

## AREA DI LAMINAZIONE DEL TORRENTE SEVESO in Comune di Paderno Dugnano (MI) - 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

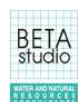
**ETATEC** S.R.L.

**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)



#### 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



<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

<b>1.0 PREMESSE</b>	<b>3</b>
<b>1.1 PROGRAMMA DI LAVORO E FONTI CONSULTATE</b>	<b>4</b>
<b>2.0 ASSETTO GEOLORFOLOGICO E GEOLOGICO</b>	<b>6</b>
<b>2.1 QUADRO GEOLOGICO COMPLESSIVO</b>	<b>7</b>
<b>3.0 DATI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI PUNTUALI</b>	<b>11</b>
<b>3.1 INDAGINI AMBIENTALI PRESSO L'AREA EX SNIA</b>	<b>11</b>
<b>3.2 SONDAGGIO GEOGNOSTICO CON PROVE IN FORO PRESSO LA VASCA DI VAREDO</b>	<b>13</b>
<b>4.0 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>15</b>
<b>4.1 SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>15</b>
<b>4.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>17</b>
<b>5.0 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO</b>	<b>19</b>
<b>6.0 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL SOTTOSUOLO</b>	<b>21</b>
<b>7.0 STABILITA' DELLE SCARPATE</b>	<b>23</b>
<b>7.1 APPROCCIO PROGETTUALE</b>	<b>23</b>
<b>7.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO</b>	<b>24</b>
<b>7.3 VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE</b>	<b>26</b>
<b>7.4 VERIFICHE DI SCIVOLAMENTO DEI TERRENI DI COPERTURA DEL TELO BENTONITICO</b>	<b>31</b>

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>

## 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 Paerno Dugnano (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.

*La zona interessata dalle opere è ricompresa in un Sito Inquinato di Interesse Regionale denominato “Ex SNIA” (per dettagli vedi relazione geologica – idrogeologica).*

*Le presenti valutazioni partono quindi dall’ipotesi che i lavori per la realizzazione della vasca avverranno solo dopo che le attività di bonifica siano state completate*

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

*integralmente e quindi in un contesto ambientale corretto e non ulteriormente contaminato.*

### **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 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);*
2. *“Carta Pedologica: I suoli della Pianura Milanese Settentrionale” ERSAL – 1999;*
3. *“Provincia di Milano – sistema informativo falda (SIF) e sistema informativo ambiente (SIA): elaborazioni livelli di falda – banca dati acque sotterranee (catasto pozzi – livelli di falda)” (dati disponibili fino all’ottobre 2014);*
4. *“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;*
5. *“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;*

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

*In questa fase, sia per questa criticità ambientale del sito (area ex SNIA interessata da opere di bonifica ambientale) sia per la ridotta disponibilità di tempo non è stato possibile procedere ad indagini geognostiche specifiche sulle aree.*

*Nelle successive fasi sarà certamente fondamentale procedere ad una serie di approfondimenti specifici, in considerazione della fondamentale importanza della situazione geologico - tecnica del sito, soprattutto per opere come quella in esame, con elevatissimi volumi di scavo, fino a profondità notevoli dal p.c.*

Le analisi seguenti fanno riferimento principalmente alla documentazione tecnica disponibile sia nella letteratura scientifica che presso gli Enti territoriali.

La stessa è stata integrata con i dati puntuali di alcune indagini ambientali dell'area ex SNIA, nonché dalle indagini effettuate dai Consulenti nelle vicine zone di Senago e di Varedo, interessate dalle altre opere di laminazione del fiume Seveso.

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					
		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>

## 2.0 ASSETTO GEOLORFOLOGICO E GEOLOGICO

Le opere di progetto sono localizzate nella porzione settentrionale del Comune di Paderno Dugnano (MI), nei pressi del confine con Varedo (MB), in sponda idrografica destra del torrente Seveso.

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

Nel territorio di Paderno Dugnano 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.

L'assetto morfologico è costituito da estese piane fluviali e fluvioglaciali quaternarie, in cui non sono più riconoscibili particolari evidenze morfologiche.

La forte urbanizzazione ha ulteriormente contribuito a cancellare queste tracce ed a rendere il territorio omogeneo ed indistinguibile.

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.

Le principali irregolarità morfologiche sono connesse all'attività estrattiva di sabbia e ghiaia, sia in essere che pregressa, che ha creato profondi avvallamenti e depressioni, mutando profondamente il territorio e portando localmente a giorno la falda freatica.

Gli elementi di maggiore rilevanza sono ormai quelli connessi all'idrografia, tra cui spiccano: il torrente Seveso, che attraversa il territorio comunale in direzione N-S, il Canale artificiale Villoresi ed il CSNO – Canale Scolmatore Nord-Ovest.

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 178 m. s.l.m. e 155 m. s.l.m., con un trend di decremento regolare verso sud.

L'area interessata dal presente intervento è, come detto, ricompresa all'interno dell'ex area industriale SNIA, attualmente interessata da interventi di bonifica ambientale (vedi relazione geologica – idrogeologica)

## **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, oltre il 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, 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 118 Milano”, a cura di Francani et al., attualmente disponibile nella versione in bozza del SAL III.

La carta propone anche un sovrasimbolo per caratterizzare la litologia dominante sulla base dei dati di sottosuolo disponibili.

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



<p>PROGETTISTI</p> <div data-bbox="98 203 300 259">  <b>AIPO</b>  <small>Agenzia Interregionale per il fiume Po</small> </div> <div data-bbox="308 203 507 259">  <b>ETATEC</b>  <small>STUDIO PAOLETTI</small> </div>	<p>SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE</p> <p>A.T.P.:</p> <div data-bbox="523 203 746 259">  <b>STUDIO PAOLETTI</b>  <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small> </div> <div data-bbox="778 174 874 295">  <b>BETA</b>  <small>studio</small>  <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small> </div> <div data-bbox="906 174 1018 295">  <b>Studio Associato Geologia Spada</b> </div> <div data-bbox="1034 203 1145 259">  <b>Dott. Ing. A. Barbon</b> </div>	<p>Consulenti:</p> <div data-bbox="1173 197 1316 275">  </div> <div data-bbox="1348 203 1495 259">  <b>Prof. Dott. V. Mezzanotte</b> </div>
---	--	---

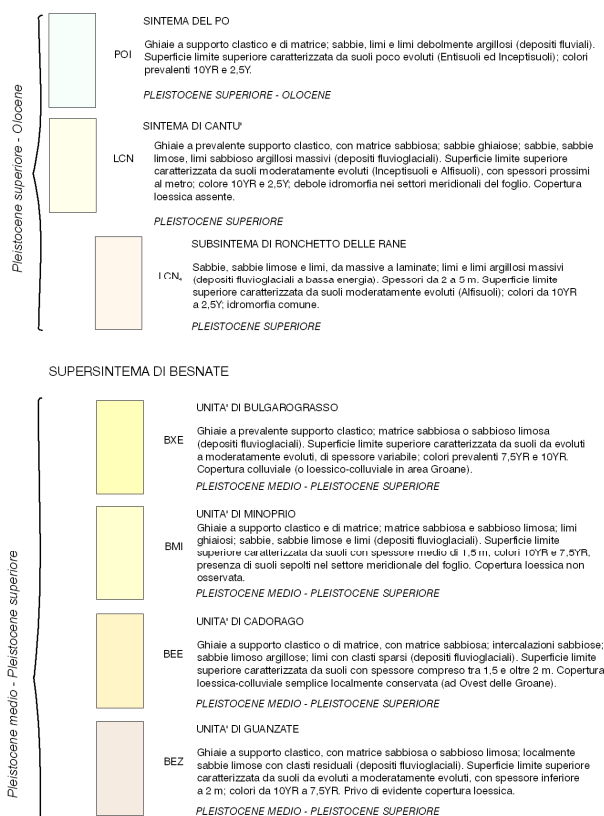
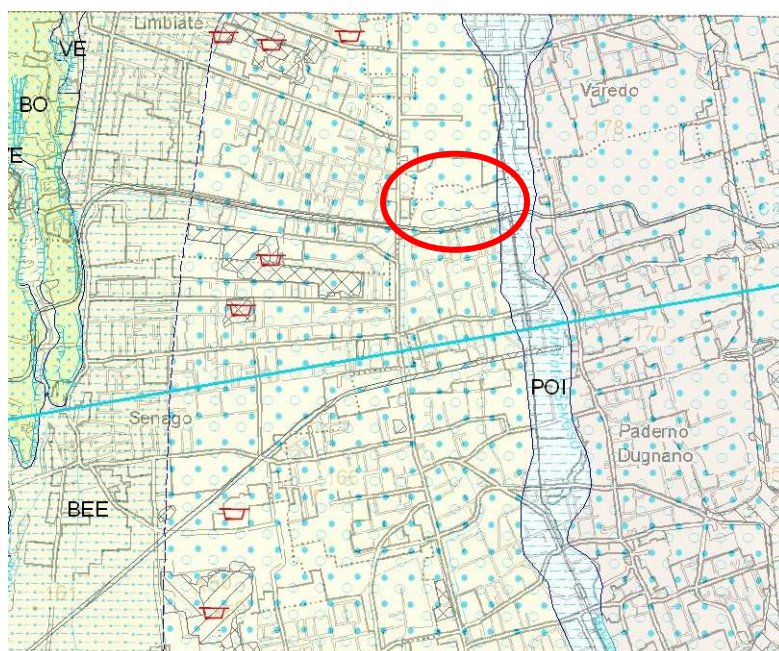


Fig. 1: Estratto della bozza della “Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – foglio 118 Milano”. Il contorno rosso individua l’area in oggetto, appartenente al Sistema di Cantù (codice LCN) Il sovrasimbolo a pallini azzurri indica per la totalità dell’area “depositi alluvionali a ghiaie prevalenti”. La carta mostra anche una forte presenza di cave, attive e dismesse nell’area.



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'area di intervento, in cui verrà realizzata la vasca interessa interamente il Sintema di Cantù (Pleistocene superiore).

L'Unità è costituita da ghiaie, a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; localmente prevalgono le sabbie e le sabbie limose, fino ad arrivare ai limi argillosi massivi.

Si tratta di depositi fluvioglaciali recenti, che costituiscono un'ampia fascia pianeggiante, in sponda sinistra del torrente Seveso.

La superficie superiore è caratterizzata da suoli moderatamente evoluti con spessori prossimi al metro e la copertura loessica è assente.

Nella zona di intervento sono prevalenti, dal punto di vista litologico, le ghiaie e le ghiaie sabbiose, con elementi poligenica, da arrotondati a subarrotondati.

Il Sintema di Cantù ha uno spessore limitato (circa una decina di metri) ed è poggiato un profondità sui depositi più antichi dell'Unità di Cadorago (Pliocene medio superiore)

Tale unità è caratterizzata da ghiaia a supporto clastico o di matrice, con matrice sabbiosa; intercalazioni sabbiose; sabbie limoso argillose; limi con clasti sparsi.

Si tratta di depositi fluvioglaciali che in precedenza erano stati attribuiti al Riss ed in parte al Wurm (fluvioglaciale e fluviale Riss e Wurm).

L'Unità affiora direttamente in una stretta fascia allungata in senso nord-sud, che borda il terrazzo antico mentre vero est risulta ricoperta dall'Unità di Cantù.

La stessa presenta una superficie superiore con suoli mediamente evoluti, caratterizzati, da percentuali di sabbia quasi doppie e percentuali di limo inferiori del 10-30% rispetto alle coperture delle unità più antiche, poste a ovest delle Groane.

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'unità geologica più recente presente nell'area di intervento è il Sistema 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 est dell'area interessata dalle opere.

La sezione geologica seguente mostra i rapporti tra le unità sopra indicate nella zona di intervento.

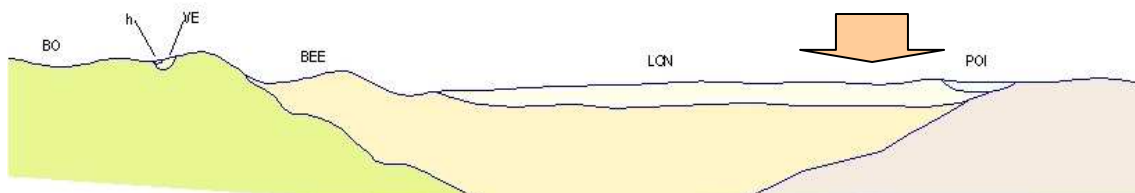


Fig. 2: Estratto della bozza della “Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – foglio 118 Milano” – Stralcio della sezione geologica B-B nella zona di intervento (indicata dalla freccia arancione). La sezione illustra i rapporti tra il Sistema del Po (POL), più recente e che occupa l’alveo attivo del torrente Seveso, l’Unità di Cantù, in posizione stratigrafica intermedia e l’Unità di Cadorago, più antica, che costituisce il substrato geologico. Lo spessore complessivo della sezione è di circa 30-35 metri.

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						

### 3.0 DATI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI PUNTUALI

#### 3.1 INDAGINI AMBIENTALI PRESSO L'AREA EX SNIA

Come già illustrato nelle premesse la zona interessata dalle opere è ricompresa in un Sito Inquinato di Interesse Regionale denominato “Ex SNIA”.

In questa fase, sia per questa criticità ambientale del sito sia per la ridotta disponibilità di tempo non è stato possibile procedere ad indagini specifiche sulle aree, a carattere geologico, idrogeologico, litologico, ecc.

Nelle successive fasi sarà certamente fondamentale procedere ad una serie di approfondimenti specifici relativamente a tutti gli aspetti sopra indicati, in considerazione della fondamentale importanza della situazione geologica ed idrogeologica del sito soprattutto per opere come quella in esame, con elevatissimi volumi di scavo, fino a profondità notevoli dal p.c.

Sull'area di intervento in ampio è però stato possibile reperire alcuni dati di sondaggi, sia a carotaggio che a distruzione, effettuati proprio nell'ambito delle attività di caratterizzazione e bonifica ambientale.

Di seguito si riportano i dati di 3 sondaggi localizzati, in base ai documenti reperiti proprio all'interno dell'area in cui è prevista la vasca.

#### Cod. 0151660144 – piezometro

perforazione a distruzione

0,00 – 34,00 m      ghiaia grossolana +/- sabbiosa

34,00 - 60,00 m      conglomerato ben cementato

#### Cod. 0151660143 – piezometro

perforazione a distruzione

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
							
						Prof. Dott. V. Mezzanotte	

0,00 – 24,00 m	ghiaia grossolana +/- sabbiosa
24,00 - 34,00 m	alternanza di ghiaia sciolta e conglomerato
34,00 – 60,00 m.	conglomerato ben cementato

Cod. SD-P14 – sondaggio

Perforazione a carotaggio continuo

0,00 – 0,20 m	ceneri rosse di lavorazioni industriali
0,20 – 0,60 m	limo sabbioso nocciola
0,60 – 2,00 m	limo marrone con ghiaia fine
2,00 – 4,00 m	ghiaia con limo e qualche ciottolo
4,00 – 8,00 m	ghiaia limoso sabbiosa arrotondata, grigio-marrone
8,00 – 9,10 m	ghiaia media grigia, arrotondata, in matrice sabbiosa debolmente limosa
9,10 – 10,60 m	ghiaia media fine nocciola, con sabbia debolmente limosa e rari ciottoli
10,60 – 10,90 m	sabbia gialla ocra
10,90 - 18,20 m	ghiaia media fine nocciola, con sabbia debolmente limosa e qualche ciottolo
18,20 – 18,50	limo con sabbia e rara ghiaia, nocciola
18,50 – 25,00	ghiaia media con sabbia

I terreni fino a 24-25 metri da p.c. sono caratterizzati da ghiaie medie e grossolane, sabbiose limose e subordinati sottili livelli di sabbia e/o limo.

Al di sotto dei 34 metri i due piezometri hanno rinvenuto la presenza di conglomerati compatti.

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>

### **3.2 SONDAGGIO GEOGNOSTICO CON PROVE IN FORO PRESSO LA VASCA DI VAREDO**

Per ulteriori elementi sulle caratteristiche geologico tecniche del sottosuolo, si riportano, di seguito, i dati del sondaggio geognostico effettuato dalla Ditta Eurogeo di Paderno Dugnano nel mese di ottobre 2014, su commissione dall'A.T.P. che supporta la Scrivente.

La vasca è localizzata nella parte nord del territorio Comunale di Varedo, ma considerata la sostanziale omogeneità geologica del territorio tra le due zone, si reputa di poterlo utilizzare come riferimento di massima per l'assetto del sottosuolo.

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

Il terreno superficiale coltivo 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

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

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>

- 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
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:	
 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 Paderno Dugnano 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 2005 (agg. Maggio 2013) per il PGT di Paderno Dugnano.

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:	
								

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 più in generale per il territorio di Paderno Dugnano, 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.:							
						Studio Associato Geologia Spada			
						Dott. Ing. A. Barbon		Prof. Dott. V. Mezzanotte	

## 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 <math>V_{s,30}</math> 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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> 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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> 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 <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> 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 <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

Per individuare la classificazione del sito in oggetto si è fatto riferimento ai dati geofisici citati nello studio geologico di supporto al PGT.

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

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

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

dove :

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

$V_i$  = velocità delle onde di taglio ( per deformazioni di taglio  $g < 10^{-6}$  ) 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** riportato è di **273 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

Tale dato è coerenti con altre indagini geofisiche disponibili nella zona in ampio.

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					
		A.T.P.:				Consulenti:	
							

## 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 arealmente geologicamente nel Sintema di Cantù. L'Unità è costituita da ghiaie, a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa; localmente prevalgono le sabbie e le sabbie limose, fino ad arrivare ai limi argillosi massivi. Si tratta di depositi fluvioglaciali recenti, che costituiscono un'ampia fascia pianeggiante, in sponda sinistra del torrente Seveso. Nella zona di intervento sono prevalenti, dal punto di vista litologico, le ghiaie e le ghiaie sabbiose, con elementi poligenica, da arrotondati a subarrotondati. Lo spessore dell'unità è valutabile indicativamente in una decina di metri da p.c.
- Al di sotto dell'unità precedente, nello stesso areale interessato dalla vasche, il sottosuolo è costituito dai depositi più antichi dell'Unità di Cadorago (Pliocene medio superiore). Anche questa unità è caratterizzata da ghiaia a supporto clastico o di matrice, con matrice sabbiosa; intercalazioni sabbiose; sabbie limoso argillose; limi con clasti sparsi. Si tratta di depositi fluvioglaciali che in precedenza erano stati attribuiti al Riss ed in parte al Wurm (fluvioglaciale e fluviale Riss e Wurm). Nell'area di intervento i depositi ghiaiosi sono dominanti. Il livello di addensamento è da buono a molto buono. Oltre i 30 metri è frequente il rinvenimento di livelli cementati e di conglomerati.

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>

- I terreni sopra descritti appartengono idrogeologicamente all'acquifero superiore.

Tale acquifero superiore 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 stimata all'ottobre 2014 è pari a 154 m. s.l.m, circa 3 metri al di sopra del fondo della vasca (per maggiori dettagli sull'assetto idrogeologico dell'area e sulle modalità di gestione delle interferenze con la falda stessa è possibile fare riferimento alla relazione geologica ed idrogeologica).



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>

## 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.

E' la porzione interessata maggiormente dai rimaneggiamenti legati all'utilizzo pregresso del sito, nonché alle attività ambientali e di bonifica.

Non viene considerata nelle presenti valutazioni, per i motivi di cui alle premesse ed al par. 4.0 della relazione geologica.

### Livello 1

E' costituito dai depositi appartenenti al Sintema di Cantù, che costituiscono tutta la zona di intervento ed un significativo intorno, almeno fino alla massima profondità di circa 10 metri.

Si tratta prevalentemente di ghiaie sabbioso limose e sabbie limose e/o debolmente limose, di colore nocciola, con ciottoli, da arrotondati a subarrotondati e dimensione massima di 6-8 cm.

La permeabilità è elevata.

I principali parametri geotecnici possono essere stimati come di seguito indicato:

- peso di volume: 18,5 KN/mc
- densità relativa: 30-50 %
- angolo di attrito: 29°-33°

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>

- coesione 0

### Livello 2

E' costituito dai depositi appartenenti all'Unità di Cadorago, che costituiscono tutta la zona di intervento ed un significativo intorno, a partire dalla profondità di 10 metri e fino alla quota di fondo della vasca.

Si tratta prevalentemente di ghiaie sabbioso limose e sabbie limose e/o debolmente limose, di colore nocciola, con ciottoli, da arrotondati a subarrotondati.

La permeabilità è elevata.

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:

- 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 NE-SW ed una pendenza variabile tra 0,3 e 0,5%.

Nella zona di interesse la quota piezometrica stimata all'ottobre 2014 è pari a 154 m. s.l.m, circa 3 metri al di sopra del fondo della vasca (per maggiori dettagli sull'assetto idrogeologico dell'area e sulle modalità di gestione delle interferenze con la falda stessa è necessario fare riferimento alla relazione geologica ed idrogeologica).

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>

## 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	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 $\gamma_M$	(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>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_r$	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 1 – spessore 10 metri (da 0 a 10 m. da p.c.)			
Peso di volume (KN/mc)	19	1,0	19
Coesione	0	1,25	0
Angolo di attrito (°)	31	1,25 (sulla tg)	25,5°
Livello 2 – 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. 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;
- 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 falda è attualmente circa 3 metri al di sopra del piano finito. Il telo impermeabile garantisce la separazione dei sistemi idrogeologici. Gli eventuali innalzamenti della falda causano un proporzionale allagamento delle vasche, per la presenza di un sistema di compensazione monodirezionale. La presenza della falda causa quindi la saturazione dei terreni interessati, ma contemporaneamente vi è l'effetto di stabilizzazione al piede della scarpata per la presenza dell'acqua invasata all'interno.



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

Non si verifica mai la condizione di svaso rapido proprio per la presenza del telo impermeabile di separazione e per la compensazione delle quote piezometriche dentro e fuori la vasca;

- *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;*
- 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.

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

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

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

Le simulazioni sono state eseguite in due differenti condizioni idrogeologiche:

1. falda a + 3 metri dal fondo della vasca, come nella situazione attuale (ma con medesimo livello dell'acqua all'interno della vasca, per i sistemi di bilanciamento delle pressioni idrostatiche);
2. falda al di sotto del fondo della vasca.

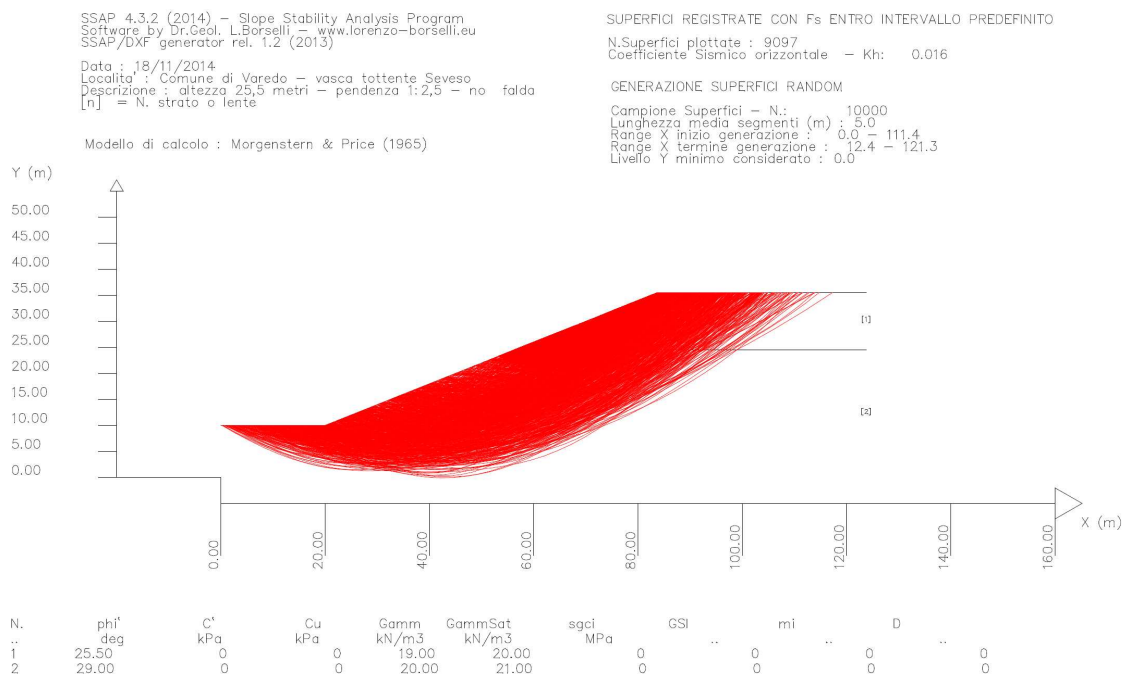
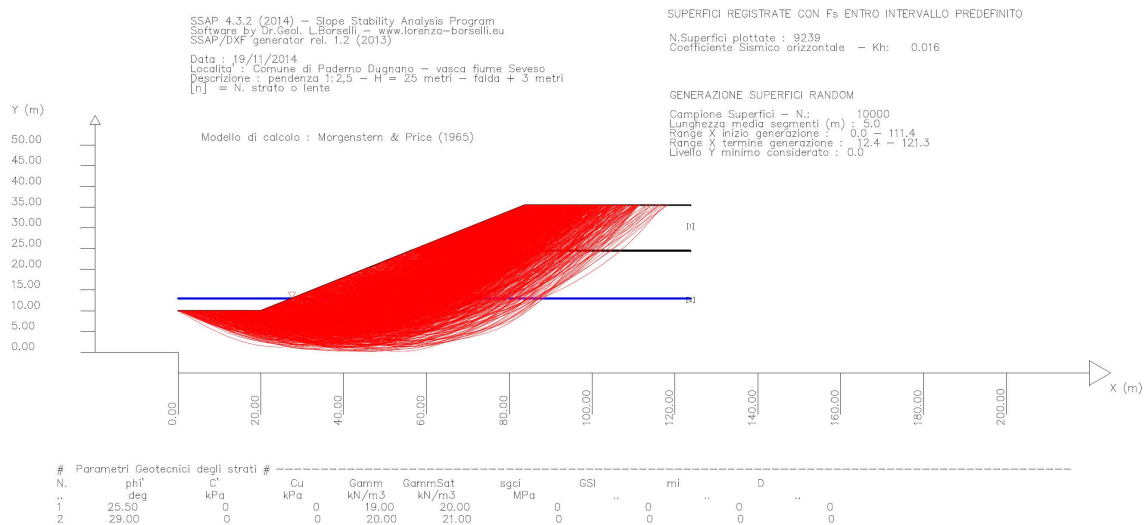
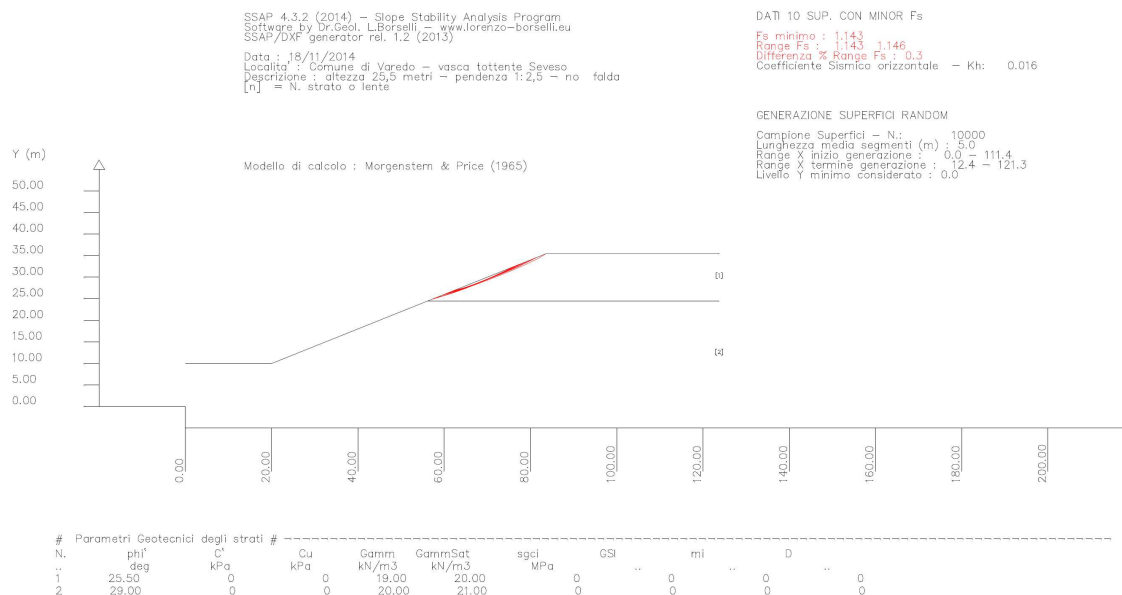


Fig. 3: Verifiche di stabilità del versante con falda al di sotto del fondo della vasca. L'immagine mostra tutte le superfici verificate, che vanno dalla stabilità globale ai piccoli decorticamenti superficiali.



**Fig. 4: Verifiche di stabilità del versante con falda 3 metri al di sopra del fondo della vasca (condizione attuale). L'immagine mostra tutte le superfici verificate, che vanno dalla stabilità globale ai piccoli decorticamenti superficiali**

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



**Fig. 5: Verifiche di stabilità del versante. Le superfici con fattore di sicurezza minore risultano essere quelle superficiali (piccoli decorticamenti), ma con un valore sempre  $F_s > 1,14$**

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

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

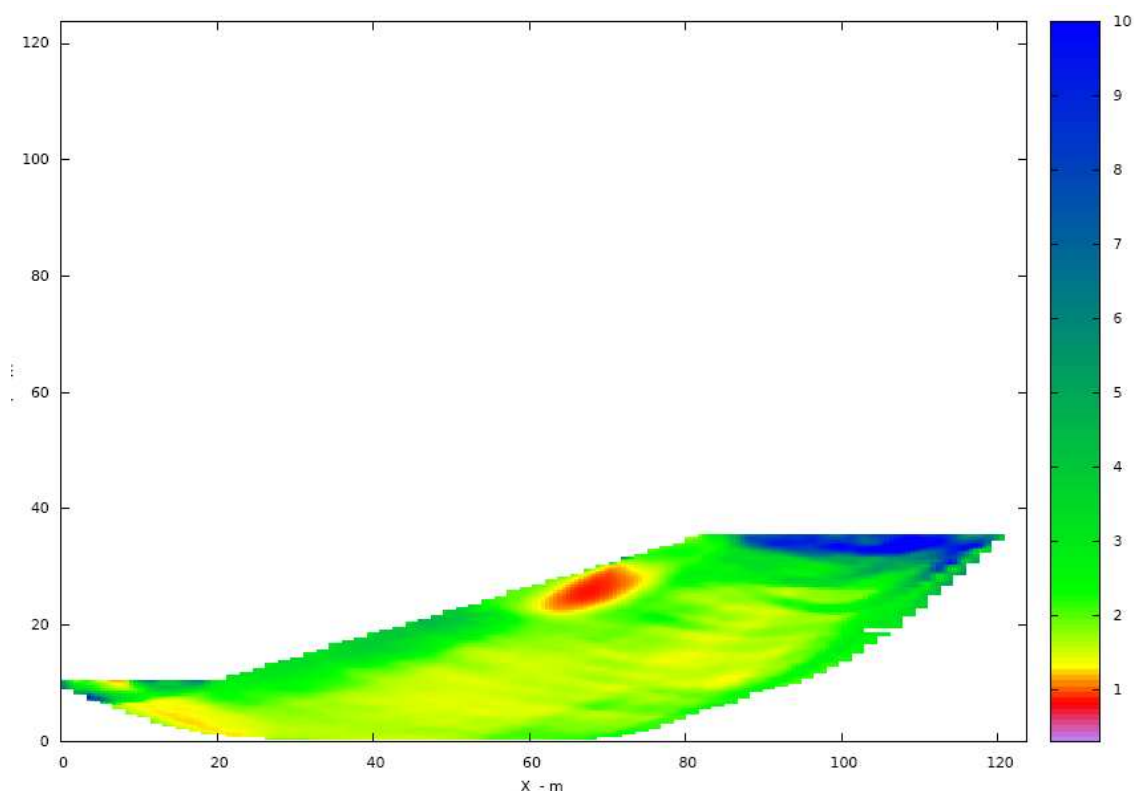


Fig. 6: Mappa del fattore di sicurezza locale lungo la scarpata.

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

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

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

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:								
 Agenzia 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	

#### **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)

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

- 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 =  $22^\circ$  / 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