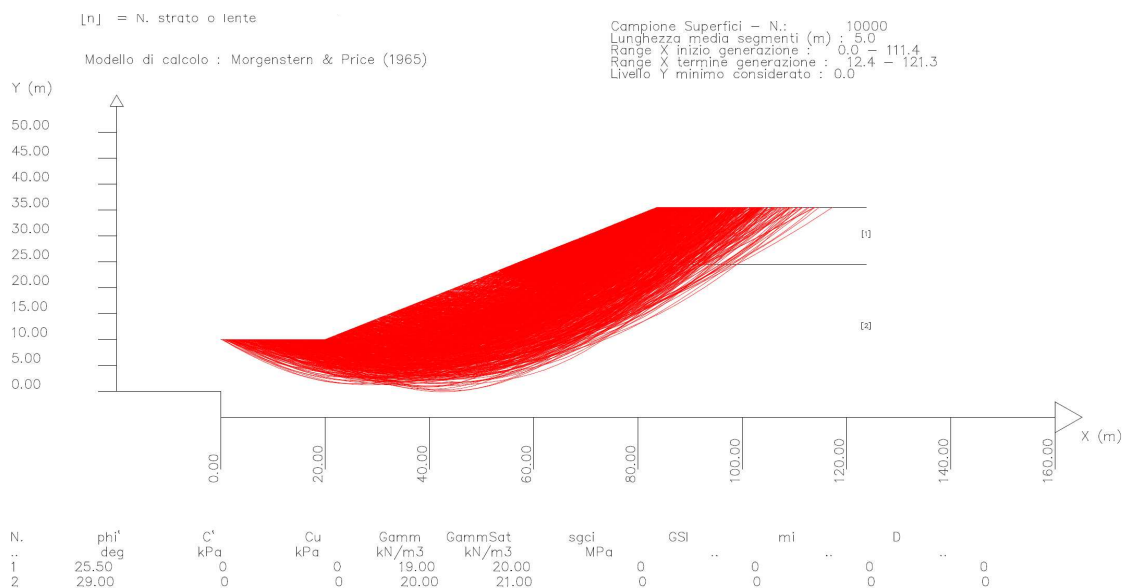


Fig. 10: Verifiche di stabilità del versante con falda al di sotto del fondo della vasca. L'immagine mostra tutte le superfici verificate, che vanno dalla stabilità globale ai piccoli decorticamenti superficiali. Tutte le analisi mostrano un $F_s > 1,1$

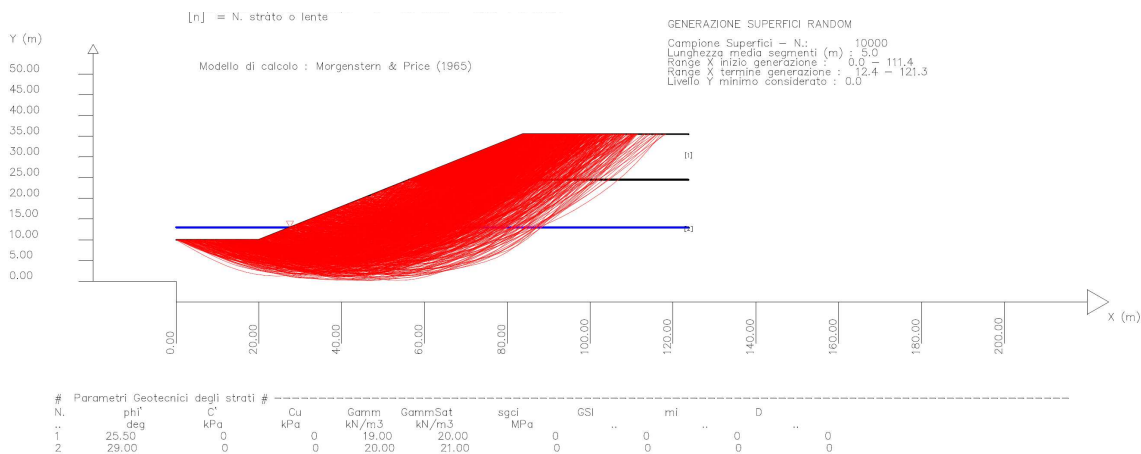


Fig. 11: Verifiche di stabilità del versante con falda 3 metri al di sopra del fondo della vasca. L'immagine mostra tutte le superfici verificate, che vanno dalla stabilità globale ai piccoli decorticamenti superficiali. Tutte le analisi mostrano un $F_s > 1,1$

Oltre alla stabilità globale sono state verificate anche le superfici di scivolamento più superficiali, a simulare fenomeni tipo soil slip e decorticamenti superficiali.

Per scivolamenti a carattere così superficiale in via cautelativa NON è stato considerato anche l'effetto di stabilizzazione offerto dal materassino bentonitico rinforzato e che ha una sua resistenza a trazione (nominale di 20 kN/m).

Come ulteriore cautela nei confronti di tali fenomeni, anche questa non conteggiata nelle analisi a favore di sicurezza, la porzione superiore delle scarpate verrà costipata e compattata per la posa del telo, a sua volta coperto da 80 cm di terreni compatti ed inerbiti.

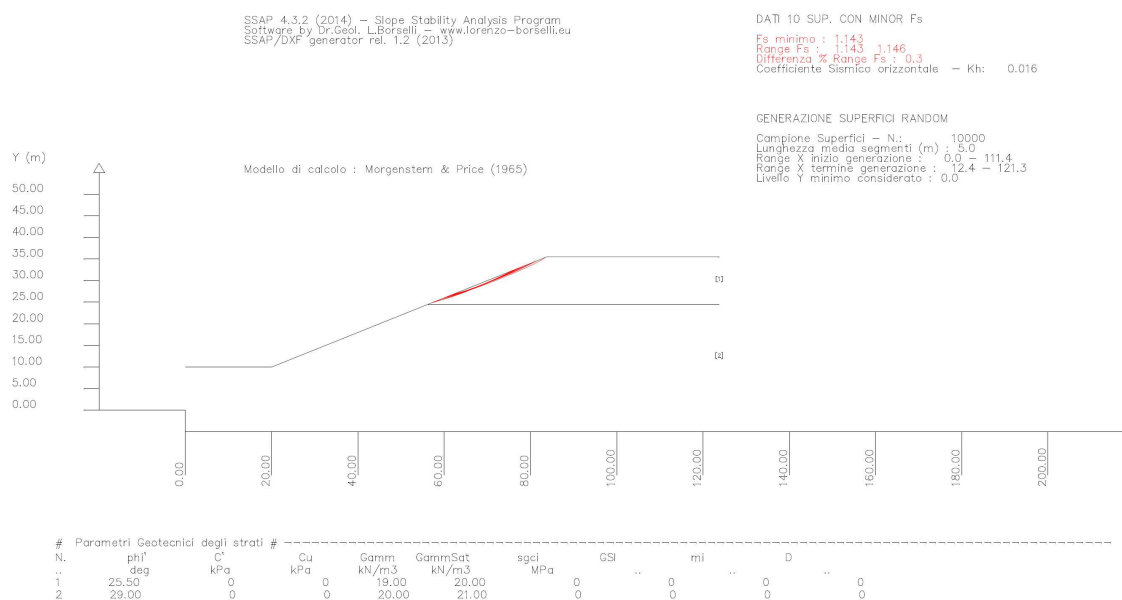


Fig. 12: Verifiche di stabilità del versante. Le superfici con fattore di sicurezza minore risultano essere quelle superficiali (piccoli decorticamenti), ma con un valore sempre $F_s > 1,14$

Il Fattore di Sicurezza minimo è risultato sempre $F_s > 1,1$ (i valori più bassi sono quelli rinvenuti nei fenomeni superficiali riportati nella figura soprastante, pari a 1,14) come previsto dalle vigenti normative per tutte le situazioni verificate e quindi le scarpate di progetto sono verificate.

L'immagine seguente è riepilogativa del fattore di sicurezza locale lungo tutta la scarpata investigata.

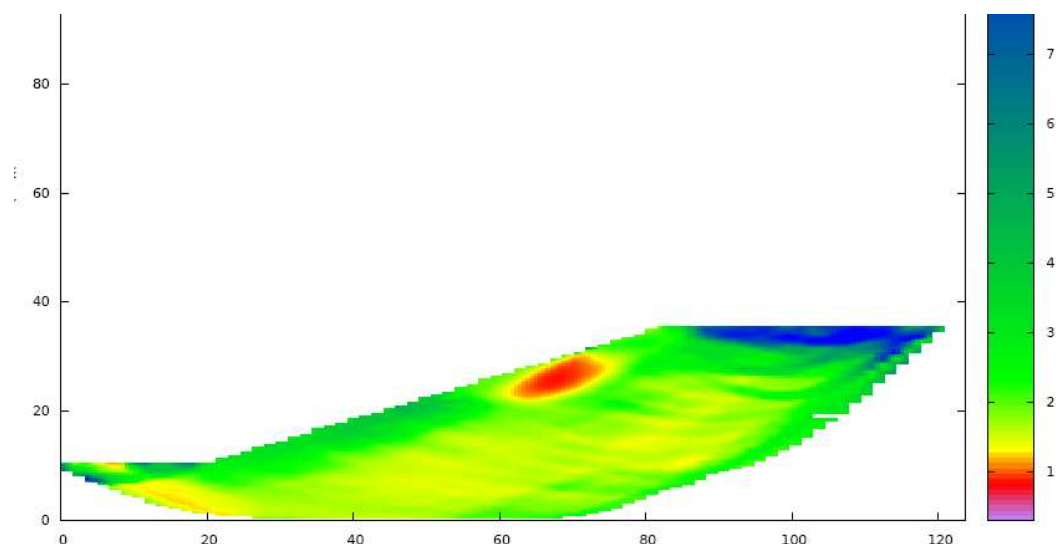


Fig. 13: Mappa del fattore di sicurezza locale lungo la scarpata.





Si vede molto bene che le situazioni con fattore di sicurezza minore, ma sempre superiore a 1,1, sono quelle superficiali nella porzione superiore della scarpata, dove i terreni sono meno addensati.

Le superfici di scivolamento complessive e più ampie presentano valori ulteriormente superiori del fattore di sicurezza.

Le scarpate della vasca risultano quindi tutte ampiamente verificate ai sensi delle disposizioni normative vigenti.

9.4 VERIFICHE DI STABILITA' DEL PARAMETRO ESTERNO DEL RILEVATO ARGINALE

Per la limitata disponibilità di spazi il fronte esterno, in alcune porzioni il paramento esterno del rilevato arginale potrà avere una pendenza variabile da 3/2 ad 1/1.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Questa configurazione non è compatibile con i terreni da utilizzare, cui è stato attribuito un valore dell'angolo di attrito di 33° (terreni scavati in sito e rimessi in opera compattati).

Per poter garantire la pendenza di progetto sono stati inseriti dei rinforzi nel rilevato, rinforzi che sono costituiti da geogriglie.

La soluzione è simile ad una terra armata, ma con una configurazione realizzativa più semplice.

L'argine verificato ha un'altezza massima di 2 metri ed una pendenza di 1/1, che rappresenta la situazione di progetto più gravosa.

Non è previsto il risvolto delle geogriglie ma le stesse saranno posizionate sul piano orizzontale, in fase di realizzazione del rilevato.

La configurazione di progetto prevede la stesa di 2 geogriglie, lunghe 2,5 metri, rispettivamente alla base ed alla quota + 1 m.

I geosintetici utilizzati per i lavori dovranno essere prodotti in regime di qualità ISO 9001:2000 e dovranno essere marcati CE in accordo con le vigenti normative europee sui materiali da costruzione.

I parametri di progetto dovranno essere certificati da un istituto accreditato, secondo quanto previsto dal British Standard BS 8006.

Le tensioni di progetto dei geosintetici di rinforzo vengono determinate applicando una serie di fattori di riduzione e precisamente:

$$P_a = \left[\frac{P_{ult} \cdot RF_{creep}}{f_{m11} \cdot f_{m12} \cdot f_{m21} \cdot f_{m22}} \right]$$

dove i coefficienti hanno il seguente significato:

- a) P_a : tensione di progetto;
- b) P_{ult} [kN/m]: tensione nominale di rottura istantanea (a breve termine);
- c) R_{fcreep} : fattore di riduzione per creep considerando una vita utile di 120 anni;
- d) f_{m11} : fattore di riduzione per la variabilità della produzione;
- e) f_{m12} : fattore di riduzione per estrapolazione dei dati (vita utile di 120 anni);
- f) f_{m21} : fattore di riduzione per danneggiamento meccanico (considerando come materiale di riempimento ghiaia sabbiosa);
- g) f_{m22} : fattore di riduzione per effetti ambientali (considerando pH 4,0÷9,0)

Per i calcoli di seguito riportati si è considerata una geogriglia con una resistenza ultima a rottura longitudinale non inferiore a 35 kN/m e con un valore ammissibile di calcolo, considerando i parametri riduttivi adottati da alcuni produttori, pari a 17,55kN/m.

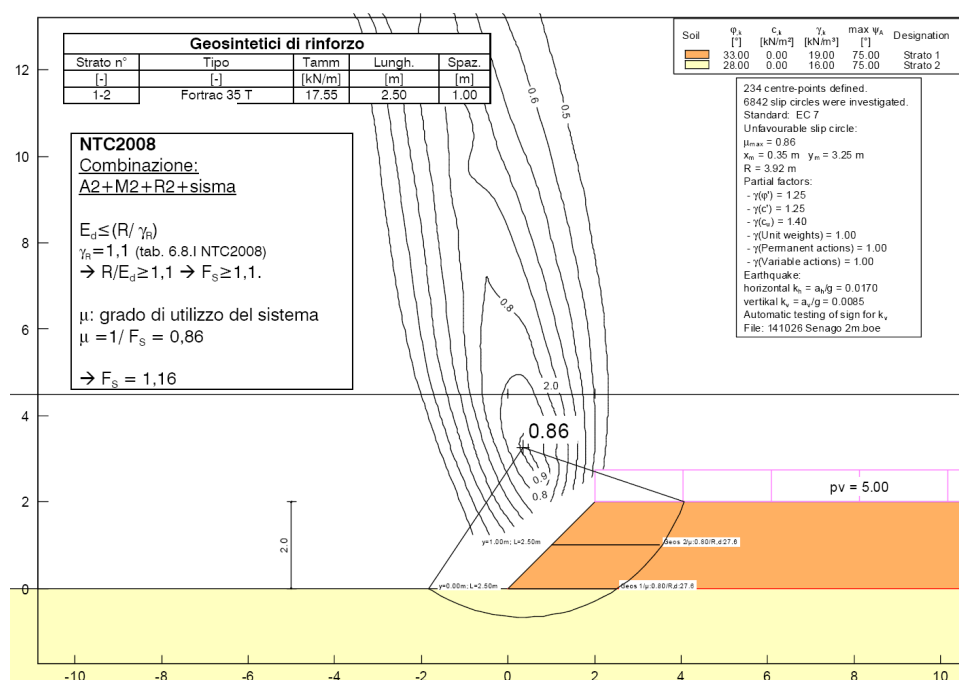






Fig. 14: Verifiche di stabilità del rilevato arginale con geogriglie di rinforzo

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Il Fattore di Sicurezza minimo risulta sempre $F_s > 1,1$ come previsto dalle vigenti normative.

I rinforzi con geogriglia servono a garantire la stabilità globale ed interna del manufatto.

In considerazione dell'elevata pendenza del fronte è possibile che si sviluppino piccoli fenomeni di scivolamento dei terreni superficiali.

Per prevenire tali fenomeni è stato previsto l'utilizzo di una geogriglia tridimensionale antierosione per evitare dilavamenti e fenomeni erosivi sul fronte. Per garantire un corretto funzionamento del sistema le geogriglie andranno picchettate (~1 picchetto a mq) ed ancorate in due piccole trincee al piede ed in sommità della scarpata.

Il lavoro dovrà essere completato con la posa, sul fronte di terreno coltivo e con l'esecuzione di un'idrosemina, al fine di prevenire anche l'innescio di fenomeni erosivi e/o di ruscellamento sul fronte.





9.5 VERIFICA AL SOLLEVAMENTO DEL TELO BENTONITICO DI FONDO

Il progetto prevede l'impermeabilizzazione di tutta la vasca.

La soluzione tecnica individuata è quella della messa in opera di un materassino bentonitico, in grado di garantire una permeabilità inferiore a $1 \cdot 10^{-8}$ cm/sec.

Lo stesso è ricoperto da 1 metro di spessore di terreno e da 0,5 metri di spessore di massi.

Il telo sarà posato ad una quota di circa 200,30 m. s.l.m. e quindi in caso di falda ad una quota superiore per future risalite della stessa, il telo sarà sottoposto ad una sottospinta idraulica.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Per risolvere il problema è stato quindi progettato un sistema in grado di garantire l'equiparazione tra i livelli della falda all'esterno ed all'interno della vasca.

Il sistema è costituito da una serie di tubazioni drenanti, poste alla base delle scarpate, che intercettano l'acqua di falda e la riversano all'interno del laghetto, al fine di omogeneizzare i livelli dell'acqua.

Tali tubazioni sono dotate di una valvola a clapet che consente l'ingresso in vasca dell'acqua di falda, ma non consente l'uscita delle acque della vasca verso la falda.

Si tratta quindi di un sistema monodirezionale, studiato proprio per tutelare al massimo la falda stessa.





Questa soluzione di impermeabilizzazione e bilanciamento delle spinte dell'acqua rende la vasca sostanzialmente neutra rispetto all'assetto idrogeologico, anche a regime, sia in presenza che in assenza di riempimento.

Alla luce di quanto sopra quando la falda è ad una quota superiore a 201,80 m. s.l.m. (fondo della vasca), l'acqua della falda entra nella vasca e quindi il peso dell'acqua bilancia la sottospinta sul telo: in queste condizioni le due componenti si annullano, sempre, per qualunque livello della falda.

La situazione critica e di massima sollecitazione per il telo si verifica quindi con la falda coincidente con il fondo della vasca: in questo caso l'acqua di falda non ha ancora cominciato ad affluire all'interno, ma il telo, posato a quota 200,30 m. s.l.m., è soggetto ad una sottospinta di sollevamento.

Il progetto, per risolvere questa problematica ed evitare il sollevamento del telo, prevede un ricoprimento del telo con 1 metro di terreno e 0,5 m di sassi intasati in terra.

Questo ricoprimento è in grado di fornire un sovraccarico stimabile in almeno 2,8 t/mq.

| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

La sottospinta idraulica per il battente di 1,5 metri è pari ad 1,5 t/mq.

Per la valutazione della stabilità al sollevamento è necessario fare riferimento al par. 6.2.3.2 delle N.T.C., che prevede che le azioni stabilizzanti e le resistenze di progetto siano maggiori o uguali delle azioni instabilizzanti di progetto.

Il peso di volume non è soggetto ad alcun parametro riduttivo; è necessario applicare i fattori di riduzione / maggiorazione, come indicati nella tab. 6.2.3., ai carichi permanenti favorevoli (0,9) ed ai carichi variabili sfavorevoli (1,5).

Nel caso specifico i valori sono i seguenti:

- spinta favorevole alla stabilità (peso reitero): $2,8 \text{ t/mq} * 0,9 = 2,5 \text{ t/mq}$
- spinta instabilizzante (acqua): $1,5 \text{ t/mq} * 1,5 = 2,25 \text{ t/mq}$

La condizione è verificata.

9.6 VERIFICHE DI SCIVOLAMENTO DEI TERRENI DI COPERTURA DEL TELO BENTONITICO





Il progetto prevede l'impermeabilizzazione della vasca con un geocomposito bentonitico con superficie irruvidita.

Il geocomposito sarà poi coperto con uno spessore di circa 80 cm di terreno, per garantire un adeguato livello di carico, nonché per facilitare il mantenimento delle condizioni di umidità e per consentire le operazioni di riverdimento superficiale.

Nel presente paragrafo si procede alla verifica dei possibili rischi di scivolamento dei terreni di riporto al di sopra del telo.

Per effettuare la verifica allo scivolamento sono stati considerati i seguenti dati:

- spessore terreno di copertura: 80 cm





| | | | | | | |
|---|---|---|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

- peso in volume terreno di copertura: $\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3$
- angolo di naturale declivio del terreno di copertura: $>30^\circ$ anche in condizioni bagnate (per il riporto saranno utilizzati i terreni di scavo in sito, adeguatamente compattati e costipati al fine di raggiungere questi parametri di progetto)
- angolo d'attrito geocomposito bentonitico irruvidito - terreno di copertura: $34,3^\circ$ (per questo parametro si è fatto riferimento alle prove di laboratorio effettuate su un materiale in commercio: NaBento RL-C (WB)- test report LGA: VG 9922014/A1)
- angolo d'attrito geocomposito bentonitico irruvidito - terreno in sito: $34,3^\circ$ (per questo parametro si è fatto riferimento alle prove di laboratorio effettuate su un materiale in commercio: NaBento RL-C (WB)- test report LGA: VG 9922014/A1)
- fattori di sicurezza (secondo NTC08, combinazione A2+M2+R2)
 - o per l'angolo d'attrito: $FS = 1,25$
 - o $\gamma_r = 1,10$
- caratteristiche geometriche scarpata: pendenza = 22° / altezza 25 metri

La verifica è stata effettuata scomponendo le forze agenti nella direzione tangenziale alla scarpata. La forza instabilizzante è data dal peso del terreno di copertura, mentre la forza stabilizzante è data dall'attrito lungo l'interstrato critico.

Per garantire la stabilità applicando i fattori di sicurezza minimi richiesti dalla normativa (NTC08) *non risulta essere necessario aggiungere una forza stabilizzante mediante l'utilizzo di una geogriglia in grado di trasferire lo sforzo di trazione ad un ancoraggio in sommità della scarpata.*

E' pertanto verificata la condizione: $\Sigma \text{Forze stabilizzanti} \geq \Sigma \text{Forze instabilizzanti}$

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

Per l'ancoraggio del telo bentonitico diviene fondamentale prevedere delle adeguate trincee in testa, per garantirne la stabilità.

Milano, li agosto 2015

I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti





BETA STUDIO s.r.l.

Dott. Ing. Massimo Coccato

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

Dott. Geol. Mario Spada

Dott. Ing. Alessandro Barbon

| | | | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| A.T.P.: | | | | | Consulenti: | |
|  |  |  | <i>Studio Associato Geologia Spada</i> | <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> |  | <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> |

ALLEGATI

Allegato n° 1: *Stratigrafia e documentazione fotografica delle cassette catalogatrici del sondaggio S0 – Soc. EUROGEO – ottobre 2014*

Allegato n° 2: *Rapporti delle indagini geognostiche e geofisiche – Soc. GEOLAMBDA – dr. M. Daguati – agosto 2015 - contenente i seguenti allegati:*

- stratigrafie dei sondaggi geognostici S1 ed S2,
- stratigrafie e doc. fotografica dei saggi con escavatore,
- referti delle prove penetrometriche dinamiche,
- referti ed elaborazioni delle prove di permeabilità in foro,
- rapporto delle indagini geofisiche, con elaborazione grafiche del MASW.

| | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Riferimento: Studio SPADA | Sondaggio: S1 |
| Località: Lentate sul Seveso | Quota: |
| Impresa esecutrice: EUROGEO S.r.l. | Data: 13-14/10/2014 |
| Coordinate: | Redattore: Dott. Cristiano PRESTA |
| Perforazione: carotaggio continuo | |

| Ø mm | R v | LITOLOGIA | metri batt. | Campioni | RP | VT | Standard Penetration Test | | | prof. m | DESCRIZIONE |
|---------|--------|-----------|----------------|----------|----|----|---------------------------|---------------|-----|------------|---|
| | | | | | | | m | S.P.T. | N | | |
| | | | 1 | | | | | | | 1,0 | Sabbia medio-fine, con limo marrone scuro, ghiaiosa eterometrica, Ø max 6 cm, poligenica, arrotondata. |
| | | | 2 | | | | | | | 1,5 1,7 | Sabbia medio-fine, con ghiaia eterometrica, Ø max 5 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, limosa marrone. Ciottolo. |
| | | | 3 | | | | 3,0 | 17-24-25 | 49 | 3,6 | Sabbia eterometrica, con ghiaia medio-fine, Ø max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, Ø max 9 cm, limosa marrone-grigio. |
| | | | 4 | | | | | | | | Ghiaia eterometrica, Ø max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, con sabbia medio-grossa, da limosa a debolmente limosa grigio-marrone. |
| | | | 5 | | | | | | | 5,4 | |
| | | | 6 | | | | 6,0 | 23-21-27 | 48 | | Ghiaia eterometrica, Ø max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, Ø max 10 cm, con sabbia medio-grossa, localmente medio-fine, limosa marrone verdastro. |
| | | | 7 | | | | | | | | |
| | | | 8 | | | | | | | | |
| | | | 9 | | | | 9,0 | 18-24-31 | 55 | | |
| | | | 10 | | | | | | | 10,0 | |
| | | | 11 | | | | | | | 11,1 | Sabbia medio-grossa, con ghiaia medio-fine, Ø max 4 cm, poligenica, arrotondata, debolmente limosa verdastro. |
| | | | 12 | | | | 12,0 | 24-41-50/9cm | Rif | | Ghiaia eterometrica, Ø max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, pot. max 12 cm, con sabbia medio-grossa, localmente medio-fine, limosa grigio verdastro. |
| | | | 13 | | | | | | | | |
| | | | 14 | | | | | | | | |
| | | | 15 | | | | 15,0 | 15-50/12cm | Rif | | |
| | | | 16 | | | | | | | | |
| | | | 17 | | | | | | | | |
| | | | 18 | | | | 18,0 | 37-50/10cm | Rif | | |
| | | | 19 | | | | | | | | |
| | | | 20 | | | | | | | | |
| | | | 21 | | | | 21,0 | 33-44-50/7cm | Rif | | |
| | | | 22 | | | | | | | | |
| | | | 23 | | | | | | | | |
| | | | 24 | | | | 24,0 | 50/11cm | Rif | 24,1 | |
| | | | 25 | | | | | | | 25,0 | Ghiaia medio-fine, Ø max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, Ø max 7, con sabbia eterometrica, limosa grigio verdastro. |
| | | | 26 | | | | | | | | Ghiaia eterometrica, Ø max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, rari ciottoli, Ø max 8 cm, con sabbia medio-grossa, limosa grigio verdastro. |
| | | | 27 | | | | 27,0 | 33-41-50/13cm | Rif | 27,0 | |

| | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Riferimento: Studio SPADA | Sondaggio: S1 |
| Località: Lentate sul Seveso | Quota: |
| Impresa esecutrice: EUROGEO S.r.l. | Data: 13-14/10/2014 |
| Coordinate: | Redattore: Dott. Cristiano PRESTA |
| Perforazione: carotaggio continuo | |



S1 CASSA 1 DA 0,00 A 5,00 M



S1 CASSA 2 DA 5,00 A 10,00 M



S1 CASSA 3 DA 10,00 A 15,00 M



S1 CASSA 4 DA 15,00 A 20,00 M



S1 CASSA 5 DA 20,00 A 25,00 M



S1 CASSA 6 DA 25,00 A 27,00 M

Sondaggio n.

LUGEON

| Quota di riferimento (m) | Profondità (m) | Sezione terreno | Campione | Descrizione litologica | Piezometro | Completamento | Falda | S.P.T. | % Carotaggio | Prova Lefranc | Max | Vane test | Residuo |
|--------------------------|----------------|-----------------|----------|--|------------|---------------------------------------|-------|-----------------------------|--------------|------------------|-----------------|-----------|---------|
| | 0.30 | | | terreno vegetale | | | | | | | | | |
| | 1.00 | | | limo molto consistente poco plastico di colore marrone | | | | | | | | | |
| | 3.70 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore grigio | | tubazione PVC ø 3" | | SPT 03.00 5 6 9 | | | | | |
| | 4.00 | | 4.00 | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 5.00 | | 5.00 | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia da fine a media) di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 7.60 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio | | | | SPT 06.00 50 rif. | | | 7.75 Prova K | | |
| | 10.00 | | 10.00 | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia grossolana) di colore grigio | | | | SPT 09.00 31 44 46 | | | 7.64 | | |
| | 11.00 | | 11.00 | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia fine) limosa di colore grigio | | cementazione | | | | | | | |
| | 13.00 | | 13.00 | sabbia molto fine con ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) di colore grigio | | | | SPT 12.00 29 39 25 | | | | | |
| | 14.60 | | 14.00 | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio | | 14.50 | | | | | | | |
| | 15.50 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da media a grossolana di colore grigio | | 15.00 | | SPT 15.00 nif. | | | | | |
| | 16.00 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine di colore grigio | | | | | | 16.35 Prova K | 16.65 | | |
| | 18.00 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia grossolana) di colore grigio | | filtri microfessurati luce 0.25 mm | | SPT 18.00 2 nif. | | | | | |
| | 19.00 | | 19.00 | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbioso limosa di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 20.90 | | 20.00 | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana limosa di colore grigio | | | | SPT 21.00 nif. | | | | | |
| | 22.50 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media limosa di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 25.00 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 27.10 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore grigio | | | | | | 28.40 Prova K | 28.65 | | |
| | 30.00 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con poco limo di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 32.00 | | | sabbia media con pochi ciottoli di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 32.30 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 33.30 | | | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 34.00 | | | sabbia da media a grossolana ghiaiosa di colore grigio | | | | | | | | | |
| | 35.00 | | | | | 35.00 | | | | | | | |

COMMITTENTE: AIPo – Agenzia Interregionale per il fiume Po

Località: LENTATE SUL SEVESO – Area vasca di laminazione del T. Seveso

PROFILI STRATIGRAFICI E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLE TRINCEE ESPLORATIVE

Agosto 2015

| TRINCEA ESPLORATIVA SA1 | | | | | |
|-----------------------------------|------|---|------|---------------------------------|---|
| <u>profondità (m. da p.c.)</u> | | | | <u>Classificazione USCS</u> | <u>Natura dei terreni</u> |
| Da | 0.00 | a | 0.40 | | terreno vegetale |
| Da | 0.40 | a | 1.30 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore marrone |
| Da | 1.30 | a | 4.00 | GP | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media di colore grigio |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |
| <i>Campione: SA1(2.00-4.00 m)</i> | | | | | |



Foto 1: particolare della trincea Sa1

| TRINCEA ESPLORATIVA SA2 | | | | | |
|-----------------------------------|------|---|------|-----------------------------|--|
| <u>profondità (m. da p.c.)</u> | | | | <u>Classificazione USCS</u> | <u>Natura dei terreni</u> |
| Da | 0.00 | a | 0.30 | | terreno vegetale |
| Da | 0.30 | a | 1.10 | ML | limo consistente poco plastico di colore marrone |
| Da | 1.10 | a | 2.10 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore marrone |
| Da | 2.10 | a | 2.70 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine limosa di colore marrone |
| Da | 2.70 | a | 4.00 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media limosa di colore grigio |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |
| <i>Campione: SA2(2.00-4.00 m)</i> | | | | | |



Foto 2: particolare della trincea SA2

| TRINCEA ESPLORATIVA SA3 | | | | | |
|-----------------------------------|------|---|------|-----------------------------|---|
| <u>profondità (m. da p.c.)</u> | | | | <u>Classificazione USCS</u> | <u>Natura dei terreni</u> |
| Da | 0.00 | a | 0.40 | | terreno vegetale |
| Da | 0.40 | a | 1.20 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con limo di colore marrone |
| Da | 1.20 | a | 2.00 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media limosa di colore marrone |
| Da | 2.00 | a | 4.00 | SW | sabbia media con pochi ciottoli centimetrici di colore grigio |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |
| <i>Campione: SA3(2.00-4.00 m)</i> | | | | | |



Foto 3: particolare della trincea SA3

| TRINCEA ESPLORATIVA SA4 | | | | | |
|--------------------------------|------|---|------|-----------------------------|---|
| <u>profondità (m. da p.c.)</u> | | | | <u>Classificazione USCS</u> | <u>Natura dei terreni</u> |
| Da | 0.00 | a | 0.30 | | terreno vegetale |
| Da | 0.30 | a | 1.60 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia molto fine limosa di colore nocciola |
| Da | 1.60 | a | 4.00 | GP | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine di colore nocciola |
| falda: assente | | | | | |
| Campione: SA4(2.00-4.00 m) | | | | | |



Foto 4: particolare della trincea SA4

| TRINCEA ESPLORATIVA SA5 | | | | | |
|-----------------------------------|------|---|------|---------------------------------|---|
| <u>profondità (m. da p.c.)</u> | | | | <u>Classificazione USCS</u> | <u>Natura dei terreni</u> |
| Da | 0.00 | a | 0.40 | | terreno vegetale |
| Da | 0.40 | a | 2.10 | GM | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia molto fine limosa di colore ocra |
| Da | 2.10 | a | 4.00 | GP | ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia molto fine di colore grigio |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |
| <i>Campione: SA5(2.00-4.00 m)</i> | | | | | |



Foto 5: particolare della trincea SA5

| | |
|-------------|---|
| Committente | AIPo - Agenzia Interregionale per il fiume Po |
| Comune | Lentate sul Seveso |
| Località | Area futura vasca laminazione del T. Seveso |
| data | 24/07/2015 |
| strumento | Penetrometro dinamico super pesante (DPSH) |
| Operatore | GLC |
| D.T. | MD |
| note | N riv= numero di colpi per l'avanzamento di 1,0 m di aste |

| prova n. 1 | | | prova n. 2 | | | prova n. 3 | | | prova n. 4 | | |
|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv |
| 0,3 | 3 | 5 | 0,3 | 3 | 8 | 0,3 | 5 | 9 | 0,3 | 11 | 7 |
| 0,6 | 5 | | 0,6 | 5 | | 0,6 | 9 | | 0,6 | 14 | |
| 0,9 | 6 | | 0,9 | 12 | | 0,9 | 16 | | 0,9 | 9 | |
| 1,2 | 6 | 7 | 1,2 | 7 | 11 | 1,2 | 35 | | 1,2 | 8 | 18 |
| 1,5 | 7 | | 1,5 | 9 | | 1,5 | 46 | | 1,5 | 16 | |
| 1,8 | 3 | | 1,8 | 18 | | 1,8 | rif | | 1,8 | 13 | |
| 2,1 | 3 | 12 | 2,1 | 13 | | 2,1 | | | 2,1 | 25 | |
| 2,4 | 26 | | 2,4 | 25 | | 2,4 | | | 2,4 | 38 | |
| 2,7 | 35 | | 2,7 | 46 | | 2,7 | | | 2,7 | 55 | |
| 3,0 | 38 | | 3,0 | 68 | | 3,0 | | | 3,0 | rif | |
| 3,3 | 46 | | 3,3 | rif | | 3,3 | | | 3,3 | | |
| 3,6 | 60 | | 3,6 | | | 3,6 | | | 3,6 | | |
| 3,9 | rif | | 3,9 | | | 3,9 | | | 3,9 | | |
| 4,2 | | | 4,2 | | | 4,2 | | | 4,2 | | |
| 4,5 | | | 4,5 | | | 4,5 | | | 4,5 | | |
| 4,8 | | | 4,8 | | | 4,8 | | | 4,8 | | |
| 5,1 | | | 5,1 | | | 5,1 | | | 5,1 | | |
| 5,4 | | | 5,4 | | | 5,4 | | | 5,4 | | |
| 5,7 | | | 5,7 | | | 5,7 | | | 5,7 | | |
| 6,0 | | | 6,0 | | | 6,0 | | | 6,0 | | |
| 6,3 | | | 6,3 | | | 6,3 | | | 6,3 | | |
| 6,6 | | | 6,6 | | | 6,6 | | | 6,6 | | |
| 6,9 | | | 6,9 | | | 6,9 | | | 6,9 | | |
| 7,2 | | | 7,2 | | | 7,2 | | | 7,2 | | |
| 7,5 | | | 7,5 | | | 7,5 | | | 7,5 | | |
| 7,8 | | | 7,8 | | | 7,8 | | | 7,8 | | |
| 8,1 | | | 8,1 | | | 8,1 | | | 8,1 | | |

| | |
|-------------|---|
| Committente | AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po |
| Comune | Lentate sul Seveso |
| Località | Area futura vasca laminazione del T. Seveso |
| data | 24/07/2015 |
| strumento | Penetrometro dinamico super pesante (DPSH) |
| Operatore | GLC |
| D.T. | MD |
| note | N riv= numero di colpi per l'avanzamento di 1,0 m di aste |

| prova n. 5 | | | prova n. 6 | | | prova n. 7 | | | prova n. 8 | | |
|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv | prof. (m) | N punta | N riv |
| 0,3 | 6 | 3 | 0,3 | 2 | 5 | 0,3 | 15 | 6 | 0,3 | 2 | 6 |
| 0,6 | 12 | | 0,6 | 6 | | 0,6 | 21 | | 0,6 | 9 | |
| 0,9 | 9 | | 0,9 | 11 | | 0,9 | 13 | | 0,9 | 17 | |
| 1,2 | 5 | 5 | 1,2 | 7 | 5 | 1,2 | 9 | 13 | 1,2 | 21 | 9 |
| 1,5 | 7 | | 1,5 | 6 | | 1,5 | 11 | | 1,5 | 7 | |
| 1,8 | 9 | | 1,8 | 10 | | 1,8 | 18 | | 1,8 | 8 | |
| 2,1 | 24 | 8 | 2,1 | 18 | 8 | 2,1 | 23 | | 2,1 | 5 | 12 |
| 2,4 | 13 | | 2,4 | 15 | | 2,4 | 35 | | 2,4 | 7 | |
| 2,7 | 10 | | 2,7 | 11 | | 2,7 | 62 | | 2,7 | 8 | |
| 3,0 | 11 | 13 | 3,0 | 9 | 13 | 3,0 | rif | | 3,0 | 8 | inc. |
| 3,3 | 16 | | 3,3 | 12 | | 3,3 | | | 3,3 | 23 | |
| 3,6 | 15 | | 3,6 | 8 | | 3,6 | | | 3,6 | 38 | |
| 3,9 | 13 | | 3,9 | 4 | | 3,9 | | | 3,9 | 47 | |
| 4,2 | 18 | inc. | 4,2 | 9 | 18 | 4,2 | | | 4,2 | 58 | |
| 4,5 | 20 | | 4,5 | 19 | | 4,5 | | | 4,5 | rif | |
| 4,8 | 33 | | 4,8 | 15 | | 4,8 | | | 4,8 | | |
| 5,1 | 24 | | 5,1 | 19 | 23 | 5,1 | | | 5,1 | | |
| 5,4 | 31 | | 5,4 | 22 | | 5,4 | | | 5,4 | | |
| 5,7 | 55 | | 5,7 | 33 | | 5,7 | | | 5,7 | | |
| 6,0 | rif | | 6,0 | 42 | | 6,0 | | | 6,0 | | |
| 6,3 | | | 6,3 | 35 | | 6,3 | | | 6,3 | | |
| 6,6 | | | 6,6 | 51 | | 6,6 | | | 6,6 | | |
| 6,9 | | | 6,9 | rif | | 6,9 | | | 6,9 | | |
| 7,2 | | | 7,2 | | | 7,2 | | | 7,2 | | |
| 7,5 | | | 7,5 | | | 7,5 | | | 7,5 | | |
| 7,8 | | | 7,8 | | | 7,8 | | | 7,8 | | |
| 8,1 | | | 8,1 | | | 8,1 | | | 8,1 | | |

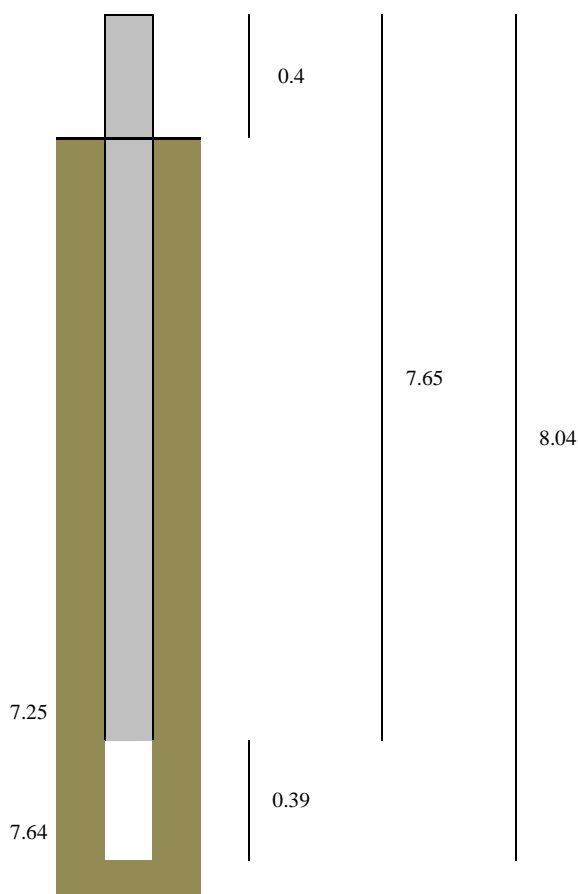
COMMITTENTE: AIPo – Agenzia Interregionale per il fiume Po

Località: LENTATE SUL SEVESO – Area vasca di laminazione del T. Seveso

RISULTATI DELLE PROVE DI PERMEABILITA’ IN FORO DI SONDAGGIO

Agosto 2015

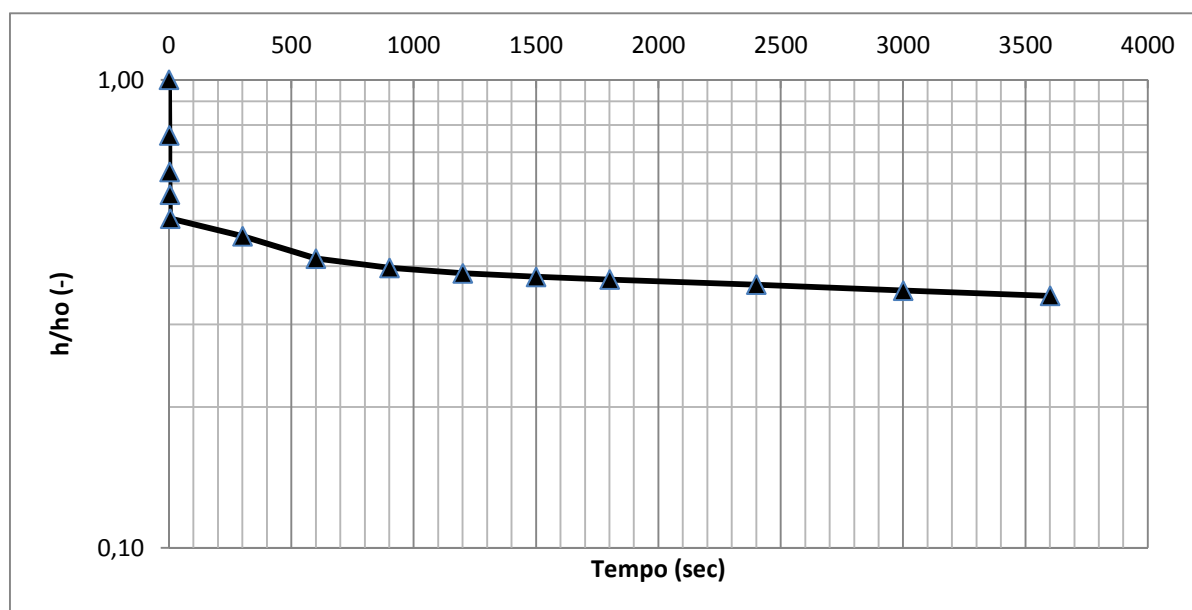
| | | |
|--|------|----|
| Sondaggio S1 | | |
| 03/08/2015 | | |
| Profondità prova | 7.64 | m |
| Diametro del foro | 127 | mm |
| Profondità del foro dalla testa tubo | 8.04 | m |
| Lunghezza tubo | 7.65 | m |
| Altezza testa tubo sopra piano campagna | 0.4 | m |
| Spessore tratto interessato dalla prova | 0.39 | m |
| Livello statico della falda rispetto al piano campagna | - | m |



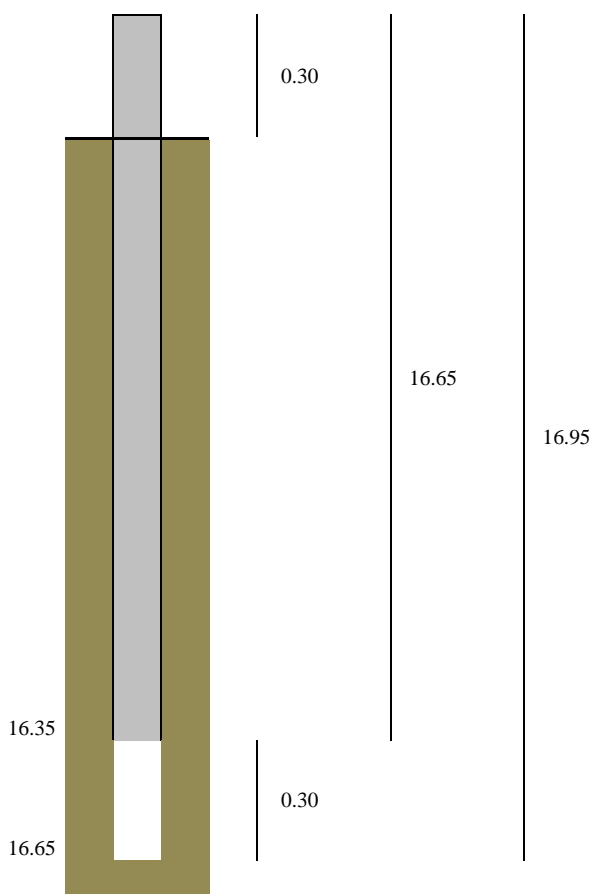
Schema prova

| Tempo (secondi) | Tempo (minuti) | Livello (m) | Abbassamento (m) |
|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| 0 | 0.0 | 0.00 | 7.64 |
| 1 | 1.0 | 1.83 | 5.81 |
| 2 | 2.0 | 2.78 | 4.86 |
| 3 | 3.0 | 3.30 | 4.34 |
| 4 | 4.0 | 3.78 | 3.86 |
| 300 | 5.0 | 4.10 | 3.54 |
| 600 | 10.0 | 4.47 | 3.17 |
| 900 | 15.0 | 4.61 | 3.03 |
| 1200 | 20.0 | 4.69 | 2.95 |
| 1500 | 25.0 | 4.74 | 2.90 |
| 1800 | 30.0 | 4.78 | 2.86 |
| 2400 | 40.0 | 4.85 | 2.79 |
| 3000 | 50.0 | 4.93 | 2.71 |
| 3600 | 60.0 | 5.00 | 2.64 |

Livelli riferiti al piano campagna



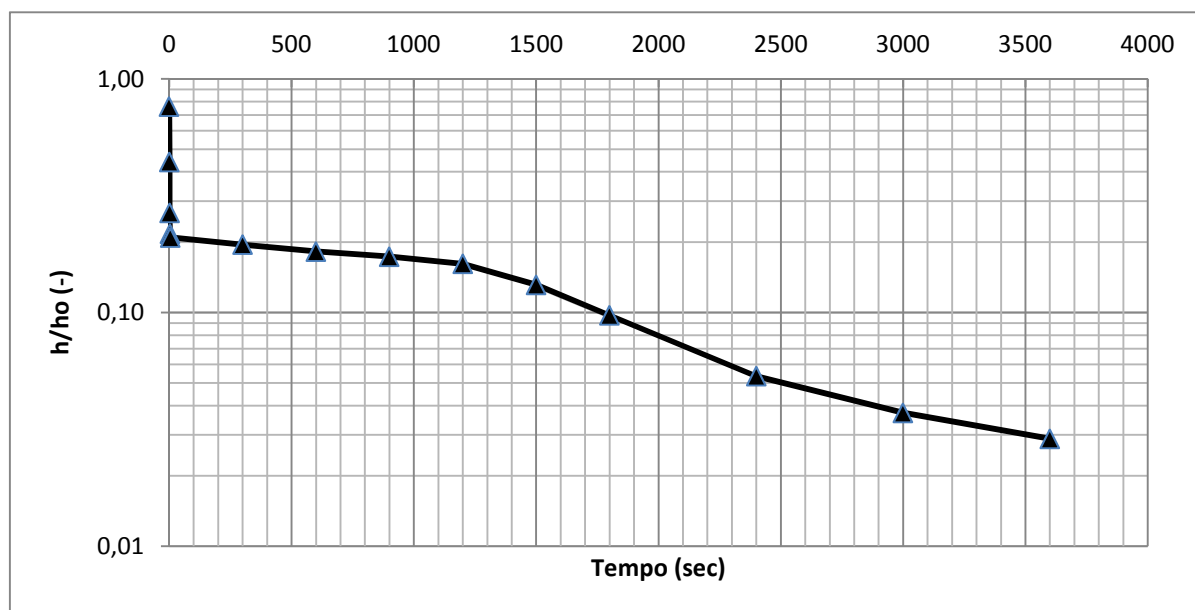
| | | |
|--|-------|---|
| Sondaggio S1 | | |
| 03/08/2015 | | |
| Profondità prova | 16.65 | m |
| Diametro del foro | 0.127 | m |
| Profondità del foro dalla testa tubo | 16.95 | m |
| Lunghezza tubo | 16.65 | m |
| Altezza testa tubo sopra piano campagna | 0.30 | m |
| Spessore tratto interessato dalla prova | 0.30 | m |
| Livello statico della falda rispetto al piano campagna | - | m |



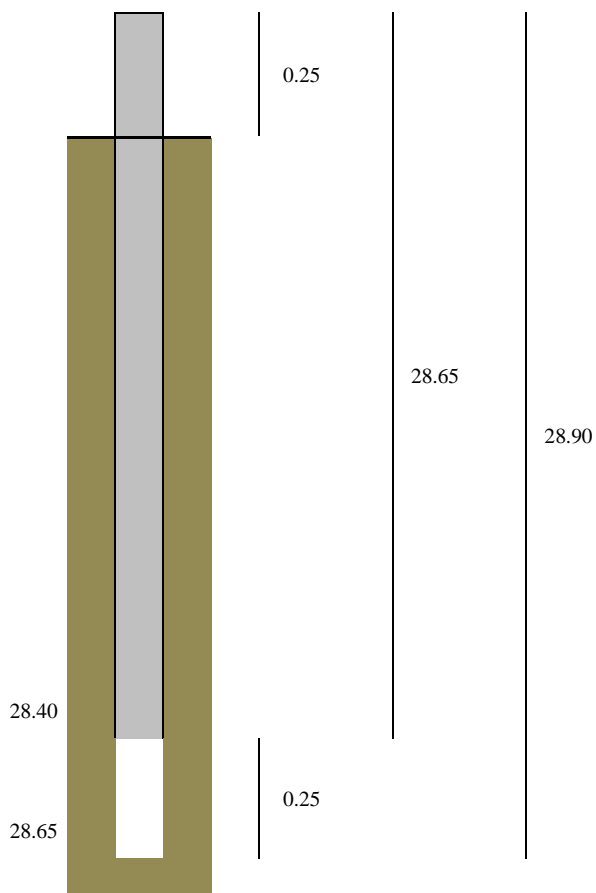
Schema prova

| Tempo (secondi) | Tempo (minuti) | Livello (m) | Abbassamento (m) |
|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| 0 | 0.0 | 4.00 | 12.65 |
| 1 | 1.0 | 9.30 | 7.35 |
| 2 | 2.0 | 12.21 | 4.44 |
| 3 | 3.0 | 13.03 | 3.62 |
| 4 | 4.0 | 13.16 | 3.49 |
| 300 | 5.0 | 13.40 | 3.25 |
| 600 | 10.0 | 13.61 | 3.04 |
| 900 | 15.0 | 13.76 | 2.89 |
| 1200 | 20.0 | 13.96 | 2.69 |
| 1500 | 25.0 | 14.46 | 2.19 |
| 1800 | 30.0 | 15.03 | 1.62 |
| 2400 | 40.0 | 15.76 | 0.89 |
| 3000 | 50.0 | 16.03 | 0.62 |
| 3600 | 60.0 | 16.17 | 0.48 |

Livelli riferiti al piano campagna



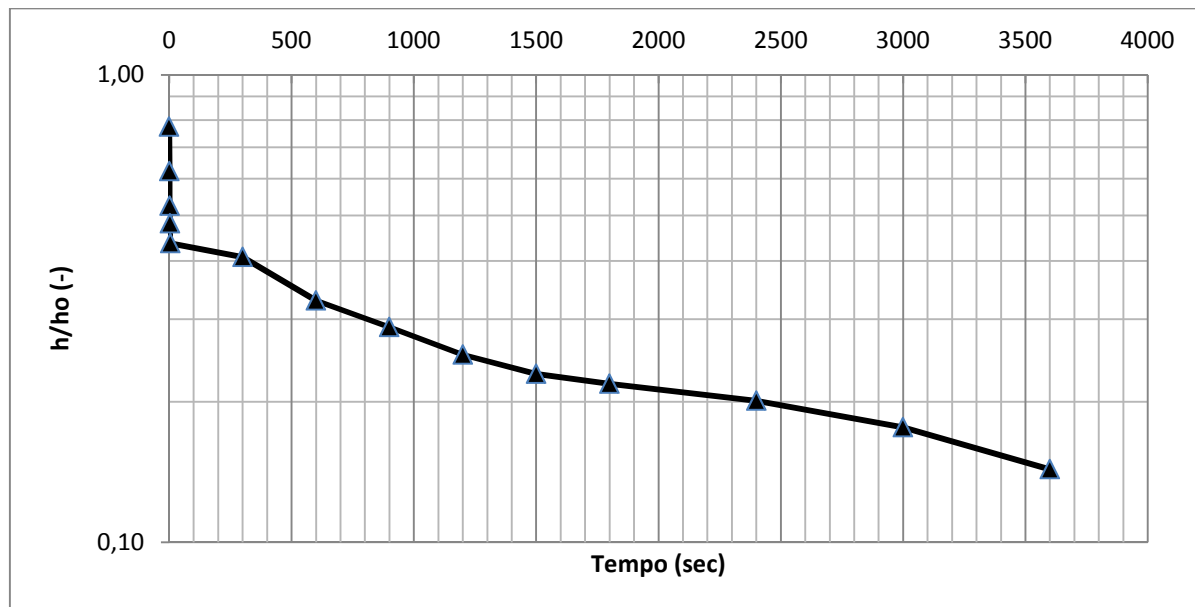
| | | |
|--|-------|---|
| Sondaggio S1 | | |
| 04/08/2015 | | |
| Profondità prova | 28.65 | m |
| Diametro del foro | 0.127 | m |
| Profondità del foro dalla testa tubo | 28.90 | m |
| Lunghezza tubo | 28.65 | m |
| Altezza testa tubo sopra piano campagna | 0.25 | m |
| Spessore tratto interessato dalla prova | 0.25 | m |
| Livello statico della falda rispetto al piano campagna | 21.06 | m |



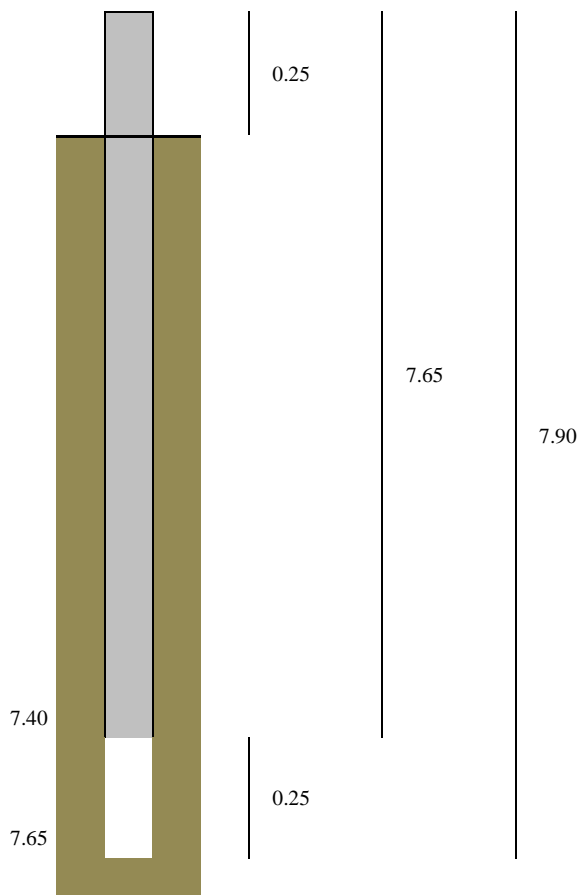
Schema prova

| Tempo (secondi) | Tempo (minuti) | Livello (m) | Abbassamento (m) |
|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| 0 | 0.0 | 4.75 | 16.31 |
| 1 | 1.0 | 7.95 | 13.11 |
| 2 | 2.0 | 10.01 | 11.05 |
| 3 | 3.0 | 10.93 | 10.13 |
| 4 | 4.0 | 11.87 | 9.19 |
| 300 | 5.0 | 12.47 | 8.59 |
| 600 | 10.0 | 14.13 | 6.93 |
| 900 | 15.0 | 14.98 | 6.08 |
| 1200 | 20.0 | 15.75 | 5.31 |
| 1500 | 25.0 | 16.23 | 4.83 |
| 1800 | 30.0 | 16.46 | 4.60 |
| 2400 | 40.0 | 16.83 | 4.23 |
| 3000 | 50.0 | 17.35 | 3.71 |
| 3600 | 60.0 | 18.04 | 3.02 |

Livelli riferiti al piano campagna



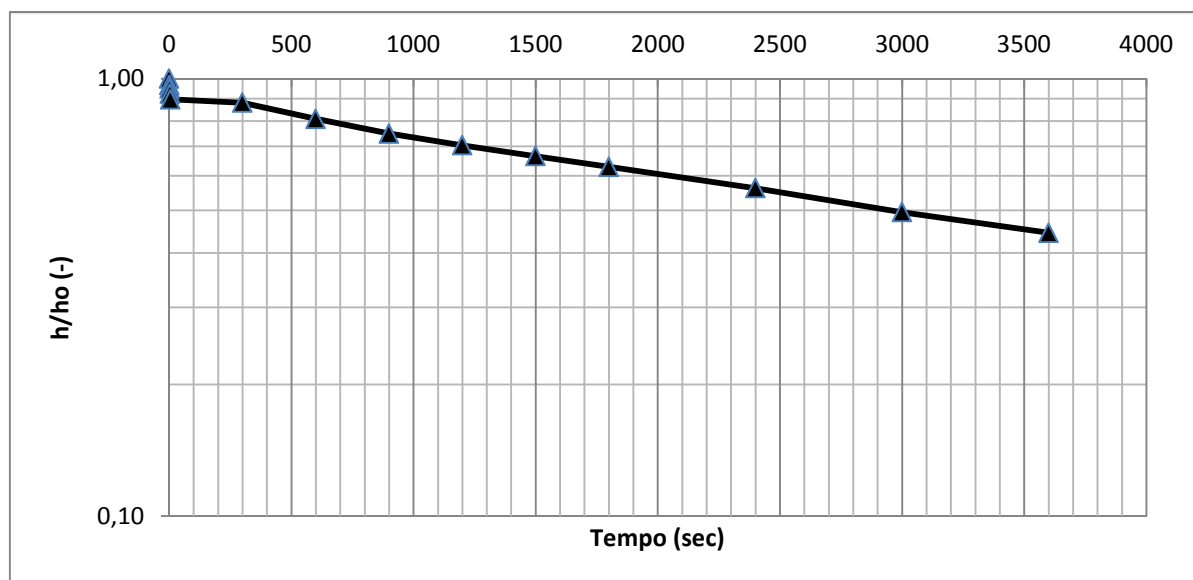
| | | |
|--|-------|---|
| Sondaggio S2 | | |
| 04/08/2015 | | |
| Profondità prova | 7.65 | m |
| Diametro del foro | 0.127 | m |
| Profondità del foro dalla testa tubo | 7.90 | m |
| Lunghezza tubo | 7.65 | m |
| Altezza testa tubo sopra piano campagna | 0.25 | m |
| Spessore tratto interessato dalla prova | 0.25 | m |
| Livello statico della falda rispetto al piano campagna | - | m |



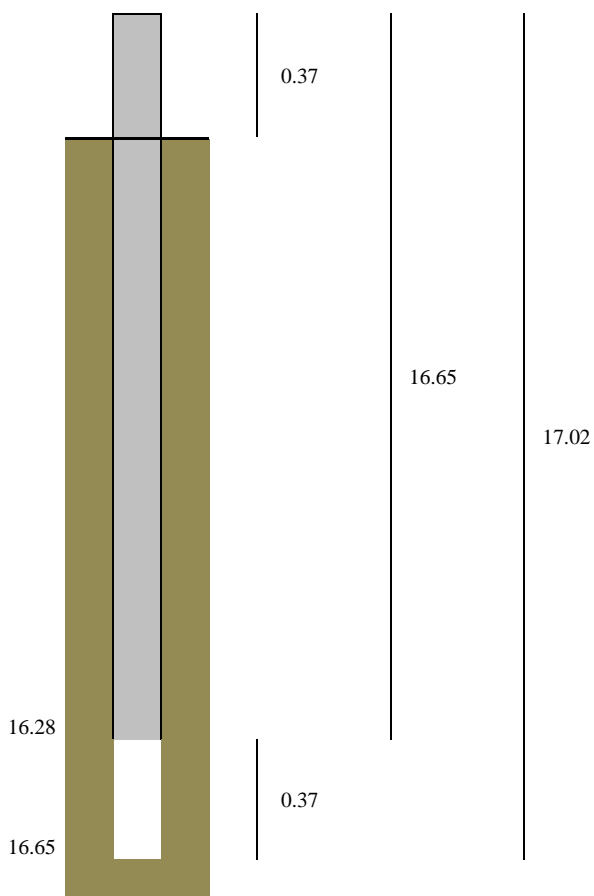
Schema prova

| Tempo (secondi) | Tempo (minuti) | Livello (m) | Abbassamento (m) |
|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| 0 | 0.0 | 0.00 | 7.65 |
| 1 | 1.0 | 0.25 | 7.40 |
| 2 | 2.0 | 0.39 | 7.26 |
| 3 | 3.0 | 0.58 | 7.07 |
| 4 | 4.0 | 0.79 | 6.86 |
| 300 | 5.0 | 0.91 | 6.74 |
| 600 | 10.0 | 1.46 | 6.19 |
| 900 | 15.0 | 1.92 | 5.73 |
| 1200 | 20.0 | 2.26 | 5.39 |
| 1500 | 25.0 | 2.56 | 5.09 |
| 1800 | 30.0 | 2.84 | 4.81 |
| 2400 | 40.0 | 3.35 | 4.30 |
| 3000 | 50.0 | 3.86 | 3.79 |
| 3600 | 60.0 | 4.25 | 3.40 |

Livelli riferiti al piano campagna

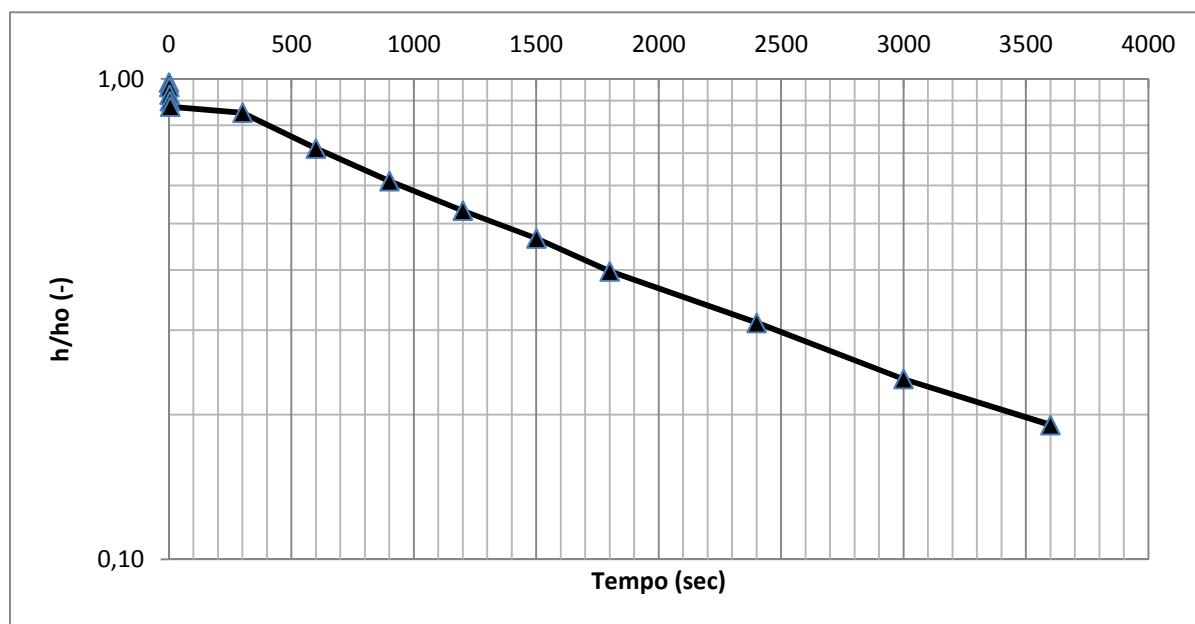


| | | |
|--|-------|---|
| Sondaggio S2 | | |
| 05/08/2015 | | |
| Profondità prova | 16.65 | m |
| Diametro del foro | 0.127 | m |
| Profondità del foro dalla testa tubo | 17.02 | m |
| Lunghezza tubo | 16.65 | m |
| Altezza testa tubo sopra piano campagna | 0.37 | m |
| Spessore tratto interessato dalla prova | 0.37 | m |
| Livello statico della falda rispetto alla testa del tubo | - | m |



Schema prova

| Tempo (secondi) | Tempo (minuti) | Livello (m) | Abbassamento (m) |
|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| 0 | 0.0 | 0.30 | 16.35 |
| 1 | 1.0 | 0.65 | 16.00 |
| 2 | 2.0 | 1.22 | 15.43 |
| 3 | 3.0 | 1.69 | 14.96 |
| 4 | 4.0 | 2.08 | 14.57 |
| 300 | 5.0 | 2.50 | 14.15 |
| 600 | 10.0 | 4.72 | 11.93 |
| 900 | 15.0 | 6.45 | 10.20 |
| 1200 | 20.0 | 7.80 | 8.85 |
| 1500 | 25.0 | 8.90 | 7.75 |
| 1800 | 30.0 | 10.03 | 6.62 |
| 2400 | 40.0 | 11.48 | 5.17 |
| 3000 | 50.0 | 12.70 | 3.95 |
| 3600 | 60.0 | 13.48 | 3.17 |



| | |
|---------------------------|--|
| <u>Comune</u> | LENTATE SUL SEVESO |
| <u>Provincia</u> | MONZA E BRIANZA |
| <u>Committente</u> | A.I.Po – Agenzia Interregionale per il fiume PO |
| <u>Oggetto</u> | Area di laminazione del Torrente Seveso in Comune di Lentate sul Seveso (MB) – Indagine geofisica tipo MASW |
| <u>Data</u> | 04 agosto 2015 |

PREMESSA

La presente relazione illustra le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un profilo sismico con la metodologia MASW (attiva e passiva) presso l'area interessata dal progetto di un'area di laminazione del Torrente Seveso in Comune di Lentate sul Seveso (MB).

In figura 1 si riporta l'ubicazione dell'indagine geofisica effettuata.



Figura 1: Ubicazione della prova MASW effettuata (Ortofoto).

INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO, DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E DEI RISULTATI

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del *Kansas Geological Survey* (Park C.B. et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki D.J., 1999; Park C.B., Miller R.D., 2006; Roma V., 2006):

- 1) Nel “metodo attivo” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).
- 2) Nel “metodo passivo” lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m (la configurazione geometrica adottata è stata dettata sia dalle condizioni logistiche che dalla necessità di ricostruire al meglio lo spettro di velocità delle onde superficiali di Rayleigh).

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 18 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti (*“Optimum Field Parameters of an MASW Survey”*, Park C.B. et al., 2005; Dal Moro G., 2008; Dal Moro G., 2012).

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva o ReMi) acquisendo in totale 12 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.



Figura 2: Vista dello stendimento MASW effettuato.

Elaborazione dati

I dati sperimentali acquisiti sono stati elaborati con il programma SurfSeis 4.0 della Kansas University, Park C. B., 2006-2013. Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale “phase velocity-frequency (c-f)” che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il “modo fondamentale” delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il “modo fondamentale” delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia “superficiali” che “profonde”.

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un “picking” attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (si veda la curva di dispersione riportata in allegato). Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

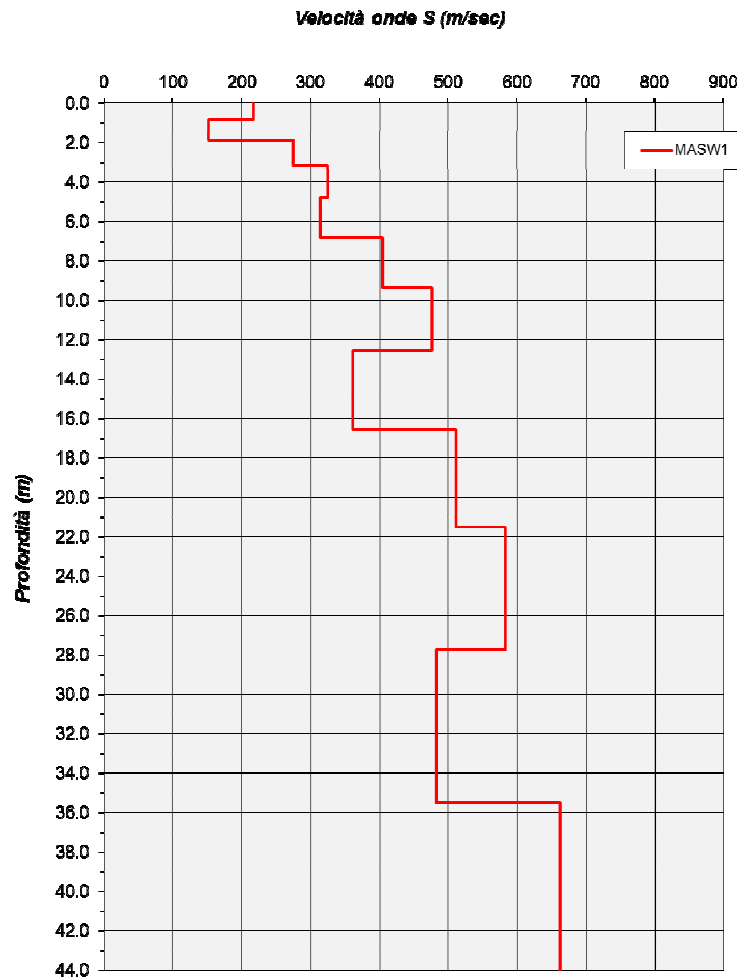
Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon “fitting” con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dall'inversione della curva di dispersione (relativa al “modo fondamentale” delle onde superficiali di Rayleigh) si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata:

| MASW 1 | | | |
|---------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Strato | Spessore [m] | Vs [m/s] | Profondità |
| 1 | 0.8 | 217 | 0.8 |
| 2 | 1.0 | 152 | 1.9 |
| 3 | 1.3 | 275 | 3.2 |
| 4 | 1.6 | 325 | 4.8 |
| 5 | 2.0 | 313 | 6.9 |
| 6 | 2.5 | 404 | 9.4 |
| 7 | 3.2 | 476 | 12.6 |
| 8 | 4.0 | 361 | 16.6 |
| 9 | 5.0 | 512 | 21.5 |
| 10 | 6.2 | 582 | 27.8 |
| 11 | 7.8 | 482 | 35.5 |
| 12 | 8.5 | 662 | 44.0 |

Tabella 1: Modello sismico monodimensionale.



Codogno, 04.08.2015

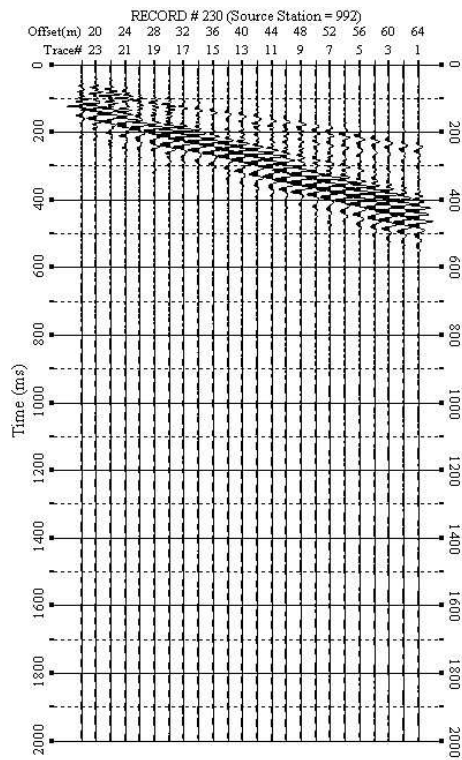
GEOLAMBDA Engineering S.r.l.

dott. geologo Marco Dagupati

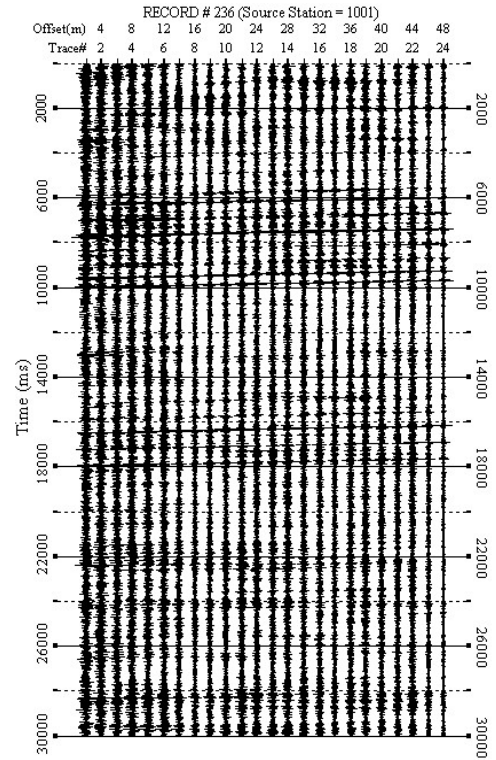


ALLEGATO INDAGINE MASW

registrazione attiva



registrazione passiva



CURVA DI DISPERSIONE

