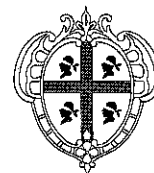




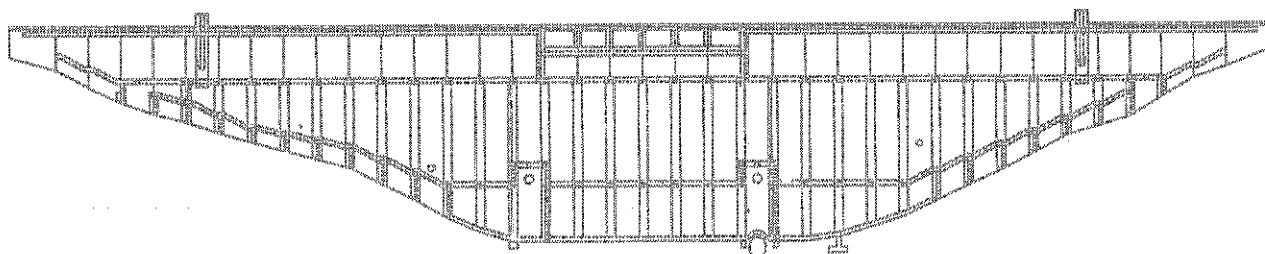
Approvato con det. D. SOL/LL.PP.  
Prot. 38520 rep. 1633 del 06/10/2017

**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**  
*Ente acque della Sardegna*



R.1.4 - Diga sul fiume Tirso a Cantoniera: Indagini sulla roccia di fondazione e sullo stato di conservazione delle barre in fondazione, progetto degli interventi di miglioramento condizioni sicurezza diga con integrazione delle strutture di sottofondazione e completamento schermo drenante in fondazione

**INDAGINI GEOTECNICHE E VERIFICA CONSERVAZIONE BARRE DI FONDAZIONE**



**PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO**

**RELAZIONE TECNICO - ILLUSTRATIVA**

Allegato

**A1**

*Redatto dal Servizio Dighe*

**Progettisti**  
Ing. Michele Cottu  
Ing. Francesco Caturano

**Coordinatore della Sicurezza  
in fase di progettazione**  
Ing. Piergiorgio Cadeddu

**Responsabile scientifico**  
Prof. Ing. Alessandro Graziani

**Collaborazione Tecnica**  
P.I. Giorgio Zara

**Il Responsabile Unico del Procedimento**  
Ing. Francesca Piras

**Il Direttore Generale**  
Ing. Franco Ollargiu

**Il Direttore del Servizio Dighe**  
Ing. Antonio Loche

**Giugno 2017**



## RELAZIONE TECNICA-ILLUSTRATIVA

### INDICE

1.	GENERALITÀ .....	1
1.1.	Descrizione dell'opera .....	1
1.2.	Descrizione dei terreni di fondazione .....	2
1.3.	Dati principali della diga .....	3
1.4.	Finanziamento lavori.....	3
2.	RAPPRESENTAZIONE DELLE ESIGENZE .....	5
3.	OGGETTO DELLA PRESTAZIONE .....	6
3.1.	Accessibilità dei luoghi in cui eseguire le perforazioni .....	7
3.2.	Perforazioni tramite carotaggi eseguiti con macchine elettriche (n° 13 - H=32 m).....	7
3.3.	Estrazione di n° 2 barre di controllo in fondazione tramite sovra-carotaggio .....	8
3.4.	Definizione delle prove, dei campioni e delle analisi di laboratorio previste .....	8
3.5.	Prove tipo Lugeon .....	9
3.6.	Tomografie soniche.....	9
3.7.	Rilievi televisivi BHTV .....	10
3.8.	Prova preliminare di estrazione (pull-out) sulle barre di prova.....	10
4.	Tempi di esecuzione .....	11

### 1. GENERALITÀ

Il presente progetto definitivo ed esecutivo prevede i lavori necessari per poter realizzare un piano d'indagini geotecniche finalizzate alla ri-caratterizzazione dell'ammasso roccioso di fondazione della diga sul fiume Tirso a Cantoniera di Busachi (OR), denominata "Eleonora d'Arborea, ed alla verifica dello stato di conservazione delle barre d'acciaio costituenti le cuciture realizzate nella stessa fondazione. Tale verifica è stata prescritta con nota n°12767 del 24.06.2015 dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed Elettriche che ha invitato l'Ente gestore (ENAS) a *"programmare le previste indagini per verificare lo stato di conservazione e l'efficacia delle predette barre di armatura a distanza di ormai molti anni dalla loro messa in opera, da eseguirsi sulle barre di controllo appositamente installate in alcuni vani interni della diga"*.

L'approfondimento della conoscenza risultante dalle indagini succitate è ritenuto indispensabile e propedeutico alla progettazione dell'intervento di miglioramento delle condizioni di sicurezza strutturale della diga.

La diga di Cantoniera su fiume Tirso è attualmente in condizioni di esercizio sperimentale con quote autorizzate in esercizio ordinario pari a 101,00 m s.l.m.m e in esercizio di piena pari a 105,00 m s.l.m.m. (quota massima di regolazione di progetto 116,50 m s.l.m.m; quota massimo invaso di progetto 118,00 m s.l.m.m)

Il volume utile di regolazione di progetto pari a 745 Mmc; ad oggi l'invaso realizzato dalla diga è potenzialmente il più grande lago artificiale d'Italia. Nel seguito viene riportata una descrizione sintetica dell'opera e della fondazione, desunta dal foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga e delle caratteristiche principali della diga

#### 1.1. Descrizione dell'opera

La struttura è di calcestruzzo a gravità, del tipo a speroni e vani interni, suddivisa in 38 conci fra loro indipendenti ed aventi profilo fondamentale triangolare con vertice posto alla quota 117 m s.m., inferiore di 3,0 m rispetto al coronamento. Ciascun concio è costituito da uno sperone di larghezza pari a 15 m a monte e a valle e pari a 11 m nella zona centrale, rimanendo in tal modo fra due conci adiacenti un vano accessibile ampio 4 m. Le zone di contatto tra due speroni adiacenti si estendono su larghezze variabili da 6 ad 8 m in corrispondenza del paramento di monte e di 5 m in corrispondenza del paramento di valle; l'inclinazione dei paramenti è di 0,6 per quello di valle, variabile in genere fra 0,18 e 0,24 per quello a monte; fanno eccezione i due elementi di estremità che presentano entrambe le superfici verticali. I sei conci centrali (17÷22) sono sfioranti, con sommità conformata secondo il profilo Creager – Scimemi presidiata da paratoie; la continuità del coronamento, largo 6,60 m dei quali 5,20 carrabili, è assicurata da un impalcato stradale poggiante su cinque pile di 3 m di spessore ciascuna. L'asse planimetrico dello sbarramento è rettilineo nei primi sei conci a partire dalla destra, seguono sei conci ad asse circolare con raggio di 172 m circa ed angolo complessivo di 36°, quindi i rimanenti 26 conci di nuovo ad asse rettilineo. All'interno

dell'opera sono ricavati quattro cunicoli: quello superiore a quota 117 m s.m. nei conci emergenti e 107 m s.m. nei sei elementi sfioranti; quello intermedio fra i conci 3 e 35 a quota 94,75 m s.m.; quello perimetrale dalla quota 88,5 alla 46,5 m s.m. fra i conci 2 – 14 e 28 – 37, orizzontale nel tratto intermedio; infine quello inferiore che ospita il collettore dei drenaggi a quota fondazione fra i conci 14 e 28. Su piani paralleli al paramento di monte sono stati eseguiti una serie di fori di drenaggio di diametro 120 mm in elevazione, prolungati fino al cunicolo intermedio, e di 200 mm in fondazione, approfonditi in roccia per 15 m; i drenaggi sono stati previsti in numero di cinque per ciascun concio e pertanto a distanza reciproca di circa 2 m.

I giunti fra i conci lato monte sono protetti da un nastro di gomma annegato nel getto e da un coprigiunto esterno a trave; quest'ultimo è formato da una scanalatura con sezione orizzontale di forma poligonale, lasciata nel getto a cavallo del giunto e riempita successivamente con una trave coprigiunto in calcestruzzo armato, previa interposizione di guaina in geocomposito e resine. I giunti lato valle, in corrispondenza dei sei conci sfioranti, sono protetti dal solo nastro di gomma.

I getti dell'opera sono stati realizzati con due dosaggi di calcestruzzo, il primo costituito da 220 kg di cemento pozzolanico a basso calore di idratazione con aggiunta di 40 kg di ceneri volanti, il secondo con 200 kg di cemento e 40 kg di ceneri, impiegato generalmente nelle parti della struttura verso valle.

La resistenza a scorrimento della roccia di fondazione è stata migliorata mediante chiodature, costituite da barre di acciaio ad alta resistenza tipo GEWI, del diametro di 44 mm, poste in opera entro perforazioni da 200 mm, con inclinazione sulla verticale di norma 10° e 25° in direzione monte – valle, prolungate di 1 m nella struttura cementizia. In totale sono stati eseguiti 10500 chiodi, dei quali 9990 formati con due barre del tipo suddetto, i rimanenti 510 con un solo elemento metallico. La profondità della roccia trattata è stata, a seconda delle zone, di 6, 12, 18 e 24 m. Risulta integralmente interessata dai provvedimenti di rinforzo la superficie d'impasto dei conci da 8 a 35 (compreso il bucket nei sei elementi sfioranti), mentre quella relativa agli elementi 6, 7 e 36 è stata trattata per la sola parte a contatto con il martello di valle del concio.

Lo schermo di tenuta principale è costituito da cinque file di fori, distanziate di 0,40 m, con interasse degli stessi, disposti a quinconce, di 0,60 m su ciascuna fila; la profondità massima del dispositivo varia da 40 m sulle spalle a 80 m in alveo. Nella prima, terza e quinta fila a partire da monte il trattamento della roccia è stato eseguito mediante iniezioni cementizie precedute, nelle sole prime due file citate e per i 35 m superiori, da un lavaggio del foro con acqua ed aria ad alta pressione (metodologia jetting). Nella seconda e quarta fila sono state invece impiegate iniezioni chimiche a base di resine silicoacriliche. Un secondo schermo di tenuta realizzato mediante iniezioni cementizie, profondo di norma 10 m, è disposto lungo il piede di valle dello sbarramento per tutto lo sviluppo della fondazione con quota inferiore a 36 m s.m.; esso risulta costituito da fori ad interasse 1,2 m, disposti a quinconce su due file distanti 0,6 m fra loro.

### 1.2. Descrizione dei terreni di fondazione

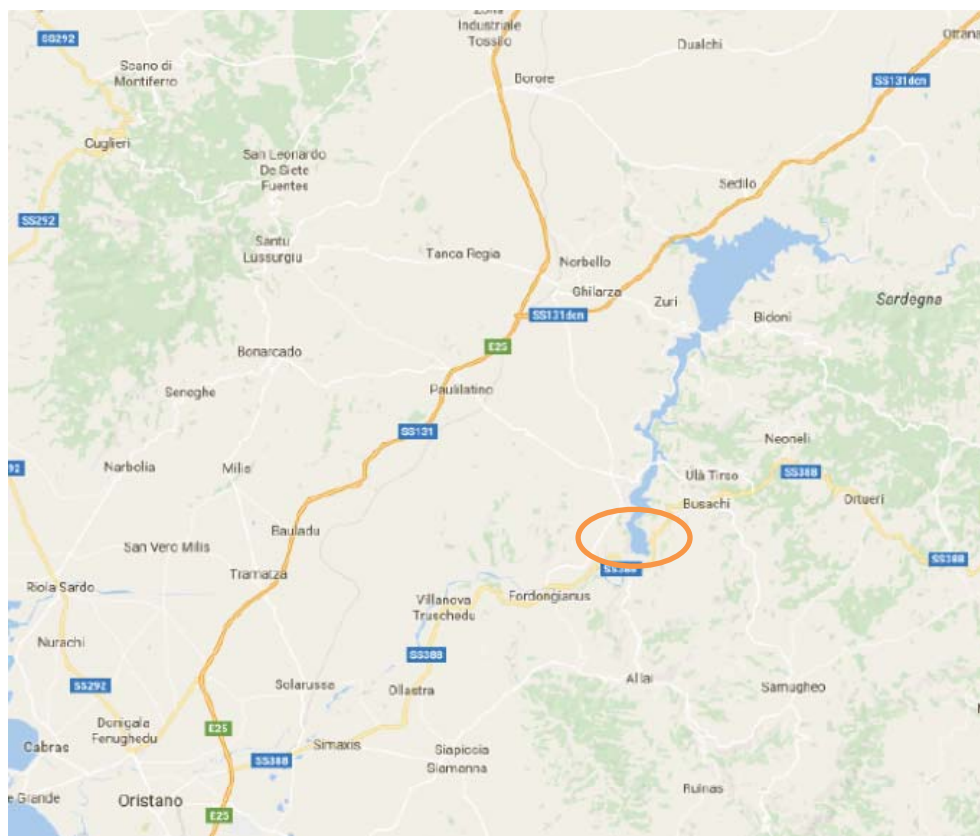
Nella zona interessata dalla sezione di sbarramento è stato individuato un basamento cristallino paleozoico, costituito da migmatiti più o meno granitizzate, che forma tutta la sponda sinistra e la parte media e inferiore della sponda destra, fino alla quota 150 m s.m. circa. I terreni del basamento, affioranti solo per brevi tratti, sono generalmente ricoperti da coltri detritiche e da lembi di depositi alluvionali di modesto spessore; sulla

destra, al disopra della predetta quota 150 m s.m., il basamento è coperto da un potente tavolato basaltico suborizzontale. Lungo la valle del Tirso tra il basamento cristallino e la formazione basaltica è interposto un complesso di ignimbriti stratificate, ad andamento pressoché orizzontale, costituito da alternanze di materiale di provenienza vulcanica e dai loro prodotti di alterazione. Dall'insieme delle indagini geognostiche eseguite è stato riconosciuto che le rocce del basamento cristallino sono costituite da numerosi litotipi formati a partire da rocce metamorfiche più o meno scistose (gneiss e molto subordinati scisti micacei) a seguito del processo di parziale fusione e successiva ricristallizzazione, accompagnata da iniezioni magmatiche varie. Il complesso migmatico è stato attraversato inoltre, posteriormente alla granitizzazione, da frequenti dicchi di rocce porfiriche, di apliti e di quarzo. I suddetti diversi litotipi si rinvencono singolarmente interdigitati dalla scala del decimetro a quello della decina di metri. La scistosità, che costituisce l'elemento strutturale prevalente, è mediamente orientata con immersione verso monte e inclinazione molto accentuata, da 45° a subverticale. Numerose discontinuità maggiori, subverticali, ad andamento serpeggiante, caratterizzate da strette bande di materiale di frizione sabbioso-limo-argilloso, intersecano l'ammasso, sovrapponendosi ad un fitto reticolo di giunti secondari, generalmente serrati e discontinui. Fra tali discontinuità va menzionata la faglia presente al piede della spalla sinistra, ricadente nell'area dei concetti 25 e 26, che si distingue per il forte spessore della fascia di materiale di frizione; la fascia, unica nella porzione mediana dello scavo, si sdoppia e sfocchia a monte e a valle. E' presente pure in destra dello sbarramento una faglia di contatto tra le ignimbriti con i graniti, parallela al corso d'acqua ed estesa da monte a valle della sezione di sbarramento.

Le indagini geognostiche hanno pure messo in luce che il predetto complesso di litotipi si presenta generalmente interessato da processi di alterazione che variano da una semplice riduzione delle caratteristiche meccaniche fino ad una profonda argillificazione. Il grado di alterazione, fortemente variabile da luogo a luogo, tende tuttavia a attenuarsi con la profondità.

### 1.3. Dati principali della diga

- ✓ altezza della diga (ai sensi del D.M. n.44 del 24.03.82) 100,00 m
- ✓ altezza della diga (ai sensi della L. 584/94) 93,25 m
- ✓ altezza di massima ritenuta 88,00 m
- ✓ quota coronamento 120,00 m s.m.
- ✓ franco (ai sensi del D.M. n.44 del 24.03.82) 2,00 m
- ✓ franco netto (ai sensi del D.M. n.44 del 24.03.82) 1,00 m
- ✓ sviluppo del coronamento 582,00 m
- ✓ larghezza del coronamento 6,60 m
- ✓ volume della diga 1.071.000 m<sup>3</sup>
- ✓ grado di sismicità assunto nel progetto nullo
- ✓ classifica ai sensi del D.M. 24.03.82 muraria: a gravità a speroni e vani interni (A.a.2)



data 28.03.2017, il finanziamento è stato rimodulato in € 200.000,00. I rimanenti € 200.000,00 sono stati integrati a valere sul Patto per lo sviluppo della Sardegna.

### 1. RAPPRESENTAZIONE DELLE ESIGENZE

Attualmente la diga, come sopra detto, è in fase di invasi sperimentali, seguendo un programma iniziato nel 1999. Nell'ambito delle verifiche condotte nella fase degli invasi sperimentali, sono state effettuate diverse analisi delle condizioni di stabilità della diga Cantoniera. In particolare negli anni 2008-2012 sono stati condotti, nell'ambito dell'attuazione dell'Intervento denominato "Attività tecniche di supporto al completamento degli invasi sperimentali" di cui alla convenzione ENAS/RAS del 01 Agosto 2007, e nel rispetto delle disposizioni impartite dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, gli studi di approfondimento delle condizioni di sicurezza dello sbarramento, redatti dall'Ing. A. Graziani, ricercatore presso l'Università degli Studi ROMA TRE, con afferenza al Dipartimento di Ingegneria, quale esperto in geomeccanica e geotecnica con particolare riguardo al comportamento tensio-deformativo di ammassi rocciosi fratturati in presenza barre di armatura.

Gli studi succitati sono stati condotti sotto la supervisione del Comitato Scientifico istituito ai sensi dell'art.5 della stessa convenzione ENAS/RAS del 01 Agosto 2007 che ha ritenuto indispensabile predisporre una modellazione numerica tridimensionale del complesso diga-fondazione al fine di fornire un quadro dettagliato della distribuzione delle sollecitazioni e delle deformazioni all'interno dei rinforzi e della roccia circostante. Le risultanze dei succitati studi sono state approvate dal Comitato Scientifico con verbale n°5 del 22 Febbraio 2013 e presentate al Ministero Infrastrutture e Trasporti- Direzione Generale per le Dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche e Ufficio Tecnico per le dighe di Cagliari, alla Commissione di Collaudo ex.art.134 D.P.R. 1363/59 ed al Concessionario della diga (Regione Autonoma della Sardegna), nel corso della riunione tenutasi a Cagliari presso gli uffici dell'Assessorato dei LL.PP. della Regione Sardegna in data settembre 2013.

Le verifiche hanno messo in luce una significativa riduzione della resistenza a taglio mobilitabile dalle barre di fondazione rispetto a quella assunta in sede di progetto. Esse sono state condotte con un aggiornato criterio di resistenza per la roccia di fondazione (Hoek-Brown), così come richiesto dalla Direzione Generale Dighe, adottando una migliore modellazione dei meccanismi di interazione roccia-struttura-barre in fondazione e riconsiderando la verifica della stabilità allo scivolamento nelle direzioni monte-valle e sponda-sponda (come da progetto) e, per la prima volta in direzione obliqua, per tutti i conci della diga considerati indipendenti.

Sulla base delle risultanze delle verifiche condotte, in relazione alle criticità emerse in particolare per diversi conci di sponda nei confronti della stabilità in direzione obliqua, lo stesso Comitato aveva concluso che si riteneva indispensabile prevedere un intervento strutturale per il miglioramento delle condizioni di sicurezza della diga (solidarizzazione conci di sponda) e ritenuto poter assumere quale coefficiente di sicurezza in direzione obliqua il valore di  $F_s=1,5$  in condizioni sia di massima regolazione che di massimo invaso (118 m s.m.), con riferimento altresì ad altre normative di settore in ambito europeo e internazionale. Lo stesso

Comitato aveva poi ritenuto utile promuovere delle indagini sullo stato di conservazione della barre, da eseguirsi sulle barre di controllo installate durante la costruzione della diga.

A seguito delle risultanze degli studi sopra richiamati, con diverse note, il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, invitava l'ENAS *“a programmare le previste indagini per verificare lo stato di conservazione e l'efficacia delle predette barre di armatura, a distanza di ormai molti anni dalla loro messa in opera, da eseguire sulle barre appositamente installate”*.

Il presente progetto definisce, pertanto, gli aspetti tecnici ed amministrativi necessari all'affidamento ed alla esecuzione delle indagini geognostiche, geofisiche sulla roccia di fondazione e sullo stato di conservazione delle barre in fondazione della diga Cantoniera.

## 2. OGGETTO DELLA PRESTAZIONE

Le previste indagini geognostiche e di controllo dello stato di conservazione delle barre di fondazione, vengono riassunte qui di seguito:

- ✓ Estrazione di due barre di fondazione di prova della lunghezza di 10 m, costituite da barre in acciaio del tipo GEWI del diametro di 44 mm; l'estrazione è prevista tramite carotaggio, da eseguirsi con macchina elettrica di adeguata potenza con carotiere del diametro non inferiore a 180 mm; le chiodature di prova sono ubicate nel vano interno compreso fra i conci n° 10 e n° 11 della diga;
- ✓ Esecuzione delle prove e delle analisi sui campioni di calcestruzzo e sulla barra di acciaio estratti tramite il sovracarotaggio;
- ✓ Esecuzione, preliminarmente al sovracarotaggio, di una prova di pull-out su ciascuna barra di prova;
- ✓ Esecuzione di n° 13 carotaggi della lunghezza di 32 m, del diametro di 101 mm ed estrazione dei campioni di roccia; il carotaggio è previsto all'interno dei seguenti vani interni della diga:
  - Vano interno conci 10-11 – N° 2 carotaggi
  - Vano interno conci 12-13 – N° 1 carotaggio
  - Vano interno conci 13-14 – N° 2 carotaggi
  - Vano interno conci 24-25 – N° 2 carotaggi
  - Vano interno conci 26-27 – N° 1 carotaggio
  - Vano interno conci 28-29 – N° 1 carotaggio
  - Vano interno conci 29-30 – N° 2 carotaggi
  - Vano interno conci 34-35 – N° 2 carotaggi
- ✓ Esecuzione delle prove e delle analisi sui campioni di roccia e estratti tramite il carotaggio;
- ✓ Esecuzione di una ripresa fotografica e rilievo dettagliato dello stato di fessurazione della roccia all'interno di ciascun sovracarotaggio;
- ✓ Esecuzione di un rilievo con sonda televisiva ottica BHTV delle pareti dei fori, all'interno di ciascun sondaggio;

✓ Esecuzione di tomografie soniche fra i seguenti sondaggi:

- Vano interno conci 10-11 – Carotaggi S1 – S2
- Vani interni conci 12-13 e 13-14 – Carotaggi S3 – S4
- Vano interno conci 13-14 – Carotaggi S3 – S4
- Vano interno conci 24-25 – Carotaggi S6 – S7
- Vani interni conci 28-29 e 29-30 – Carotaggi S9 – S10
- Vano interno conci 29-30 – Carotaggi S10 – S11
- Vano interno conci 34-35 – Carotaggi S12 – S13

È prevista, infine, restituzione ed interpretazione dei risultati delle prove e delle indagini come sopra descritto.

### 2.1. Accessibilità dei luoghi in cui eseguire le perforazioni

Le attività di indagine previste nel progetto dovranno essere realizzate all'estradosso della fondazione, all'interno dei vani interni della diga, raggiungibili attraverso il cunicolo posto a quota 94,75 m s.l.m., circa 25 m al di sotto del piano del coronamento, dal quale calare le attrezzature necessarie fin sopra la fondazione. L'impresa appaltatrice dovrà adottare tutti gli accorgimenti necessari per poter portare le macchine di perforazione, che dovranno obbligatoriamente essere di tipo elettrico, e tutto l'occorrente necessario all'interno degli stessi vani.

La soluzione ipotizzata, sia per il sovra-carotaggio delle barre che per i sondaggi geognostici e geomeccanici richiesti, è quella che prevede di disporre di un paranco che dal cunicolo interno posto a quota 94,75 m s.l.m. (entrando da una delle due entrate all'aperto raggiungibili con mezzi stradali normali tipo un camion gru, in corrispondenza dei conci 4 e 35) consenta, sfruttando le "botole" coperte da grigliati presenti sul suddetto cunicolo, di calare la sonda in unico pezzo o a pezzi da smontare e rimontare fino alla verticale dei vani interni della diga. Il trasporto delle apparecchiature all'interno del cunicolo richiede la messa in opera di un'ideale struttura metallica atta a consentire il transito sopra le grate di accesso ai vani interni della diga. L'impresa aggiudicataria potrà proporre una soluzione diversa per il trasporto delle attrezzature all'interno dei vani che, comunque, dovrà essere preventivamente approvata dalla D.L.

### 2.2. Perforazioni tramite carotaggi eseguiti con macchine elettriche (n° 13 - H=32 m)

Nel progetto è prevista l'esecuzione di perforazioni del diametro di 101 mm, tramite **carotaggi con macchine elettriche** di potenza adeguata ed attrezzati per le prestazioni da eseguire.

Le perforazioni dovranno essere eseguite nei punti indicati negli allegati grafici del progetto in prossimità delle pareti di valle dei vani interni della diga.

Il singolo sondaggio, una volta ultimato, verrà rivestito con un tubo in PVC del diametro di 66 mm; l'intercapedine fra il tubo in PVC e il foro della perforazione verrà riempita con miscele cementizie come esplicitamente richiesto dalla stazione appaltante.

Le perforazioni finalizzate all'esecuzione di sondaggi geotecnici sono caratterizzate dalle seguenti modalità esecutive:

- ✓ carotaggio integrale e rappresentativo delle rocce di fondazione attraversate, al fine di ricostruire il profilo stratigrafico mediante l'esame dei campioni estratti o "carote";
- ✓ prelievo di campioni indisturbati per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche;
- ✓ prove in situ per la determinazione delle proprietà geotecniche;
- ✓ campionamento delle acque eventualmente presenti nei fori di sondaggio;
- ✓ descrizione stratigrafica in chiave geologica e geotecnica;
- ✓ rilievo con sonda BHTV;
- ✓ esecuzione di tomografia sonica;
- ✓ annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica delle fondazioni.

### 2.3. Estrazione di n° 2 barre di controllo tramite sovra-carotaggio

Nel progetto è prevista l'estrazione di n° 2 barre in acciaio del tipo GEWI del diametro di 44 mm, di lunghezza pari a 10 m, appositamente installate verticalmente nel corso dei lavori di costruzione della diga, con le stesse modalità di installazione delle barre di armatura di fondazione, al fine di consentire il controllo dello stato di conservazione. Si è prevista l'esecuzione mediante carotaggio, con macchine elettriche di potenza ed attrezzature adeguate per le prestazioni da eseguire, con diametro minimo del carotiere di 180 mm, tale da garantire l'estrazione della barra, tenendo conto degli eventuali discostamenti della stessa dalla verticale. La lunghezza del carotaggio, maggiore della lunghezza delle barre, è stimata in 11/12 m.

L'estrazione delle barre viene effettuata all'interno del vano compreso fra il concio n° 10 e n° 11 della diga.

Il foro, una volta ultimato, verrà riempito con miscele cementizie come esplicitamente richiesto dalla stazione appaltante.

### 2.4. Definizione delle prove, dei campioni e delle analisi di laboratorio previste

Nel progetto è prevista l'esecuzione delle seguenti indagini di laboratorio:

PROVE ESEGUITE IN LABORATORIO	N°
Prova di compressione triassiale su campioni prelevati dalle carote estratte.	30
Prova di compressione su campioni prelevati dalle carote estratte	84
Prova di trazione indiretta (brasiliana) su campioni prelevati dalle carote estratte.	30
Determinazione del peso di volume naturale.	84

Prova di trazione sulle barre di acciaio estratte dalla fondazione delle diga.	12
Prova di flessione sulle barre di acciaio estratte dalla fondazione delle diga.	12

Sono a carico dell'impresa appaltatrice tutti i costi per il confezionamento ed il trasporto in laboratorio dei campioni prelevati.

## **2.5. Prove tipo Lugeon**

Queste prove è previsto vengano realizzate dall'impresa esecutrice dei lavori nell'ambito del presente appalto. Le prove di assorbimento d'acqua (tipo Lugeon) sono da eseguire in tutti i fori di indagine.

Il numero di prove da eseguirsi su ogni foro è pari a 11.

Le prove saranno eseguite con il sistema del doppio otturatore (packer), con lunghezza del tratto di prova non superiore a 3 m, in modo da ottenere un diagramma sostanzialmente continuo delle portate filtranti tratto per tratto, per valori prefissati della differenza di carico idraulico. La procedura di prova (incrementi di pressione, tempi, etc.) verrà stabilita in dettaglio in funzione delle effettive caratteristiche dell'ammasso. È comunque prevedibile che la sovrappressione massima tra camera di prova e ammasso circostante (con riferimento alle condizioni idrauliche stazionarie dell'ammasso stesso, da valutare prima dell'esecuzione della prova di immissione), sia non superiore a 5 atm.

## **2.6. Tomografie soniche**

Da eseguire negli 8 sondaggi in sponda sinistra e nei 5 sondaggi in sponda destra, operando dai vani interni della diga, in modo da ottenere un rilievo tomografico della velocità  $V_p$  per profondità comprese tra la quota del piano di calpestio dei vani interni e il fondo foro (circa 30 m in roccia).

La tomografia sonica richiesta (onde P) richiede il pre-rivestimento dei fori con tubo in PVC chiuso all'estremità profonda, con intercapedine tra il tubo e la roccia sigillata integralmente con boiaccia cementizia. Il tubo viene riempito d'acqua per ottenere un adeguato accoppiamento acustico tra strumenti (sorgente e ricevitori di onde P), tubo e roccia circostante.

Per consentire una corretta elaborazione dei dati di misura, è necessario effettuare un rilievo preliminare della geometria dei fori, mediante rilievo inclinometrico bidirezionale di ciascuna verticale e rilievo topografico della posizione della testa dei fori.

Il rilievo di tomografia sonica permette di ricavare mappe (tomogrammi) della distribuzione della velocità di propagazione delle onde P (e quindi delle caratteristiche elastiche del mezzo) lungo sezioni piane. Il punto di partenza per la ricostruzione di tali mappe è dato dalla misura dei tempi di propagazione delle onde longitudinali lungo un elevato numero di percorsi i quali, con diverse inclinazioni, si incrociano mutuamente nella zona delimitata dalla posizione dei punti di emissione e ricezione in foro.

L'indagine sarà eseguita nel rispetto dei seguenti requisiti. Posizionamento della catena dei ricevitori idrofonici (passo 1 m) in un foro e della sonda trasmittente nel foro adiacente, posizionando quest'ultima a profondità variabile con passo 1 m.

Riposizionamento di sorgente e ricevitori in un'altra coppia di fori in modo da ottenere un'adeguata copertura di percorsi delle onde sull'intera sezione investigata (delimitata dai fori esterni). Le caratteristiche della sorgente e dei ricevitori saranno scelte in modo da ottenere una risoluzione ottimale in un ammasso roccioso prevedibilmente di qualità discreta-buona (con riferimento all'indice di qualità GSI).

### **2.7. Rilievi televisivi BHTV**

Da eseguire su tutti i fori di indagine indicati precedentemente, per una lunghezza complessiva di 13 x32 m. Il tratto in roccia sarà rilevato in condizioni sature (foro pieno d'acqua), in modo sistematico, iniziando dal fondo foro. E' richiesto l'utilizzo di telecamera ottica digitale a colori ad alta risoluzione ("scanner ottico" CCD a 360° con specchio conico) con registrazione continua durante la risalita. Il filmato dovrà essere successivamente elaborato con software specifico per l'analisi d'immagine e il rilievo sistematico della giacitura delle fratture o della traccia di altre superfici intercettate dal foro, con restituzione grafica delle giaciture assolute (immersione / inclinazione) e dell'apertura delle fratture individuate.

### **2.8. Prova di estrazione (pull-out) sulle barre di prova**

Prima dell'esecuzione del sovra-carotaggio sulle due barre di prova presenti nel vano 10/11, è prevista l'esecuzione di una prova di estrazione (pull-out) di ciascuna barra dalla roccia di fondazione dei vani interni della diga.

La prova dovrà essere eseguita senza raggiungere il carico di trazione teorico di snervamento della barra ( $N_y = 760 \text{ kN}$ , valore stimato del carico al limite di snervamento). Per l'esecuzione della prova è necessaria la demolizione, mediante martello a percussione, della malta e della roccia circostante la barra per un tratto di circa 0.5 m di profondità (dalla testa della barra), in modo da consentire il collegamento del tratto iniziale di barra con una barra filettata di prolunga su cui possa agire un martinetto idraulico. Il martinetto idraulico (di tipo cilindrico cavo) con cui eseguire la prova dovrà avere una capacità di circa 1000 kN; il carico massimo che si prevede di raggiungere nel corso della prova è di 400 kN. La prova sarà eseguita effettuando un primo ciclo di carico-scarico a 100 kN ed un secondo ciclo a 200 kN, raggiungendo poi il carico massimo previsto (400 kN).

Inoltre, per l'esecuzione della prova si richiede l'utilizzo di una cella di carico toroidale e di comparatori di spostamento fissati ad una base di riferimento posta a sufficiente distanza dalla piastra di appoggio a terra del sistema di carico. Le misure del carico e dello spostamento assiale della testa della barra andranno effettuate con sistema di acquisizione automatico continuo.

### **3. TEMPI DI ESECUZIONE**

Per la realizzazione dei lavori sono stati previsti 90 giorni naturali e consecutivi, nella stima sono stati valutati e ricompresi i tempi necessari all'esecuzione delle lavorazioni dovute allo svolgimento delle indagini specialistiche da parte di altra impresa specializzata in indagini geotecniche.