

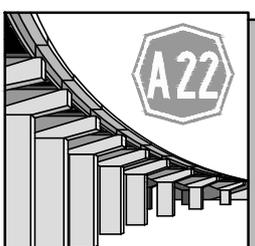


IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
*dott. ing. Roberto Bosetti*

# autostrada del brennero

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE  
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO  
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE  
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

<b>E.5</b>	<b>STUDI SPECIALISTICI</b>
<b>N.1.2.2.</b> <b>1.2.</b>	PROGETTO DI COMPENSAZIONE AMBIENTALE NEI SITI DELLA RETE NATURA 2000 ELABORATI DI PROGETTO Relazioni Relazione geologica

0	MAR. 2021	EMISSIONE	PRAGMA	G. VOGEL	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO: LUGLIO 2009			<b>DIREZIONE TECNICA GENERALE</b>		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA:
NUMERO PROGETTO: 31/09					<b>ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI BOLZANO</b> <b>Dott. Ing. CARLO COSTA</b> Nr. 891 <b>INGENIEURKAMMER DER PROVINZ BOZEN</b>

# autostrada del brennero

REALIZZAZIONE DELLA TERZA CORSIA NEL  
TRATTO COMPRESO TRA VERONA NORD (KM 223)  
E L'INTERSEZIONE CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

## RECEPIMENTO PRESCRIZIONI DECRETO DI COMPATIBILITA' AMBIENTALE

<b>N</b>	<b>PROGETTO DI COMPENSAZIONE AMBIENTALE NEI SITI DELLA RETE NATURA 2000</b>
1.22.1.2	Intervento nel SIC/ZPS "Vallazza" e nel SIC "Chiavica del Moro" Intervento nel SIC/ZPS "Vallazza" Elaborati di progetto Relazione geologica

0	aprile '12	EMISSIONE	Studio Pragma	G. Vogel	C. Costa
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO:  FEBBRAIO 2012		 			IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA:
NUMERO PROGETTO:  16/12					ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI BOLZANO <b>Dott. Ing. CARLO COSTA</b> Nr. 891 INGENIEURKAMMER DER PROVINZ BOZEN

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>3</b>
	2.1 SITUAZIONE GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA .....	3
	2.2 IDROGRAFIA SUPERFICIALE E IDROGEOLOGIA .....	8
<b>3</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>ASPETTI GEOLOGICI DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>ALLEGATO 1 – sezione della palificata.....</b>	<b>15</b>

## 1 PREMESSA

Lo studio Pragma di Verona mi ha incaricato di eseguire una indagine geologica e geotecnica inerente il progetto per la rinaturalizzazione di parte dell'argine nord del Mincio in loc. Formigosa. L'argine è rivestito in calcestruzzo e il progetto prevede di addossargli un riporto di terreno di coltivo, sostenuto con appositi apprestamenti e poggiate sulla base del rivestimento arginale.

In esito all'incarico ricevuto ho provveduto ad eseguire le opportune indagini e espongo a seguire i risultati delle verifiche e valutazioni eseguite.



*Fig. 1: il tratto di argine da sistemare con il mezzo utilizzato per le trivellazioni*

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 2.1 Situazione geomorfologica e geologica

Il sito di intervento è un tratto di argine sinistro (nord) del Mincio, in località Formigosa, che si sviluppa per circa 400 metri a partire dalla sezione 1 di progetto.

L'argine è rivestito con calcestruzzo che forma, alla base argine, una scarpa che appoggia sul terreno naturale del sito. Alla base dell'argine, tra terreno naturale e scarpa del rivestimento, è stato ricavato un fossato, asciutto nel periodo dell'indagine (febbraio-marzo 2012) e depresso da circa 50 cm a circa 1 metro rispetto al piano di campagna della zona golenale. Essa è coltivata a pioppeto. Nella zona tra argine e fiume si trovano cavità derivanti da passata attività estrattiva allagate dalla falda acquifera che si trova in posizione subsuperficiale a profondità da qualche decimetro a circa 1 metro a seconda dell'altimetria del terreno e della zona.

L'area si trova in zona di bassa pianura, caratterizzata quindi da sedimentazione prevalentemente fine, per la bassa competenza delle correnti fluviali legata alla modesta pendenza del territorio. Tuttavia, trovandosi entro l'alveo di piena del Mincio e considerando che l'alta pianura mantovana ha sottosuolo prevalentemente ghiaioso in tutta l'area compresa tra anfiteatro morenico del Garda fino ai laghi di Mantova, è possibile rinvenire anche qui depositi sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi, come in effetti avvenuto per la trivellazione n. 8.

Il sottosuolo è stato esplorato per profondità variabili da 1 a 3 metri. I fori sono stati eseguiti a partire dal fondo del fossato posto alla base dell'argine sul lato interno verso il Mincio, dove verrà costruita l'opera (ad esclusione del n. 8 eseguito nel pioppeto). In tal modo la quota di partenza dei fori di trivellazione era inferiore mediamente di 80-100 cm al piano di campagna del pioppeto golenale (tranne foro 8).

La profondità di trivellazione di tre metri è stata scelta in rapporto al presumibile carico sul terreno dell'opera da realizzare, che non è particolarmente gravosa e che poggia sulla scarpa in calcestruzzo della base del rivestimento arginale, che ha uno spessore di 30 cm. La porzione di sottosuolo sollecitata in modo significativo dall'intervento è ovviamente quella più superficiale dove come si vedrà si rilevano spesso le peggiori condizioni geotecniche, ma il grado di sollecitazione è legato alla presenza della scarpa in calcestruzzo che è scarsamente suscettibile di trasformazione e quindi mitiga fortemente il carico sul terreno che si avrebbe in sua assenza.

Per eseguire la caratterizzazione del terreno ci si è valse di uno scavatore idraulico munito di una trivella, con aste parte tubolari di prolunga e parte con coclea elicoidale. La trivella poteva essere equipaggiata con una fustella campionatrice tipo ASTM per il prelievo di campioni di terreno semi-indisturbati. Le foto a seguire mostrano alcune fasi della trivellazione e il campionatore usato per i prelievi.

Il sottosuolo del tratto di interesse alla base dell'argine è risultato costituito da materiali fini da limosi ad argillosi, con presenza di sostanza organica e torba. Nei materiali fini si è frequentemente rilevata la presenza di una frazione sabbiosa e di qualche ciottolotto. Solo nella trivellazione n. 8, dopo circa 30 cm di limo (terreno di coltivo) si è rinvenuta ghiaia e sabbia. La trivellazione n. 8, a differenza delle altre, non è stata eseguita nel fosso alla base dell'argine ma nel pioppeto.

Sostanzialmente dalla trivellazione 1 alla 7 si rileva un primo strato di sottosuolo costituito da terreni fini da limosi ad argillosi. Il colore normale è giallastro ma nella zona centrale del tratto di interesse esso passa a bruno più o meno scuro per la presenza di sostanza organica. Questa situazione è correlabile alla saturazione del terreno del fondo del fossato dove si creano condizioni anaerobiche che impediscono ai residui vegetali di ossidarsi con conseguente carbonificazione. In questo tratto, che inizia dalla trivellazione 3 e prosegue fino alla 7, si ha acqua nel foro di sonda a partire da profondità variabili da pochi centimetri a circa 80 cm a seconda del punto. Al di sotto di questo strato limo-argilloso si è rinvenuta nelle prime due trivellazioni argilla grigia, con resti torbosi e frammenti di conchiglie di molluschi paludinidi, molto plastica e di media consistenza. Nelle trivellazioni 1 e 2 si è rinvenuto limo giallastro senza acqua piuttosto consistente che si rilevava anche in quelle dal 3 al 7, ma al di sotto del limo bruno molle superficiale. Nella trivellazione n. 2 l'acqua si rinveniva al fondo foro mentre la trivellazione 1 era anidra.

A seguire si riporta una sezione stratigrafica longitudinale.

E' verosimile ritenere che la scarpa di base argine poggi su terreno limoso consistente in quanto da un lato la zona torbosa si è formata per ristagno come appena spiegato e dall'altro è improbabile che l'opera possa essere stata fondata su un terreno di così precarie caratteristiche meccaniche e del quale sarebbe stata molto facile e economica la bonifica, soprattutto nel contesto generale dei lavori di costruzione. E' pertanto altamente probabile che il terreno al di sotto della scarpa in calcestruzzo del rivestimento dell'argine presenti le caratteristiche simili ai limi rilevati nelle trivellazioni 1 e 2.



FIG. 2. PARTICOLARI DELLE OPERAZIONI DI TRIVELLAZIONE



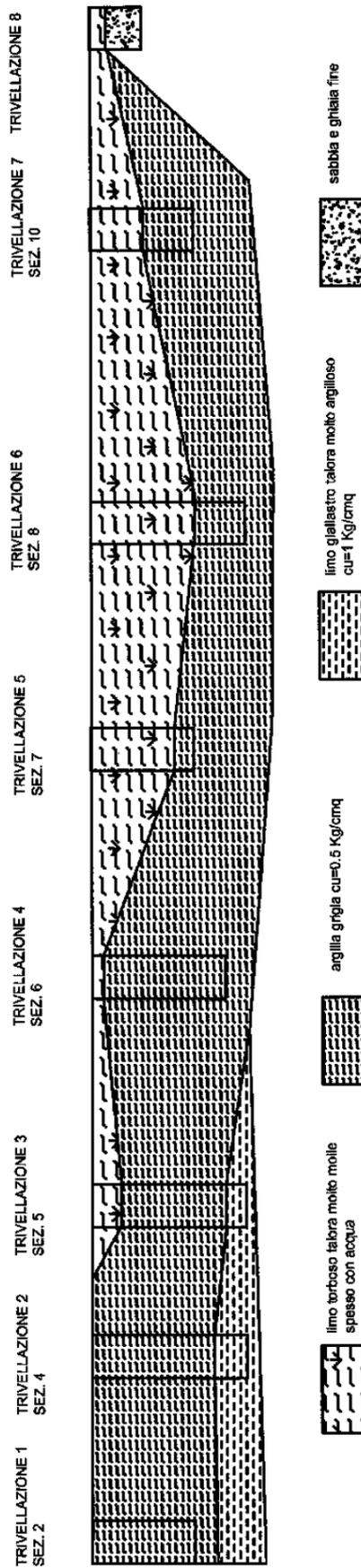


FIG. 3: PARTICOLARI DEL CAMPIONATORE



Fig. 4: sezione stratigrafica dei sondaggi eseguiti

SEZIONE GEOLOGICA LONGITUDINALE



## **2.2 Idrografia superficiale e idrogeologia**

Nella zona di interesse l'unico corso d'acqua è il Mincio e le opere idrauliche connesse. La falda acquifera è superficiale e nella zona di interesse è risultata profonda da circa 20 cm a circa 2,5 metri a seconda del punto considerato. Tale variazione dipende in parte da acqua di ristagno superficiale che permea i sedimenti del fondo fossato dando luogo a saturazione a quote superiori a quelle di falda e anche dalla bassa permeabilità di alcuni dei sedimenti rinvenuti che impediscono alla falda di espandersi liberamente. Per questo motivo alcuni fori erano anidri o con falda profonda ma è probabile che con lo scorrere del tempo il livello si porti poi a quello ordinario per la zona. In ogni caso è bene considerare la possibilità di saturazione totale del terreno e di sommersione della base delle opere, per il fatto che le aree golenali per loro natura sono zone di espansione e laminazione delle piene fluviali.

## **3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

I parametri geotecnici dei materiali del sottosuolo sono stati determinati con misurazioni e osservazioni nei fori di sonda, sui campioni prelevati e con alcune prove di laboratorio, utilizzando strumentazione portatile per determinare la coesione non drenata dell'argilla.

La coesione non drenata dell'argilla del sottosuolo è stata misurata sulle pareti di scavo fresche e sulle carote di sondaggi eseguiti, mediante scissometro portatile mod. Controls T/174, strumento che a differenza dei normali torvane consente determinazioni abbastanza accurate. La coesione non drenata è risultata variabile tra 0,4 e 1,2 Kg/cm<sup>2</sup>. Nel limo saturo superficiale dei sondaggi da 4 a 7 la misurazione non era possibile perché il terreno era troppo molle.

Tale terreno non consente la rapida dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal peso della costruzione. Poiché in tali condizioni la resistenza al taglio aumenta nel tempo è possibile affermare che le condizioni critiche per la stabilità siano quelle iniziali. Poiché inoltre la velocità di applicazione dei carichi è significativamente maggiore della velocità di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali la fase di carico ha luogo in condizioni non drenate e il comportamento meccanico del terreno può essere descritto in termini di pressioni totali, con resistenza al taglio espressa dalla coesione non drenata. Normalmente la verifica in condizioni non drenate è maggiormente cautelativa di quella in condizioni drenate.

Le seguenti tabelle riportano la situazione rilevata.

TRIVELLAZIONE	Profondità m	litologia	Coesione non drenata
1	Da 0 a 2	Limo giallastro	1,2 Kg/cm <sup>2</sup>
2	Da 0 a 2,4	Limo giallastro	1 Kg/cm <sup>2</sup>
2	Da 2,4 a 3	Argilla grigia con torba	0,5 Kg/cm <sup>2</sup>
3	Da 0 a 2,6	Limo bruno-giallastro	0,4 Kg/cm <sup>2</sup>
3	Da 2,6 a 3	Argilla grigia	0,5 Kg/cm <sup>2</sup>
4	Da 0 a 2,5	Limo bruno	0,5 Kg/cm <sup>2</sup>
5	Da 0 a 1,6	Limo bruno molto molle	Non misurabile
5	Da 1,6 a 2	Limo argilloso giallastro	0,8 Kg/cm <sup>2</sup>
6	Da 0 a 2	Limo bruno e torba molto molli	Non misurabile
6	Da 2 a 3	Limo argilloso giallastro	0,8 Kg/cm <sup>2</sup>
7	Da 0 a 1	Limo bruno chiaro molle	Non misurabile
7	Da 1 a 2	Limo argilloso giallastro	0,8 Kg/cm <sup>2</sup>

La dicitura "non misurabile" indica la impossibilità di misurare per il terreno troppo molle

**Tabella 1: determinazioni della coesione non drenata con strumentazione portatile**

Campione	Triv. 1 da 0,8 a 1 m	Triv.2 da 2,5 a 3 m	Triv. 4 da 1,5 a 2 m	Triv. 6 da 2,5 a 3 m
% ghiaia	3,3** ***	0,1**	1,6	1,6***
% sabbia	13,3**	0,5	9,9	4,1***
% limo e argilla*	83,4	99,4	88,5	94,3
Contenuto d'acqua	19,2 %	45,2 %	23,6 %	20,8 %
Lim. di liquidità	31 %	80 %	44 %	32 %
Lim. di plasticità	18 %	37 %	30 %	17 %
Indice di plasticità	13 %	43 %	14 %	15 %
Peso di volume nat.	Non determinato	1740 Kg/m <sup>3</sup>	2100 Kg/m <sup>3</sup>	2070 Kg/m <sup>3</sup>
Peso di vol. secco	Non determinato	1220 Kg/m <sup>3</sup>	1610 Kg/m <sup>3</sup>	1710 Kg/m <sup>3</sup>

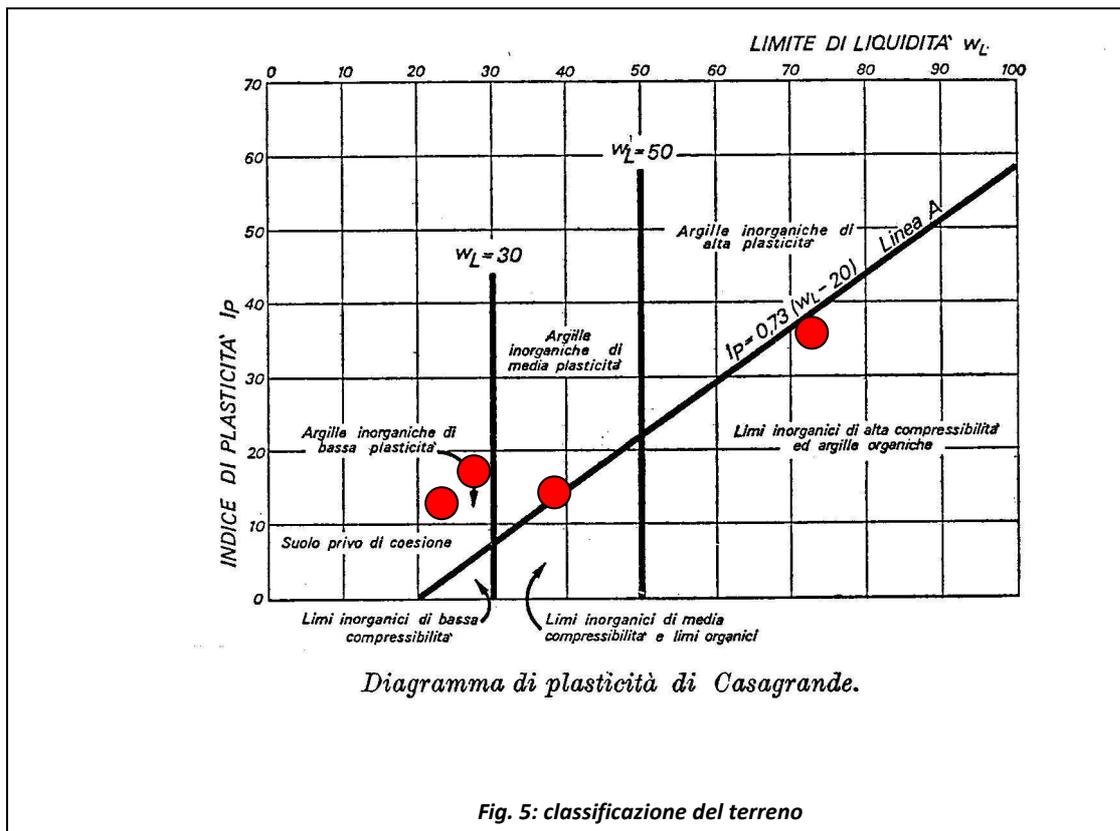
\* = frazione passante al setaccio da 0.075 mm

\*\*= frazione granulometrica contenente frammenti di conchiglie di molluschi paludini

\*\*\*=frazione granulometrica contenete o costituita esclusivamente da concrezioni

**Tabella 2: parametri di classificazione dei sedimenti**

Utilizzando la figura 2 è possibile eseguire una classificazione dei sedimenti: si vede che il limo giallastro (trivellazioni 1 e 6) appartiene alla categoria delle "Argille inorganiche di media plasticità" ; l'argilla grigia rinvenuta al fondo delle trivellazioni 2 e 3 appartiene alla categoria dei "limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche" mentre il limo bruno chiaro della trivellazione 4 appartiene alla categoria dei "Limi inorganici di media compressibilità e limi organici".



In base alle considerazioni svolte nel paragrafo 2.1 è verosimile pensare che il terreno al di sotto della scarpa di rivestimento alla base dell'argine sia assimilabile a quello rilevato nelle trivellazioni 1 e 2 e che il peso dell'argine abbia determinato una sovraconsolidazione del terreno al di sotto di esso con conseguente miglioramento delle caratteristiche meccaniche.

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La normativa sismica in Italia ha subito notevoli mutamenti ed evoluzioni soprattutto negli ultimi anni. Il territorio del comune di Mantova non era classificato sismico. Successivamente la ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 20 MARZO 2003: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica* lo ha inserito in classe 4, con valore di ancoraggio dell'accelerazione sismica orizzontale di 0.05g. La successiva OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 ha modificato il valore di ancoraggio alla accelerazione sismica orizzontale, precedentemente indicato.

Nel gennaio 2008 è stato introdotto il D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" che ha nuovamente ridefinito la situazione sismica del territorio italiano su basi statistiche probabilistiche

collegando la accelerazione sismica di progetto alle caratteristiche della costruzione oltre che alla situazione morfologica e geologica locale e ovviamente alle condizioni sismologiche del territorio.

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,033	2,547	0,216
50	0,039	2,589	0,257
72	0,044	2,566	0,278
101	0,050	2,574	0,286
140	0,057	2,557	0,291
201	0,064	2,570	0,295
475	0,088	2,566	0,308
975	0,112	2,563	0,311
2475	0,148	2,579	0,321

Non ci sono dati sufficienti per conoscere la velocità delle onde "S" nè per una sicura attribuzione del sottosuolo alla categoria appropriata. E probabile una appartenenza al seguente tipo "D" ma potrebbero anche trovarsi terreni torbosi o suscettibili di liquefazione con conseguente attribuzione alla categoria S1 o S2. Questa situazione è meno probabile della precedente per la bassa sismicità del territorio. Per una definizione esatta occorrerebbero prove appropriate ma si tratta di un aspetto non particolarmente rilevante ai fini dell'opera da realizzare.

Categoria del terreno di fondazione	D: <b><u>depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</u></b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ Kpa nei terreni a grana fina)
Categoria del terreno di fondazione	S1: depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o argille altamente organiche
Categoria del terreno di fondazione	S2 : depositi di terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

$V_{s30}$ = velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$N_{spt}$ : numero di colpi della prova SPT (standard penetration test)

$c_u$ = coesione non drenata

In riferimento alla seguente tabella il sito ricade nella categoria T1.

<i>categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

## 5 ASPETTI GEOLOGICI DELL'INTERVENTO

Il riporto da addossare all'argine avrà una larghezza alla base di circa 2 metri e pari altezza e sarà armato con tondame in legno. Poggerà sulla scarpa in calcestruzzo del rivestimento dell'argine. Al limite della scarpa di base del rivestimento arginale saranno infissi dei piloti in ferro del diametro di 30 mm con interasse longitudinale di 1 metro.

Ovviamente una parte del riporto poggerà sul rivestimento dell'argine, fortemente inclinato. Questo determina una spinta orizzontale sulla struttura.

Dal punto di vista geologico non si presentano problematiche particolarmente ostiche in quanto la struttura nel suo insieme scarica alla base di appoggio una tensione stimabile in circa  $0,35 \text{ Kg/cm}^2$ , quindi piuttosto modesta e applicata alla scarpa in calcestruzzo del rivestimento arginale. Questa trasforma parte di tale sforzo in una trazione sul rivestimento e in parte viene sollecitata a ruotare con perno alla base argine. Per un peso come quello esercitato dall'opera e nelle condizioni geotecniche ipotizzate non sono configurabili condizioni che comportino la possibilità di cedimenti rilevanti e di lesioni del rivestimento dell'argine. Lo scivolamento dell'opera da realizzare sulla scarpa in calcestruzzo per effetto degli sforzi orizzontali è impedito efficacemente dalla spinta passiva del terreno che forma la sponda della canaletta e dalla resistenza dei piloti in ferro e dall'armatura in legno.

Appare anche opportuna la previsione progettuale di disporre un letto granulare di drenaggio tra struttura da realizzare e rivestimento dell'argine. La possibilità di scivolamento sulla superficie del rivestimento in calcestruzzo viene ben contrastata dall'armatura in legno del manufatto, dai piloti in ferro e dalla spinta passiva del materiale di riempimento del fossato alla base argine, oltre che dall'attrito tra struttura e rivestimento argine.

Infine le radici della vegetazione dovrebbero concorrere a una stabilizzazione generale da fenomeni di erosione sia per le acque meteoriche che per eventuali correnti fluviali.

Le scelte progettuali appaiono quindi appropriate in relazione alle finalità dell'intervento.

## 6 CONCLUSIONI

L'indagine geologica ha permesso di rilevare la situazione lungo lo sviluppo dell'opera. Si è riscontrato che lo strato superficiale del sottosuolo ha caratteristiche molto variabili dal punto di vista geotecnico e va da buono a molto scadente. Tuttavia è da ritenersi che tale condizione riguardi solo la zona del fosso ma che non ricorra al di sotto della scarpa in calcestruzzo del rivestimento arginale, sulla quale verrà appoggiata la struttura da realizzare. Mentre il limo torboso molle della canaletta potrebbe subire cedimenti differenziali di parecchi centimetri se caricato con il peso della struttura, la scarpa d'argine, vincolata al rivestimento e poggiante su terreni meno deformabili non dovrebbe consentire assestamenti significativi o dannosi. A consolidare e sostenere meglio l'opera sono previsti anche i piloti in ferro, la stesa di un orizzonte granulare e l'armatura del rilevato. Infine il riempimento del fosso alla base dell'argine concorre a impedire movimenti orizzontali dell'opera con la sua spinta passiva.

Dal punto di vista geologico le scelte progettuali appaiono quindi appropriate.

## **7 ALLEGATO 1 – SEZIONE DELLA PALIFICATA**

