

AREA DI LAMINAZIONE DEL TORRENTE SEVESO in Comune di Lentate sul Seveso (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)



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

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> <p>Consulenti:</p> <div>   </div>					
--	---	--	--	--	--	--

INDICE

1.0 PREMESSE	3
1.1 PROGRAMMA DI LAVORO E FONTI CONSULTATE	4
2.0 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	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	26
7.1 APPROCCIO PROGETTUALE	26
7.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	27
7.3 VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE	29
7.4 VERIFICHE DI STABILITA' DEL PARAMETRO ESTERNO DEL RILAVATO ARGINALE	32
7.5 VERIFICHE DI SCIVOLAMENTO DEI TERRENI DI COPERTURA DEL TELO BENTONITICO	35

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
 <small>Agenzia Interregionale per il Fiume Po</small>		 <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	 <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>					

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 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 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:	
 <small>Agenda Interregionale per il fiume Po</small>		 <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	 <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>					

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 ed in particolare con la realizzazione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, fino alla profondità di 27 metri da p.c., con prove SPT lungo la verticale, con passo di 3 metri.

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

L'indagine era stata commissionata, dall'A.T.P. di supporto alla presente progettazione, alla Ditta Eurogeo di Paderno Dugnano nel mese di ottobre 2014, come 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 oltre 20 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		 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS		 Studio Associato Geologia Spada		 Dott. Ing. A. Barbon		 LAND		 Prof. Dott. V. Mezzanotte	
		A.T.P.:													

2.0 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 due risulta quasi assente ed il primo terrazzo tende blandamente a confluire nel fondovalle.

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>

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.

L'area, in ampio, è costituita 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.

2.1 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.

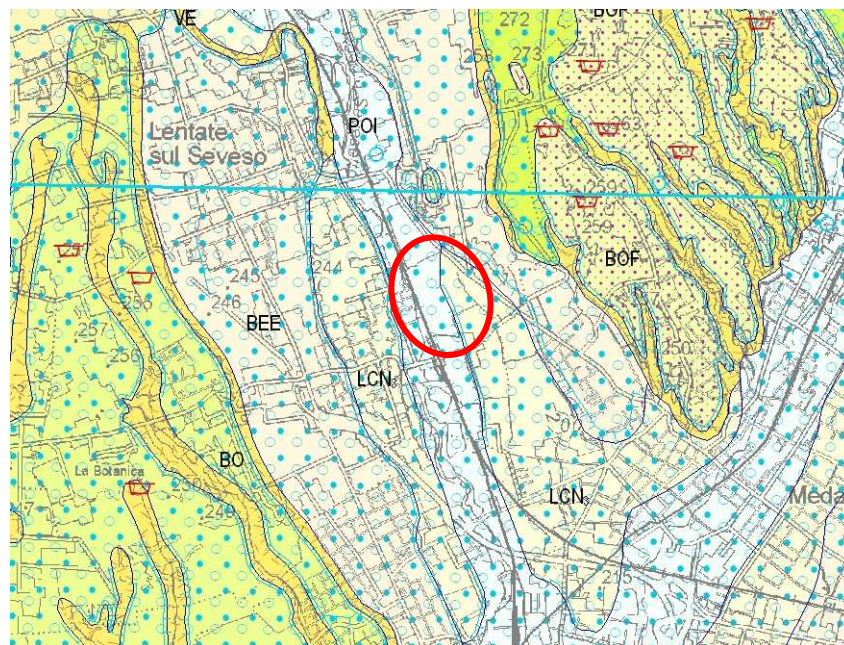
Il fondovalle attuale del torrente Seveso è caratterizzato dai depositi più recenti, mentre le aree più elevate coincidono con i depositi più antichi.

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.

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>

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



SUCCESSIONE CONTINENTALE NEOGENICO-QUATERNARIA

UNITA' NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA


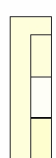
	POI SINTEMA DEL PO Da sabbie a supporto di matrice a ghiaie fini con sabbia grossolana a supporto di clasti, ma con matrice abbondante costituita da sabbie grossolane: depositi fluviali e di conoide dominati da <i>debris flow</i> . Argille e torbe: depositi lacustri. Alterazione assente. Morfologia ben espressa nelle piane fluviali dei principali corsi d'acqua. PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE
	UNITA' DEL BACINO DEL FIUME ADDA
	LCN SUPERSINTEMA DEI LAGHI - SINTEMA DI CANTU' Diamicton massivi a supporto sia di matrice sia di clasti: <i>till</i> di ablazione. Diamicton a supporto di matrice, sovraconsolidati: <i>till</i> di alloggiamento. Sabbie fini con <i>ripple</i> da corrente (tipo B); sabbie a laminazione incrociata; sabbie da fini a medie, a laminazione incrociata concava. LCN₃ 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 <i>dropstones</i> : 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 argillosi 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: <i>till</i> di colata. Diamicton massivi a supporto di matrice; alcuni orizzonti risultano sovraconsolidati: <i>till</i> 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. 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

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						

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

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.

Tali depositi costituiscono la porzione allungata verso il torrente dell'area di intervento, con una quota media di circa 221 m. s.l.m.

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.

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

L'unità costituisce la porzione NW dell'area interessata dalla vasche, 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.

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.

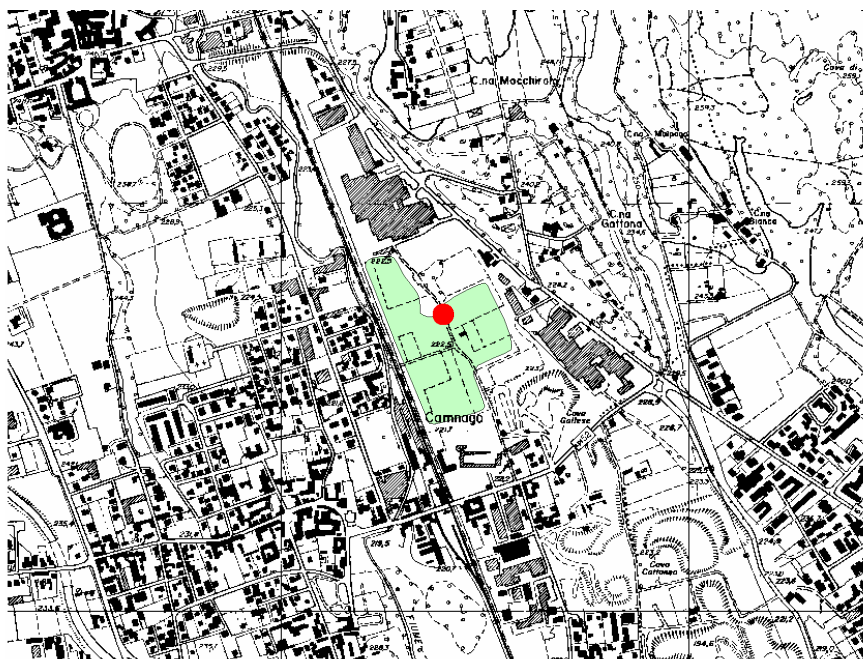


Fig. 2: Ubicazione del sondaggio geognostico

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

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

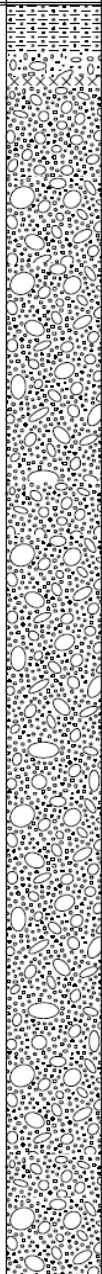
Riferimento: Studio SPADA							Sondaggio: S1			
Località: Lentate sul Seveso							Quota:			
Impresa esecutrice: EUROGEO S.r.l.							Data: 13-14/10/2014			
Coordinate:							Redattore: Dott. Cristiano PRESTA			
Perforazione: carotaggio continuo										
ø mm	R VA	LITOLOGIA	metri bnt	Campioni	RP	VT	Standard Penetration Test			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	Sabbia medio-fine, con ghiaia eterometrica, ø max 5 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, limosa marrone.
		3				3,0	17-24-25	49	1,7	Ciottolo.
		4							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.
		5								Ghiaia eterometrica, ø max 6 cm, poligenica, da arrotondata a subarrotondata, con sabbia medio-grossa, da limosa a debolmente limosa grigio-marrone.
		6				6,0	23-21-27	48	5,4	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	23-41-50/13cm	Rif	27,0	

Fig. 3: Stratigrafia del sondaggio geognostico

Il terreno superficiale è sabbioso con limo e presenta uno spessore di circa 1 metro.

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	

Al di sotto e fino alla massima profondità investigata, la situazione risulta omogenea, con netta dominanza di ghiaie eterometriche, medie e medio fini, con ciottoli fino a 8-10 cm, e clasti poligenici, da arrotondati a subarrotondati.

Il supporto varia da clastico a matrice, con sabbie medio grossolane, localmente limose, con colore grigio verdastro.

In avanzamento non sono state rinvenute anomalie e/o criticità particolari ed i terreni hanno evidenziato un buon grado di addensamento, in aumento con la profondità.



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

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						

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	17/24/25
6.00	23/21/27
9.00	18/24/31
12.00	24/41/50R
15.00	15/50R
18.00	37/50R
21.00	33/44/50R
24.00	50R
27.00	33/41/50R

Le prove hanno evidenziato una possibile suddivisione in due livelli: da p.c. fino a 10 metri terreni con buon grado di addensamento (SPT circa 50 colpi), al di sotto terreni molto addensati, con prove SPT sempre 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.

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>

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

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						

4.0 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”.

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 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

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

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 e per i territori di 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.

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.

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 geofisici citati nello studio geologico di supporto al PGT.

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					Consulenti:	
		A.T.P.:						
								

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 $\gamma < 10^{-8}$) 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** riportati variano tra **247 e 327 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008) il sito in esame rientra quindi nella **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 fine)”*.

Tale classificazione è pienamente confermata anche dal sondaggio effettuato per il presente lavoro.

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 dei dati disponibili, dei rilievi e del sondaggio effettuato.

I principali elementi sono di seguito indicati:

- La zona di intervento è caratterizzata dalla presenza di due Unità geologiche: Sintema del Po (POI - Pleistocene sup. – Olocene) ed il Supersintema dei Laghi – Sintema di Cantù – Subshintema della Ca' Morta (LCN3 – Pleistocene superiore). La prima rappresenta i depositi alluvionali recenti del fiume Seveso e si posiziona sul fondovalle, mentre la seconda 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 di studio).
- Entrambe le unità sono costituite, dal punto di vista litologico, fino alla massima profondità investigata (27 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 0,4 ed 1,4 metri per i depositi fluvioglaciali.
- 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 (per maggiori dettagli sull'assetto

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>

idrogeologico dell'area è possibile fare riferimento alla relazione geologica ed idrogeologica).

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:								
 Agente Interregionale per il fiume Po		 STUDIO PAOLETTI		 INGEGNERI ASSOCIATI		 WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS		 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 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 (27 metri da p.c.).

Tale profondità è ampiamente superiore a quella interessata dalla opere, dell'ordine massimo di circa 20-21 metri 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

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						

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 (vedi par. 3.1).

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 metri da p.c.

I principali parametri geotecnici sono i seguenti:

- peso di volume: 19 KN/mc
- densità relativa: 50-60 %
- Nspt 50
- angolo di attrito: 32°-34° (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 livelli di addensamento da buono a molto buono

I principali parametri geotecnici sono i seguenti:

- peso di volume: 19-20 KN/mc
- densità relativa: > 60 % fino al 100%
- Nspt tutti a rigetto

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>

- angolo di attrito: $> 35^\circ$ (valore cautelativo)

- coesione 0

Falda

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

La quota piezometrica, al marzo 2010, di circa 195 m. s.l.m., mentre il fondo delle vasche nella porzione più profonda è pari a 202 m. s.l.m. Con questi dati vi sarebbe un franco di circa 6-7 metri dal fondo della vasca.

6.1 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.

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.

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>

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.

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 limitati, 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.

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.

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							

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 geotecnica (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 10 metri (da 0 a 10 m. da p.c.)			
Peso di volume (KN/mc)	19	1,0	19
Coesione	0	1,25	0
Angolo di attrito (°)	33	1,25 (sulla tg)	27,5°
Livello 1D – spessore circa 20 metri (da 10 a 30 m. da p.c.)			

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 (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, cioè quella della porzione di vasca con fondo a quota 208, caratterizzata da un'altezza complessiva di circa 15,00-15,50 metri e da una pendenza di circa a 26° (rapporto altezza / lunghezza 1:2). La scarpata della porzione di vasca più profonda (circa 20 metri) ha una pendenza inferiore (1:2,5);
- 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

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>

qualunque saturazione dei terreni delle scarpate, in condizione di invaso l'acqua ha solamente una funzione di stabilizzazione della scarpata al piede;

- 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, 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.

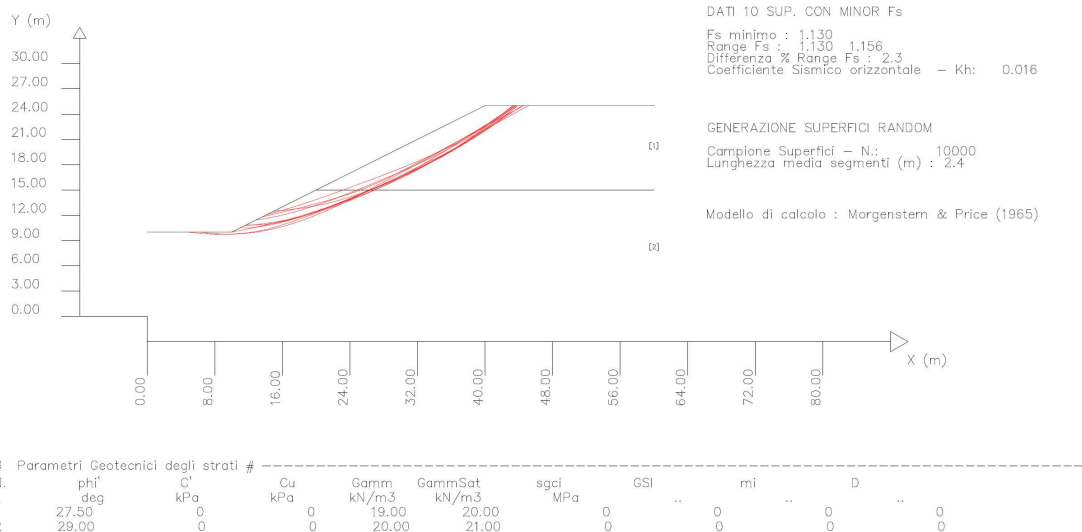
Le immagini seguenti riassumono i risultati di alcune delle simulazioni effettuate, variando la posizione e la potenziale ampiezza delle superfici di scivolamenti.

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

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

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 : 15/11/2014
Località : Lentate sul Seveso
Descrizione : Vasca pendenza 1:2 – H = 15 metri – non acqua
[n] = N. strato o lente



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

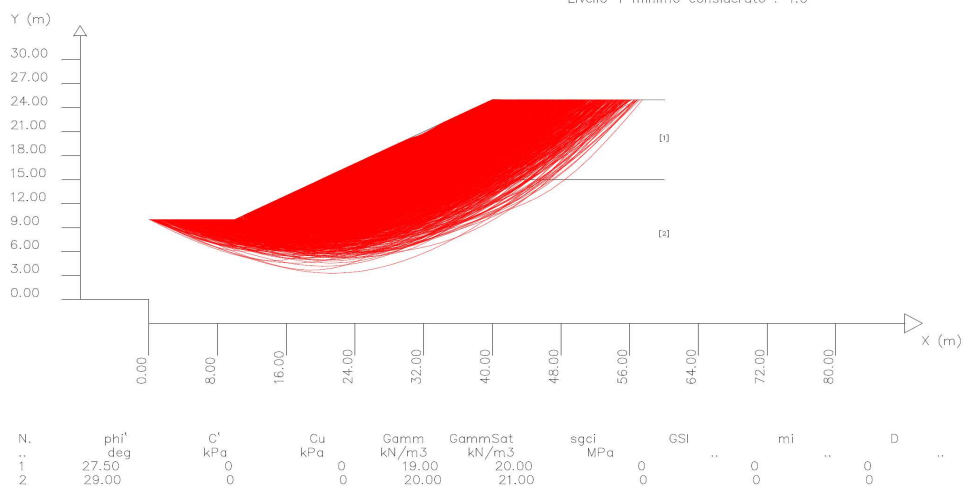
Oltre alla stabilità globale sono state verificate anche le superfici di scivolamento più superficiali, a simulare fenomeni tipo soil slip.

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 : 15/11/2014
Località : Lentate sul Seveso
Descrizione : Vasca pendenza 1:2 – H = 15 metri – non acqua
[n] = N. strato o lente

SUPERFICI REGISTRATE CON F_s ENTRO INTERVALLO PREDEFINITO
N.Superfici plottate : 9631
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.016

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM
Campione Superfici - N.: 10000
Lunghezza media segmenti (m) : 2.4
Range X inizio generazione : 0.0 - 30.0
Range X termine generazione : 35.0 - 58.8
Livello Y minimo considerato : 1.0

Modello di calcolo : Morgenstern & Price (1965)



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

Per scivolamenti a carattere così superficiale è stato considerato anche l'effetto di stabilizzazione offerto dalle geogriglie di rinforzo, previste in abbinamento al materassino bentonitico per le scarpate con pendenza 1:2 (vedi paragrafo 8.5).

Utilizzando una quota parte di tale resistenza, anche tutte le superfici di scivolamento superficiali superano il valore del fattore di sicurezza richiesto per legge ($F_s > 1,1$).

Sia la geogriglia che il telo bentonitico dovranno essere adeguatamente ancorati a monte in una specifica trincea di ancoraggio (vedi par. 8.5).

Come ulteriore cautela nei confronti di tali fenomeni, 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.

Anche il telo bentonitico previsto a progetto è rinforzato ed in grado di garantire una resistenza a trazione; si è ritenuto opportuno, sempre a favore di sicurezza, di non considerare tale resistenza e valutare solamente quella della geogriglie.

Le scarpate della vasca risultano quindi tutte verificate.

7.4 VERIFICHE DI STABILITA' DEL PARAMETRO ESTERNO DEL RILAVATO ARGINALE

Per la limitata disponibilità di spazi il fronte esterno del rilevato arginale è stato progettato con una pendenza 1/1.

Questa configurazione non è compatibile con i terreni da utilizzare, cui è stato attribuito un valore dell'angolo di attrito di 33° , perché scavati e messi in opere costipati.

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

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				

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

L'argine ha un'altezza massima di 2 metri.

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) RF_{creep} : 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);

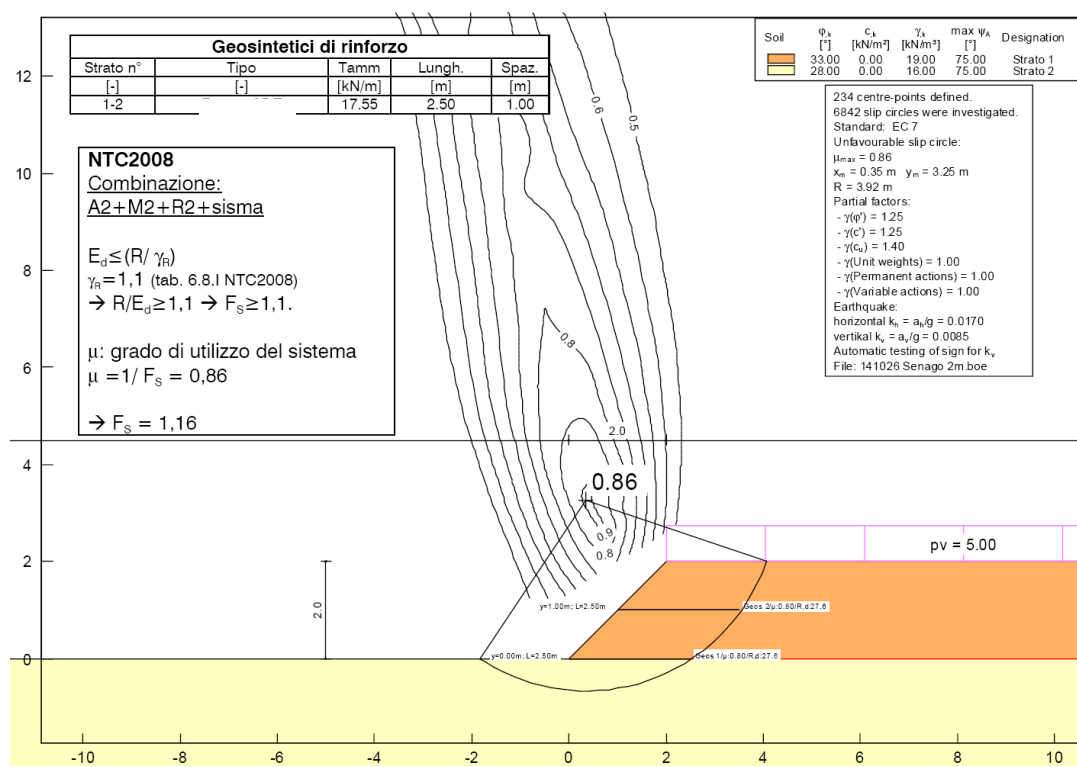
PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE				Consulenti:	
		A.T.P.:					
							
STUDIO PAOLETTI		INGEGNERI ASSOCIATI		Studio Associato Geologia Spada		Dott. Ing. A. Barbon	
						Prof. Dott. V. Mezzanotte	

f) fm21 : fattore di riduzione per danneggiamento meccanico (considerando come materiale di riempimento ghiaia sabbiosa);

g) fm22 : 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.

Le verifiche di stabilità globale effettuate nella configurazione di progetto sono di seguito visualizzate.



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.

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						

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 (30m x 30cm) 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'innescare di fenomeni erosivi e/o di ruscellamento sul fronte.

7.5 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.

Porzione di vasca con fondo a quota 202 e pendenza 1:2,5

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

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

- 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)
 - o per l'angolo d'attrito: $FS = 1,25$
 - o $\gamma_r = 1,10$
- caratteristiche geometriche scarpata: pendenza = 22° / altezza 20 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

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

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

Porzione di vasca con fondo a quota 208 e pendenza 1:2

Le caratteristiche geotecniche sono le medesime dalle vasche principali; cambiano solamente i parametri geometrici della vasca (pendenza circa 26° - altezza 15 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 e dalla tensione sviluppata dalla geogriglia.

Per garantire la stabilità applicando i fattori di sicurezza minimi richiesti dalla normativa (NTC08) è 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.

La forza stabilizzante minima richiesta per verificare la condizione di stabilità è pari a circa 7 kN/m

A questa deve essere aggiunta la forza necessaria a contrastare i possibili fenomeni di scivolamento superficiale dei terreni (vedi par. 8.3), forza che è stata valutata dai calcoli in un massimo di circa 15 kN/m.

Lungo la scarpata sarà quindi necessario adottare una geogriglia che abbia una resistenza di progetto superiore alla somma delle due sopra indicate (> 22 kN/m).

Progettualmente è stata prevista un geogriglia tridimensionale con una resistenza ultima a rottura longitudinale non inferiore a 60 kN/m e con un valore ammissibile di

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

calcolo, considerando i parametri riduttivi adottati da alcuni produttori, pari a 30,09 kN/m.

L'ancoraggio in trincea di tutti i materiali che costituiscono il “pacchetto” di copertura delle scarpate (telo bentonitico + geogriglie tridimensionale di rinforzo) potrà essere conseguito mediante la realizzazione di trincee di ancoraggio sulla sommità delle scarpate.

Per garantire un'efficace ancoraggio sono necessarie trincee delle seguenti dimensioni:

x: Distanza della trincea dalla sommità della scarpata

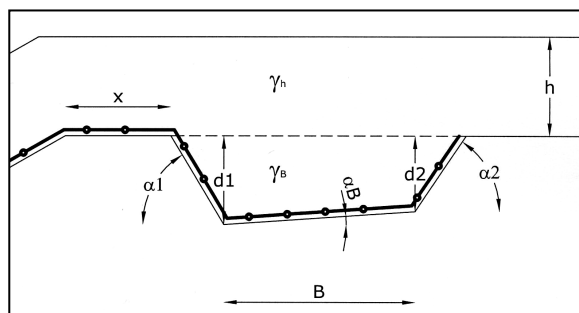
d: Profondità trincea

B: Lunghezza del fondo della trincea

h: Spessore dello strato di terreno sopra la trincea

α : Pendenza delle scarpate della trincea

Parametri (vedi fig.)	dimensioni
x [m]	1,0
d [m]	0,4
B [m]	1,5
h [m]	0,8
α [°]	45
α_B [°]	0



I terreni di copertura che gravano sulla geogriglia devono avere un peso in volume pari a 19 kN/m³.

In sommità è stato considerato un piano orizzontale.

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>

Milano, novembre 2014

I PROGETTISTI:

Ing. Gaetano La Montagna

Ing. Sara Melone

IL GEOLOGO:

Dr. Cristian Morganti