



REGIONE SICILIA  
Assessorato regionale dell'energia  
e dei servizi di pubblica utilità  
Dipartimento regionale dell'acqua e dei rifiuti



## DIGA GIBBESI

RIVALUTAZIONE SISMICA, STUDIO DELLE PRESSIONI NEUTRE E MOTI DI FILTRAZIONE, PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, MANUTENZIONE STRAORDINARIA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUARDIA - POZZO - PARATOIE E RIEFFICIENTAMENTO STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

A

## RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

Dott. Ing. Antonino Margagliotta

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA:

Mandataria

Mandanti



GEO R.A.S. s.r.l.



DIREZIONE DI PROGETTO PER L'ATI :

TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

TITOLO ELABORATO: RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA  
DELLE OPERE ACCESSORIE

### CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITÀ  
TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO

ELABORATO N° :

II122F-A-SIS-RT-216-00

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		G. Buffati	A. Marani	A. Rizzo		
REVISIONE	N.	DESCRIZIONE		RED.	VER.	APP.
	1	00	Emissione Luglio 2021	G.B.	A.M.	A.R.
	2					
	3					

NOME FILE :

II120F-RI-SIS-RT-216-00.docx



DATA :

Luglio 2021

SCALA :

-

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETÀ DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 1 di 48</p>

**Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità  
Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti**



**PROGETTO PER L'AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI INGEGNERIA RELATIVI ALLO STUDIO DI RIVALUTAZIONE SISMICA DELLE OPERE STRUTTURALI DELL'IMPIANTO, ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DELLA MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUARDIA – POZZO PARATOIE, ALLO STUDIO INTERPRETATIVO E ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEL RIEFFICIENTAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO**

***DIGA GIBBESI***

**RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA  
SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE**



**CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO**

***RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'  
TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO***



	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p><b>III22F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p style="text-align: right;"><b>Pag. 2 di 48</b></p>

## INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO	5
2.	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
2.1.	Normative utilizzate in fase di progettazione esecutiva	6
2.2.	Normativa di riferimento attuale	6
2.3.	Relazioni di calcolo e disegni dell'epoca	7
3.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
4.	ANALISI STORICO-CRITICA	10
4.1.	Progetto di fattibilità (1972)	10
4.2.	Progetto esecutivo (1981-1983)	11
4.3.	La casa di guardia oggi	16
4.3.1.	Stato di fatto	16
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO	19
5.1.	Caratterizzazione geotecnica del progetto esecutivo originale	19
5.2.	Caratterizzazione geotecnica attuale	24
6.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	25
6.1.	Caratteristiche dei materiali dal progetto originale	25
6.2.	Indagini sui materiali e prove di laboratorio	25
6.2.1.	Indagini METROTEST (maggio 2021)	25
7.	IPOTESI DI CALCOLO	30
7.1.	Parametri sismici	30
8.	SEZIONE TIPOLOGICA	32
9.	ANALISI DEI CARICHI	34
9.1.	G <sub>1</sub> – Carichi permanenti strutturali	34
9.1.1.	Peso proprio	34
9.1.2.	Spinta statica del terreno	34
9.2.	G <sub>2</sub> – Carichi permanenti non strutturali	35
9.3.	Carichi variabili	35
9.3.1.	Spinta dovuta a sovraccarichi accidentali	35
9.4.	E – Azioni sismiche	36
9.4.1.	Inerzia della struttura	36
9.4.2.	Spinta sismica del terreno	37
10.	COMBINAZIONI DI PROGETTO	43
11.	VERIFICHE	45
11.1.	Verifica statica (SLU)	45

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b></p>	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p><b>Pag. 3 di 48</b></p>



11.2. Verifica sismica (SLV)	46
12. PROPOSTA TECNICA DI ADEGUAMENTO SISMICO DELL'OPERA	47
13. STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO PROPOSTO PER LA MESSA IN SICUREZZA SISMICA DELL'OPERA	48

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 4 di 48</p>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1: Canale di restituzione in alveo – Sezione tipo	8
Figura 3.2: Canale di restituzione in alveo – Vista in pianta	8
Figura 3.3: Canale di restituzione in alveo	9
Figura 3.4: Canale di restituzione in alveo – Vista lato Sud ed Est	9
Figura 4.1: Progetto di fattibilità del 1972 – Sezione tipo del canale di restituzione	10
Figura 4.2: Progetto esecutivo del 1983 – Sezione tipo armata	14
Figura 4.3: Progetto esecutivo del 1983 – Particolare giunto	14
Figura 4.4: Progetto esecutivo del 1983 – Armature soletta di fondo	15
Figura 4.5: Particolare del raccordo tra la vasca il canale di restituzione	17
Figura 4.6: Canale di restituzione – Fenomeni di smottamenti di terreno in alveo	17
Figura 4.7: Canale di restituzione – Deterioramento calcestruzzo sulle sponde	18
Figura 4.8: Canale di restituzione – Particolare armature ossidate	18
Figura 5.1: Fig. 1 Relazione geologica – Verifica stabilità dopo scavo sez. 7	23
Figura 5.2: Fig. 2 Relazione geologica – Verifica stabilità dopo scavo sez. 7 (in falda)	23
Figura 8.1: Diga di Gibbesi – Canale di restituzione – Sezione tipo	32
Figura 8.2: Sezione tipologica del paramento del canale	33
Figura 9.1: Notazione utilizzata nella formulazione di Mononobe e Okabe	38
Figura 9.2: Sezione tipo con indicazione delle spinte statiche e sismiche sul paramento	41





	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 5 di 48</p>

## 1. OGGETTO E SCOPO

L'oggetto della presente relazione è il canale di restituzione in alveo della diga di Gibbesi.

Lo scopo della presente relazione è la determinazione della vulnerabilità sismica del canale di restituzione in alveo e lo studio di fattibilità tecnico economica degli interventi d'adeguamento strutturale. Oltre all'aspetto sismico, parallelamente, al fine di avere un quadro generale sul comportamento delle strutture costituenti la casa, saranno condotte anche le verifiche di sicurezza statica.

Per i dati generali e i criteri di progetto si rimanda alla relazione II122F-A-SIS-RT-201 – “*Dati generali e criteri di progetto*” contenuta nel presente progetto, dove, alla luce delle normative vigenti, si riportano i dati generali e i criteri adottati nel progetto della rivalutazione sismica delle opere accessorie della diga di Gibbesi e dello studio legato alla valutazione tecnico-economica degli interventi per la loro messa in sicurezza sismica (studio di fattibilità tecnico-economica). L'adeguamento sismico proposto a livello di fattibilità tecnico-economica, se necessario, ha lo scopo di definire quegli interventi atti ad aumentare la sicurezza sismica strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza richiesti dalla normativa vigente per le costruzioni nuove.

 <b>III22F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b>	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b>  <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	 <b>Pag. 6 di 48</b>
---	---	---

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1. Normative utilizzate in fase di progettazione esecutiva



Il progetto esecutivo della casa di guardia risale al 2-12-1985 ed è stato ritrovato integralmente negli archivi della scrivente. Le strutture sono state progettate utilizzando una normativa che, ad oggi, risulta obsoleta; in particolare si ricordano le seguenti normative:

- Legge 2 febbraio 1974, n° 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. 19 giugno 1984 “Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche”;
- D.M. 1 aprile 1983 “Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche”, ai sensi della legge 5 novembre 1971, n° 1086;
- D.M. 21 gennaio 1981 “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, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Circolare LL.PP. 9 novembre 1978, n° 18591 “Istruzioni relative ai carichi, sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni”.

### 2.2. Normativa di riferimento attuale

Per eseguire l'analisi e la verifica della struttura in oggetto per questa relazione si utilizzano le normative attuali:

- DM 17/01/2018: “Norme tecniche per le costruzioni”, abbreviate nel seguito con l'acronimo “NTC 2018”;
- Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP.: “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- DM 14/01/2008: “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, abbreviate nel seguito con l'acronimo “NTC 2008”;
- Circ. 02/02/2009, n. 617 C.S.LL.PP.: “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- UNI 11104: “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità” – istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206.
- EC2\_UNI EN 1992-1-1: “Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b></p>	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p><b>Pag. 7 di 48</b></p>

- EC8\_UNI EN 1998-1: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per edifici”.

### 2.3. Relazioni di calcolo e disegni dell'epoca

Sono state ritrovate dalla scrivente le seguenti relazioni di calcolo e disegni dell'epoca della progettazione dell'opera:

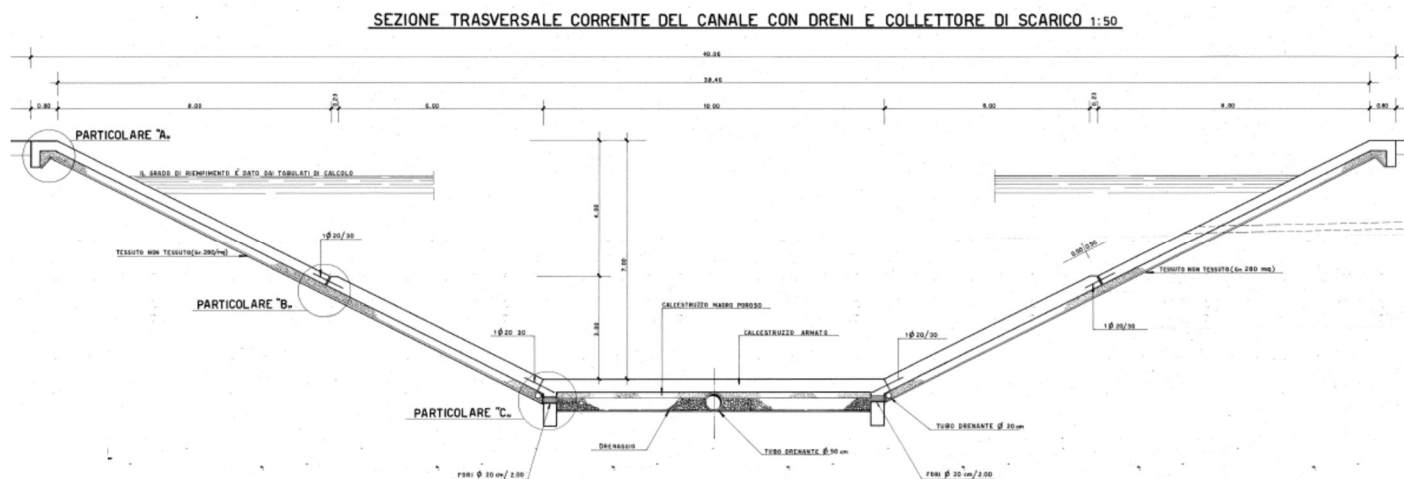
- I-1-C9 “Opere di scarico – Canale di restituzione – Sezione tipo”, datata 20/06/1972
- OI.09-C-496-2 “Canale di restituzione – Relazione idraulica”, datata 05/1982
- OI.09-C-497-2 “Canale di restituzione – Modello matematico – Tabulati di calcolo”, datato 05/1982
- OI.09-C-501 “Canale di restituzione – Relazione tecnica”, datata 03/1981
- OI.09-C-502-2 “Canale di restituzione – Relazione geologica”, datata 05/1982
- OI.09-C-519-2 “Canale di restituzione – Computo metrico”, datato 05/1982
- OI.09-C-550 “Canale di restituzione – Relazione idraulica”, datata 03/1981
- OI.09-C-550-A “Canale di restituzione – Modello matematico – Tabulati di calcolo”, datato 03/1981
- OI.09-C-559 “Canale di restituzione – Relazione esplicativa”, datata 03/1981
- Disegni da OI.09-C-498-2 fino a OI.09-C-558 e da OI.09-C-700-2 fino a OI.09-C-713 del Progetto Esecutivo del 1982-83



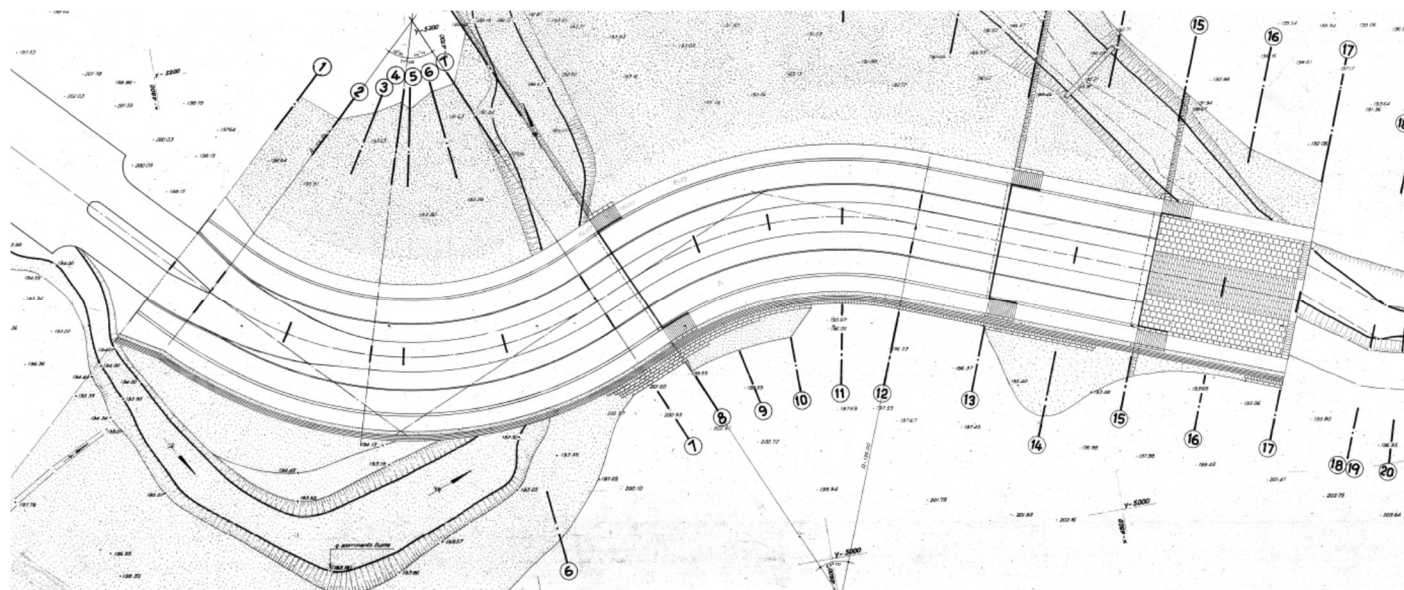
### 3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il canale di restituzione delle acque nell'alveo del torrente Gibbesi è un'opera posta a valle della vasca di dissipazione e serve, appunto, ad unire quest'ultima al letto del torrente.

La struttura risulta essere sostanzialmente un rivestimento dell'alveo e delle due sponde laterali eseguito in c.a.. Le sponde sono rivestite da due piastre in c.a., di spessore variabile da 30 a 40 cm, giuntate attraverso delle barre Ø20/30. Lo stesso vale per il giunto posto tra la soletta di rivestimento del fondo, spessa 40 cm, e le pareti.




**Figura 3.1: Canale di restituzione in alveo – Sezione tipo**



**Figura 3.2: Canale di restituzione in alveo – Vista in pianta**



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 9 di 48</p>





**Figura 3.3:** Canale di restituzione in alveo



**Figura 3.4:** Canale di restituzione in alveo – Vista lato Sud ed Est



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 10 di 48</p>

## 4. ANALISI STORICO-CRITICA

### 4.1. Progetto di fattibilità (1972)

Il primo progetto di fattibilità del canale di restituzione in alveo risale al 1972 e se ne trova traccia nella “Relazione tecnica” (§ 12.1.1) dello stesso anno dove viene riportato ciò che segue:

*Lo sbocco delle gallerie avviene in due canali uguali separati, a cielo aperto, i quali, dopo un raccordo, assumono una sezione rettangolare che con un percorso di metri 100,00, avente pendenza  $i = 1\%$  porta i canali ad una larghezza di 20,00 m ciascuno; la quota di fondo è 191,85 m s.m..*

*Al termine dei due canali sono poste le due vasche di smorzamento a pianta rettangolare, con fondo orizzontale, larghe metri 20,00 e lunghe 60,00 m ciascuna.*

*Al termine di queste iniziano, con un restringimento variabile della sezione, due canali di larghezza media 14,00 m con pendenza  $i = 1\%$ , che si riuniscono, 35,00 m più a valle, in un unico canale di 28,00 m di larghezza, sempre con pendenza del fondo  $i = 1\%$  e con percorso curvilineo.*

*Quest'ultimo procede quindi per un certo tratto mantenendo la medesima sezione ed assumendo poi una sezione trapezia fino ad innestarsi nel corso del torrente Gibbesi.*

A corredo della “Relazione tecnica” del 1972 viene fornita una tavola riportante la sezione tipo dell'opera, come mostrato alla seguente figura.

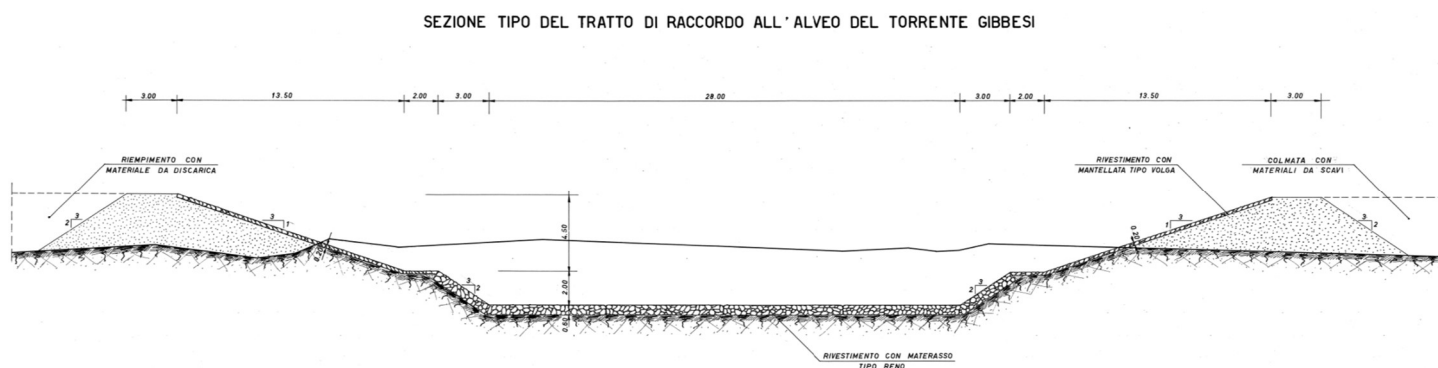


Figura 4.1: Progetto di fattibilità del 1972 – Sezione tipo del canale di restituzione

#### 4.2. Progetto esecutivo (1981-1983)

Nel marzo 1981 viene prodotta la “Relazione tecnica” del progetto esecutivo del canale di restituzione. Successivamente a questa vengono prodotte anche relazioni idrauliche, relazioni sui modelli matematici utilizzati e relazioni geologiche. Inoltre, a corredo della relazione, vengono elaborate alcune tavole in cui si riporta la geometria e le armature delle diverse della struttura.

Nelle tavole contenenti i particolari costruttivi della struttura sono specificati i valori di resistenza di calcestruzzo e acciaio.

Canale di restituzione in alveo			
Calcestruzzo	$R_{bk}$	25	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio FeB 44 k	$f_{yk}$	430	N/mm <sup>2</sup>
	$\sigma_s$	250	N/mm <sup>2</sup>

La “Relazione tecnica” del 1981 descrive quanto di seguito riportato.

*All'uscita della vasca di dissipazione si pone il problema di restituire l'acqua al corso naturale.*



*Dato lo spostamento dell'uscita delle gallerie operato a suo tempo per ragioni di ricoprimento, dato l'orientamento della vasca che ne è conseguito, data la configurazione planimetrica del corso d'acqua, non si può restituire direttamente l'acqua stessa all'alveo all'uscita della vasca.*

*A tale proposito si menziona la raccomandazione in tale senso formulata dall'ufficio dighe.*

*L'ampia ansa trasversale che il torrente Gibbesi presenta ortogonalmente alla vasca impone di accompagnare la corrente in scarico per una certa lunghezza prima di essere restituita all'alveo naturale.*

*E' stato studiato un percorso che, compatibilmente con le esigenze geometriche della corrente, disturbasse il meno possibile i pendii al piede dei quali il canale deve essere scavato.*

*Sono previste delle zone in scavo e delle zone in riporto con raccordo a monte con il terreno esistente.*

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 12 di 48</p>

*Per brevi tratti sono previste a monte delle protezioni con gabbioni riempiti di pietrame.*

*Scopo di tali protezioni è di evitare, con sistemazioni troppo esposte, l'innescio di smottamenti.*

*Il canale ha forma trapezia e, dopo una maggiore larghezza al raccordo vasca, presenta una sezione tipo con larghezza sul fondo di metri 10,00, le sponde proseguono con una pendenza di 1/2. L'altezza della sezione tipo è di metri 7,00.*

*Si prevede il rivestimento della parte orizzontale del canale e di una parte in pendenza con calcestruzzo avente spessore di metri 0,40.*

*La parte pendente più alta è rivestita ancora in calcestruzzo ma con spessore di metri 0,30.*

*Opportuni giunti sono previsti sia longitudinalmente che trasversalmente.*

*Due setti verticali in calcestruzzo danno corpo al fondo canale e se parano i dreni laterali dai centrali.*

*Uno strato di "tessuto non tessuto" separa le argille in sito dal dreno posto appena sopra lo strato stesso.*

*Scopo di tale strato è di evitare l'intasamento del dreno stesso mediante l'apporto di acqua con trasporto solido sospeso, il "tessuto non tessuto" opera da filtro consentendo il passaggio di sola acqua pulita.*

*Sopra il dreno in materiale monogranulare si stende uno strato di magrone a base del successivo e già menzionato rivestimento in calcestruzzo.*

*Una serie di tubi drenanti raccoglie l'acqua filtrata dai dreni stessi e la convoglia in un collettore centrale mediante opportuni pozzetti.*



*Il collettore centrale scarica l'acqua raccolta in corrispondenza dei salti, ricavati allo scopo, nel fondo del canale.*

*E' rispettata pure la continuità dei dreni laterali ad ulteriore garanzia di efficienza dei dreni stessi.*

*Alla fine del canale è previsto un blocco in calcestruzzo garante della stabilità delle opere a monte e modellato con la sagoma del canale.*

*In prosecuzione di queste opere fisse, più a valle delle stesse, si prevede una sistemazione flessibile di restituzione con gabbioni in filo metallico riempiti di pietrame.*

*Lungo il percorso del canale si prevedono, allo scopo di controllo idraulico, dei denti dissipatori di energia. L'intervallo di tali denti è di quindici metri.*

	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti <b>DIGA GIBBESI</b> <b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b>	
<b>III22F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b>	<b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b>	<b>Pag. 13 di 48</b>

*Questa esigenza è stata evidenziata da opportuno modello matematico eseguito allo scopo ed allegato al presente progetto.*

*Lungo la sommità del canale si prevedono due strade alzaie, una da ciascun lato.*

*Scopo di tali strade è la protezione di sommità canale, la facilità di accesso alle opere per la manutenzione, la possibilità di accesso di poderi intersecati.*

*A lato della menzionata strada alzaia in destra, lato monte, si prevede una cunetta di scolo per le acque piovane con un dreno profondo per l'intercettazione dell'acqua di falda.*

*Nei punti più esposti si prevedono alcuni setti-dreno perpendicolari al canale aventi scopo di stabilizzare il pendio stesso.*

*Verifiche apposite, contenute nella relazione geologica, si sono fatte per controllare la stabilità dello scavo del canale stesso.*

*Sul lato valle si è previsto, su espresso desiderio dell'ufficio Dighe, un riempimento del vecchio alveo con materiale di riporto.*

*Una opportuna opera di raccolta e smaltimento è prevista alla base di questo riempimento.*

*Analoga sistemazione si prevede in destra orografica a lato vasca di dissipazione.*

*La soluzione sopra esposta per l'opera di restituzione prevede una lunghezza inferiore a quella del progetto originale e restituisce l'acqua all'alveo naturale in condizioni simili a quelle che l'acqua stessa avrebbe se non si fosse costruita la diga e tutte le altre opere.*

*Si ribadisce esplicitamente che le opere che si intendono eseguire, diga, vasca, canale, non influenzano in alcun modo il percorso naturale a valle che, si esprime a partire dalla fine canale fino alla confluenza delle acque nel Salso.*

*In altre parole una portata eccezionale che si verificasse prima dell'esecuzione delle opere avrebbe lo stesso effetto di una che si verificasse dopo tale esecuzione.*

Si riportano nel seguito le tavole del progetto esecutivo in nostro possesso.



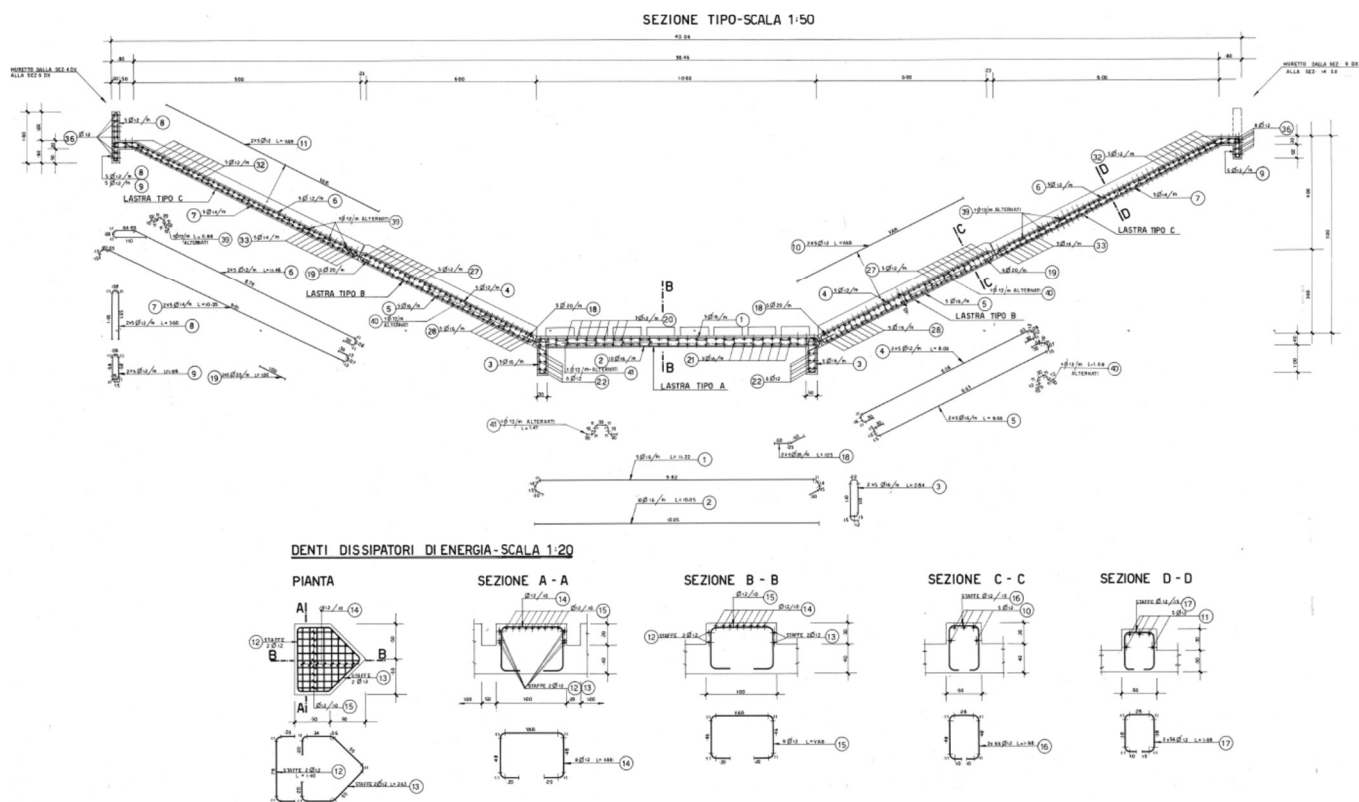


Figura 4.2: Progetto esecutivo del 1983 – Sezione tipo armata

### PARTICOLARE GIUNTO – SCALA 1:10

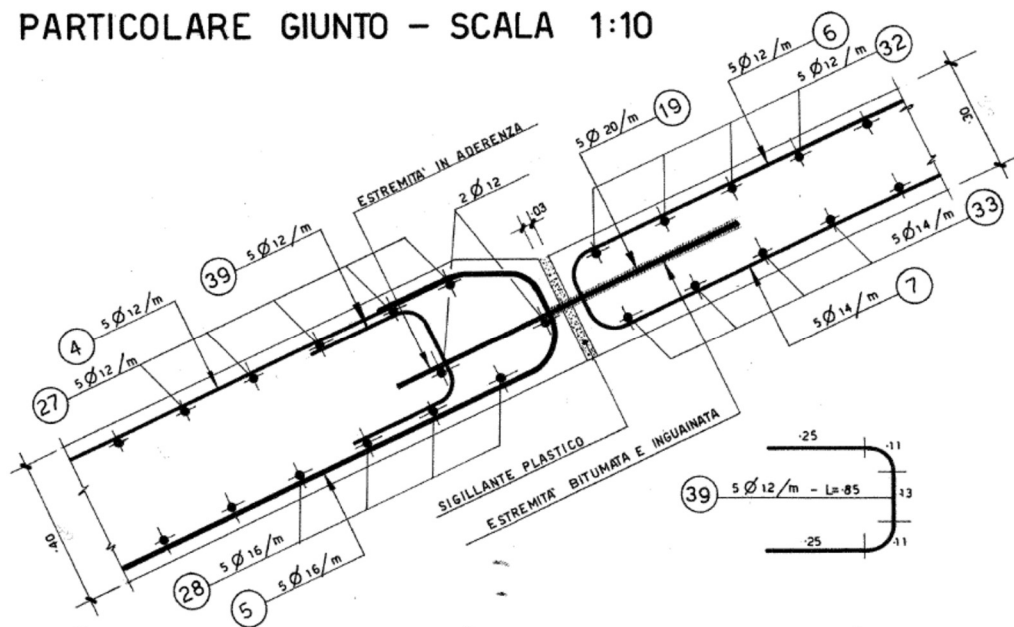




Figura 4.3: Progetto esecutivo del 1983 – Particolare giunto

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 15 di 48</p>

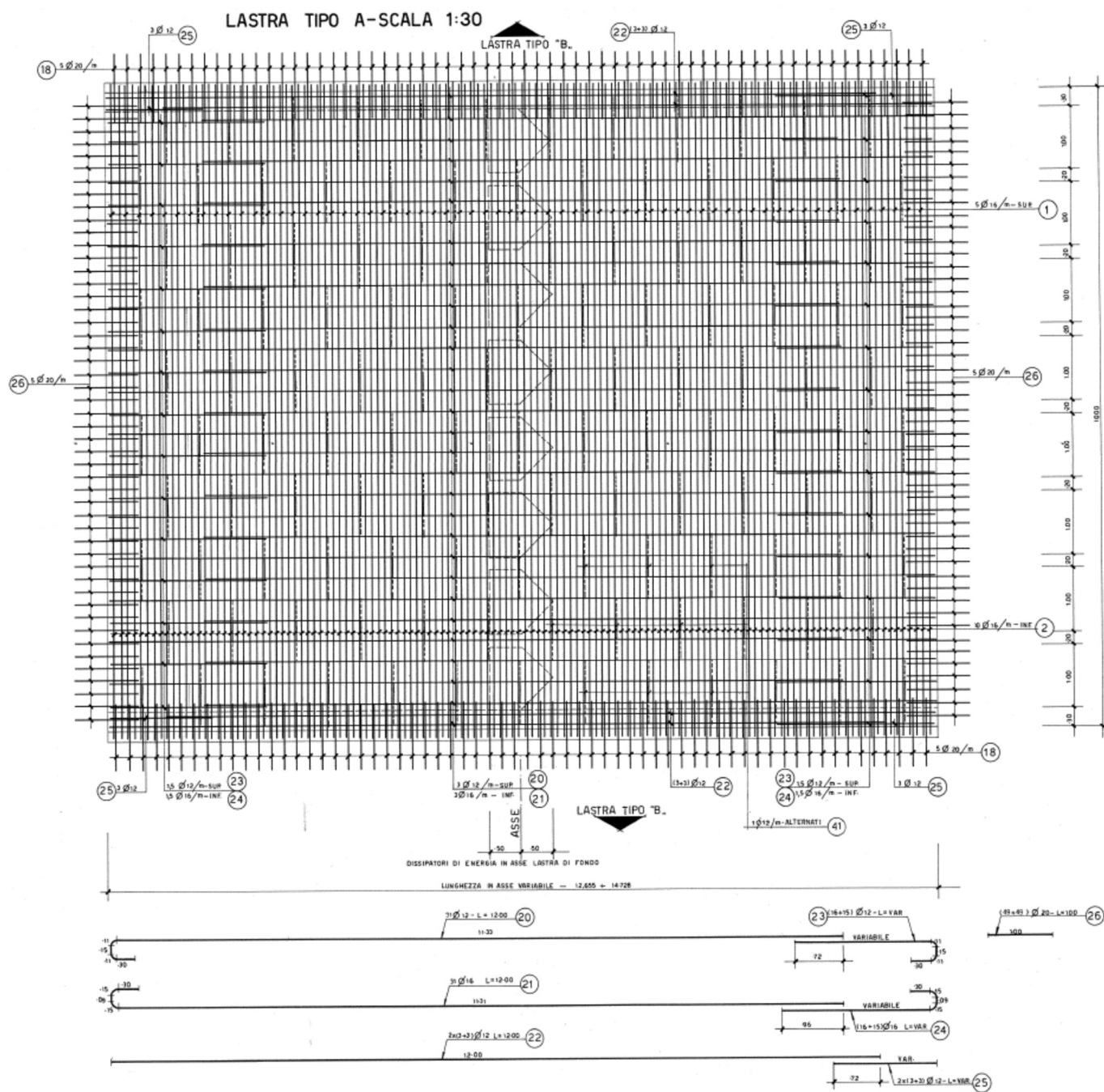




Figura 4.4: Progetto esecutivo del 1983 – Armature soletta di fondo

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 16 di 48</p>

#### 4.3. La casa di guardia oggi

Oltre al PF del 1972 e al PE del 1983 ci sono pervenute alcune tavole, prodotte dall'impresa Mazzi, datate fine anni '80 – inizio '90 (1986 – 1992) in cui, sostanzialmente, vengono confermate le tavole del Progetto Esecutivo. Per poter produrre questo elaborato, quindi, si è proceduto ad una ispezione della struttura in cui si sono accertati i seguenti aspetti:

- La reale geometria del costruito: si è voluto verificare che quanto riportato nelle tavole del PE (1983) e in quelle dell'impresa Mazzi rispecchiasse quanto realmente è stato successivamente costruito.
- Lo stato di conservazione dell'opera, ponendo attenzione ai difetti rilevabili visivamente.



Quanto rilevato in situ è stato riportato nel documento II122F-E-TOP-RT-031-00 “*E – Accertamento dell'effettiva consistenza dei manufatti (topografia) – Rilievi – Relazione sui rilievi effettuati*” che, a sua volta, richiama la tavola relativa al canale di restituzione II122F-E-TOP-DS-043-00 “*E – Accertamento dell'effettiva consistenza dei manufatti (topografia) – Rilievi – Canale di restituzione*”. Un riassunto di quanto riportano i suddetti documenti è riportato nel seguito

##### 4.3.1. Stato di fatto

Sono state effettuate numerose misurazioni a campione; dall'esame dell'opera per le parti ispezionabili si è verificata una buona corrispondenza con gli elaborati di progetto.

Lo stato di conservazione del calcestruzzo è scadente, non tanto per i muri quanto per le Piastre poste sul fondo. Inoltre, l'alveo di fondo è ricoperto in modo considerevole da materiali alluvionali e da una fitta vegetazione che lo rende di fatto impraticabile.



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 17 di 48</p>





**Figura 4.5:** Particolare del raccordo tra la vasca il canale di restituzione



**Figura 4.6:** Canale di restituzione – Fenomeni di smottamenti di terreno in alveo





	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 18 di 48</p>



**Figura 4.7:** Canale di restituzione – Deterioramento calcestruzzo sulle sponde



**Figura 4.8:** Canale di restituzione – Particolare armature ossidate

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 19 di 48</p>

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1. Caratterizzazione geotecnica del progetto esecutivo originale

Nella “Relazione geologica” del progetto esecutivo del 1982 viene riportata la verifica la verifica di stabilità della sezione più critica del canale di restituzione. In tale relazione viene riportato quanto di seguito.

#### 1) Premessa

*Dalla carta geologica 1:100.000, dal rapporto geologico relativo al progetto dello sbarramento e da successivi sopralluoghi, risulta che la regione del T. Gibbesi è prevalentemente argillosa. Infatti nella sua valle sono molto sviluppate le forme morfologiche caratteristiche dei terreni argillosi (calanchi, colamenti superficiali, frane anche di notevole estensione areale e pendii addolciti) con inclusi lapidei ed intercalazioni di materiale più compatto.*

*A Sud del costruendo sbarramento affiorano anche i terreni della serie gessoso-solfifera che interrompono bruscamente la continuità morfologica delle argille.*

*Il fotomosaico allegato, alla scala approssimata di 1:8700, ricavato da foto aeree del 1970, non rispecchia molto fedelmente la situazione attuale della Valle dello Gibbesi: sono infatti mutati, seppur debolmente, sia la forma dell'alveo che alcuni pendii a causa delle ultime alluvioni che hanno messo in movimento la parte corticale di terreni argillosi alterati in zone con condizioni di stabilità appena sufficienti.*

#### 2) Litologia

*I terreni cartografati e distinti nel fotomosaico vengono qui brevemente descritti, dal punto di vista litologico, dal più recente al più antico.*



#### **Detriti di falda (dt)**

*Coprono anche vaste aree al piede degli affioramenti calcarei e marnosi della formazione gessoso-solfifera. Sono quasi sempre inglobati nelle argille sia come corpi isolati che come accumuli detritici veri e propri.*

#### **Alluvioni attuali (a)**

*Vengono raggruppati in questa categoria tutti i materiali di trasporto alluvionale appartenenti sia al fiume Salso che al torrente Gibbesi. Lungo l'alveo dello Gibbesi si trovano alluvioni anche terrazzate prevalentemente limose con lenti di ciottoli dispersi in matrice*



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 20 di 48</p>

argillosa. Solo dove il detrito è più vicino all'alveo si ha una maggiore percentuale di ciottoli sempre inglobati in argille limose.

Nell'ampio pianoro modellato dal fiume Salso, in località Isola Persa, si sono depositati vari tipi di materiale. I depositi grossolani affiorano nelle zone più depresse e sono costituiti da sabbie e ghiaie con ciottoli di varie dimensioni nelle zone prossime all'alveo. Altrove le alluvioni grossolane sono coperte da depositi di limi e fanghi.

### **Brecce argillose (aP)**

Nella nostra zona, questo terreno affiora a Sud della Pistacchiera, sia in destra che in sinistra Gibbesi, ed attorno al pianoro di Isola Persa. Si presenta abbastanza compatto ed uniforme ed è composto da frammenti angolosi di vari tipi di argille e marne in matrice argillosa (Pliocene).

### **Serie Gessoso-Solfifero (gs)**

Caratterizzata dalla successione di gessi in banchi, calcari travertinosi con intercalazioni marnose e marne a Diatomee (Tripoli). Nella Pistacchiera gli strati hanno direzione NE-SO con lieve pendenza (10-15°) verso SE. Si trovano verso Nord però banchi di calcare subverticali a causa dello strizzamento dovuto a spinte orogenetiche. Da questa formazione proviene la maggior quantità dei detriti che coprono parte delle formazioni argillose circostanti.



L'alveo del torrente Gibbesi, nella stretta della Cottonera, è fortemente inciso e mette a nudo grossi blocchi di calcare in corrispondenza dei sovrastanti affioramenti della serie gessoso-solfifera. In sinistra questi calcari si presentano intercalati a materiale più tenero e sono oggetto di sfruttamento con stacco di blocchi anche di notevoli dimensioni.

### **Argille e marne grigiastre (aM)**

Queste argille, a volta con lenti di sabbia, affiorano a monte della stretta della Cottonera ed occupano la parte più alta dei versanti. Si presentano alterate in superficie e finemente fratturate verso il basso, però con aspetto generale uniforme e compatto. A zone sono abbastanza sviluppati fenomeni calanchivi.

### **Colate argillose (as)**

Affiorano nelle immediate vicinanze dell'alveo ed hanno aspetto puddingoide, cioè sono costituite (almeno in questa zona) da ciottoli di marna inglobati in una matrice argillosa

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 21 di 48</p>

grigiastra che dà un aspetto complessivamente compatto alla formazione, a parte l'altezzatura superficiale che facilita i fenomeni di colamento caratteristici di questa formazione.

### 3) Verifica di stabilità

Il canale interessa solamente i depositi alluvionali limoso-argillosi dell'alveo e la parte più alta delle colate argillose (formazione as).

Fra tutte le sezioni del canale che interessano anche il pendio argilloso circostante, solo la sezione n° 7 è la più impegnata poiché interessa il piede di una collinetta argillosa posta sulla destra orografica del torrente Gibbesi.

Lo scavo massimo è di circa 5-5,5 metri sia nel terreno prevalentemente argilloso, sia nelle argille contrassegnate con (as) nella carta geologica.

Nelle altre sezioni o il canale è in rilievo, o lo scavo è molto modesto, oppure lo scavo avviene in zona quasi pianeggiante per cui la spinta del terreno è assai modesta e la pendenza di scarpa scelta (2:1) non compromette la stabilità del pendio.

Dagli studi fatti (rilievi, sondaggi e prove di laboratorio) per il progetto della diga e delle opere di scarico, si è visto che la formazione rocciosa presente - seppure nascosta da una copertura argillosa a volte detritica di spessore variabile (0,5-2 metri) - è costituita da argille scure fessurate nella parte superiore.

Per la verifica di stabilità sono stati presi i seguenti parametri geotecnici:

#### A) Strato argilloso alterato (con detrito) superficiale, spessore medio 2 metri



- angolo di resistenza al taglio  $\varphi = 10^\circ$
- coesione  $c = 0.1 \text{ t/m}^2$
- peso di volume naturale  $\gamma = 1.85 \text{ t/m}^3$

#### B) Argille

- angolo di resistenza al taglio  $\varphi = 22^\circ$
- coesione  $c = 1.5 \text{ t/m}^2$
- peso di volume naturale  $\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$

Sulla base di tali caratteristiche si è proceduto a controllare la stabilità globale del pendio lungo la sez. 7, dopo lo scavo del canale.

Nella fig. 1, ove è rappresentato il profilo prima e dopo lo scavo, non sono stati presi in considerazione la linea di falda (cioè il pendio è asciutto) e lo spessore delle pareti e del fondo del canale.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 22 di 48</p>

Nella fig. 2 invece la linea di falda (che impregnerebbe eventualmente solo la parte più alta dello strato argilloso alterato) è stata inserita nel calcolo di stabilità, e quindi il pendio va considerato impregnato d'acqua.

Le verifiche di stabilità sono state condotte secondo i criteri dell'equilibrio limite impiegando i metodi di Bishop, Jambu e Bell predisposti per il calcolo mediante elaboratore elettronico nella versione redatta dal prof. G. Barla del Politecnico di Torino ed espresso nel programma Geons 2.

I metodi dell'equilibrio limite consistono nella ricerca della superficie critica di rottura che può determinarsi all'interno del pendio per effetto delle tensioni tangenziali.

Più in generale però si è richiesto di valutare la stabilità di un pendio che non è detto si trovi in condizioni di equilibrio limite (incipiente rottura) determinando un fattore di sicurezza "F" definito come rapporto fra la resistenza al taglio disponibile e quella effettivamente mobilitata.

A tale scopo è stata analizzata una sezione abbastanza caratteristica del pendio considerando una larghezza unitaria.

È stata presa in considerazione una maglia di centri di  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  i cui cerchi passano tutti al piede della scarpata (punto n° 4 del profilo) sia di fig. 1 che di fig. 2. Si sono ottenuti i seguenti risultati (cioè il fattore di sicurezza minimo ottenuto è pari a):

- Pendio in condizioni drenate (asciutto) fig. 1  
 $F_s = 1.73$   
con effetto sismico di seconda categoria  
 $F_s = 1.46$
- Pendio in condizione non drenata (falda presente) fig. 2  
 $F_s = 1.2$   
e con effetto sismico  
 $F_s = 1.0$

Pertanto nel progetto è stato predisposto un adeguato sistema di drenaggio per raccogliere ed allontanare le acque piovane e mettere quindi il pendio nelle condizioni (o quasi) della verifica come in fig. 1 (pendio asciutto).

Tali dati denunciano un grado di sicurezza globale del pendio, dopo eseguito lo scavo, sufficiente quando il terreno è asciutto. Al limite della stabilità quando il terreno è in falda.

Si precisa che l'effetto sismico è calcolato conformemente alla teoria e verifica di Bell come una forza pari al 7% dei carichi verticali ed estrinsecantesi su piani orizzontali.

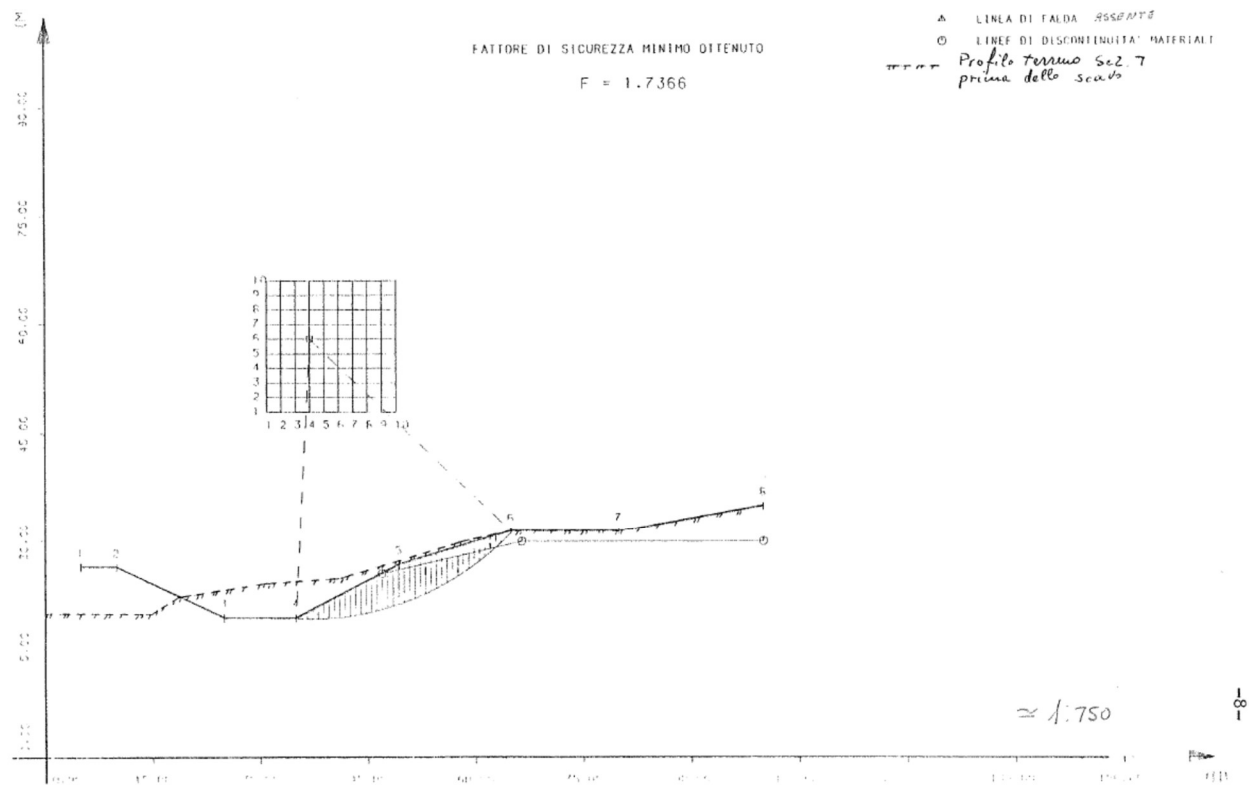


Figura 5.1: Fig. 1 Relazione geologica – Verifica stabilità dopo scavo sez. 7

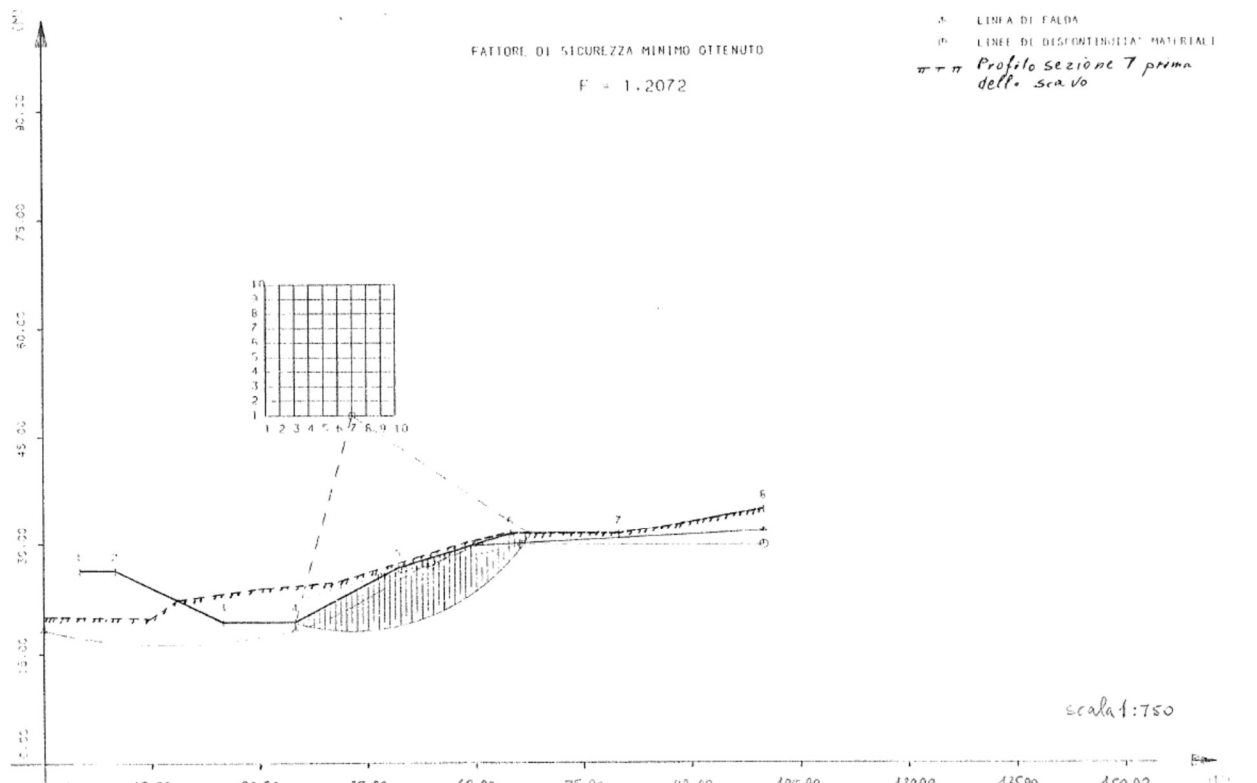




Figura 5.2: Fig. 2 Relazione geologica – Verifica stabilità dopo scavo sez. 7 (in falda)

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 24 di 48</p>

## 5.2. Caratterizzazione geotecnica attuale

Considerato il limitato spessore dello strato argilloso alterato, si è scelto di verificare la struttura attuale utilizzando dei valori “medi” di caratterizzazione del terreno, in modo da semplificare la trattazione pur mantenendosi in sicurezza.

Caratteristiche del terreno equivalente sostenuto dai muri del canale:

- Angolo d'attrito  $\varphi = 15^\circ$
- Coesione  $c = 0 \text{ kPa}$
- Peso specifico  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

## 6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 6.1. Caratteristiche dei materiali dal progetto originale

Come si è detto al § 4.2, negli elaborati grafici di progetto (PE) si possono trovare le prescrizioni sui materiali da costruzione, calcestruzzo e acciaio, di seguito riassunti per comodità.

Calcestruzzo	$R_{bk}$	20	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio FeB 44 k	$f_{yk}$	430	N/mm <sup>2</sup>

### 6.2. Indagini sui materiali e prove di laboratorio

Di seguito vengono esposti i risultati della campagna d'indagine sul canale di restituzione effettuata da METROTEST s.r.l. nel giugno 2021 (riferimento: II122F-F-STR-RT-021-01 "F – Prove sui materiali – Relazione sulle attività di laboratorio materiali").

#### 6.2.1. Indagini METROTEST (maggio 2021)

METROTEST ha eseguito le seguenti prove sulla casa di guardia:

- N° 4 prove di profondità di carbonatazione sui campioni prelevati di calcestruzzo;
- N° 7 prove di resistenza a compressione sui campioni prelevati di calcestruzzo;
- N° 6 misure della resistenza del calcestruzzo con metodo SonReb;
- N° 23 indagini magnetometriche con pacometro;
- N° 2 prove di trazione di barre d'armatura prelevate dalla struttura.

Si riportano, nei seguenti paragrafi, l'ubicazione e una sintesi dei risultati ottenuti da tali indagini.

##### 6.2.1.1 Controllo della profondità di carbonatazione dei provini di calcestruzzo

Nella Tabella 6-1 si riportano i risultati delle prove per determinare la profondità di carbonatazione. Per ogni prelievo vengono forniti i seguenti dati:

- sigla prelievo;
- Ø = diametro provino;
- L = lunghezza provino;
- H<sub>terra</sub> = altezza da terra;
- Direzione prelievo, che può essere:



- H = orizzontale;
- V = verticale.

**Tabella 6-1: Risultati delle prove di profondità di carbonatazione per il canale di restituzione**

Sigla prelievo	Data di prelievo	Ø	L	H <sub>terra</sub>	Direzione prelievo	Profondità di carbonatazione
		[mm]	[mm]	[m]		[mm]
<b>C2</b> <b>(Canale DX)</b>	25/05/2021	94	215	0	V	0
	Calcestruzzo omogeneo con presenza di alcuni vacuoli dal diametro d <sub>max</sub> circa 12 mm. Inerti a spigoli vivi arrotondati d <sub>max</sub> circa 26 mm.					
<b>C3</b> <b>(Canale SX)</b>	25/05/2021	94	220	0	V	10
	Calcestruzzo omogeneo con presenza di alcuni vacuoli dal diametro d <sub>max</sub> circa 8 mm. Inerti a spigoli vivi arrotondati d <sub>max</sub> circa 36 mm.					
<b>C4</b> <b>(Canale SX)</b>	25/05/2021	94	215	0	V	0
	Calcestruzzo omogeneo con presenza di alcuni vacuoli dal diametro d <sub>max</sub> circa 14 mm. Inerti a spigoli vivi arrotondati d <sub>max</sub> circa 36 mm.					
<b>C4</b> <b>(Canale)</b>	2021	94	170	1.45	H	0
	Calcestruzzo omogeneo con presenza di alcuni vacuoli dal diametro d <sub>max</sub> circa 5 mm. Inerti a spigoli vivi arrotondati d <sub>max</sub> circa 30 mm.					

#### 6.2.1.2 Prove di resistenza a compressione dei calcestruzzi

Nella seguente tabella si trovano i risultati delle prove di resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo. Per ciascun provino si riportano:

- m = massa del provino;
- Ø = diametro del provino;
- h = altezza del provino;
- in<sub>max</sub> = dimensione massima degli inerti del provino;
- A<sub>c</sub> = sezione compressa;
- m<sub>v</sub> = massa volumica;
- F = carico massimo;
- f<sub>c</sub> = resistenza a rottura, espressa con l'approssimazione di 0.1 N/mm<sup>2</sup>;

**Tabella 6-2: Diga di Gibbesi – Canale di restituzione – Risultati delle prove di resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo**

Sigla	Data		m	Ø	h	in <sub>max</sub>	A <sub>c</sub>	m <sub>v</sub>	F	f <sub>c</sub>
	Prelievo	Prova	[g]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>C2 A</b>	25/05/2021	03/06/2021	1447.2	94	93	26	6940	2240	197.797	28.5
<b>C2 B</b>	25/05/2021	03/06/2021	1462.8	94	94	23	6940	2240	200.028	28.8
<b>C3 A</b>	25/05/2021	03/06/2021	1427.4	94	93	36	6940	2210	129.460	18.7
<b>C3 B</b>	25/05/2021	03/06/2021	1492.0	94	95	35	6940	2260	135.946	19.6
<b>C4 A</b>	25/05/2021	03/06/2021	1509.5	94	95	30	6940	2290	189.388	27.3
<b>C4 B</b>	25/05/2021	03/06/2021	1497.5	94	94	36	6940	2300	185.975	26.8
<b>C4</b>	10/04/2021	12/04/2021	1526.19	94	95	30	6940	2310	179.431	25.9

#### 6.2.1.3 Prove di resistenza del calcestruzzo con metodo SonReb

Le prove SONREB sono state eseguite in corrispondenza degli elementi strutturali, individuando preliminarmente settori caratterizzati da una superficie esente da lesioni, microfessurazioni, vespai, distacchi, polveri, ecc. Le misure ultrasoniche sono state eseguite per trasmissione:

- diretta (i due trasduttori sono applicati su due facce opposte dell'elemento da saggiare);
- semidiretta (i due trasduttori sono applicati su due facce adiacenti);
- indiretta (i due trasduttori sono applicati sulla stessa faccia dell'elemento da saggiare).

In particolare, dopo avere effettuato la pulizia e la spianatura della superficie di prova, sono state eseguite 9 misure ultrasoniche, posizionando i punti di misura lungo 2 allineamenti adeguatamente sfalsati sia in orizzontale che in verticale ed interponendo tra i trasduttori e la superficie del calcestruzzo uno strato di gel siliconico. Infine, si sono misurate le distanze dei percorsi ultrasonici. In una seconda fase si è proceduto ad eseguire 9 battute sclerometriche in direzione orizzontale all'interno della zona di misura. Prima dell'esecuzione delle indagini è stata eseguita la taratura sia dello strumento ad ultrasuoni misurando il tempo di riferimento T<sub>RIF</sub>, che dello sclerometro.

Le correlazioni, per la determinazione della resistenza del calcestruzzo sono state desunte dalla letteratura:

- $R_{c,1} = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.4} \cdot V^{2.6}$
- $R_{c,2} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot S^{1.246} \cdot V^{1.85}$
- $R_{c,3} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot S^{1.058} \cdot V^{2.446}$

Dove  $R_c$  è la resistenza cubica a compressione del calcestruzzo in  $[N/mm^2]$ .

**Tabella 6-3: Diga di Gibbesi – Canale di restituzione – Risultati delle prove SonReb**

Misura	Elemento	$R_{c,1}$	$R_{c,2}$	$R_{c,3}$
		$[N/mm^2]$	$[N/mm^2]$	$[N/mm^2]$
1	Canale restituzione in alveo	15.81	27.41	21.56
2	Canale restituzione in alveo	5.01	10.86	8.20
3	Canale restituzione in alveo	5.06	11.53	7.69
4	Canale restituzione in alveo	24.31	25.73	26.33
5	Canale restituzione in alveo	15.17	17.82	17.22
6	Canale restituzione in alveo	8.26	21.89	11.73
<b>MEDIA</b>		<b>12.27</b>	<b>19.21</b>	<b>15.46</b>



#### 6.2.1.4 Indagini magnetometriche con pacometro

Le prove pacometriche hanno mostrato una buona corrispondenza della posizione delle barre d'armatura tra quanto prescritto nel progetto esecutivo e quanto effettivamente realizzato. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione II122F-E-STR-RT-050-00 "E – Accertamento dell'effettiva consistenza dei manufatti – Ispezione tecnica delle opere – Prove Pacometriche e SonReb".

#### 6.2.1.5 Prove di trazione di barre d'armatura

Per la prova di resistenza a trazione vengono riportati i seguenti dati:

- Sigla del provino;
- Marchio di fabbrica della barra, ove identificabile;
- $\varnothing_{nom}$  = diametro nominale della barra;
- $\varnothing_{eff}$  = diametro effettivo della barra tonda equipesante;
- L = lunghezza del provino;
- m = massa del provino;
- $f_y$  = tensione di snervamento;
- $f_t$  = tensione di rottura;
- $f_t/f_y$ ;
- $A_{gt}$  = l'allungamento percentuale alla forza massima.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 29 di 48</p>

**Tabella 6-4: Diga Gibbesi – Canale di restituzione – Risultati delle prove di trazione delle barre d'armatura**

Sigla	Marchio	$\varnothing_{nom}$	$\varnothing_{eff}$	L	m	$f_y$	$f_t$	$f_t/f_y$	$A_{gt}$
		[mm]	[mm]	[cm]	[g]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[%]
B1	Non identificabile	11	11.49	76.4	622.4	507.2	758.7	1.5	7.9
B2	Non identificabile	11	11.27	59.9	468.7	472.2	702.1	1.49	6.3

## 7. IPOTESI DI CALCOLO

### 7.1. Parametri sismici

I dati per la definizione dell'azione sismica da considerare nei calcoli di verifica sono i seguenti:

- Longitudine 13.984139 °
- Latitudine 37.315170 °
- Vita nominale  $V_N$  50 anni
- Coefficiente  $C_U$  1.5
- Periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.5 = 75$  anni

Si considera un coefficiente  $C_U$  pari a 1.5, ovvero una classe d'uso III, in quanto la diga Gibbesi, con i suoi 45 m d'altezza, 1,700,000 m<sup>3</sup> d'invaso e il fatto che invasi acqua a fini irrigui, è classificabile come una "grande diga" di tipo B ("diga rilevante").

In generale l'azione sismica è definita sul sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:



- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali valori sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Per il calcolo dei parametri sismici è stato utilizzato il foglio di calcolo "Spettri di Risposta" ver. 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Si riportano i valori di accelerazione sismica che verranno utilizzati nel seguito, sempre nel caso di Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Spettro di risposta orizzontale		
$a_g$	0.073	g
$S_S$	1.200	-
$S_T$	1.000	-



Spettro di risposta verticale		
$a_g$	0.027	g
$S_S$	1.000	-
$S_T$	1.000	-

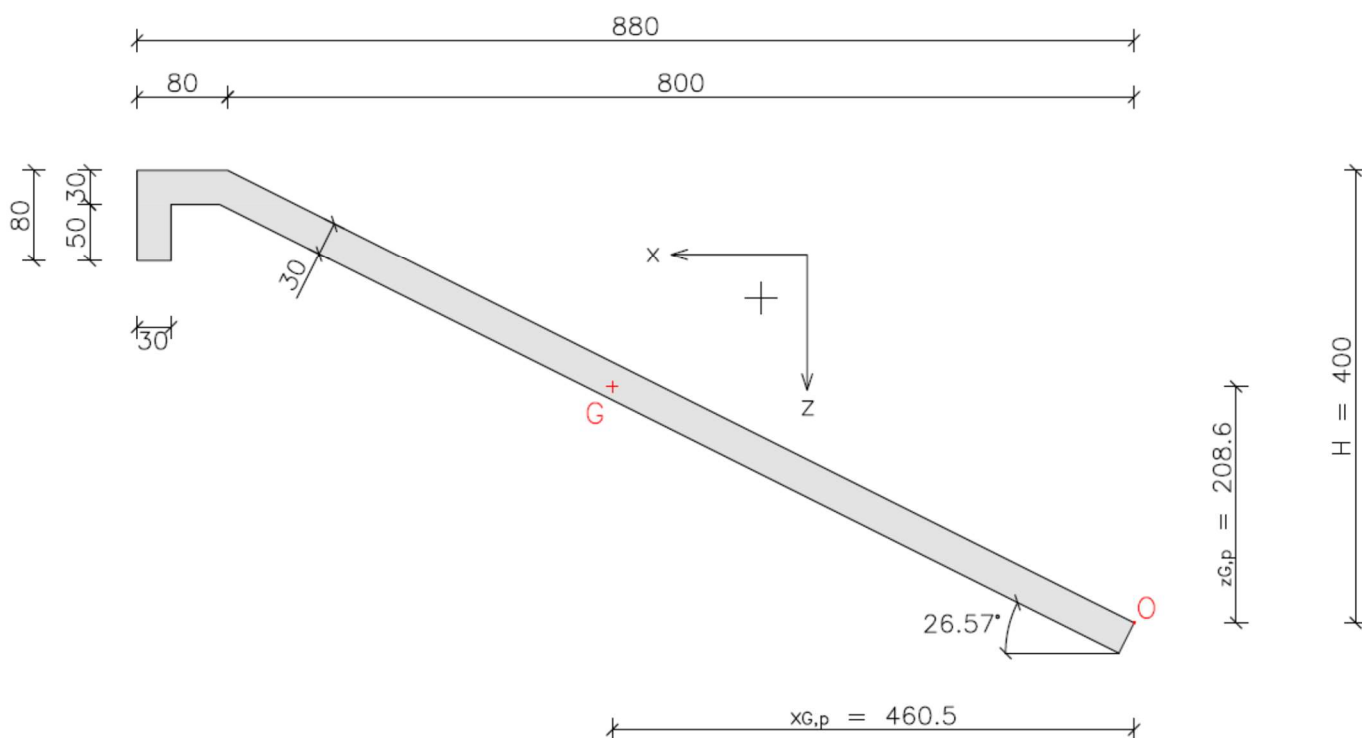
	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b></p>	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p><b>Pag. 31 di 48</b></p>

Si ricorda che, come definito nelle NTC 2018 al § 8.3 “la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d’uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6; in quest’ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti”. Inoltre, “per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato al § 7.3.6”. Quindi, nel caso della struttura in esame, è necessario effettuare le verifiche sismiche solamente in condizione SLV.





	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 33 di 48</p>



**Figura 8.2:** Sezione tipologica del paramento del canale

## 9. ANALISI DEI CARICHI

### 9.1. $G_1$ – Carichi permanenti strutturali

#### 9.1.1. Peso proprio

Per il peso proprio della struttura si considera il peso specifico del c.a. pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

#### 9.1.2. Spinta statica del terreno

Per la struttura in questione si considera una spinta statica attiva calcolata come:

$$S_{a,s} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_A$$

Il coefficiente di spinta viene calcolato facendo riferimento alla teoria di Coulomb:

$$K_A = \frac{\sin^2(\psi + \phi)}{\sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \left[ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \beta)}{\sin(\psi - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)} \right]} \quad \text{se } \beta \leq \phi$$



$$K_A = \frac{\sin^2(\psi + \phi)}{\sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \delta)} \quad \text{se } \beta > \phi$$

in cui:

- $\phi$       angolo di attrito del terreno;
- $\beta$       inclinazione terrapieno di monte rispetto all'orizzontale;
- $\delta$       angolo di attrito terreno-muro;
- $\psi$       Inclinazione parete muro rispetto all'orizzontale (muro verticale  $\alpha = 90^\circ$ ).

Di seguito si riportano i parametri per il calcolo della spinta statica del terreno.

Sez. tipo		
$\gamma_t$	20.00	kN/m <sup>3</sup>
$\phi$	15.00	°
$\beta$	0.00	°
$\delta$	7.50	°
$\psi$	153.44	°
$H$	4.00	m
$K_A$	0.135	-

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 35 di 48</p>

Si ottiene una spinta statica pari a  $S_{a,S} = 21.64$  kN.

## 9.2. $G_2$ – Carichi permanenti non strutturali

Non è stato considerato alcun carico permanente non strutturale.

## 9.3. Carichi variabili

### 9.3.1. Spinta dovuta a sovraccarichi accidentali

A tergo del muro di sostegno si considera un carico accidentale di intensità pari a:

$$q_{acc} = 20 \text{ kN/m}^2$$

La spinta sull'opera è pari a:

$$S_{a,Q} = q_{acc} \cdot H \cdot K_A = 10.82 \text{ kN}$$

Considerando un angolo di inclinazione  $\alpha$  (vedere § 9.4.2) si ottengono i seguenti valori:

Sez. tipo		
$S_{a,Q,x}$	6.06	kN
$S_{a,Q,z}$	-8.96	kN

Si precisa che in concomitanza con l'evento sismico non si considera la presenza del sovraccarico accidentale.

#### 9.4. E – Azioni sismiche

Le azioni sismiche da considerare per la struttura in oggetto hanno diverse origini:

- Azioni sismiche dovute all'inerzia della struttura: se ne tiene conto attraverso un'analisi pseudo-statica;
- Azioni sismiche dovute al terreno: se ne tiene conto attraverso la trattazione di Mononobe – Okabe.

##### 9.4.1. Inerzia della struttura

Nell'analisi pseudo-statica l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. I valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali, in accordo con il § 7.11.6.2.1 delle NTC2018, sono valutati con le seguenti formule:

$$\begin{cases} k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \\ k_v = \pm 0.50 \cdot k_h \end{cases}$$

dove:

- $a_{max} = S \cdot a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $S = S_S \cdot S_T$  coefficiente amplificativo di cui al § 3.2.3.2 delle NTC2018;
- $g$  accelerazione di gravità;
- $\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Il coefficiente  $\beta_m$  è preso cautelativamente pari a 1.

Per l'opera analizzata si sono assunti i seguenti coefficienti sismici:

$a_g$	$S$	$a_{max}$	$\beta_m$	$k_h$	$k_v$
0.073 g	1.20	0.088 g	1.00	0.088	$\pm 0.029$

Le forze d'inerzia orizzontali e verticali agenti per effetto del sisma sono valutate come:

$$\begin{cases} F_h = k_h \cdot W \\ F_v = k_v \cdot W \end{cases}$$



dove  $W$  è il peso della struttura e dei relativi sovraccarichi permanenti. Il punto di applicazione di dette forze d'inerzia è il baricentro delle masse attivate dall'azione sismica.

Si ottengono i seguenti valori delle forze di inerzia:

Sez. tipo		
G1	76.30	kN
$S_{a,E,x}$	6.68	kN
$S_{a,E,z}$	-3.34	kN

#### 9.4.2. Spinta sismica del terreno

Per quanto riguarda la **spinta del terreno (statica + sismica)** sul paramento si fa riferimento alla EN 1998-5, Annesso E.

La spinta totale agente sotto l'azione sismica sull'opera dovuta al terreno e all'eventuale acqua a tergo del muro è valutata con la formula:



$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma^* \cdot (1 \pm k_v) \cdot H^2 \cdot K + E_{ws} + E_{wd}$$

in cui:

- $H$  altezza totale del muro;
- $E_{ws}$  spinta idrostatica dell'acqua;
- $E_{wd}$  spinta idrodinamica dell'acqua;
- $\gamma^*$  peso specifico del terreno;
- $k_v$  coefficiente sismico verticale;
- $K$  coefficiente di spinta (statico + dinamico).

#### Coefficienti di spinta statica + dinamica

Viene valutato tramite la formulazione di Mononobe e Okabe.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 38 di 48</p>

Coefficiente di spinta attiva ( $\delta_{d,max} = 2/3 \phi'_d$ )

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

if  $\beta > \phi'_d - \theta$

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)}$$

Coefficiente di spinta passiva ( $\delta = 0$ )

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin\phi'_d \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

Nelle precedenti equazioni vengono usate le seguenti notazioni:

$\phi'_d$  è il valore di progetto dell'angolo di resistenza a taglio del terreno, cioè:  $\phi'_d = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi'}{\gamma_{\phi'}}\right)$ ;

$\psi$  e  $\beta$  sono gli angoli di inclinazione rispetto all'orizzontale, rispettivamente della parete del muro rivolta a monte e della superficie del terrapieno, come mostrato in figura E.1;

$\delta_d$  è il valore di progetto dell'angolo di attrito tra terreno e muro, cioè:  $\delta_d = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\delta}{\gamma_{\phi'}}\right)$ ;

$\theta$  è l'angolo definito sotto nei punti da E.5 a E.7.

Per la notazione dei simboli utilizzati si veda la figura seguente.

Convenzione per gli angoli nelle formule per calcolare il coefficiente di spinta del terreno

Legenda

- 1 Attiva
- 2 Passiva

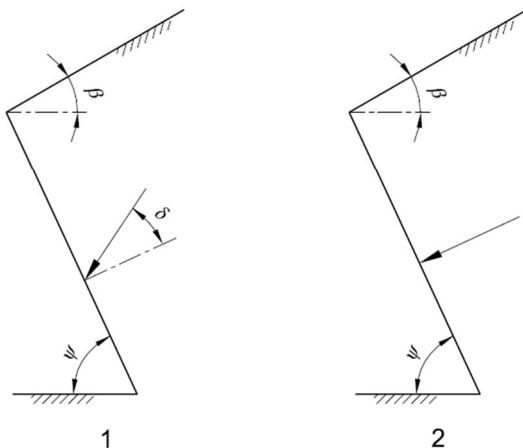




Figura 9.1: Notazione utilizzata nella formulazione di Mononobe e Okabe

	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;"><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p style="text-align: center;">II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 39 di 48</p>

Per il calcolo dell'angolo  $\theta$  si fa riferimento all'Annesso E della EN 1998-5 che contempla i tre possibili casi sotto riportati:

- a) livello di falda al di sotto della struttura di sostegno:

$\gamma^*$  è il peso specifico  $\gamma$  del terreno

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

$$E_{wd} = 0$$

- b) terreno immerso impermeabile in condizioni dinamiche:

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$\tan \theta = \frac{\gamma_d}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

$$E_{wd} = 0$$

dove:

$\gamma$  è il peso specifico del terreno saturo;

$\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua.

- c) terreno immerso permeabile in condizioni dinamiche:

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$\tan \theta = \frac{\gamma_d}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \cdot \gamma_w \cdot H'^2$$

dove:

$\gamma_d$  è il peso specifico del terreno secco;

$H'$  è l'altezza del livello di falda dalla base del muro.

*Pressione idrodinamica sulla parete esterna del muro*

Tale pressione,  $q(z)$ , è valutata secondo l'espressione:



$$q(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{h \cdot z} \quad (E.18)$$

dove:

$k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale con  $r = 1$  (vedere espressione 7.1);

$h$  è la quota del pelo libero dell'acqua;

$z$  è la coordinata verticale diretta verso il basso, con origine al pelo libero dell'acqua.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 40 di 48</p>

*Forze causate dalla spinta del terreno per strutture rigide*

Nel caso di strutture rigide che sono completamente vincolate, in modo tale che non può svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva, e per un muro verticale con terrapieno a superficie orizzontale, la forza dinamica dovuta all'incremento di spinta del terreno può essere preso pari a:

$$\Delta P_d = \alpha \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

dove:

$H$  è l'altezza del muro.

Il punto di applicazione può essere preso a metà dell'altezza.

Nel caso di opere di sostegno libere di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.



Nel caso analizzato il livello di falda si trova al di sotto dell'opera; pertanto, si rientra nel **caso a)** con  $E_{ws} = E_{wd} = 0$ .

A favore di sicurezza l'incremento di spinta dovuta al sisma si considera applicato a metà altezza del muro.

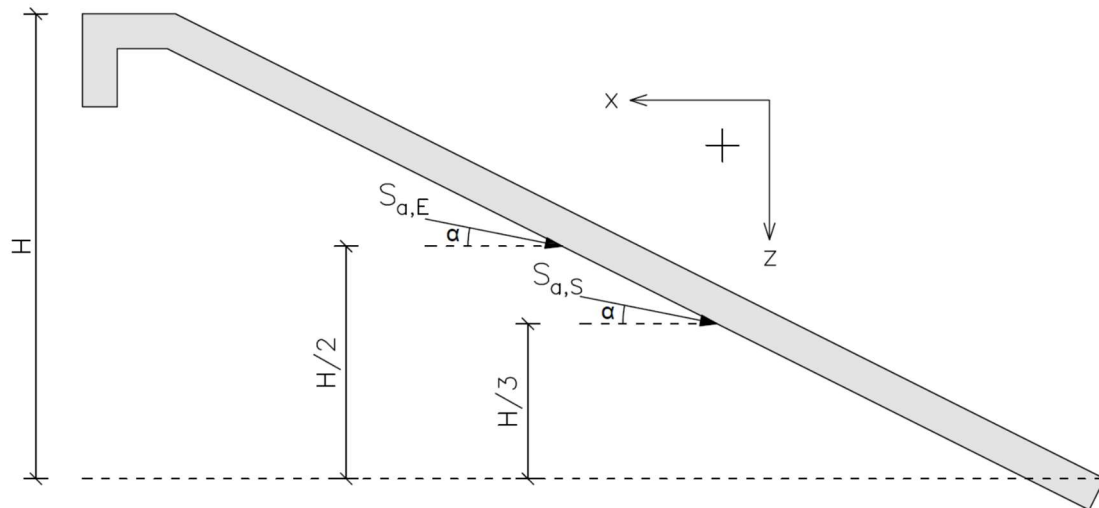
Di seguito si riportano i parametri per il calcolo delle spinte sismiche del terreno.

Sez. tipo		
$\gamma_t$	20.00	kN/m <sup>3</sup>
$\phi$	15.00	°
$\beta$	0.00	°
$\delta$	7.50	°
$\psi$	153.44	°
$H$	4.00	m
$K_{A,E}$	0.303	-



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>II122F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 41 di 48</p>

Si ottiene una spinta sismica pari a  $S_{a,E} = 50.58 \text{ kN}$ .



**Figura 9.2:** Sezione tipo con indicazione delle spinte statiche e sismiche sul paramento

L'angolo di inclinazione della spinta si assume pari a:

$$\alpha = \left( \frac{\pi}{2} + \delta - \psi \right) = -55.94^\circ$$

Le componenti delle spinte sono pertanto:

- Spinta statica



$$S_{a,S,x} = S_{a,S} \cdot \cos \alpha$$

$$S_{a,S,z} = S_{a,S} \cdot \sin \alpha$$

- Spinta sismica

$$\Delta S_{a,E,x} = (S_{a,S} - S_{a,E}) \cdot \cos \alpha$$

$$\Delta S_{a,E,z} = (S_{a,S} - S_{a,E}) \cdot \sin \alpha$$

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p><b>II122F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b></p>	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p><b>Pag. 42 di 48</b></p>

Si ottengono i seguenti valori:

Sez. tipo		
$S_{a,S,x}$	12.12	kN
$S_{a,S,z}$	-17.92	kN
$\Delta S_{a,E,x}$	16.21	kN
$\Delta S_{a,E,z}$	-23.97	kN

## 10. COMBINAZIONI DI PROGETTO

Per questa struttura vengono eseguite due verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU): statica e sismica. Esse sono definite dalle NTC18 come:

- Combinazione fondamentale statica SLU:  

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- Combinazione sismica SLU:  

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Nelle combinazioni in questione la presollecitazione  $P$  non è presente.

I valori dei coefficienti  $\gamma$  sono definiti in Tabella 10-1.

**Tabella 10-1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU (Tab. 2.6.I, NTC18)**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

I valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati in Tabella 10-2.

**Tabella 10-2: Valori dei coefficienti di combinazione (Tab. 2.5.I, NTC18)**

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale, biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6

Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Per l'opera analizzata la combinazione significativa è quella relativa allo stato limite di equilibrio (ribaltamento) sia per la statica che per la sismica.

- Combinazione statica:

$$\gamma_{G_1} \cdot (\text{Peso Proprio} + \text{Spinta statica terreno}) + \gamma_Q \cdot \text{Spinta sovraccarico accidentale}$$

Come descritto al § 6.5.3.1.1 delle NTC2018, la verifica a ribaltamento statica deve essere effettuata secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1 + M1 + R3). I coefficienti  $\gamma$  da utilizzare sono riportati alle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle NTC2018. Ciò prevede:

- **A1:**  $\gamma_{G_1} = \begin{cases} 1.0, & \text{se favorevole} \\ 1.3, & \text{se sfavorevole} \end{cases} \quad \gamma_Q = \begin{cases} 0.0, & \text{se favorevole} \\ 1.5, & \text{se sfavorevole} \end{cases}$
- **M1:**  $\gamma_{\varphi'_1} = \gamma_{c'} = \gamma_{c_u} = \gamma_Y = 1$
- **R3:**  $\gamma_R = 1.15$ , da applicare agli effetti delle azioni stabilizzanti

Nella combinazione in esame risulta che:

$$1.0 \cdot \text{Peso proprio} + 1.3 \cdot \text{Spinta statica terreno} + 1.5 \cdot \text{Spinta sovraccarico accidentale}$$

- Combinazioni sismiche:

$$\begin{aligned} &\text{Peso proprio} + \text{Spinta statica terreno} + \text{Inerzia struttura} \\ &+ \text{Spinta sismica terreno} \end{aligned}$$

A ribaltamento si deve verificare che  $\gamma_R = 1.15$ .



## 11. VERIFICHE

### 11.1. Verifica statica (SLU)

Si considera lo stato limite di equilibrio (ribaltamento).

#### Azioni stabilizzanti

	$S_{a,x}$ [kN]	$S_{a,z}$ [kN]	$X_G$ [m]	$Z_G$ [m]	$M_{Rd}$ [kNm]	$\gamma$ [-]	$\gamma \cdot M_{Rd}$ [kNm]
Peso proprio struttura	-	76.30	4.605	-	351	1.00	351
							<b>351</b>

#### Azioni ribaltanti

	$S_{a,x}$ [kN]	$S_{a,z}$ [kN]	$X_G$ [m]	$Z_G$ [m]	$M_{Ed}$ [kNm]	$\gamma$ [-]	$\gamma \cdot M_{Ed}$ [kNm]
Spinta carico accidentale X	6.06	-	-	2.000	12.12	1.50	18
Spinta carico accidentale Z	-	8.96	4.671	-	41.85	1.50	63
Spinta statica terreno X	12.12	-	-	1.333	16.16	1.30	21
Spinta statica terreno Z	-	17.92	3.337	-	59.81	1.30	78
							<b>180</b>

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a:

$$CS = \frac{\gamma \cdot M_{Rd}}{\gamma \cdot M_{Ed}} = \frac{351}{180} = 1.95 > 1.15$$

## 11.2. Verifica sismica (SLV)

Si considera lo stato limite di equilibrio (ribaltamento).

### Azioni stabilizzanti



	$S_{a,x}$	$S_{a,z}$	$X_G$	$Z_G$	$M_{Rd}$	$\gamma$	$\gamma \cdot M_{Rd}$
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kNm]	[-]	[kNm]
Peso proprio struttura	-	76.30	4.605	-	351	1.00	351
							<b>351</b>

### Azioni ribaltanti

	$S_{a,x}$	$S_{a,z}$	$X_G$	$Z_G$	$M_{Ed}$	$\gamma$	$\gamma \cdot M_{Ed}$
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kNm]	[-]	[kNm]
Inerzia muro X	6.06	-	-	2.086	13.94	1.00	14
Inerzia muro Z	-	3.34	4.605	-	15.39	1.00	15
Spinta statica terreno X	12.12	-	-	1.333	16.16	1.00	16
Spinta statica terreno Z	-	17.92	3.337	-	59.81	1.00	60
Spinta sismica terreno X	16.21	-	-	2.000	32.42	1.00	32
Spinta sismica terreno Z	-	23.97	4.671	-	111.99	1.00	112
							<b>250</b>

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a:

$$CS = \frac{\gamma \cdot M_{Rd}}{\gamma \cdot M_{Ed}} = \frac{351}{250} = 1.40 > 1.00$$

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b> <b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p><b>III22F</b> <b>A-SIS-RT-216-00</b></p>	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA'</b> <b>TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</b></p>	<p><b>Pag. 47 di 48</b></p>

## 12. PROPOSTA TECNICA DI ADEGUAMENTO SISMICO DELL'OPERA



Dalle verifiche strutturali riportate nel presente documento si evince che le strutture del canale di restituzione in alveo risultano tutte verificate sia staticamente che sismicamente: non è, quindi, necessario formulare una proposta di adeguamento sismico dell'opera. Risulta, altresì, importante prevedere un intervento di manutenzione straordinaria alle strutture per permettere all'opera di raggiungere la vita nominale di 50 anni.

Nel presente capitolo si propone, quindi, una soluzione tecnica preliminare per la manutenzione straordinaria della struttura.

Si ritiene indispensabile ripristinare i copriferri nelle zone ammalorate, in modo da evitare l'innescare di fenomeni corrosivi nelle armature, che porterebbero, nel tempo, ad una inadeguatezza sismica di parti di struttura.

Si prevede quindi un risanamento delle strutture in cemento armato ammalorate mediante la ricostituzione del copriferro, con conservazione della sezione originaria. A tale scopo si dovrà prevedere la preliminare asportazione della parte degradata di calcestruzzo, l'irruvidimento della superficie, l'asportazione dell'eventuale ruggine dell'armatura ed il successivo trattamento della stessa con passivante, infine il rifacimento del copriferro con malta tixotropica antiritiro.

In presenza di ferri di armatura particolarmente ossidati ed a sezione ridotta, sarà consigliabile una loro sostituzione prima di procedere con la realizzazione del copriferro.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p><b>DIGA GIBBESI</b></p> <p><b>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</b></p> <p><b>CANALE DI RESTITUZIONE IN ALVEO</b></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-216-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 48 di 48</p>

### 13. STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO PROPOSTO PER LA MESSA IN SICUREZZA SISMICA DELL'OPERA

Alla luce dei risultati ottenuti dalle verifiche strutturali condotte per il canale di restituzione in alveo della diga di Gibbesi, riportati nel presente documento, si riporta di seguito la stima economica degli interventi proposti al fine di garantire una vita nominale di 50 anni.

#### A) Rimozione del terreno depositatosi nel canale

- Scavo per rimozione degli interrimenti nel canale
- Conferimento a discarica del materiale che ostruisce il canale

*Totale A)* € 650,000.00

#### B) Rifacimento dei copriferri

- Demolizione parte corticale ammalorata per rifacimento copriferri
- Conferimento a discarica delle demolizioni con relativi oneri
- Ripristino del copriferro
- Eventuale sostituzione delle barre di armatura ossidate ed a sezione ridotta

*Totale B)* € 150,000.00

La stima fornita è da considerare di prima approssimazione in quanto solo a valle della corretta analisi sul quantitativo effettivo di materiale di interrimento presente nel canale e sullo stato di qualità chimico-fisica del materiale di interrimento, sarà possibile esprimere un importo economico attendibile.

**TOTALE STIMA € 800,000.00**

**(Totale stima: euro OTTOCENTOMILA/00)**