



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

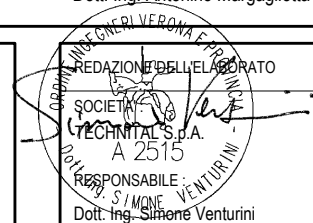
ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA:

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

OPERE INTERRATE

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

ELABORATO N° :

II122F-A-SIS-RT-211-00

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

NOME FILE :

II120F-RI-SIS-RT-211-00.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><i>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</i></p> <p><i>DIGA GIBBESI</i></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 1 di 37</p>

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



GARA EUROPEA A PROCEDURA APERTA PER L'AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA RELATIVI AGLI STUDI DI RIVALUTAZIONE SISMICA, IDROLOGICA ED IDRAULICA PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA E MESSA IN SICUREZZA DELLA DIGA GIBBESI GESTITA DALLA REGIONE SICILIANA

DIGA GIBBESI

RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE



**OPERE INTERRATE:
GALLERIE DI SCARICO DI FONDO E DI SUPERFICIE
CUNICOLI D'ISPEZIONE DEI DRENAGGI
TORRINO DISCENDERIA AI DRENAGGI
POZZETTI D'ISPEZIONE DELLA COLMATA DI VALLE**

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

 III22F A-SIS-RT-211-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	 Pag. 2 di 37
---	--	--

INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO	3
2.	DESCRIZIONE DELLE GALLERIE DI SCARICO	4
2.1.	Gallerie di scarico di superficie destro e sinistro: dettagli costruttivi	5
2.2.	Galleria di scarico di fondo: dettagli costruttivi	6
3.	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI DRENAGGIO DEL CORPO DIGA E DEI POZZETTI	8
4.	ANALISI STORICO-CRITICA DELLE GALLERIE	11
4.1.	Progetto di massima (1969)	11
4.2.	Progetto di fattibilità (1972)	11
4.3.	Progetto 1978 – 1980	14
5.	ANALISI STORICO-CRITICA DELLE OPERE DI DRENAGGIO	17
6.	STATO DI FATTO DELLE GALLERIE	18
7.	STATO DI FATTO DELLE OPERE DI DRENAGGIO	19
8.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AREA GALLERIE	23
8.1.	Risultati delle indagini e rapporti opere-terreni	23
8.2.	Caratterizzazione geotecnica	24
8.2.1.	Argille AT del Tortoniano	24
8.2.2.	Argille puddingoidi AP	27
8.3.	Parametrizzazione geotecnica di riferimento	30
9.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AREA DRENAGGI E POZZETTI	31
9.1.	Risultati delle indagini e rapporti opere-terreni	31
9.2.	Parametrizzazione geotecnica di riferimento	33
10.	ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA	34
11.	PROPOSTA TECNICA DI ADEGUAMENTO SISMICO DELLE OPERE	36
12.	STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO PROSTO PER LA MESSA IN SICUREZZA SISMICA DELL'OPERA	37



 III22F A-SIS-RT-211-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	 Pag. 3 di 37
---	--	--

1. OGGETTO E SCOPO

L'oggetto della presente relazione sono le opere interrato appartenenti alla diga di Gibbesi, ovvero: le gallerie di scarico di fondo e di superficie, i cunicoli d'ispezione dei drenaggi, il torrino di discenderia ai drenaggi e i pozzetti d'ispezione della colmata di valle.

Lo scopo della presente relazione è la determinazione della vulnerabilità sismica delle opere interrato e lo studio di fattibilità tecnico-economica degli eventuali interventi d'adeguamento strutturale.

Per i dati generali e i criteri di progetto si rimanda alla relazione A-SIS-RT-201-00 “*Rivalutazione sismica delle opere accessorie – Criteri generali – Relazione tecnica*” 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.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p>OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 4 di 37</p>

2. DESCRIZIONE DELLE GALLERIE DI SCARICO

La seguente Figura 2.1 illustra la disposizione planimetrica delle tre gallerie di scarico presenti nella diga di Gibbesi e posta sulla destra orografica della valle:

- Galleria di scarico sinistro, di lunghezza complessiva pari a 621 m di galleria naturale, che si estende dallo sfioratore sinistro fino alla vasca di dissipazione, Figura 2.2, con uno sviluppo caratterizzato da una pendenza costante pari all'1.4%;
- Galleria di scarico destro, di lunghezza complessiva pari a 597 m di galleria naturale, che corre parallela alla precedente, estendendosi dallo sfioratore destro fino alla vasca di dissipazione, Figura 2.3, con uno sviluppo caratterizzato da una pendenza costante pari all'1.4%;
- Galleria di scarico di fondo, Figura 2.3, di lunghezza complessiva pari a 477 m (di cui 46 m in artificiale), che ha inizio alla base dell'invaso in corrispondenza dell'opera di presa a monte del corpo diga e giunge fino allo sfioratore a calice destro, dove confluisce le sue acque alla successiva galleria di scarico di superficie destro. L'andamento è anche in questo caso a pendenza pressoché costante, pari allo 0.8-0.9%.

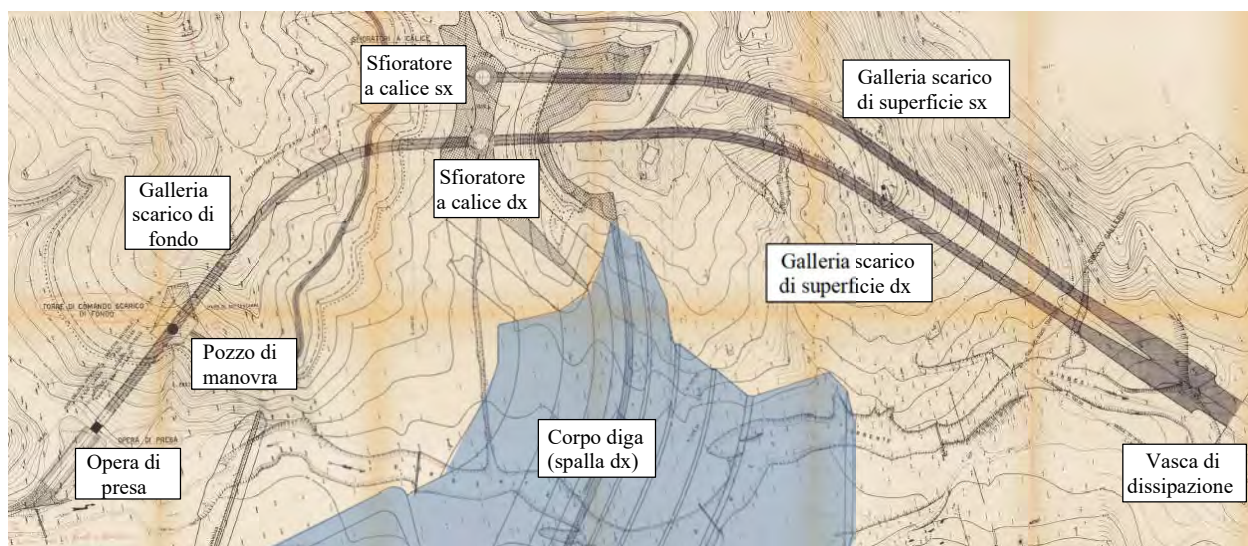




Figura 2.1: Diga di Gibbesi – Planimetria della diga e posizione delle gallerie di scarico (disegno di progetto del 1982)

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III122F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 5 di 37</p>

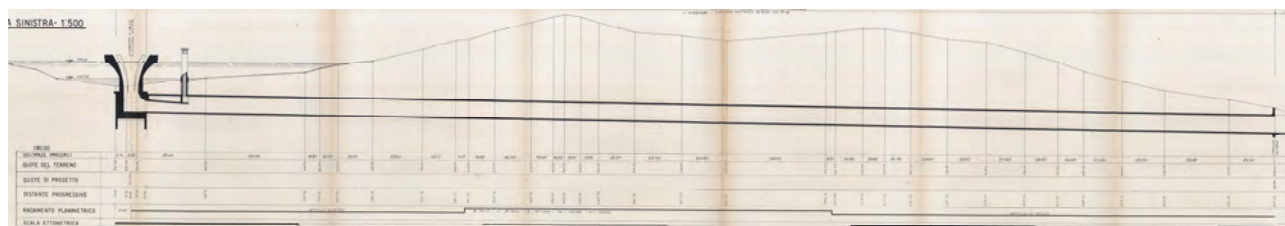


Figura 2.2: Diga di Gibbesi – Profilo altimetrico della galleria di scarico di superficie sinistro

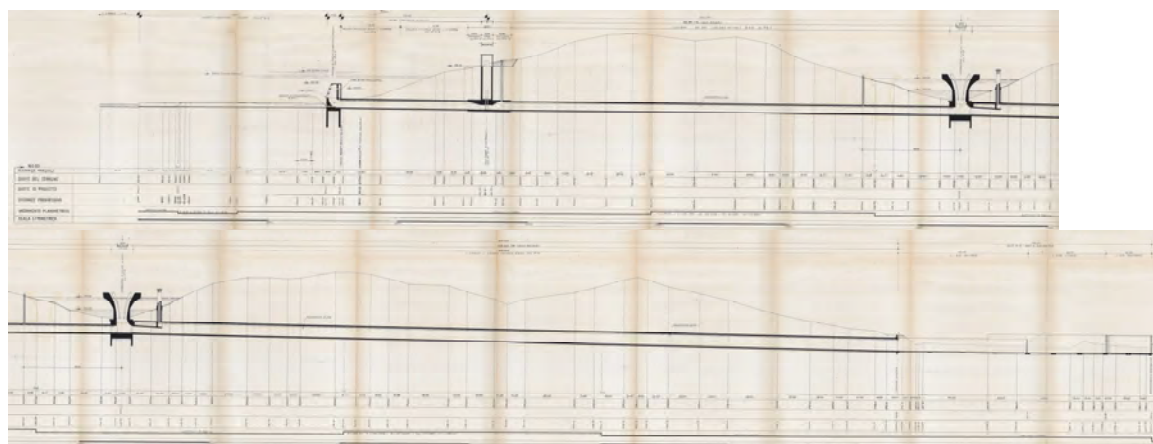


Figura 2.3: Diga di Gibbesi – Profilo altimetrico della galleria di scarico di fondo e della successiva galleria di scarico di superficie destro

2.1. Gallerie di scarico di superficie destro e sinistro: dettagli costruttivi



Le gallerie di scarico si sviluppano tra gli sfioratori a calice, posti sul margine destro dello sbarramento, e la vasca di dissipazione a valle.

L'intero tracciato delle due gallerie si sviluppa in naturale, con un andamento planimetrico caratterizzato da una distanza tra le due fornici massima agli sfioratori, pari a oltre 60 m, fino ad un valore minimo presso la vasca di dissipazione di 25 m.

Le gallerie di scarico di superficie hanno una sagoma di scavo ed una sagoma interna entrambe a ferro di cavallo. L'intradosso del rivestimento definitivo presenta un con raggio in calotta pari a 4 m a, in presenza di un rivestimento gettato in opera di spessore 90 cm in calotta e 80 cm in arco rovescio.

Lo scavo è avvenuto a sezione parzializzata (prima la parte superiore poi il ribasso) con immediata posa in opera di centine e calcestruzzo proiettato per uno spessore di 25 cm a ridosso del fronte, per limitare i fenomeni di allentamento della formazione argillosa.

La presenza del priverivestimento in calotta riduce lo spessore complessivo della sezione resistente in cls armato a 65 cm.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 6 di 37</p>

La seguente Figura 2.4 illustra la sezione tipo impiegata per le gallerie di scarico di superficie.

Non si dispone di alcun elaborato grafico che illustri posizione e caratteristiche dell'armatura del rivestimento definitivo.

Il moto dell'acqua è previsto a pelo libero anche nelle più gravose condizioni di funzionamento.

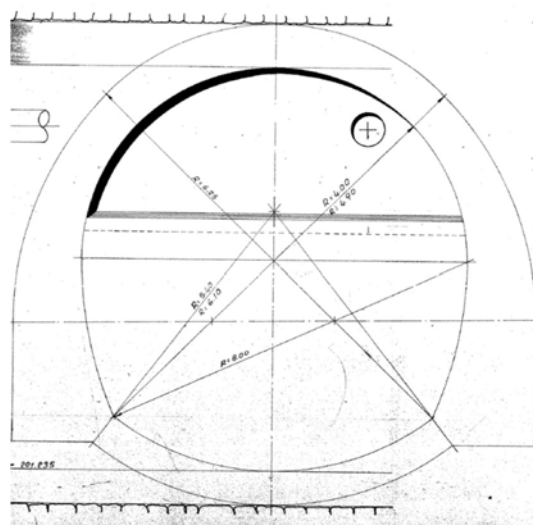


Figura 2.4: Diga di Gibbesi – Gallerie di scarico di superficie - Sezione tipo



2.2. Galleria di scarico di fondo: dettagli costruttivi

La galleria dello scarico di fondo è un manufatto in calcestruzzo armato che si sviluppa con continuità a partire dalla Torre di Presa fino allo Sfiatore a calice destro; convoglia attualmente le acque provenienti dal Torrente Gibbesi a monte dello sbarramento.

È presente, dalla sezione di sbocco fino alla Torre di controllo, il tubo dell'acquedotto Dn900, sostenuto da un sistema di travi in acciaio IPE400mm con interasse di 12m incastrate nella parte sommitale della sezione.

La sezione di scavo ha forma a ferro di cavallo, mentre in presenza del rivestimento definitivo la sezione finale ha forma circolare con diametro interno 6 m.

Lo scavo è avvenuto a sezione parzializzata (prima la parte superiore poi il ribasso) con immediata posa in opera di centine e calcestruzzo proiettato per uno spessore di 25 cm a ridosso del fronte, per limitare i fenomeni di allentamento della formazione argillosa.

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p>OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 7 di 37</p>

Il rivestimento in cls gettato in opera ha spessore minimo pari a 70 cm sia in calotta che in arco rovescio, e valori più elevati alle murette.

La seguente Figura 2.5 illustra la sezione tipo impiegata per la galleria di scarico di fondo e l'armatura prevista in progetto. La disposizione dei ferri di armatura del rivestimento definitivo segue la sagoma interna circolare.

Anche in questo caso il moto dell'acqua è previsto a pelo libero anche nelle più gravose condizioni di funzionamento.

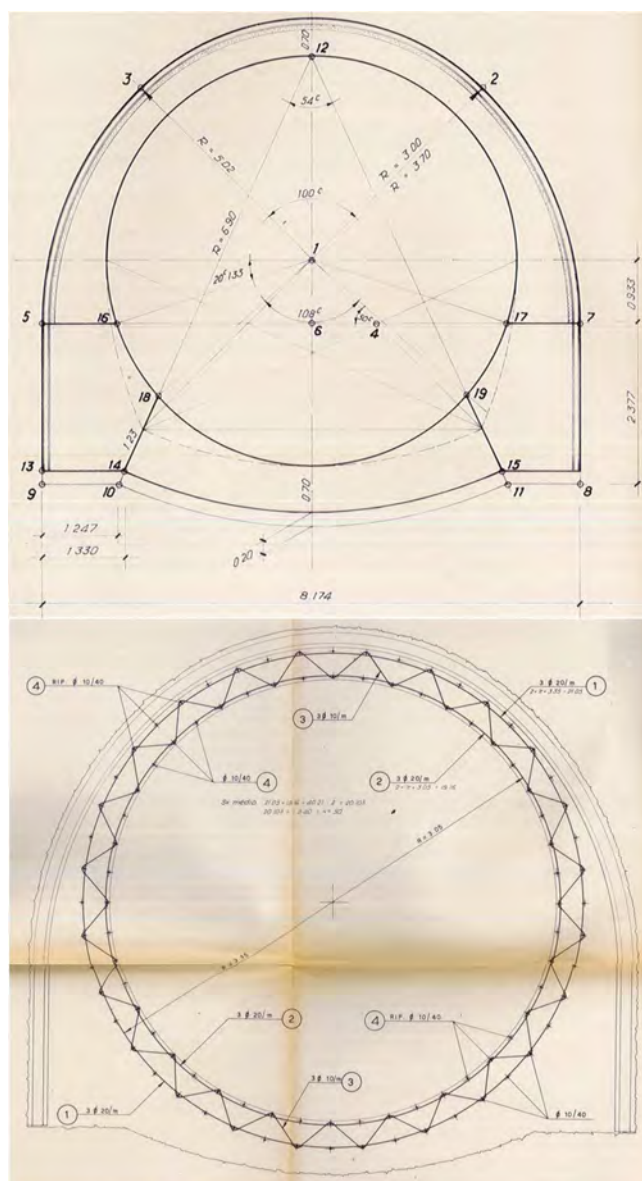




Figura 2.5: Diga di Gibbesi – Galleria di scarico di fondo - Sezione tipo

 III22F A-SIS-RT-211-00	<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;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p style="text-align: center;">OPERE INTERRATE</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	 Pag. 8 di 37
---	---	--

3. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI DRENAGGIO DEL CORPO DIGA E DEI POZZETTI

Alla Figura 3.2 è illustrata la disposizione planimetrica dei cunicoli d'ispezione dei drenaggi, con relativa discenderia, rispetto al corpo diga.

Il cunicolo, che ha uno sviluppo longitudinale di 176 m, ha larghezza 120 cm e altezza 210 cm. Al suo interno scorre una canaletta di larghezza 28 cm che trasporta l'acqua dai drenaggi fino all'uscita.

Il torrino di discenderia, alto circa 18 m, è quasi del tutto interrato, con sezione rettangolare 5.05×2.70 m. Al suo interno sono presenti 7 rampe di scale, in acciaio, che permettono di scendere fino a quota 193.70 m s.l.m., dove si dipartono i due cunicoli di raccolta. Il torrino, localizzato a valle dello sbarramento, all'inizio del corpo rilevato; raccoglie le acque provenienti dai 7 canali di drenaggio che, a partire dal corpo diga, si riversano nei due cunicoli di raccolta che vanno a confluire nella torre. Da qui le acque passano nella condotta per lo smaltimento a valle verso il canale di restituzione, nella quale si rilevano 5 pozzi di ispezione.

Non si dispone di alcun elaborato grafico che illustri posizione e caratteristiche dell'armatura dei cunicoli e del torrino.

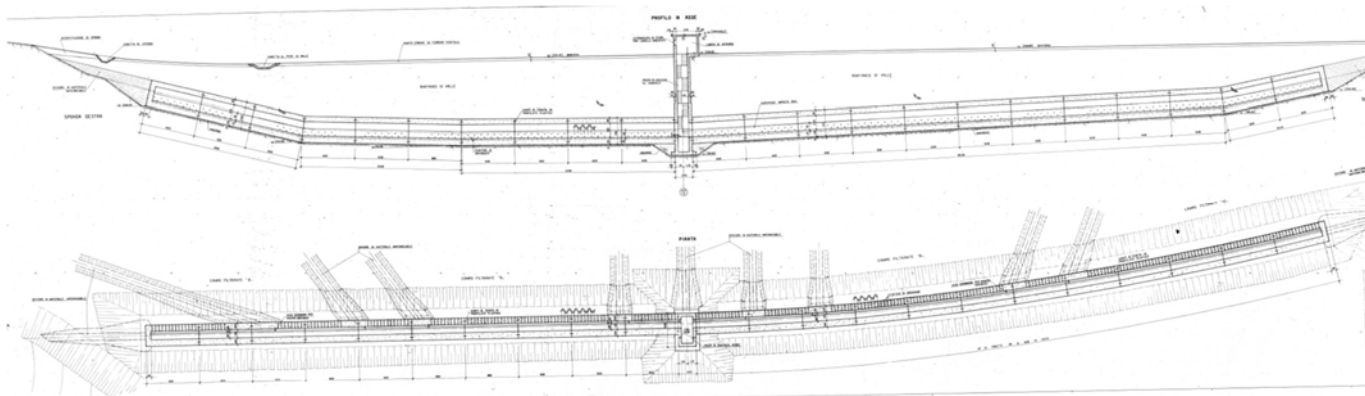


Figura 3.1: Diga di Gibbesi – Sezione e pianta dei cunicoli d'ispezione dei drenaggi, con relativo torrino di discenderia (Progetto di fattibilità del 1972)


	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p>OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 9 di 37</p>



Figura 3.2: Diga di Gibbesi – Planimetria della diga e posizione dei cunicoli d'ispezione dei drenaggi, con relativo torrino di discenderia (Progetto di fattibilità del 1972)

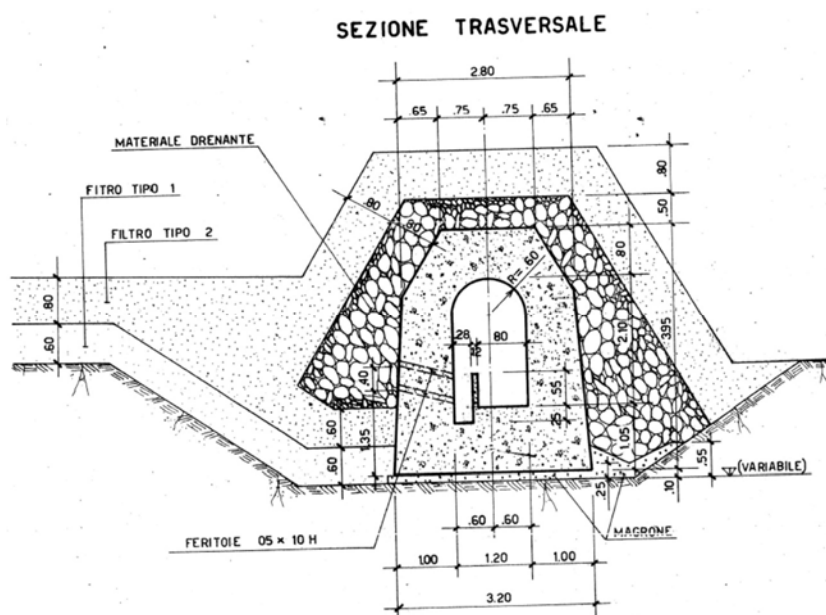




Figura 3.3: Diga di Gibbesi – Sezione trasversale del cunicolo d'ispezione dei drenaggi (Progetto di fattibilità del 1972)

 <p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p>OPERE INTERRATE</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	 <p>Pag. 10 di 37</p>
--	---	---

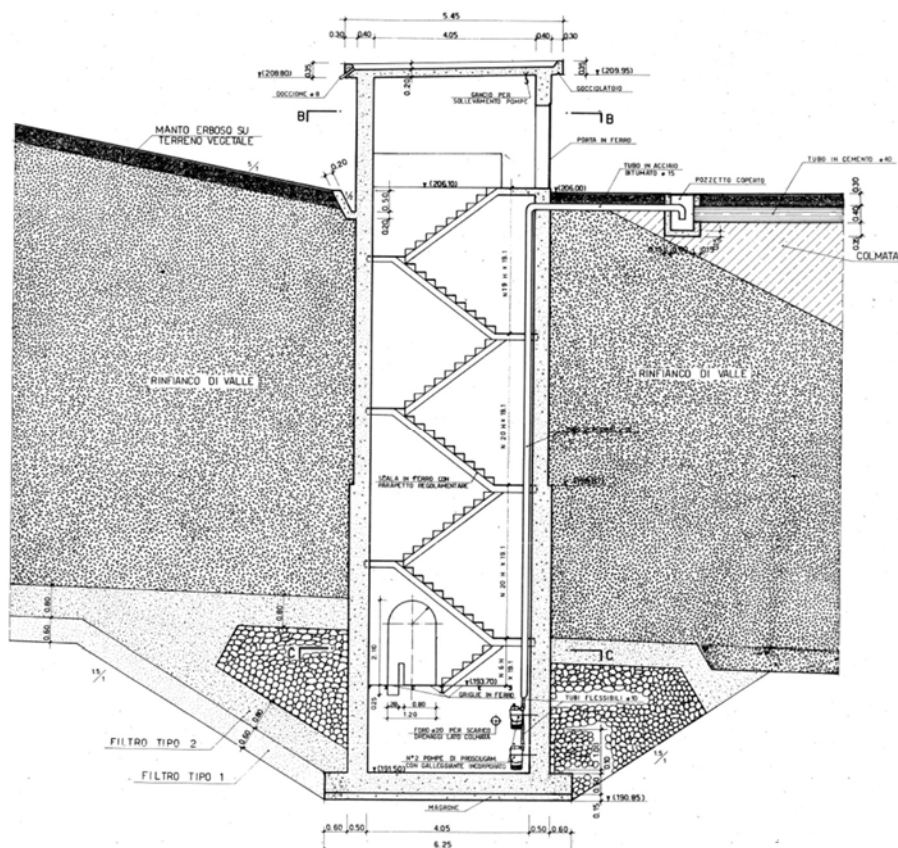


Figura 3.4: Diga di Gibbesi – Sezione del torrino di discenderia (Progetto di fattibilità del 1972)

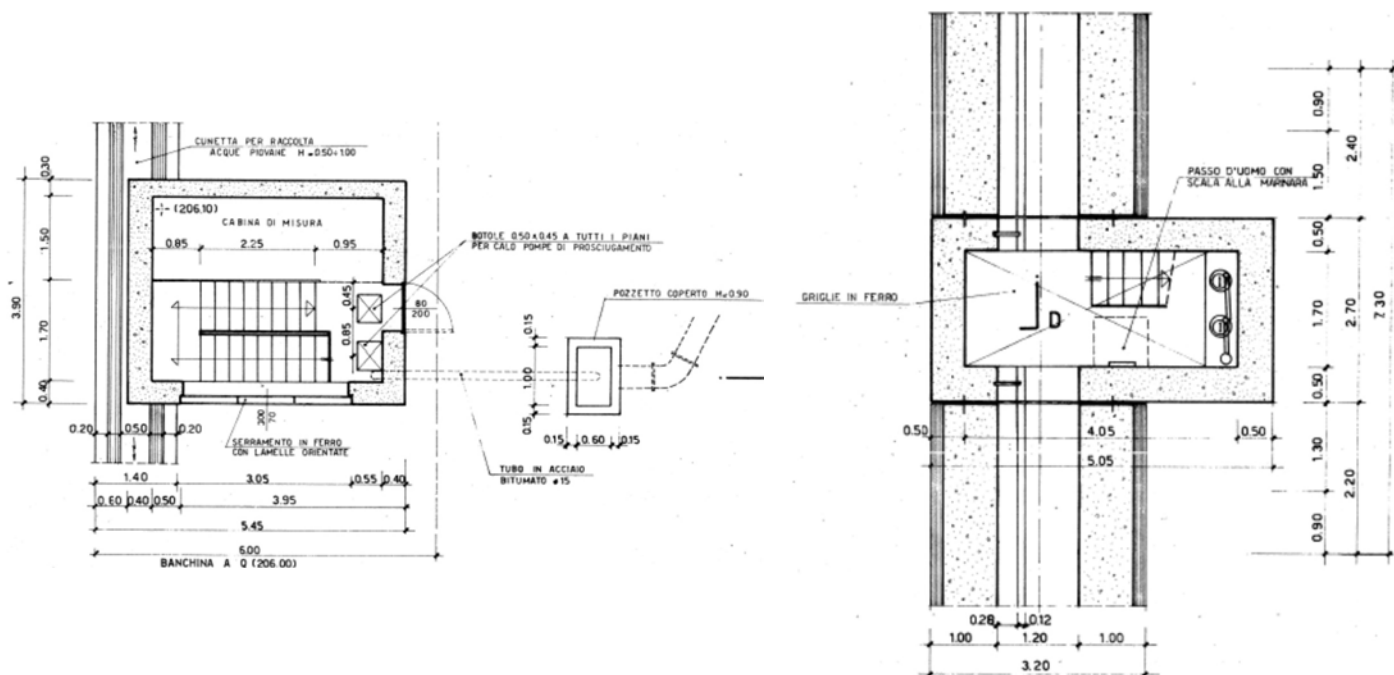




Figura 3.5: Diga di Gibbesi – Sezioni B-B e C-C del torrino (Progetto di fattibilità del 1972)

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p>OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 11 di 37</p>

4. ANALISI STORICO-CRITICA DELLE GALLERIE

4.1. Progetto di massima (1969)

Il progetto di massima della diga e delle opere annesse risale al 1969, e descrive un assetto planimetrico dello sbarramento e delle opere di scarico ben diverso dall'attuale stato di fatto. Questo progetto infatti prevedeva una galleria di scarico di fondo in sponda destra ed una galleria di scarico di superficie in sinistra idrografica caratterizzata da uno sfioratore a calice all'imbocco. Entrambe le gallerie presentano un diametro pari a 6.80 m e pendenza pari all'1.72%, e confluiscono ciascuna in un canale a pelo libero. I due canali si uniscono l'uno con l'altro a loro volta con una geometria a V per poi scaricare le acque a valle nuovamente nel rio Gibbesi.

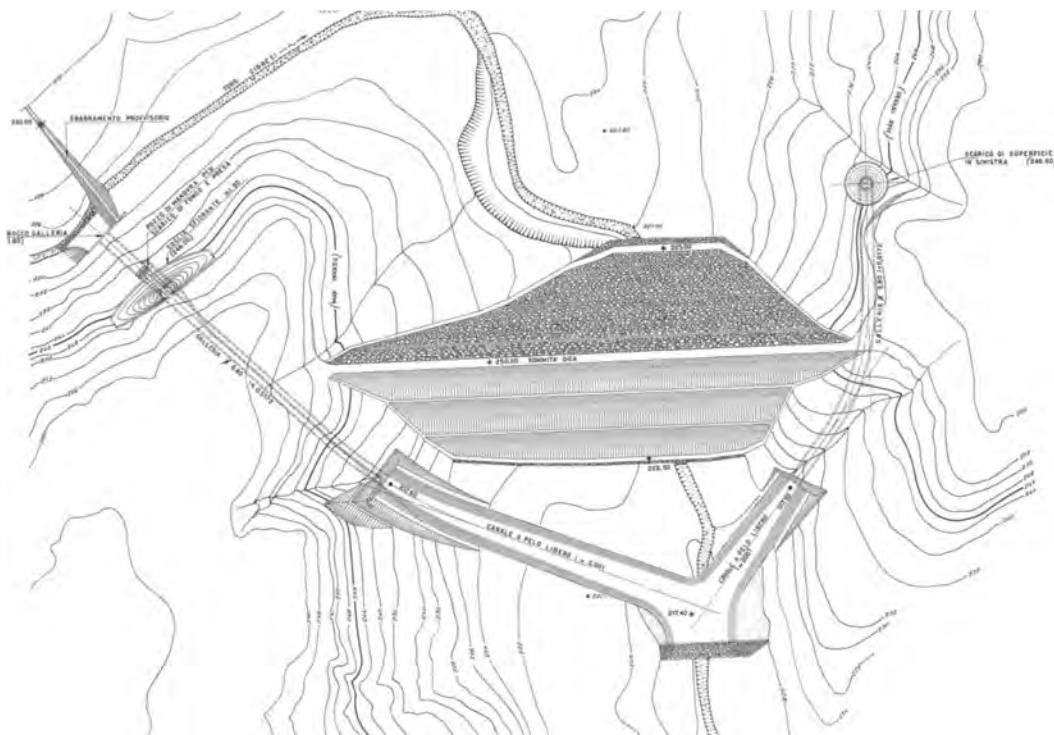




Figura 4.1: Progetto di massima 1969 – Planimetria della diga e delle opere annesse

4.2. Progetto di fattibilità (1972)

Solo a partire dal progetto di fattibilità, risalente al 1972, la disposizione planimetrica delle opere di scarico diviene molto simile alla situazione attuale, come ben illustrato nella "Relazione tecnica" (§ 13.2) dello stesso anno dove viene riportato ciò che segue:

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 12 di 37</p>

La soluzione adottata circa il posizionamento delle opere di scarico è derivata da considerazioni imposte dalla morfologia e dalla geologia della zona.

Essa prevede l'ubicazione in sponda sinistra sia dello scarico di fondo che dello scarico di superficie. Questa scelta è stata facilitata dall'abbondante documentazione geognostica della zona che ha messo chiaramente in evidenza le diverse caratteristiche geologiche delle due sponde con responso nettamente favorevole, a questi fini, per la sponda sinistra.



Le opere per lo scarico di superficie sono costituite da due sfioratori a calice con soglia fissa circolare e ciglio alla quota di ritenuta normale di 229 m s.m.; con diametro sulla soglia di 23,88 m. Il massimo vaso in condizioni di piena è posto a quota 231,50 m s.m., con un carico massimo, sulla soglia degli sfioratori, di metri 2,50. Le fondazioni degli sfioratori saranno realizzate con la tecnica della sottomurazione entro pozzi attraversanti le argille puddingoidi di elevata compattezza. Gli assi verticali dei due calici distano, fra loro, circa 63 m. Alla base, con platea a quota 201,67 m s. m., il calice si raccorda con le due gallerie di scarico rettilinee con sezione policentrica e con diametro $D = 7,00$ m. La galleria più vicina al torrente Gibbesi, denominata destra, ha, una lunghezza di 526,00 m dall'asse del calice dello sbocco ed una pendenza $i = 1,7\%$; l'altra galleria, sinistra ha una lunghezza di 541,50 m ed una pendenza $i = 1,65\%$.

Al termine, con un interasse di 25,00 m, le due gallerie sboccano nelle opere di dissipazione, costituite da due vasche di smorzamento affiancate a pianta rettangolare,

Dal punto di vista stratigrafico le gallerie iniziano entro le argille puddingoidi compatte, ma entrano dopo alcuni metri nella formazione delle argille tortoniane, stratificate ed a consistenza marnosa, costituenti la spalla della diga; dopo circa 170 ml rientrano nuovamente nelle argille puddingoidi, entro cui si sviluppano sino agli sbocchi. Alla progressiva 300-320 attraversano una zona incisa da una vallecchia con una copertura media inferiore ai cinque metri e pertanto è previsto di eseguire la calotta della galleria in artificiale. La galleria di sinistra è notevolmente discosta dall'arco di imposta diga; la galleria destra passa invece, dal punto di vista planimetrico, in corrispondenza dell'estremità della spalla sinistra della diga.

Per sostenere lo scavo delle gallerie è previsto l'impiego sistematico dello spritz beton rinforzato da centine NP accoppiate ad un interasse variabile da 0,80 a 1,20 m; ad esso seguirà un adeguato rivestimento definitivo, in calcestruzzo parzialmente armato.

Il funzionamento delle gallerie è previsto a pelo libero; l'aria necessaria per garantire tale condizione di moto è fornita da un aeroforo addossato all'esterno del calice, esso ha sezione circolare, con diametro $D = 1,40$ m, e lo sbocco è posto all'inizio delle gallerie.

 III22F A-SIS-RT-211-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	 Pag. 14 di 37
---	--	---

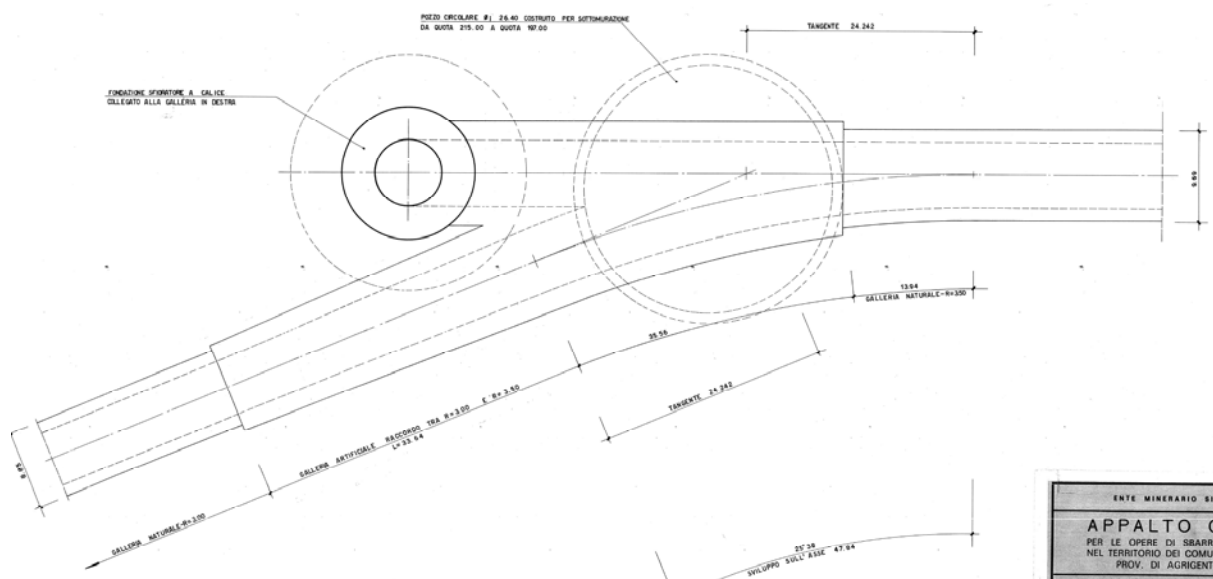




Figura 4.4: Progetto di fattibilità 1972 – Raccordo tra la galleria di scarico di fondo e lo scarico di destra

4.3. Progetto 1978 – 1980

Il progetto corrispondente alla situazione attuale dal punto di vista delle opere di scarico risale al 1978-1980. Dal punto di vista planimetrico e dei profili altimetrici delle gallerie si faccia riferimento alle precedenti Figura 2.1, Figura 2.2 e Figura 2.3. Il profilo geologico delle gallerie di scarico è invece proposto nelle seguenti Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7.

Nel complesso, come si può osservare, la posizione planimetrica delle gallerie è del tutto analoga alla precedente fase di studio, fatto salvo uno spostamento delle due gallerie di scarico di superficie verso l'interno del versante, per far sì che quella di destra non sottopassi direttamente la spalla del corpo diga. Tale spostamento è stato ottenuto prevedendo non più un andamento planimetrico rettilineo tra gli sfioratori e la vasca di dissipazione, come previsto nel 1972, ma un andamento in curva (Figura 2.1). Dall'inquadramento planimetrico si rileva inoltre che, a differenza del progetto di fattibilità, l'innesto dello scarico di fondo sulla galleria di superficie destra non è più previsto a valle dello sfioratore a calice, ma proprio in corrispondenza di esso.

Anche dal punto di vista altimetrico non si rilevano differenze sostanziali rispetto al progetto del 1972, pur risultando, probabilmente sulla base degli ulteriori accertamenti diagnostici eseguiti, l'adozione di scelte progettuali diverse in corrispondenza di quelle tratte a bassa copertura in cui la galleria destra si avvicina allo sfioratore, Figura 4.5.

 III22F A-SIS-RT-211-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	 Pag. 15 di 37
---	--	---

Nel progetto di fattibilità, infatti, tali tratti erano previsti con gallerie artificiali, mentre la natura compatta, seppur plastica, dei depositi argillosi attraversati ha suggerito la possibilità di procedere comunque con scavo in naturale, garantendo una repentina messa in opera di prerivestimenti per contrastare i fenomeni di allentamento al contorno del cavo.

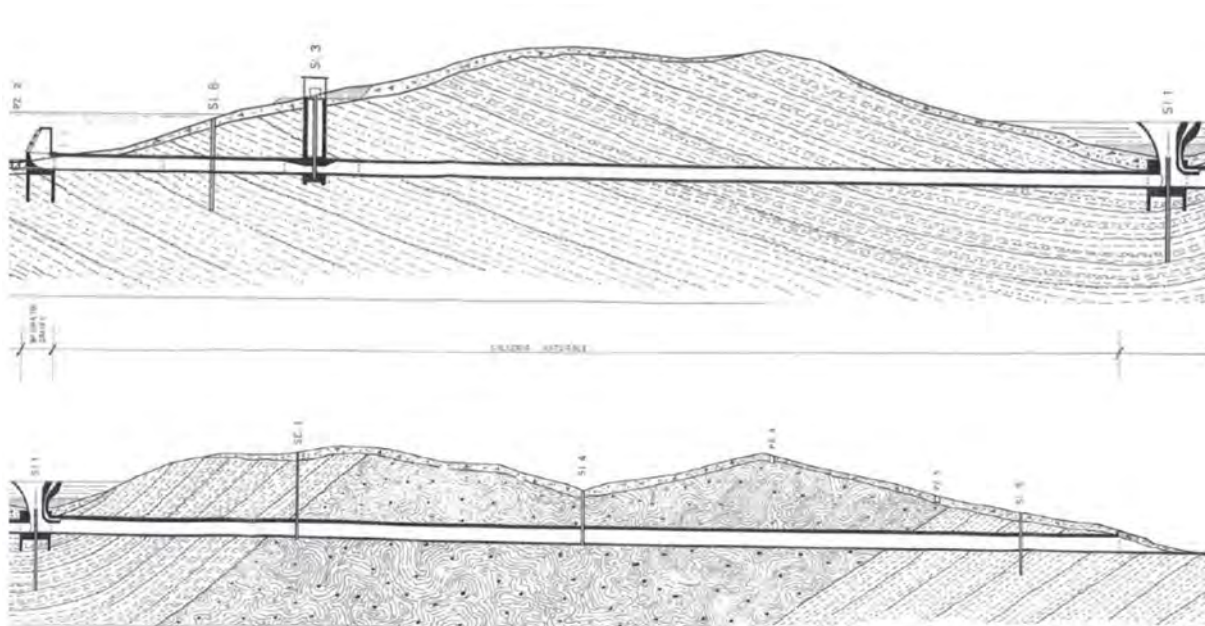


Figura 4.5: Progetto 1978-1980 – Profilo geologico della galleria dello scarico di fondo (tratto tra la presa ed il calice) e della successiva galleria dello scarico di superficie destro (tra il calice e la vasca di dissipazione)



Figura 4.6: Progetto 1978-1980 – Profilo geologico della galleria di scarico di superficie sinistro





	<p align="center">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p align="center">DIGA GIBBESI</p> <p align="center">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p align="center">II122F A-SIS-RT-211-00</p>	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p align="center">Pag. 16 di 37</p>





Figura 4.7: Progetto 1978-1980 – Legenda geologica relativi ai profili precedenti

	<p align="center"><i>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</i></p> <p align="center">DIGA GIBBESI</p> <p align="center">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p align="center">III122F A-SIS-RT-211-00</p>	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p align="right">Pag. 17 di 37</p>

5. ANALISI STORICO-CRITICA DELLE OPERE DI DRENAGGIO

Gli unici documenti che trattano le strutture dei cunicoli di drenaggio, e relativo torrino di discenderia, sono quelli relativi al Progetto di Fattibilità del 1972. Non sono state ritrovate relazioni di alcun tipo.

 III22F A-SIS-RT-211-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	 Pag. 18 di 37
---	--	---

6. STATO DI FATTO DELLE GALLERIE

Sulla base di una serie di sopralluoghi realizzati in fase di rivalutazione sismica, è stato possibile rilevare nel dettaglio lo stato di conservazione delle opere in sotterraneo e la presenza di particolari criticità.



I seguenti paragrafi descrivono nel dettaglio l'esito di tali analisi per ciascuna galleria. In linea di massima, per quanto è stato possibile rilevare le gallerie non manifestano problematiche strutturali significative tali da comprometterne nel medio termine le condizioni di stabilità. Ciò nonostante, la presenza di criticità al momento prettamente estetiche richiede interventi adeguati di sistemazione, volti a limitare il degradamento progressivo delle strutture.

L'accessibilità alla sola galleria di destra è resa possibile, ma con difficoltà, attraverso un salto di circa 2.30 metri, venutosi a creare a seguito del crollo del muro esterno dx della Vasca, in corrispondenza del giunto strutturale, ad una distanza di 17,50m. dalla sezione di sbocco.

Lo stato di conservazione del calcestruzzo è mediocre: si rilevano diffusi fenomeni di carbonatazione con distacchi localizzati di copriferro e conseguente ossidazione delle barre di armatura.



Figura 6.1: Diga di Gibbesi – Gallerie di scarico: concrezioni e macchie presenti sulla superficie interna

 II122F A-SIS-RT-211-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	 Pag. 19 di 37
---	--	---

7. STATO DI FATTO DELLE OPERE DI DRENAGGIO

Sulla base di una serie di sopralluoghi realizzati in fase di rivalutazione sismica, è stato possibile rilevare nel dettaglio lo stato di conservazione delle opere di drenaggio e la presenza di particolari criticità. I seguenti paragrafi descrivono nel dettaglio l'esito di tali analisi.

In linea di massima, per quanto è stato possibile rilevare, i cunicoli d'ispezione dei drenaggi non manifestano problematiche strutturali significative tali da comprometterne nel medio termine le condizioni di stabilità. Ciò nonostante, la presenza di criticità al momento prettamente estetiche, richiede interventi adeguati di sistemazione, volti a limitare il degradamento progressivo delle strutture.

La struttura del torrino è formata da setti e piastre in c.a. che versano in scarse condizioni di conservazione, con fenomeni di ossidazione soprattutto nella parte in elevazione, e riduzione sensibile delle sezioni resistenti delle armature.

I pozzetti, pur risentendo di deterioramenti dovuti al tempo, non risultano in condizioni critiche.



Figura 7.1: Diga di Gibbesi – Torre di drenaggio con in primo piano il torrino di ventilazione Est



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 20 di 37</p>



Figura 7.2: Diga di Gibbesi – Solaio di copertura - armature ossidate con particolare del gancio di sollevamento pompe acque cariche

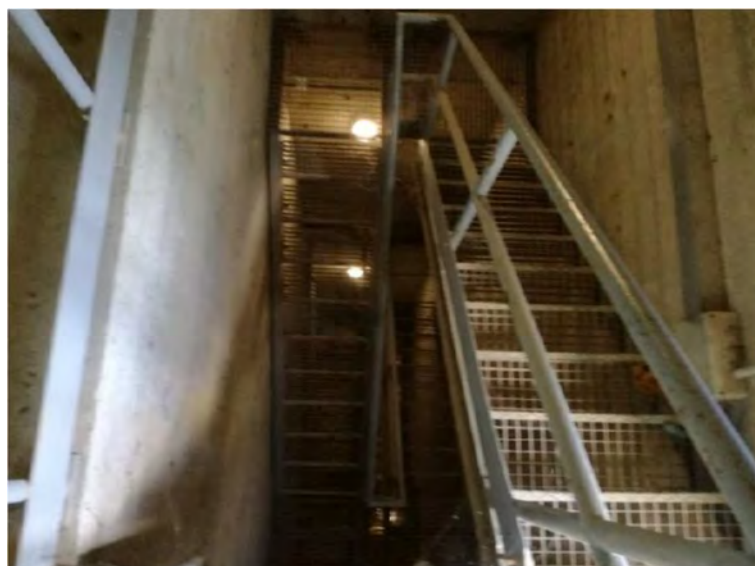


Figura 7.3: Diga di Gibbesi – Particolare scala in profilati e griglie metalliche



	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p>OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 21 di 37</p>



Figura 7.4: Diga di Gibbesi – Cunicolo drenaggio Ovest





	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p>OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 22 di 37</p>



Figura 7.5: Diga di Gibbesi – Cunicolo drenaggio Est



Figura 7.6: Diga di Gibbesi – Particolare innesto tipo del canale di drenaggio nel cunicolo

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 23 di 37</p>

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AREA GALLERIE

8.1. Risultati delle indagini e rapporti opere-terreni

Per il riconoscimento e la caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati dalla galleria dello scarico di superficie e dalla galleria dello scarico di fondo si è fatto riferimento ai sondaggi eseguiti in fase di progetto ed in epoca successiva ed ai nuovi sondaggi eseguiti nel corso della presente fase di studi.

La posizione planimetrica delle indagini è illustrata nella seguente Figura 8.1 tratta da Google Earth.

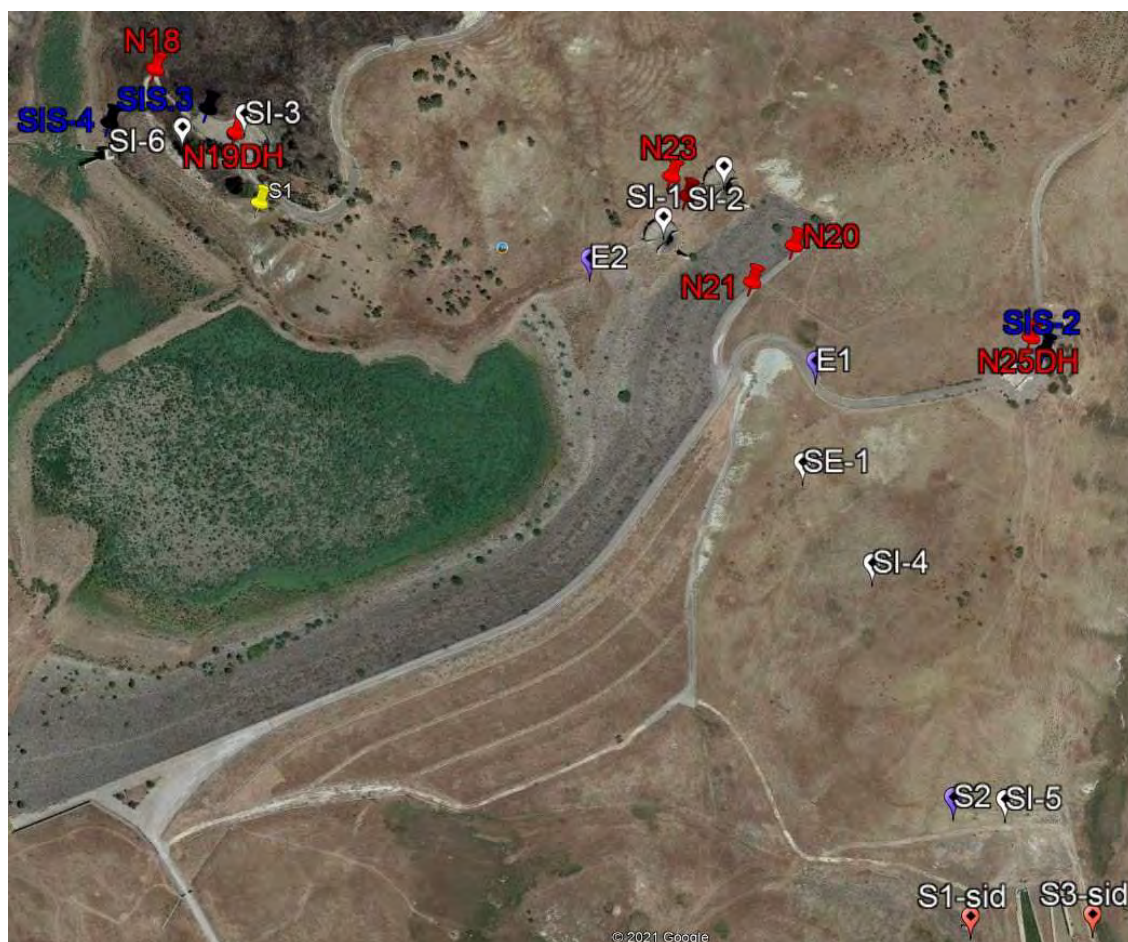




Figura 8.1: Diga di Gibbesi – Ubicazione delle indagini prossime alle gallerie di scarico

I sondaggi presi in esame sono ubicati lungo le colline attraversate dal tracciato delle gallerie. In particolare, si è fatto riferimento ai dati relativi a:

 III22F A-SIS-RT-211-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO	 Pag. 24 di 37
---	--	---

- indagini di progetto eseguite specificatamente per la galleria: sondaggi SI-1, SI- 2, SI-3, SI-4, SI-5, SI-6, SE-1;
- altre indagini di progetto: sondaggi: S1, S2, E1, E2;
- indagini eseguite nel 2018 per la vasca di dissipazione: sondaggi S1-Sid, S2-Sid;
- indagini eseguite nel 2021:
 - sondaggi N18, N19DH, N20, N21, N23, N24DH, N25DH;
 - stendimenti sismici a rifrazione SIS-2, SIS-3, SIS-4.

Si è anche fatto riferimento ai rimanenti sondaggi eseguiti nel 2021 nei terreni di fondazione del corpo diga ed opere accessorie, che interessano gli stessi litotipi attraversati dalle gallerie.

Dal punto di vista dell'assetto stratigrafico, le formazioni geologiche interessate dalle gallerie secondo i profili del progetto 1978-1980 (rif. precedenti Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7) trovano piena conferma nelle indagini esaminate.

Entrambe le gallerie attraversano terreni argillosi, ad eccezione di brevissimi tratti in corrispondenza degli imbocchi, dove si rinvenivano terreni di natura alluvionale ovvero detritica con inclusi lapidei e gessi.

Si tratta, in particolare, di argille marnose compatte di colore grigio azzurro del Tortoniano, che nella presente fase degli studi sono state classificate con la sigla AT e di argille brecciate compatte con noduli marnosi duri, identificate come argille puddingoidi AP.

La galleria dello scarico di fondo e la successiva galleria dello scarico di superficie destro sono interessate dalle argille AT lungo l'intero tratto compreso tra l'imbocco (opera di presa) ed alcune centinaia di metri oltre il calice ed anche nel tratto finale fino allo sbocco (vasca di dissipazione). Nel tratto intermedio tra il calice e lo sbocco sono presenti le argille puddingoidi AP.

Anche la galleria dello scarico di superficie sinistro è interessata prevalentemente dalle argille tortoniane AT a partire da entrambi gli imbocchi, mentre nella sezione centrale sono presenti le argille puddingoidi AP.

8.2. Caratterizzazione geotecnica

8.2.1. Argille AT del Tortoniano

I terreni AT sono costituiti da argille marnose scagliettate di colore grigiastro o grigio azzurro, molto consistente, con un contenuto d'acqua WN minore del limite di plasticità WP. Sono presenti noduli e veli di sabbia fina di colore grigio chiaro e noduli marnosi

duri. La struttura è scagliettata, con scaglie grosse di forma appiattita o prismatica, da debolmente a ben serrate, a spigoli vivi, con superfici ondulate o concoidi. Talora si passa a scaglie piccole, variamente compenstrate e ben serrate, a spigoli vivi.

La percentuale di carotaggio è risultata sempre molto elevata.

Si riportano di seguito i risultati delle prove di laboratorio eseguite nel 2021 sui campioni dei termini AT prelevati con sondaggi lungo il tracciato delle gallerie.

Dal punto di vista granulometrico i terreni AT sono classificabili come argilla con limo debolmente sabbiosa, Figura 8.2.

Dai diagrammi di plasticità e attività riportati in Figura 8.3 si ricava che l'argilla è di alta plasticità e di attività bassa o normale.

Il peso γ varia nell'intervallo 19 – 20 kN/m³.

Quattro prove di taglio diretto consolidate drenate, Figura 8.4, forniscono valori di coesione effettiva c' ed angolo d'attrito effettivo ϕ' variabili nei seguenti intervalli:

$$c' = 24 - 42 \text{ kPa} \quad \phi' = 20^\circ - 25^\circ$$

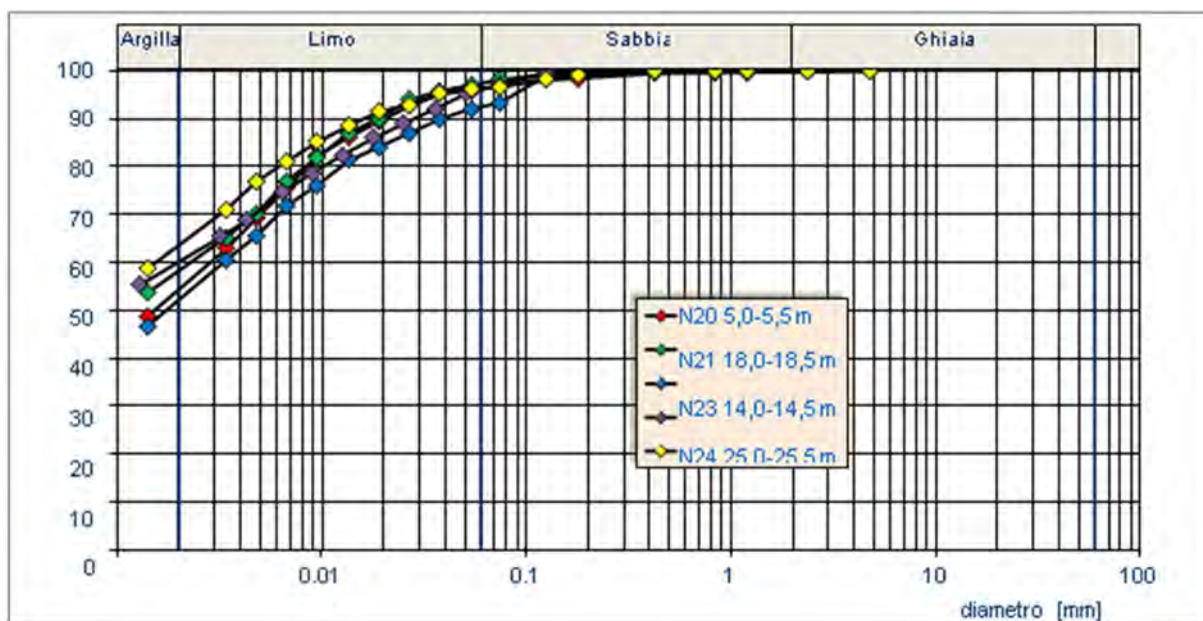


Figura 8.2: Diga di Gibbesi – Argille AT: composizione granulometrica

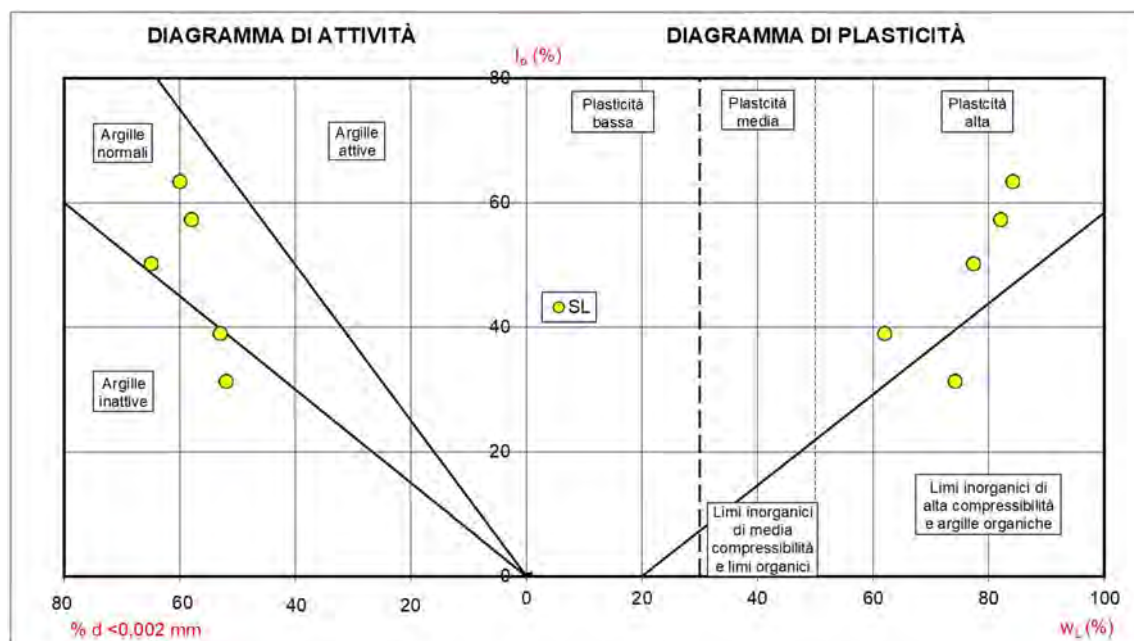


Figura 8.3: Diga di Gibbesi – Argille AT: diagrammi di plasticità e attività

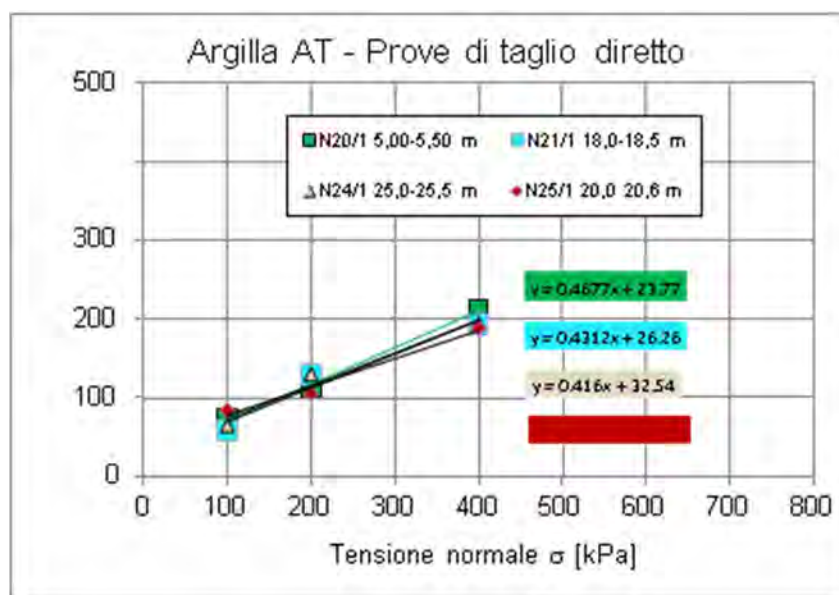


Figura 8.4: Diga di Gibbesi – Argille AT: risultati delle prove di taglio diretto

Più in generale, dai risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui campioni delle argille del Tortoniano AT prelevati nei terreni di fondazione del corpo diga e delle opere accessorie al serbatoio nel corso delle indagini anni svolte nel 2018 e nel 2021 si sono ottenuti i campi di variazione dei parametri di resistenza a taglio indicati nella tabella successiva:

AT	c' [kPa]	ϕ' [°]
min	15	20
media	30	24
max	46	29

Per quanto riguarda la deformabilità e la permeabilità dei terreni AT, si fa riferimento ai risultati di tre prove di compressione edometrica eseguite su campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni del 2021.

Gli intervalli di variazione dell'indice dei vuoti e , del modulo di compressione edometrica E_{ed} , del coefficiente di consolidazione c_v e del coefficiente di permeabilità k sono riportati nel seguito.

AT	e	E_{ed} [MPa]	c_v [cm ² /sec]	k [cm/sec]
min	0,32	4	6,6E-05	1,6E-10
media	0,52	31	3,1E-04	1,1E-09
max	0,77	79	3,1E-04	1,1E-09

8.2.2. Argille puddingoidi AP

Le argille puddingoidi AP sono di colore grigio o grigio verdastro, marnose, molto consistenti, con un contenuto d'acqua WN minore al limite di plasticità WP. Inglobano numerosi noduli marnosi di forma tondeggiante e noduli di sabbia fina di colore grigio chiaro.

Sono state osservate lungo il sondaggio N19DH eseguito nell'area del pozzo paratoia. Lungo la stessa verticale sono stati prelevati due campioni indisturbati. Sono anche presenti in corrispondenza del limitrofo sondaggio N18.

La struttura è a scaglie minute e grosse, a spigoli vivi. Nel primo caso le scaglie sono disposte caoticamente nella massa e presentano qualche superficie lucida. Le scaglie grosse sono appiattite di forma prismatica, del $d_{max} \cong 5$ cm, da debolmente a mediamente serrate; in queste zone l'argilla è generalmente di colore grigio verdastro e si rinvencono livelletti di sabbia.

Nei grafici che seguono si riportano le curve granulometriche ed i diagrammi di plasticità ed attività. La granulometria è quella di una argilla con limo, Figura 8.5. Si tratta di argilla di alta plasticità e di attività normale, Figura 8.6.

Il peso γ vale 19-20 kN/m³.

Tre prove di taglio diretto consolidate drenate, Figura 8.7, eseguite su campioni di argille AP prelevati durante le indagini del 2021 forniscono valori di coesione effettiva c' ed angolo d'attrito effettivo ϕ' variabili nei seguenti intervalli:

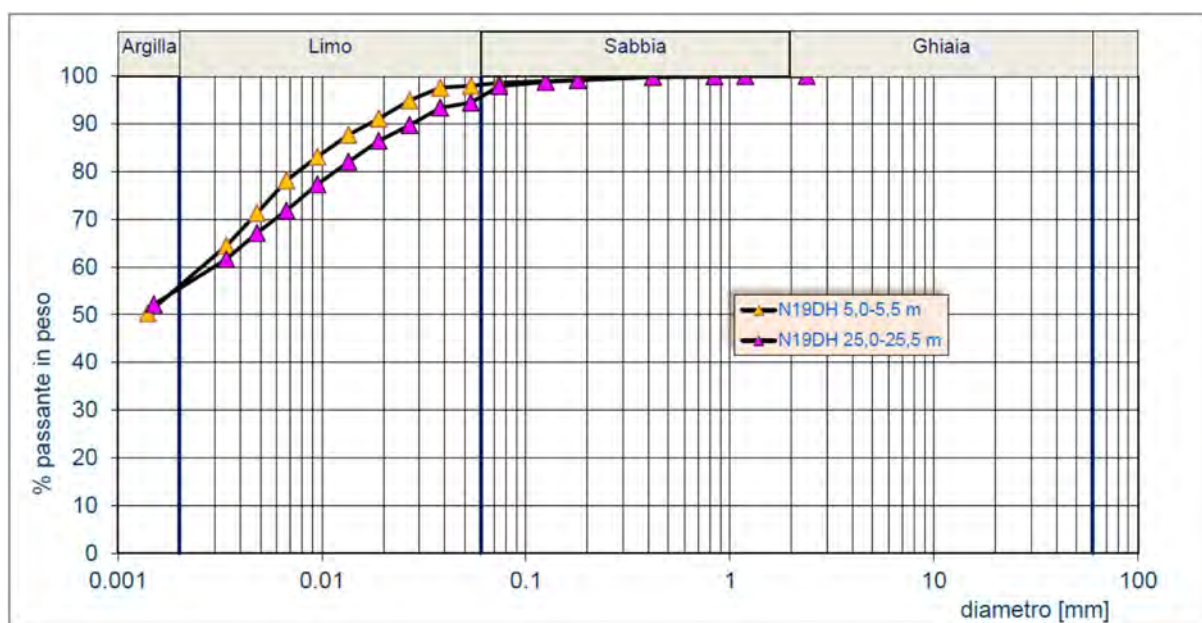


Figura 8.5: Diga di Gibbesi – Argille AP: composizione granulometrica

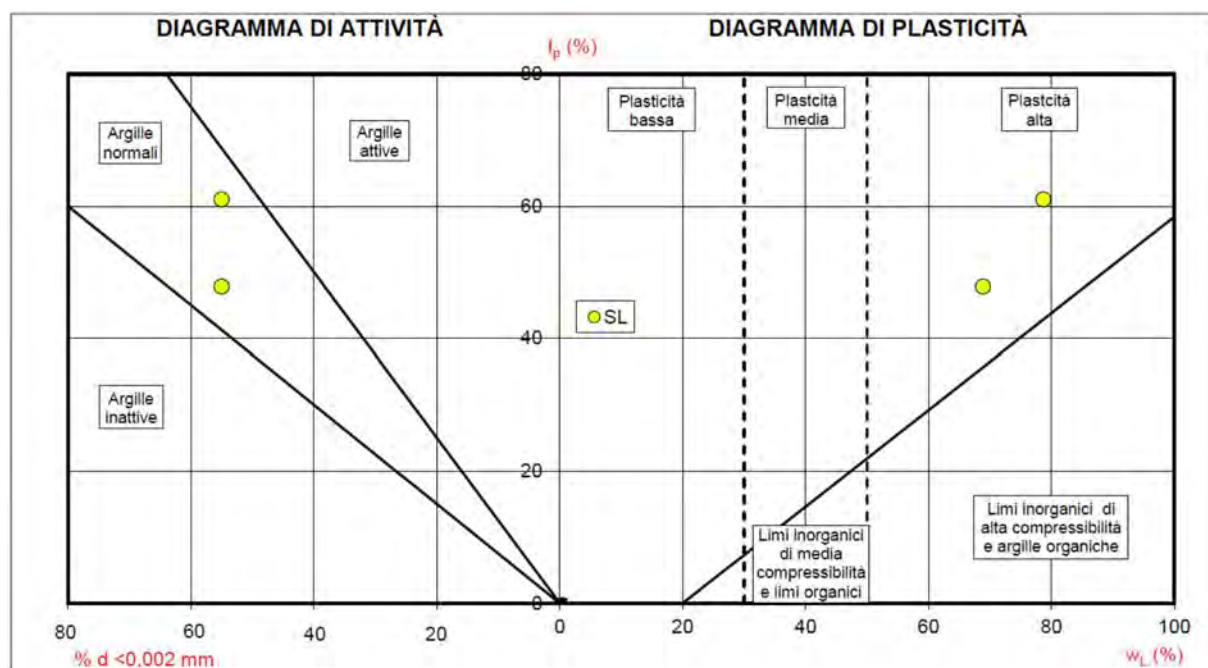


Figura 8.6: Diga di Gibbesi – Argille AP: diagrammi di plasticità e attività

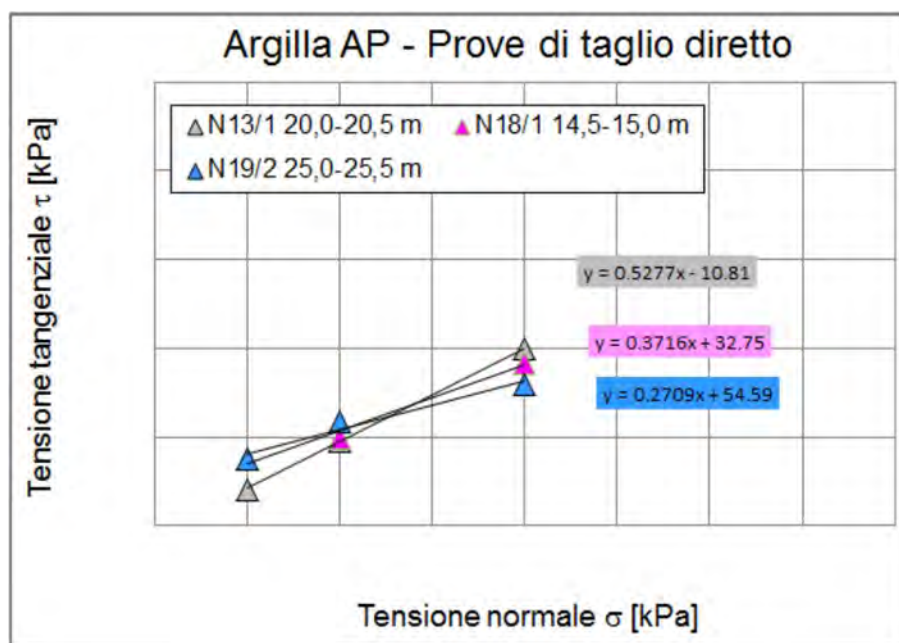


Figura 8.7: Diga di Gibbesi – Argille AP: risultati delle prove di taglio diretto

Per quanto riguarda la deformabilità e la permeabilità, nella tabella che segue si riportano gli intervalli di variazione delle grandezze “e” E_{ed} , “ c_v ” e “k”.

AP	e	E _{cd} [MPa]	c _v [cm ² /sec]	k [cm/sec]
min	0,32	2	3E-04	5E-10
media	0,53	29	6E-04	8E-09
max	0,80	73	1E-03	4E-08

8.3. Parametrizzazione geotecnica di riferimento

Sulla base dei risultati delle prove di laboratorio eseguite sulle argille tortoniane AT e sulle argille puddingoidi AP, si possono assumere i medesimi intervalli di variazione dei principali parametri fisico-meccanici, che vengono riportati nel seguito.

- peso dell'unità di volume $\gamma = 19 - 20 \text{ kN/m}^3$
- coesione effettiva $c' = 15 - 25 \text{ kPa}$;
- angolo d'attrito effettivo $\varphi' = 22^\circ - 26^\circ$;
- modulo di Young $E = 10 - 30 \text{ MPa}$.

Per le argille puddingoidi AP è preferibile assumere, cautelativamente, i valori più bassi.

9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AREA DRENAGGI E POZZETTI

9.1. Risultati delle indagini e rapporti opere-terreni

Dalla Relazione geologico-geognostica del giugno 1972 allegata al progetto per l'Appalto Concorso risulta che nella zona della diga i terreni di fondazione sono costituiti di argille olistostromiche (AS), che rappresentano il nucleo di una anticlinale e che nella zona dello sbarramento affiorano in spalla destra. In sponda sinistra affiorano argille di età tortoniana (AT), che risultano a contatto, sia a monte che a valle, con argille puddingoidi (AP). Il contatto tra le argille dell'olistostroma AS e le altre formazioni argillose si posiziona all'incirca nel fondovalle in corrispondenza del corso del torrente Gibbesi.

I suddetti termini argillosi di base sono stati rinvenuti nel corso delle indagini svolte nel 2021, che hanno interessato il corpo del rilevato ed i terreni di fondazione della diga. Le argille sono talora ricoperte da una coltre sabbiosa limosa rimaneggiata (DT), o dalla parte rimaneggiata (argille ASr, APr, ATr) e/o alterata delle formazioni (argille ASa, APa, ATa). Le indagini eseguite lungo entrambe sponde hanno evidenziato la presenza di argille tortoniane (AT) e talora argille puddingoidi AP.

Dal punto di vista geotecnico i terreni di fondazione possono essere descritti come segue.

ALF	<u>Alluvioni a grana fina</u> . Limo sabbioso di colore giallastro con lenti di argilla.
ALG	<u>Alluvioni a grana grossa</u> . Sabbia e ghiaia in matrice sabbiosa limosa, con elementi lapidei a spigoli arrotondati.
DT	<u>Detrito</u> . Sabbia e sabbia limosa di colore giallastro, con ghiaia e blocchi a spigoli da vivi a parzialmente arrotondati; $W_N < W_P$. Presenza di livelli argillosi e concrezioni calcaree.
AS	<u>Argille olistostromiche</u> . – Argilla marnosa di colore grigio verdastro, molto consistente, $W_N < W_P$. Struttura da brecciata a scagliettata, con scaglie appiattite, a spigoli vivi, da mediamente a ben serrate, di dimensioni variabili da 1 cm a 3 cm circa. Talora struttura contorta, con scaglie minute, a spigoli vivi, da debolmente serrate a ben serrate. Si rinvengono superfici generalmente sub-orizzontali, molto persistenti, lisce e lucide talora striate, di colore grigio o verdastro, di forma piana o concoide, da mediamente a ben serrate. Talora sono presenti patine di alterazione violacee (ASa). Nella parte superiore l'argilla si presenta rimaneggiata, di colore dal grigio chiaro al grigio marrone, con minuti elementi lapidei di varia natura a spigoli parzialmente arrotondati, noduli di sabbia giallastra e con un contenuto naturale d'acqua minore o prossimo al limite di plasticità (ASr). Presenza di livelli di sabbia limosa giallastra nei sondaggi N11 e N12 eseguiti in sponda destra.
AP	<u>Argille puddingoidi</u> . – Argilla marnosa di colore grigio o grigio verdastro, molto consistente, $W_N < W_P$, con noduli di sabbia fina di colore grigio chiaro e noduli marnosi. Struttura scagliettata, con scaglie da minute a grosse, da mediamente a ben serrate, a spigoli vivi. A tratti struttura caotica con superfici lucide. Nella parte più superficiale si presenta rimaneggiata (APr), di colore variabile dal marrone al grigio, consistente, con radici e minuti elementi lapidei. Il contenuto naturale d'acqua è minore o prossimo al limite di plasticità.

	Più in profondità l'argilla può presentarsi alterata (APa), di colore grigio o marrone, consistente, con noduli di sabbia. Il contenuto d'acque è minore del limite di plasticità. Struttura a scaglie.
AT	<p><u>Argille tortoniane</u>. – Argilla marnosa di colore variabile dal grigio all'azzurro, da consistente a molto consistente, con un contenuto naturale d'acqua generalmente minore del limite di plasticità. Struttura a scaglie da minute a grosse, da debolmente a ben serrate, a spigoli vivi. Le scaglie possono essere di consistenza marnosa, di forma appiattita, del $d_{max} \cong 5$ cm. Talora struttura a blocchetti oppure brecciata. Noduli marnosi duri di forma generalmente tondeggianti e qualche nodulo di sabbia fina di colore grigio chiaro.</p> <p>Nella parte più superficiale l'argilla si presenta rimaneggiata, di colore variabile dal grigio al giallastro marrone, con patine ocracee, spalmature biancastre e minuti elementi lapidei e con un contenuto naturale d'acqua in genere prossimo al limite di plasticità (ATr) o alterata di colore variabile dal grigio marrone al grigiastro, con patine giallastre, ocracee o violacee e con un contenuto naturale d'acqua prossimo o minore del limite di plasticità (ATa).</p>

Per i materiali da costruzione, sulla base dei risultati delle indagini eseguite nel 2021 è stato possibile distinguere i seguenti termini:

R	<u>Materiali di riporto del coronamento</u> . Ghiaia e blocchi con sabbia e limo sabbioso di natura calcarea, di colore variabile dall'avana al grigio biancastro con elementi lapidei del $d_{max} \cong 10$ cm. Livelli e noduli di sabbia limosa e di limo sabbioso. Presenza di tratti con percentuale di carotaggio molto bassa.
R1	Alternanza di ghiaia sabbiosa e sabbia ghiaiosa di colore giallastro, di natura calcarea, da ben addensata a poco addensata, con elementi lapidei di forma appiattita.
LA	<u>Materiali del nucleo</u> . Limo argilloso a tratti sabbioso di colore variabile dal giallastro al marrone scuro, consistente, $W_N < W_P$. Presenza di concrezioni calcaree e di livelli e noduli di sabbia e limo sabbioso.
GSL	<p><u>Materiali del rinfiando di valle</u>. Ghiaia e blocchi con sabbia e limo di natura calcarea, di colore variabile dal grigio biancastro all'avana, con elementi lapidei generalmente del $d_{max} \cong 10$ cm. Sono stati prelevati elementi lunghi anche oltre 15 cm. Livelli di sabbia limosa di colore grigio avana, con qualche elemento lapideo.</p> <p>In alcuni carotaggi la frazione sabbiosa limosa è risultata quasi assente e la percentuale di carotaggio molto bassa.</p>

Non è invece stato possibile eseguire indagini nei materiali del rinfiando di monte.

La seguente Figura 9.1 illustra la situazione stratigrafica che interessa i terreni di fondazione del corpo diga, lungo la sezione trasversale di massima altezza e la sezione longitudinale.

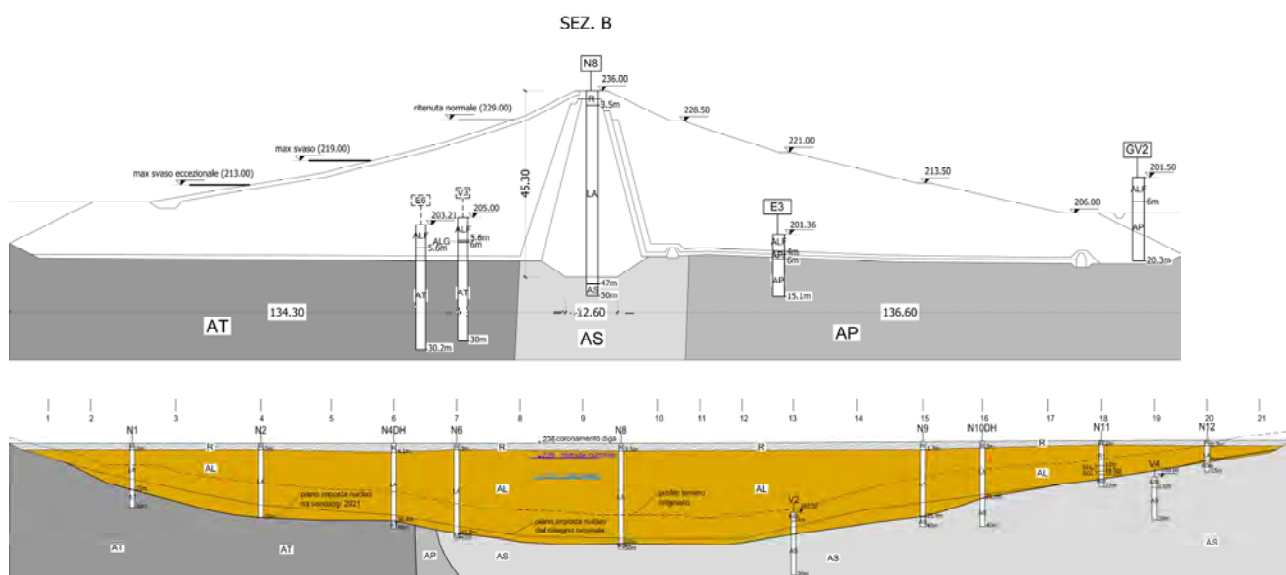


Figura 9.1: Diga di Gibbesi – Sezione trasversale e longitudinale del corpo diga con indicazione dei terreni di fondazione

9.2. Parametrizzazione geotecnica di riferimento



Nella tabella di seguito si riassumono i parametri fisici dei materiali del corpo diga e dei terreni di fondazione ricavati dall'analisi delle prove di laboratorio eseguite:

Materiale	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	n	k (cm/s)	w	wp	wl	Ip	Ic	Vs
Scogliera	20.0	18.9	0.21	1	/	/	/	/	/	/
Contronuclei	20.0	18.9	0.21	$5 \cdot 10^{-4}$	/	/	/	/	/	1260
Filtri	20.0	18.9	0.21	$5 \cdot 10^{-3}$	/	/	/	/	/	/
Nucleo	20.5	16.7	0.36	$8 \cdot 10^{-9}$	0.18	0.16	0.46	0.3	0.93	720
Colmate	16.0	12.2	0.54	$5 \cdot 10^{-4}$	/	/	/	/	/	/
Argille del tortoniano	19.8	15.6	0.42	$5 \cdot 10^{-9}$	0.23	0.23	0.76	0.53	1	1000
Argille olistostromiche	18.8	14.8	0.46	$5 \cdot 10^{-9}$	0.25	0.26	0.94	0.68	1.01	1000
Argille puddingoidi	19.7	16.3	0.4	$5 \cdot 10^{-9}$	0.23	0.21	0.76	0.55	0.96	1000

Con γ_{nat} : peso specifico naturale, γ_d : peso specifico asciutto, n: porosità, k: permeabilità, w: contenuto d'acqua, wp: limite plastico, wl: limite liquido, Ip: indice di plasticità, Ic: indice di consistenza e Vs: velocità di propagazione delle onde di taglio.

Di seguito si propone invece la tabella riassuntiva dei parametri meccanici caratteristici dei materiali.

Materiale	c (kPa)	ϕ (°)	G (MPa)	K (MPa)
Scogliera	10	40	96	207
Contronuclei	10	45	138	300
Filtri	10	35	154	334
Nucleo	33	24	193	418
Colmate	10	10	308	668
Argille del tortoniano	31	23	308	668
Argille olistostromiche	17	27	196	424
Argille puddingoidi	23	24	183	398

	<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;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III122F A-SIS-RT-211-00</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: right;">Pag. 34 di 37</p>

10. ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA

Si riporta di seguito quanto indicato al § VI.5 (Opere Interrate) della Circolare D.G. Dighe 3 luglio 2019 (*Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie – Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 17.01.2018 (NTC18)*).

VI.5 OPERE INTERRATE

Si fa riferimento alle gallerie e ai pozzi, qualunque sia la loro funzione.

In genere, le verifiche sismiche consistono nel controllo dell'entità degli spostamenti residui ortogonali all'asse dell'opera e delle deformazioni permanenti delle sezioni trasversali. Spostamenti e deformazioni residui devono essere compatibili con i requisiti nei confronti degli stati limite, pertanto:



- allo SLO è necessario che gli spostamenti e le deformazioni permanenti siano nulli (o trascurabili);
- allo SLD è necessario che gli spostamenti e le deformazioni permanenti siano di entità tale da non impedire la regolazione controllata del serbatoio;
- allo SLV e allo SLC è necessario che gli spostamenti e le deformazioni permanenti siano di entità tale da non comportare il rilascio incontrollato di acqua.

Il progettista dovrà di volta in volta individuare i valori limite di tali spostamenti e deformazioni in funzione della specifica configurazione delle opere.



Per quanto riguarda le gallerie, le verifiche di cui sopra possono ritenersi soddisfatte quando gli studi geologico, geotecnico e sismotettonico accertino l'assenza di discontinuità lungo il relativo sviluppo longitudinale. Laddove ciò non si verifichi, le analisi dovranno valutare la capacità della galleria di assorbire le distorsioni localizzate imposte lungo dette discontinuità.

Di seguito vengono esposte le valutazioni di vulnerabilità sismica per le diverse opere oggetto di questa relazione.

- Le **gallerie di scarico**, sia quella di fondo che le due di superficie, nonché i **cunicoli** d'ispezione dei drenaggi, ricadono nella fattispecie individuata dalla normativa, pertanto, le verifiche sismiche possono ritenersi implicitamente soddisfatte.
- Il **torrino di discenderia ai drenaggi**, struttura scatolare in c.a. realizzata in artificiale, è anch'esso implicitamente verificato dal punto di vista sismico. Infatti, un eventuale danneggiamento o crollo di quest'opera non comporterebbe alcun rilascio incontrollato d'acqua dall'invaso.
- Per i **pozzetti** d'ispezione della colmata di valle, invece, le considerazioni sono differenti. Tali manufatti, per le loro dimensioni contenute nonché per la funzione che possiedono all'interno dell'impianto, risultano non rilevanti dal punto di vista della stabilità sismica delle opere. Infatti, permettendo solamente l'ispezione di tubazioni,

	<p><i>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità</i> <i>Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</i></p> <p><i>DIGA GIBBESI</i></p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE <i>OPERE INTERRATE</i></p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE E STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DEGLI INTERVENTI D'ADEGUAMENTO</p>	<p>Pag. 35 di 37</p>



un loro eventuale danneggiamento non comporterebbe alcun problema al resto dell'impianto. Inoltre, date le dimensioni assolutamente contenute, una loro verifica sismica non avrebbe alcun significato.

	<p style="text-align: center;"><i>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</i></p> <p style="text-align: center;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</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: right;">Pag. 36 di 37</p>

11. PROPOSTA TECNICA DI ADEGUAMENTO SISMICO DELLE OPERE

Le strutture discusse in questo documento (gallerie, cunicoli, torrino discenderia, pozze) risultano tutte verificate. Al fine di garantire, però, una vita nominale di 50 anni, si ritiene indispensabile ripristinare i copriferri nelle zone ammalorate, in modo da evitare l'innesco di fenomeni corrosivi nelle armature, che porterebbero, nel tempo, ad una inadeguatezza sismica di parti delle strutture.

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 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;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE OPERE INTERRATE</p>	
<p>III22F A-SIS-RT-211-00</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: right;">Pag. 37 di 37</p>

12. STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO PROSTO PER LA MESSA IN SICUREZZA SISMICA DELL'OPERA

Si riporta, di seguito, la stima economica dell'intervento proposto, riportato nel capitolo precedente, per la messa in sicurezza sismica delle opere interrato della diga di Gibbesi.

A) Interventi previsti per le gallerie:

- Approntamento ponteggi
- Rimozione del copriferro nei punti ammalorati (15% della superficie totale dei manufatti elencati);
- Ripristino del copriferro;
- Eventuale sostituzione di barre di armatura ossidate ed a sezione ridotta.

Totale A) € 1,800,000.00

B) Interventi previsti per i cunicoli d'ispezione dei drenaggi:

- Approntamento ponteggi
- Rimozione del copriferro nei punti ammalorati (15% della superficie totale dei manufatti elencati);
- Ripristino del copriferro;
- Eventuale sostituzione di barre di armatura ossidate ed a sezione ridotta.

Totale B) € 40,000.00

C) Interventi previsti per il torrino di discenderia:

- Approntamento ponteggi
- Rimozione del copriferro nei punti ammalorati (15% della superficie totale dei manufatti elencati);
- Ripristino del copriferro;
- Eventuale sostituzione di barre di armatura ossidate ed a sezione ridotta.

Totale C) € 20,000.00

TOTALE STIMA € 1,860,000.00

(Totale stima: euro UNMILIONEOTTOCENTOSESSANTAMILA/00)