

AREA DI LAMINAZIONE DEL TORRENTE SEVESO nei Comuni di Varedo e Bovisio Masciago (MB) - MI-E-795

PROGETTO DEFINITIVO

NOVEMBRE 2014

PROGETTISTI:

ING. GAETANO LA MONTAGNA
ING. SARA MELONE

COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE:

GEOM. MAURO MARCONE
DOTT. ALESSANDRO MORGESE

GEOLOGIA:

DOTT. CRISTIAN MORGANTI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. LUIGI MILLE

SUPPORTO ALLA 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. MARCO MIOLO

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 Nicolo' (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)



Sistema Certificato
UNI EN ISO 9001
SC 06-647/EA 34



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

Via Varese 16 20121 Milano

tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.30

GRUPPO LAND Milano Roma Cagliari Duisburg

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



Landscape
Architecture
Nature
Development

TITOLO

SCALA

Relazione geologico-tecnica

Revisioni

1

2

Numero
elaborato

TIPOLOGIA

PD

COMMESSA

MI-E-795

DOCUMENTO

AT

NUMERO

A.2.4

<p>PROGETTISTI</p> 	<p>SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE</p> <p>A.T.P.:</p> <div>    </div> <div> <p>Studio Associato Geologia Spada</p> <p>Dott. Ing. A. Barbon</p> </div> <div> <p>Consulenti:</p>  <p>Prof. Dott. V. Mezzanotte</p> </div>					
--	---	--	--	--	--	--

INDICE

1.0 PREMESSE	3
1.1 PROGRAMMA DI LAVORO E FONTI CONSULTATE	4
2.0 ASSETTO GEOLORFOLOGICO E GEOLOGICO	6
2.1 QUADRO GEOLOGICO COMPLESSIVO	7
3.0 SONDAGGIO GEOGNOSTICO CON PROVE IN FORO	11
3.1 PROVE S.P.T. IN FORO	14
4.0 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	16
4.1 SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	16
4.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	18
5.0 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	20
6.0 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL SOTTOSUOLO	22
6.1 ATTIVITA' PRESSO LA FALDA	24
7.0 STABILITA' DELLE SCARPATE	27
7.1 APPROCCIO PROGETTUALE	27
7.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	28
7.3 VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE	30
7.4 VERIFICHE DI SCIVOLAMENTO DEI TERRENI DI COPERTURA DEL TELO BENTONITICO	34

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
		A.T.P.:							
									
		INGEGNERI ASSOCIATI		WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS		Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte	

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 Varedo (MB).

La stessa è parte integrante del progetto definitivo delle opere, predisposto da A.I.P.O – Agenzia Interregionale per il Fiume Po.

La Scrivente struttura è stata supportata nella fase di progettazione dall’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)*”

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.

Le analisi seguenti fanno riferimento principalmente alla documentazione tecnica disponibile sia nella letteratura scientifica che presso gli Enti territoriali; la stessa è stata integrata sia da verifiche sul territorio che dai dati puntuali di un sondaggio a carotaggio continuo, spinto fino al di sotto della profondità massima di intervento, con prove in foro.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
		A.T.P.:			Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte	
									

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. *“Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – foglio 118 MILANO: note illustrative – tavola 1 – tavola 2 – database dei dati di sottosuolo”* – ISPRA Servizio Geologico d’Italia – a cura di Francani, Piccin et al. (bozza di lavoro SAL III al giugno 2010 disponibile sul sito internet della Regione Lombardia);
3. *“Comune di Varedo – Studio geologico del territorio Comunale a supporto del PGT redatto ai sensi della L.R. 12/05, della D.G.R. 8/1566 e della D.G.R. 8/7374 - relazione tecnica illustrativa – tavole grafiche”* – a cura di dr. F. Plebani e dr. N. Invernici – dicembre 2009;
4. *“Comune di Paderno Dugnano – 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 dr. geol. E. Ghezzi – agg. Agosto 2012;
5. *“Comune di Bovisio Masciago – studio geologico del territorio Comunale secondo i criteri della D.g.r. 22/12/2005 n° 8/1566: relazione – tavole grafiche”* – a cura di dr. geol. S. Frati – maggio 2006

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
							

6. “Comune di Cesano Maderno – Componente geologica, idrogeologica e sismica del PTG: tavole grafiche” – a cura di dr. geol. E. Ghezzi.

I dati sopra citati sono stati integrati da verifiche e rilievi in sito ed in particolare, come già precisato, con la realizzazione di un sondaggio geognostico a carotaggio, fino alla profondità di 27 metri da p.c., con prove SPT lungo la verticale, con passo di 3 metri.

L’indagine era stata commissionata dall’ATP di supporto alla presente progettazione alla Ditta Eurogeo di Paderno Dugnano nel mese di ottobre 2014, a supporto e sostegno delle analisi eseguite per la partecipazione al bando di gara.

Stante i tempi estremamente ridotti non è stato possibile procedere ad ulteriori indagini geognostiche, ecc.

Nelle successive fasi sarà certamente fondamentale procedere ad una serie di approfondimenti specifici sugli aspetti geologico-tecnici, in considerazione della fondamentale importanza della tematica specifica per opere come quella in esame, con elevatissimi volumi di scavo (fino a profondità dal p.c. di 25 metri).

I principali elementi emersi dai documenti e dalla indagini sopra citate, sono sintetizzati nella tavole grafiche specialistiche che costituiscono parte integrante del presente progetto.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon	 LAND	Prof. Dott. V. Mezzanotte	
		 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI							

2.0 ASSETTO GEOLORFOLOGICO E GEOLOGICO

Le opere di progetto sono localizzate nella porzione settentrionale del Comune di Varedo (MB), nei pressi del confine con Bovisio Masciago, in sponda idrografica sinistra del torrente Seveso.

In ampio la zona di intervento è localizzata dell'alta pianura Milanese, nella vicinanze del confine tra le Province di Milano e di Monza e Brianza.

Dal punto di vista idrologico - idrografico, l'elemento caratterizzante è rappresentato dal torrente Seveso, che attraversa il territorio comunale in direzione N-S.

Il torrente ormai è, pressoché ovunque, incanalato artificialmente tra aree fortemente urbanizzate ed ha perso i caratteri di naturalità che caratterizzavano il suo fondovalle, inciso e terrazzato. Nella parte alta della Provincia lo stesso 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 ormai non è più riconoscibile nel tratto in oggetto se non per evidenze geologiche di sottosuolo; la stessa è un'eredità di quella attraversata dagli scaricatori fluviali e fluvioglaciali, connessi alle variazioni climatiche che hanno interessato il territorio e generato nel tempo una serie di successivi fenomeni di erosione e riempimento alluvionale, che sono stati progressivamente meno intensi.

Nel territorio di Varedo non è più riconoscibile la struttura terrazzata che caratterizza le zone più a nord: il territorio è sostanzialmente pianeggiante, leggermente digradante verso sud: la struttura è quella comune a tutta questa porzione di alta pianura Milanese.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

L'unità geologica più recente costituisce il fondovalle attuale del fiume Seveso, mentre i depositi più antichi si ritrovano nei terrazzi sopraelevati ancora riconoscibili ad W di Limbiate.

Il torrente Seveso è l'elemento idrologico principale, ma il suo corso è ormai quasi totalmente artificiale per l'intensa urbanizzazione delle aree.

Le aree laterali pianeggianti non hanno sviluppato alcun sistema di drenaggio consolidato, anche per la forte urbanizzazione, ed il reticolo idrografico minore è praticamente assente.

Le quote dell'area di intervento variano tra 186 m. s.l.m. e 190 m. s.l.m., con un trend di decremento regolare verso sud.

2.1 QUADRO GEOLOGICO COMPLESSIVO

Nelle distinzioni geologiche classiche la maggior parte dell'area di studio è stata attribuita al Livello Fondamentale della Pianura: si tratta di materiali depositati prevalentemente da scaricatori fluvioglaciali del Wurm o localmente più antichi (Riss).

I terrazzi rialzati, visibile al margine nord-ovest dell'allegata carta geologica, sono più antichi: gli stessi sono stati attribuiti al Mindel e sono caratterizzati da una superficie superiore fortemente alterata e pedogenizzata (Ferretto).

I nuovi rilievi effettuati nell'ambito del progetto CARG hanno rivisto questa metodologia di rilevamento e distinzione dei corpi geologici ed hanno adottato 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.,

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
 Agenda Interregionale per il fiume Po	 STUDIO PAOLETTI	A.T.P.:		 WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte	
		 INGEGNERI ASSOCIATI							

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.

L'area di intervento, in cui verrà realizzata la vasca interessa interamente il Supersintema di Besnate – Unità di Guanzate.

SuperSintema di Besnate – Unità di Guanzate - (BEZ - Pleistocene medio - sup.)

L'Unità è costituita da ghiaie da medie a grossolane, massive, a supporto di matrice sabbiosa o di clasti.

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

I clasti sono di natura poligenica, arrotondati, con dimensione variabile.

Si tratta dei depositi alluvionali che costituiscono tutta la sponda idrografica sinistra del torrente Seveso, oltre la fascia centrale valliva.

Tali depositi rappresentano la massima avanzata dei ghiacciai di Besnate, con morene nelle porzioni settentrionali ed ampie piane fluvioglaciali nella zona in esame.

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

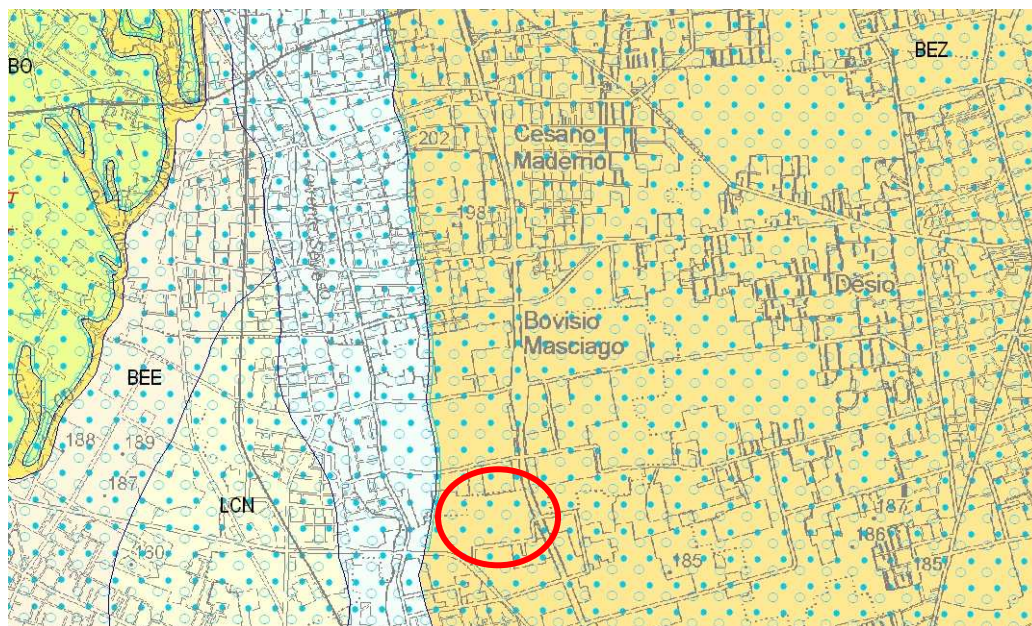
L'Unità è costituita da ghiaie da medie a grossolane, a supporto di matrice sabbiosa o di clasti, localmente passanti a limi argillosi, privi di alterazione superficiale.

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, immediatamente ad ovest dell'area interessata dalle opere.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE				
		A.T.P.:			Consulenti:	
 AIPo Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>



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 conoidi 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
BE	SUPERSINTEMA DI BESNATE
BXE	Diamicton massivi a supporto di matrice: depositi glaciali. Ghiaie stratificate a supporto di clasti o a supporto di matrice: depositi fluvio-glaciali. Profilo di alterazione poco evoluto su spessori di circa 4 metri, con mediamente il 50% dei clasti alterati. Morfologie conservate.
BMI	UNITA' DI BULGAROGROSSO (BXE): diamicton massivi a supporto di matrice e clastico: till di ablazione. Diamicton massivi a supporto di matrice, sovraconsolidati: till di alloggiamento.
BEE	Ghiaie a supporto di matrice e localmente a supporto clastico, ghiaie a supporto di matrice, debolmente stratificate e gradate: depositi fluvio-glaciali. Colore della matrice 10YR, 2.5Y e 5Y.
SUM	Profilo di alterazione poco evoluto su spessori di circa 2 metri, con mediamente il 40% dei clasti alterati. Morfologie poco conservate e frammentate da successivo 'evento glaciale'.
BEZ	UNITA' DI MINOPRIO (BMI): diamicton massivi a supporto di matrice, debolmente compatti; ghiaie massive a supporto clastico e localmente a supporto di matrice; till di ablazione.
	Diamicton massivi a supporto di matrice, sovraconsolidati, diamicton massivi a supporto clastico: sovraconsolidati, ghiaie massive a supporto di matrice, addensate: till di alloggiamento.
	Limi massivi debolmente compatti con clasti mediamente millimetrici: till di colata.
	Limi argillosi laminati, sabbie fini limose e limi sabbiosi laminati, con clasti annegati pluricentrici: depositi glaciali. Ghiaie massive a supporto di matrice sabbiosa debolmente limosa; ghiaie e ghiaie sabbiose massive a supporto clastico; diamicton massivi
	a supporto clastico con matrice interstiziale: sabbie fini limose con clasti centimetrici: depositi fluvio-glaciali. Colore della matrice 10YR e 2.5Y. Profilo di alterazione poco evoluto su spessori di 1 metro, con mediamente il 30-40% dei clasti alterati. Morfologie poco conservate.
	UNITA' DI CADORAGO (BEE): diamicton massivi a supporto di matrice: till di ablazione. Diamicton massivi a supporto di matrice, sovraconsolidati: till di alloggiamento.
	Ghiaie medio fini a supporto di matrice, diamicton massivi a supporto di matrice: depositi di contatto glaciale. Ghiaie medio grossolane massive, debolmente stratificate a supporto sia
	di matrice sia clastico, sabbie medio fini massive con clasti: depositi fluvio-glaciali. Limi argillosi laminati: depositi glaciali. Colore della matrice generalmente 10YR,
	localmente 7.5YR 2.5Y. Profilo di alterazione poco evoluto su spessori di circa 2 metri, con mediamente il 40% dei clasti alterati. Morene a morfologie ben conservate e ampie
	piane fluvio-glaciali. UNITA' DI SUMIRAGO (SUM): ghiaie a stratificazione orizzontale, gradate; sabbie limose massive: depositi fluvio-glaciali. Colore della matrice 2.5Y e 10YR. Profilo di
	alterazione spesso circa 4 metri con più del 50% dei clasti alterati. Morfologie conservate con ampie piane fluvio-glaciali.
	UNITA' DI GUANZATE (BEZ): diamicton massivi a supporto di matrice: depositi glaciali. Ghiaie massive e localmente isorientate a supporto di matrice: depositi fluvio-glaciali.
	Colore della matrice 10YR localmente 2.5YR e 7.5YR verso la sommità del profilo. L'alterazione interessa mediamente il 50% dei clasti. Massima avanzata dei
	ghiacciai 'Besnate' con morene a morfologie conservate e ampie piane fluvio-glaciali.
	PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE

Fig. 1: Estratto della bozza della “Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – foglio 096 Seregno”. Il contorno rosso individua l’area in oggetto. In legenda sono riportate le Unità geologiche interessate dalle opere. Il sovrasimbolo a pallini azzurri indica per la totalità dell’area “depositi alluvionali a ghiaie prevalenti”

PROGETTISTI	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
						Consulenti:  

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

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:								
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po		 ETATEC STUDIO PAOLETTI		 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS		 Studio Associato Geologia Spada		 Dott. Ing. A. Barbon		 LAND		 Prof. Dott. V. Mezzanotte	

3.0 SONDAGGIO GEOGNOSTICO CON PROVE IN FORO

Al fine di definire in maniera puntuale le caratteristiche del sottosuolo, nella zona di intervento è possibile fare riferimento al sondaggio geognostico effettuato dalla Ditta Eurogeo di Paderno Dugnano nel mese di ottobre 2014, su commissione dall'A.T.P. che supporta la Scrivente.

Si reputa importante ribadire che, stante i tempi estremamente ridotti disponibili per predisporre la presente progettazione, non è stato possibile procedere ad ulteriori indagini geologiche – geognostiche.

Nelle successive fasi sarà certamente fondamentale procedere ad una serie di approfondimenti specifici (sondaggi, prove geotecniche, misure piezometriche, analisi di laboratorio, ecc.) per valutare, in maniera puntuale, tutte le situazioni.

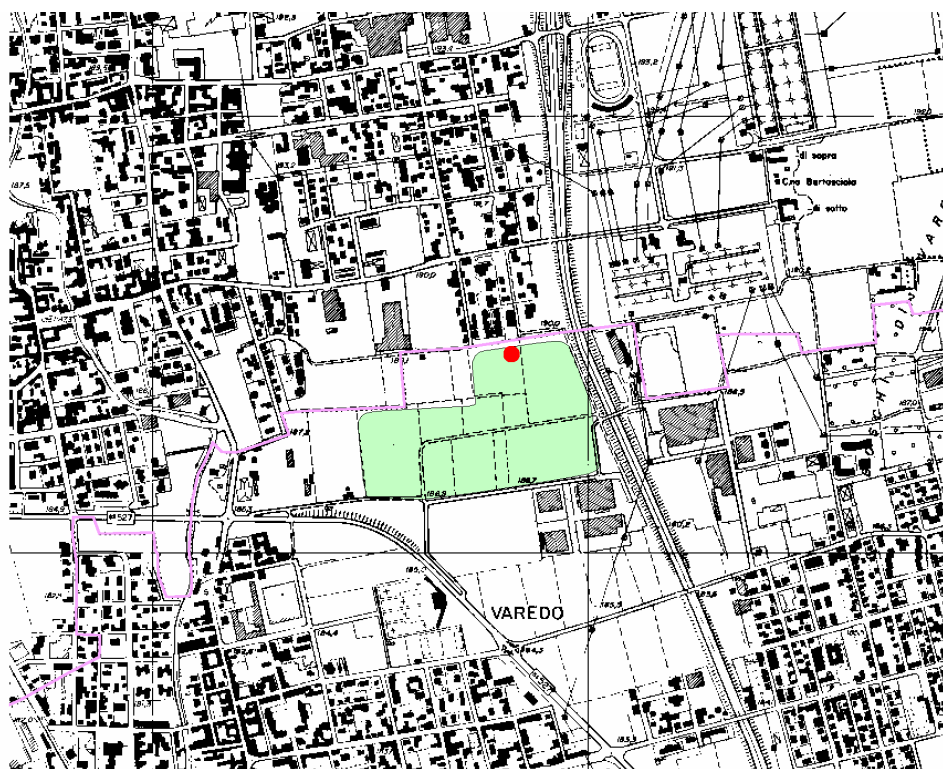


Fig. 2: Ubicazione del sondaggio geognostico

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
A.T.P.:								
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>	

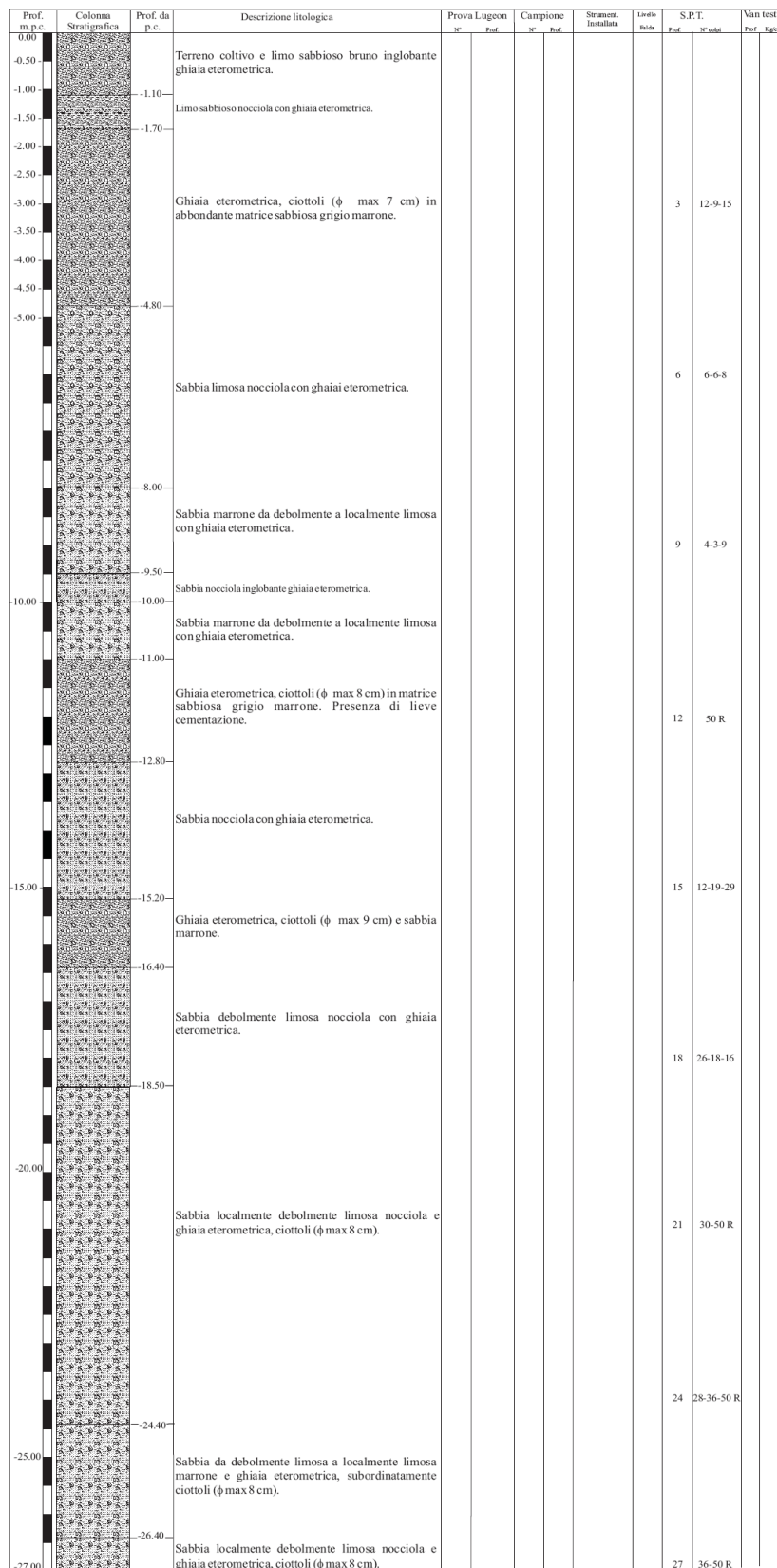


Fig. 3: Stratigrafia del sondaggio geognostico

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.:						Consulenti: 
				Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte

Il sondaggio ha raggiunto la profondità di 27 metri dal p.c. ed inoltre è stato utilizzato per una serie di prove SPT in avanzamento.

Il terreno superficiale coltivato è un limo sabbioso, inglobante ghiaia eterometrica e presenta uno spessore di circa 1,1 metri.

Al di sotto e fino alla massima profondità investigata, la situazione risulta sufficientemente omogenea, con netta dominanza di sabbie limose e/o debolmente limose, di colore nocciola, con ghiaia eterometrica e ciottoli, da arrotondati a subarrotondati e dimensione massima di 6-8 cm.

Localmente le ghiaie divengono dominanti rispetto alle sabbie e presentano anche deboli segni di cementazione



S2 cassa 1 da 0.00 a 5.00 m



S2 cassa 2 da 5.00 a 10.00 m



S2 cassa 3 da 10.00 a 15.00 m



S2 cassa 4 da 15.00 a 20.00 m

Fig. 4: Cassette del sondaggio per le profondità comprese tra 0 e 20 metri da p.c.

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.:						Consulenti: 
				Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte



S2 cassa 5 da 20.00 a 25.00 m



S2 cassa 6 da 25.00 a 27.00 m

Fig. 5: Cassette del sondaggio per le profondità comprese tra 20 e 27 metri da p.c.

Nel foro di sondaggio, fino alla massima profondità investigata, non è stata rinvenuta la falda.

3.1 PROVE S.P.T. IN FORO

Nel sondaggio, 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 nel foro è il seguente:

Profondità (m. da p.c.)	S1
3.00	12/9/15
6.00	6/6/8
9.00	4/3/9
12.00	50/R

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

15.00	12/19/29
18.00	26/18/16
21.00	30/50/R
24.00	28/36/50R
27.00	36/50/R

Le prove hanno evidenziato una possibile suddivisione in due livelli: da p.c. fino a 10/11 metri terreni con grado di addensamento da medio a discreto, al di sotto terreni addensati, con prove SPT spesso a rigetto.

La presenza di ciottoli e ghiaie anche grossolane è una condizione di criticità per le prove SPT, ma la costanza dei valori riscontrati, ed il confronto con la stratigrafia consente di confermare le valutazioni di cui sopra.

Nell'elaborazione dei principali parametri geotecnici si adotteranno comunque delle scelte cautelative, per considerare tale problematica.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE				Consulenti:	
		A.T.P.:					
							
STUDIO PAOLETTI		INGEGNERI ASSOCIATI		Studio Associato Geologia Spada		Dott. Ing. A. Barbon	
						Prof. Dott. V. Mezzanotte	

4.0 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Il Comune di Varedo 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”.

4.1 SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

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

A tale scopo si è fatto riferimento allo studio effettuato dai geol. Invernici e Plebani nel 2009 per il PGT di Varedo.

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

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE				Consulenti:	
		A.T.P.:					
							
		INGEGNERI ASSOCIATI		Studio Associato Geologia Spada		Dott. Ing. A. Barbon	
						Prof. Dott. V. Mezzanotte	

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 gli studi comunali evidenziano, nelle analisi di primo livello, la presenza di possibili fenomeni di amplificazione litologica e geometrica (Z4a), su tutto il territorio.

Nello studio si procede anche all'analisi di secondo livello, al fine di verificare la reale esistenza o meno di tali fenomeni.

Tali analisi hanno messo in luce che i possibili fattori di amplificazione locale risultano inferiori a quelli di riferimento e che quindi la normativa vigente è sufficiente a garantire la sicurezza degli interventi.

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

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
		A.T.P.:							
									

4.2 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>

Per individuare la classificazione del sito in oggetto si è fatto riferimento ai sondaggio effettuato a supporto del presente lavoro, con le prove SPT in foro, nonché ai dati disponibili sull'area.

Il sondaggio ha evidenziato la presenza di terreni a prevalente natura granulare, con caratteristiche di addensamento che migliorano progressivamente in profondità.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
							

In base a questa caratteristiche, i terreni dell'area di intervento si potrebbero classificare tra la categoria B e la categoria C.

Indagini geofisiche effettuate immediatamente a sud (Paderno Dugnano, Bollate e Senago) hanno fornito un riscontro da categoria C.

Si ritiene quindi, rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008), di attribuire al sito in esame la **categoria di suolo C** corrispondenti a - : *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina)”*.

Il passaggio ad una eventuale classe B è legato alla quota di imposta delle struttura, in considerazione del progressivo aumento della densità dei terreni con la profondità.

L'utilizzo della classe C resta comunque cautelativo ed a favore della sicurezza dei calcoli.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon	 LAND	Prof. Dott. V. Mezzanotte
		 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI						

5.0 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

L'assetto geologico dell'area di intervento è risultato sufficientemente omogeneo, sulla base delle indagini e delle analisi effettuate (vedi anche relazione geologica ed idrogeologica).

I principali elementi sono di seguito indicati:

- Tutta la zona rientra geologicamente nel *SuperSintema di Besnate – Unità di Guanzate*. L'Unità è costituita da ghiaie da medie a grossolane, massive, a supporto di matrice sabbiosa o di clasti. Localmente è presente una struttura gradata e/o embricata del deposito. I clasti sono di natura poligenica, arrotondati, con dimensiona variabile. Si tratta dei depositi che costituiscono tutta la sponda idrografica sinistra del torrente Seveso, oltre la fascia centrale valliva. Tali depositi rappresentano la massima avanzata dei ghiacciai di Besnate, con morene nelle porzioni settentrionali ed ampie piane fluvioglaciali nella zona in esame.
- Questi depositi sono costituiti, dal punto di vista litologico, e fino alla massima profondità investigata (27 metri da p.c.), da sabbie limose e/o debolmente limose, di colore nocciola, con ghiaia eterometrica e ciottoli, da arrotondati a subarrotondati e dimensione massima di 6-8 cm.. Localmente le ghiaie divengono dominanti rispetto alle sabbie e presentano anche deboli segni di cementazione. Il grado di addensamento è generalmente buono ed aumenta con la profondità.
- I terreni sopra descritti appartengono idrogeologicamente all'acquifero superiore. Tale acquifero è sede di una falda freatica che ha un gradiente tra 0,3 – 0,5%) e la direzione di flusso è circa NNE-SSW. Nella zona di interesse la quota piezometrica al marzo 2010 è compresa tra 150 e 155 m. s.l.m. Il suolo ha una quota variabile da

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
		A.T.P.:						
					<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

185-186 m. s.l.m. verso sud a circa 190 m. s.l.m. a nord: la soggiacenza è quindi di circa 35 metri da p.c. Il dato è relativo al 2010 e bisogna tener presente che la stessa ha avuto con un trend di innalzamento rilevante soprattutto negli ultimi anni (fino a 7-9 metri). Al momento non vi sono interferenze dirette (nel sondaggio, nell'ottobre 2014, sicuramente fino a 27 metri da p.c. non è stata rinvenuta la presenza della falda ed il fondo vasca è circa a – 25 metri dal p.c.). anche se la situazione andrà monitorata e verificata nel tempo (per maggiori dettagli sull'assetto idrogeologico dell'area è possibile fare riferimento alla relazione geologica ed idrogeologica).

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.:						Consulenti: 
				Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte

6.0 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.

Livello 0

E' costituito dalla porzione più superficiale, per uno spessore variabile da variabile tra 1,00 m. e circa 2,50 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' costituiti dai depositi appartenenti al SuperSintema di Besnate – Unità di Guanzate, che costituiscono tutta la zona di intervento ed un significativo intorno, almeno fino alla massima profondità investigata (27 metri da p.c.)

Tale profondità è superiore a quella interessata dalla opere, dell'ordine massimo di circa 25 metri.

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

- litologia: sabbie limose e/o debolmente limose, di colore nocciola, con ghiaia eterometrica e ciottoli, da arrotondati a subarrotondati e dimensione massima di 6-8 cm. Localmente le ghiaie divengono dominanti rispetto alle sabbie e presentano anche deboli segni di cementazione.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
		A.T.P.:							
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>			<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>	

- permeabilità: elevata.
- 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 alla prove SPT eseguite nel foro di sondaggio in avanzamento, con cadenza di 3 metri, a partire dal p.c. e fino a fondo foro.

In relazione a quanto sopra è possibile dividere questi terreni in due differenti porzioni:

Livello 1A

Rappresenta la porzione superiore, che si presenta comunque da moderatamente a ben addensata.

Questo livello è stato rinvenuto fino ad una profondità massima di circa 10-11 metri da p.c.

I principali parametri geotecnici sono i seguenti:

- peso di volume: 18,5 KN/mc
- densità relativa: 30-50 %
- Nspt 12-23
- angolo di attrito: 31°-33° (valori cautelativi, in relazione ad Nspt)
- 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 livello di addensamento da buono a molto buono.

I principali parametri geotecnici sono i seguenti:

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- peso di volume: 19-20 KN/mc
- densità relativa: > 50 % fino al 100%
- Nspt > 30 / spesso rigetto
- angolo di attrito: > 35° (valore cautelativo)
- coesione 0

Falda

I terreni del livello 1 sono sede dell'acquifero superiore, freatico, con una direzione di flusso circa NNE-SSW ed una pendenza variabile tra 0,3 e 0,5%.

La quota piezometrica, al marzo 2010, è di circa 153 m. s.l.m.

6.1 ATTIVITA' PRESSO LA FALDA

Rispetto ai dati sopra riportati, vanno considerati gli innalzamenti della falda misurati nelle aree limitrofe (Paderno Dugnano, Senago e Bollate) tra il 2010 ed la fine del 2014 (circa 9 metri): è quindi possibile stimare una quota piezometrica superiore a 160 m. s.l.m. (circa 162 m. s.l.m.).

Attualmente il livello risulta circa 2,5 metri al di sotto del fondo vasca finito (posto a quota 164,50 m. s.l.m.).

Alla luce della situazione della falda, che ha avuto notevoli rialzi negli ultimi anni, e considerato che non è possibile fare previsioni per il futuro, è 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 (con caratteristiche qualitative scadenti), con quelle della prima falda.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

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 monodirezionale e consente solo l'afflusso in vasca delle acque di falda e non l'immissione nel suolo di quelle invase, e questa scelta rappresenta una garanzia per la tutela delle acque sotterranee.

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.

Stante queste valutazioni, l'abbassamento delle acque per poter operare correttamente, può essere previsto in questa fase con la classica metodologia dello scavo in acqua, con la realizzazione di canalette drenanti e pozzi di raccolta (anche semplici pozzi in cls ad anelli), con relative pompe di aspirazione.

E' un sistema molto flessibile, facilmente gestibile in cantiere e che per abbassamenti contenuti, su aree vaste, in terreni con buona permeabilità, fornisce buoni risultati.

Nel caso di innalzamenti più cospicui nel tempo della stessa falda, diverrà necessario prevedere interventi veri e propri di abbassamento ("dewatering" in fase di cantiere, per es. con pozzi perforati), da progettare e dimensionare adeguatamente.

Quello dell'interazione con la falda è sicuramente un problema da considerare con attenzione nelle successive fasi, provvedendo, come già indicato nella relazione geologica ed idrogeologica, a realizzare il prima possibile un piezometro nell'area.

PROGETTISTI	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.: 		<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	Consulenti:  <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

In questo modo sarà possibile monitorare le variazioni della falda nella zona, per valutare eventuali ulteriori innalzamenti e quindi la presenza di interferenze più significative sulle opere, per adottare le soluzioni progettuali ed operative conseguenti.

Inoltre sarà da realizzare tutti il sistema di piezometri per il controllo della falda monte e valle della vasca, come indicato nella relazione geologica – idrogeologica.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
		A.T.P.:							
					<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>	

7.0 STABILITA' DELLE SCARPATE

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

7.1 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 delle vasche 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”

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
A.T.P.:								
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>	

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>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	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)

7.2 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

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

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. 7.1.

Nel caso specifico il riepilogo dei parametri è il seguente:

Parametri	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
Livello 1A – spessore 11 metri (da 0 a 11 m. da p.c.)			
Peso di volume (KN/mc)	19	1,0	19
Coesione	0	1,25	0
Angolo di attrito (°)	31	1,25 (sulla tg)	25,5°
Livello 1D – spessore circa 20 metri (da 11 a 30 m. da p.c.)			

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato</i> <i>Geologia</i> <i>Spada</i>	<i>Dott. Ing.</i> <i>A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott.</i> <i>V. Mezzanotte</i>

Peso di volume (KN/mc)	20	1,0	20
Coesione	0	1,25	0
Angolo di attrito (°)	35°	1,25 (sulla tg)	29,2°

7.3 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, pari a circa 25 metri;
- falda al di sotto del piano finito delle vasche (come da dati idrogeologici allo stato attuale);
- assenza di interferenza 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 delle vasche, soprattutto dalla totale impermeabilizzazione delle vasche stesse 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 le vasche è quella in assenza di acqua. Questo perché con l'impermeabilizzazione, che impedisce qualunque saturazione dei terreni delle scarpate, in condizione di invaso l'acqua ha solamente una funzione di stabilizzazione della scarpata al piede;

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- 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);
- 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, che interessano 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.

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

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

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
		A.T.P.:						
						Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon	
								Prof. Dott. V. Mezzanotte

SSAP 4.3.2 (2014) - Slope Stability Analysis Program
Software by Dr. Geol. L. Borselli - www.lorenzo-borselli.eu
SSAP/DXF generator rel. 1.2 (2013)

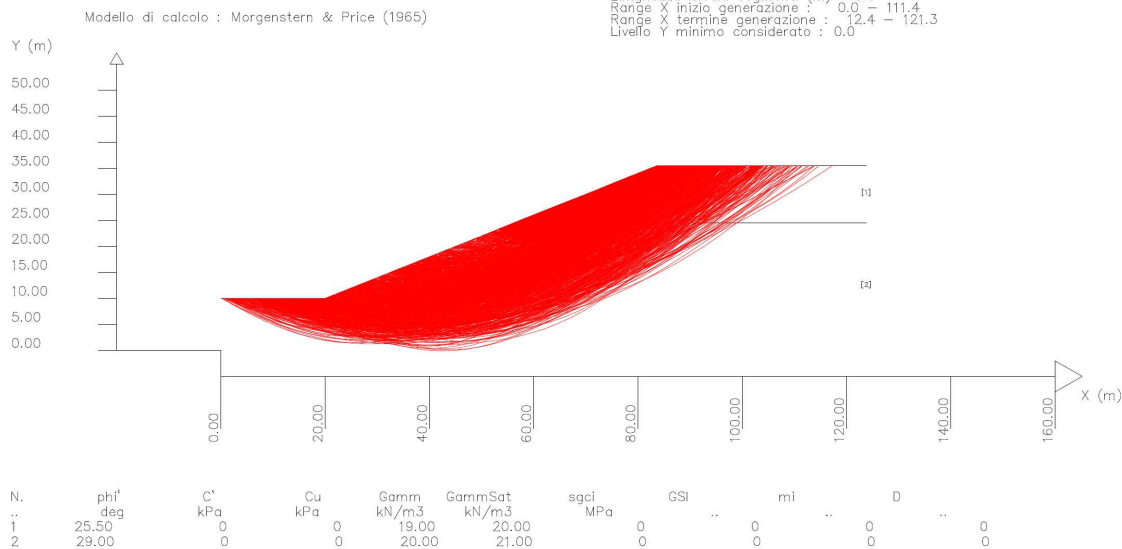
Data : 18/11/2014
Località : Comune di Varedo - vasca sottente Seveso
Descrizione : altezza 25,5 metri - pendenza 1:2,5 - no falda
[n] = N. strato o lente

SUPERFICI REGISTRATE CON F_s ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO

N. Superfici plottate : 9097
Coefficiente Sismico orizzontale - K_h : 0.016

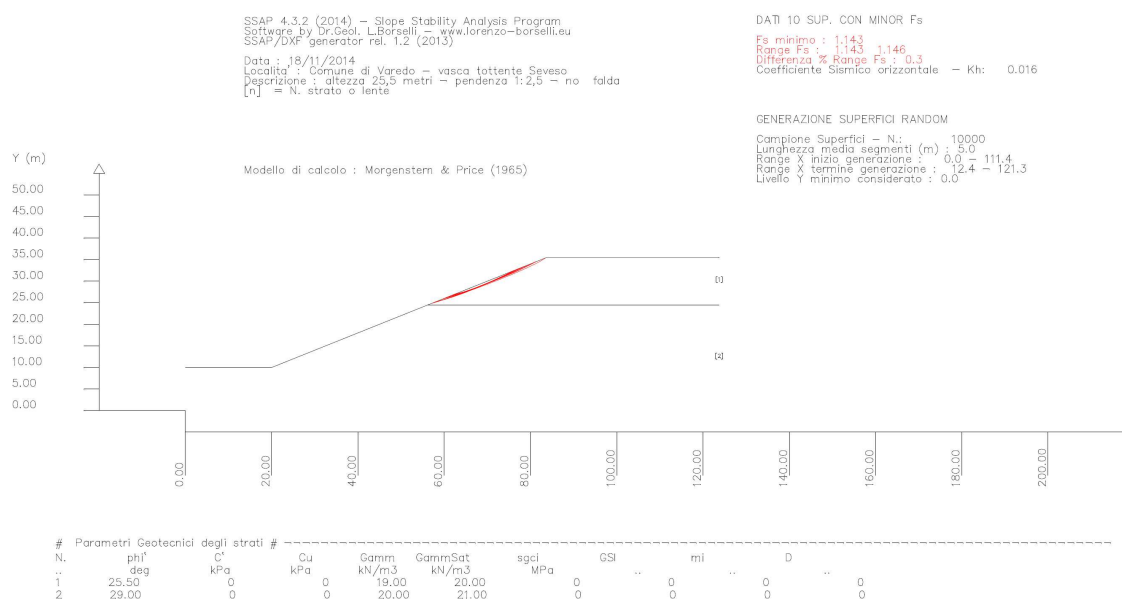
GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N. : 10000
Lunghezza media segmenti (m) : 5.0
Range X inizio generazione : 0.0 - 111.4
Range X termine generazione : 12.4 - 121.3
Livello Y minimo considerato : 0.0



Il Fattore di Sicurezza minimo è risultato sempre ampiamente $F_s > 1,1$ come previsto dalle vigenti normative e quindi le scarpate di progetto sono verificate.

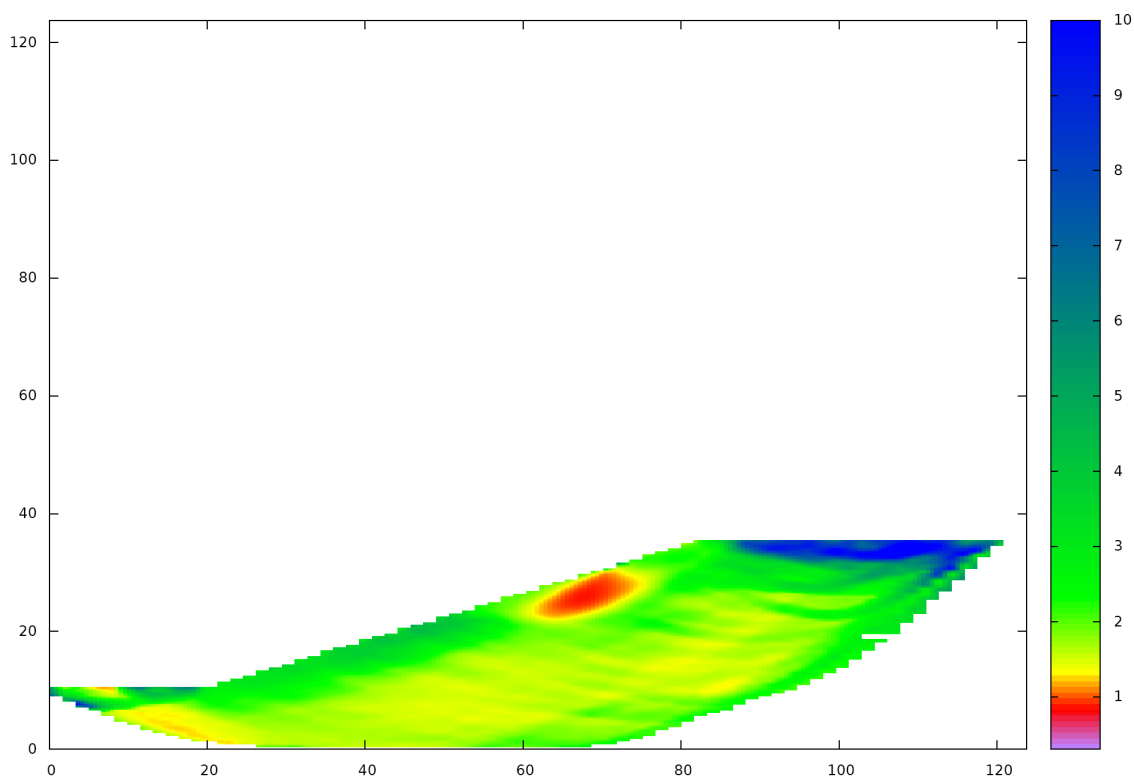
Oltre alla stabilità globale sono state verificate anche le superfici di scivolamento più superficiali, a simulare fenomeni tipo soil slip e decorticamenti superficiali.



PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:								
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po		 ETATEC STUDIO PAOLETTI		 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS		 Studio Associato Geologia Spada		 Dott. Ing. A. Barbon		 LAND		 Prof. Dott. V. Mezzanotte	

Anche in questi caso il fattore di sicurezza è sempre $F_s > 1,1$ come richiesto dalla normativa.

L'immagine seguente è riepilogativa 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.

La 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.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
		A.T.P.:			Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte	
									

7.4 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 di stabilità allo scivolamento sono stati considerati i seguenti dati:

- spessore terreno di copertura: 80 cm
- 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)

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
		A.T.P.:						
								
		INGEGNERI ASSOCIATI		WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS		Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte

○ per l'angolo d'attrito: $FS = 1,25$

○ $\gamma_r = 1,10$

- 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

$$\Sigma \text{Forze stabilizzanti} \geq \Sigma \text{Forze instabilizzanti}$$

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

Milano, novembre 2014

I PROGETTISTI:

Ing. Gaetano La Montagna

Ing. Sara Melone

IL GEOLOGO:

Dr. Cristian Morganti