



**REGIONE  
LAZIO**

**DIREZIONE REGIONALE INFRASTRUTTURE,  
AMBIENTE E POLITICHE ABITATIVE**

**LAVORI DI RIPRISTINO DELL'OFFICIOSITA' DEL FOSSO DI  
PRATOLUNGO COMPRESA LA M.S. DELL'ALVEO E LA COSTITUZIONE  
DI OPPORTUNE OPERE DI ACCUMULO E  
LAMINAZIONE DELLE PIENE - II LOTTO**

**PROGETTO ESECUTIVO  
PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA**

**ELABORATI GENERALI  
Relazione generale**

**IMPRESA DI COSTRUZIONE:**  
ATI:

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**  
Dott. Dario Maturro



(capogruppo)



(mandante)

**PROGETTISTI:**

**DIREZIONE DEI LAVORI**  
Ing. Severino Marasco



(mandataria)  
Prof. Ing. Marco Petrangeli  
Ing. Geol. Massimo Pietrantonì



(mandante)  
Ing. Luciano Landolfi  
Ing. Roberto De Gennaro  
Ing. Antonio Petti

**STUDI GEOLOGICI:**

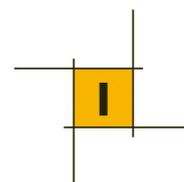
Ing. Geol. Massimo Pietrantonì

CODICE ELABORATO	RIFERIMENTO ELABORATO						SCALA	
	<i>File name:</i>							
	R	IN	122	EG	-	RE 101 - R 2	RIN122EG-RE101-R2	-

rev	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Visto committente	Descrizione
0	11/2013	M. Pietrantonì	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		
1	11/2013	M. Pietrantonì	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Istruttoria Direzione Generale Dighe
2	08/07/2015	M. Pietrantonì	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Ottemperanza prescrizioni. Consegna definitiva

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
1.1	IL PROGETTO DEFINITIVO A BASE DI GARA .....	5
1.2	LE VARIANTI MIGLIORATIVE OFFERTE IN SEDE DI GARA .....	7
1.3	IL PROGETTO ESECUTIVO .....	8
1.4	LE PRESCRIZIONI DELLA COMMISSIONE DEL PRE-COMITATO TECNICO REGIONALE.....	9
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI.....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>RISULTATI DEGLI STUDI TECNICI SPECIALISTICI .....</b>	<b>12</b>
4.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE .....	12
4.2	GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA.....	13
4.3	SISMICA .....	15
4.4	GEOTECNICA .....	18
4.5	IDROLOGIA E IDRAULICA.....	19
4.6	INTERESSE ARCHEOLOGICO .....	20
<b>5</b>	<b>IL PROGETTO ESECUTIVO .....</b>	<b>22</b>
5.1	LA DIGA IN TERRA .....	22
5.1.1	<i>Geometria .....</i>	22
5.1.2	<i>Caratteristiche dei materiali.....</i>	23
5.1.3	<i>Diaframma impermeabile .....</i>	26
5.1.4	<i>Scavi di fondazione.....</i>	28
5.1.5	<i>Le opere di protezione del fosso di Pratolungo, a monte e a valle del manufatto.....</i>	29
5.1.6	<i>I risultati delle verifiche di filtrazione e di stabilità.....</i>	33
5.2	IL MANUFATTO DI REGOLAZIONE.....	39
5.2.1	<i>Caratteristiche del manufatto .....</i>	39
5.2.2	<i>Dimensionamento idraulico dell'opera di regolazione.....</i>	41
5.2.3	<i>I muri d'ala .....</i>	46
5.2.4	<i>Verifiche di sicurezza .....</i>	47
5.2.5	<i>Strumentazione di controllo .....</i>	50
5.3	LE STRADE DI SERVIZIO.....	50
5.4	GLI INTERVENTI SULLE CAVITÀ IN SPONDA DESTRA .....	51
5.5	OPERE ACCESSORIE.....	53
<b>6</b>	<b>SINTESI DELLE VARIANTI .....</b>	<b>54</b>
6.1	VARIANTE N. 1. MATERIALI PER LA DIGA IN TERRA.....	54
6.2	VARIANTE N. 2. DIAFRAMMA IMPERMEABILE .....	55
6.3	VARIANTE N. 3. SCAVI DI FONDAZIONE DEL MANUFATTO DI REGOLAZIONE.....	55
6.4	VARIANTE N. 4. MANUFATTO SFIORATORE DELLA DIGA. ....	56
6.5	VARIANTE N. 5. MURI ANDATORI DELLA DIGA.....	56



6.6	VARIANTE N. 6. OPERE DI PROTEZIONE DELLA DIGA E DEI FOSSI .....	57
6.7	VARIANTE N. 7. CAVITÀ .....	57
6.8	VARIANTE N. 8. ARGINE A PROTEZIONE DEI MANUFATTI STORICI.....	57
6.9	VARIANTE N. 9. SOTTOSERVIZI SOTTOPASSANTI LA DIGA .....	58
<b>7</b>	<b>OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI DELLA DIREZIONE GENERALE DELLE DIGHE .....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI DEL PRE-COMITATO TECNICO REGIONALE .....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>PIANO DI GESTIONE DELLE TERRE.....</b>	<b>62</b>
<b>10</b>	<b>INTERFERENZE ED ESPROPRI.....</b>	<b>64</b>
10.1	INTERFERENZE CON SOTTOSERVIZI.....	64
10.2	ESPROPRI .....	65
<b>11</b>	<b>ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE .....</b>	<b>66</b>
<b>12</b>	<b>SICUREZZA E AMBIENTE .....</b>	<b>66</b>
12.1	SICUREZZA DEGLI IMPIANTI.....	66
12.2	IMPATTI AMBIENTALI E MITIGAZIONI.....	67

## 1 PREMESSA

Il progetto in esame prevede la realizzazione di una **vasca di laminazione in linea** tramite uno sbarramento in terra sul Fosso di Pratolungo, poco più di 2 km a monte della confluenza nel fiume Aniene; il sito di progetto è ubicato nel Comune di Roma, poco al di fuori del G.R.A. , circa 150 m a monte di via di S. Alessandro.

L'intervento è stato deciso dopo gli eventi meteorici del dicembre 2008, a seguito dei quali si sono verificate esondazioni diffuse su tutto il territorio del bacino del Fiume Aniene. In particolare il fosso di Pratolungo, affluente di destra dell'Aniene, è esondato nei pressi della sua foce andando ad allagare diversi stabilimenti artigianali, commerciali e industriali nei pressi della Via Tiburtina all'altezza del G.R.A..

Con Ordinanza n° 3734 del 16 gennaio 2009, la Presidenza del Consiglio dei Ministri ha adottato misure straordinarie d'intervento per la salvaguardia del territorio interessato da questi eventi, individuando l'ARDIS come Soggetto Attuatore responsabile dei progetti e della realizzazione dei lavori.

L'opera in esame si inserisce in un piano di interventi già realizzati nel recente passato per l'eliminazione del rischio di inondazione della Via Tiburtina per fenomeni di rigurgito causati dalle piene da deflusso del ricettore, il Fiume Aniene. In particolare, le opere già realizzate consistono in:

- un argine insormontabile in sponda destra del Fiume Aniene in corrispondenza dell'immissione del fosso di Pratolungo nell'Aniene stesso;
- una traversa mobile, dotata di tre paratoie metalliche di luce 2,50m, da azionarsi all'occorrenza di piene da deflusso del Fiume Aniene che causano piene da rigurgito nel fosso di Pratolungo;
- un impianto idrovoro, il quale entra in funzione per immettere le portate fluenti nel fosso di Pratolungo nel Fiume Aniene quando quest'ultimo è in stato di piena.

Tali interventi hanno avuto l'obiettivo di eliminare il rischio di inondazione del Fiume Aniene, non intervenendo però sulle aree del fosso di Pratolungo.

In tale contesto il progetto elaborato dall'ARDIS ha come obiettivo la messa in sicurezza idraulica dell'area fortemente urbanizzata e soggetta a rischio (classificata R4 dal PAI) compresa tra la confluenza del fosso di Pratolungo e il Fiume Aniene e il G.R.A. .

La riconosciuta naturale *servitù di allagamento*, caratteristica della bassa valle del fosso di Pratolungo anche all'occorrenza di piene da deflusso del fosso stesso, ha portato a considerare fattibili anche le soluzioni basate sulla laminazione delle piene, da attuarsi con un sistema di invaso - cassa di espansione.

I progetti promossi dall'ARDIS sono quindi finalizzati al conseguimento delle seguenti condizioni idrauliche:

- 1) estensione dei tempi di corrivazione della piena del fosso di Pratolungo al fine di diluire il transito della portata nel tempo e adeguamento della sezione d'alveo a portate superiori di quelle attuali;
- 2) potenziamento dell'impianto idrovoro esistente, al fine di permettere lo smaltimento delle maggiori portate convogliabili in alveo;
- 3) realizzazione di vasche di laminazione per trattenere le acque eccedenti le portate ammissibili.

Gli interventi di cui ai punti 1) e 2) sono già stati realizzati (1° Lotto), mentre gli interventi del punto 3) sono stati inseriti nel lotto 2 cui si riferisce il presente progetto.

A seguito di uno specifico finanziamento, la Regione Lazio ha indetto una gara di Appalto Integrato per la progettazione esecutiva e la costruzione degli interventi del lotto 2 denominato “Lavori di ripristino dell’ufficiosità del fosso di Pratolungo compresa la messa in sicurezza dell’alveo e la costituzione di opportune opere di accumulo e laminazione delle piene – 2° lotto”.

Nei paragrafi seguenti sono brevemente riassunte le caratteristiche del progetto definitivo posto a base di gara e le principali varianti introdotte a seguito dell’esecuzione delle indagini e delle prescrizioni impartite dai vari Enti.

### **1.1 Il progetto definitivo a base di gara**

Il progetto predisposto dall’Amministrazione è stato redatto da un Gruppo di Progettazione coordinato dall’ing. Fabio Colletti – CO.RI.P. srl (Responsabile e Coordinatore di progetto).

Il progetto definitivo è composto dalle seguenti parti di opere:

**1) una diga di terra** a sezione trapezoidale con le seguenti caratteristiche:

- 400 m di lunghezza;
- coronamento a quota 33,00 m s.m.m. con strada di servizio per ispezione, controllo e manutenzione;
- altezza fino ad un massimo di circa 11 m rispetto al piano di campagna attuale;
- paramento di monte con pendenza  $h/b=1/2$  protetto da materassi tipo Reno;
- nucleo di tenuta decentrato e ruotato a ridosso del paramento di monte;
- diaframma plastico in CSM (cutter soil mixing) intestato nel terreno a profondità variabili al di sotto della base del nucleo, da 4.0 a 15.0 m;
- paramento di valle con pendenza  $h/b = 2/3$  interrotto da una banca orizzontale e ricoperto da uno strato di terreno vegetale trattato con idrosemina;
- unghia di valle in pietrame e relativa canaletta di scolo per il drenaggio dell’acqua all’interno del rilevato ed allontanamento controllato delle acque di infiltrazione e zenitali.

**2) un’opera di regolazione** in calcestruzzo, interposto alla diga in terra di cui sopra, in corrispondenza del fosso attuale, con le seguenti caratteristiche:

- 2 luci per il deflusso normale, ciascuna larga 2,0 m e alta 3,0 m, presidiate da paratoie piane poste a quota alveo in corrispondenza del fosso attuale;
- 2 panconi per la chiusura delle suddette luci in caso di mancato funzionamento delle paratoie piane;
- uno sfioratore composto di 4 soglie libere poste a quota 28,50 m s.m.m., di lunghezza 12,0 m ciascuna, per un totale di 48,0 m di lunghezza di sfioro;
- una vasca di dissipazione a valle dello sfioratore con macroscabrezza ottenuta con denti di calcestruzzo alti 0,90 m e disegnata in modo tale da riconvogliare le portate sfiorate nel fosso;

- protezione dall'erosione dell'alveo a valle dell'opera mediante la posa di materassi tipo Reno;
- 2 muri d'ala, in sinistra e in destra, per il raccordo del manufatto di regolazione alla diga in terra;
- un ponte di larghezza 4,0 m, costituito da travi in calcestruzzo prefabbricato e soletta in c.a., per il collegamento delle due parti della diga e consentire le necessarie operazioni di ispezione, controllo e manutenzione.

**3) un argine in terra** a protezione di edifici storici (casale Bonanni) ubicato su un ramo di sinistra dell'invaso, lungo la valle del fosso del Fornaccio nei pressi di Settecamini, un km circa a monte dello sbarramento principale, con le seguenti caratteristiche:

- 360 m di lunghezza;
- altezza fino ad un massimo di circa 8m rispetto al piano di campagna attuale;
- coronamento a quota 33,00 m s.m.m.;
- argine in terra omogenea;
- paramento di valle (verso l'invaso) con pendenza  $h/b=2/3$  protetto da materassi tipo Reno;
- paramento di monte (fuori vaso) con pendenza  $h/b = 2/3$  interrotto da una banca orizzontale.

Il sistema della vasca di laminazione in linea, costituito dalle parti di opere prima descritte, darà origine ad un vaso che, alla quota di sfioro di 28.5, avrà un volume di circa 2.5 milioni di metri cubi e, alla quota di massimo vaso di 30.18, avrà un volume di circa 4.5 milioni di metri cubi.

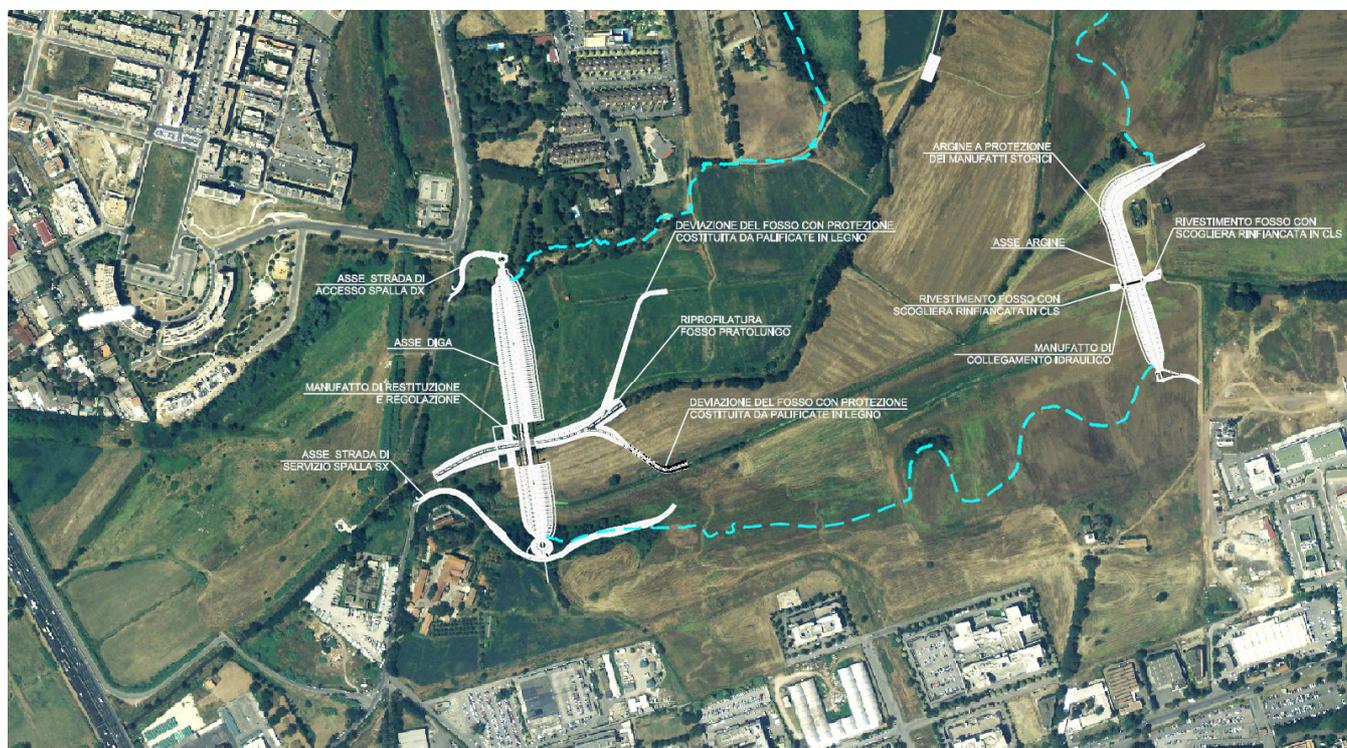
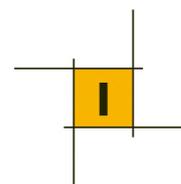


Fig. 1 – Foto aerea con indicazione degli interventi del progetto definitivo



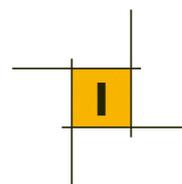
## **1.2 Le varianti migliorative offerte in sede di gara**

Per l'esecuzione dei lavori l'Amministrazione ha previsto un Appalto Integrato, con una procedura di affidamento basata sul criterio dell'"Offerta economicamente più vantaggiosa".

In sede di gara l'Impresa Costruzioni Stradali & Consolidamenti Srl, risultata poi affidataria dei lavori, ha proposto alcune varianti migliorative al progetto posto a base di gara.

Oltre alle integrazioni di studi e indagini (geognostiche, vegetazionali, statiche, idrauliche e topografiche) da sviluppare in sede esecutiva, sono state offerte le seguenti varianti migliorative ai lavori:

- *Migliorie alla sezione tipo della diga in terra.*
  - o Sostituzione dei materassi tipo Reno con la tipologia rinverdita con talee, per garantire un maggiore inserimento ambientale.
  - o Realizzazione di un taglione al piede della diga, costituito da un gabbione incassato nel terreno che si raccorda con il rivestimento in materassi.
  - o Posa in opera di stuoia in cocco sul paramento di valle, in modo da garantire il rapido attecchimento della vegetazione evitando possibili fenomeni erosivi anche nelle fasi iniziali.
  - o Rivestimento in pietrame della canaletta di raccolta dei drenaggi a valle dell'argine.
  - o Migliorie dei sottoservizi, tramite l'interposizione di controtubi in acciaio delle condotte che sottopassano i due argini, per evitare lesioni in caso di cedimenti, e la posa in opera di due cavidotti in guaina spiralata in materiale termoplastico lunga la strada di coronamento.
- *Migliorie alla sezione tipo dell'argine a protezione degli edifici storici.*
  - o Posa in opera di terreno vegetale e stuoia in cocco sul paramento di valle.
  - o Realizzazione di un'unghia drenante al piede di valle, per ridurre le sottopressioni idrauliche nei fenomeni di filtrazione.
  - o Posa in opera di due cavidotti analoghi a quelli dell'argine principale.
- Migliorie all'opera di restituzione: uso di cemento ad alta resistenza nelle parti esposti a correnti veloci; taglione e prolungamento della protezione d'alveo a valle con massi.
- Protezioni spondali dei tratti soggetti a deviazione dei due fossi secondari (da convogliare nel Pratolungo), da realizzare con palificate in legno e tecniche di Ingegneria Naturalistica.
- Sistemazione della briglia esistente sul fosso di Pratolungo a monte dello sbarramento, con realizzazione di una soglia di fondo in massi ciclopici e scogliere spondali.
- Ripristino dell'efficienza idraulica del reticolo secondario, in particolare dei due fossi affluenti nel fosso di Pratolungo, tramite taglio della vegetazione e pulizia degli alvei.
- Sistemazione della viabilità e delle aree di cantiere
- Smaltimento dei rifiuti presenti nell'area di cantiere
- Impianto di illuminazione delle strade di coronamento degli argini con lampioni fotovoltaici.
- Collegamenti con le piste esistenti per la creazione di un circuito ciclo-pedonale.
- Realizzazione di un tratto di marciapiede su via S. Alessandro.
- Realizzazione della strada in sinistra nella zona di immersione con cemento ecologico



### **1.3 Il progetto esecutivo**

A seguito della consegna dei lavori, è apparso doveroso riesaminare criticamente tutti i dati a disposizione e i vincoli al contorno esistenti in modo da produrre un progetto esecutivo approfondito in tutti i dettagli e cantierabile senza incertezze. Le suddette indagini sono state eseguite anche per verificare e mettere in atto le prescrizioni impartite dalla Direzione Generale delle Dighe e rese note all'impresa dopo l'affidamento dei lavori. A tale scopo sono state programmate e realizzate le seguenti attività:

- a) Controllo e integrazione dei rilievi topografici disponibili sia per la zona dello sbarramento principale, sia per la zona dell'argine secondario e delle aree di invaso.
- b) Indagine geotecnica integrativa con saggi, sondaggi, prove in sito e di laboratorio.
- c) Elaborazione di soluzioni progettuali di dettaglio per la risoluzione di problematiche emerse a seguito dell'acquisizione dei risultati dei rilievi e delle indagini geotecniche integrative.
- d) Integrazioni del progetto in ottemperanza alle prescrizioni della Direzione Generale delle Dighe.

A seguito dell'affidamento dei lavori, l'impresa ha dovuto affrontare numerosi problemi per ottenere l'accessibilità nelle aree di cantiere a causa del divieto espresso da alcuni proprietari. Questi problemi hanno limitato, in una prima fase, l'esecuzione dei rilievi e delle indagini alla sola zona dell'argine secondario. Solo nel settembre 2013 si sono rese disponibili anche le aree dello sbarramento principale e in questa fase sono state completate le indagini programmate.

Per non ritardare i tempi stabiliti dal contratto, anche in mancanza della completa accessibilità delle aree, è stato concordato con l'Amministrazione di procedere comunque con la progettazione esecutiva tenendo conto dei risultati delle indagini eseguite nel progetto definitivo per lo sbarramento principale e di quelle integrative per l'argine secondario. Questo primo progetto è stato consegnato nel Maggio 2013.

A seguito del completamento dei rilievi e delle indagini (Ottobre 2013), è stato possibile definire il progetto esecutivo nella sua interezza. Il progetto così definito è stato sottoposto all'approvazione della Direzione Generale delle Dighe (nel seguito anche "DGD", Ente competente per le approvazioni, essendo l'opera classificata come diga), dopo aver acquisito e ottemperato alle prescrizioni da essa impartite in sede di approvazione del progetto definitivo (documento con prot. 0000942-31/01/2011), non recepite nel progetto definitivo posto a base di gara e comunicate all'Impresa successivamente all'espletamento della gara. Sono inoltre state inserite le prescrizioni successive alla prima istruttoria sul progetto esecutivo consegnato alla DGD nel luglio 2013 (doc. prot. n. 0010776 del 07/08/2013) e alle indicazioni emerse durante le varie riunioni tecniche con i funzionari della DGD.

L'insieme dei dati di indagine acquisiti ha messo in evidenza una serie di criticità che ha imposto l'introduzione di alcune varianti migliorative e integrative al progetto, da inquadrare nell'ambito dei commi a), c) e d) dell'Art. 132 della Legge 163/2006.

Queste varianti sono infatti derivanti da: sopravvenute disposizioni (in questo caso prescrittive), dall'accertamento di condizioni geologiche-geotecniche diverse e non prevedibili sulla base delle indagini eseguite in sede di progetto definitivo e inoltre per cause conseguenti alle modifiche dello stato dei luoghi creati in seguito all'esecuzione dei lavori del precedente lotto, che hanno riguardato l'asta torrentizia del fosso di Pratolungo e che non erano stati ancora realizzati all'epoca della progettazione definitiva.

Il progetto così redatto comprende quindi tutte le modifiche suggerite o imposte dall'insieme dei dati acquisiti e ottemperano alle varie indicazioni e prescrizioni della DGD acquisite durante le attività istruttorie che si sono succedute dopo la consegna del progetto di maggio 2013.

Tale progetto è stato consegnato alla Regione Lazio nel Novembre 2013 e quindi trasmesso alla DGD.

A seguito della realizzazione del modello fisico della diga dal Politecnico di Milano, la Direzione Generale per le Dighe (con prot. U. 0013441 del 03-07-2014) ha appurato *"il generale adempimento alle prescrizioni in precedenza impartite"* e ha approvato il progetto esecutivo *"a condizione che nel prosieguo si dia riscontro"* ad una serie di raccomandazioni (descritte nel dettaglio nel Cap. 7).

#### **1.4 Le prescrizioni della Commissione del pre-Comitato Tecnico Regionale**

Con nota del 3/11/2014 (prot. 006178), il Consorzio di Bonifica Tevere e Agro Romano (nelle funzioni di Responsabile Unico del Procedimento) ha invitato l'Impresa ad adeguare il progetto esecutivo come specificato nella approvazione citata della DGD (prot. U. 0013441 del 03-07-2014).

Il progetto è stato quindi variato apportando le modifiche concesse dal contratto che regola i rapporti tra Ente Appaltante e Impresa esecutrice ed è stato trasmesso alla Commissione del pre-Comitato Tecnico Regionale della Regione Lazio (nel seguito Pre-Comitato).

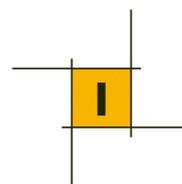
A partire dal Marzo 2015, si sono succeduti vari tavoli tecnici con il Pre-Comitato, dai quali sono emerse varie indicazioni e prescrizioni. Oltre ad alcune modifiche secondarie, alcune di queste prescrizioni hanno di fatto modificato l'impostazione del progetto a base di gara (descritto nel par .1.1); in particolare è stato prescritto di:

- eliminare l'argine in terra a protezione degli edifici storici;
- modificare l'andamento di due collettori fognari in modo da non interferire con il corpo diga.

Tali prescrizioni di fatto hanno imposto la totale revisione del progetto stesso.

Una sintesi delle prescrizioni del Pre-Comitato e della relativa ottemperanza è riportata nel cap. 8 ed inoltre nella relazione di ottemperanza (in questa relazione sono allegati anche tutti i verbali della Commissione oltre alle prescrizioni della Direzione Dighe).

Il progetto cui fa riferimento questa Relazione tiene conto quindi di tutte le prescrizioni impartite. Le opere stralciate o modificate (argine a protezione edifici storici e fogne) appartenenti alla prima versione del progetto non verranno quindi più citate (eccetto che nei capitoli sulle prescrizioni).



## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- DECRETO 24 marzo 1982: Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento
- CONS. SUP. LL. PP. Proposta di Aggiornamento delle Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse). Aggiornamento 18 dicembre 2009

Successivamente trasformata in

- DECRETO 26 giugno 2014 . Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).
- D.M. 11 marzo 1988. “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. LL.PP. 24 settembre n. 30483. “Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazioneEurocodice 7. Progettazione geotecnica.
- Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni delle strutture.
- Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo.
- UNI EN 1993-1-1:2005. “Eurocode 3 - Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings”.
- UNI EN 1993-2:2007. “Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 2: Steel Bridges”.
- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. 2004.
- Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. 2004.
- Nuova Normativa Sismica Italiana. Ordinanza n. 3274 del 08/05/2003 e s.m.i.
- Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008.
- Circolare Ministeriale 02/02/2009 n.617 “Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche”.
- Ordinanza n. 3274 del PdCM del 08/05/2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Ordinanza n. 3519 del PdCM del 28 aprile 2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.
- Delibera della Giunta regionale del Lazio n. 387 del 22.05.2009 Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28 Aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03.
- Deliberazione 17 ottobre 2012, n. 489 Modifica dell'Allegato 2 della DGR Lazio n. 387 del 22 maggio 2009.

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI

#### **Calcestruzzo – C16/20: Magroni e opere di livellamento**

classe di resistenza	C16/20 (Rck ≥ 20 MPa)
classe di consistenza	S4
classe di esposizione	XF4
rapporto A/C	≤0.50

#### **Calcestruzzo – C25/30: Opere in elevazione**

classe di resistenza	C25/30 (Rck ≥ 30 MPa)
classe di consistenza	S4
classe di esposizione	XF3
rapporto A/C	≤0.50

#### **Acciaio armatura ordinaria**

Barre ad aderenza migliorata tipo B450 C (controllato in stabilimento)

#### **Panconi e paratoie in acciaio**

Acciaio corten

#### **Calcestruzzo plastico per diaframmi**

Composizione iniziale della miscela bentonite-cemento-acqua, riferita ad 1 m<sup>3</sup> di miscela:

bentonite: 40÷50 kg;

cemento: 150÷220 kg;

acqua: 920÷930 kg.

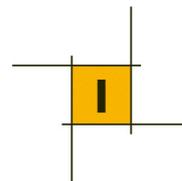
Resistenza a 28 gg:  $0,05 \text{ N/mm}^2 < R_{ck} < 0,5 \text{ N/mm}^2$ ;

Coefficiente di permeabilità a 28 giorni:  $K < 10^{-8} \text{ m/s}$ .

#### **Calcestruzzo per diaframmi strutturali in pali secanti**

classe di resistenza	C25/30 (Rck ≥ 30 MPa)
classe di consistenza	S5
classe di esposizione	XC2
rapporto A/C	≤0.6
Inerti	pietrisco (5/15); sabbia grossa (0/7); sabbia (0/4)

Per il dettaglio delle caratteristiche prestazionali e descrittive dei materiali prescelti si rimanda al Capitolato speciale d'appalto.



## 4 RISULTATI DEGLI STUDI TECNICI SPECIALISTICI

### 4.1 Indagini geognostiche e geotecniche

La campagna di indagini geognostiche e geotecniche, eseguita nell'ottobre 2009, relativa al **progetto definitivo**, è consistita nelle seguenti attività:

- 6 sondaggi a carotaggio continuo;
- 7 prove dilatometriche Marchetti delle quali 3 con dilatometro sismico per la misura della velocità delle onde di taglio e con 14 prove di dissipazione.
- 13 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 13 prove Lefranc di permeabilità a carico costante e variabile;
- installazione di 3 piezometri Casagrande in altrettanti sondaggi;
- 1 prova geosismico down-hole in foro di sondaggio;
- 5 stendimenti geoelettrici;
- prelievo di 17 campioni per le prove di laboratorio geotecnico, dei quali 12 indisturbati e 5 rimaneggiati, sui quali sono state effettuate le seguenti prove.
  - 17 analisi granulometriche;
  - 12 determinazioni del peso di volume naturale;
  - 12 determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
  - 11 determinazioni dei limiti di Atterberg;
  - 11 prove di taglio diretto;
  - 3 prove triassiali non consolidate non drenate (UU);
  - 10 prove di compressione edometrica.

Le suddette indagini hanno riguardato esclusivamente la zona dello sbarramento principale con il relativo manufatto in calcestruzzo di regolazione.

In fase di **progetto esecutivo** è stata eseguita una integrazione d'indagine che ha riguardato la zona del rilevato arginale a protezione degli edifici storici (opera poi stralciata), non precedentemente indagata, la zona dell'invaso e, infine, lo sbarramento principale a completamento della precedente indagine.

Complessivamente sono quindi state eseguite le seguenti indagini.

#### Argine a protezione degli edifici storici (opera stralciata)

- 2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 15 m (S1 e S2);
- installazione di due piezometri a tubo aperto;
- 5 pozzetti geognostici;
- 10 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 6 prove Lefranc di permeabilità;
- prelievo di 11 campioni per le prove di laboratorio geotecnico, dei quali 6 indisturbati e 5 rimaneggiati (da pozzetti), sui quali sono state effettuate le seguenti prove.

- 11 analisi granulometriche;
- 6 determinazioni del peso di volume naturale;
- 6 determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
- 11 determinazioni dei limiti di Atterberg;
- 2 prove di taglio diretto;
- 2 prove triassiali non consolidate non drenate (UU);
- 2 prove triassiali consolidate non drenate con misura delle pressioni neutre (CIU);
- 3 prove di compressione edometrica.

#### Zona dell'invaso

- 2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 12 m (S3 e S4);
- installazione di due piezometri a tubo aperto;
- 6 prove Lefranc di permeabilità.

#### Sbarramento principale

- 2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 30 e 38.5 m;
- installazione di due piezometri a tubo aperto;
- 9 pozzetti geognostici;
- 16 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 10 prove Lefranc di permeabilità;
- prelievo di 28 campioni per le prove di laboratorio geotecnico, dei quali 8 indisturbati e 20 rimaneggiati (da pozzetti), sui quali sono state programmate le seguenti prove.
  - 23 analisi granulometriche;
  - 3 determinazioni del peso di volume naturale;
  - 3 determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
  - 23 determinazioni dei limiti di Atterberg;
  - 1 prova di taglio diretto;
  - 1 prova triassiale non consolidata non drenata (UU);

## **4.2 Geologia e Idrogeologia**

Dal punto di vista **geologico** il sito di progetto ricade nell'area di fondovalle del Fosso di Pratolungo, nell'ambito del dominio vulcanico dei Colli Albani.

Nella zona di interesse la valle di Pratolungo presenta i tipici caratteri morfologici del territorio della periferia orientale romana: un'area di fondovalle piatta, delimitata da sponde molto acclivi, fino a sub-verticali, incise nelle pozzolane e nei tufi. Il corso d'acqua scorre in un alveo ben definito incassato un paio di metri nella piana. Nella zona della **diga** l'area di fondovalle ha una larghezza dell'ordine di 400 m e si sviluppa a quota di 22-24 m s.l.m. circa. Le due sponde hanno pendenze da mediamente a molto acclivi e culminano con un ampio pianoro a quota 40 circa su entrambe le sponde.

Quasi l'intera area del futuro invaso è formata dai depositi vulcanici, con prevalenza della formazione delle Pozzolane rosse, appartenente alla II Colata Piroclastica del Tuscolano/Artemisio Auct. La formazione delle

pozzolane rosse costituisce gran parte dei rilievi collinari, in destra e in sinistra idrografica, ed è coperta da lembi di Tufo lionato e del Tufo di Villa Senni (II e III Colata Piroclastica del T.A.).

La serie vulcanica è sovrapposta ad una formazione di transizione di ambiente fluvio-palustre, costituita da limi di colore avana-ocra con inclusioni di travertino; sulla sponda sinistra i sondaggi hanno attraversato uno strato dello spessore di alcuni metri di ghiaie sabbiose, stratigraficamente attribuibili alla stesa formazione fluvio-palustre, ma granulometricamente differenti dal resto della formazione, prevalentemente limosa. I terreni fluvio-palustri ricoprono la serie argillosa marina pleistocenica che costituisce il substrato geologico della zona. I terreni sedimentari sottostanti la serie vulcanica non sono affioranti sulle sponde (perché a quote inferiori a quelle del piede delle sponde stesse), mentre nell'area di fondovalle sono coperti dai terreni alluvionali di recente messa in posto, a granulometria prevalentemente limo-argillosa.

Nei tufi e nelle pozzolane in sponda destra sono presenti alcune cavità scavate in passato verosimilmente per la coltivazione di materiali da costruzione.

Sono state rilevate tre cavità artificiali, a differenti quote. Una cavità a quote più basse, q. 24 (4.5 metri circa al di sotto della quota di regolazione, q. 28.5), e due cavità quote più elevate, tra quota 29.9 e 30.0, che potranno quindi essere appena lambite durante il massimo invaso (q.30.18). Le tre cavità hanno un sistema di cunicoli e di condotti in collegamento tra di loro e con la superficie, ma non sfociano a valle.

L'**idrogeologia** dell'area è caratterizzata dalla presenza di una falda idrica corrispondente al livello del corso d'acqua del Fosso Pratolungo e dei suoi tributari. La falda trae alimentazione dall'infiltrazione nei terreni vulcanici, mediamente o molto permeabili, che costituiscono le sponde della valle. La falda emerge in alcuni punti localizzati al piede dei versanti e inoltre alimenta la falda di sub-alveo del corso d'acqua.

### 4.3 Sismica

Il sito di progetto è classificato in Zona 3 ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del C.d.M. n.3274 del 20/03/2003 e successive integrazioni (Ordinanza n.3519 del 11/05/2006).

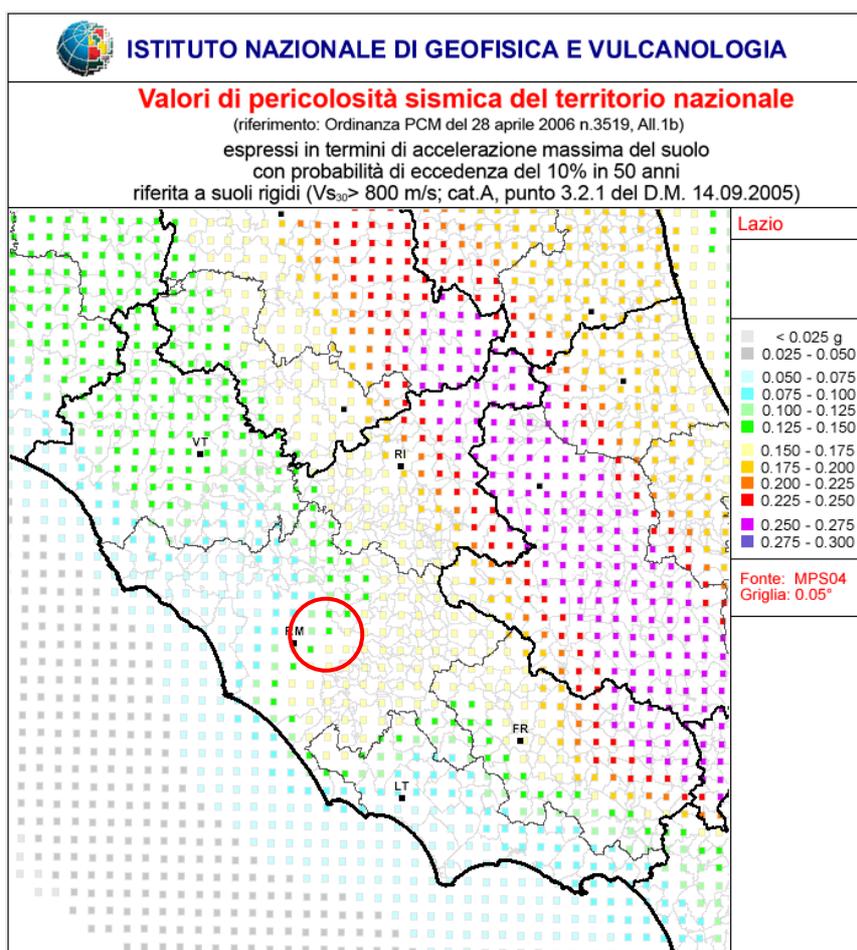


Fig. 2 - Mappa della sismicità per la Regione Lazio (INGV)

Con il DGR n. 387 del 22.05.2009) la Regione Lazio ha istituito la Nuova Classificazione Sismica regionale inserendo le sottozone 2A-2B e 3A-3B. Il Comune di Roma è stato suddiviso in 21 Municipi (chiamati appositamente per questa classifica UAS: Unità Amministrative Sismiche) a ognuno dei quali spetta una sottoclasse (3A e 2B in particolare).

Il sito di progetto, che ricade nel Municipio (UAS) V, è classificato in zona 2B.

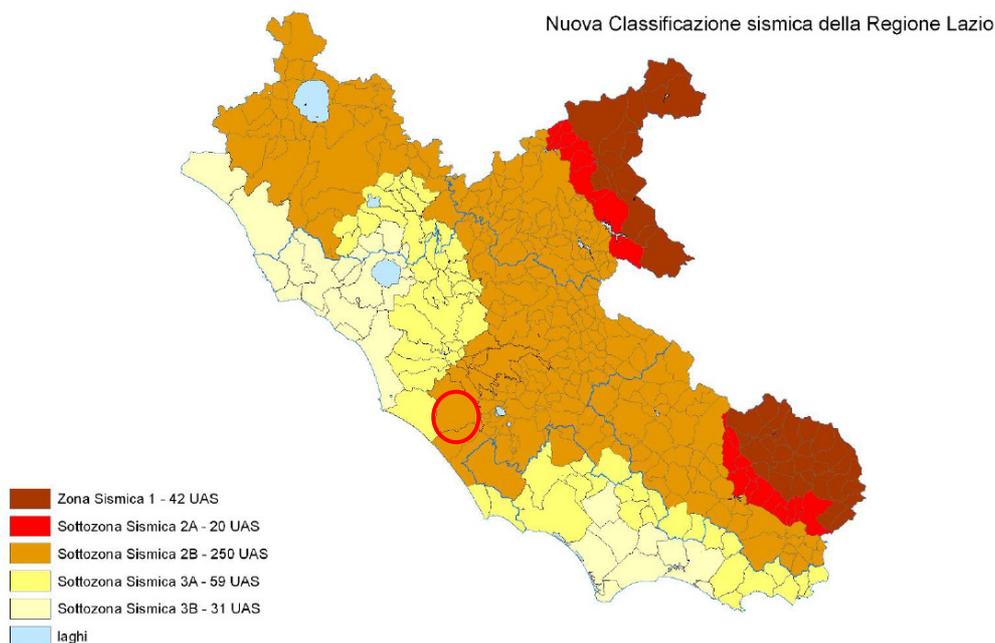


Fig. 3 – Nuova classificazione sismica della Regione Lazio (DGR 387/2009)

Nel sito in esame sono state eseguite varie prove per la misura della velocità delle onde di taglio  $V_{S30}$ , in particolare una prova downhole e tre prove dilatometriche sismiche.

La prova down-hole eseguita nella zona di fondovalle (S3) ha evidenziato valori delle velocità delle onde di taglio progressivamente maggiori procedendo in profondità.

I valori delle  $V_s$  si mantengono intorno a 200 m/s fino a 23 m dal p.c. e arrivano a circa 350 m/s a profondità maggiori. La  $V_{S30}$  (velocità media pesata nei primi 30 m) è pari a 227 m/s (Classe C ai sensi del DM 14/1/2008).

Dalle tre prove dilatometriche sismiche si sono ottenuti profili di velocità delle onde di taglio del tutto analoghi e quello della prova downhole. Anche nelle tre prove dilatometriche sismiche si individua un primo strato, fino a circa 20m di profondità, caratterizzato da velocità intorno a 200 m/s, e uno strato profondo con velocità 300-350 m/s. Anche in queste prove la  $V_{S30}$  è circa 230 m/s.

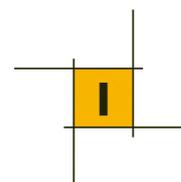
Dall'insieme delle misure eseguite nel sito si ricava, senza motivi di incertezza, che il sito di progetto è classificabile nella **categoria C** ai sensi del DM 14/1/2008. Alla stessa classificazione si giungerebbe anche utilizzando i valori di  $N_{SPT}$  e di coesione non drenata, come tabellato nelle norme.

La superficie di fondovalle è pianeggiante e le sponde hanno inclinazioni medie inferiori a 15°, quindi non si attendono effetti amplificativi per fattori topografici.

Le prescrizioni impartite dal Pre-Comitato hanno indicato la necessità di realizzare uno specifico studio di Risposta Sismica Locale. I risultati di tale studio sono riportati nello specifico documento allegato al progetto.

Le analisi condotte hanno dimostrato che lo spettro di risposta ricavato con lo studio di RSL è di fatto molto simile a quello di normativa per un suolo di categoria C.

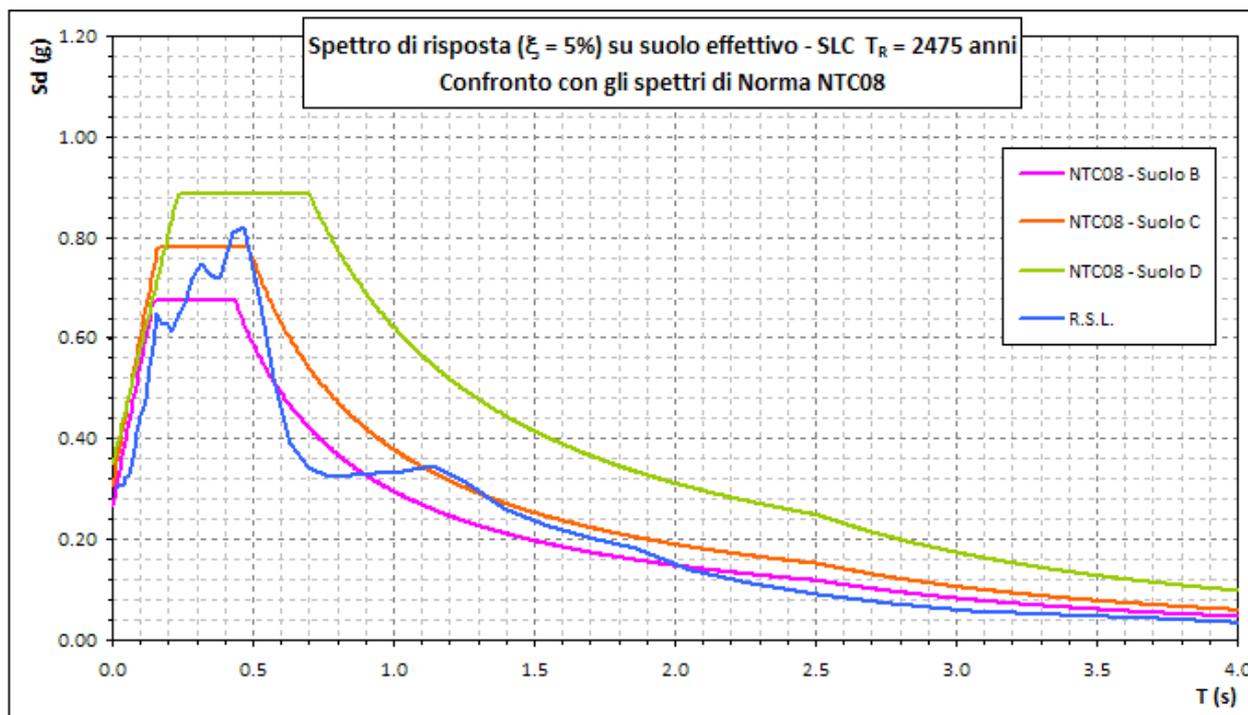
Nel grafico seguente si riporta (per lo stato limite di collasso, SLC, che maggiormente interessa l'opera) il confronto tra lo spettro di risposta calcolato con lo studio di RSL confrontato con quelli di normativa



rispettivamente per suoli di categoria B, C e D. Da questo grafico si evince che lo spettro del suolo C (adottato in progetto) involuppa quasi sempre quello di RSL (a parte un picco che ricade su periodi di non interesse per l'opera in esame).

Per quanto riguarda le accelerazioni a periodo nullo ( $T=0$ ), che sono quelle che interessano per il dimensionamento delle opere, risultano (per SLC)  $SI_{(T=0)} = 0.303$  g (invece di 0.308 g calcolato con lo spettro di normativa con suolo tipo C), quindi solo leggermente inferiore (con una differenza inferiore al 2%).

Si può quindi concludere che l'approccio di normativa, con spettro di risposta relativo al suolo tipo C, può ancora ritenersi valido.



#### 4.4 Geotecnica

La situazione di sottosuolo della zona dello sbarramento è stata ricostruita sulla base dei sondaggi eseguiti.

Il modello geotecnico di progetto si basa su 4 unità (alcune di queste suddivise in sub-unità):

Tabella 1 – Modello geotecnico adottate nel progetto esecutivo

Unità		Nome Unità	Descrizione litologica e suddivisione in sub-unità	Sigla precedente classificaz.
A	A1	Depositi alluvionali	Materiale prevalentemente piroclastico rimaneggiato	1 e 2
	A2		Limi argillosi con rari livelli sabbiosi	2 e 3b
B	B1	Unità piroclastica	Tufi e pozzolane	4a
	B2		Cineriti (piroclastiti a grana limo-argillosa)	4b
C	C1	Formazione fluvio-palustre	Sabbie e ghiaie	5
	C2		Limi argillosi e sabbiosi di colore ocra	2
D		Formazione argillosa pleistocenica	Limi argilloso-sabbiosi e argille limose con livelli sabbiosi	3

Come più ampiamente illustrato nelle relazioni geologiche e geotecniche, i risultati delle le indagini integrative e la conseguente re-interpretazione di quelli della precedente fase di indagine, hanno portato ad una revisione del modello geologico, che peraltro porta a risolvere alcune incongruenze insite nel modello geologico del progetto definitivo. Di conseguenza è variato anche il modello geotecnico, senza peraltro stravolgere la parametrizzazione geotecnica dei singoli terreni.

Per comparazione si riporta nella tabella precedente la corrispondenza tra la classificazione delle unità adottate nel progetto definitivo e in quello esecutivo.

Questa suddivisione risponde in maniera più coerente alla situazione geomorfologica e alla storia geologica del sito poiché prevede:

- una copertura alluvionale (A) di recente messa in posto che ha parzialmente colmato l'incisione valliva del fosso di Pratolungo;
- una successione stratigrafica che, in accordo con la storia geologica dell'area romana, costituisce il substrato della zona; essa è formata dalle seguenti formazioni (dalle più recenti alle più antiche):
  - formazioni vulcaniche (B), affioranti sulle due sponde della valle;
  - terreni pre-vulcanici di ambiente fluvio-palustre (non affioranti nella zona, ma presenti nel sottosuolo delle due sponde al di sotto delle vulcaniti e in parte sotto le alluvioni);
  - terreni limo-argillosi del substrato marino pleistocenico D) presenti nel sottosuolo, al di sotto dei terreni fluvio-palustri sulle sponde e al di sotto delle alluvioni nel fondovalle.

I parametri caratteristici e quelli fattorizzati adottati in progetto sono i seguenti

Tabella 2 – Caratteristiche geotecniche dei terreni adottate nel progetto esecutivo

Unità		Descrizione	Parametri caratteristici					Parametri fattorizzati	
			$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi$ (°)	Kh (m/s)	Kv (m/s)	$c'$ (kPa)	$\phi$ (°)
A	A1	Alluvioni superficiali con piroclastiti	18	5	24	5E-05	1E-06	4	19.61
	A2	Alluvioni limo-argillose	18	10	24	5E-06	5E-07	8	19.61
B	B1	Tufi e pozzolane	18	15	28	5E-04	5E-05	12	23.04
	B2	Cineriti e piroclastiti argillificate	18	20	25	1E-04	1E-05	16	20.46
C	C1	Sabbie e ghiaie	18	0	33	1E-03	1E-04	0	27.45
	C2	Limi argillosi e sabbiosi ocra	18	10	24	1E-06	1E-07	8	19.61
D		Formazione argillosa pleistocenica	19	20	27	1E-08	1E-09	16	22.18
E		Nucleo impermeabile	19	10	23	1E-08	1E-08	8	18.76
F		Unghia drenante	16	0	45	1E-03	1E-03	0	38.66
G		Diga in terra (contronucleo)	19	5	35	1E-06	1E-06	4	29.26
I		Sabbia - Materasso	18	0	35	1E-03	1E-03	0	29.56

I terreni su cui insisteranno le opere risultano di natura prevalentemente coesiva. Le caratteristiche di permeabilità di tali terreni fanno classificare il sottosuolo come poco permeabile, ad eccezione dello strato ghiaioso in sponda sinistra e delle formazioni vulcaniche, caratterizzate da permeabilità da medie ad elevate.

#### 4.5 Idrologia e idraulica

Il bacino idrografico del Fosso di Pratolungo, sotteso alla sezione di sbarramento di progetto, presenta le seguenti caratteristiche topografiche e morfometriche:

lunghezza dell'asta del fosso	$L = 15,171 \text{ km}$
superficie del bacino idrografico apparente	$S = 67,47 \text{ km}^2$
quota massima	$H_{\max} = 416,00 \text{ m s.m.m.}$
quota minima	$H_{\min} = 23,00 \text{ m s.m.m.}$
indice di compattezza (Gravelius)	$K_G = 1,5004$
lato maggiore del rettangolo equivalente	$L_G = 18,4306 \text{ km}$
lato minore del rettangolo equivalente	$l_G = 3,8201 \text{ km}$
densità della rete di drenaggio	$D = 1,275 \text{ km/km}^2$
pendenza media	$i_G = 0,9 \%$
altitudine media del bacino idrografico	$H = 219,50 \text{ m s.m.m.}$
dislivello medio del bacino idrografico rispetto alla quota minima	$H' = 196,50 \text{ m}$

Dal punto di vista della permeabilità del bacino, la media pesata delle classi di permeabilità ricavata dagli studi conduce ad un valore della parte permeabile del 40%, il che fa ascrivere il bacino idrografico in esame fra quelli da mediamente a poco permeabili.

Gli studi idrologici e idraulici condotti in sede di progetto definitivo, e poi verificati in sede esecutiva, hanno permesso di calcolare le onde di piena relative al bacino idrografico del fosso di Pratolungo in corrispondenza

della sezione di progetto. I picchi di portata  $Q_c$ , suddivisi per tempo di ritorno  $T_r$  e a seconda del tempo di corrivazione  $t_c$  assunto per la stima delle stesse portate, sono riassunti nella seguente tabella:

		$T_r = 100$ anni	$T_r = 200$ anni	$T_r = 500$ anni	$T_r = 1000$ anni
$t_c = 4$ ore	$Q_c =$	155 m <sup>3</sup> /s	180 m <sup>3</sup> /s	225 m <sup>3</sup> /s	255 m <sup>3</sup> /s
$t_c = 5$ ore	$Q_c =$	135 m <sup>3</sup> /s	160 m <sup>3</sup> /s	195 m <sup>3</sup> /s	225 m <sup>3</sup> /s

Sono quindi state effettuate una serie di simulazioni per valutare gli effetti di regolazione e laminazione operate dalla vasca di accumulo in progetto ed è emerso che, alla luce delle attuali condizioni di deflusso garantite a valle della stessa opera, la vasca è in grado di assicurare un livello di servizio e protezione per portate con  $T_r$  pari a 100 anni.

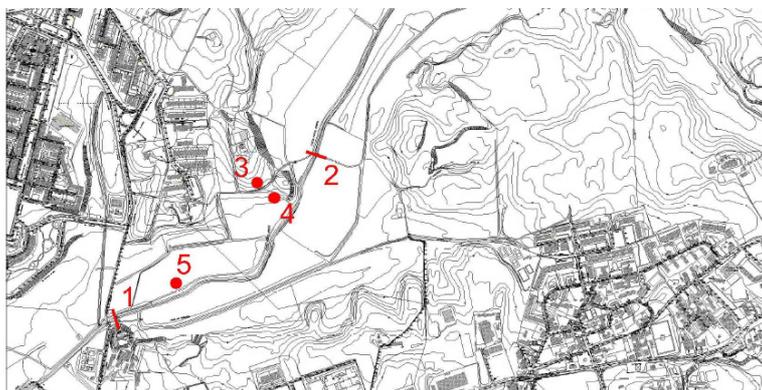
All'aumentare del tempo di ritorno, le portate massime rilasciate a valle tendono a crescere, sebbene notevolmente ridotte rispetto ai picchi originari, tanto da far intravedere un possibile innalzamento del livello di servizio dell'opera nel caso in cui si voglia in futuro nuovamente intervenire sul tratto finale del fosso per incrementarne ulteriormente la capacità idrica.

#### **4.6 Interesse archeologico**

Gli studi archeologici condotti in sede di progetto definitivo non hanno rivelato una particolare stratigrafia archeologica, se non una generica presenza di materiale fittile nei primi 2 m, in particolare nei sondaggi più centrali dell'allineamento dell'argine in progetto. L'unica presenza a carattere notevolmente diffuso, con frammenti di piccole dimensioni, misti a qualche spezzone di tufo (indicato col n° 5 in nella figura seguente), è stata rilevata nella parte più orientale del bacino, presso la sponda settentrionale del fosso all'altezza del casale di Pratolungo.

A ca. 600 m ad est del casale di Pratolungo, sul ciglio meridionale del pianoro lambito dalla carrareccia diretta al fosso, sono stati individuati diversi basoli (n° 3) che non trovano riscontro nelle cartografia archeologica nota della zona, sia come presenza antica che in riferimento ad un eventuale percorso stradale. Al di sotto del ciglio naturale del pianoro, ai piedi di un piccolo rilievo lasciato a macchia, sono visibili sul banco di tufo numerosi segni di aratura (n° 4) probabilmente di epoca recente.

Il fosso di Pratolungo appare attraversato nella valle da due ponti ad un'unica arcata: il primo (n° 1), segnalato anche nella Carta dell'Agro (n° 179) conserva nella parte bassa delle spallette l'originaria muratura in opera laterizia che sembra attribuibile ad epoca romana, ripresa successivamente, forse in epoca medievale, con una muratura in tufelli irregolari.



- 1 - ponte
- 2 - ponte
- 3 - basoli sparsi
- 4 - tracce di arature di epoca moderna?
- 5 - area di frammenti fittili diffusi

Fig. 4 – Carta delle presenza archeologiche derivata dal progetto definitivo

L'arcata in mattoni in parte frammentari, è stata sicuramente rimaneggiata in più epoche.

L'altro ponte (n° 2) si trova a ca. 1,6 km in linea d'aria più ad est, e conserva nella parte inferiore una muratura in blocchi di travertino ai quali si è addossata l'arcata in mattoni in parte frammentari di epoca più recente. Sul lato orientale le spallette della struttura sono state rinforzate con una muratura in blocchi sagomati in peperino che farebbe propendere per un intervento di epoca recente. Sul fondo del fossato sotto il ponte, si intravede una muratura in opera cementizia foderata da blocchi di travertino che presentano almeno una coppia di incassi quadrangolari; a questi resti si è sovrapposta una struttura parallelepipedica con forma di cuneo dal lato orientale che potrebbe essere interpretata come una sorta di chiusa per regolare il flusso dell'acqua. La struttura originale del ponte sembra potersi attribuire ad epoca romana con rifacimenti di epoca successiva.

Negli studi del progetto definitivo non si segnala nulla di particolare interesse archeologico relativo alle cavità presenti al piede della rupe della Torre di Pratulungo, nei pressi della spalla destra della diga.

## 5 IL PROGETTO ESECUTIVO

### 5.1 La diga in terra

#### 5.1.1 Geometria

La **diga in terra** ha una lunghezza di 400 m con quota di coronamento a 33,00 m s.l.m (strada di servizio a 32.85 con arginello laterale di altezza 15cm).

Il paramento di monte ha una pendenza  $h/b=1/2$  ed è protetto da materassi Reno, modificati in fase di gara con la tipologia rinverditata.

Il **nucleo di tenuta** è stato mantenuto decentrato e ruotato a ridosso del paramento di monte, come nella soluzione del progetto definitivo. Sopra il nucleo decentrato verrà posato un manto impermeabile in HDPE, protetto da uno strato di sabbia interposto tra il manto stesso e i materassi.

Una piccola modifica è stata introdotta alla parte sommitale del **coronamento**, dove verrà realizzata la strada di servizio. Si è cercato di evitare di appoggiare il sottofondo della strada su un terreno disomogeneo (cioè in parte su terreni a grana fine e in parte su terreni grossolani del contronucleo), con il rischio di fessurazione per il diverso comportamento degli stessi. È stato quindi introdotto uno strato dello spessore 50cm da realizzare con materiale limo-argilloso stabilizzato a calce, in modo da garantire sia la tenuta idraulica sia la sufficiente rigidità per il sottofondo stradale. Lungo la strada di servizio saranno posati due cavidotti per il cablaggio della strumentazione e il passaggio di cavi elettrici ed eventuali futuri sottoservizi (miglioria introdotta in sede di gara).

Per garantire la tenuta dell'invaso ed evitare fenomeni di filtrazione sotto l'argine, è stata confermata la soluzione del progetto definitivo con **diaframma plastico**, adottando una modifica tecnologica descritta nei paragrafi successivi. In ottemperanza alla prescrizione del Direzione generale delle Dighe del Ministero delle Infrastrutture, il setto impermeabile è stato esteso sulla sponda sinistra per garantire la tenuta idraulica attraverso lo strato ghiaioso, molto permeabile, individuato con i sondaggi.

Il **paramento di valle** ha una pendenza  $h/b = 2/3$ , con una banca orizzontale a quota 28, ed è ricoperto da uno strato di terreno vegetale. A seguito delle verifiche di stabilità condotte e delle prescrizioni della DGD, la larghezza di questa banca è stata aumentata da 2 a 3m, per garantire i coefficienti di sicurezza richiesti dalla nuova normativa sulle dighe.

È stata inoltre confermata l'**unghia di pietrame** per il drenaggio dell'acqua all'interno del rilevato ed allontanamento controllato delle acque di infiltrazione e zenitali; l'unghia filtrante è collegata ad un fosso di guardia al piede che, rispetto al progetto definitivo, è stato migliorato (in sede di gara) con un rivestimento in pietrame. Inoltre, in fase di progetto esecutivo, è stato aggiunto un tubo filtrante al piede di valle dell'unghia drenante per migliorare la raccolta e l'evacuazione delle acque.

Inoltre sono stati inseriti dei pozzetti per la raccolta e la misura delle acque di drenaggio prevedendo un tubo collettore per la raccolta e lo scarico delle acque stesse nel fosso a valle del manufatto.

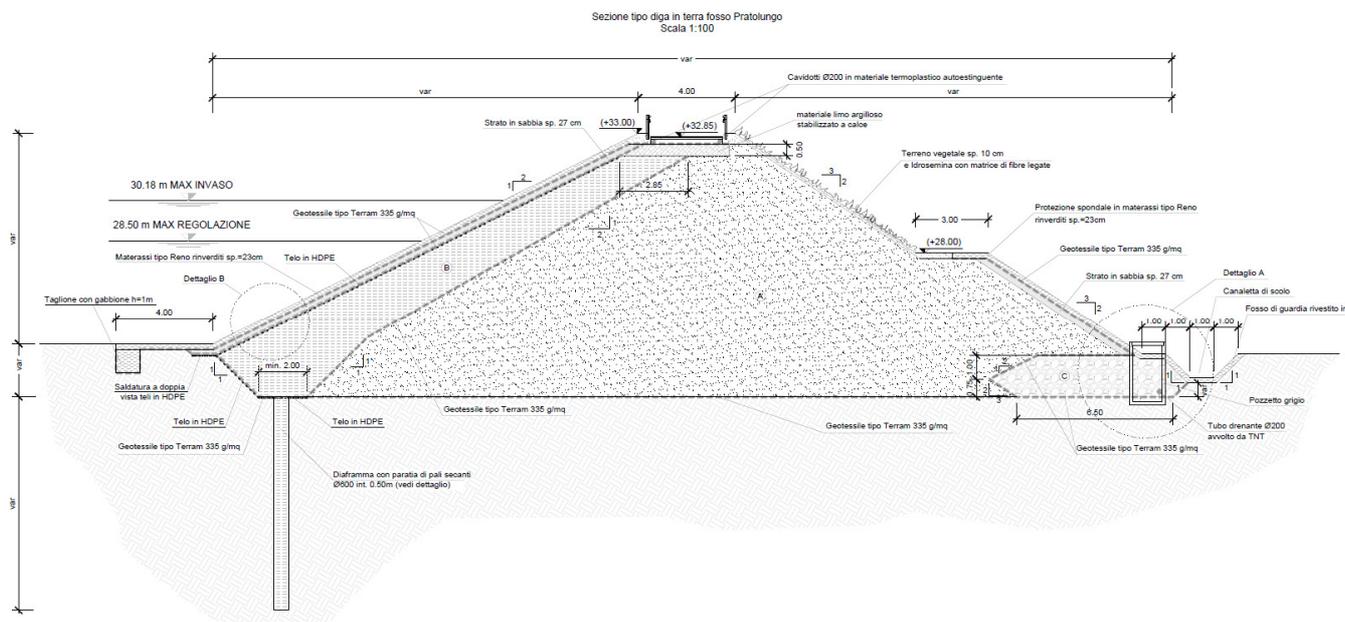


Fig. 5 – Sezione tipo della diga in terra

### 5.1.2 Caratteristiche dei materiali

Il Capitolato prevede di impiegare, per la parte di argine definita tipo “A” (**contronucleo**), i terreni appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3, ai quali devono corrispondere (secondo le previsioni progettuali) un coefficiente di permeabilità  $K = 1 \text{ E-}06 \text{ m/s}$  e una resistenza di tipo prevalentemente attrittivo, ma anche con una piccola componente coesiva ( $c' = 5 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 35^\circ$ ).

Il progetto definitivo prevede di realizzare questa parte di argine con materiali di cava miscelati con le terre di scavo provenienti dal sito in proporzione 50-50. Le indagini integrative eseguite in asse allo sbarramento hanno determinato con sufficiente dettaglio le effettive caratteristiche dei terreni interessati dagli scavi di fondazione della diga. Rimandando alla relazione sulle terre per i dettagli su questi argomenti, si evidenzia che le indagini eseguite in sede di progetto esecutivo hanno accertato che le caratteristiche dei terreni interessati dagli scavi sono diversi da quelli che ci si poteva attendere dai dati disponibili e dalle previsioni del progetto definitivo. A seguito di questi accertamenti risulta di fatto impossibile una miscelazione che permetta di ottenere un materiale rientrante nelle classi indicate dal capitolato.

Si è resa quindi necessaria una variante al progetto con la conseguente necessità di un approvvigionamento integrale di materiale da cava per il materiale della diga in terra tipo A.

Si riportano nella fig. 6 i fusi granulometrici per le varie parti di una diga in terra zonata, estratta dal “*Manual on small earth dams - A guide to siting, design and construction*” della FAO. Tale indicazione è stata seguita, insieme ad altre, per la definizione delle caratteristiche delle terre da costruzione.

Si è fatto riferimento inoltre alla tabella NAVFAC DM7-2 sulla “desiderabilità” dei materiali per le varie parti costituenti il corpo delle dighe in terra (a seconda dei tipi di diga).

Per le considerazioni svolte nella Relazione sulle terre, alla quale si rimanda per dettagli, si è data preferenza ai terreni delle classi A2-4 e A2-5, che corrispondono in parte alle classi SW e SP della tipologia ghiaiosa.

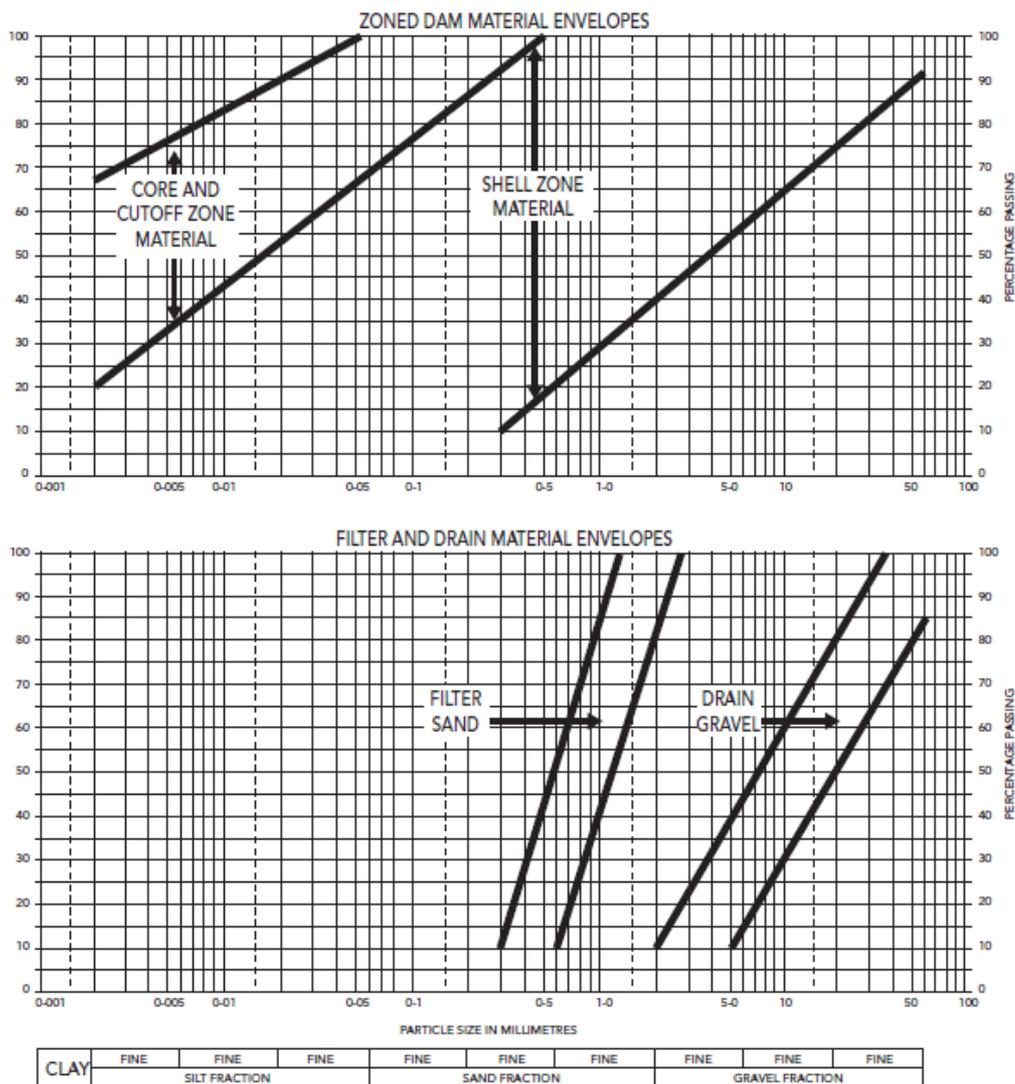


Fig. 6 – Fusi granulometrici per dighe (*Manual on small earth dams. A guide to siting, design and construction*, FAO)

Tabella 3 –Tabella NAVFAC DM-7.2

		(NAVFAC DM-7.2, MAY 1982)	Relative Desirability for Various Uses (1=best; 14=least desirable)									
Group Symbol	Soil Type	* if gravelly ** erosion critical *** volume change critical -- not appropriate for this type of use	Rolled Earth Fill Dams			Canal Sections		Foundations		Roadways		
			Homogeneous Embankment	Core	Shell	Erosion Resistance	Compacted Earth Lining	Seepage Important	Seepage Not Important	Fills		Surfacing
										Frost Heave Not Possible	Frost Heave Possible	
GRAVELS	GW	Well-graded gravels, gravel/sand mixtures, little or no fines	--	--	1	1	--	--	1	1	1	3
	GP	Poorly-graded gravels, gravel/sand mixtures, little or no fines	--	--	2	2	--	--	3	3	3	--
	GM	Silty gravels, poorly-graded gravel/sand/silt mixtures	2	4	--	4	4	1	4	4	9	5
	GC	Clay-like gravels, poorly graded gravel/sand/clay mixtures	1	1	--	3	1	2	6	5	5	1
SANDS	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	--	--	3*	6	--	--	2	2	2	4
	SP	Poorly-graded sands, gravelly sands, little or no fines	--	--	4*	7*	--	--	5	6	4	--
	SM	Silty sands, poorly-graded sand/silt mixtures	4	5	--	8*	5**	3	7	6	10	6
	SC	Clay-like sands, poorly-graded sand/clay mixtures	3	2	--	5	2	4	8	7	6	2
LEAN CLAYS & SILTS	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clay-like fine sands with slight plasticity	6	6	--	--	6**	6	9	10	11	--
	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	5	3	--	9	3	5	10	9	7	7
	OL	Organic silts and organic silt-clays of low plasticity	8	8	--	--	7**	7	11	11	12	--
FAT CLAYS	MN	Organic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	9	9	--	--	--	8	12	12	13	--
	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	7	7	--	10	8***	9	13	13	8	--
	OH	Organic clays of medium high plasticity	10	10	--	--	--	10	14	14	14	--

Per i materiali dell'argine definiti "B", cioè appartenente al **nucleo** impermeabile, il progetto definitivo prevede l'impiego delle classi A2-6 e A2-7 provenienti da una fornitura di cava.

Per questi terreni è risultato possibile l'utilizzo dei materiali provenienti dagli scavi (in variante al progetto definitivo che prevedeva invece la fornitura da cava).

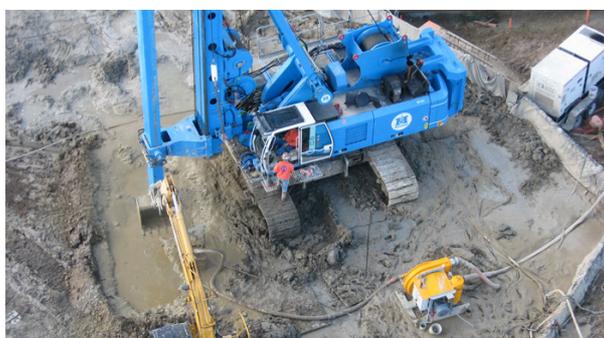
Per quanto riguarda l'unghia drenante e il filtro in sabbia si è preso come riferimento il fuso indicato nella figura 6 rispettivamente per "drain gravel" e "filter sand". Questi materiali saranno ovviamente ottenuti esclusivamente con fornitura da cava previa selezione e vagliatura.

### 5.1.3 Diaframma impermeabile

Il progetto definitivo prevede la realizzazione di un taglione impermeabile con la tecnica CSM (cutter soil mix). Dopo una attenta analisi dei “pro” e “contro” delle varie tecnologie esecutive, e tenendo conto delle caratteristiche del cantiere e delle diverse litologie da affrontare, è risultato necessaria l’adozione di una diversa tecnologia, sempre nel campo dei “diaframmi plastici”, ma basata sul sistema dei “pali secanti”.

La necessità di questa variante è legata ai seguenti aspetti.

- La possibilità di realizzare diaframmi in calcestruzzo armato (risultati necessari al di sotto del manufatto di regolazione come si dirà oltre, altrimenti impossibile con il CSM).
- La possibilità di riprendere o correggere anche puntualmente eventuali difetti di esecuzione del diaframma e di eseguire locali raddoppi (inseriti in progetto a seguito delle prescrizioni); la tecnica del CSM presuppone una lavorazione in continuo, quindi difficile per eseguire raddoppi.
- Una maggiore flessibilità e versatilità delle attrezzature, sia per realizzare raccordi e curve a gomito (come previsto in progetto), sia per la necessità di operare su pendio. La necessità di ammorsare il diaframma sulle sponde richiede infatti di eseguire il diaframma stesso su un piano inclinato che avrebbe potuto dare difficoltà per l’esecuzione della tecnologia CSM.
- Una migliore gestione della perforazione anche su terreni molto disomogenei lungo la stessa verticale (sulle sponde e nei tratti di fondovalle prossimi alle sponde vengono interessate alternanze di pozzolane e tufi, ghiaie e sabbie, limi e argille).
- La possibilità di rivestire, anche parzialmente, il foro in modo da garantire l’esecuzione del diaframma anche in caso di notevoli assorbimenti e/o per la presenza di fessure e cavità, sempre possibili nei terreni vulcanici (peraltro segnalate in zone vicine all’asse diga).
- Una migliore gestione ambientale del cantiere, grazie alla facilità di esecuzione della paratia di pali (che può essere gestita singolarmente, palo per palo) rispetto ad una operazione in continuo su setti (nelle foto successive si evidenzia la differenza tra un cantiere con CSM -sx- e uno con pali -dx-).
- Una migliore caratteristica del materiale, costituito da calcestruzzo plastico, di qualità definita e controllata, rispetto alla miscela cemento-bentonite-terreno del CSM



L'esecuzione del diaframma avverrà secondo le seguenti operazioni (vedi schema seguente):

- perforazione dei pali primari con elica continua;
- getto dei pali primari;
- perforazione dei pali secondari con elica continua;
- getto dei pali secondari (con infissione delle armature per la tipologia armata, sotto al manufatto).

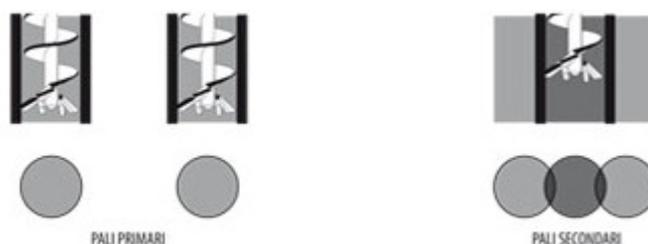


Fig. 7 – Tecnica dei pali secanti per il diaframma plastico

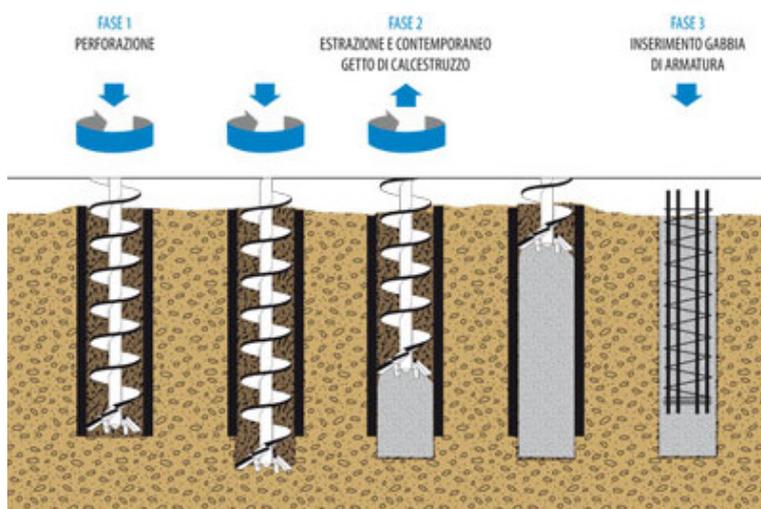


Fig. 8 – Tecnica dei pali secanti per il diaframma strutturale sotto il manufatto

Il diaframma al di sotto della diga in terra verrà realizzato con calcestruzzo plastico, secondo le caratteristiche indicate nel cap. 3. Per il diaframma armato al di sotto del manufatto, è necessario un calcestruzzo (armato) che possieda adeguate caratteristiche di resistenza, ma al contempo fornisca la tenuta idraulica richiesta. In parte il maggiore contributo di tenuta sarà garantito dalla doppia fila prevista in questo settore. Ulteriore garanzia di tenuta sarà fornita dagli accorgimenti adottati per ridurre il rischio di fessurazione del calcestruzzo che per tali motivi sarà caratterizzato da:

- quantitativi medio-alti di parti fini (cemento, filler, fly ash), variabili fra 350 e 450 kg/mc;
- classi di consistenza superfluide (S5), con valori di slump maggiori di 23-25 cm, o calcestruzzo tipo SCC;
- coesione e scorrevolezza dell' impasto;
- diametro massimo degli inerti inferiore a 15-18 mm.

Sempre nei riguardi della fessurazione si sono adottati ferri di armatura con diametri medio-piccoli.

Come indicato nelle prescrizioni della Direzione Generale Dighe (DGD) e suggerito anche dalle integrazioni di indagini, il diaframma è stato esteso sulla sponda sinistra fino alla spalla, in modo da intercettare e chiudere il flusso di acqua prevedibile attraverso lo strato di ghiaia intercettato con i sondaggi.

Una ulteriore modifica è stata introdotta nel tratto di fondovalle prossimo alla spalla destra. In questa zona erano stati misurati valori di permeabilità dei terreni nel sottosuolo molto elevati (inizialmente interpretati come anomalie). Le indagini integrative hanno invece confermato la presenza di terreni ad elevata permeabilità e sede di cospicue circolazioni di acqua. E' apparso necessario quindi approfondire il diaframma in modo da allungare i percorsi di filtrazione.

Il diaframma è stato approfondito anche nella zona del manufatto, originariamente previsto di una lunghezza di soli 4m. Tale lunghezza è stata ritenuta non idonea sia nei riguardi dei percorsi di filtrazione sia nei confronti della lunghezza di infissione da garantire per il diaframma strutturale, il quale contribuisce alla resistenza del manufatto nei confronti dello scorrimento.

Alcuni tratti di raddoppio del diaframma sono stati inseriti, come da prescrizione della DGD, nelle zone di passaggio tra i diversi corpi dello sbarramento (ove maggiori sono ipotizzabili i cedimenti differenziali). Tali raddoppi sono stati inseriti quindi al passaggio tra la diga in terra e il manufatto di regolazione (dove peraltro sono previsti alcune curve a gomito dell'allineamento del diaframma).

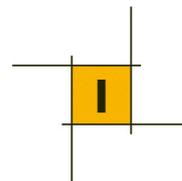
#### *5.1.4 Scavi di fondazione*

Il progetto prevede uno scavo di scotico profondo in modo da garantire un adeguato piano di fondazione e un ammorsamento della diga in terra sulle sponde.

Sulle spalle gli scavi di fondazione interesseranno le pozzolane e i tufi vulcanici, quindi non si prevedono particolari problemi di stabilità o di geometria degli scavi stessi.

Nella zona di fondovalle vengono interessati terreni alluvionali a granulometria prevalentemente limo-argillosa; in questa zona è stato garantito un appoggio sui terreni privi di materiale organico o rimaneggiato. Sulla base delle indicazioni delle indagini si può prevedere che mediamente sarà necessario asportare i primi due metri di terreno, che risultano quelli più rimaneggiati. Si è stabilita quindi una quota di scavo di 21.0 m s.l.m. che dovrebbe garantire l'asportazione dei terreni più rimaneggiati rimanendo però al di sopra o all'incirca in corrispondenza della falda idrica, che i sondaggi indicano all'incirca a questa quota, peraltro corrispondente al livello del corso d'acqua.

Sarà comunque necessario organizzare il cantiere con un sistema di pompaggio delle acque che potranno localmente e periodicamente interessare il piano di fondazione, il quale dovrà rimanere all'asciutto durante la stesa del geotessile di base e dei primi strati di rilevato. Il mantenimento all'asciutto del piano di fondazione potrà essere garantito anche da un sistema di fossi perimetrali più o meno approfonditi dai quali saranno pompate ed evacuate le acque.



Nella zona in cui si attraversa la vecchia fogna di acque nere, la cui quota di scorrimento è indicata a circa 19.5, è stato previsto un approfondimento dello scavo di almeno 50cm al di sotto della quota di scorrimento del tubo, e largo almeno 3 m a cavallo dell'asse della fogna stessa (che attraversa quasi perpendicolarmente l'asse della diga). Lo scavo verrà riempito con calcestruzzo plastico, in modo da garantire la tenuta idraulica attraverso quella che potrebbe costituire una possibile via di infiltrazione delle acque (stante il presumibile rimaneggiamento subito dai terreni per lo scavo della fogna).

Per il **manufatto di regolazione** è invece previsto un approfondimento a quote variabili. La soluzione del progetto definitivo, confermata in sede di esecutivo, prevede piani di fondazione su tre diverse quote: 19.0 per i muri di spalla e il canale dello scarico di fondo; 17.5 per gli sfioratori; 16.0 per il taglione in asse e il taglione di valle. Si tratta di scavi che si approfondiscono mediamente da 4 a 7.5 m rispetto al p.c. e da 2 a 5 m al di sotto della falda idrica. La presenza della falda a profondità prossime al p.c. è stata accertata con gli scavi di saggio eseguiti in sede di progetto esecutivo, i quali hanno evidenziato che il livello d'acqua raggiunge, dopo un certo periodo, la quota del corso d'acqua a testimonianza del fatto che si tratta di una falda permanente. Pur trattandosi di materiali non molto permeabili è da ritenere del tutto improbabile che si riescano ad eseguire scavi fino ad oltre 7 m di profondità senza una protezione che garantisca i necessari livelli di sicurezza per le maestranze e una corretta lavorazione del piano di fondazione (peraltro molto articolato e non disposto su una stessa quota).

Nella zona del manufatto, le indagini eseguite in sede di progetto esecutivo hanno accertato la presenza di terreni alluvionali rimaneggiati e sensibili alle circolazioni d'acqua. Le caratteristiche geotecniche sono risultate tali da non garantire la stabilità dello scavo. Le verifiche di stabilità eseguite con i parametri indicati dalle indagini non raggiungono i coefficienti di sicurezza richiesti nel DM 14/1/2008.

Si è resa quindi necessaria l'introduzione di una variante che prevede un **palancolato metallico** perimetrale allo scavo con l'obiettivo di contenere i terreni e ridurre l'afflusso di acqua nello scavo.

Il palancolato sarà infisso a partire da q. 21 e sarà approfondito nel sottosuolo fino a raggiungere gli stessi strati limo-argillosi raggiunti dal taglione, in modo da interrompere (o allungare) i percorsi di filtrazione e ridurre quindi l'afflusso dell'acqua all'interno dello scavo attraverso il fondo. Le indicazioni emerse dalle indagini disponibili fanno ritenere che l'afflusso dell'acqua dal fondo dello scavo, una volta infisse le palancole, potrà essere gestito con un semplice pompaggio che assicuri la pulizia e la stabilità del piano di fondazione.

Una volta terminato il getto del manufatto, almeno fino alle quote dell'attuale p.c., le palancole potranno essere rimosse per procedere poi con le altre lavorazioni.

#### *5.1.5 Le opere di protezione del fosso di Pratolungo, a monte e a valle del manufatto*

Nel progetto definitivo è stato previsto un breve tratto, lungo circa 17m, di **protezione del fosso a monte** prima dell'imbocco nello scarico di superficie. La protezione è stata prevista con materassi Reno di spessore 30cm che formano una sezione trapezia di larghezza sul fondo 7.6 m e pendenza delle scarpate  $h/b=1/2$  (vedi

sez. 1-1 del progetto definitivo). L'intervento prosegue a monte, per un tratto di 115m, senza tuttavia indicazione del tipo di intervento (nel progetto viene solo indicata la dicitura "deviazione fosso"); dall'analisi dei computi si può desumere che sia stata prevista una semplice riprofilatura del fosso, sempre con una sezione trapezia, per raccordare planimetricamente e con la necessaria gradualità l'imbocco dello scarico con l'attuale allineamento dell'alveo naturale. Nel tratto iniziale della deviazione la planimetria di rilievo (del progetto definitivo) indica una larghezza del fondo del fosso di circa 2.5m.

Dall'esame dell'effettivo stato dei luoghi si è però accertato quanto segue:

- il fosso attuale non ha una sezione trapezia, ma rettangolare, ottenuta con un sistema di palificate in legno (v. foto) evidentemente realizzate dopo i rilievi eseguiti in sede di progetto definitivo;
- la larghezza del fosso non è pari a 2.5m, ma fino a 8-9m come evidente dalle foto (e poi accertato con i rilievi topografici eseguiti in sito).



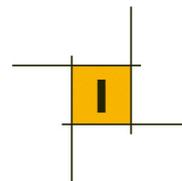
Fig. 9 – Il fosso di Pratolungo a valle (sin.) e a monte (dx) del futuro sbarramento

Inoltre, si deve evidenziare che la sezione trapezia con materassi prevista in progetto non può ritenersi idonea al convogliamento delle acque nel manufatto, che è invece di forma rettangolare e di larghezza 5.2 m (due luci da 2m oltre al setto centrale da 1.2m).

Tali circostanze impongono necessariamente una variante alla soluzione del progetto definitivo, sia per la sopraggiunta modifica dello stato dei luoghi, sia per garantire una corretta immissione della acque del fosso di Pratolungo, che peraltro deve ricevere, a monte della diga, le acque dei due fossi in destra e sinistra (per i quali il progetto definitivo prevede la relativa deviazione, ma senza alcuna sistemazione specifica).

Per garantire la salvaguardia delle opere di sistemazione del fosso già eseguite nel precedente lotto e per non stravolgere il progetto del manufatto di restituzione, si è preferito mantenere una sezione rettangolare del fosso prevedendo un rivestimento dell'intero tratto di deviazione.

Questa soluzione offre sicuramente maggiore garanzia rispetto alla precedente, poiché si tratta di una deviazione di un fosso in curva, le cui sponde in terra, sia pur compattate, sarebbero rimaste esposte alle azioni erosive durante gli eventi di piena. Vista la vicinanza al manufatto di regolazione, si è ritenuta di maggiore garanzia una soluzione che preveda la protezione del fosso con una scogliera, a formare una sezione



all'incirca rettangolare facilmente raccordabile con la sezione esistente a monte e con il manufatto dello scarico di fondo a valle (si tratta peraltro della stessa sezione adottata nel precedente lotto per il rivestimento del fosso di Pratolungo a valle di Via S. Alessandro).

Per i due fossi che verranno immessi nel Pratolungo, le prescrizioni del PRE-COMITATO hanno indicato la necessità di riprofilare con semplici scavi in terra la sezione dei due fossi che si immettono nel Pratolungo. Anche in questo caso sono state notate forti differenze dello stato dei luoghi rispetto a quanto rappresentato nel progetto definitivo. Il fosso in destra (in realtà un semplice fosso di irrigazione, asciutto all'epoca del rilievo) verrà regolarizzato con una sezione trapezia larga sul fondo 2m, notevolmente più piccola della sezione trapezia in terra prevista nel progetto definitivo, larga sul fondo 6m (i rilievi indicano che attualmente la larghezza del fondo non supera i 2 m). Per il fosso in sinistra (fosso del Fornaccio) si è adottata la larghezza della sezione esistente all'inizio della deviazione (all'incirca di 5m), proseguendola fino alla nuova immissione. In questo caso il fondo è profilata con una "savanelle" che potrà raccogliere le portate di deflusso più frequenti.

Per entrambi i fossi è stato previsto un breve tratto di immissione nel Pratolungo protetto con scogliera.

Le pendenze dei due fossi sono state stabilite sulla base delle quote di rilievo e, stante la necessità di non variare la quota di immissione nel manufatto (q. 21.0), esse risultano molto basse: circa 3 per mille per il fosso di irrigazione in destra e praticamente in orizzontale per il fosso di Fornaccio in sinistra.

E' emersa anche la necessità di inserire un adeguato intervento di protezione nel tratto immediatamente a monte dei due sfioratori, ai due lati del manufatto dello scarico di fondo. I profondi scavi di fondazione necessari per la realizzazione dell'opera di regolazione richiedono infatti dei rinterri importanti a ridosso degli sfioratori stessi, da realizzare con il materiale proveniente dagli scavi (prevalentemente limo-argilloso). La possibilità di compattare adeguatamente questi terreni è molto scarsa e quindi essi rimarrebbero esposti alle azioni erosive delle acque che potranno interessare il terreno durante gli eventi di piena con portate superiori a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  (cioè quelle superiori al limite fissato per lo scarico di fondo); si tratta peraltro di portate con tempi di ritorno relativamente bassi quindi con elevata frequenza. Per tale motivo è stata prevista una stabilizzazione a cemento dei terreni di riempimento e una protezione con materassi dell'intera superficie compresa tra i muri d'ala del manufatto.

Per il **tratto a valle del manufatto** di regolazione, il progetto definitivo prevede solo un tratto di protezione lungo 20 m costituito da un rivestimento con materassi di spessore 50 cm, sia del fosso (a sezione trapezia) che prosegue lo scarico di fondo, sia dello scivolo che prosegue il manufatto di dissipazione. Nel tratto successivo è prevista solo una riprofilatura in terra del fosso fino al ponticello in muratura.

Anche questa soluzione presenta molte criticità. Già prima dell'esecuzione del modello fisico, e in accordo con le prescrizioni e poi le indicazioni emerse dalle riunioni con la DGD, è stato ritenuto che la protezione di soli 20 m a valle del manufatto potesse essere troppo ridotta. Si è previsto quindi di estendere la protezione con

materassi per un tratto di 10m in orizzontale oltre la vasca del salto di bidone, in modo da garantire una migliore protezione dei terreni sottoposti a velocità elevate delle acque durante le fasi di sfioro.

A valle del salto di bidone il fosso si deve raccordare con l'esistente in corrispondenza del ponticello in muratura (foto della fig. 10-sx), segnalato negli studi archeologici di età medioevale e che il progetto prevede di salvaguardare. Il raccordo è quasi totalmente in variante all'attuale corso, quindi da riprofilare ex novo.

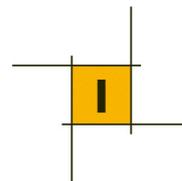
Già in sede di gara l'Impresa aveva offerto, come soluzione migliorativa, una estensione della protezione del fosso con massi. I rilievi topografici eseguiti in sede esecutiva hanno però evidenziato delle situazioni di anomalia: il fondo del fosso si mantiene a quota di circa 21.2-21.5 nel tratto fino alla piccola traversa in legno ubicata poco a monte del ponticello in muratura (v. foto della fig 10-sx). In corrispondenza del ponticello il fondo del fosso è stato rilevato a q. 19.3, quindi circa 2 m più in basso. A valle del ponticello, in corrispondenza del manufatto in lamiera ondulata che sottopassa Via S. Alessandro (foto fig. 10-dx), il fondo si rialza a q. 20.9. Quote poco inferiori a queste sono state battute con i precedenti rilievi in alcune sezioni del fosso (oggetto di riprofilatura nell'ambito del precedente lotto) a valle di S. Alessandro (q. 20.6m 300 m a valle, q. 20.4 m 500 m a valle). La pendenza del fosso a valle di Via S. Alessandro è dell'ordine dell'1 per mille. Sembra quindi che la riprofilatura del fosso abbia creato una sorta di risalto del fondo rispetto a quanto rilevato in corrispondenza del ponticello (a meno che la quota battuta in questo punto sia legata ad una escavazione localizzata).



Fig. 10 – Il fosso di Pratolungo a valle della diga: ponticello in muratura (sx) e attraversamento di Via S. Alessandro (dx)

In ogni caso, vista la necessità di salvaguardare il ponticello, è stato previsto di regolarizzare il fosso con una pendenza analoga a quella esistente, eliminando quindi il salto (o la profonda escavazione) presente a monte del ponticello stesso. Tenuto conto delle portate in uscita e del fatto che il fosso è interamente da eseguire in nuova sede, appare necessario profilare il fosso con una adeguata protezione del fondo e delle sponde.

La necessità di proteggere il fosso deriva anche dal fatto che dovrà essere chiusa l'attuale immissione del fosso del Fornaccio in sinistra (che verrà deviato nel fosso di Pratolungo a monte dello sbarramento). Appare ovvio che, qualora questa chiusura fosse realizzata con un semplice rinterro, si creerebbe un elemento di debolezza, considerando che questa "risarcitura" del terreno si trova poco a valle dell'opera di restituzione, quindi in un settore esposto ad elevate velocità di scorrimento delle acque scaricate durante le fasi di invaso.



Si è previsto quindi di effettuare questi riempimenti con terra stabilizzata a cemento, come indicato nella planimetria di progetto.

Anche in questo caso i sopralluoghi e poi i rilievi hanno permesso di accertare che la sezione attuale è di tipo rettangolare. Pertanto è apparsa idonea la stessa soluzione con scogliera prevista per il tratto a monte, iniziando con una sezione trapezia, a prosecuzione del tratto a valle dello scarico, e quindi da raccordare gradualmente con la sezione rettangolare.

La riprofilatura termina necessariamente con un restringimento graduale in modo da facilitare il convogliamento delle acque dalla sezione rettangolare alla sezione ad arco del ponticello in muratura. Se si mantenesse la sezione di uscita si creerebbe un brusco restringimento proprio in corrispondenza del ponticello, con possibili effetti erosivi sulle spalle del ponticello stesso.

Tale necessità è stata confermata dai risultati del modello fisico. Anzi, a seguito di questi, la Direzione Dighe ha prescritto anche di sostituire i materassi sul fondo del canale a valle della restituzione, con un rivestimento in massi analogo a quello già inserito.

#### *5.1.6 I risultati delle verifiche di filtrazione e di stabilità*

Le analisi di filtrazione e stabilità sono state condotte con un codice di calcolo agli elementi finiti combinato (SEEP/W e SLOPE/W della GEO-SLOPE International Ltd). A favore di sicurezza, l'analisi di filtrazione è stata condotta in condizioni stazionarie adottando come massimo livello di piena il livello d'acqua che si raggiunge per una piena millenaria a invaso già pieno. Tale livello massimo è stato assunto, in maniera approssimata per eccesso, pari a 30.5 m s.l.m in analogia a quanto svolto in sede di progetto definitivo.

La verifica di stabilità è stata condotta in corrispondenza della sezione con condizioni geotecniche più gravose; questa sezione corrisponde anche alla sezione di maggiore altezza, per cui i risultati di queste verifiche possono essere considerate le più gravose in assolute per ciò che riguarda la stabilità e quindi sufficienti per dimostrare l'adeguatezza delle scelte progettuali per l'intera diga in terra.

Per gli aspetti legati alla filtrazione è stata però analizzata anche una seconda sezione di fondovalle spostata verso la sponda destra, dove le indagini hanno evidenziato la presenza di terreni del sottosuolo relativamente più permeabili rispetto alla zona centrale del fondovalle. Tali analisi hanno premesso di dimostrare la necessità dell'approfondimento del diaframma impermeabile.

Rimandando alla specifica Relazione di calcolo per i dettagli sulle verifiche, si riportano nel seguito i risultati, in termini di carico idraulico e di linee di flusso, ottenuti dal modello, dai quali si evince che il passaggio della piena non crea situazioni di criticità per l'arginatura.

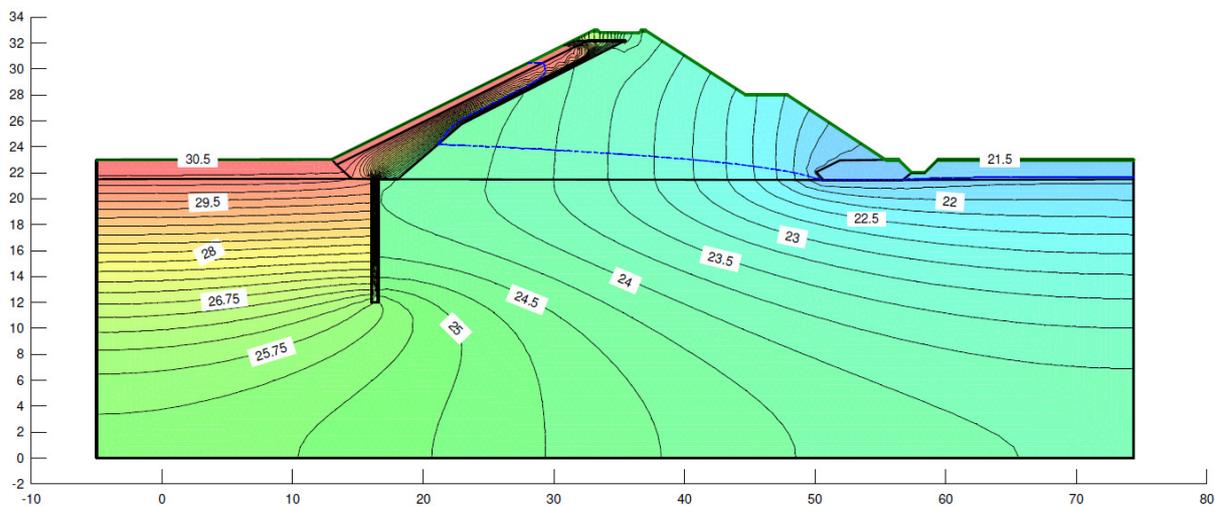


Fig. 11 –Diga in terra: Sez. 16 - andamento del carico idraulico totale in condizioni di massima piena

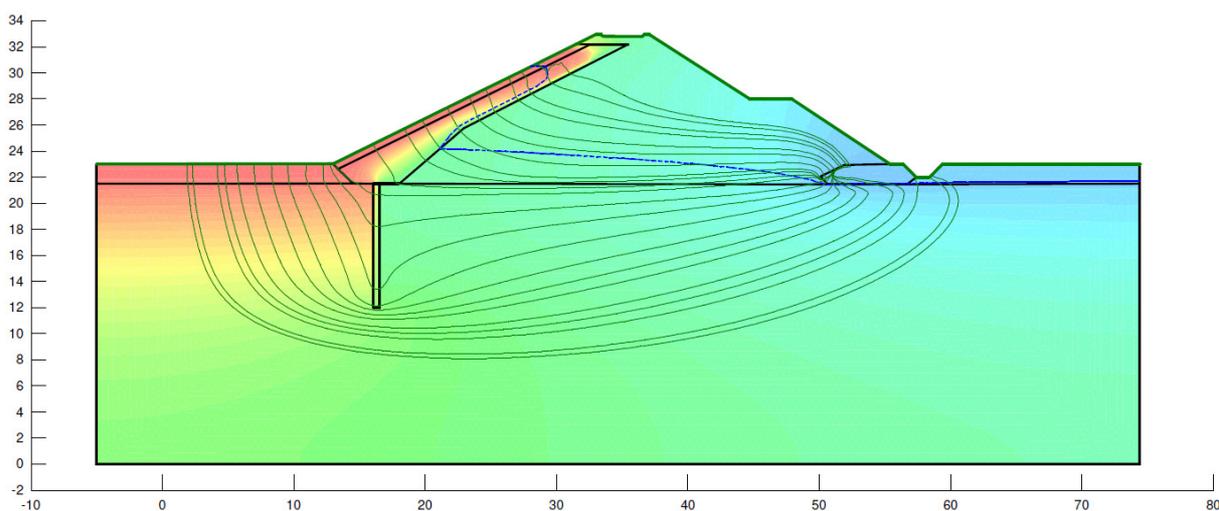


Fig. 12 – Diga in terra: Sez. 16 - andamento delle linee di flusso in condizioni di massima piena

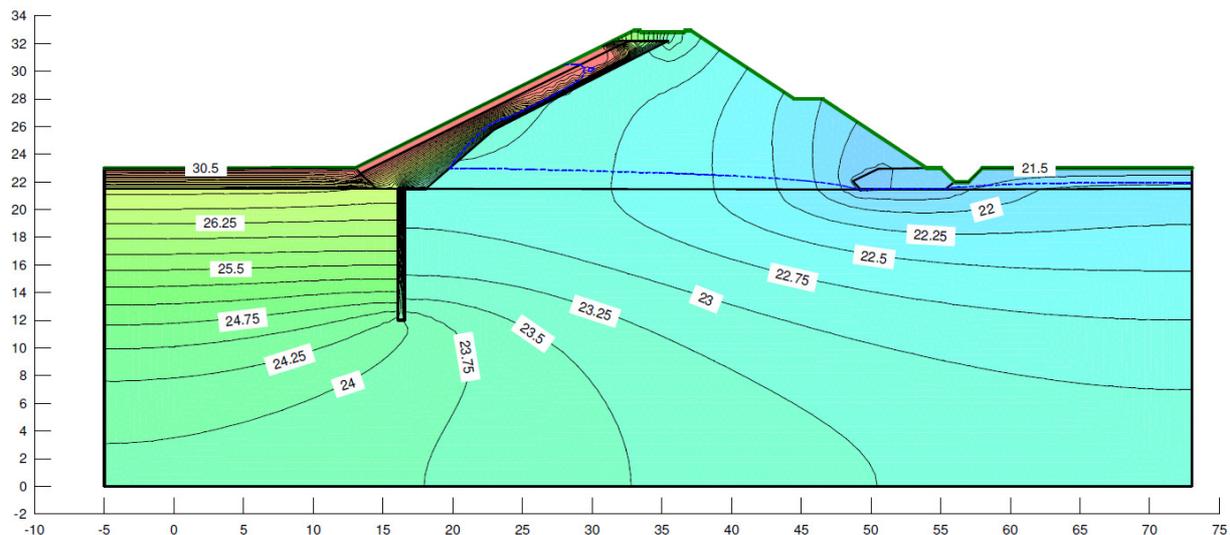


Fig. 13 –Diga in terra: Sez. 20 - andamento del carico idraulico totale in condizioni di massima piena

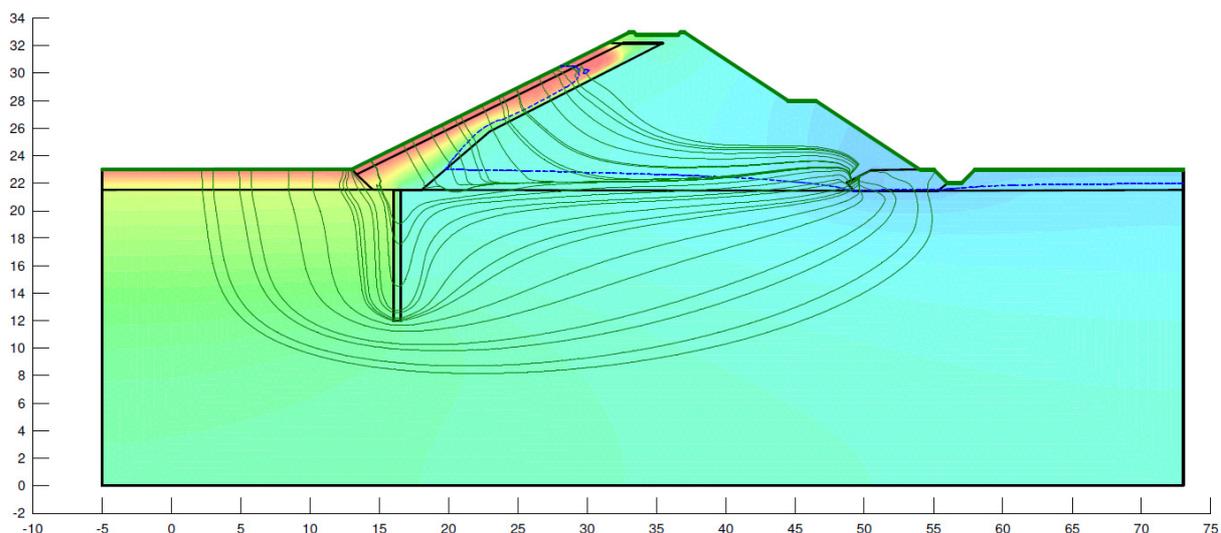


Fig. 14 – Diga in terra: Sez. 20 - andamento delle linee di flusso in condizioni di massima piena

Sono state condotte inoltre le verifiche di stabilità rispetto a fenomeni di sifonamento in accordo al DM 14/1/2008. Anche questa verifica è stata condotta nelle condizioni di massima piena (livello d’acqua a quota 30.5 m,  $T_R=1000$  anni) verificando che:

$$1.3u_{inst} \leq 0.9\sigma_{stb}$$

I risultati hanno fornito un coefficiente di sicurezza minimo di 1.4.

Nella figura seguente si riportano i risultati dell’analisi idraulica condotta in termini di distribuzione delle pressioni neutre. Queste verifiche sono risultate soddisfacenti rispetto a quanto indicato nel DM 14/1/2008.

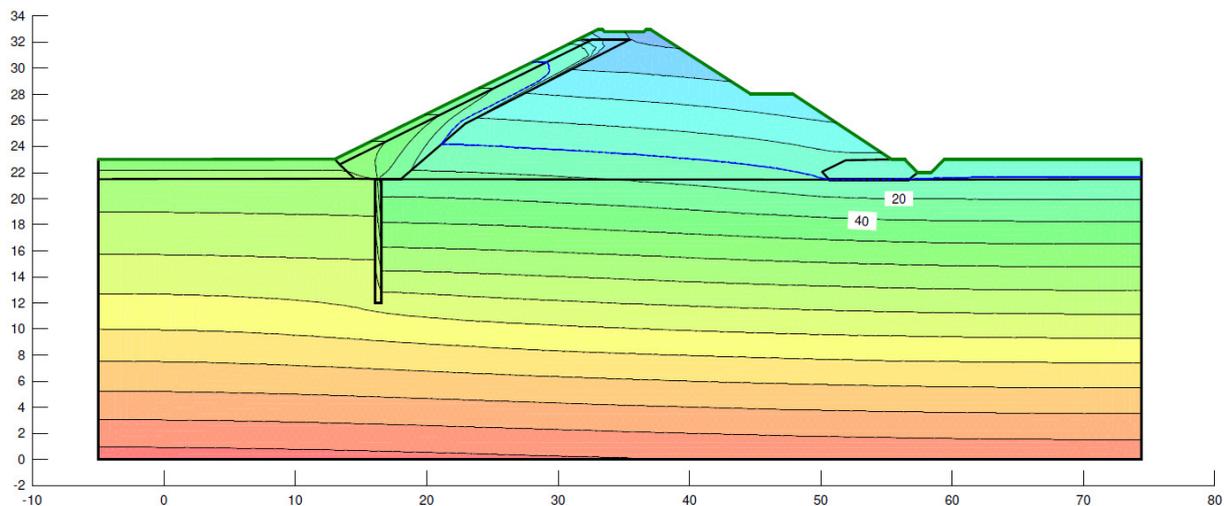


Fig. 15 – Diga in terra: Sez. 16 - studio di filtrazione in condizioni di massima piena -distribuzione delle pressioni neutre

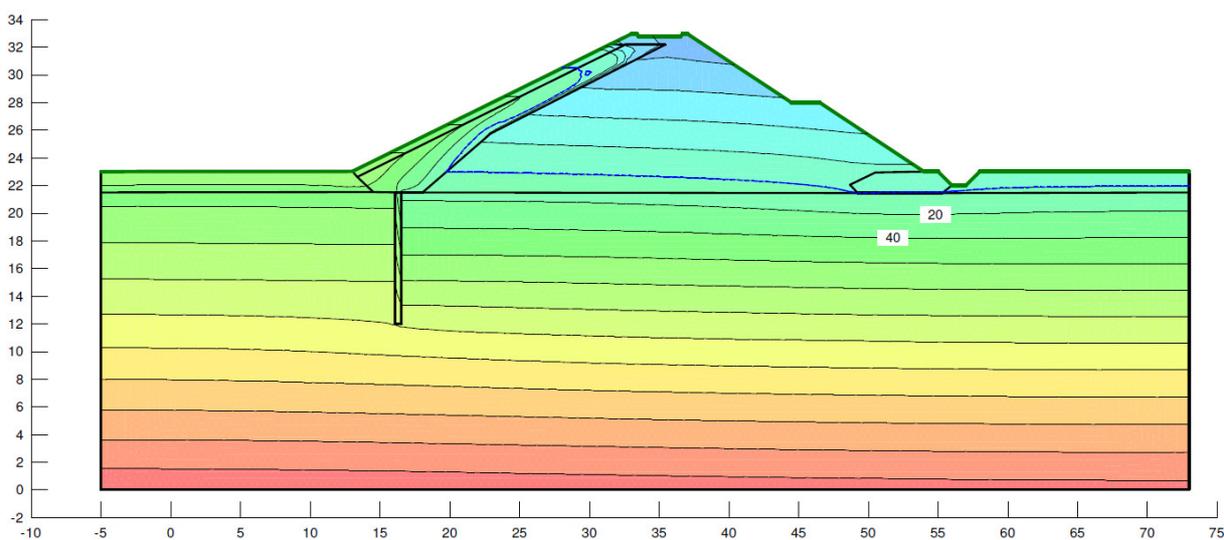


Fig. 16 – Diga in terra: Sez. 20 - studio di filtrazione in condizioni di massima piena -distribuzione delle pressioni neutre

Le **verifiche di stabilità** sono state condotte analizzando le seguenti possibili condizioni:

- verifica statica e sismica dei due paramenti a fine costruzione;
- verifica statica del paramento di valle in condizioni di massima piena (q. 30.5m);
- verifica statica del paramento di monte in condizioni di svasso rapido;
- verifica sismica del paramento di valle con l'invaso alla quota di regolazione (q. 28.5m).

Nelle figure successive sono riportati i risultati ottenuti in termini di superficie critica e relativo coefficiente di sicurezza ( $R_d/E_d$ ), con  $R_d$  non corretto con il relativo coefficiente sulle resistenze globali  $\gamma_R$ .

I risultati delle verifiche sono riportati nella tabella seguente. Si ricorda che il rapporto  $R_d/E_d$  deve essere superiore a 1.1 in quanto nel modello di calcolo non viene applicato il coefficiente sulle resistenze globali  $\gamma_R =$

1.1 ai sensi del DM 14/1/2008. Per le verifiche nelle condizioni di serbatoio pieno il coefficiente sulle resistenze globali  $\gamma_R$  è pari invece a 1.2 secondo la proposta di aggiornamento delle NT per le dighe, poi trasformata in decreto (26/6/2014).

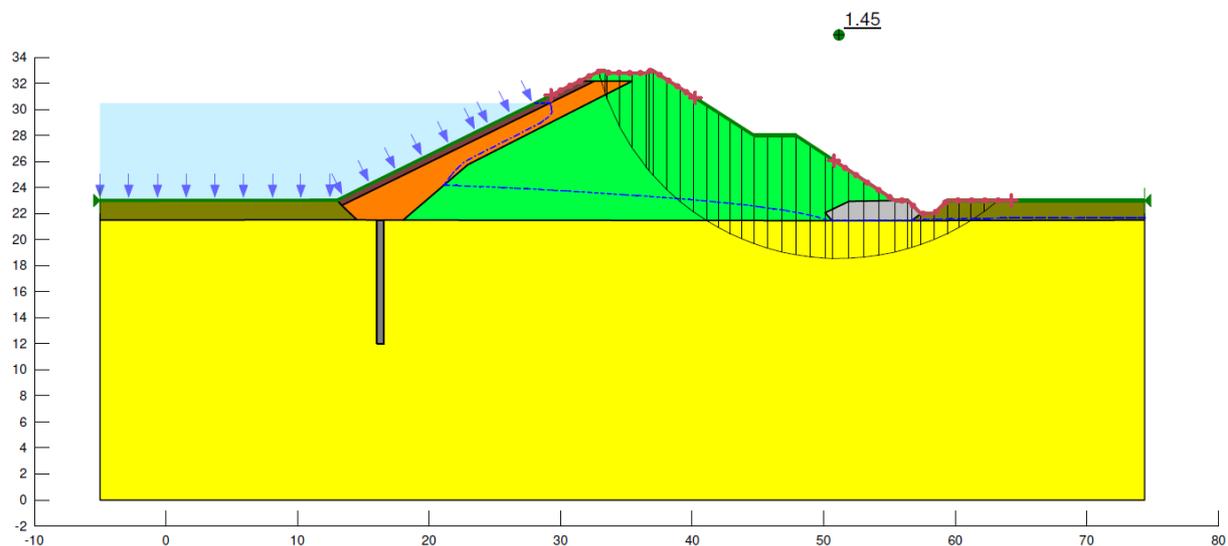


Fig. 17 – Diga in terra: verifica di stabilità in condizioni statiche del paramento di valle in condizioni di massima piena.

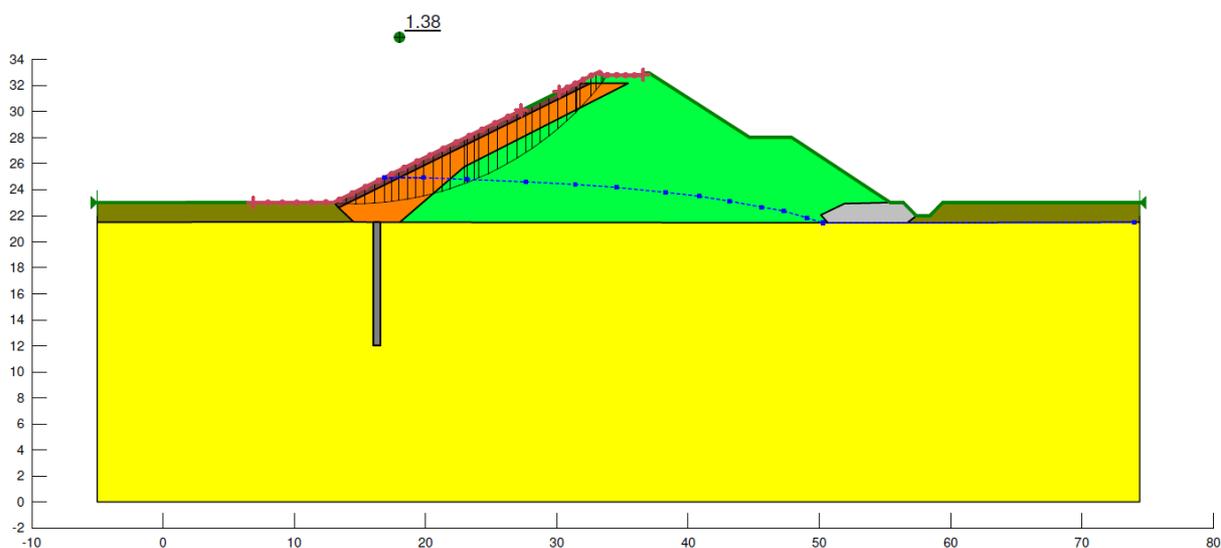


Fig. 18 – Diga in terra: verifica di stabilità in condizioni statiche del paramento di monte in condizioni di svasso rapido.

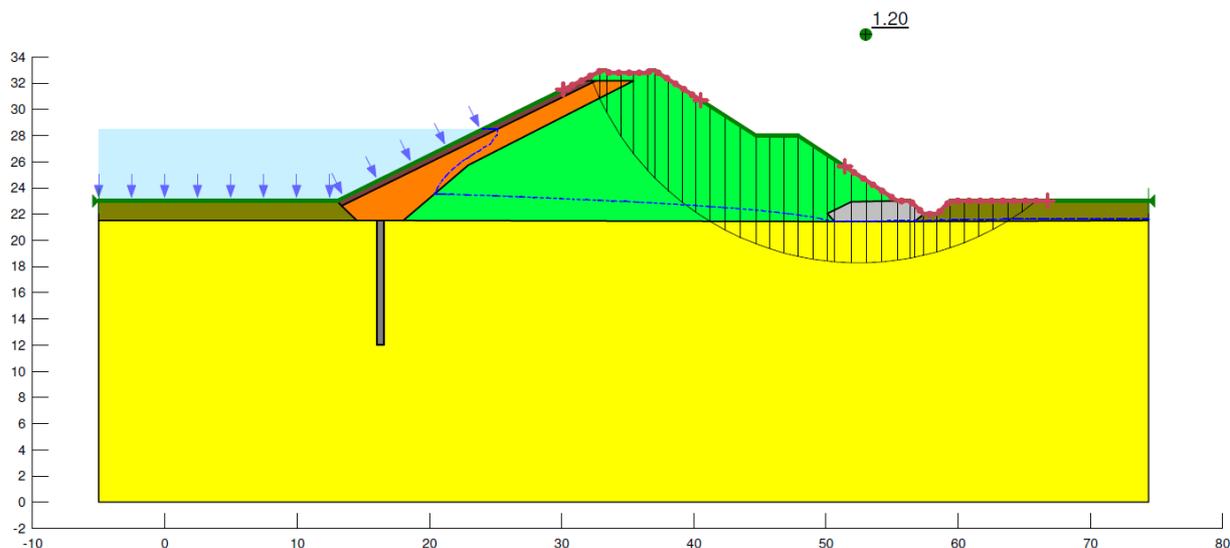


Fig. 19 –Diga in terra: verifica di stabilità in condizioni sismiche del paramento di valle (max invaso).

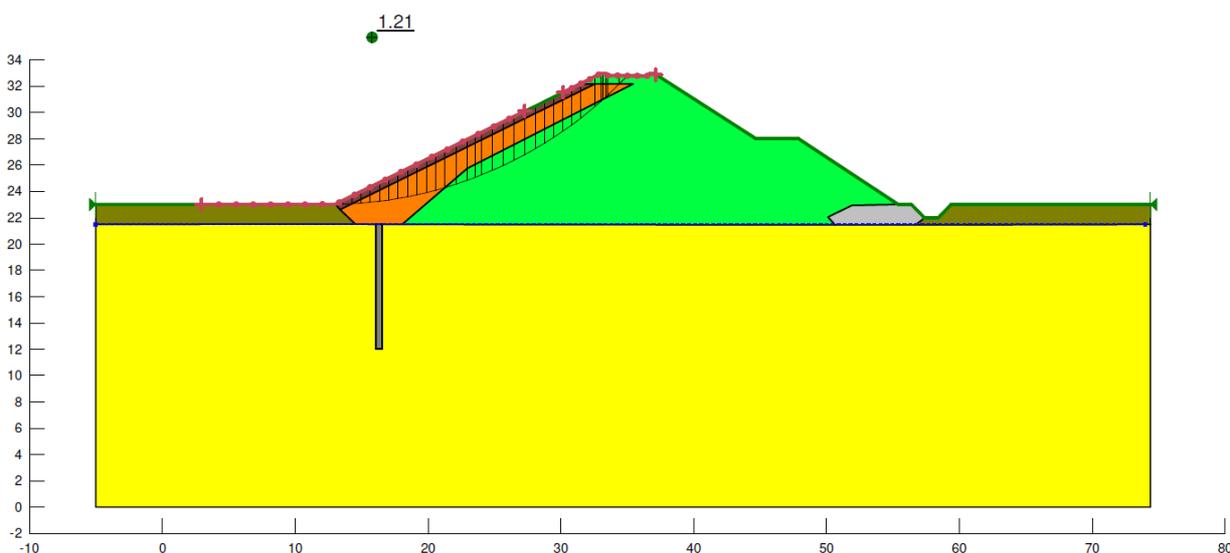


Fig. 20 - Diga in terra: verifica di stabilità in condizioni sismiche del paramento di monte (fine costruzione).

Tabella 4 – Risultati delle verifiche di stabilità per la diga in terra

Condizione di analisi	Rd/Ed
Paramento di valle – piena (statica)	1.45
Paramento di monte - svaso rapido (statica)	1.38
Paramento di valle (sismica) – max invaso	1.20
Paramento di monte (sismica) – fine costruzione	1.21

Sui risultati ottenuti si possono fare le seguenti considerazioni.

Le analisi in condizioni statiche del paramento di valle in condizioni di massima piena risultano verificate con ampio margine di sicurezza.

Le analisi del paramento di monte in condizioni di svasso rapido sono verificate con i margini richiesti ipotizzando un andamento della piezometrica semplificata, riconducibile ad uno svasso a partire dalla massima regolazione, ma comunque cautelativo tenendo conto che in realtà è presente un manto impermeabile sul paramento di monte. A causa della presenza del manto, il nucleo impermeabile non potrà andare incontro a saturazione o comunque a prolungate ed estese immersioni anche in caso di lesione localizzata del manto stesso.

Le analisi del paramento di valle in condizioni sismiche forniscono risultati del coefficiente di sicurezza superiori a 1.2, quindi rispondenti al DM 14/1/2008 (richiesto 1.1) e anche alla nuova Normativa sulle Dighe. Per garantire tale coefficiente è stato necessario allargare la banca di valle di un metro.

La verifica di stabilità in condizioni sismiche a fine costruzione è garantita con i margini richiesti.

## **5.2 Il manufatto di regolazione**

### *5.2.1 Caratteristiche del manufatto*

L'opera di regolazione, del tipo a gravità massiccia in calcestruzzo, ha uno sviluppo complessivo al coronamento di circa 58 m ed un'altezza pari a 11 m, misurata a partire dalla soglia sfiorante fino al punto più basso della superficie di fondazione a monte.

L'opera è suddivisa in 5 conci con due diversi tipi di strutture: una classica tracimabile, con soglia di sfioro a quota 28,50 m s.m.m., seguita da una vasca di dissipazione (4 conci) e una struttura scatolare (centrale) nella quale sono alloggiati le paratoie per la regolamentazione delle portate.

La soglia tracimabile ha una sezione triangolare classica con paramento di monte verticale e paramento di valle con pendenza di 1:0,8 (h:b).

Lo scarico di superficie è costituito da due soglie sagomate con profilo tipo Creager (HD = 1,6 m) con quota di coronamento 28,50 m s.m.m. (quota massima di regolazione) ed una luce lorda di 25,00 m ciascuna.

A valle delle soglie di sfioro sono ubicate due vasche di dissipazione, poste a quota 21,00 m s.m.m., larghe 25,00 m ciascuna e lunghe circa 9,20 m, con uno spessore variabile da 2,70 a 2,00 m, munite di taglione di 5,50 m di profondità al piede di valle.

Il concio dove sono alloggiati le paratoie è situato al centro dell'opera di regolazione ed ha una larghezza e lunghezza totale rispettivamente pari a 7,60 m e 28,50 m con quota fondazione posta a 19,00 m s.m.m. .

Il concio è costituito da due camere separate, di sezione rettangolare pari a 2,00 m per 10,25 m, dove a circa metà della lunghezza della struttura sono installate due paratoie piane del tipo a saracinesca su ruote, 2,00x3,00 m, disposte affiancate su ciascuna delle due luci dell'opera di regolazione, azionate oleodinamicamente, comandate e controllate elettricamente.

Al di sopra del concio centrale è previsto un piazzale a quota 32,85 m s.l.m per la manutenzione delle paratoie, per la movimentazione e lo stoccaggio dei panconi e comprensivo di un locale di controllo di circa 21 mq sempre a quota + 32,85 e sottostante locale di manovra a quota + 29.50.

Sono previsti i seguenti gruppi di panconi da mettere in opera per la manutenzione delle paratoie:

- un gruppo di panconi piani sovrapponibili del tipo a saracinesca a strisciamento, per la luce netta complessiva di 2,00 x 7,50 m (5 elementi), per le luci a monte delle paratoie;
- un gruppo di panconi piani sovrapponibili del tipo a saracinesca a strisciamento, per la luce netta complessiva di 2,00 x 4,00 m (3 elementi), per le luci a valle delle paratoie.

Entrambi i gruppi di panconi vengono installati alternativamente su una delle due luci a monte o a valle delle suddette paratoie, e sono movimentati per mezzo gru (non facente parte della fornitura).

Un taglione finale è presente nella soletta per preservare gli eventuali scalzamenti dell'opera.

Al di sotto dell'opera di regolazione è prevista la realizzazione di uno schermo di tenuta, costituito da una doppia paratia di pali, armati alternativamente, che ha anche funzione strutturale.

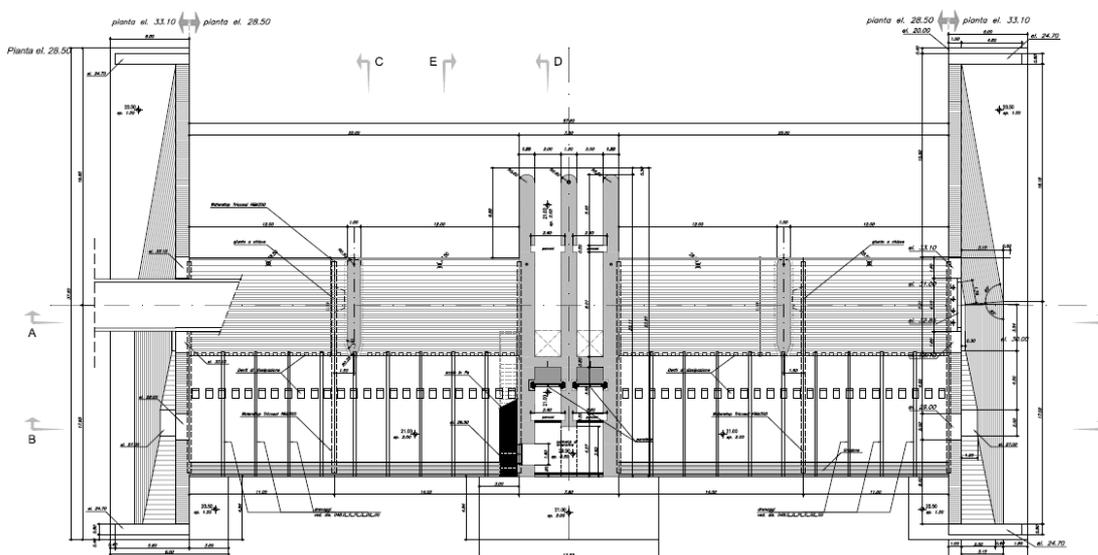


Fig. 21 – Pianta manufatto di regolazione

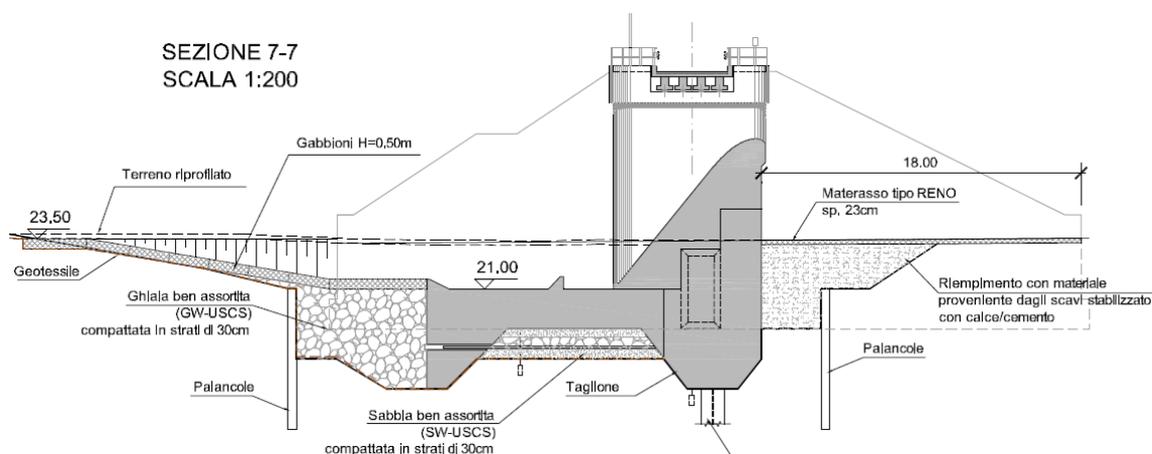


Fig. 22 – Sezione longitudinale manufatto sfioratore

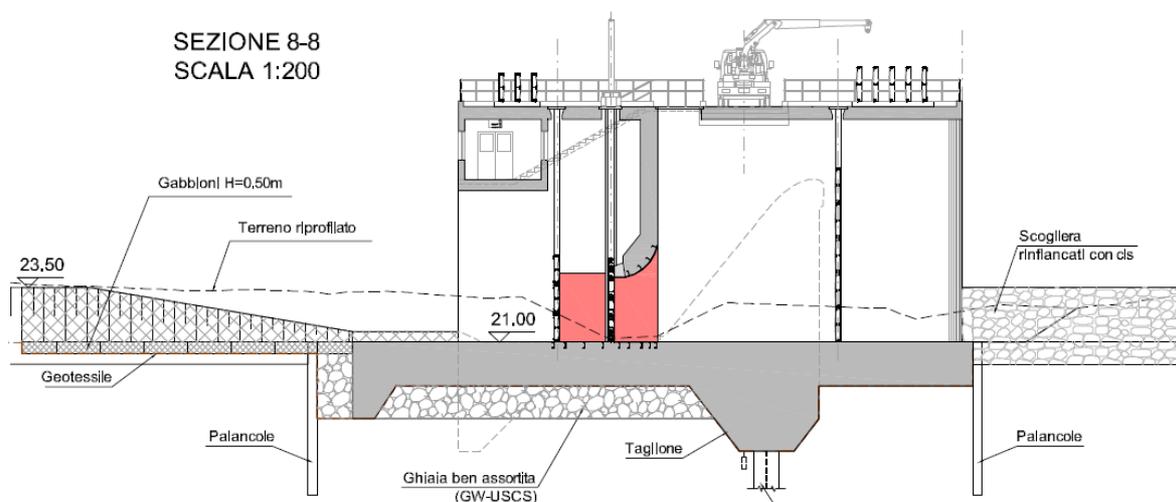


Fig. 23 –Sezione longitudinale manufatto di restituzione

### 5.2.2 Dimensionamento idraulico dell'opera di regolazione

Secondo quanto previsto nel Progetto definitivo, l'opera è finalizzata ad assicurare una regolazione dei deflussi naturali del fosso, con le seguenti prescrizioni:

- *Regime Ordinario* quando le portate affluenti sono minori di  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . In queste condizioni le paratoie delle due luci del manufatto di scarico sono **completamente aperte**. L'opera quindi non comporta nessuna alterazione al regime idraulico naturale del fosso.
- *Regime Normale*, quando le portate affluenti sono maggiori di  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  e i livelli idrici di monte inferiori alla quota di massima regolazione, coincidente con quella della soglia sfiorante. In queste condizioni **una luce verrà completamente chiusa e l'altra parzializzata** dalle relative paratoie al fine di limitare la portata effluente ad un massimo di  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . La vasca di accumulo quindi adempie alla sua funzione di laminazione delle piene entranti.
- *Regime Eccezionale*, quando il livello di monte supera la quota di sfioro pari a  $28,50 \text{ m s.m.}$ . In queste condizioni, le portate affluenti eccedenti lo scarico della luce di fondo vengono **scaricate attraverso tracimazione dalle soglie libere di sfioro**. La vasca di accumulo continua comunque ad esercitare un notevole effetto di laminazione delle portate entranti, anche se, in funzione dell'entità dell'evento di piena in atto, può non essere garantito il rilascio complessivo a valle di portate inferiori a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Analisi dei livelli d'acqua a valle dell'opera

Al variare delle portate defluenti, sono stati analizzati i livelli a valle dell'opera attraverso lo studio dei profili di rigurgito ottenuti modellando l'alveo a partire da monte dell'opera sino a circa 150 m a valle.

La scala di deflusso relativa ad una sezione a valle dell'opera di regolazione è mostrata nella figura seguente.

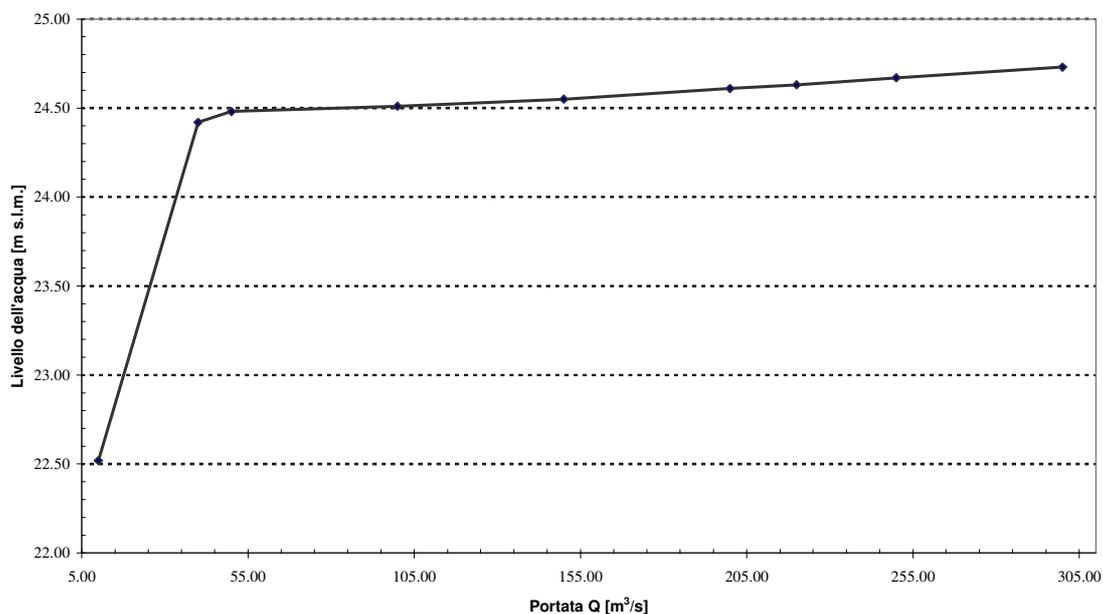


Fig. 24 – Valori di livello dell'acqua a valle dell'opera di regolazione

### Scarico di superficie

Il dimensionamento idraulico dello scarico di superficie è stato effettuato assumendo l'evento idrologico "estremo", indicato nella "Relazione idrologica e idraulica generale", a cui corrisponde una portata di picco pari a circa  $220 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La portata di efflusso della soglia tracimabile è stata ricavata mediante la relazione seguente (Sinniger, 1989):

$$Q = C_d \cdot L \cdot (2 \cdot g \cdot H^3)^{1/2}$$

con:

$$C_d = \frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot \left[ 1 + \frac{4 \cdot \chi}{9 + 5 \cdot \chi} \right] \quad \text{e}$$

$$L = L' - 2 \cdot (NK_p + K_a) \cdot H \quad (1)$$

dove:

- $C_d$  [-] : coefficiente di efflusso;
- $L$  [m] : larghezza efficace della soglia di sfioro;
- $H$  [m] : carico idraulico misurato a partire dal livello del ciglio di sfioro;
- $\chi$  [-] : carico relativo;
- $H_b$  [m] : carico idraulico di dimensionamento;
- $L'$  [m] : larghezza totale della soglia;
- $N$  : numero di pile;
- $K_p, K_a$  [-] : coefficienti di contrazione della pila;

La larghezza efficace della soglia ( $L$ ) è stata quindi assunta variabile con il carico a monte al fine di tenere conto della riduzione dovuta alle due pile di larghezza pari a 1 m.

La scala di deflusso per lo sfioratore è illustrata nella figura seguente:

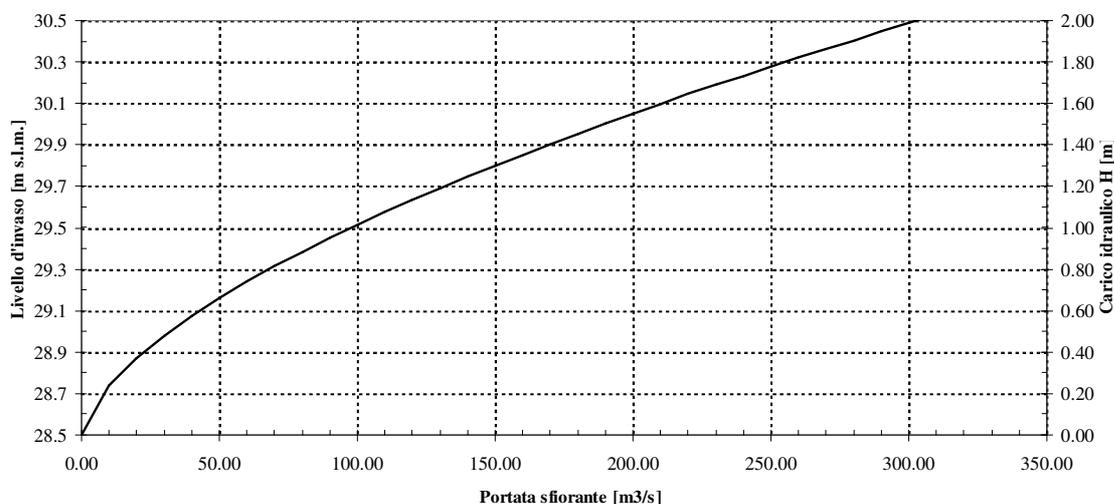


Fig. 25 - Sfiatore. Scala di deflusso

In corrispondenza della portata  $Q = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ , presa in considerazione per il dimensionamento idraulico e statico dell'opera, il livello d'invaso raggiunge quota 30,10 m s.m.m. con un franco quindi di 2,90 m rispetto alla quota massima del rilevato arginale (33,00 m s.m.m.).

Considerando che l'altezza effettiva della lama d'acqua sulla soglia è  $0.89 \cdot H$ , il franco rispetto all'intradosso delle travi del ponte, risulta pari a circa 1,20 m.

La soglia è stata sagomata secondo un profilo standard tipo Creager dimensionato con un carico idraulico  $H_D = 1,60 \text{ m}$  ( $Q = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

$$y/H_D = 0.5 \cdot (x/H_D)^{1.85} \quad \text{per } x > 0$$

Per quanto riguarda la geometria di monte della soglia, essa è composta da tre raggi di curvatura (si veda la figura seguente), il cui valore dipende sempre dal carico di dimensionamento.

$$R_1 = 0.8m$$

$$R_2 = 0.3m$$

$$R_3 = 0.1m$$

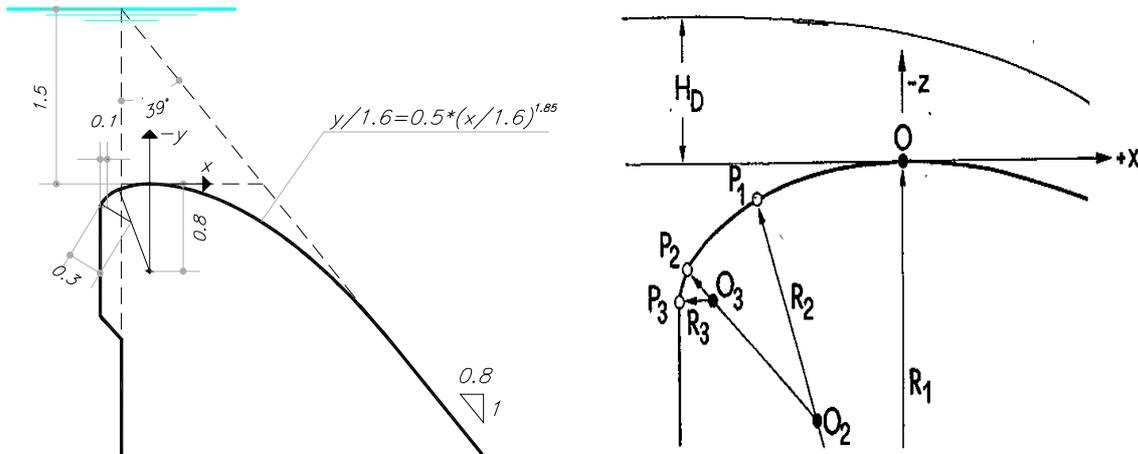


Fig. 26 - Profilo della soglia sfiorante

L'inclinazione del paramento di valle, infine, è stato ricavato utilizzando la seguente equazione:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \sqrt{\frac{c_2}{c_1 \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_w} - m}}$$

con:

$$c_1 = 1 - \left(\frac{H_D}{a + H_D}\right)^2 \cdot \left(2 - \frac{H_D}{a + H_D}\right) \quad \text{e} \quad c_2 = 1 - \left(\frac{H_D}{a + H_D}\right)^2 \cdot \left(3 - 2 \frac{H_D}{a + H_D}\right)$$

dove:

$\alpha$ : angolo di inclinazione del paramento di valle;

$\gamma_w [N/m^3]$ : peso specifico dell'acqua;

$\gamma_c [N/m^3]$ : peso specifico del calcestruzzo;

$a [m]$ : altezza della traversa;

$m [-]$ : indice del tipo di terreno;

ottenendo un valore di pendenza per il paramento di valle pari a 0,8 : 1 [orizzontale : verticale].

### Vasca di dissipazione

La vasca di dissipazione è stata dimensionata secondo i criteri USBR (Peterka, 1978), adottando una vasca di tipo III in cui due file di denti unitamente al gradone di valle, forzano la formazione del risalto idraulico all'interno della vasca.

La portata di dimensionamento è stata assunta pari a  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , valore superiore alla portata di picco sfiorante per un evento eccezionale con  $T_r = 1000$  ( $Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$ ) come indicato nell'elaborato "Relazione idrologica e idraulica generale".

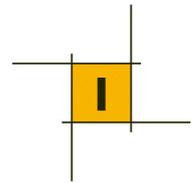
L'altezza dell'acqua al piede dello scivolo, è stata calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$Q = C_v \cdot L \cdot h_1 \cdot \sqrt{2g \cdot (H - h_1)} \quad (2)$$

dove:

$C_v [-]$ : coefficiente di velocità;

$h_1 [m]$ : altezza d'acqua a valle dello scivolo;



H [m]: carico a monte.

Applicando la seguente equazione è stato invece possibile ricavare l'altezza  $h_2$  coniugata ad  $h_1$ :

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot Fr_1^2} - 1 \right) \quad (3)$$

Dall'applicazione della (2) e della (3) si è così ottenuto:

- $h_1 = 0.2 \text{ m}$ ;
- $Fr_1 = 9.4$ ;
- $h_2 = 2.2 \text{ m}$ .

Tenendo in considerazione i risultati di dimensionamento secondo la letteratura specializzata (Peterka, 1978), si sono assunti per la vasca di dissipazione, le seguenti misure geometriche:

- Lunghezza della vasca:  $L_v = 9,2 \text{ m}$ ;
- Altezza della prima fila di denti dissipatori:  $h_1 = 0,3 \text{ m}$ ;
- Distanza tra i denti della prima fila :  $s_1 = 0,3 \text{ m}$
- Altezza della seconda fila di denti dissipatori:  $h_3 = 0,6 \text{ m}$ ;
- Distanza tra i denti della seconda fila :  $s_3 = 0,5 \text{ m}$
- Altezza del gradone di valle:  $h_3 = 0,5 \text{ m}$ .

#### Manufatto di scarico

Il manufatto di scarico è ubicato nel concio centrale dell'argine di progetto. Esso è costituito da due luci di dimensione  $2 \times 3 \text{ m}$  [base x altezza] ciascuna, presidiate da due paratoie piane su ruote.

Per la determinazione della variazione dell'apertura della paratoia (d) in funzione del livello di monte, si è utilizzata la seguente relazione:

$$Q = \mu \cdot d \cdot l \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3)$$

dove:

- $\mu$  [-]: coefficiente di efflusso;
- h [m]: carico;
- d [m]: apertura della paratoia;
- l [m]: larghezza della luce.

Il coefficiente di efflusso ( $\mu$ ) varia al variare dell'apertura della paratoia ed è stato assunto in accordo ai valori suggeriti in letteratura.

Nel grafico della figura e della tabella seguenti è illustrata la legge di regolazione dell'apertura della paratoia (d) al fine di limitare le portate scaricate a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , nel campo di variazione dei livelli idrici di monte tra 23 e 28,50 m s.m.m..

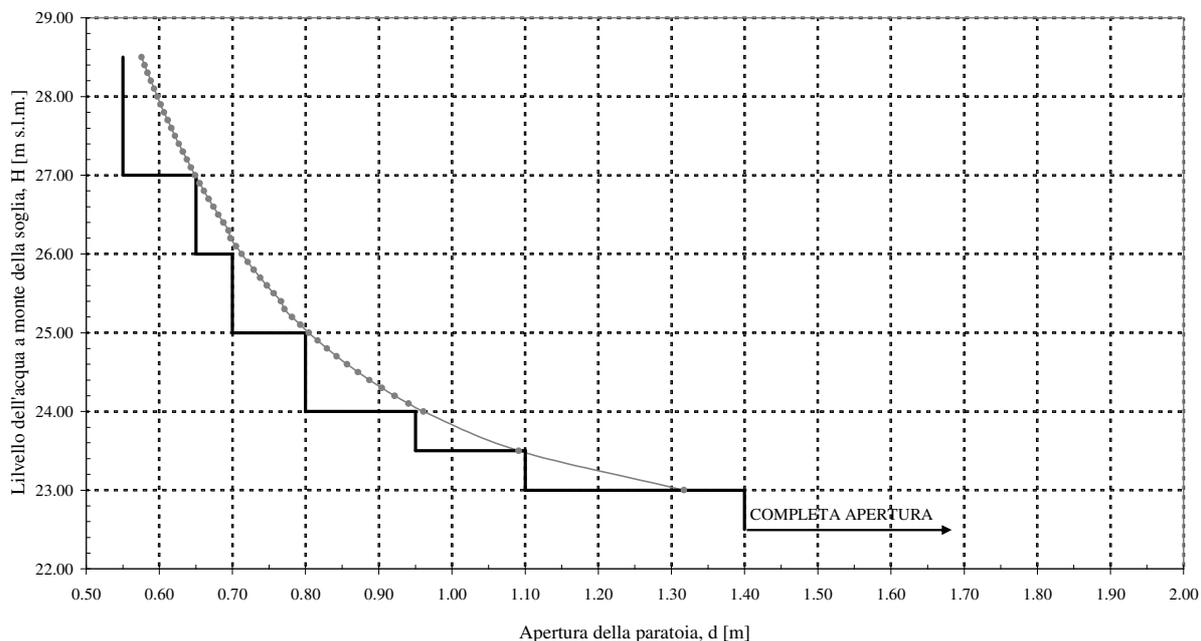


Fig. 27 - Manufatto di scarico – Legge di regolazione apertura paratoia

**TABELLA I**  
**Regolazione Paratoia - Portate scaricate**

Livelli idrici di monte L.S. (m. s.l.m.)	Grado di apertura paratoia d ( m )	Portate scaricate Q (m <sup>3</sup> /s)
21,0 < L.S. < 22,5	3,00	< 10
22,5 < L.S. < 23,0	1,40	<10
23,0 < L.S. < 23,5	1,10	8,7 > Q > 10,0
23,5 < L.S. < 24,0	0,95	8,9 > Q > 9,9
24,0 < L.S. < 25,0	0,80	8,5 > Q > 10,0
25,0 < L.S. < 26,0	0,70	8,8 > Q > 9,8
26,0 < L.S. < 27,0	0,65	9,2 > Q > 10,0
27,0 < L.S. < 28,5	0,55	8,5 > Q > 9,6

### 5.2.3 I muri d'ala

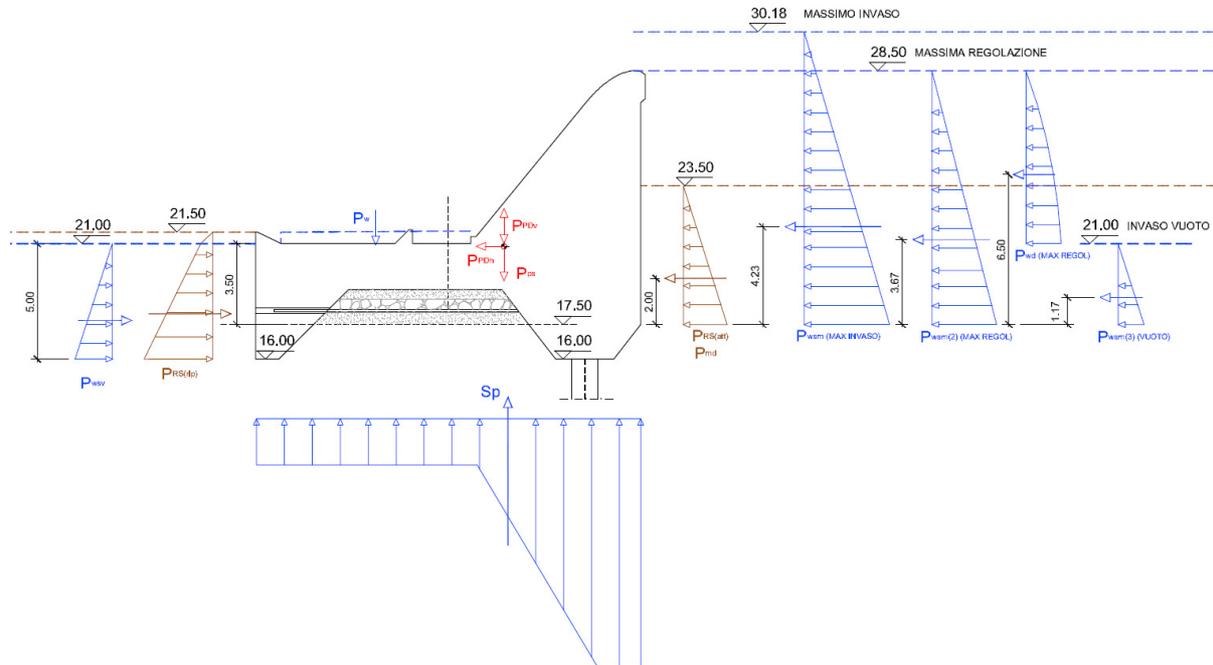
Si tratta di muri in c.a. gettati in opera che accompagnano il rilevato in terra che confina il manufatto di regolazione. In prospettiva il muro ha quindi la stessa forma trapezia della diga in terra.

Il muro è del tipo a mensola, con una elevazione di altezza variabile da 4.2 a 12.6m, spessore di un metro e dotato di 4 speroni con funzionamento a tirante. La fondazione, interamente rivolta a monte (verso il rilevato), ha uno spessore di 1.5m con una larghezza di 6m.

Dal punto di vista statico la struttura ha un funzionamento a piastra, essendo contrastato (in mezzeria e a valle) dal concio sfioratore e dal piastrone del manufatto dissipatore. Sul lato di monte il muro sarà interrato fino a q. 23.5 (quindi fino a quasi un terzo dell'altezza in asse e interamente nella parte terminale del muro).

#### 5.2.4 Verifiche di sicurezza

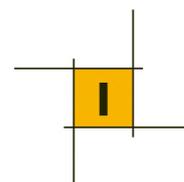
Per l'analisi dei carichi presi come riferimento per le varie verifiche, geotecniche e strutturali, del manufatto si è fatto riferimento allo schema seguente.



- 1)  $P_{PS}$  - azioni dovute al peso proprio in condizioni statiche;
- 2)  $P_{WS}$  - azioni dovute alle pressioni idrostatiche;
- 3)  $P_{RS}$  - azioni dovute alla spinta del rinterro;
- 4)  $S_p$  - azioni dovute alla spinta delle sottopressioni al di sotto della superficie di scorrimento;
- 5)  $P_W$  - azioni dovute al peso dell'acqua sopra la vasca di dissipazione;
- 6)  $P_{PD}$  - azioni sismiche inerziali orizzontali della massa strutturale;
- 7)  $P_{WD}$  - azioni sismiche dovute all'incremento dinamico della spinta dell'acqua;
- 8)  $P_{RD}$  - azioni sismiche dovute all'incremento della spinta del terreno.

Per i dettagli dell'analisi dei carichi si rimanda alla relazione tecnica ST-RE-100.

Nell'ambito delle attività di verifica condotte con il progetto esecutivo, si è appurato che le verifiche allo scorrimento condotte con i criteri del DM 14/1/2008 e con le ipotesi del progetto definitivo non risultano soddisfatte. Si è reso necessario quindi rivedere i criteri di calcolo, inserendo alcune varianti migliorative. In particolare è stata prevista la sostituzione del taglione in CSM con un diaframma strutturale, costituito da due file di pali secanti  $\varnothing 600\text{mm}$  disposti a quinconce, armati alternativamente. Nel progetto definitivo era infatti stato assunto un valore di resistenza a taglio pari a 360 kN/m per un diaframma di larghezza 120cm. Tale valore appare poco cautelativo se si considera che non si tratta di un taglione in calcestruzzo, ma di una mistura fluida di bentonite, cemento e terreno rimaneggiato (tecnologia CSM). Lo spessore di 120cm non è inoltre congruente con lo spessore considerato in progetto, pari a 60 cm.



Nel progetto esecutivo è stato previsto un diaframma con pali in cls (opportunamente additivati). Le armature dei pali saranno collegate strutturalmente con il manufatto in modo da poter prendere in conto l'effettiva resistenza a taglio del diaframma che contrasta le sollecitazioni trasmesse dalla struttura.

#### Verifiche allo scorrimento

Le verifiche sono state condotte secondo quanto previsto nel DM 14/1/2008 e con riferimento alla proposta della nuova normativa sulle dighe. I risultati sono i seguenti

	CONDIZIONI STATICHE					
	A1+M1			A2+M2		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
$F_{res\_TOT}/\gamma_R$ (kN/m)	-1444	-1459	-1871	1086	1095	1378
$F_{ag}$ (kN/m)	1124	865	224	876	677	192
<b>FS (-)</b>	<b>1.28</b>	<b>1.69</b>	<b>8.37</b>	<b>1.24</b>	<b>1.62</b>	<b>7.18</b>

	CONDIZIONI SISMICHE							
	EQK+M1				EQK+M2			
	C4	C5	C6	C7	C4	C5	C6	C7
$F_{res\_TOT}/\gamma_R$ (kN/m)	-1322	-1298	-1669	-1641	1105	1086	1389	1367
$F_{ag}$ (kN/m)	971	966	392	382	983	977	413	402
<b>FS (-)</b>	<b>1.36</b>	<b>1.34</b>	<b>4.26</b>	<b>4.29</b>	<b>1.12</b>	<b>1.11</b>	<b>3.36</b>	<b>3.40</b>

Le verifiche sul manufatto dello scarico di fondo restituiscono coefficienti di sicurezza sempre più elevati (v. relazione di calcolo ST-RE-103).

#### Verifiche di resistenza

Le tensioni risultanti sono state calcolate con l'ausilio di un programma di calcolo agli elementi finiti.

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate con le combinazioni di carico previste dalla normativa sulle dighe, analizzando i seguenti massimi stati tensionali:

- a. tensioni principali di compressione non superiori a:

$$\sigma_{comp(Rck,30)} = 6 + \frac{R_{ck,30} - 15}{4} = 6 + \frac{30 - 15}{4} = 9,75 \text{ N/mm}^2 = 9750 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{comp(Rck,20)} = 6 + \frac{R_{ck,20} - 15}{4} = 6 + \frac{20 - 15}{4} = 7,25 \text{ N/mm}^2 = 7250 \text{ kN/m}^2$$

- b. tensioni principali di trazione non superiori a:

$$\sigma_{traz} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Nelle zone dove sono rispettate le seguenti limitazioni tensionali:

$$\sigma_{comp(Rck,20)} = -7250 \text{ kN/m}^2 < \sigma < 300 \text{ kN/m}^2 = \sigma_{traz}$$

non occorre prevedere specifica armatura resistente.

In ogni caso, per evitare fenomeni di ritiro legato al normale processo di stagionatura del calcestruzzo, è stato previsto un minimo quantitativo di armatura disposto su tutta la superficie dei conci ( $\varnothing 16/30$  cm).

Al contrario, nelle zone dove non sono rispettati i limiti tensionali precedentemente esposti viene prevista una specifica armatura derivante da calcolo.

#### Verifiche di stabilità del complesso fondazione/terreno e cedimenti

Le verifiche geotecniche sono state condotte con gli usuali metodi geotecnici per il calcolo del carico limite del terreno (Terzaghi, Brinch-Hansen), analizzando separatamente i due conci sfioratori e il manufatto di restituzione. Le verifiche hanno fornito risultati soddisfacenti (v. relazione di calcolo ST-RE-103)

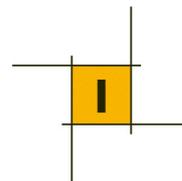
Per quanto riguarda i **cedimenti**, considerando globalmente la struttura, il carico unitario trasferito al terreno, su una superficie di 57x17m circa, è di circa  $120 \text{ kN/m}^2$  a cui va sottratto il decremento di carico unitario indotto alla stessa quota dal terreno asportato, pari a circa  $100 \text{ kN/m}^2$ . Il carico unitario netto risulta pari a circa  $20 \text{ kN/m}^2$  e quindi del tutto trascurabile in termini di cedimento verticale.

Le possibili rotazioni del manufatto sfioratore, che ha un carico eccentrico, sono inoltre limitate dai pali strutturali che costituiscono il diaframma (v. relazione ST-RE-103 per maggiori dettagli).

Si è posta invece l'attenzione sul problema dei cedimenti differenziali e differiti nel tempo che possono svilupparsi in corrispondenza dei **muri andatori**, successivamente alla costruzione dell'opera in cls, provocati dal rinterro del corpo della diga. Come si evince dalle fasi esecutive, l'intero manufatto di regolazione, compreso i muri andatori, verrà realizzato per fasi, ma unitariamente, e solo dopo il completamento del manufatto si provvederà al completamento della diga in terra a ridosso e al di sopra dei muri andatori.

I cedimenti legati alla realizzazione del manufatto (per quanto piccoli) saranno già esauriti al momento dell'esecuzione del rilevato, quindi l'intero cedimento provocato da questo sarà di tipo differenziale. Si ricorda che il giunto tra muro andatore e concio sfioratore è particolarmente delicato dal punto di vista strutturale e idraulico e per tale motivo è stato dotato di water-stop.

Le analisi condotte nell'ipotesi di una fondazione diretta di questo muro hanno fornito una stima di cedimento di circa 5 cm, da ritenere non accettabile nei confronti del giunto idraulico interposto tra il muro e il manufatto stesso. In risposta quindi anche alla prescrizione della Direzione Dighe, sono stati inseriti pali di fondazione che hanno la funzione di limitare i cedimenti. La disposizione della palificata è stata studiata con lo scopo di omogeneizzare i cedimenti che risultano assai variabili lungo il profilo del muro, sottoposto a carichi molto diversi in relazione alla conformazione del rilevato.



### 5.2.5 Strumentazione di controllo

Per il controllo del comportamento dell'opera di regolazione in fase di esercizio è stata prevista la seguente strumentazione:

- collimatore ottico di allineamento (n° 1) e mire fisse (n° 1) e mobili (n° 2);
- celle piezometriche a corda vibrante (n° 14);
- misuratore di livello di tipo piezometrico (n° 1);
- misuratore di livello ad ultrasuoni (n° 1);
- aste idrometriche (n° 2);
- pendolo rovescio (n° 1);
- estensimetri sui giunti (n° 4);
- assestimetri (n° 8);
- termometro per aria (n° 1);
- termometro per acqua (n° 1);
- termometro per calcestruzzo (n° 2).

### 5.3 Le strade di servizio

Il progetto prevede di realizzare due strade di servizio: una sulla sponda destra (strada nord), che serve per l'accesso al coronamento dell'argine da Via S. Alessandro, e una sulla sponda sinistra (strada sud) che ha la funzione di ricostituire la continuità del transito di veicoli agricoli lungo il fondovalle (interrotto dalla diga). Si tratta di strade di servizio di larghezza 3 m, che non richiedono particolari prescrizioni.

Per la progettazione di queste due strade si è fatto comunque riferimento al D.M 5/11/2001 adottando parametri di tracciamento tipici delle strade locali: sono stati garantiti raggi di curvatura non inferiori a 20 m e pendenze longitudinali non superiori al 10%.

Rispetto al tracciamento del progetto definitivo, che non garantiva questi parametri minimi, si è preferito privilegiare un tracciato più in scavo che in rilevato per due ordini di motivi: si tratta di tracciati che interessano terreni vulcanici, quindi i terreni di scavo possono essere riutilizzati per altri scopi (oltre che per i rilevati stradali stessi); inoltre, trattandosi di una strada che, almeno in un tratto, potrà essere sommersa dagli eventi di piena, si è preferito non realizzare rilevati assoggettabili a processi di sommersione ed erosione.

La sovrastruttura è costituita da uno strato di fondazione in misto granulare (sp. 20 cm), uno strato di binder (6 cm) e uno di usura bitumato (4 cm).

#### 5.4 Gli interventi sulle cavità in sponda destra

Le indagini eseguite in sede di progetto esecutivo hanno accertato la presenza di tre cavità artificiali in sponda destra, poco a monte della diga. La descrizione di dettaglio di queste cavità è riportata nella apposita documentazione allegata al progetto esecutivo.

La prima cavità, denominata **cavità C1**, è scavata nel tufo nudo con una forma a ferro di cavallo. La base è sub-orizzontale a quote di circa 24, di larghezza da 5.5 a 6m circa e altezza da 3 a 3.3m circa. La cavità si estende in orizzontale per circa 28m e termina al di sotto della Torre di Pratolungo; alla fine della galleria una sorta di camino verticale arriva in superficie, attraverso una botola posta a fianco della torre. All'interno della galleria si rinvencono numerosi altri condotti che sono in comunicazione con l'esterno e con le altre cavità.



Foto 1 – L'imbocco della cavità C1



Foto 2 – L'interno della cavità C1

Una seconda cavità, denominata **cavità C2**, è ubicata al piede della rupe sud della torre (foto 3), a quota 29.9. L'ingresso è rivestito in mattoncini; all'interno la grotta è molto ampia, scavata nel tufo nudo con forma a ferro di cavallo, di dimensioni 6.3m di larghezza e 3.5m di altezza circa. La cavità, attualmente utilizzata per lo stoccaggio di legna e altri materiali, ha una lunghezza di 36m circa. Anche all'interno di questa cavità sono stati rilevati condotti e cunicoli che si diramano verso l'alto, in verticale o lateralmente.

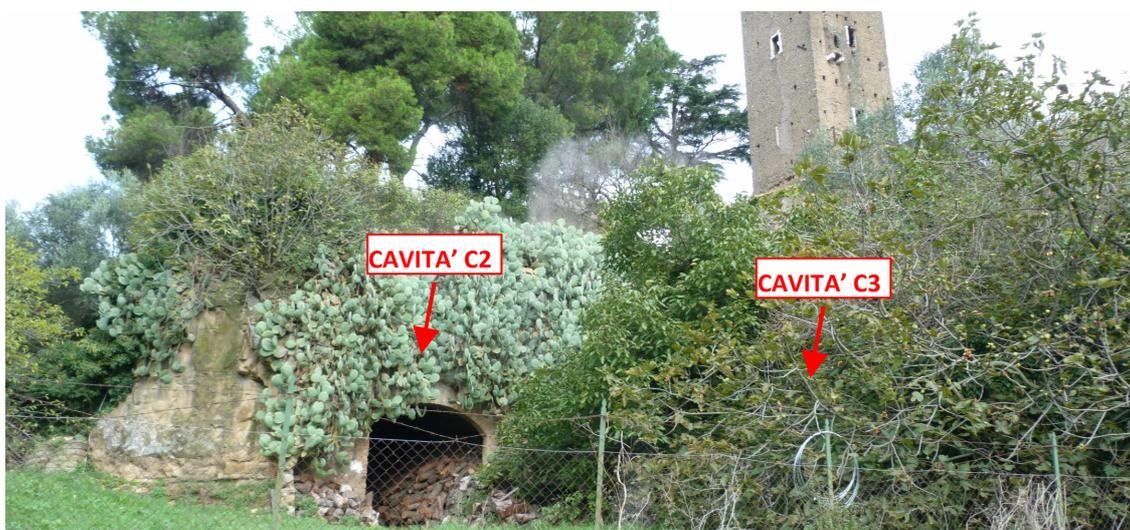


Foto 3 – L'imbocco della cavità C2

Infine, una terza cavità, denominata **cavità C3**, è stata scoperta pochi metri a fianco della cavità C2 (vedi foto 3), nascosta tra la fitta vegetazione. La galleria ha una sezione rettangolare, di dimensioni 2.5m di larghezza e 1.8m di altezza circa, con la base a q. 30 circa. La cavità si addentra nel sottosuolo per circa 12m; una diramazione verso sinistra collega questa cavità con la C2.



**Foto 4** – La cavità C2 vista dall'interno



**Foto 5** – L'ingresso della cavità C3

I rilievi effettuati hanno quindi accertato che delle tre gallerie, la cavità C1 ricade al di sotto delle quote di invaso con un battente di 4.5m rispetto alla quota di regolazione e circa 6m rispetto alla quota di massimo invaso. Le cavità C2 e C3 verrebbero solo lambite per pochi decimetri nel caso di sfioro.

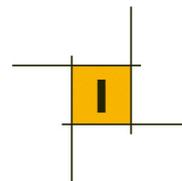
Escludendo il rischio di aggiramento idraulico dell'invaso, rimane il problema dell'effetto dei ripetuti riempimenti e svuotamenti provocati dall'invaso. Non si può escludere che questi cicli di immersione possano con il tempo portare ad una degradazione delle pareti tufacee, con la possibilità di crolli. La presenza di manufatti storici di valore al di sopra delle cavità, che già oggi appaiono in condizioni di stabilità non del tutto soddisfacenti, impone di procedere con un intervento di protezione.

Sono stati quindi previsti i seguenti interventi.

**CAVITA' C1.** Si è optato per il riempimento totale della cavità e dei relativi condotti. L'intervento sarà realizzato con le seguenti lavorazioni:

- a) costruzione di un setto in calcestruzzo gettato in opera a chiusura dell'ingresso;
- b) iniezioni di sigillatura sul contorno del setto di chiusura, per l'impermeabilizzazione dei terreni vulcanici e del contatto tra questi e il setto di calcestruzzo;
- c) riempimento della cavità con una miscela di pozzolana, cemento, sabbia e bentonite (e additivi per garantire elevata fluidità), pompata dalla superficie attraverso i condotti esistenti e fori appositamente realizzati. Un sistema di controlli assicurerà il riempimento delle cavità. Il volume stimato di riempimento di questa galleria è di circa 560 m<sup>3</sup>.

**CAVITA' C2 e C3.** E' stata prevista la realizzazione di una soglia in calcestruzzo per evitare l'entrata dell'acqua anche nel caso degli eventi più estremi.



### **5.5 Opere accessorie**

Tra le opere accessorie si ricordano le seguenti:

- I lavori di pulizia e taglio della vegetazione dai due fossi affluenti nel fosso di Pratolungo.
- Sistemazione della briglia esistente sul fosso di Pratolungo a monte dello sbarramento, con realizzazione di una soglia di fondo in massi ciclopici e scogliere spondali.
- Impianto di illuminazione della strada di coronamento dell'argine principale con lampioni fotovoltaici.
- Collegamenti con le piste esistenti per la creazione di un circuito ciclo-pedonale.
- Realizzazione di un tratto di marciapiede su via S. Alessandro.

## 6 SINTESI DELLE VARIANTI

Si riassumono sinteticamente le principali varianti introdotte con il progetto esecutivo a seguito dell'esecuzione dei rilievi e delle indagini e delle prescrizioni della Direzione Generale Dighe (DGD) e della commissione del pre-Comitato Tecnico Regionale (in seguito Pre-Comitato), facendo il riferimento ai vari commi dell'articolo 132 della L. 163/2006 relativi all'ammissibilità delle varianti stesse. La trattazione seguente ha il solo valore di riassunto sintetico e si rimanda ai capitoli precedenti e alle varie relazioni specialistiche di progetto per la trattazione completa degli argomenti.

Il riassunto delle modifiche introdotte a seguito di queste prescrizioni è riportato nella specifica relazione di ottemperanza alle prescrizioni (in questa relazione sono allegati i documenti prescrittivi dei vari enti).

### 6.1 VARIANTE N. 1. Materiali per la Diga in terra

Le prescrizioni impartite dalla Direzione Generale delle Dighe al progetto definitivo richiedono di «*prevedere indicazioni/norme prestazionali "stringenti" per i vari materiali costituenti le varie opere ed in particolare i rilevati*». Nel progetto esecutivo si è provveduto quindi a dettagliare ulteriormente le caratteristiche dei materiali da impiegare.

Con la campagna di indagini eseguita per il progetto esecutivo è stato possibile l'accesso in aree non indagate nelle precedenti fasi di progetto (aree private), con mezzi di indagine (escavatori e prelievo di materiali) non consentiti nelle precedenti fasi. Tali indagini hanno permesso di valutare compiutamente e in maniera estensiva le caratteristiche dei materiali interessati dagli scavi e che il progetto definitivo prevedeva di riutilizzare per la formazione del corpo diga. L'accertamento delle caratteristiche di questi materiali ha mostrato che questi non sono riutilizzabili per la formazione delle opere di sbarramento, come previsto nel progetto definitivo. Questa circostanza costituisce un impedimento a realizzare la soluzione prevista nel progetto definitivo. Ne è derivato un aumento dei quantitativi di materiale proveniente da cava e dei volumi di terreno di scavo da destinare a discarica. Per contro è stata individuata una discarica a distanza inferiore rispetto a quella indicata nel progetto definitivo. Un ulteriore riutilizzo di materiale di scavo è stato previsto nell'ambito del cantiere per sistemazioni morfologiche locali e formazione di arginelli. Questi accorgimenti hanno consentito una riduzione dei maggiori oneri connessi a tale variante.

La motivazione delle varianti è pertanto da attribuire ai **comma a) e d) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Maggiori riferimenti sono riportati nel par. 5.1.2 e inoltre nei seguenti elaborati:

- GT-RE-101\_Relazione Geotecnica
- RIN122IN-RE101\_Relazione sulle Indagini
- RIN122RA-RE102\_Relazione sulle Terre e Piano di gestione delle materie

Il **maggiore importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di **€ 452.604,47**.

## **6.2 VARIANTE N. 2. Diaframma impermeabile**

Le prescrizioni della Direzione Generale delle Dighe impartite in sede di progetto definitivo richiedono di «*eseguire un approfondimento di indagine sulla spalla sinistra (...) e valutare la prosecuzione in tale zona ed un maggiore ammorsamento dello schermo di tenuta in CSM*»; «*prevedere una accurata esecuzione del diaframma in fondazione, mediante opportune disposizioni costruttive, provvedendo ad un raddoppio dei pannelli costruttivi nelle zone di passaggio tra i diversi corpi dello sbarramenti (ove maggiori sono ipotizzabili i cedimenti differenziali)*».

Le indagini richieste ed eseguite in fase di progetto esecutivo, in aree non precedentemente indagate, hanno indicato la necessità di estendere e approfondire il diaframma in sinistra e inoltre di prevedere una estensione in destra. Le stesse indagini hanno confermato la necessità dei raddoppi nelle zone di passaggio. Oltre a queste modifiche geometriche è risultata necessaria una modifica alla tecnologia esecutiva del diaframma in quanto il metodo CSM previsto nel progetto definitivo non consente di eseguire raddoppi e presenta notevoli difficoltà esecutive nei tratti su pendio (resisi necessari per le estensioni prima citate); il metodo CSM non permette inoltre di armare il diaframma (l'armatura si è resa necessaria per garantire la verifica a scorrimento del manufatto). L'insieme di queste circostanze ha portato a introdurre la tecnologia dei pali secanti per l'esecuzione del diaframma.

La motivazione delle varianti è pertanto da attribuire ai **commi a) e d) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Maggiori riferimenti sono riportati nel par. 5.1.3 e inoltre nei seguenti elaborati:

- GT-RE-101 Relazione Geotecnica
- RIN122IN-RE101 Relazione sulle Indagini
- RIN122ST-RE 103 Relazione geotecnica di calcolo

Il **maggiore importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di **€ 333.999,72**.

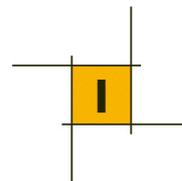
## **6.3 VARIANTE N. 3. Scavi di fondazione del manufatto di regolazione**

La possibilità di accedere in aree non precedentemente indagate e di effettuare degli scavi di saggio ha consentito di accertare le effettive caratteristiche meccaniche dei terreni superficiali interessati dagli scavi di fondazione, profondi fino a 7m; gli scavi hanno accertato la presenza di acqua a quote superficiali e le conseguenti difficoltà che si sarebbero create per garantire la stabilità degli scavi e la sicurezza delle maestranze. Si è resa quindi necessaria una variante che prevede la protezione degli scavi con un palancoato.

La motivazione delle varianti è pertanto da attribuire al **comma d) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Maggiori riferimenti sono riportati nel par. 5.1.4 e inoltre nei seguenti elaborati:

- GT-RE-101\_Relazione Geotecnica
- RIN122IN-RE101\_Relazione sulle Indagini



Il **maggiore importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di **€ 376.426,62**.

#### **6.4 VARIANTE N. 4. Manufatto sfioratore della diga.**

Le indagini eseguite in sede di progetto esecutivo hanno evidenziato la necessità di dotare il manufatto sfioratore di un ulteriore contributo di resistenza allo scorrimento per ottemperare alla normativa. Si è dovuto quindi inserire una seconda fila di pali del diaframma dotati di armatura.

La motivazione delle varianti è da attribuire al **comma d) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Maggiori riferimenti sono riportati nel par. 5.2.4 e inoltre nei seguenti elaborati:

- GT-RE-101\_Relazione Geotecnica
- RIN122IN-RE101\_Relazione sulle Indagini
- RIN122ST-RE 103 Relazione geotecnica di calcolo

Il **maggiore importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di **€ 143.505,81**.

#### **6.5 VARIANTE N. 5. Muri andatori della diga**

Le prescrizioni della Direzione Generale delle Dighe impartite al progetto definitivo richiedono di *«approfondire gli aspetti legati ai cedimenti, immediati e di consolidazione, con particolare riferimento alle zone di contatto tra rilevati e strutture murarie (...)»*. A seguito dell'esecuzione del modello fisico della diga la Direzione Dighe ha prescritto inoltre di alzare, prolungare e modificare i muri andatori in modo da confinare meglio il deflusso ed escludere la possibilità di sversamenti sul paramento di valle.

Le indagini eseguite in fase di esecutivo e le verifiche supplementari, hanno indicato la necessità di inserire pali di fondazione al di sotto dei muri con lo scopo di limitare i cedimenti. I muri sono poi stati alzati, modificati e proseguiti verso valle come da prescrizione a seguito della realizzazione del modello fisico della diga.

La motivazione delle varianti è pertanto da attribuire ai **commi a) e d) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Maggiori riferimenti sono riportati nel par. 5.2.4 e inoltre nei seguenti elaborati:

- GT-RE-101 Relazione Geotecnica
- RIN122IN-RE101 Relazione sulle Indagini
- RIN122ST-RE 103 Relazione geotecnica di calcolo

Il **maggiore importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di **€ 157.276,05**.

### **6.6 VARIANTE N. 6. Opere di protezione della diga e dei fossi**

Le prescrizioni della Direzione Generale delle Dighe richiedono di «*adottare provvedimenti ed eventuali opere di presidio atti ad escludere erosioni del rilevato diga a valle (...) prevedendo inoltre un manufatto dissipatore anche a valle dello scarico di fondo* ». Le prescrizioni di protezione della zona a valle del manufatto di restituzione sono poi state ribadite ed ampliate a seguito dell'esecuzione del modello fisico (*“rivestimento con massi di grandi dimensioni cementati in corrispondenza dell'alveo inciso a valle dello scarico di fondo”*).

Tutte queste prescrizioni sono state inserite in progetto che peraltro ha tenuto conto della diversa situazione dei luoghi accertata nel tratto di fosso a monte della diga, dove le opere eseguite per il precedente lotto hanno introdotto modificazioni della situazione rispetto a quanto rappresentato nel progetto definitivo.

La motivazione delle varianti è pertanto da attribuire al **comma c) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Maggiori riferimenti sono riportati nel par. 5.1.6:

Il **maggior importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di **€ 356.407,63**.

### **6.7 VARIANTE N. 7. Cavità**

Durante gli accertamenti eseguiti in sede di progettazione esecutiva sono state individuate e rilevate delle cavità presenti sulla sponda destra, poco a monte dello sbarramento. Queste cavità, la cui entrata ricade in aree di proprietà privata, sarebbero state interessate dall'invaso e hanno richiesto quindi un intervento di tamponamento e chiusura.

La motivazione delle varianti è pertanto da attribuire ai **comma a) e c) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Maggiori riferimenti sono riportati nel par. 5.4 e inoltre nei seguenti elaborati:

- DIN122EG-SZ101 Rilievo delle cavità e sezioni
- DIN122CA-PL101 Interventi sulle cavità Planimetria e sezioni

Il **maggior importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di **€ 68.310,92**.

### **6.8 VARIANTE N. 8. Argine a protezione dei manufatti storici**

A seguito delle raccomandazioni della Direzione Generale delle Dighe, che ha suggerito di riconsiderare la soluzione del progetto definitivo (viste le criticità derivanti dalla presenza stessa di questo argine) e in ottemperanza alla prescrizione del Pre-Comitato, che ha indicato di eliminare questa parte di opera, l'argine a protezione degli edifici storici è stato stralciato dal progetto.

La motivazione della variante è pertanto da attribuire al **comma a) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

Questa variante ha comportato quindi una diminuzione degli importi pari allo stesso importo di questa parte di opera secondo le previsioni del progetto definitivo. Tutte le varianti precedentemente studiate per questa parte di opera (emersa a seguito dei risultati delle indagini e delle prescrizioni della Direzione Dighe), sono pertanto decadute.

Il **minore importo dei lavori** (computato con i prezzi a base d'asta, al lordo del ribasso) derivante da questa variante è di € **-410.608,59**.

#### **6.9 VARIANTE N. 9. Sottoservizi sottopassanti la diga**

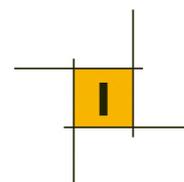
A seguito di varie istruttorie, la Direzione Generale delle Dighe ha richiesto di rivalutare la soluzione rappresentata dal passaggio delle fogne sotto la diga (soluzione proposta nel progetto definitivo).

Il Pre-Comitato ha inoltre prescritto di valutare soluzioni alternative per le condotte fognarie in modo da evitare il sottopassaggio del corpo diga.

Si è pertanto proceduto ad una nuova progettazione di queste condotte fognarie, esaminando varie soluzioni alternative insieme ai tecnici dell'ACEA, e concordando infine una soluzione che evita l'interferenza di queste condotte fognarie con il corpo della diga.

La motivazione della variante è pertanto da attribuire al **comma a) dell'art. 132 della L. 163/2006**.

La variante non ha comportato modifiche dell'importo dei lavori.



## 7 OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI DELLA DIREZIONE GENERALE DELLE DIGHE

In questo capitolo sono riassunte le soluzioni adottate in sede di progetto esecutivo per ottemperare alle prescrizioni impartite dalla Direzione Generale delle Dighe in sede di approvazione del progetto definitivo.

Si fa riferimento al documento con prot. 0000942-31/01/2011 e alle prescrizioni riportate a pagg. 4 e 5 del suddetto documento, che nel seguito vengono numerate progressivamente.

Si fa riferimento inoltre alla prima istruttoria sul progetto esecutivo consegnato alla DGD nel luglio 2013 (doc. prot. n. 0010776 del 07/08/2013) e alle indicazioni emerse durante le varie riunioni tecniche.

Prescrizione (sintetica)	Attività eseguite	Soluzioni progettuali conseguenti
1. Approfondimento di indagine in spalla sinistra	Indagine in spalla sinistra e nella zona di fondovalle della diga. Indagine nella zona dell'argine secondario. <i>Elab. IN-RE-101</i>	- Allungato il diaframma in spalla sinistra. §5.1.3 - Realizzato un maggiore ammorsamento. §5.1.3 - Definite le caratteristiche dei terreni di scavo con modifiche del bilancio delle terre. §5.1.2, 9. - Inserite opere di protezione degli scavi del manufatto. §5.1.4
2. Indagini nel bacino di invaso	Indagine nella zona di invaso <i>Elab. IN-RE-101</i>	-
3. Indagare le cavità presenti in destra	Rilievo delle cavità <i>Elab. EG-SZ-101</i>	Interventi di protezione e riempimento delle cavità che ricadono al di sotto delle quote di invaso. §5.4
4. Approfondire gli aspetti legati ai cedimenti... con particolare riferimento alle zone di contatto tra rilevati e strutture murarie	Approfondimento di indagine e analisi dei cedimenti. Le analisi hanno evidenziato che la diga in terra può provocare un cedimento sui muri d'ala (giuntati con water-stop al manufatto). <i>Relazione geotecnica ST-RE-103</i>	Inseriti pali di fondazione del muro (con funzione di limitatore dei cedimenti). §5.2.3
5. prevedere la "monta da assegnare al coronamento	Calcolo dei cedimenti (immediati e di consolidazione). <i>Relazione geotecnica RA-RE-101</i>	Prevista monta da 25 cm <i>Relazione geotecnica RA-RE-101</i>
6. prevedere un'unghia di materiale arido al piede di valle dell'argine minore		Opera stralciata
7. prevedere una accurata esecuzione del diaframma... raddoppio dei pannelli nelle zone di passaggio tra i diversi corpi dello sbarramento	Valutazione tecnologie alternative	Variante tecnologica con sistema dei "pali secanti". Introduzione di raddoppi in corrispondenza dei passaggi, di curve e di sottoservizi da dismettere. §5.1.3
8. prevedere... la massima cura nella progettazione e realizzazione dei dreni		Inseriti i dreni anche sotto il manufatto di restituzione. Inseriti pozzetti di ispezione dei dreni.
9. prevedere indicazioni/norme prestazionali "stringenti" per i vari materiali e in particolare i rilevati	Definizione dei fusi granulometrici. Indagini sulle terre di scavo (non risultate idonee per la formazione della diga - Tipo A).	Prevista fornitura di cava per il materiale tipo A della diga. Per il nucleo (tipo B) vengono utilizzate le terre da scavo (argillose).

		§5.1.2, 9.
<b>10.</b> Approfondire gli aspetti manutentivi e frequenza dei controlli		In corso di redazione da parte dell'Ente Gestore
<b>11.</b> provvedimenti e opere di presidio atti ad escludere erosioni del rilevato a valle della diga	Rilievi topografici integrativi. <i>Elab. EG-PL-105, 106</i>	Estensione della protezione con materassi a valle del dissipatore. Protezione con scogliere e gabbioni dei tre fossi a monte e del tratto di fosso a valle. Protezione con materassi del fosso di presidio a valle della diga. §5.1.5
<b>12.</b> Modello idraulico	In corso di esecuzione.	
<b>13.</b> spostamento della camera di manovra.		Spostata la camera di manovra al livello del coronamento. §5.2.1
<b>14.</b> Piano di laminazione		In corso di redazione da parte dell'Ente Gestore.
<b>15.</b> Onde di piena artificiali	In corso di esecuzione.	
<b>16.</b> Piano di gestione dell'invaso		In corso di redazione da parte dell'Ente Gestore.
<b>17.</b> estendere le verifiche ad ulteriori sezioni significative	Eseguite ulteriori sezioni di verifica per la diga in terra e il manufatto di scarico. <i>Relazione geotecnica RA-RE-101</i> <i>Relazione geotecnica ST-RE-103</i>	La sezione di verifica in destra della diga in terra ha mostrato la necessità di approfondire il diaframma di tenuta. §5.1.7
<b>18.</b> esplicitare i valori di calcolo dei parametri geotecnici per la definizione delle resistenze Rd...adeguare verifiche a NTC 2008...adozione barre armatura zincato	Effettuate verifiche integrative ai sensi delle NTC 2008. <i>Relazione geotecnica ST-RE-103</i>	Inserimento di diaframma integrativo strutturale sotto il manufatto per raggiungere i coefficienti richiesti dalle NTC 2008. Inserita armatura zincata nei pali del diaframma. §5.1.3, 5.2.3
Verifica idraulica e protezione strutturale e idraulica della condotta sotto l'argine secondario	Eseguite le verifiche. <i>Relazione idraulica RS-RE-102</i>	Opera stralciata
Protezione strutturale e idraulica dei collettori fognari sottopassanti la diga e l'argine secondario	Eseguite le verifiche. <i>Relazione geotecnica RA-RE-101</i> <i>Relazione geotecnica RS-RE-101</i>	Collettori fognari spostati su tracciato esterno alla diga

A seguito della consegna del progetto esecutivo e dell'esecuzione del modello fisico della diga, la Direzione Generale per le Dighe (prot. U. 0013441 del 03-07-2014) ha dichiarato "il generale adempimento alle prescrizioni in precedenza impartite" e ha approvato il progetto esecutivo "a condizione che nel prosieguo si dia riscontro alle raccomandazioni" descritte nell'istruttoria e nel documento di approvazioni.

Tali raccomandazioni sono state recepite nella ulteriore revisione del progetto. Le soluzioni adottate per rispondere a tali raccomandazioni sono descritte nella relazione di ottemperanza EG-RE-102 alla quale si rimanda per i dettagli.

## 8 OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI DEL PRE-COMITATO TECNICO REGIONALE

Con nota del 3/11/2014 (prot. 006178), il Consorzio di Bonifica Tevere e Agro Romano (nelle funzioni di Responsabile Unico del Procedimento) ha invitato l'Impresa ad adeguare il progetto esecutivo come specificato nella approvazione della DGD. Il progetto è stato quindi variato apportando le modifiche concesse dal contratto che regola i rapporti tra Ente Appaltante e Impresa esecutrice ed è stato trasmesso alla commissione del Pre-Comitato Tecnico Regionale della Regione Lazio (Pre-Comitato).

A partire dal Marzo 2015, si sono succeduti vari tavoli tecnici con il Pre-Comitato, dai quali sono emerse varie indicazioni e prescrizioni. Le prescrizioni sono sintetizzate nella tabella seguente insieme alle attività conseguenti eseguite dai progettisti incaricati e alle soluzioni adottate per l'ottemperanza a tali prescrizioni.

Maggiori riferimenti sono riportati nella relazione di ottemperanza EG-RE-102, nella quale sono allegati anche i verbali della commissione

Prescrizione (sintetica)	Attività eseguite	Soluzioni progettuali conseguenti
1. Studio di soluzioni alternative per l'argine a protezione degli edifici storici o eliminazione dello stesso	Studio di soluzioni alternative. Incontri tra il Consorzio e la Sovrintendenza durante i quali è stata concordata l'eliminazione dell'argine.	Eliminazione dell'argine
2. Effettuare lo studio di risposta Sismica Locale	Effettuato lo studio	I risultati dello studio non hanno comportato modifiche allo spettro di norma utilizzato nelle verifiche
3. Rivedere le soluzioni di sistemazione dei fossi a monte, cercando soluzioni più compatibili dal punto di vista ambientale (scogliera non cementata, tratti di fosso non rivestiti, eliminazione delle palificate in legno); riduzione dello spessore di terreno vegetale sul paramento di valle della diga da 50 cm a 10 cm	Revisione critica del progetto e studio di soluzioni alternative.	Confermata la necessità di rivestire il fosso di Pratolungo. Soluzioni diverse dalla scogliera (es. gabbioni) risultano più costose. È stato ridotto lo spessore della scogliera da 100 a 80 cm; cementazione mantenuta sulle pareti e un tratto di fondo, lasciando non cementato il centro dell'alveo, per garantire continuità idraulica. Eliminate le palificate in legno dei due fossi laterali, che vengono profilati in terra con savanella centrale; ridotto spessore del terreno vegetale a 10 cm.
4. Studiare soluzioni alternative per i due collettori fognari che sottopassano la diga in modo da evitare l'interferenza con questa	Studiate varie soluzioni alternative di concerto con ACEA.	Individuate soluzioni che evitano l'interferenza dei due collettori fognari con la diga. Modificato progetto.
5. Rivedere i computi a seguito delle modifiche e predisporre un quadro di raffronto con il progetto definitivo separato per le singole varianti	Revisione dei computi e del quadro di raffronto	Predisposti specifici elaborati
6. Motivare le singole varianti con specifico riferimento all'Art. 132 della L. 163/216	Sviluppato il tema	Motivazioni inserite nello specifico Capitolo 6 della Relazione Generale

## 9 PIANO DI GESTIONE DELLE TERRE

La sostenibilità ambientale degli interventi come quelli in progetto è fortemente influenzata dalla corretta gestione dei movimenti terra. Per limitare al minimo il ricorso a cave di materiale naturale, il trasporto e lo smaltimento in discarica del terreno scavato e per ottimizzare la gestione del cantiere, è stata ricercata quindi una soluzione che potesse massimizzare il riutilizzo delle terre provenienti dagli scavi nel rispetto delle prescrizioni da Capitolato e delle regole del buon costruire.

Con riferimento alle problematiche illustrate nei capitoli precedenti, si riassumono i criteri che sono stati seguiti per la definizione del piano di gestione delle terre.

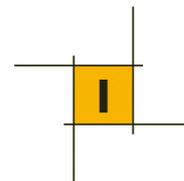
I **materiali provenienti dagli scavi** all'interno del cantiere sono delle seguenti tipologie:

1. scavi di fondazione della diga in terra e del manufatto di regolazione nelle zone di fondovalle, a granulometria prevalentemente limo-argillosa;
2. scavi di fondazione delle spalle della diga in terra, di natura vulcanica a granulometria limoso-sabbiosa;
3. scavi per la realizzazione delle due strade di accesso, di natura vulcanica a granulometria sabbioso-limosa;
4. scavi per lo spostamento dei sottoservizi e delle deviazioni dei fossi, di varia granulometria, ma prevalentemente limo-argillosa.

L'impostazione concettuale seguita per le operazioni di scavo e di reimpiego delle terre è illustrata nella relazione sulle terre e sul piano di gestione delle materie alla quale si rimanda per i dettagli.

In questa sede si riassumono i criteri che sono alla base del piano di gestione delle terre adottato.

- 1) Dagli scavi di scotico e di fondazione della diga in terra (compreso il manufatto di regolazione) sarà scartata tutta la parte superficiale degli scavi (almeno i primi 50cm), fortemente rimaneggiati dalle colture agrarie e ricchi di sostanza organica; rientrano poi in questa stima anche i terreni più plastici (in particolare quelli con  $LL > 50\%$  e  $IP > 30\%$ ) che risultano oggettivamente difficili da compattare anche con procedure particolari e/o con trattamenti vari. Da questo volume è stato detratto il quantitativo richiesto per la formazione dello strato vegetale sul paramento di valle della diga e degli arginelli locali, per i quali è possibile il reimpiego dello stesso strato vegetale asportato con lo scotico e che sarà adeguatamente stoccato in cantiere per il successivo riutilizzo. Una parte del volume di questi scavi potrà essere reimpiegato per la formazione del nucleo (materiale tipo B) della diga in terra, previa opportuna verifica in cantiere delle caratteristiche dei materiali. Una parte sarà riutilizzato per rinterrati dove richiesto anche con stabilizzazione a calce/cemento). Il resto sarà conferito a discarica.
- 2) Una procedura analoga è stata prevista per gli scavi di fondazione delle spalle della diga in terra. Questo materiale verrà però stoccato separatamente poiché, essendo materiale a granulometria prevalentemente limo-sabbiosa o sabbioso-limosa, esso potrà essere utilizzato per riempimenti strutturali (anche con stabilizzazione) per i quali sono richiesti materiali più facilmente compattabili.



- 3) Dagli scavi per le strade una parte andrà ad essere riutilizzata per la formazione dei rilevati stradali, mentre la parte più superficiale potrà costituire il rivestimento di terra vegetale previsto sempre per queste strade. La rimanenza sarà impiegata come indicato al punto 2.
- 4) Il volume degli scavi provenienti dalla deviazione dei fossi, al netto del quantitativo utilizzato per i riempimenti legati alle stesse lavorazioni (riempimenti di tratti di fossi abbandonati), sarà riutilizzato per la formazione di arginelli e riempimenti di depressioni e anomalie morfologiche locali.
- 5) Il volume degli scavi provenienti dai lavori di deviazione dei sottoservizi sarà reimpiegato per il rinterro delle stesse tubazioni e solo la piccola parte in eccedenza (rappresentato dal volume delle condotte stesse) sarà conferito a discarica.

Da questa impostazione si ricava il seguente **bilancio delle terre**.

Parte di opera	Scavi (mc)	Rinterri (mc)						
		Nucleo	Argine/ rilevati	Dreni e filtri	Scogliera	Materassi e gabbioni	Rinterri	Stabilizz.
Diga in terra	30.938	12.539	68.011	5.695		2.620		388
Manufatto di regolazione	7.455			795		375	3.340	1.968
Strade di accesso	2.294						684	
Deviazione fossi e protez. idraulica	16.945				3.688	1.106	18.314	2.000
<b>TOTALE</b>	<b>57.632</b>	<b>12.539</b>	<b>68.011</b>	<b>6.490</b>	<b>3.688</b>	<b>4.101</b>	<b>22.338</b>	<b>4.356</b>

Risulta quindi il seguente bilancio delle terre globale.

<b>TOTALE BILANCIO DELLE TERRE</b>		<b>U.M.</b>
TOTALE SCAVI	57.632	mc
TOTALE TERRENO DA SCAVI REIMPIEGATO	39.233	mc
TOTALE QUANTITA' A DISCARICA	18.399	mc
TOTALE DA CAVA PER RILEVATI	68.694	mc
TOTALE DA CAVA PER GABBIONI, MATERASSI, PIETRAMME, DRENI	14.279	mc

## 10 INTERFERENZE ED ESPROPRI

### 10.1 Interferenze con sottoservizi

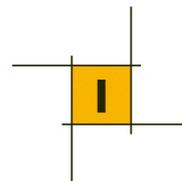
Nel Progetto Definitivo sono stati individuati i seguenti enti gestori delle reti aeree e sotterranee interferenti con le opere in progetto:

- Comune di Roma (fognature, linee telefoniche);
- Acea S.p.a.(acquedotti, fognature, linee elettriche);
- Italgas (metanodotti).

I dati reperiti sono stati integrati col rilievo celerimetrico di dettaglio, coadiuvato in caso di presenza di tubazioni metalliche dall'utilizzo di *metal detector*. L'ubicazione di tutti i servizi esistenti è mostrata nella tavola Planimetria di rilievo, delle indagini e delle interferenze.

Sono stati individuati i seguenti servizi:

- un collettore fognario di acque nere  $\Phi 500$ , che entra nell'area di progetto da est, dalla località Settecamini, costeggia in sinistra idraulica il fosso di Pratolungo ed esce ad ovest dall'area suddetta per collegarsi al depuratore adiacente a Via di Sant'Alessandro;
- un collettore fognario di acque nere  $\Phi 500$  entra nell'area d'intervento da sud, dall'area industriale immediatamente a nord della Via Tiburtina, e si innesta nel precedente a circa 250 m dall'asse del rilevato di progetto;
- un collettore fognario di acque bianche  $\Phi 1000$ , proveniente sempre dall'area industriale immediatamente a nord della Via Tiburtina, costeggia a ovest il collettore  $\Phi 500$  già citato e ha come recapito finale un fosso, il quale costeggia il fosso di Pratolungo in sinistra idraulica e vi confluisce poco a valle dell'asse del costruendo rilevato;
- un collettore fognario di acque miste tipo VII (ovoidale 80 cm x 120 cm) che entra nell'area d'invaso da nord, da località Casal Monastero, e attraversa il fosso di Pratolungo subito a valle di Via di Sant'Alessandro per immettersi nel depuratore già menzionato;
- un collettore fognario di acque bianche  $\Phi 600$  che entra nell'area d'invaso da nord, da località Casal Monastero, costeggia la curva di livello di massimo invaso e si immette nel precedente collettore tipo VII a circa 60 m a est dall'asse dell'opera in progetto;
- 2 metanodotti, un DN350 – 5 bar e l'altro un DN600 – 24 bar, costeggiano in sinistra idraulica tutto il tratto del fosso di Pratolungo oggetto d'interesse, e provengono entrambi dalla Centrale Italgas ubicata a monte di Via di Marco Simone;
- un impianto di irrigazione di proprietà di un locale consorzio, con condotte DN200; esso comprende un impianto di sollevamento, posto in destra idraulica rispetto al fosso di Pratolungo e ricadente nell'area di progetto del costruendo rilevato, e una vasca di accumulo, posta a nord dell'area d'invaso in località



Casal Monastero; le condotte dell'impianto risalgono il fosso di Pratolungo a partire dall'impianto di sollevamento e attraversandolo per 2 volte, prima di dividersi: una condotta risale a est fino alla citata vasca di accumulo, l'altra riattraversa il fosso e prosegue nei campi per altri 440 m circa;

- le linee elettriche di media tensione intersecano l'area di invaso i 4 punti:
  - a) a ovest, una linea proviene dalla zona in cui è situato l'impianto di depurazione precedentemente citato e si spinge fino all'impianto di sollevamento dell'impianto di irrigazione;
  - b) un'altra linea attraversa in diagonale l'area d'interesse da nord a sud, da Via della Torre di Pratolungo, in località Casal Monastero, all'area industriale sita a nord della Via Tiburtina, per poi proseguire in direzione della località Settecaminì;
  - c) una terza taglia marginalmente l'area d'invaso a nord, sempre nei pressi di Via della Torre di Pratolungo;
  - d) l'ultima interessa marginalmente l'area di invaso ad est, nei pressi della Centrale Italgas sita in Via di Marco Simone.

Come precedentemente detto, per le condotte fognarie che passano al di sotto della diga, è stata prevista una variante con tracciati che risultano esterni alla diga stessa in modo da evitarne le interferenze.

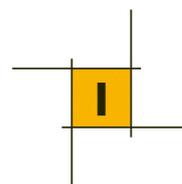
### **10.2Espropri**

Le piccole modifiche apportate al progetto hanno consentito di confermare il piano particellare di esproprio approvato in sede di progetto definitivo, senza necessità di revisioni particolari, per quanto riguarda la diga in terra principale.

Piccole variazioni nell'ambito delle stesse particelle espropriate saranno necessarie per quelle parti di opere che hanno subito leggere variazioni geometriche o spostamenti.

Sono state aggiunte alcune aree di esproprio temporaneo per migliorare la cantierizzazione e per effettuare le lavorazioni delle cavità non precedentemente previste. Anche questi espropri temporanei aggiuntivi ricadono in particelle già inserite nel precedente piano.

Tutti gli espropri previsti per l'argine a protezione degli edifici storici sono invece stati eliminati.



## 11 ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

Si prevede la realizzazione dell'opera in un periodo di 250 giorni, come indicato nel Cronoprogramma (elab. EG-CP-101). In questo elaborato sono riportate le fasi di cantierizzazione (illustrate graficamente nell'elaborato EG-PC-102) nel seguente ordine (alcune di queste fasi si sviluppano simultaneamente per cui si rimanda al cronoprogramma per un esame più approfondito):

- ✓ installazione del cantiere ed esecuzione delle piste di lavoro;
- ✓ risoluzione delle interferenze;
- ✓ deviazione provvisoria dei fossi e realizzazione delle strade di collegamento;
- ✓ scavi di fondazione del manufatto di regolazione e relativo diaframma;
- ✓ realizzazione opere di regolazione;
- ✓ realizzazione diaframma della diga in terra in destra;
- ✓ realizzazione della diga in terra in destra;
- ✓ sistemazione definitiva dei fossi;
- ✓ realizzazione diaframma della diga in terra in sinistra e completamento della diga in terra in sinistra;
- ✓ opere di finitura, opere elettromeccaniche e impianti;
- ✓ chiusura del cantiere.

La rappresentazione grafica delle aree di cantiere impegnate nelle diverse fasi di realizzazione è riportata nella Planimetria delle aree di cantiere e delle fasi esecutive (elaborato EG-PC-101).

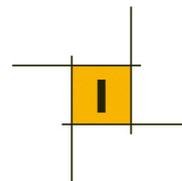
## 12 SICUREZZA E AMBIENTE

### ***12.1 Sicurezza degli impianti***

In fase di realizzazione la sicurezza degli impianti e delle attività è assicurata dal rispetto delle prescrizioni previste nel Piano di sicurezza e coordinamento.

In fase di esercizio, la tecnologia impiegata (regolazione deflusso a mezzo di paratoie) risulta di indubbia affidabilità, giustificata dall'esperienza e dalla sua diffusione come scelta progettuale adottata in impianti analoghi di precedente realizzazione.

Al fine di garantire nel tempo la pubblica incolumità ed il corretto mantenimento in piena efficienza dell'opera, sia dal punto di vista delle strutture sia da quello delle paratoie (meccanismo di azionamento, sistema elettrico di alimentazione e paratoie stesse), è in corso di redazione un apposito Piano di manutenzione dell'opera da parte dell'Ente gestore. Nello stesso piano saranno definite tutte le operazioni e le manovre necessarie per garantire la pulizia dei fossi e delle opere di scarico e regolazione.



### **12.2 Impatti ambientali e mitigazioni**

Gli studi ambientali condotti in sede di progetto definitivo hanno individuato i possibili impatti sui seguenti comparti ambientali:

- suolo,
- rumore,
- atmosfera,
- ecosistema naturale,
- paesaggio.

In fase di progetto definitivo sono quindi stati individuati i seguenti interventi al fine di eliminarli, ridurli o, quando ciò non sia possibile, almeno mitigarne gli effetti.

Il comparto suolo è interessato soprattutto per il notevole quantitativo di materiale richiesto dalla costruzione del rilevato arginale e perciò è stato sviluppato un opportuno piano di gestione delle terre (si veda il cap. 8). Al fine di prevenire l'inquinamento del suolo e della falda idrica, le attività concernenti la manipolazione di oli e/o sostanze inquinanti verranno eseguite su aree impermeabilizzate opportunamente allestite e nel caso di sversamento accidentale si procederà a rimuovere il terreno inquinato e smaltirlo in conformità alle norme vigenti.

L'emissione di rumore durante la realizzazione dell'opera risulta al di sotto dei limiti di normativa rispetto ai ricettori più prossimi all'area di cantiere mentre, per quanto riguarda il comparto atmosferico, ci si è preoccupati del problema della dispersione di polveri prevedendo opportuni accorgimenti per la mitigazione, come ad esempio l'adozione di una ridotta velocità dei mezzi all'interno del cantiere. Inoltre i ricettori più prossimi all'area di progetto sono attualmente "protetti" dalla presenza di vegetazione, di tipo spontaneo e non, la quale assicura un effetto schermante sia nei confronti del rumore sia della dispersione delle polveri di cantiere.

La mitigazione degli effetti sull'ecosistema è stata ottenuta prescrivendo che i lavori previsti in alveo siano svolti in periodo autunnale e/o invernale.

Tutti i comparti ambientali su citati presentano impatti nella sola fase di realizzazione dell'opera; ne consegue che tali impatti, oltre ad essere di tipo reversibile, sono anche limitati nel tempo.

L'impatto sul paesaggio, sostanzialmente dovuto all'ingombro visivo dell'opera, è il solo di tipo permanente; per un rapido e consono inserimento nell'ambiente naturale preesistente sono stati previsti perciò opportuni interventi di risistemazione a verde e riqualificazione ambientale.