



MEDITERRANEA DELLE ACQUE spa
GENOVA

DIGA DI BADANA
INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA

PROGETTO DEFINITIVO
Mod. M.INF. DIGHEIDREL Div. V 20/9/2013

VOL. 1

RELAZIONE DESCRITTIVA



SEMBENELLI
CONSULTING

**MEDITERRANEA DELLE ACQUE spa
GENOVA**

DIGA DI BADANA

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA

**PROGETTO DEFINITIVO
Mod. M.INF. DIGHEIDREL Div. V 20/9/2013**

VOL. 1

RELAZIONE DESCRITTIVA

Redatto G. Sembenelli, M. Scarella, D. Gualco, A. Dal Fabbro

Approvato P. Sembenelli

Documento F:\1EDIT\BADE\REL\...\Vol 1\R140512-Vol 1_def.doc

Data: 12 maggio 2014



STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Questo è il **Volume 1** del **Progetto Definitivo** degli interventi di manutenzione straordinaria che si rendono necessari sulla diga di Badana, uno degli invasi a servizio dell'acquedotto di Genova, in seguito ai dissesti prodottisi nel febbraio 2006.

Il dossier completo del **Progetto Definitivo** è stato redatto in ottemperanza all'Art. 33 del D.P.R. 207/2010 e recepisce le modifiche M.INF. DIGHEIDREL Div. V 20/9/2013. Gli elaborati sviluppati da SC comprendono i seguenti Volumi:

VOL 1 - Relazione Descrittiva

VOL 2 - Elaborati Grafici

VOL 3 - Relazioni Tecniche e Specialistiche

3A - Relazione Geologica e Geomeccanica

3B - Relazione Idrologica

3C - Relazione Idraulica

3D - Studio di Filtrazione

VOL 4 - Calcoli Strutturali

VOL 5 - Specifiche Tecniche

VOL 6 - Computo Metrico Estimativo

VOL 7 - Elenco Prezzi Unitari e Analisi Prezzi

VOL 8 - Cronoprogramma



INDICE

1	OGGETTO		7
2	LA DIGA DI BADANA		8
2.1	Caratteristiche Geometriche e Costruttive	8	
2.2	Organi di Scarico	8	
2.3	Opere di Presa	9	
2.4	Invaso (FCEM)	9	
2.5	Esercizio della Diga	9	
3	PARAMETRI IDROLOGICI DEL SERBATOIO		13
3.1	Caratteristiche del Bacino Idrografico	13	
3.2	Precipitazioni	13	
3.3	Temperature	14	
3.4	Studio Idrologico	14	
4	GLI EVENTI DEL FEBBRAIO 2006		15
4.1	Descrizione degli Eventi	15	
4.2	Stato dell'Opera Rilevato dopo il Febbraio 2006	16	
4.2.1	<i>Fessure Esterne</i>	16	
4.2.2	<i>Fessure Interne</i>	16	
4.2.3	<i>Giunto Aperto in Fondazione</i>	16	
4.3	Misure e Dati Comportamentali	16	
4.3.1	<i>Dati Disponibili</i>	16	
4.3.2	<i>Misure Piezometriche</i>	17	
4.3.3	<i>Misure di Collimazione</i>	17	
4.3.4	<i>Misure di Portata</i>	18	
4.4	Analisi del Dissesto	18	
5	MISURE DI SICUREZZA IMMEDIATE.....		21
5.1	Generalità	21	
5.2	Recupero dello Scarico di Fondo	21	
5.3	Realizzazione di un Cunicolo Passante	21	
6	INDAGINI CONOSCITIVE PRELIMINARI AL PROGETTO.....		23
6.1	Premessa	23	
6.2	Rilievi Topografici e Geognostici	23	
6.2.1	<i>Rilievo Topografico</i>	23	
6.2.2	<i>Rilevamento Geologico</i>	24	
6.2.3	<i>Rilevamento Geomeccanico</i>	24	



6.3	Sondaggi		24
6.4	Prove in Sito e di Laboratorio		24
6.4.1	Indagini di Laboratorio	24	
6.4.2	Ispezione TV delle Pareti dei Fori	25	
6.4.3	Prove d'Acqua	25	
6.4.4	Prove Sismiche	25	
6.4.5	Prove Radar	25	
6.4.6	Tomografia Sonica	25	
6.4.7	Prove con Martinetto Piatto sulla Muratura	26	
6.4.8	Prove di Taglio sul Contatto Calcestruzzo-Muratura	26	
6.5	Sintesi dei Risultati		26
6.5.1	Roccia dell'Assise	26	
6.5.2	Muratura del Corpo Diga	27	
6.5.3	Giunto Calcestruzzo-Muratura	30	
7	CAMPI PROVA PER INIEZIONI DI CONSOLIDAMENTO E SCHERMATURA		32
7.1	Roccia di Fondazione		32
7.2	Schermo di Impermeabilizzazione		32
8	VERIFICHE DI STABILITÀ DELLA DIGA ORIGINARIA		34
8.1	Premessa		34
8.2	Franco Netto al Coronamento		34
8.3	Verifiche di Stabilità secondo il Regolamento		34
8.3.1	Verifiche Richieste	34	
8.3.2	Risultati delle Verifiche da Regolamento	35	
8.3.3	Livello d'Acqua per la Stabilità	35	
8.3.4	Analisi di Filtrazione	35	
8.3.5	Conclusioni	37	
9	CRITERI E CONTENUTI DEL PROGETTO		38
9.1	Normativa di Riferimento		38
9.2	Scelta della Soluzione		43
9.3	Vita Utile della Diga Ristrutturata		43
10	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI RIPRISTINO E DI ADEGUAMENTO		45
10.1	Definizione dell'Asse della Diga		45
10.2	Rimodellamento dei Paramenti di Monte e di Valle		45
10.3	Livello di Massima Regolazione		45
10.4	Invaso (Dati Aggiornati)		46
10.5	Cunicolo di Ispezione e Drenaggio a Monte Diga		47
10.6	Cunicolo di Ispezione e Drenaggio a Valle Diga		47
10.7	Dispositivo di Presidio del Corpo Diga contro le Filtrazioni		47
10.8	Dispositivo di Impermeabilizzazione della Fondazione		48
10.9	Consolidamento della Roccia di Imposta della Diga		48
10.10	Dispositivo di Drenaggio della Fondazione		48
10.11	Dispositivi di Monitoraggio		48



11	VERIFICHE DI STABILITÀ DELLA DIGA RISTRUTTURATA	50
11.1	Analisi di Filtrazione	50
11.2	Verifiche Strutturali	51
11.2.1	<i>Verifiche Regolamentari</i>	51
11.2.2	<i>Verifiche in Condizioni Statiche</i>	52
11.2.3	<i>Verifiche in Condizioni Sismiche</i>	54
11.2.4	<i>Sollecitazioni al Contatto tra Struttura Esistente e Rinfianchi di monte e Valle</i>	55
11.2.5	<i>Livello d'Acqua per la Stabilità</i>	55
12	NUOVI ORGANI DI SCARICO	56
12.1	Considerazioni sugli Organi di Scarico Originari	56
12.2	Nuovo Sfiatore di Superficie	57
12.3	Nuovo Scarico di Fondo	58
12.4	Opere di Dissipazione a Valle Diga	59
13	OPERE DI PRESA	60
13.1	Considerazioni sulle Opere di Presa Originarie	60
13.2	Nuova Opera di Presa	61
14	STRADE DI ACCESSO ALLA DIGA	62
14.1	Strada di accesso al nuovo coronamento	62
14.2	Strada di accesso al piede diga	62
15	PRINCIPALI QUANTITÀ DI LAVORO	63
16	COSTO DELL'INTERVENTO	65
16.1	Costi Diretti	65
16.1.1	<i>Costi Diretti</i>	65
17	MODALITÀ E FASI ESECUTIVE	66
17.1	Strada di Accesso e Piste di Cantiere	66
17.2	Strutture Logistiche e Impianti Tecnologici	66
17.3	Reperimento di Inerti da Costruzione	68
17.4	Reimpiego o Sistemazione dei Materiali di Scavo e di Demolizione	69
17.5	Gallerie nelle Spalle della Diga	69
17.5.1	<i>Scavi e Presostegni</i>	69
17.5.2	<i>Rivestimento</i>	70
17.6	Diga	70
17.6.1	<i>Scavi di Fondazione</i>	70
17.6.2	<i>Trattamento Roccia Superficiale</i>	70
17.6.3	<i>Demolizione del Coronamento e dei Paramenti di Monte e di Valle</i>	71
17.6.4	<i>Casserature, Giunti e Waterstops</i>	72
17.6.5	<i>Getto dei Rinfianchi</i>	72
17.6.6	<i>Coronamento</i>	73
17.7	Scarico di Superficie	74



17.7.1	Scavi e Demolizioni	74	
17.7.2	Getti	74	
17.8	Perforazioni e Iniezioni		75
17.8.1	Iniezioni di Consolidamento	75	
17.8.2	Schermo di Impermeabilizzazione	75	
17.9	Dreni		76
17.10	Canne Drenanti		76
17.11	Opera di Presa		76
17.12	Scarico di Fondo		77
17.13	Strumentazione		77
17.13.1	Pendoli	77	
17.13.2	Piezometri	78	
17.13.3	Misuratori di Portata a Stramazzo	78	
17.13.4	Sensori di Temperatura	78	
17.13.5	Stazione Sismografica	78	
17.13.6	Estensimetri	78	
17.13.7	Capsule Tensiometriche	79	
17.13.8	Sistema di Collimazione	79	
17.13.9	Misuratori di Livello	79	
17.14	Smobilizzo Cantiere		79
17.15	Ripristini e Sistemazioni Ambientali		79
18	TEMPI ESECUTIVI		80



1 OGGETTO

Il presente documento illustra il Progetto Definitivo degli interventi di manutenzione straordinaria alla diga della Badana, situata nell'entroterra ligure a quota 700 m circa s.l.m. sul versante nord della catena appenninica. La diga è inserita nel sistema idrico del Gorzente che costituisce la principale fonte di approvvigionamento di acqua potabile della città metropolitana di Genova.

Nel mese di febbraio 2006 si sono verificati dissesti strutturali gravi nel corpo della diga, che hanno richiesto l'adozione di urgenti provvedimenti di sicurezza, tra i quali lo svuotamento rapido del bacino.

Si è immediatamente presentata l'esigenza di verificare la possibilità di ripristino dell'impianto di Badana in quanto il serbatoio rappresenta una insostituibile risorsa idrica per il territorio.

A tal fine è stata attuata un'estesa campagna di indagini volta ad accertare sia la natura geologica e geomeccanica dell'area interessata dall'impianto, sia le caratteristiche strutturali del corpo della diga.

Il presente documento include una descrizione della situazione attuale dell'opera, analizzando la natura dei dissesti verificatisi e fornendo un'interpretazione dei fenomeni alla luce della copiosa documentazione raccolta nella campagna di indagini svolte.

Sulla scorta dei risultati emersi nelle indagini preliminari, nonché degli studi e delle analisi numeriche effettuate, recependo anche i suggerimenti forniti dalla Direzione Generale Dighe e dal Consiglio Superiore dei LL.PP., la soluzione ritenuta più idonea per ripristinare l'efficienza dell'impianto, dal punto di vista statico, idraulico ed ambientale, è qui sviluppata a livello di Progetto Definitivo.



2 LA DIGA DI BADANA

2.1 Caratteristiche Geometriche e Costruttive

La diga di Badana è una struttura a gravità di altezza massima 56.25 m. Il coronamento, posto a quota 717.25 m s.l.m., ha una larghezza di circa 4.5 m ed è delimitato da due muri-parapetto di altezza 1.2 m. Lo sviluppo al coronamento è di 216 m, con andamento curvilineo a raggio di curvatura di circa 200 m. Con un intervento successivo, il piano di coronamento è stato rialzato di una misura variabile tra 0.25 e 0.50 m circa, conferendo una monta di circa 0.25 m in chiave all'arco. Le quote attuali del piano di calpestio (lato monte) sono così le seguenti (m s.l.m.): 717.71 in chiave, 717.60 alle reni e 717.50 sulle spalle¹.

Il paramento di monte ha pendenza variabile da $i = 0.3H:1V$ alla base fino a $i = 0$ (verticale) sopra la quota 711.3 m s.l.m.. Per il paramento di valle la pendenza varia da $i = 1H:1V$ alla base fino a $i = 0.25H:1V$, immediatamente sotto la quota 711.3 m s.l.m.. Anche in questo caso, il tratto superiore è verticale.

La struttura della diga di Badana è in muratura, costituita da blocchi di pietrame legati con malta di calce idraulica, sabbia e pozzolana. Non esistono cunicoli al suo interno.

La diga non è provvista di cortina di impermeabilizzazione a monte, né di sistema di drenaggio per il controllo delle sottopressioni nel masso murario, né di dreni in fondazione.

Attorno alla metà degli anni 90 la diga è stata oggetto di lavori di manutenzione straordinaria, tra i quali principalmente il rifacimento del manto di protezione del paramento di monte. Questo intervento ha determinato una significativa riduzione delle perdite attraverso una serie di giunti sub-orizzontali monte/valle, formati nella muratura.

2.2 Organi di Scarico

Lo scarico principale della diga di Badana consiste in uno sfioratore di superficie a sifone a 6 canne, ubicato in sponda sinistra, la cui portata massima teorica è stimata in $75 \text{ m}^3/\text{s}$. La soglia stramazzante dei sifoni (quota di inizio sfioro) è a quota 716.90 m s.l.m. mentre il labbro superiore (quota di innesco) si trova a quota 717.00 m s.l.m..

Prima del dissesto, lo scarico di fondo consisteva in 2 tubi $\phi 600$ mm, disposti trasversalmente all'asse della diga, in grado di convogliare una portata massima teorica, a massimo invaso, di

¹ Le quote altimetriche riportate nei documenti della diga (FCEM) non trovano esatto riscontro nel più aggiornato rilievo topografico eseguito nel 2007. In particolare, la quota reale del coronamento è variabile tra 717.8 e 717.9 m s.l.m..



circa 17.5 m³/s. I tubi di scarico, con quota d'asse a monte 668.50 m s.l.m. circa ed in leggera pendenza verso valle, sboccavano circa 15 m a valle del piede della diga ed erano coperti da una berma con piano alla quota 668.00 m s.l.m. circa. Ciascuna tubazione era dotata di una saracinesca di servizio nella sezione di uscita, alloggiata in una edicola in muratura, e di una seconda saracinesca pochi metri più a valle. Non esisteva la possibilità di chiudere a monte i tubi di scarico: pertanto, durante l'esercizio, la pressione dell'acqua al loro interno era sempre corrispondente alla quota dell'invaso.

2.3 Opere di Presa

La diga dispone di 4 prese di derivazione, installate rispettivamente a quota 691.90, 700.6, 706.6 e 711.6 m s.l.m. (quote rilevate nel 2007), costituite da altrettante tubazioni in ghisa di diametro 500 mm che attraversano in sbieco il corpo diga da monte a valle. Ciascuna condotta è annegata nella muratura del corpo diga ed è protetta a monte da una griglia in acciaio. Analogamente a quanto accadeva per lo scarico di fondo non essendo previsto un organo di intercettazione a monte delle prese, durante l'esercizio, la pressione dell'acqua al loro interno era sempre corrispondente alla quota dell'invaso.

Ciascuna condotta è dotata di una saracinesca di servizio nella sezione di uscita, alloggiata in una edicola in muratura. Le 4 tubazioni confluiscono in un collettore che corre lungo il piede di valle della diga, in sponda destra.

2.4 Invaso (FCEM)

I dati principali dell'invaso riportati nell'originario documento FCEM, con riferimento alla condizione attuale della diga e dell'invaso, sono i seguenti:

Quota di massimo invaso:	717.00	m s.l.m.
Quota di massima regolazione:	716.90	m s.l.m.
Quota di minima regolazione:	668.50	m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido		
alla quota di max. invaso:	0.250	km ²
alla quota di max. regolazione:	0.247	km ²
Volume totale di invaso (DM 82):	4.69 x10 ⁶	m ³
Volume utile di regolazione (DM 82):	4.69 x10 ⁶	m ³
Volume di invaso (L.584/1994):	4.66 x10 ⁶	m ³
Volume di laminazione:	0.025 x10 ⁶	m ³

2.5 Esercizio della Diga

La diga di Badana è stata realizzata tra il 1907 e il 1914 ed è in servizio dal 1914.



La diga, che sottende un bacino di 4.8 km^2 , crea un invaso massimo di circa $4.66 \times 10^6 \text{ m}^3$ (ai sensi della L 584/1994). Il livello di massima regolazione è a quota 716.90 m s.l.m. mentre il livello di massimo invaso è a quota 717.00 m s.l.m..

L'esercizio del serbatoio segue storicamente il ciclo seguente: invaso pieno, quota prossima alla massima regolazione 716.90 m s.l.m., nella prima metà dell'anno, svaso fino alla quota 704 m s.l.m. circa in settembre-ottobre, (eccezionalmente nel 2003 il serbatoio è stato svasato fino alla quota 685 m s.l.m.), invaso nuovamente pieno tra novembre e dicembre. La gestione tipica dell'invaso presenta dunque periodi relativamente lunghi durante i quali il livello è prossimo alla quota di massima regolazione.



Fig. 2/1 – Diga di Badana. Vista dell'opera da valle.



Fig. 2/2 – Diga di Badana. Vista dell'opera dal coronamento.



3 PARAMETRI IDROLOGICI DEL SERBATOIO

3.1 Caratteristiche del Bacino Idrografico

La diga sbarra il rio Badana, affluente di sinistra del torrente Gorzente, nel quale confluisce in prossimità dell'invaso del lago Lavezze.

Il torrente Gorzente è un sub-affluente del torrente Orba, ubicato nel versante padano dell'Appennino Ligure, sull'asse Genova-Ovada. Il suo bacino si estende parte in territorio ligure, parte in territorio piemontese.

L'area del bacino imbrifero in corrispondenza della diga è di circa 4.8 km^2 . La forma del bacino è circa rettangolare con lato maggiore di lunghezza 2.8 km e lato minore di 1.7 km. Il reticolo drenante è di tipo dendritico, caratterizzato dalla presenza di numerose ramificazioni.

L'asta principale ha una lunghezza complessiva di 4.5 km, con andamento marcatamente meandriforme e direzione prevalente E-O. La pendenza media dell'asta principale è di circa il 7%. I versanti del bacino sono caratterizzati da una forte acclività e risultano parzialmente denudati, la copertura vegetale è scarsa.

Le principali caratteristiche del bacino sono riassunte di seguito:

Superficie:	$A = 4.8 \text{ km}^2$
Lunghezza asta principale:	$L = 4.5 \text{ km}$
Quota minima:	$H_{\min} = 667 \text{ m s.l.m.}$
Quota massima:	$H_{\max} = 1081 \text{ m s.l.m.}$
Quota media:	$H_{\text{med}} = 835 \text{ m s.l.m.}$
Pendenza media asta principale:	$ia = 6.9\%$
Pendenza media dei versanti:	$iv = 45\%$

Le portate transitanti attraverso gli scarichi della diga recapitano integralmente nel sottostante lago di Lavezze, circa 1 km a valle.

3.2 Precipitazioni

Il bacino imbrifero della diga di Badana ricade in una regione dalla piovosità medio-alta. Gli eventi meteorici caratteristici sono intensi e di breve durata e per lo più associati al sollevamento orografico delle umide correnti depressionarie che insistono sul vicino golfo di Genova.



Dall'analisi dei dati meteo-climatici registrati tra il 1998-2013 (si veda il disegno BADE-3005), si ricavano le seguenti informazioni:

- precipitazione media annua: 1782 mm/anno;
- precipitazione media mensile: 150 mm/mese;
- anni più piovosi: 2000 e 2002;
- mesi più piovosi: Sett., Ott., Nov..

3.3 Temperature

La temperatura oscilla tra i -10 (minimo invernale) e i +35 °C (massimo estivo).

3.4 Studio Idrologico

Il più recente e aggiornato studio idrologico del bacino del rio Badana è stato svolto nel 2006 da ITEC-Engineering su incarico del gestore Mediterranea delle Acque.

Lo studio ITEC ripercorre il precedente studio di ADFG del 1999, integrandolo con le osservazioni dell'Ufficio Idraulica del RID e le valutazioni derivanti dall'utilizzo del metodo di regionalizzazione proposto dal Prof. A. Brath nell'ambito del progetto VA.PI. del CNR GNDICI.

In risposta alla richiesta di approfondimenti espressa nel voto 254/07 del Consiglio Superiore LL. PP, nel 2008 il gestore Mediterranea delle Acque ha incaricato la stessa ITEC-Engineering di aggiornare lo studio idrologico includendo un'analisi dei livelli del serbatoio registrati nel corso del secolare esercizio dell'impianto.

La portata al colmo di piena di riferimento per il dimensionamento degli scarichi di superficie è stata indicata dall'Ufficio Idraulica del RID in 160 m³/s. Lo stesso ufficio ministeriale ha ritenuto congrua tale definizione nell'ambito dell'iter di approvazione del progetto per la sistemazione definitiva dello scarico di superficie (approvato dallo stesso RID con nota prot. SDI/552/UCCE del 11/10/2002).

Alla piena con portata al colmo di 160 m³/s è stato associato un periodo di ritorno di 1000 anni. Le portate al colmo per piene con differenti periodi di ritorno sono così definite:

- | | |
|-----------------|---------------------------|
| - T = 100 anni | Q= 114 m ³ /s; |
| - T = 200 anni | Q= 128 m ³ /s; |
| - T = 500 anni | Q= 146 m ³ /s; |
| - T = 1000 anni | Q= 160 m ³ /s. |



4 GLI EVENTI DEL FEBBRAIO 2006

4.1 Descrizione degli Eventi

Nel periodo precedente al dissesto occorso nel febbraio 2006 il livello dell'invaso ha raggiunto quota 716 m s.l.m., intorno al 20 dicembre 2005, e si è mantenuto circa costante nei 2 mesi successivi.

Negli ultimi giorni della settimana 13-19 febbraio 2006 si sono registrati 160 mm di pioggia di cui 120 mm in un solo evento di circa 2 ore.

L'invaso ha subito un aumento di livello a partire dal giorno 19 febbraio, che ha portato all'attivazione dello sfioratore, alla quota 716.9 m s.l.m., un livello di soli 0.35 m al di sotto della quota del coronamento 717.25 m s.l.m. (come da FCEM).

Nella giornata del 21 febbraio 2006, l'ispezione mattutina, condotta prima delle ore 10, non ha evidenziato perdite significative o comunque tali da suggerire l'esistenza di un imminente o potenziale pericolo.

Forti perdite sono state individuate invece in una seconda ispezione, condotta nel pomeriggio della stessa giornata, dopo che il personale incaricato aveva notato un sensibile abbassamento del livello del lago. Tra le 10 e le 12 quindi, si sono improvvisamente manifestate 3 importanti perdite a valle della diga, così localizzate:

- a) in sponda destra alla quota dell'alveo, nella zona di contatto tra piede diga e fondazione;
- b) in sponda sinistra alla quota 682, anch'essa nella zona di contatto tra piede diga e fondazione;
- c) in sponda sinistra alla quota 675, in corrispondenza di un affioramento roccioso posto una decina di m a valle del piede diga. A questa situazione è associata anche una perdita secondaria a quota 677 sul paramento della diga, ad una quota leggermente superiore a quella del piede.

La portata globale di tali perdite è stata stimata in 3 m³/s.

In concomitanza con la manifestazione delle perdite, si è verificata la rottura del collettore di derivazione in destra, all'incirca all'altezza dell'uscita degli scarichi di fondo a quota 668.

La Direzione dell'esercizio ha deciso immediatamente (alle ore 20 circa dello stesso giorno), a scopo precauzionale, di svuotare l'invaso aprendo gli scarichi di fondo.

4.2 Stato dell'Opera Rilevato dopo il Febbraio 2006

4.2.1 Fessure Esterne

Sul paramento di valle, nella porzione centrale poco sopra la metà altezza, sono visibili alcune fessure orizzontali, circa parallele tra di loro. Tali fessure sono state accuratamente rilevate e la loro posizione è riportata sia in planimetria (Dis. BADE-3011). Più in particolare, si può osservare una fenditura sub-orizzontale circa continua alla quota 689 m s.l.m., con ramificazioni sub-parallele tra loro che interessano quote comprese tra 688.5 e 694 m s.l.m..

Sul paramento di monte è visibile una fenditura sub-orizzontale continua, alla quota 689-690 circa, che risale in sponda destra fino alla 692.

Sempre sul paramento di monte sono visibili delle fessure sub-verticali, relativamente chiuse, circa ai limiti della porzione di diga più alta.

4.2.2 Fessure Interne

All'interno del cunicolo realizzato trasversalmente alla base della diga per lo smaltimento delle acque (vedi Par. 5.1.3), tra le progressive 7.00 e 10.00, si è rilevata una discontinuità macroscopica nella muratura. Tale fessura corrisponde a un dislocamento orizzontale verso valle di una porzione considerevole del corpo diga, d'ora in poi denominata "placca".

Il mosaico fotografico delle pareti del cunicolo trasversale, prima, e le numerose indagini effettuate (Vol. 3A), hanno portato all'individuazione di una superficie di distacco, piuttosto irregolare, all'interno del corpo diga con dislocazioni misurate sulla parete del cunicolo paria circa 120 mm.

La traccia presunta della superficie di distacco è riportata in sezione nel Dis. BADE-3012, il volume stimato della placca distaccata è pari a circa 8 500 m³.

4.2.3 Giunto Aperto in Fondazione

Durante l'avanzamento dello scavo del cunicolo trasversale, si è osservato il cedimento del fondo in corrispondenza della zona di frattura. Il materiale appare facilmente erodibile e instabile: infatti, per proseguire con lo scavo, si è dovuto provvedere alla ricarica di materiale nel tratto compreso tra le progressive 6.50 e 10.00 m.

4.3 Misure e Dati Comportamentali

4.3.1 Dati Disponibili

I dati di monitoraggio oggi disponibili comprendono:

- 4 verticali attrezzate con piezometri installati nel 2000, di cui 2 a tubo aperto (SBa3 e SBa4) e 2 con 2 piezometri elettrici ciascuna (SBa1 e SBa2). In queste ultime verticali i sensori elettrici identificati con la sigla p1 si trovano 5 m sopra quelli identificati come p2.

- In pratica, SBa2-p1 è all'interno del corpo diga, SBa1-p1 e SBa2-p2 sono nella diga, appena sopra il contatto con la fondazione e SBa1-p2 è nella fondazione;
- letture degli spostamenti del coronamento per collimazione a partire dal '60, per un punto in chiave C, e, a partire dal 2000, per 2 ulteriori punti circa ai quarti dell'arco di coronamento (Dx a destra e Sx a sinistra);
 - misure di portata dei drenaggi (canaletta di scolo delle acque) al piede di valle della diga.

4.3.2 Misure Piezometriche

Nei piezometri delle sezioni più alte, SBa1-p1 e SBa2-p1, si è registrato un aumento dei livelli piezometrici costante e sensibile negli anni 2001, 2002 e 2003. In particolare il piezometro SBa1-p1 è salito di circa 18 m negli ultimi 3 anni e di 8-10 m tra il 20 e il 21 febbraio, con invaso praticamente costante. Va annotato che il piezometro più basso SBa1-p1 è ubicato nel corpo diga non lontano dagli scarichi.

Anche nei piezometri delle sezioni di altezza intermedia (SBa-3 e SBa-4), le letture degli ultimi 5 anni tendono a salire, ed ultimamente i massimi erano molto prossimi al livello dell'invaso.

4.3.3 Misure di Collimazione

Le misure di collimazione sono state eseguite mediamente 2 volte all'anno a partire dal 1967. La Fig. 4/1 consente di visualizzare l'andamento del pilastrino centrale: dall'ottobre 2005 gli spostamenti del pilastrino sono aumentati di 8-10 mm e durante l'evento del febbraio 2006 la chiave dell'arco si è spostata di ulteriori 16 mm per ritornare, a invaso completamente vuoto (685), in una posizione circa 5 mm più a valle di quella dell'ottobre precedente (invaso a quota 714). Dopo i lavori del 1995 (evidenziati dall'abbassamento del lago sotto ai normali livelli) i picchi, massimi e minimi, delle misure di convergenza risultano mediamente più alti e più bassi di quelli registrati in precedenza.

Si può notare che i valori massimi di spostamento si registrano in generale a invaso pieno e a bassa temperatura (ciò è presumibilmente legato sia al fatto che l'invaso massimo avviene in inverno, sia al fatto che con le temperature basse l'arco che costituisce la parte superiore della diga tende a accorciarsi e a ridurre quindi il suo contributo).

L'evento critico è avvenuto apparentemente a seguito di un brusco, ma modesto, aumento del livello d'invaso, passato in breve da 715 a 717 m s.l.m.. Tutte le misure di spostamento hanno registrato un balzo importante, che è risultato pari a 16, 7 e 4 mm, per i punti C, Sx e Dx, rispettivamente. Il valore massimo della misura di convergenza del pilastrino C è risultata pari a 26 mm, circa 2.5 volte più grande dei valori massimi registrati in passato. Spostamenti così importanti e discontinui rispetto alla curva di spostamento media sembrano attribuibili a una rottura strutturale di una parte della diga o della fondazione. La distorsione accumulata tra pilastrino centrale e pilastrini laterali è risultata pari a 9 mm verso sinistra e di 12 mm verso destra. Tenuto conto che la distanza tra pilastrini adiacenti è nell'ordine di 40 m e che i centri di



rotazione delle sezioni corrispondenti sono ubicati a quote diverse, tali spostamenti differenziali portano necessariamente a importanti ridistribuzioni delle sollecitazioni all'interno della massa muraria.

A seguito dello svaso, gli spostamenti si sono ridotti gradualmente, restando comunque superiori ai valori di riferimento disponibili. È pensabile che almeno una parte di questi spostamenti residui sia dovuta alla variazione termica del corpo diga, ora completamente esposto.

4.3.4 Misure di Portata

Le misure di portata riguardano le acque raccolte nella cunetta al piede di valle della diga. Le misure sono eseguite sia su tratte parziali ogni 7 gg che, quotidianamente, sul collettore.

Le portate misurate sono sempre state di modesta entità, inferiori a 1 l/s, fino all'anno 2003. Nel 2004, e ancor più nel 2005, si è assistito a un significativo incremento delle portate, fino a oltre 3.5 l/s, per la sola sponda sinistra. Va annotato che tali picchi si sono verificati con livelli di invaso alti, in fase di svaso.

4.4 Analisi del Dissesto

Le verifiche, contenute in un'ampia analisi strutturale, sono state eseguite nelle condizioni createsi in corrispondenza dell'evento critico del febbraio 2006, per meglio identificare le possibili cause.

Tra le cause del dissesto va senza dubbio incluso l'aumento delle sottopressioni alla base della struttura muraria, nel corso di quasi un secolo di esercizio dell'opera, in assenza di sistemi di intercettazione (schermo di iniezioni) e di controllo (schermo di dreni). A partire dai dati disponibili, che coprono gli anni successivi al 2000, è rilevabile una certa tendenza all'aumento delle sottopressioni, così come una tendenza all'aumento delle perdite raccolte nelle canalette di drenaggio. Ciò fa ritenere che si sia prodotto un progressivo dilavamento dei giunti e dei materiali milonitici presenti lungo alcuni piani di dislocazione tettonica.

La diga è arcuata, ma il varco occupato dai sifoni in sinistra interrompe la continuità della parte superiore dell'arco. L'analisi tenso-deformazionale condotta su modello 3D e illustrata nel Vol. 3E, mostra che la forma arcuata ridistribuisce le sollecitazioni con un effetto di scarico della mensola di chiave e di sovraccarico delle mensole poste ai 2 terzi. L'effetto è amplificato quando l'arco si raffredda (specie a invaso pieno).

Tutto quanto sopra ha l'effetto di aumentare le sollecitazioni di compressione nella parte di valle della muratura, specie al terzo in sinistra, e di indurre trazioni/parzializzazioni a monte. Al terzo in sinistra, alcuni giunti sub-verticali ravvicinati configurano una fondazione più compressibile ed il carico che su di questa insiste si trasferisce lateralmente. Il trasferimento di sforzi è probabilmente proseguito fino a creare una situazione di sovraccarico e l'inizio di una rottura, che



è progredita fino a dislocare di alcuni centimetri il piede del paramento. A questa dislocazione è associata una delle 3 principali venute d'acqua osservate in occasione dell'evento del febbraio 2006.

È possibile che la frattura iniziale si sia quindi propagata verso la sponda destra, coinvolgendo i 2 tubi dello scarico di fondo che erano in pressione. Tutta la frattura a questo punto è andata in pressione provocando la dislocazione decimetrica di una fascia di circa 75 m del piede di valle, denunciata dalle fessure presenti a metà paramento e rilevata anche nel cunicolo di ispezione.

È inoltre pensabile che il fenomeno di idrofratturazione si sia esteso interessando anche la fondazione.

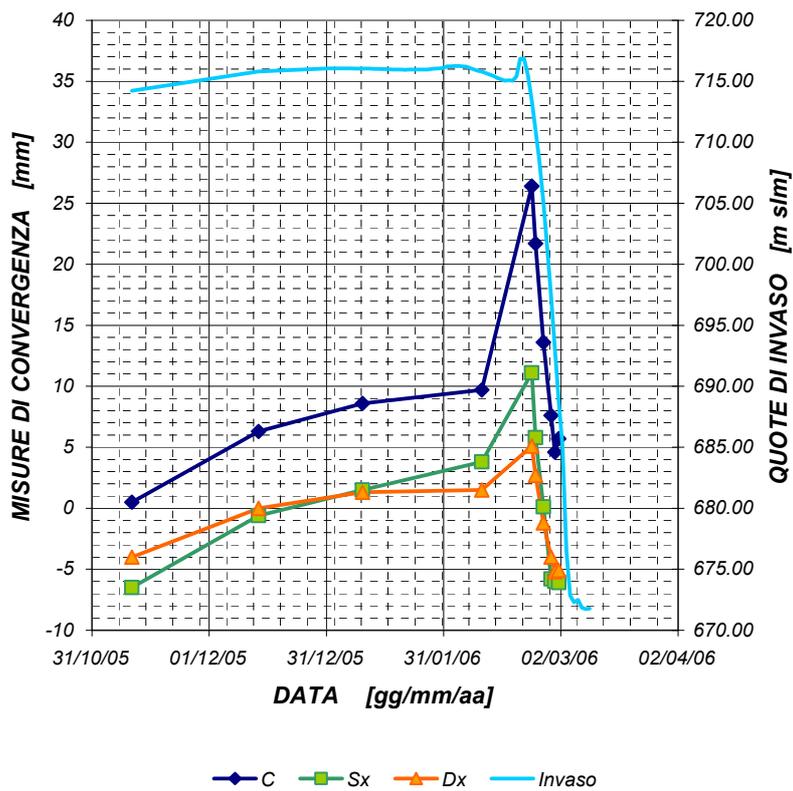


Fig. 4/1 – Diga di Badana. Monitoraggio. Misure di convergenza effettuate appena prima e subito dopo il 22 febbraio 2006. Si osservi che le letture dell'invaso sono a cadenza giornaliera, mentre quelle di collimazione sono state effettuate solo in corrispondenza dei simboli.



5 MISURE DI SICUREZZA IMMEDIATE

5.1 Generalità

Il gestore Mediterranea delle Acque, anche a seguito di prescrizione da parte della Direzione Generale Dighe, ha ritenuto necessario individuare e attuare interventi urgenti per mettere in sicurezza la diga evitando che, in caso di afflussi importanti, possano determinarsi condizioni critiche e, di conseguenza, situazioni di allarme.

Le misure di sicurezza attuate nell'immediato e tuttora a servizio alla diga sono essenzialmente due: il recupero dello scarico di fondo, irrimediabilmente danneggiato dal dissesto occorso al piede della diga, e lo scavo di un cunicolo passante alla base della diga.

5.2 Recupero dello Scarico di Fondo

Come prima misura di sicurezza, operando dallo sbocco di valle in condizioni di oggettiva difficoltà per la presenza di acqua fluente, è stata introdotta, all'interno dello scarico di fondo destro e per tutto il suo sviluppo, una tubazione in HDPE di diametro 500 mm.

La tubazione interna ha consentito di eliminare la fuoriuscita di acque verso il masso murario circostante evitandone il dilavamento ed impedendone il progressivo deterioramento in fase di svuotamento del bacino. Detto provvedimento ha inoltre consentito di evitare che l'eventuale fuoriuscita di acqua in corrispondenza della sezione fratturata potesse interessare il cunicolo passante provocandone l'allagamento e compromettendone quindi lo scavo.

Non è stato possibile attuare analogo provvedimento sullo scarico di fondo sinistro, a causa della rottura verificatasi nella tubazione in ghisa. Lo scarico risultava ostruito dalla presenza di detriti, anche metallici, che hanno impedito di fatto l'introduzione della tubazione in HDPE. Come misura alternativa è stato installato un tappo sulla sezione di entrata, in modo da chiudere definitivamente lo scarico e mantenere asciutto il condotto.

5.3 Realizzazione di un Cunicolo Passante

Successivamente, al fine di rendere sicuro, tempestivo e persistente lo svuotamento del bacino, si è realizzato un cunicolo passante alla base della diga, all'incirca in corrispondenza della sezione di chiave, avente la funzione di scaricare per intero le portate in afflusso, in particolare quelle concentrate dovute a precipitazioni meteoriche importanti.

Il cunicolo passante, che permette inoltre di esplorare il corpo diga, è stato scavato dopo lo svuotamento dell'invaso. Esso è stato completato ed è entrato in funzione alla fine nel mese di settembre 2006.



La sezione di scavo del cunicolo ha larghezza 2.70 m e altezza 3.85 m. La volta è a tutto sesto e i piedritti sono verticali. L'asse del cunicolo è circa parallelo all'asse dello scarico di fondo. Il piedritto sinistro è tangente all'estradosso della condotta destra dello scarico ed il fondo del cunicolo è posto 0.2 m sotto alla generatrice inferiore del tubo. Con lo scavo del cunicolo l'intera condotta sinistra dello scarico è stata rimossa.

Il deflusso delle portate di piena durante il periodo necessario al ripristino funzionale della diga avviene dunque nel cunicolo. Il cunicolo è verificato per una piena con periodo di ritorno di 30 anni, corrispondente ad una portata al colmo di $96 \text{ m}^3/\text{s}$.



6 INDAGINI CONOSCITIVE PRELIMINARI AL PROGETTO

6.1 Premessa

Allo scopo di pervenire ad una miglior interpretazione degli eventi occorsi alla diga e di acquisire maggiori elementi caratterizzanti lo stato attuale della muratura, necessari per una corretta progettazione degli interventi di risanamento, il gestore Mediterranea delle Acque ha ritenuto opportuno raccogliere nuove e più approfondite informazioni sulle caratteristiche delle formazioni rocciose di fondazione e sulle condizioni del masso murario. La raccolta di dati si è sviluppata su due indagini principali, finalizzate alla progettazione e condotte nel 2007 e nel 2012-13. Una parte delle attività è stata eseguita per soddisfare le indicazioni contenute nel Voto 190 del 24 febbraio 2011 del CSLLPP.

Le attività di indagine condotte sono così riassumibili:

- sondaggi esplorativi del corpo della diga con perforazioni di grande diametro a campionamento continuo a partire dal coronamento per tutta l'altezza della diga, penetrando sistematicamente la roccia di fondazione;
- prove in sito per ottenere valori credibili dei parametri ingegneristici della massa muraria e rocciosa;
- una serie di prove in laboratorio per ricavare accurati valori puntuali delle grandezze da utilizzare per analisi statiche e di filtrazione;
- una campagna di rilevamenti topografici e geognostici estesa a tutta l'area interessata dalle opere;

Le indagini geomeccaniche sono illustrate nel Vol. 3A del presente Progetto e sono così suddivise:

- indagini Geologiche e Geomeccaniche;
- indagini sulla muratura.

6.2 Rilievi Topografici e Geognostici

6.2.1 Rilievo Topografico

Il rilievo topografico eseguito (vedi Dis, BADE-3011) contiene:

- tutte le linee necessarie a rappresentare compiutamente le differenti parti della struttura e del terreno e le opere idrauliche;
- le curve di livello del terreno e delle opere;
- tutti i punti notevoli (ad es. i sondaggi), corredati di quote e di coordinate.



Il rilievo topografico è stato collegato, in coordinate, al sistema UTM e, in quote, alla rete di livellazione della Regione Liguria.

6.2.2 Rilevamento Geologico

Tutto il terreno circostante la diga, per una fascia piuttosto larga, è stato rilevato individuando i litotipi affioranti, le giaciture degli strati o delle scistosità e le particolarità tettoniche (faglie, pieghe, ecc.). La carta geologica è presentata nel Dis. BADE-3021.

6.2.3 Rilevamento Geomeccanico

In 5 settori della fondazione (2 a ridosso del piede di valle, 2 alle estremità dell'arco ed 1 in destra, a valle della spalla), è stato eseguito un rilievo stereometrico dei giunti della roccia e dei piani di stratificazione e/o di scistosità.

I giunti sono rappresentati con il sistema polare nell'emisfero inferiore, secondo il metodo di Schmidt con Nord = 180°, fornendo 3 cifre significative per la direzione del polo e 2 cifre significative per l'angolo di immersione (es. 245/60).

I giunti sono stati esaminati e descritti in modo sufficiente per permettere di classificare l'ammasso roccioso secondo uno o più metodi razionali (parametri Q o RMR) e la roccia nel suo complesso è stata classificata secondo una delle classi di Bieniawski.

6.3 Sondaggi

Dalla sommità del coronamento sono state eseguite perforazioni verticali di diametro variabile, a carotaggio continuo, sia nella campagna del 2007 che in quella del 2013. Le perforazioni sono scese fino a penetrare circa 15 m nella roccia di fondazione.

Inoltre, allo scopo di meglio individuare l'andamento della superficie di rottura che ha interessato la diga, sono state eseguite altre 2 perforazioni verticali sulla sezione maestra della diga, con intestazione sul paramento di valle a quota 685 circa e 1, sempre verticale, dall'interno del cunicolo a quota 668.50 tutta nella roccia di fondazione.

6.4 Prove in Sito e di Laboratorio

6.4.1 Indagini di Laboratorio

Le carote, preventivamente fotografate, sono conservate in apposite cassette. Da esse sono stati prelevati campioni da sottoporre a prove di laboratorio per l'individuazione delle caratteristiche meccaniche della muratura.

Le prove sono state effettuate sulla muratura, sul pietrame costituente la muratura e sulla roccia di fondazione. Dei materiali si sono misurati il peso di volume, la resistenza a compressione monoassiale, la resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana) e la velocità delle onde soniche attraverso il materiale.

Sono state anche condotte prove di taglio sui piani di giunto della roccia e su contatti calcestruzzo di progetto-muratura.

6.4.2 Ispezione TV delle Pareti dei Fori

I fori sono stati ispezionati per tutta la loro lunghezza con una sonda TV e le immagini sono state registrate su supporto digitale e restituite un forma di profilo (superficie del foro e ricostruzione della superficie della carota) con l'indicazione delle profondità.

6.4.3 Prove d'Acqua

Sono state altresì eseguite prove d'acqua in pressione su tratte di 1 m con 5 gradini di pressione (35, 75, 110, 75 e 35% di P*) con pressione massima di riferimento $P^* = 0.15 z$ (ove $z =$ profondità del tratto di prova rispetto al coronamento, in m).

6.4.4 Prove Sismiche

In 2 coppie di perforazioni (sul coronamento) poste su entrambi i lati della sezione di chiave e distanti da questa di 30 e 35, sono state eseguite prove sismiche di tipo cross-hole, in configurazione tradizionale con acquisizione dei valori delle velocità delle onde di taglio (V_s).

Tali prove, che hanno rilevato zone aventi velocità differente, sono state eseguite sia nella muratura che nella roccia di fondazione attraversata dalle perforazioni.

In ciascuna coppia di fori è stata anche eseguita una seconda prova cross-hole classica, con misura dei tempi di transito delle onde di pressione P in modalità tomografica, che ha permesso di calcolare con precisione i valori del coefficiente di Poisson alle diverse profondità nella roccia.

6.4.5 Prove Radar

È stato inoltre eseguito un rilievo geofisico di tipo georadar in foro (GPR): in 2 perforazioni sul coronamento e nelle 2 sul paramento di valle, equipaggiate con tubi inclinometrici, è stata calata una antenna direzionale radar per individuare la presenza di cavità o di zone fortemente fessurate nel tratto di muratura circostante le perforazioni.

L'esplorazione radar è stata estesa anche alla roccia di fondazione.

6.4.6 Tomografia Sonica

E' stata utilizzata la tecnica sismica in trasparenza per ottenere 2 sezioni tomografiche del corpo della diga, una in corrispondenza del cunicolo (Sez. 1) e una spostata di circa 25 m verso la sponda sinistra (Sez. 2): tale metodologia consente di evidenziare eventuali variazioni di velocità delle onde di compressione P, causate dalla presenza di lesioni e/o ammaloramenti all'interno del corpo diga.



Sono state eseguite misure con energizzazione su un paramento e ricezione sul paramento opposto e all'interno del cunicolo, sfruttando le onde dirette di primo arrivo.

6.4.7 Prove con Martinetto Piatto sulla Muratura

Le prove con martinetto piatto sono state eseguite all'interno del cunicolo, in 3 diversi punti della sezione considerata (reni e arco). I singoli martinetti sono stati orientati in modo diverso in modo da poter fornire indicazioni sul modulo verticale e orizzontale.

6.4.8 Prove di Taglio sul Contatto Calcestruzzo-Muratura

Sono state eseguite 2 prove di taglio in grande scala, portando a rottura il contatto tra un blocco di calcestruzzo 70x70 cm gettato sulla muratura debitamente pulita e preparata, allo scopo di simulare il contatto tra nuovo calcestruzzo e muratura esistente.

Le prove sono state eseguite all'interno di una nicchia creata al piede di valle della giga. Prove complementari, per valutare la compatibilità chimica tra malta e calcestruzzo, sono in corso di esecuzione e verranno completate prima dell'inizio dei lavori.

6.5 Sintesi dei Risultati

6.5.1 Roccia dell'Assise

In sponda destra è possibile definire la presenza di almeno 3 sistemi di fessurazione principali (KK1 + KK2, KK3 e KK4), uno dei quali include la scistosità, più altre fratture disperse. I piani di discontinuità presentano inclinazioni alquanto variabili, in prevalenza medio-alte, con valori medi dei parametri stereometrici polari.

Tab. 6/1 - Diga di Badana. Parametri geomeccanici della roccia in sponda destra.

Famiglia	direzione	Polo immersione
KK1 e KK2	285	70
KK3	250	80
	040	75
KK4	275	85
	085	80
Scistosità	180	10

In sponda sinistra è possibile individuare 5 sistemi (4 set di fratture + la scistosità), oltre a fratture disperse. Anche in questo caso la dispersione dei valori di inclinazione dei piani è notevole, pur prevalendo valori di inclinazione medio-alti, ad eccezione della scistosità, che evidenzia angoli bassi, con valori medi dei parametri stereometrici polari.

Tab. 6/2 - Diga di Badana. Parametri geomeccanici della roccia in sponda sinistra.

Famiglia	Polo	
	direzione	Immersione
KK1	140	65
KK2	295	80
KK3	180	80
KK4	110	70
Scistosità	225	10

Il valore del parametro geomeccanico RMR_{89} in punti rappresentativi dell'ammasso esposto varia tra 31 e 71, valori indicativi di un ammasso roccioso scadente (Classe IV) e di buona qualità (Classe II), rispettivamente. Per l'ammasso in profondità RMR_{89} varia tra 34 e 61, valori indicativi delle stesse classi di cui sopra. Trascurando le condizioni idrauliche, l'ammasso roccioso su cui è fondata la diga risulta complessivamente di qualità discreta (Classe II).

Per quanto riguarda la permeabilità dell'ammasso roccioso di fondazione, le prove Lugeon effettuate evidenziano assorbimenti generalmente modesti (< 5 UL) salvo al contatto diga-fondazione (BH1-BH7) e nelle parti più superficiali della roccia in spalla Sx (BH1), in alcune tratte di foro in cui essi sono più consistenti, fino a circa 50 UL.

Dal punto di vista della modellazione della roccia di fondazione per l'analisi strutturale, semplificando, si può dire che:

- la spalla sinistra e la fascia centrale della spalla destra sono costituite da roccia a blocchi di grandi dimensioni e compatti, di colore scuro (blu-verdastro). È il materiale migliore della fondazione;
- una fascia in spalla destra è formata da roccia di scistosità pronunciata fino a scagliettata (come risultato di alterazione intensa). È il materiale meno competente della fondazione;
- le restanti parti della fondazione hanno caratteristiche di resistenze, soprattutto di modulo, intermedie;
- il pacco di circa 15 giunti subverticali (090/70) rappresenta una zona di modulo relativamente ridotto e di forte permeabilità dato l'orientamento monte-valle dei giunti citati.

6.5.2 Muratura del Corpo Diga

L'immagine generale dell'ammasso della muratura è stata ottenuta con le informazioni raccolte con i sondaggi e con quelle della geofisica.

Le prove cross-hole effettuate nella coppia di fori BH6-BH7 mostrano:



- valori di velocità medio-basse nei primi 5 m dal coronamento;
- condizioni fisico-meccaniche relativamente scadenti con presenza di fratture e micro fessurazioni intorno alla profondità di 10 m, negli intervalli 18-22 m, 25-28 m e alla profondità di 35 m; si individua perfettamente il passaggio alla roccia a partire da 37 m.

Quelle effettuate nella coppia di fori BH3-BH4 mostrano:

- valori di velocità medio-basse nei primi 6 m dal coronamento (specie in BH4);
- condizioni fisico-meccaniche relativamente scadenti con presenza di fratture e micro fessurazioni, e probabile alterazione del legante, tra 8 e 15 m (in particolare in BH3) e nell'intervallo 19-28 m (maggiormente estese anche in orizzontale). Anche in questo caso si individua chiaramente il passaggio alla roccia a partire da 45 m.

Le principali anomalie che si riscontrano sui radargrammi derivanti dalle prove radar effettuate nei fori sul paramento di valle (BH9 e BH10) sono relative a:

- passaggio dal mezzo insaturo a quello saturo (con riduzione dell'ampiezza di riflessione), corrispondente al livello d'acqua presente nel foro;
- alcune zone a elevata ampiezza di riflessione all'interno del corpo diga, correlabili con zone fessurate/fratturate o con dissoluzione parziale del legante e conseguente presenza di vuoti millimetrici o centimetrici.

Quelle che si riscontrano invece per i fori sul coronamento (BH3, BH4, BH6, BH7) sono relative a:

- passaggio dal mezzo insaturo a quello saturo (con riduzione dell'ampiezza di riflessione), corrispondente al livello d'acqua presente nel foro, livello molto variabile tra i vari fori;
- alcune zone a elevata ampiezza di riflessione all'interno del corpo diga, correlabili con zone fessurate/fratturate o con dissoluzione parziale del legante e conseguente presenza di vuoti millimetrici o centimetrici;
- una zona di forte ampiezza di riflessione, particolarmente evidente nel foro BH7 tra circa 32 e 37 m di profondità e nel foro BH4 tra 41 e 46 m di profondità.

Per entrambe le sezioni investigate mediante la tomografia sonica, la disposizione geofonica adottata ha consentito una copertura completa e omogenea della metà inferiore del corpo diga. Si osserva una notevole similitudine tra i due modelli, con una scala delle velocità delle onde di compressione compresa, ad eccezione dei valori estremi, tra 2000 e 4000 m/s. Essi evidenziano la presenza di un corpo basale, verso il paramento di monte, a velocità medio-alta (> 3000 m/s), con una zona localizzata sul paramento di monte (tra quota 680 e 684 m s.l.m.) con valori molto elevati (4000 m/s). La zona del paramento di valle e parte di quello di monte (sopra quota 688 m s.l.m.) è invece caratterizzata da valori di V_p decisamente più bassi (2200-3000 m/s). In



particolare nella sez. 1-1 la distribuzione delle velocità segue da vicino l'andamento del dissesto del febbraio 2006.

Per la permeabilità del corpo diga, le prove Lugeon effettuate evidenziano assorbimenti generalmente da modesti (< 5 UL) a medi (5-10 UL) salvo in alcune tratte di foro in cui essi sono più consistenti, da 28-38 UL (BH1) fino a circa 50 UL (BH6).

Il valore medio rappresentativo del peso di volume unitario γ dei vari materiali è pari a:

- 26.0 kN/m³ (roccia di fondazione);
- 22 kN/m³ (muratura);
- 26.8 kN/m³ (pietrame della muratura);
- 15.0-20.0 kN/m³ (malta).

I valori della resistenza sono piuttosto variabili; tale variabilità riflette le differenti condizioni di alterazione o fratturazione di ciascun provino. La resistenza media rappresentativa a compressione monoassiale è pari a:

- 50-100 MPa (roccia di fondazione);
- 6 MPa (muratura);
- 64 MPa (pietrame della muratura);
- 2 MPa (malta).

La resistenza a trazione del pietrame della muratura, misurata con prova Brasiliana, è compresa tra 0.2 e 2 MPa, con un valore medio pari a 1.1 MPa.

In laboratorio sono state effettuate prove di taglio, su 5 campioni di area 90 cm² circa estratti dal corpo della diga, per verificare l'adesione tra calcestruzzo di progetto e la muratura esistente. I risultati ottenuti sono i seguenti :

Tab. 6/3 - Diga di Badana. Prove di taglio su muratura

Campione	Tensione Normale <i>kPa</i>	Tensione Taglio <i>kPa</i>
1	20	123
2	40	181
3	120	325
4	250	558
5	1000	968



L'angolo di attrito alle basse sollecitazioni supera i 60°.

Le rotture sono avvenute tutte all'interno della muratura a dimostrazione e conferma di una efficace aderenza tra calcestruzzo e muratura lungo la superficie di contatto.

I valori del modulo di elasticità (secante a rottura) della muratura sono dispersi in un intervallo piuttosto ampio, anche in funzione del metodo di indagine per determinarlo. In particolare, con le prove dilatometriche, si è ottenuto $E = 1 - 8 \text{ GPa}$.

Per il pietrame della muratura si è ottenuto $E = 40-200 \text{ GPa}$.

Le prove con martinetto piatto singolo sulla muratura hanno evidenziato la presenza di ridotti valori delle pressioni di ripristino su entrambe le pareti (1.1 e 5.6 bar). L'area di indagine in calotta presentava fratture visibili a occhio nudo, dovute allo stato tensionale di trazione che prevale alla base del masso murario. Prove con doppio martinetto eseguite successivamente hanno fornito valori del modulo elastico nell'ordine di 3-4 GPa, in orizzontale, e 6-7 GPa, in verticale. Valori più bassi sono stati rilevati in calotta, presumibilmente come conseguenza del detensionamento dovuto allo scavo del cunicolo. Valori più alti, oscillanti tra 8 e 27 GPa, sono stati ottenuti con il martinetto doppio, presumibilmente falsati dal confinamento laterale della roccia.

I valori di martinetto piatto si pongono nello stesso ordine di quelli stimabili sulla base delle velocità soniche e leggermente più alti di quelli con dilatometro. E' pensabile che queste determinazioni siano fortemente influenzata dalla scala, essendo le prove in foro di diametro inferiore rispetto a quello dei blocchi rocciosi che formano la muratura. Per queste ragioni, nella scelta dei parametri di progetto è stata favorita l'interpretazione dei dati cross-hole e del martinetto piatto, che più si avvicinano alla rappresentazione della massa muraria nel suo complesso.

6.5.3 Giunto Calcestruzzo-Muratura

E' stato indagato il giunto tra calcestruzzo e muratura per poter avere una evidenza fisica del suo comportamento, sia dal punto di vista meccanico che chimico.

Le prove meccaniche in sito hanno fornito valori di resistenza a taglio nell'ordine di 1.1-1.3 MPa, con rigidità al taglio (modulo di reazione tangenziale) nell'ordine di $K_s = 1100 - 1700 \text{ MPa/m}$, nel campo di misura da 0 a 10-12 bar (da 0 a 1-1.2 MPa) e $K_s = 1600 - 2700 \text{ MPa/m}$, nel campo di misura da 0 a 8-10 bar (da 0 a 0.8-1 MPa).

Le prove per l'esame della compatibilità chimica tra calcestruzzo e malte di calce idraulica sono tuttora in corso e esecutiva saranno completate prima dell'inizio dei lavori. In linea di principio,



non dovrebbero esserci motivi di incompatibilità, salvo il caso in cui siano presenti nella muratura particolari sostanze potenzialmente reattive, sinora mai dichiarate o rilevate.



7 CAMPI PROVA PER INIEZIONI DI CONSOLIDAMENTO E SCHERMATURA

7.1 Roccia di Fondazione

Il Progetto prevede l'esecuzione di iniezioni volte al miglioramento dei parametri geomeccanici nelle porzioni di fondazione caratterizzate attualmente da proprietà scadenti, nonché a conferire uniformità di comportamento alla roccia di imposta.

Al fine di una corretta definizione del trattamento di iniezione si è ritenuto necessario programmare specifiche prove in sito. Il Progetto prevede l'esecuzione di 2 campi prova all'interno dell'impronta del futuro manto in calcestruzzo a valle della diga, uno sulla spalla destra e uno sulla spalla sinistra.

Ogni campo prova si estenderà su fasce di 6 m di larghezza circa e verrà trattato con iniezioni di consolidamento eseguite in avanzamento su 3 tratte di 3 m in ogni foro, e in 2 fasi successive:

- 1a fase: fori primari, profondità $h = 9,00$ m, distanziati di 3 m;
- 2a fase: fori secondari profondità $h = 9,00$ m, intervallati ai primari.

Al contorno delle fasce trattate verranno eseguiti 3 fori carotati, disposti ai vertici di un triangolo equilatero di lato 4 m, all'interno dei quali verranno eseguite, sia prima che dopo i trattamenti primari e secondari:

- prove d'acqua;
- prove ultrasoniche cross-hole e down-hole.

Nella definizione delle caratteristiche e delle modalità di esecuzione dei trattamenti risulterà determinante la conoscenza dei parametri geomeccanici della roccia, così come individuati attraverso le indagini di cui al precedente Cap. 6. Si prevede comunque di spingere le iniezioni di prova fino ad un assorbimento di 60 l di boiaccia per m di foro, con dosaggio $a/c = 1/1$.

I campi prova per le iniezioni di consolidamento sono schematicamente illustrati nel Diss. BADE-3311 e 3312.

7.2 Schermo di Impermeabilizzazione

Analogamente, per definire i criteri di esecuzione del trattamento di impermeabilizzazione della roccia di fondazione in corrispondenza dello schermo di ritenuta, è necessario raccogliere preventivamente informazioni circa i parametri e le modalità di iniezione. Tali informazioni includono la composizione delle miscele, le pressioni di iniezione, i criteri di rifiuto, ecc.



A tal fine il Progetto prevede l'esecuzione di 2 campi prova a monte della diga, uno sulla spalla destra e uno sulla spalla sinistra, in posizione tale da contenere una porzione dello schermo di tenuta.

In ogni campo prova verranno eseguiti fori di profondità pari a quella dello schermo, così distribuiti :

- 4 fori primari a distruzione;
- 3 fori secondari carotati;
- 6 fori terziari a distruzione.

I fori primari e secondari verranno iniettati comunque, mentre i fori terziari lo saranno solo in base agli assorbimenti registrati nei primari e secondari adiacenti. L'iniezione sarà fatta in avanzamento in avanzamento nelle prime 3 tratte e su segmenti di 3 m.

Dopo le iniezioni di prova verranno perforati e carotati, attraversando la superficie trattata, 2 fori con inclinazione di 20° e 30° sulla verticale, all'interno dei quali verranno effettuate 4 prove d'acqua (in 5 posizioni) in ogni foro, su tratte di 3 m;

Anche per le iniezioni di impermeabilizzazione risulterà determinante, nella definizione delle caratteristiche e delle modalità di esecuzione dei trattamenti, la conoscenza dei parametri geomeccanici della roccia, così come individuati attraverso le indagini di cui al precedente Cap. 6.



8 VERIFICHE DI STABILITÀ DELLA DIGA ORIGINARIA

8.1 Premessa

Le verifiche di stabilità della diga originaria sono state approfonditamente sviluppate nel contesto del precedente Progetto Definitivo, di seguito se ne riassumono gli aspetti salienti mentre si rimanda per maggiori dettagli nello specifico al documento BADR-Vol. 4.

8.2 Franco Netto al Coronamento

Secondo la normativa tecnica, il franco netto, inteso come *il dislivello tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso, aggiunta a questa la semiampiezza della massima onda prevedibile nel serbatoio*, non deve essere inferiore a 1 m.

Nell'attuale configurazione della diga di Badana, con livello di massimo invaso alla 717 m s.l.m. e coronamento alla 717.50 m s.l.m. (rilevato sulle spalle), il franco netto è di soli 0.29 m e dunque non ottempera la normativa (semi-ampiezza d'onda 0.21 m). Il franco di sicurezza è affidato quasi interamente al muro-parapetto di monte, alto circa 1.00 m e spesso 0.65 m.

Nel contesto del progetto di manutenzione della diga è necessario prevedere il ripristino del franco netto minimo da normativa.

8.3 Verifiche di Stabilità secondo il Regolamento

8.3.1 Verifiche Richieste

La normativa attualmente in vigore prevede per le dighe a gravità due tipi di verifiche di sicurezza:

- verifica di stabilità allo scorrimento (*D.1.a*);
- verifica di resistenza della massa muraria (*D.1.b*) a serbatoio vuoto (peso proprio, eventuale sisma) e a serbatoio pieno (peso proprio, pressioni idrostatiche sul paramento di monte, spinta del ghiaccio, eventuale sisma).

Le verifiche sono state effettuate ipotizzando che all'interno della struttura si abbia uno stato di deformazione piano, quindi schematizzabile mediante una sezione bidimensionale di spessore unitario. Sono state verificate 53 sezioni orizzontali su tutta l'altezza della struttura (da q. 668.00 a q. 716.90 m s.l.m.) ad intervalli di 1 m.

Si sono tenuti opportunamente in conto i seguenti fattori di carico:

- peso proprio del corpo diga, calcolato sulla base del peso di volume della muratura, pari a 21 kN/m^3 . Tale valore deriva dai risultati delle indagini sperimentali effettuate sul corpo diga;
- spinta idrostatica dell'acqua invasata, ortogonale al paramento di monte della diga, valutata considerando un peso di volume dell'acqua γ_w pari a 10 kN/m^3 ;
- sottopressioni: la loro distribuzione, nei casi ove è prevista la presenza delle canne drenanti verticali, è stata assunta come bilineare, come di seguito specificato. La pressione a monte è posta pari alla pressione idrostatica in condizioni di massimo invaso, quella al piede di valle pari a zero e quella in corrispondenza delle canne drenanti pari a 0.35 volte la pressione idrostatica, valore minimo imposto da normativa. Nel caso di diga priva di canne drenanti, quindi con distribuzione lineare delle sottopressioni, la pressione a monte è posta pari alla pressione idrostatica in condizioni di massimo invaso, quella a valle pari a zero;
- azione sismica, considerando l'accelerazione di progetto relativa alla “zona 3” (Comune di Bosio secondo la classificazione sismica 2006 in accordo all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/03, aggiornata con le comunicazioni delle regioni) ($S = 6$) e tenendo conto sia della componente verticale che di quella orizzontale dell'azione inerziale della massa strutturale (B.4.a) e dell'acqua invasata (B.4.b).

Non si è invece tenuto conto della spinta del ghiaccio in quanto, nonostante la temperatura invernale scenda sotto lo zero nell'area in cui si trova la diga, non si formano nel bacino a monte strati di ghiaccio dello spessore di almeno 20 cm, spessore minimo indicato dalla normativa come limite sopra il quale è necessario considerarne la spinta.

8.3.2 Risultati delle Verifiche da Regolamento

Il risultato delle verifiche di cui sopra non rispetta i limiti regolamentari. In effetti il rapporto H/V supera il valore 0.75 sotto quota 702.5 e raggiunge un massimo di 1.05 circa alla quota 692.

8.3.3 Livello d'Acqua per la Stabilità

Per far rientrare la struttura muraria esistente nei limiti regolamentari (con sisma), sarebbe necessario abbassare il livello dell'acqua nel serbatoio (ridurre il carico idrostatico) di ben 2.6 m, portandolo alla quota massima di 714.4 pur avendo aggiunto un idoneo sistema di drenaggio.

8.3.4 Analisi di Filtrazione

L'analisi di filtrazione, i cui dettagli sono riportati nel documento Vol. 3D, ha considerato la diga di Badana in relazione alla condizione originaria, ovvero precedente ai dissesti prodottisi nel febbraio 2006.

Il regime idraulico della diga è stato studiato assumendo un moto di filtrazione stazionario che si traduce in un'ipotesi di carico idraulico costante pari al livello di massima regolazione del serbatoio, 716.9 m s.l.m.. Questa condizione ha permesso di modellare la risposta a lungo termine



del sistema e dunque di valutare gli effetti di una processo di filtrazione completamente sviluppato.

L'analisi ha evidenziato i seguenti aspetti caratteristici del processo di filtrazione della diga:

- l'ammasso roccioso al contatto tra fondazione e muratura del corpo diga dimostra una permeabilità sensibilmente maggiore di quella dell'ammasso circostante, quantificabile in circa 1 ordine di grandezza. Questa caratteristica è in accordo con i risultati delle prove Lugeon effettuate nei sondaggi e conferma la presenza di una fascia di circa 5-10 m di spessore nella fondazione con qualità geomeccaniche scadenti;
- la muratura del piede di monte della diga sembra avere una permeabilità di circa mezzo ordine di grandezza maggiore di quella mediamente stimata nel corpo diga. Questa ipotesi pare ragionevole e può essere spiegata ammettendo l'esistenza di una zona al contatto con la fondazione sottoposta ad uno stress tensionale di trazione che comporta la formazione di microfessure nella muratura.

I principali risultati dell'analisi di filtrazioni mostrano che:

- la superficie piezometrica all'interno del corpo diga ha una forma distesa ed è localizzata circa alla stessa quota dell'invaso. La linea di saturazione emerge dal paramento di valle a quota 714 m s.l.m.. L'intero corpo diga è dunque in condizioni sature;
- i flussi di filtrazione più importanti si osservano nell'ammasso roccioso nella zona di contatto tra fondazione e corpo diga dove, per effetto della maggior permeabilità, si raccolgono le portate più consistenti;
- la muratura del corpo diga è attraversata da un flusso di filtrazione non trascurabile, il volume d'acqua specifico che emerge dal paramento di valle è stimato in circa 0.22 l/min /m. La portata specifica totale, stimata al piede diga e somma dunque della portata filtrante dal paramento e nella fondazione, è pari a circa 3.13 l/min /m;
- la misura più significativa delle pressioni riguarda il contatto tra corpo diga e fondazione. L'andamento delle pressioni al contatto ha la tipica forma triangolare, i valori locali di pressione sono elevati e denotano una situazione non ottimale. Al piede di monte della diga la pressione è pari a 500 kPa e decresce linearmente in direzione del piede di valle dove la pressione residua è ancora superiore a 50 kPa;
- i gradienti più elevati sono localizzati nella muratura del piede di valle al contatto con il paramento, i risultati del modello evidenziano gradienti puntuali anche superiori a $i = 3$ m/m. Questo risultato trova una ragionevole spiegazione nell'analisi dell'andamento dei percorsi di filtrazione nell'ammasso roccioso al contatto tra fondazione e corpo diga dove, per effetto della maggior permeabilità, il carico idraulico non viene adeguatamente dissipato e i flussi di filtrazione, attraversando la muratura del sottile piede di valle, sono necessariamente associati ad un rapido rilascio dell'alto carico idraulico residuo.



Da un punto di vista complessivo, il regime idraulico della diga di Badana nella condizione originaria, seppur nei limiti dei risultati della modellazione numerica, evidenzia alcune importanti insufficienze. Le pressioni residue nella fondazione al contatto con il corpo diga sono superiori a quelle generalmente attese e specialmente in corrispondenza del piede di valle determinano una spinta verticale eccessiva, non adeguatamente bilanciata dal peso del sovrastante sottile corpo murario. Le portate filtranti nella fondazione sono mediamente elevate e in particolare, essendo la diga priva di un adeguato sistema di drenaggio, esse determinano gradienti idraulici eccezionali localizzati in maggior misura nella muratura del piede di valle della diga. Inoltre, il corpo diga è sempre in condizioni sature e questo aspetto, affatto desiderabile, concorre al deterioramento dello stato di conservazione della muratura.

8.3.5 Conclusioni

Le verifiche di stabilità mostrano che:

- in configurazione originaria, considerando gli effetti dell'azione sismica, la diga risulterebbe verificata sia allo scorrimento che alla resistenza soltanto previa riduzione della quota di massimo invaso a 708.50 m s.l.m. (senza canne drenanti) o a 714.40 m s.l.m. (con le canne drenanti da regolamento in funzione);
- in seguito al distacco di una placca al piede del febbraio 2006, considerando gli effetti dell'azione sismica, la diga risulterebbe verificata sia allo scorrimento che alla resistenza soltanto previa riduzione della quota di massimo invaso a 707.70 m s.l.m. (senza canne drenanti) o a 712.20 m s.l.m. (con le canne drenanti regolamentari).

E' opportuno precisare che le verifiche sono state condotte su un modello bidimensionale che non tiene debitamente in conto tutte le risorse strutturali che offre l'opera per il fatto di essere nettamente arcuata.

Nel contesto del precedente Progetto Definitivo (BADR), l'analisi statica è stata quindi completata con un modello tridimensionale (per maggiori dettagli si rimanda al documento Vol. 3E – luglio 2010) che ha provato l'esistenza di un apprezzabile effetto d'arco che riduce le sollecitazioni nella zona della sezione maestra trasferendo parte delle forze verso le reni.



9 CRITERI E CONTENUTI DEL PROGETTO

9.1 Normativa di Riferimento

Il Progetto Definitivo di ristrutturazione della diga è stato sviluppato nel pieno rispetto della vigente normativa in materia di dighe: “Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE” n° 163/06, “Regolamento di esecuzione ed attuazione del Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n° 163” n° D.P.R. 207/10 e “Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento”, contenute nel Decreto LL. PP. 24 marzo 1982.

Su richiesta dalla Direzione Generale Dighe (prot. 9509 25 set. 2009) sono altresì contenute le integrazioni delle verifiche sismiche in accordo alle nuove Norme Tecniche per le dighe in corso di emanazione a seguito del Voto favorevole n.27/2008 espresso dal Consiglio Superiore dei LL.PP. “Proposta di aggiornamento delle Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (Dighe e Traverse)”.

Il Progetto Definitivo contiene anche tutte le verifiche ed integrazioni prescritte dalla Direzione Generale Dighe nella Relazione Istruttoria 19/09/2013 allegata a lettera Prot: 0013023 - 20/09/2013 - N. arch. 34C - Prog. 427), come di seguito indicato:

Prescrizioni (tratte da lett. Prot: 0013023 - 20/09/2013 - N. arch. 34C - Prog. 427)	Ricezione della prescrizione
1) per i versanti circostanti l'invaso, occorre provvedere a preventivi disingaggi di blocchi o cunei di roccia potenzialmente instabili, ove individuati a seguito dei controlli;	Gli interventi per il miglioramento della stabilità dei versanti lungo il perimetro dell'invaso sono definiti e sviluppati nei documenti relativi allo Studio di Impatto Ambientale
2) la quota di demolizione della struttura in muratura deve essere mantenuta uniforme sull'intero sviluppo longitudinale dello sbarramento (q. 705.00 m s.l.m.), anche in corrispondenza della sezione maestra (progr. 114.36), che nell'elaborato del progetto definitivo riporta la quota 708.50 m s.l.m. (cfr. tav. BADR-2254);	Il piano di demolizione è stato correttamente pareggiato a quota 705.00 s.l.m. per tutta lo sviluppo della diga, si veda il disegno BADE-3152 del presente Progetto Definitivo.
3) nella fase dei getti delle strutture di rinfianco dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti atti a controllare gli effetti dello sviluppo del calore di idratazione del conglomerato (un dettagliato piano di avanzamento lavori,	Al fine di una completa definizione delle sollecitazioni conseguenti agli effetti termici dei getti massicci di calcestruzzo, nel contesto del Progetto Definitivo è stato



<p>con la sequenza dei getti per conci, dovrà contenere le necessarie specifiche tecniche esecutive);</p>	<p>condotto uno studio su modello numerico che include un piano preliminare di esecuzione dei getti (conci sfalsati, alternanza di demolizioni e getti) su entrambi i paramenti e sul coronamento. Per dettagli di rimanda al documento Vol. 4.</p> <p>Tale schema dei getti ha comunque valore indicativo, in quanto dovrà essere verificato ed eventualmente rettificato prima dell'inizio dei lavori in funzione delle caratteristiche ambientali, dei risultati delle prove preliminari sui calcestruzzi e di altri fattori che possono influenzare le caratteristiche dei getti.</p> <p>L'Impresa dovrà elaborare un dettagliato "Piano di Esecuzione dei Getti" (si veda il documento Vol. 5), compatibile con gli impianti e le attrezzature a sua disposizione, da sottoporre preventivamente alla approvazione del Direttore dei Lavori.</p>
<p>4) per la realizzazione delle canne drenanti in corpo diga, occorre evitare l'andamento "a spezzata" riportato nella sezione tipo del progetto definitivo (cfr. tav. BADR-2103), essendo preferibile uno sviluppo lineare dei drenaggi, tra il piano di coronamento ed il cunicolo alla base.</p> <p>Al termine dei lavori, prima dell'avvio degli invasi sperimentali, è necessario procedere all'ispezione ed alla rialesatura completa di tutti i drenaggi in corpo diga;</p>	<p>Nel Progetto Definitivo le canne drenanti si sviluppano con andamento rettilineo.</p> <p>La formazione delle canne drenanti richiede la completa rialesatura dei fori nel caso di utilizzo di tubazioni in PVC (frantumabili). In alternativa, utilizzando tubi prefabbricati di calcestruzzo poroso o micro-fessurato con sezione finale di progetto, ovvero, utilizzando casseformi pneumatiche estraibili, non è necessaria una successiva rialesatura.</p> <p>Il metodo da impiegare per la formazione delle canne drenanti sarà deciso di concerto tra l'Impresa e la Direzione dei Lavori.</p>
<p>5) per le iniezioni cementizie dello schermo di impermeabilizzazione, previste su fila unica, occorre considerare l'eventualità di un intervento aggiuntivo sulla</p>	<p>Nel Progetto Definitivo è previsto un infittimento progressivo dello schermo di impermeabilizzazione, tramite l'esecuzione</p>



<p>base degli esiti dei campi prova e degli effettivi assorbimenti di miscela registrati in corso d'opera;</p>	<p>successiva di iniezioni nei fori primari, secondari, terziari e, in caso di necessità nonché sulla base dei risultati sia dei campi prova che delle prove d'acqua in corso d'opera, anche quaternari (disegno BADE-3402). Non è esclusa la necessità di provvedere alla riperforazione e ulteriore iniezione di fori già trattati, secondo le indicazioni del Direttore dei Lavori.</p>
<p>6) sulla testata dei dreni in fondazione dovrà essere evitata l'installazione di manometri (cfr. tav. BADR-2235), in quanto le misure piezometriche di controllo devono essere acquisite con strumenti dedicati, mantenendo in pari tempo funzionale il sistema di drenaggio della diga;</p>	<p>Nel Progetto Definitivo i dreni in fondazione drenano con efflusso libero e in continuità.</p> <p>Nel disegno BADE-3412 è stato rimosso il dettaglio che indicava la possibilità di installare una valvola con annesso manometro.</p> <p>I dreni sono perforati nella roccia di fondazione e non prevedono rivestimento a meno di condizioni di roccia altamente fratturata tale da richiedere il sostegno del foro.</p>
<p>7) le misure degli spostamenti planimetrici con pendolo nella sezione maestra, dovranno essere integrate tramite pendolo rovescio ancorato in roccia, nella medesima sezione, con postazione di misura da realizzare in prossimità della cameretta di installazione del coordinometro del pendolo diritto, all'interno del cunicolo trasversale di base.</p>	<p>Il Progetto Definitivo comprende l'installazione di un pendolo rovescio ancorato in roccia con lettura nella cameretta ricavata lungo il cunicolo trasversale in chiave alla diga utilizzata anche per la misurazione del pendolo diritto (disegno BADE-3365 e 3704).</p>
<p>8) confronto dei risultati del calcolo semplificato delle sollecitazioni normali nei materiali (σ_v), secondo il citato criterio di "omogeneizzazione" delle sezioni di verifica, con quelli ricavati dall'analisi tenso-deformativa 2D agli elementi finiti;</p>	<p>Il confronto dei risultati del calcolo semplificato e dell'analisi tenso-deformativa 2D è riportato nel Vol. 4 del Progetto Definitivo.</p>
<p>9) Approfondimento delle analisi per quanto attiene agli aspetti termici, con valutazione degli effetti tensionali del raffreddamento e ritiro dei calcestruzzi e delle interazioni strutturali con la muratura preesistente</p>	<p>Il Progetto Definitivo ha compiutamente analizzato gli effetti tensionali dovuti al raffreddamento e ritiro dei calcestruzzi per mezzo di un modello numerico 2D, si veda il documento Vol. 4.</p>



<p>10) approfondimento sulla presenza di eventuali trazioni nel calcestruzzo posizionato al di sopra della vecchia muratura, soprattutto vicino al contatto ed in presenza della nuova prescritta cameretta intermedia del pendolo diritto.</p>	<p>Il modello numerico 2D sviluppato nel contesto del Progetto Definitivo ha permesso di indagare gli stati tenso-deformativi lungo l'intero perimetro del contatto tra muratura esistente e nuovi paramenti. I dettagli sono riportati nel documento Vol. 4.</p> <p>Al contatto tra muratura esistente e calcestruzzo nella zona prossima alla cameretta intermedia del pendolo, sono state calcolate trazioni nell'ordine dei 40-50 kPa considerate più che accettabili.</p>
<p>11) A completamento del sistema di monitoraggio delle deformazioni delle strutture in contatto (movimenti relativi tra rinfiango e corpo in muratura) è consigliabile prevedere l'installazione di estensimetri a barre, da posizionare in maniera opportuna sul paramento di valle, con ancoraggio nella muratura, attrezzati per l'acquisizione automatica delle misure ed accessibili tramite apposite scalette sul paramento (si ritengono sufficienti allo scopo 4 o 5 estensimetri ripartiti sull'intero sviluppo longitudinale dell'opera).</p>	<p>Il Progetto Definitivo ha previsto l'installazione di estensimetri multibase (a barre) su due sezioni strumentate in vari punti del contatto tra vecchia muratura e nuovi getti di rinfiango (si veda i disegni BADE-3703 e 3704).</p>
<p>12) Eventuali capsule tensiometriche, da annegare nei getti in prossimità del contatto muratura/calcestruzzo, potranno poi fornire indicazioni sull'interazione delle strutture e la messa in carico del corpo interno in muratura.</p>	<p>Il Progetto Definitivo ha previsto l'installazione di capsule tensiometriche in vari punti all'interno dei nuovi getti di rinfiango (si veda i disegni BADE-3703 e 3704).</p>
<p>13) Per quanto attiene al pendolo diritto, in luogo dei punti di misura intermedi sulla verticale dello strumento (sensori monodirezionali in perforazioni orizzontali nella struttura del rinfiango), appare più opportuno prevedere un'ulteriore postazione coordinometrica, da alloggiare alla sommità alla sommità del corpo in muratura (quota 705÷706 m s.l.m.), in apposita cameretta ricavata all'interno della nuova struttura in calcestruzzo, accessibile direttamente dal coronamento tramite pozzo verticale.</p>	<p>Il Progetto Definitivo comprende la realizzazione di una ulteriore postazione di misura coordinometrica del pendolo diritto a quota 705.00 m a.s.l. in corrispondenza del contatto tra muratura esistente e nuovo getto del coronamento (si veda i disegni BADE- 3335 e 3704).</p>
<p>14) In tale postazione, oltre il controllo degli spostamenti del pendolo, potrebbe essere utilmente integrata, ad esempio con dilatometri biassiali, la misura delle deformazioni all'interfaccia muratura/calcestruzzo</p>	<p>Il Progetto Definitivo comprende l'installazione di una barretta estensimetrica, montata su un ferro di armatura, per la misura delle deformazioni</p>



(spostamenti relativi normali e tangenziali).	al contatto tra muratura esistente e nuovo getto del coronamento nel cunicolo del pendolo.
15) I piezometri automatici (tipo a corda vibrante), con la disposizione indicata in progetto, non sembrano del tutto adeguati e sufficienti, stante l'incerta affidabilità nel funzionamento a medio-lungo termine, per le modalità stesse d'installazione delle celle di misura, che rendono difficoltoso qualsiasi intervento successivo di manutenzione/sostituzione. E' auspicabile in tal senso che il sistema di monitoraggio delle piezometrie sia implementato con ulteriori postazioni, all'interno dei cunicoli, per le quali si ritiene in ogni caso preferibile l'utilizzo di tubi con tratto fenestrato e relativo manometro, attrezzati anche con trasduttori per il rilievo automatico delle pressioni. Anche ai due piezometri con sensore rimovibile, previsti in installazione esterna sulle spalle a valle diga (sezioni strumentate n° 1 e 5), dovrebbero essere aggiunti strumenti di caratteristiche analoghe, al piede della struttura nella parte centrale.	Il Progetto Definitivo ha implementato ulteriori postazioni di misura con piezometri a tratto fenestrato in integrazione ai piezometri a corda vibrante. Le postazioni di misura sono indicate nei disegni BADE-3702, 3703, 3704, 3705 e 3711.
16) tuttavia per un controllo esteso e più efficace dei regimi piezometrici, nella fondazione del rinfiango di valle, si ritiene preferibile la realizzazione di un piccolo cunicolo longitudinale nel corpo del rinfiango, a quota circa 669.5 m s.l.m., accessibile dalla galleria di servizio alla base ed esteso per 25-30 m da entrambi i lati di questa, ove prevedere l'installazione dei piezometri aggiuntivi. Detto cunicolo consentirebbe tra l'altro di disporre eventuali ulteriori strumenti per misure di deformazione locale al contatto muratura/calcestruzzo e renderebbe inoltre possibile la realizzazione di una fila integrativa di drenaggi in roccia, nella fondazione del rinfiango, a ridosso della zona trattata con le iniezioni di consolidamento.	Il Progetto Definitivo comprende la realizzazione di un cunicolo longitudinale al piede di valle della diga, all'interno del nuovo getto del paramento, nel quale è prevista una fila integrativa di drenaggi e l'installazione di piezometri aggiuntivi (si veda i designi BADE-3361 e 3364).
17) In generale gli strumenti di controllo di nuova installazione devono essere sostituibili (a meno di quelli necessari solo durante la costruzione e i primi invasi);	Il Progetto Definitivo prevede l'installazione di piezometri elettrici removibili e di fessurimetri elettrici sostituibili.
18) per quanto riguarda il cablaggio degli strumenti automatici di tipo elettrico, è preferibile limitare al minimo indispensabile la posa di cavidotti esterni sul paramento di valle.	Il Progetto Definitivo ha studiato la posizione dei punti di uscita delle linee elettriche degli strumenti di modo da ridurre quanto più possibile i percorsi



	esterni dei cavidotti. Inoltre ha previsto di indirizzare i cavi al piede diga, lungo il più breve percorso, in un unico edificio di controllo. Gli accorgimenti sono illustrati nel disegno BADE-3701.
19) ulteriore notazione riguarda poi le opere di fondazione dei rinfianchi in calcestruzzo (cfr. tav. BADR-2223), in quanto sembra più opportuno prevedere una diversa geometria dei getti al contatto con la roccia, aumentando lo spessore della gradonatura e predisponendo piani di posa più ampi alla base dei singoli conci, anche al fine di agevolare l'esecuzione delle iniezioni di consolidamento.	<p>Si ritiene non strettamente indispensabile l'ampliamento dei gradoni, anche ai fini dell'esecuzione delle iniezioni di consolidamento.</p> <p>La superficie e l'altezza dei gradoni sono stati scelti in modo tale da facilitare le operazioni di movimentazione dei materiali e dei mezzi, nonché ai fini di una maggior sicurezza per le maestranze durante le varie fasi di lavorazione.</p> <p>Il Progetto Definitivo prevede una geometria dei gradoni così come illustrato nei disegni BADE- 3301, 3302, 3303, 3304 e 3305.</p>

Per quanto riguarda il Piano di Demolizioni, andrà redatto a cura dell'impresa prima di iniziare i lavori. La geometria delle porzioni di diga esistente da demolire sono indicate nei disegni BADE-3151, 3152, 3153 e 3154, mentre le modalità di demolizione sono descritte nel Cap. 9 del Vol. 5 - Specifiche Tecniche.

9.2 Scelta della Soluzione

Considerazioni di natura progettuale ed esecutiva, nonché una conoscenza approfondita delle caratteristiche geomeccaniche della roccia e dei materiali costituenti il corpo della diga, derivante dalle indagini di cui al precedente Cap. 6, hanno fatto ricadere la scelta progettuale sulla soluzione che prevede interventi sia sul paramento di monte che su quello di valle della diga, oltre che sul coronamento.

La soluzione progettuale apporta tra l'altro un sensibile beneficio alla potenzialità e funzionalità dell'impianto in quanto la prevista sopraelevazione di 1 m nella quota dell'invaso si tradurrà in un consistente incremento nella disponibilità di riserve idriche.

9.3 Vita Utile della Diga Ristrutturata

Le opere ed i magisteri costruttivi previsti nel presente Progetto (tra i quali, in particolare, l'inserimento della schermatura e dei drenaggi e il consolidamento della roccia), l'impiego di materiali di caratteristiche compatibili con quelli dell'attuale masso murario, il contenimento



delle sollecitazioni entro limiti adeguati alle strutture esistenti, l'inserimento di più funzionali organi di scarico e di presa, garantiscono che la diga, completamente ristrutturata, possa essere considerata come un'opera totalmente rinnovata.

La vita utile della diga conseguente agli interventi di ripristino è dunque da intendersi pari a quella di un'opera di nuova costruzione.



10 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI RIPRISTINO E DI ADEGUAMENTO

10.1 Definizione dell'Asse della Diga

Il rilievo topografico della situazione attuale ha messo in evidenza, oltre a piccole differenze altimetriche rispetto a quanto indicato nei documenti della diga (FCEM), anche alcune irregolarità sia nella larghezza che nella curvatura del coronamento della diga.

L'analisi del rilievo mostra come non sia possibile definire un unico arco di cerchio che corra al centro del coronamento. L'asse della diga è stato così definito con 4 archi di cerchio tra loro tangenti i cui raggi variano da 165 a 198 m.

10.2 Rimodellamento dei Paramenti di Monte e di Valle

L'insieme delle misure proposte è rappresentato, come inquadramento generale, nei disegni BADE-3101– 3102 – 3103.

Per ripristinare le condizioni di equilibrio della diga il progetto prevede un aumento delle masse dell'opera. L'intervento consiste nelle seguenti principali operazioni:

- demolizione della placca distaccata al piede di valle, dell'intonaco sul paramento di monte e dei bolognini sul paramento di valle, nonché dei parapetti e del coronamento: le superfici esposte dopo la demolizione verranno sottoposte ad attenta pulizia in modo da portare in risalto gli elementi litici;
- esecuzione di scavi di imposta al piede della struttura muraria;
- consolidamento della roccia sulla quale saranno fondate le strutture aggiuntive;
- rimodellamento dei paramenti. Sui paramenti di monte e di valle verrà gettato uno spessore variabile di calcestruzzo ($R'_{ck} = 20$ MPa). Il getto verrà eseguito per conci con giunti aperti. La pendenza del paramento di monte sarà 0.3H/1V sotto quota 715.20 mentre quella del paramento di valle 0.8H/1V sotto quota 712.60;
- sopraelevazione e allargamento del coronamento: il coronamento sarà sovralzato di circa 4 m fino a quota 721.20 e verrà allargato da 4.70 a 6.50 m. Sopra quota 712.60, il paramento di valle avrà pendenza 0.2H/1V, mentre sopra quota 715.20 il paramento di monte sarà verticale. Il piede del nuovo paramento di valle cadrà prevalentemente entro l'impronta dell'attuale struttura.

10.3 Livello di Massima Regolazione

A seguito dell'innalzamento della quota di coronamento a 721.20 m s.l.m. il franco rispetto all'attuale livello di massima regolazione (716.90) è superiore a 4 m. Se si considera inoltre che



nel contesto del presente Progetto è previsto un potenziamento degli organi di scarico della diga, è auspicabile un innalzamento programmato del livello di massima regolazione.

Nell'ottica di una miglior gestione del serbatoio e soprattutto con l'obiettivo di sfruttare appieno le potenzialità della riserva idrica del bacino del lago Badana, sembra ragionevole considerare un innalzamento del livello di massima regolazione di circa 1 m, portandolo dunque a quota 718.00 m s.l.m..

Le motivazioni a sostegno dell'aumento della quota di massima regolazione, con la formazione di una riserva addizionale di circa 250.000 m³, sono relative ad una miglior gestione del volume disponibile nel sistema idrico dei laghi del Gorzente, anche nella prospettiva di futuri interventi di manutenzione alle altre dighe facenti parte del complesso.

Dopo la messa a regime del lago di Badana sono previsti, infatti, rilevanti interventi allo sbarramento del lago Lungo, per la necessaria attualizzazione delle condizioni di sicurezza della diga. Detti lavori prevedono lo svuotamento del lago per un periodo di almeno 2 anni. Bisogna premettere che il lago Lungo, nel sistema dei laghi del Gorzente, ha un ruolo principale in quanto il suo bacino imbrifero ha una superficie superiore alla somma di quelli di Badana e Lavezze. Nel caso di una sua anche temporanea inutilizzabilità, il complesso dei laghi sarà fortemente scompensato dovendo rinunciare ad oltre il 50% della sua potenzialità. In quest'ottica, l'opportunità della formazione di una riserva suppletiva nel lago Badana risulterà fondamentale nel periodo d'intervento.

Al termine delle attività previste sulla diga del lago Lungo il volume addizionale, con il nuovo livello di massima regolazione del lago Badana, potrà essere messo a disposizione per soddisfare i rilasci a valle degli impianti.

Si fa notare che, a fronte di questo volume addizionale, non verrà richiesta alcuna variazione ai volumi (moduli) in attuale concessione e che l'eventuale utilizzo di detto volume a favore dei rilasci a valle degli impianti verrà regolato nel previsto accordo di programma tra la Regioni Piemonte e Liguria.

10.4 Invaso (Dati Aggiornati)

Nel marzo 2014, il gestore Mediterranea delle Acque ha incaricato la ATP S.r.l. di eseguire un nuovo e dettagliato rilievo topografico dell'invaso di Badana. Il rilievo è stato condotto con serbatoio completamente vuoto ed ha permesso di ottenere una più precisa definizione delle superfici e dei volumi del serbatoio.

I dati aggiornati dell'invaso, in relazione alla nuova quota di massima regolazione e alle verifiche idrauliche degli scarichi (si veda il Vol. 3C), sono di seguito riassunti:



Quota di massimo invaso:	719.15	m s.l.m.
Quota di massima regolazione:	718.00	m s.l.m.
Quota di minima regolazione:	670.90	m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido		
alla quota di max. invaso:	0.255	km ²
alla quota di max. regolazione:	0.247	km ²
Volume totale di invaso (DM '82):	4.92 x10 ⁶	m ³
Volume utile di regolazione (DM '82):	4.67 x10 ⁶	m ³
Volume di invaso (L.584/1994):	4.67 x10 ⁶	m ³
Volume di laminazione:	0.26 x10 ⁶	m ³

10.5 Cunicolo di Ispezione e Drenaggio a Monte Diga

Al piede di monte della diga, ricavato nel getto del nuovo paramento, è previsto un cunicolo di ispezione e drenaggio accessibile dal cunicolo trasversale in chiave alla diga.

Il cunicolo avrà allineamento parallelo all'asse diga e sarà inoltre esteso all'interno delle spalle con uno scavo in roccia per una lunghezza pari a circa 60 m in destra e a circa 80 m in sinistra. Le dimensioni nette saranno circa 2.5 m in larghezza e 3.55 m in altezza.

10.6 Cunicolo di Ispezione e Drenaggio a Valle Diga

Al piede di valle della diga, ricavato nel getto del nuovo paramento, è previsto un cunicolo di ispezione e drenaggio accessibile direttamente dal piazzale esterno e collegato al cunicolo trasversale in chiave alla diga.

Il cunicolo avrà allineamento parallelo all'asse diga e si estenderà per circa 50 m sull'intera larghezza del fondovalle. Le dimensioni nette saranno circa 2.5 m in larghezza e 3.55 m in altezza.

10.7 Dispositivo di Presidio del Corpo Diga contro le Filtrazioni

In ottemperanza alla normativa vigente, si ritiene necessario dotare la diga di un dispositivo di drenaggio delle eventuali portate filtranti dal paramento di monte, realizzando uno schermo di dreni verticali di 200 mm di diametro distanziati non più di 2.5 m tra loro (canne drenanti).

Questo dispositivo può essere facilmente realizzato inserendo condotti sub-verticali nel getto del nuovo paramento di monte. Nelle spalle della diga le canne possono essere prolungate, per mezzo di perforazioni di ugual diametro, all'interno della roccia di fondazione fino a recapitare nel cunicolo di drenaggio.



10.8 Dispositivo di Impermeabilizzazione della Fondazione

La diga originale non dispone di uno schermo di tenuta né di dispositivi per captare e scaricare le inevitabili acque filtranti nella fondazione. La pratica moderna di costruzione delle dighe prevede di norma un trattamento della roccia e la predisposizione di uno schermo di dreni.

Il Progetto prevede la realizzazione di uno schermo di iniezioni lungo il piede di monte della diga, all'interno del cunicolo di drenaggio, fin dentro le spalle. Lo schermo sarà realizzato secondo le indicazioni che emergeranno dalle prove preliminari eseguite nel campo prova e sarà ottenuto con fori estesi ad una profondità di circa 40 m sotto al piano dei cunicoli.

I fori saranno sia verticali sia inclinati su un'unica fila. Nei fori, per sezioni di 3 m, verranno iniettate a pressione boiacche stabili, fluidificate, binarie o ternarie (acqua + cemento oppure acqua + cemento + bentonite).

10.9 Consolidamento della Roccia di Imposta della Diga

Tutti i trattamenti della roccia di imposta della diga, previsti dal progetto e realizzati secondo le indicazioni che emergeranno dalle prove preliminari eseguite nei campi prova, dovranno essere condotti con magisteri tali da conferire alla roccia trattata uniformità di comportamento, soprattutto attraverso il miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche nelle zone di più scadenti caratteristiche.

Il Progetto prevede la realizzazione di un tappeto di fori, eseguito dalla superficie dello scavo a monte e a valle della diga, per consolidare con iniezioni di boiacche la roccia di imposta dei nuovi paramenti.

10.10 Dispositivo di Drenaggio della Fondazione

Il Progetto prevede la realizzazione di uno due schermi di dreni eseguiti rispettivamente dal cunicolo di monte, su un piano divergente da quello dello schermo di iniezioni e inclinato di 30° verso valle, e dal cunicolo di valle, su un piano verticale.

I fori saranno perforati con diametro di 200 mm ad interasse 2.5 m in piani paralleli (verticali o inclinati) tali da formare uno schermo continuo. La lunghezza dei dreni sarà di circa 15 m.

I dreni andranno a captare le portate filtranti nella roccia di fondazione e recapiteranno le acque nei rispettivi cunicoli di drenaggio. Le acque infine verranno raccolte nel cunicolo trasversale in chiave alla diga e successivamente transiteranno in un misuratore a stramazzo posizionato nell'edificio dello scarico di fondo al piede diga.

10.11 Dispositivi di Monitoraggio

Ultimati gli interventi di ripristino funzionale, il comportamento in esercizio della diga verrà monitorato con una serie di strumenti:



- pendoli diritto e rovescio e relativi telecoordinometri;
- sensori piezometrici a corda vibrante e a punta chiusa, fissi e removibili;
- misuratori di portata a stramazzo;
- sensori di temperatura;
- accelerografo;
- estensimetri;
- capsule tensiometriche;
- caposaldi e mire di collimazione;
- borchie per livellazione.



11 VERIFICHE DI STABILITÀ DELLA DIGA RISTRUTTURATA

11.1 Analisi di Filtrazione

L'analisi di filtrazione, i cui dettagli sono riportati nel documento Vol. 3D, ha considerato la diga di Badana nella condizione successiva all'esecuzione di tutte le misure di adeguamento in progetto, offrendo dunque un utile strumento per la verifica dell'efficacia del nuovo schermo di impermeabilizzazione e del nuovo sistema di drenaggio.

Analogamente a quanto fatto per l'analisi della diga nella condizione originaria (Cap. 8.3.4), il regime idraulico è stato studiato assumendo un moto di filtrazione stazionario che si traduce in un'ipotesi di carico idraulico costante pari al nuovo livello di massima regolazione del serbatoio, 718.00 m s.l.m. Ciò ha permesso di modellare la risposta a lungo termine del sistema e dunque di valutare gli effetti di un processo di filtrazione completamente sviluppato.

I principali risultati dell'analisi di filtrazione mostrano che:

- le canne drenanti in prossimità del paramento di monte richiamano i flussi filtranti e determinano una disposizione della superficie piezometrica con orientamento verticale lungo l'asse delle stesse. A valle delle canne drenanti la superficie piezometrica si localizza poco sopra la fondazione della diga, con una forma distesa leggermente pendente verso valle, tra le quote 668 (cunicolo di ispezione) a monte e 666 a valle (piede diga). Il corpo diga è in gran parte asciutto ad eccezione di una ridotta porzione della muratura al contatto con la fondazione, circa il 5 % del volume complessivo. L'intero paramento di valle è asciutto;
- lo schermo di iniezioni produce una importante dissipazione del carico idraulico, la differenza di carico massimo tra monte e valle dello schermo è pari a circa 45-50 m. I percorsi di filtrazione si concentrano al di sotto dello schermo di iniezione, in profondità nella roccia di fondazione. La lunghezza dei percorsi di filtrazione si allunga in misura considerevole determinando una netta diminuzione della portata filtrante. Lo schermo di dreni nel cunicolo di monte, richiamando i flussi filtranti e piegando le linee di flusso, contribuisce attivamente alla dissipazione del carico residuo. Le poche portate filtranti residue vengono infine convogliate verso la linea di dreni che recapita nel cunicolo di valle. La filtrazione nel corpo diga è pressoché assente;
- l'effetto combinato dello schermo di iniezioni e del manto di tenuta determina una riduzione delle portate filtranti di un ordine di grandezza rispetto alla condizione attuale. Il nuovo regime idraulico nella fondazione corrisponde ad una portata specifica raccolta al piede diga (dreni + canne drenanti) di circa 0.3 l/min /m nella sezione maestra;



- le pressioni al contatto tra fondazione e corpo diga si attestano su valori mediamente bassi. Immediatamente a valle dello schermo di iniezione la pressione residua è pari a circa 30 kPa mentre in corrispondenza del piede di valle è pari a circa 25 kPa.

Gli interventi di risanamento previsti dal presente Progetto determinano un regime idraulico desiderabile. Il corpo diga è essenzialmente asciutto, situazione favorevole alla conservazione della muratura esistente. La presenza di uno schermo di iniezioni e di dreni profondi nella fondazione produce un'efficace dissipazione del carico idraulico, ne consegue che al contatto con la muratura della diga le sottopressioni residue sono contenute.

11.2 Verifiche Strutturali

11.2.1 Verifiche Regolamentari

Le verifiche sono state condotte con riferimento alla vigente norma tecnica DM'82 ed in accordo alla nuova norma tecnica per le dighe NTD'08.

Le verifiche di regolamento secondo il DM'82, analoghe a quelle descritte nel Par. 8.2 della presente Relazione, sono state condotte tenendo conto dei contributi migliorativi derivanti dall'intervento proposto.

I calcoli considerano il contributo stabilizzante delle canne drenanti verticali, che riducono il valore delle sottopressioni, ed a un incremento del peso del corpo diga grazie alla demolizione completa della placca distaccata, alla sua sostituzione con calcestruzzo (con un aumento di peso specifico prossimo al 15%), ed all'ulteriore aggiunta di volumi di calcestruzzo.

Le verifiche sono state condotte utilizzando il software di calcolo DIANA TNO, il quale si basa sul metodo di risoluzione ad elementi finiti.

Il software DIANA consente di modellare e tenere in conto una molteplice serie di fenomeni, tra i quali:

- costruzione per fasi in cui vengono simulati i getti di calcestruzzo con una precisa sequenza temporale;
- comportamento del calcestruzzo nelle fasi di sviluppo del calore di idratazione, maturazione e presa;
- evoluzione delle temperature nel calcestruzzo e nel corpo diga sia in fase di presa che nelle successive condizioni ambientali in esercizio;
- deformazioni viscosse differite nel tempo e da ritiro.

Tutti i fenomeni elencati sopra sono stati debitamente tenuti in conto nei calcoli eseguiti.



DIANA consente inoltre di effettuare analisi sismiche secondo diverse modalità, tra le quali quella dell'analisi modale con spettro di risposta, utilizzata in questo caso.

Tutti gli effetti di cui sopra sono stati combinati per offrire un risultato il più aderente possibile alla realtà.

11.2.2 Verifiche in Condizioni Statiche

Le verifiche di stabilità, i cui dettagli sono riportati nella relazione relativa (Vol. 4), mostrano che la diga risulta verificata sia allo scorrimento che alla resistenza con una quota di massimo invaso pari a 719.15 m s.l.m.

Nelle condizioni di invaso pieno le sollecitazioni di compressione rimangono in tutta la struttura (esistente ed aggiunta) a livelli accettabili. Altrettanto dicasi per le trazioni sui piani di contatto diga-fondazione e lungo i piani orizzontali di ripresa nella muratura.

Più in dettaglio la diga è stata modellata sia per la muratura esistente sia la struttura aggiuntiva in calcestruzzo. L'analisi è stata eseguita su di un modello 2D della sezione maestra (comprendente il piano di fondazione) costituita da 25576 elementi di tipo quadrato CQ16M a 8 nodi e triangolare CT12M a 6 nodi e quindi da 19017 nodi.

Allo scopo di comprendere in maniera approfondita la risposta della diga alle azioni elencate in precedenza, nel processo di verifica sono state considerate diverse variabili, le quali possono influire in maniera più o meno significativa sul comportamento della struttura in fase di esercizio. Più nel dettaglio sono stati presi in esame le seguenti possibilità:

- sequenza di costruzione con il getto dell'intero paramento di monte e successivamente del paramento di valle, oppure con un getto sincrono dei conci di monte e di valle posizionati allo stesso livello;
- temperatura iniziale del calcestruzzo di +15 / +18°C (inverno-estate) oppure di +10°C (per tutto l'anno);
- tempo di maturazione di un concio, prima del getto del successivo, di 10-20 giorni (conci bassi/conci alti) oppure di 20-40 giorni;
- altezza dei conci di 1.5 m oppure di 3 m;
- temperatura dell'aria nell'arco dell'anno variabile da -4 a +30°C oppure da 0 a +20 °C.

La combinazione delle possibilità di cui sopra si è tradotta in 10 casi calcolati ognuno nello stesso dettaglio.

Tra i casi considerati è stato infine scelto il caso che porta al miglior risultato statico globale. Esso simula una costruzione sincrona a monte ed a valle con conci alti 1.5 m, temperatura del calcestruzzo al momento del getto pari a +15°C in inverno e +18°C in estate, temperatura



dell'aria variabile da 0 a +20°C. La scelta di questa particolare combinazione è stata dettata anche dall'opportunità di simulare un processo costruttivo che ipotizzi condizioni facilmente riproducibili in cantiere senza fare ricorso a impianti speciali.

I risultati delle analisi svolte sul modello in relazione alla combinazione di modalità costruttive ritenute più adeguate sono riassunti in Tabella 11/1.

L'analisi è stata effettuata simulando un periodo di ben 10 anni che comprende circa 3 anni di costruzione, al fine di cogliere il comportamento della diga nella prima fase di maturazione ed il successivo effetto dei cicli termici annuali in una fase di esercizio iniziale di 2 anni a invaso vuoto e successivi 5 ad invaso pieno.

Tab. 11/1 - Diga di Badana. Riassunto dei risultati principali delle analisi eseguite in condizioni statiche.

Fasi	FS Fessurazione	Sforzo principale σ_1 Muratura [kPa]	Sforzo principale σ_1 Calcestruzzo [kPa]	Sforzo principale σ_3 Muratura [kPa]	Sforzo principale σ_3 Calcestruzzo [kPa]
Costruzione	No fessurazione (&)	Tmax = 30-40 (+)	Tmax = 100-200 (/)	Cmax = 700-900 (*)	Cmax = 400-600 (^)
Fine costruzione + invaso vuoto	-	Prevalentemente compressa	Tmax = 300-400 (#)	Cmax = 700-900	Cmax = 400-600
Invaso Pieno	-	Prevalentemente compressa	Tmax = 300-400 (°)(>)	Cmax = 800 – 950 (\$)	Cmax = 400 -600

Note:

Tmax = sforzo principale di trazione massimo, Cmax = sforzo di compressione principale massimo,
(&) = durante il processo di sviluppo del calore di idratazione, maturazione e presa dei conci (di altezza 1.5m) di calcestruzzo non si sviluppano fessure. Non viene compromessa l'integrità dei getti effettuati e delle successive riprese di getto compatibilmente con l'evoluzione della resistenza del calcestruzzo nel tempo.

(+) = valori locali con effetto che svanisce nel tempo. (/) = valori che si verificano durante la maturazione del calcestruzzo prevalentemente sui paramenti esterni per effetto termico, (*) = valori presenti alla base della muratura. Ad inizio costruzione Cmax = 400 – 500 kPa.(^)= valori presenti nella parte bassa dei rinfianchi in calcestruzzo. Ad inizio costruzione Cmax = 100 – 200 kPa ,

(#) = valori dovuti a sollecitazioni termiche sui paramenti esposti derivanti da picchi di temperatura esterna,

(°) = valori riferiti al paramento di valle esposto derivanti da picchi di temperatura esterna,

(>) = al piede di monte ed in prossimità del cunicolo la maglia degli elementi finiti utilizzata crea dei punti singolari nell'intorno dei quali la soluzione numerica fornisce dati non realistici. Approfondimenti ulteriori della modellazione



e le reali condizioni della muratura e della roccia di fondazione da farsi all'inizio dei lavori suggeriranno adeguamenti e modalità costruttive migliorativi,
(\$) = valori che si verificano alla base della muratura. C medio = 400-600 kPa all'interno dell'ammasso di muratura.

I risultati ottenuti sono concordi con le evidenze presenti in letteratura; in particolare si ha che:

- nella muratura le compressioni post costruzione rimangono stabili e aumentano leggermente con l'invaso. I cicli successivi di vaso e di temperatura non modificano apprezzabilmente lo stato tensionale. L'invaso induce aumenti di sollecitazione nell'ordine di circa 100 kPa.
- nel calcestruzzo sia a monte che a valle le sollecitazioni cominciano a stabilizzarsi a partire dalla fine della costruzione. I successivi cicli di carico non modificano in maniera apprezzabile lo stato tensionale. L'invaso induce aumenti medi di sollecitazione nell'ordine di 100 kPa

Il piede di monte, nei pressi del cunicolo di ispezione, è una zona particolarmente sollecitata. In fase di costruzione sulla base delle evidenze constatate sia sulla muratura che sulla roccia di fondazione l'analisi potrà essere ulteriormente dettagliata e si potranno introdurre misure aggiuntive.

11.2.3 Verifiche in Condizioni Sismiche

Secondo il DM'82 le azioni di compressione, sia sulla muratura esistente che sul calcestruzzo aggiunto, rimangono sempre a livelli accettabili.

Per le verifiche in accordo al NTD'08 come sisma base di esercizio (SLD) è stato assunto un evento con tempo di ritorno pari a $T_r = 200$ anni la cui a_{max} è 0.054 g mentre per lo stato limite di collasso si è fatto riferimento al sisma SLC con tempo di ritorno $T_r = 2475$ anni la cui $a_{max} = 0.142$ g.

La presenza dei due rinfianchi in calcestruzzo a monte e a valle risulta essere efficace per quanto riguarda il comportamento sismico della struttura. Infatti, su questi, la maggior parte delle sollecitazioni indotte dal sisma vengono assorbite dal calcestruzzo.

Allo Stato Limite di Collasso in caso di vaso vuoto la resistenza a trazione del calcestruzzo non viene mai superata raggiungendo valori massimi di 1300-1400 kPa in corrispondenza dei piedi di monte e valle. Localmente, nei pressi dei rinfianchi, le trazioni all'interno della muratura possono raggiungere valori attorno i 100 kPa compatibili con la sua resistenza limite. Le compressioni massime sia nella muratura, con valori attorno i 950 kPa, che nel calcestruzzo, con valori di 1400 kPa, rimangono ovunque a livelli accettabili.

Allo Stato Limite di Collasso in caso di vaso pieno la resistenza a trazione del calcestruzzo non viene mai superata a meno di circoscritte zone corticali sui paramenti in corrispondenza dei piedi



di valle e di monte. Localmente, nei pressi dei rinfianchi, le trazioni all'interno della muratura possono raggiungere valori attorno i 200 kPa compatibili con la sua resistenza limite. Le compressioni massime sia nella muratura, con valori di 1000 kPa, che nel calcestruzzo, con valori di 1600 kPa rimangono ovunque a livelli accettabili.

11.2.4 Sollecitazioni al Contatto tra Struttura Esistente e Rinfianchi di monte e Valle

I calcoli strutturali evidenziano che le sollecitazioni al contatto tra la vecchia e la nuova struttura sono relativamente contenute. L'indagine su questo aspetto molto delicata e di alta rilevanza è stata perfezionata con un'analisi agli elementi finiti realistica e quindi complessa (termo-deformazionale, con evoluzione delle proprietà del calcestruzzo nel tempo).

Si sono esaminate diverse soluzioni per migliorare la solidarizzazione tra le due strutture, ma, si è concluso che sia preferibile provvedere ad un semplice corrugamento, tramite idrodemolizione, della muratura esistente dopo la demolizione corticale. Verrà in pratica rimossa parte della malta lasciando emergenti gli elementi litici della struttura esistente. Se necessario, si potrà migliorare l'adesione spalmando sostanze adesive sulla superficie di contatto prima del getto.

Il calcestruzzo della nuova struttura assorbe la maggior parte delle variazioni termiche cosicché la muratura si troverà, in futuro, in condizioni più favorevoli ed a temperature più costanti di quelle attuali, con notevole vantaggio sulla vita utile del manufatto. Si provvederà ad un continuo e diffuso controllo delle temperature del calcestruzzo durante le fasi di getto e ad un monitoraggio delle temperature sia nella struttura originaria che nelle parti aggiuntive.

11.2.5 Livello d'Acqua per la Stabilità

La soluzione progettuale è compatibile con un aumento della quota di massima regolazione, in virtù del sovrizzo del coronamento, a quota 718.00 m s.l.m..



12 NUOVI ORGANI DI SCARICO

12.1 Considerazioni sugli Organi di Scarico Originari

Le opere di scarico originarie a servizio della diga di Badana sono costituite da uno scarico di superficie a sifoni e da uno scarico di fondo composto da 2 condotte indipendenti.

Le condotte dello scarico di fondo, leggermente divergenti e realizzate in ghisa con diametro DN 600, erano installate sulla sezione maestra, con asse a circa quota 668.50 m s.l.m. A seguito dei lavori di messa in sicurezza della diga, la condotta sinistra è stata demolita per lasciar posto al cunicolo passante, mentre la condotta destra è stata rivestita internamente con un tubo in HDPE di diametro DN 500 mm.

Lo scarico di superficie, tuttora integro, è costituito da una batteria di sei sifoni autoinnescanti ubicati sulla spalla sinistra della diga in adiacenza alla muratura. I sifoni hanno una sezione quadrata di dimensione 1.9 x 1.9 m. La quota di sfioro, coincidente con la quota di massima regolazione, è posta alla quota 716.90 m s.l.m.. La quota di innesco/disinnesco del sifone è a 717.00 m s.l.m. Il sistema di sfioro attuale è in funzione dal 1932.

Si fa notare che la quota di massimo invaso del serbatoio indicata nei documenti della diga (FCM), 717.00 m s.l.m., coincide con la quota di innesco dello scarico di superficie a sifoni. La differenza tra la quota di massimo invaso e la quota di massima regolazione è dunque pari a 0.1 m, l'esiguo volume disponibile per la laminazione della piena è di soli 25 000 m³.

A valle del coronamento, i sifoni recapitano in un canale di scarico a forte pendenza. La soglia di ingresso del canale è alla quota 711.50 m s.l.m. mentre la sezione terminale dello scivolo è posta a quota 683.00 m s.l.m.. Il canale termina sul ciglio di un dirupo naturale in roccia, distante circa 50 m dal piede di valle della diga.

La verifica idraulica degli scarichi originari della diga è descritta nel documento Vol. 4A del Progetto Preliminare (BADP, ottobre 2008). L'analisi ha evidenziato un'importante insufficienza dello scarico di superficie a sifoni nel controllo e smaltimento delle piene. In particolare, in relazione alla laminazione della piena di progetto con tempo di ritorno 1000 anni, la quota di massimo invaso ricalcolata risulta superiore di ben 0.45 m alla quota del coronamento, con conseguente rischio concreto di tracimazione della diga. La situazione pare ancor più critica se si osserva che la verifica idraulica dei sifoni risulta ugualmente non verificata anche per la ben più modesta piena con tempo di ritorno 200 anni.



Il funzionamento degli scaricatori a sifoni presenta alcune criticità legate al rilascio impulsivo ed incontrollabile delle portate. Raggiunto difatti il livello d'invaso corrispondente alla quota caratteristica di innesco, la portata scaricata passa istantaneamente da un valore pressoché nullo alla portata massima, che nel caso della diga di Badana corrisponde a circa 75 m³/s.

L'intervento di adeguamento degli scarichi, che si inserisce nel più ampio progetto di ristrutturazione della diga, è dunque volto a migliorare la gestione dell'impianto e lo smaltimento in totale sicurezza delle piene.

Va inoltre sottolineato che l'adeguamento dello scarico di superficie risponde alla richiesta della Direzione Generale Dighe espressa con lettera Prot. n. 060617 del 18 aprile 2006.

12.2 Nuovo Sfiatore di Superficie

Il progetto di potenziamento dello scarico di superficie, i cui dettagli sono riportati nel documento Vol. 3C del presente Progetto, considera la sostituzione dell'attuale sfioratore a sifoni con un nuovo sfioratore a soglia libera.

La soluzione tecnica è stata studiata con l'obiettivo di integrare la nuova opera sia con gli interventi sulla statica della diga, in particolare con il sovrizzo del coronamento di circa 4 m (quota 721.20 m s.l.m.), sia con l'innalzamento della quota di massima regolazione a 718.00 m s.l.m..

Rispetto ad una soluzione con soglia presidiata, lo sfioratore a soglia libera ha l'indubbio vantaggio di ridurre al minimo la manutenzione necessaria e, non meno importante, di allontanare il pericolo di una parziale ostruzione dell'imbocco da parte di materiale flottante nel serbatoio. Rispetto alla soluzione attuale, inoltre, lo sfioratore a soglia libera elimina la gestione impulsiva e incontrollabile dei rilasci che caratterizza i sifoni.

Considerando la complicata situazione sia strutturale che topografica della diga di Badana, lo studio della soluzione idraulica ottimale ha consigliato la scelta di uno sfioratore di tipo non convenzionale con soglia a labirinto. Questa tipologia di opere, ormai largamente impiegata e collaudata, ha il riconosciuto vantaggio di presentare, a parità di capacità, un ingombro laterale contenuto e dunque di inserirsi con un impatto minimo in un progetto finalizzato al potenziamento di opere di scarico esistenti.

Lo sfioratore a labirinto sarà realizzato in sponda sinistra nel vano ricavato dalla demolizione degli attuali sfioratori a sifone. La soglia di sfioro risulta arretrata rispetto all'asse della diga e ruotata in pianta di 45° (si veda il disegno BADE-3601). Quest'ultimo accorgimento ha lo scopo di migliorare il deflusso delle correnti in ingresso dal serbatoio.



La soglia di sfioro sarà posta a quota 718 m s.l.m.. La larghezza complessiva del labirinto sarà di circa 14.2 m, circa uguale a quella dell'originario sfioratore a sifoni, consentendo dunque di riutilizzare senza importanti interventi di recupero il canale di scarico esistente.

Nel 2010 il gestore Mediterranea delle Acque ha incaricato il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica dell'Università di Padova di realizzare un modello fisico in scala del nuovo sfioratore, con l'obiettivo di verificare ed eventualmente ottimizzare la capacità di scarico e le condizioni di deflusso, ottemperando inoltre alla richiesta di approfondimenti avanzata dalla Direzione Generale Dighe.

Le prove su modello hanno permesso di acquisire utili informazioni circa il reale comportamento della soglia a labirinto inserita nel particolare contesto topografico dell'opera. La flessibilità costruttiva del modello ha permesso di testare differenti configurazioni della geometria di imbocco dello scarico con l'obiettivo di migliorare le condizioni di approccio della corrente, ampliando la superficie liquida disponibile e diminuendo il carico idraulico necessario nella gestione delle portate più importanti. I dettagli circa le analisi condotte e i risultati ottenuti sono illustrati nel documento Vol. 3C.

La curva di capacità dello scarico a labirinto ricavata dalle misure sul modello fisico è stata infine impiegata nel calcolo della laminazione della piena di progetto con tempo di ritorno 1000 anni. I risultati del calcolo hanno permesso di definire la nuova quota di massimo invaso del serbatoio pari a 719.15 m s.l.m..

Il franco netto al coronamento, considerata la semi-ampiezza dell'onda caratteristica del serbatoio 0.21 m, è dunque pari a 1.84 m.

12.3 Nuovo Scarico di Fondo

Il progetto di adeguamento dello scarico di fondo, i cui dettagli sono riportati nel documento Vol. 3C del presente Progetto, considera la sostituzione delle attuali condotte di scarico con una nuova condotta ispezionabile e un nuovo apparato di controllo e regolazione delle portate.

Il nuovo scarico di fondo sarà costituito da un'unica condotta circolare di diametro 1.00 m e lunghezza complessiva circa 62 m, alloggiata su selle metalliche sul fondo dell'attuale cunicolo trasversale e in gran parte ispezionabile. La quota asse dell'imbocco sarà posta a quota 670.8 m s.l.m. mentre l'uscita al piede di valle sarà posta a quota 668.70 m s.l.m..

La presa dello scarico sarà protetta dai detriti e dai materiali flottanti per mezzo di una griglia metallica alloggiata in una struttura di calcestruzzo ricavata sul cordolo al piede di monte. La condotta all'imbocco è inclinata verso il basso e si raccorda con il successivo tratto orizzontale per mezzo di una curva di raggio 2 m. L'asse della condotta inclinato consente di rialzare la quota



di minimo invaso e dunque di creare al di sotto di essa un piccolo volume di accumulo per i sedimenti.

Gli organi di intercettazione dello scarico di fondo saranno costituiti da una valvola a saracinesca e da una valvola a cono fisso di tipo “Howell-Bunger”. La valvola a saracinesca sarà installata nel cunicolo poco a valle dell’imbocco e gestirà l’apertura e la chiusura dello scarico. La valvola a cono sarà installata all’uscita della condotta, al piede della diga, e regolerà la portata scaricata. La valvola a cono verrà equipaggiata con una schermatura studiata per contenere e direzionare il getto d’acqua. La capacità massima dello scarico è di circa $14 \text{ m}^3/\text{s}$ corrispondente ad un livello del serbatoio pari alla quota di massima regolazione (718 m s.l.m.).

Operando alla massima capacità, ovvero con la valvola a cono completamente aperta, e considerando un livello iniziale d’invaso di 718 m s.l.m., i risultati della verifica idraulica mostrano che la durata complessiva dello svasso rapido del serbatoio è di circa 5 giorni.

12.4 Opere di Dissipazione a Valle Diga

La diga di Badana non dispone di opere specifiche per il controllo e la dissipazione dell’energia a valle degli scarichi. Lo scarico di fondo originario rilasciava le modeste portate nell’alveo del torrente immediatamente a valle del piede diga, mentre l’attuale scarico di superficie a sifoni restituisce le portate sfiorate in un canale a forte pendenza, costruito sulla spalla sinistra, che termina sul ciglio di un dirupo naturale in roccia.

La dissipazione dell’energia del getto dello scarico di fondo sarà in gran parte affidata al dispositivo annesso alla valvola a cono fisso. Questo tipo di valvole consente una prima importante dissipazione dell’energia all’interno della valvola stessa, successivamente il getto, aprendosi a ventaglio, perde di continuità per aerazione spontanea. La protezione del fondo alveo nella zona di impatto del getto sarà costituita da una sistemazione in massi sciolti di idonea pezzatura. Per garantire la stabilità della massicciata è prevista una legatura con malta di cemento.

La dissipazione dell’energia della corrente dello scarico di superficie è realizzata dalla forte turbolenza per aerazione spontanea che si genera nell’impatto del getto con le pareti rocciose della sponda sinistra al termine dello scivolo e in parte dal rimescolamento del flusso nel sottostante bacino di smorzamento ricavato approfondendo il fondo alveo. Considerate le buone caratteristiche meccaniche della roccia affiorante al piede del canale non sembrano necessari particolari accorgimenti per la protezione del fondo alveo dall’azione della corrente.

Le condizioni di dissipazione al piede del canale di restituzione sono state verificate su modello fisico. Le indagini hanno permesso di misurare gli effetti dell’impatto del getto sul fondo alveo evidenziando come la direzione della corrente in uscita permetta di escludere ogni interferenza con le strutture realizzate al piede diga.



13 OPERE DI PRESA

13.1 Considerazioni sulle Opere di Presa Originarie

La diga di Badana è provvista di 4 prese per la derivazione dell'acqua del serbatoio ad uso potabile che per la produzione di energia idroelettrica e di una ulteriore derivazione addizionale a livello dello scarico di fondo. Le prese originarie sono localizzate a quote differenti in prossimità della spalla destra e attraversano interamente il corpo murario della diga.

Le 4 prese si trovano rispettivamente a quota 711.60 m, 706.60 m, 700.65 m e 691.90 m s.l.m. e hanno un diametro DN 500, mentre la derivazione addizionale si stacca dalla condotta destra dello scarico di fondo, quota asse originario 668.5 m s.l.m. e diametro DN 500. Quest'ultima derivazione è attualmente fuori servizio. Ciascuna presa emerge direttamente dal paramento di monte ed è protetta alla bocca da una gabbia di acciaio.

Gli organi per il controllo delle prese sono costituiti da un ugual numero di saracinesche installate al termine di ciascuna condotta e alloggiare all'interno di nicchie in pietrame e muratura addossate al paramento di valle della diga. A valle della diga le condotte di presa convergono in un'unica condotta di raccolta di diametro DN 500 che, scendendo lungo il versante destro della valle, recapita nella vicina centrale di Lavezze Lago.

Si fa notare che, non essendo presente alcun organo di intercettazione a monte della bocca di presa, ciascuna condotta, nel tratto che attraversa il corpo diga, è costantemente in pressione. Questa condizione, affatto desiderabile, espone la muratura della diga al pericolo di infiltrazioni ad alta pressione in caso di danneggiamento o prolungata usura delle condotte stesse. Una eventualità, quest'ultima, effettivamente occorsa nel febbraio 2006 come conseguenza della rottura delle condotte dello scarico di fondo.

Considerato che le attuali prese hanno operato per quasi 100 anni, il grado di deterioramento delle condotte in ghisa non può che risultare elevato, ipotesi questa confermata dalla recente ispezione visiva della condotta dello scarico di fondo realizzata con medesimo materiale ed in funzione dagli stessi anni. Sulle pareti interne della condotta erano evidenti i segni di un'ossidazione avanzata. L'efficienza idraulica e la resistenza dei materiali pare dunque ragionevolmente compromessa.

L'intervento di adeguamento delle opere di presa è dunque volto ad assicurare una gestione più sicura ed efficiente dell'impianto.



13.2 Nuova Opera di Presa

In conformità con quanto richiesto dal gestore Mediterranea delle Acque e condiviso dalla Direzione Generale Dighe, il progetto di recupero delle prese di derivazione ha considerato la costruzione di una nuova opera specifica costituita da una torre di presa ubicata in adiacenza al paramento di monte in chiave alla diga.

La torre di presa raccoglie su un'unica sezione verticale tutte e 4 le singole opere di presa originarie, mantenendo invariate le quote di derivazione. Ogni bocca di presa sarà presidiata da una paratoia piana a strisciamento azionata, attraverso una serie di aste metalliche, dalla sommità del coronamento per mezzo di un motore elettrico a vite senza fine.

Le acque di derivazione, convogliate all'interno della struttura della torre, confluiranno in un unico condotto di adduzione. Il condotto, di diametro DN 500, sarà alloggiato su selle metalliche sul fondo del cunicolo trasversale e sarà in gran parte ispezionabile.

Inoltre, al fine di garantire anche il ripristino della presa sul fondo del serbatoio, sarà prevista una derivazione diretta dalla condotta del nuovo scarico di fondo inserita immediatamente a monte della valvola a cono. La condotta di by-pass, di diametro DN 400, sarà azionabile per mezzo di una valvola a saracinesca con volantino.

La condotta di by-pass potrà essere impiegata per allagare la condotta dello scarico di fondo e facilitare la manovra a carico bilanciato della valvola a saracinesca di apertura.



14 STRADE DI ACCESSO ALLA DIGA

14.1 Strada di accesso al nuovo coronamento

L'accesso al nuovo coronamento, sopraelevato di circa 4,00 m rispetto a quello esistente, sarà realizzato, con sviluppo prevalente a mezza costa, tramite una rampa di circa 213 m di lunghezza, 4,00 m di larghezza e con pendenza del 18% circa sul fianco destro della valle.

La scarpata di valle sarà sorretta da muri in terra vegetata in modo da ottenere il minimo impatto ambientale dell'opera. Al piede della scarpata di monte correrà una cunetta di larghezza 1,00 m per la raccolta e l'allontanamento delle acque di ruscellamento.

La sede stradale sarà pavimentata con misto cementato su sottofondo in terra stabilizzata.

La strada prosegue oltre il coronamento della diga fino a raggiungere l'esistente piazzale della vecchia casa di guardia a q. 725,50.

14.2 Strada di accesso al piede diga

La strada di accesso al piede diga ricalcherà la pista attualmente esistente migliorandone le caratteristiche di percorribilità.



15 PRINCIPALI QUANTITÀ DI LAVORO

Vengono di seguito elencate le principali quantità di lavoro relative agli interventi di ristrutturazione della diga di Badana, così come previsti nel presente Progetto Definitivo. Le quantità sono state dedotte con misure geometriche dagli elaborati grafici contenuti nel documento Vol. 2.

Demolizioni

Demolizioni in muratura	m ³	29.740
Idrodemolizioni	m ²	9.800

Scavi all'aperto e in sotterraneo

Scavi in terreno sciolto all'aperto	m ³	3.130
Scavi in roccia all'aperto	m ³	18.230
Scavi in roccia in sotterraneo	m ³	2.300

Iniezioni per consolidamenti

Numero fori	n°	425
Lunghezza perforata	m	4.300
Iniezioni di miscele cementizi	kg	215.000

Iniezioni per Schermo

Numero fori	n°	176
Lunghezza perforata	m	6.706
Iniezioni di miscele cementizie	kg	464.750

Drenaggi

Numero fori	n°	135
Lunghezza perforata	m	2.345
Lunghezza canne installate sul paramento di monte	m	2.700

Casserature, Calcestruzzi e Ferro

Casserature piane o curve	m ³	32.500
Calcestruzzi	m ³	98.255
Ferro di armatura	kg	190.000

Forniture Metalliche, Idromeccaniche ed Elettromeccaniche

Paratoie per opere di presa	n°	4
-----------------------------	----	---



Condotta opera di presa	kg	6.150
Valvole scarico di fondo (Saracinesca + Volantino + Howell Bungler)	n°	1+1+1
Condotta scarico di fondo	kg	12.600
Paranco elettrico	n°	2

Strumentazione Diga

Pendoli	n°	2
Piezometri elettrici	n°	19
Piezometri a punta chiusa	n°	4
Misuratori di portata a stramazzo	n°	2
Sensori di temperatura	n°	17
Barre estensimetriche	n°	38
Capsule tensiometriche	n°	4
Borchie di livellazione	n°	40
Capisaldi di livellazione	n°	4
Misuratore di livello (invaso)	n°	1
Sismografi	n°	2
Sistema acquisizione dati	n°	1



16 COSTO DELL'INTERVENTO

16.1 Costi Diretti

I costi delle opere sono stati determinati applicando, alle quantità elencate nel precedente Cap. 15, i prezzi unitari desunti da quotazioni di mercato, ovvero da prezzi adottati in Capitolati di opere simili o, nel caso di lavorazioni speciali, da specifiche analisi.

16.1.1 Costi Diretti

Opere di cantierizzazione	€	1.800.000
Prove preliminari in situ e in laboratorio	€	76.756
Strade di accesso al coronamento e piede diga	€	148.521
Demolizione calcestruzzo con martelloni e idrodemolizione	€	3.033.300
Scavi all'aperto	€	921.900
Scavi in sotterraneo	€	518.480
Perforazioni e iniezioni per consolidamenti	€	366.920
Perforazioni e iniezioni per schermo	€	909.167
Drenaggi corpo diga	€	252.660
Drenaggi fondazione diga	€	376.480
Calcestruzzi, casserature, ferro e waterstop	€	21.293.425
Elementi metallici ed arredi	€	240.250
Forniture elettromeccaniche	€	375.680
Strumentazione diga	€	271.480
Totale costi diretti	€	30.585.019



17 MODALITÀ E FASI ESECUTIVE

17.1 Strada di Accesso e Piste di Cantiere

La realizzazione delle opere di ristrutturazione della diga sarà preceduta innanzitutto dall'adeguamento della strada di accesso agli impianti del Gorzente, le cui caratteristiche di transitabilità appaiono oggi insufficienti, per le eccessive pendenze e la ridotta larghezza della sede, a garantire il traffico degli automezzi adibiti al rifornimento dei materiali in cantiere, al trasporto delle attrezzature e dei macchinari ed ai servizi generali.

Gli interventi ristrutturazione e di adeguamento della strada di accesso non fanno parte del presente Progetto Definitivo, in quanto saranno gestiti direttamente da Mediterranea delle Acque e realizzati in un periodo precedente a quello di ristrutturazione della diga.

La strada di accesso al coronamento in sponda destra, unico collegamento tra valle e monte diga, dovrà essere ristrutturata ed adeguata alle esigenze dell'intenso traffico di cantiere. Lo sviluppo e la pendenza dell'attuale pista dovranno essere aumentati in quanto la quota della sommità della diga verrà rialzata di circa 4 m. Per il sostegno della sede stradale, attesa l'elevata pendenza del versante, sarà necessario provvedere ad interventi che ne garantiscano la stabilità con il minimo impatto ambientale (muri verdi in terra rinforzata).

L'opera di scarico di superficie in spalla sinistra sarà raggiungibile utilizzando il coronamento della diga ed eventualmente da una pista ricavata all'interno dell'invaso. La necessità di accedere alla sede dello sfioratore si presenterà peraltro molto raramente.

Nel corso dei lavori sono da prevedere periodici interventi di manutenzione alla viabilità provvisoria e definitiva, più frequenti durante la stagione invernale e in concomitanza di eventi meteorologicamente sfavorevoli.

17.2 Strutture Logistiche e Impianti Tecnologici

Una volta completata la viabilità di cantiere, si dovrà provvedere all'allestimento delle strutture logistiche e degli impianti tecnologici, predisponendo, tramite interventi di scavo e di rinterro, piazzali di adeguata ampiezza in prossimità delle opere da realizzare, privilegiando terreni stabili e protetti da possibili dilavamenti e/o esondazioni. Sui piazzali dovrà essere garantito lo smaltimento delle acque di superficie tramite adeguate canalizzazioni ed eventuale convogliamento dei liquidi in impianti di decantazione e/o di depurazione.

Le attrezzature logistiche, destinate all'espletamento dei servizi generali, comprenderanno:



- baracche containerizzate e tettoie adibite a servizi generali di cantiere (uffici, mensa, eventuali dormitori, spogliatoi, infermeria, ecc.);
- padiglioni adibiti a strutture di servizio (officine, magazzino, laboratorio, ecc.);
- reti per illuminazione, telefonia, acqua, fognature, ecc.;
- parcheggi all'interno del cantiere.

Contemporaneamente, si darà corso all'installazione degli impianti tecnologici per lavorazione degli inerti e per la produzione dei calcestruzzi, consistenti essenzialmente da:

- impianto di frantumazione e macinazione, dotato di frantoi, granulatori e mulini adeguati alle caratteristiche dei materiali da trattare che possono provenire accumuli di rocce disarticolate e sabbie presenti all'interno del lago, da scavi o da demolizioni, e di produttività adeguata a quella richiesta dai programmi esecutivi;
- impianto di lavaggio e di classificazione degli inerti nelle classi prestabilite, costituito essenzialmente da vagli vibranti e da attrezzature di addensamento e di recupero delle frazioni fini e corredato da contenitori di acqua di elevata capacità;
- impianto di betonaggio, dotato di un numero adeguato di mescolatori (betoniere a bicchiere o simili), e corredato da: contenitori di adeguata capacità per il deposito di cemento, filler, additivi e acqua;
- impianto di trattamento e depurazione delle acque provenienti dalle aree interessate dai lavori e dagli impianti, che dopo i controlli previsti saranno riutilizzate per gli impieghi di cantiere o occasionalmente restituite, a valle della diga di Lavezze, nell'alveo del Torrente Gorzente, corpo idrico non utilizzato per il consumo umano;
- macchinari per il trasporto dei materiali (nastri trasportatori, pompe e simili) tra gli impianti ed il loro deposito in stock o sili.

Gli impianti potranno essere ubicati al piede della diga di Badana. I primi due impianti e l'impianto di trattamento delle acque potranno essere temporaneamente ubicati, presumibilmente all'inizio delle operazioni di costruzione, all'interno del lago per il periodo necessario alla produzione di inerti con i materiali del fondo alveo.

Dovranno essere inoltre predisposti piazzali di ampia superficie e installati sili di adeguata capacità per costituire scorte di inerti frantumati e/o selezionati, tali da sopperire in ogni momento al fabbisogno richiesto dalla produzione di conglomerati cementizi.

A corredo degli impianti principali di produzione del calcestruzzo dovranno essere installate altre strutture ausiliarie destinate a lavorazioni specifiche:

- impianti di iniezione, dotati di macchinari idonei a proporzionare e a confezionare le miscele prescritte e di potenzialità tale da alimentare con continuità le bocche di iniezione previste;



- impianti per la confezione e la distribuzione di fanghi bentonitici.

Infine per il servizio di impianti e macchinari verranno installati impianti ausiliari centralizzati ad alimentazione elettrica, il gestore provvederà alla fornitura dell'energia elettrica necessaria attraverso una linea dedicata:

- centrale di trasformazione;
- impianto di produzione di aria compressa;
- impianto di rifornimento di acqua ad uso industriale;
- distributori di carburanti;
- vasche di accumulo di residui di lavorazione.

Per le attività di demolizione e di ristrutturazione dei paramenti della diga si prevede l'installazione di gru a torre, installate a valle e a monte della diga, le cui braccia abbiano la possibilità di coprire tutta l'estensione dei paramenti.

Una gru a torre dovrà inoltre essere prevista a servizio delle attività di costruzione del nuovo scarico di superficie in spalla sinistra.

Per la realizzazione dei cunicoli longitudinali nelle spalle della diga dovranno essere installati, in prossimità del piede di monte, impianti di illuminazione e di ventilazione.

17.3 Reperimento di Inerti da Costruzione

Non essendo consentita l'apertura di cave di prestito all'interno del Parco, verrà innanzitutto privilegiato, per la confezione dei calcestruzzi, il riutilizzo, tramite macinazione e selezione, dei prodotti di demolizione dei calcestruzzi della diga e di scavo di fondazione delle opere.

Al residuo fabbisogno di inerti si potrà sopperire in parte con l'utilizzo dei depositi accumulati sul fondo del lago di Badana in zona soggetta a sommersione, costituiti da frammenti di roccia e sabbie. Detti materiali saranno sottoposti ad un programma di analisi geotecniche per accertarne l'idoneità al loro utilizzo come materiali da calcestruzzo, alcune prove sono già state effettuate con esito positivo nel corso delle precedenti campagne di indagine.

Nelle eventuali aree di estrazione di inerti non dovrà essere alterato (o dovrà comunque essere ripristinato) il regime idraulico esistente, e non dovranno verificarsi situazioni di destabilizzazione nei versanti interessati dagli scavi.

Infine, per la parte di inerti non reperibile nelle vicinanze delle opere, si dovrà far ricorso all'approvvigionamento da impianti di estrazione e di lavorazione autorizzati ed operanti in zona, anche se tale eventualità comporta un aggravamento nei trasporti (sia dal punto di vista economico che ambientale).



17.4 Reimpiego o Sistemazione dei Materiali di Scavo e di Demolizione

Non sono ammesse discariche all'interno dell'area del Parco.

I materiali provenienti dagli scavi e dalle demolizioni saranno di norma trasferiti agli impianti di lavorazione degli inerti dove saranno riutilizzati per la confezione dei conglomerati cementizi.

I materiali non riutilizzabili per tale scopo o risultanti comunque da sfridi di lavorazione saranno prevalentemente impiegati per opere accessorie, quali fondi stradali, reimpieghi a tergo delle murature, opere di compensazione ambientale, ecc.

Infine gli sfridi non diversamente utilizzabili potranno essere ricollocati all'interno delle aree soggette a sommersione, previa verifica della loro accettabilità.

17.5 Gallerie nelle Spalle della Diga

17.5.1 Scavi e Presostegni

Lo scavo delle 2 gallerie di iniezione e drenaggio nelle spalle dalla diga procederà contemporaneamente a fronti contrapposti, alternando le fasi di demolizione o perforazione a quelle di allontanamento dei detriti.

Di norma lo scavo verrà realizzato con cariche di esplosivo di potenzialità molto limitata e con impiego di martelli demolitori montati su mezzi cingolati leggeri al fine di non alterare le caratteristiche geomeccaniche della roccia circostante e di non compromettere l'integrità della contigua muratura della diga.

L'allontanamento dei detriti di scavo sarà effettuato, lungo i bracci longitudinali, con pale meccaniche di ingombro limitato e con l'ausilio di vagonetti trainati da locomotori lungo il cunicolo trasversale già realizzato. I prodotti di scavo, accumulati allo sbocco di valle del cunicolo trasversale, saranno poi caricati con pala meccanica su autocarro e trasportati, se idonei, agli impianti di lavorazione degli inerti.

Lo scavo sarà immediatamente seguito da interventi di presostegno dei paramenti rocciosi (bulloni, eventuali centine, spritz-beton armato con fibre o con rete metallica) e, a tratte di circa 10 m, dalla formazione di una preplatea.

Durante le attività di scavo e di getto dovrà essere assicurato lo smaltimento delle acque di percolazione. Dovranno inoltre essere costantemente funzionanti gli impianti di illuminazione e di ventilazione.



17.5.2 Rivestimento

Il rivestimento delle pareti dei cunicoli verrà realizzato prima dell'esecuzione degli schermi di impermeabilizzazione e di drenaggio e richiederà l'uso di normali attrezzature di getto (casseri, pompe per calcestruzzo, vibratori a immersione o a parete).

17.6 Diga

17.6.1 Scavi di Fondazione

Lo scavo di imposta in roccia dei nuovi paramenti della diga sarà realizzato di norma tramite martelli demolitori azionati da macchine cingolate. Si potranno utilizzare anche in questo caso cariche di esplosivo di potenzialità molto limitata con il vincolo di non alterare le caratteristiche geomeccaniche della roccia circostante, di non compromettere l'integrità delle murature.

Gli scavi all'aperto procederanno di norma dall'alto verso il basso e quelli al di sotto della quota 690.00 circa si svolgeranno in concomitanza con la demolizione della placca di calcestruzzo lesionata. L'accesso alle aree di lavoro sulle spalle potrà avvenire tramite piste a mezza costa ricavate sui versanti a valle della diga oppure anche dalla sommità del coronamento della diga.

L'area di lavoro dovrà comunque essere servita dalle gru a torre installate a valle e a monte della diga che permettano il trasporto di attrezzature e di macchinari e, in generale, consentano il collegamento rapido con le aree operative al piede della diga.

I materiali di risulta degli scavi saranno accumulati ai piedi della diga e successivamente caricati con pala meccanica su autocarro e trasportati, se idonei, agli impianti di lavorazione degli inerti.

17.6.2 Trattamento Roccia Superficiale

A completamento dello scavo d'imposta dei nuovi paramenti della diga, la superficie della roccia sarà modellata ricorrendo eventualmente alla formazione di gradonature e successivamente disaggiata e pulita con getti di aria e acqua in pressione.

Eventuali fessure presenti nella roccia di fondazione saranno ripulite in profondità asportando gli elementi detritici e/o milonitici in esse contenuti e saranno successivamente intasate con boiaccia o malta di cemento.

In presenza di roccia caratterizzata da diffusa fratturazione si provvederà a ricoprire la superficie con uno strato di gunite armata con rete metallica, che sarà fissata in profondità alla roccia con chiodi di ancoraggio.

Si procederà quindi al consolidamento con iniezioni come descritto nel seguito.



17.6.3 Demolizione del Coronamento e dei Paramenti di Monte e di Valle

Si prevede di eseguire la ristrutturazione dei paramenti di monte e di valle della diga con la seguente sequenza:

- demolizione del coronamento
- demolizione della placca di diga lesionata;
- asportazione della porzione di diga più corticale (bolognini) e contestuale getto di rimodellamento dei paramenti.

La demolizione del coronamento sarà eseguita, per mezzo di martelloni demolitori installati su macchine operatrici cingolate posizionate sul coronamento a quota 717,00 circa. I prodotti di demolizione saranno scaricati tutti a valle diga e permetteranno di creare delle banche orizzontali necessarie per la demolizione della placca.

La demolizione della placca lesionata (14 000 m³ su una superficie di circa 2 500 m³ e su un'altezza di 20 m circa) sarà eseguita, in un'unica soluzione, per mezzo di martelloni demolitori installati su macchine operatrici cingolate posizionate su banche orizzontali ricavate direttamente sul paramento di valle, a mano a mano che procede la demolizione dall'alto verso il basso.

I prodotti di demolizione, raccolti al piede della diga, vengono caricati con pale cingolate e, a mezzo di dumpers, trasportati agli impianti di lavorazione degli inerti per la produzione di aggregati da utilizzare per la produzione del calcestruzzo.

La demolizione della porzione più corticale dei paramenti di monte e di valle verrà eseguita contestualmente ai getti di rimodellamento. Si procederà quindi alla demolizione parziale del paramento per porzioni successive di circa 3 m di altezza. In tal modo il getto della porzione sottostante costituirà la piattaforma di lavoro dell'escavatore con martellone. Il lavoro si svolgerà, separatamente, su conci previsti a distanza di circa 10 m, di modo che, mentre si darà corso al getto di alcuni conci, si procederà contemporaneamente alla demolizione del paramento su quelli contigui. Ovviamente i conci in fase di getto saranno altimetricamente sfalsati rispetto a quelli in fase di demolizione.

Tale successione operativa rappresenta una ottimale distribuzione delle risorse in quanto rende possibile l'operatività contemporanea dei mezzi di demolizione e di quelli di getto.

Dopo la demolizione con martelloni, le superfici di contatto tra la muratura esistente ed il nuovo getto di calcestruzzo saranno opportunamente corrugate tramite un trattamento di idrodemolizione, che sarà realizzato con getti di acqua ed aria ed avrà lo scopo anche di asportare gli elementi più inconsistenti ed instabili della vecchia muratura.



L'allontanamento dei prodotti di demolizione e di idrodemolizione avverrà con modalità del tutto analoghe a quelle per i materiali di scavo, salvo la necessità di far scendere i materiali al piede della diga tramite scivoli metallici ancorati al paramento o tramite benne di grande capacità caricate da pale di modeste dimensioni operanti sui piani di lavoro.

Le piattaforme di lavoro saranno servite da gru a torre, installate a monte e valle diga, che provvederanno sia alla movimentazione dei mezzi di lavoro (piccoli escavatori con martelloni e pale meccaniche di peso non superiore a 5 t), sia all'eventuale allontanamento dei detriti della demolizione, operazioni che saranno alternate ai servizi che le gru forniranno durante le fasi di getto.

17.6.4 Casserature, Giunti e Waterstops

L'armatura dei paramenti di monte e di valle sarà realizzata con impiego di cassaforme metalliche di tipo rampante, dotate cioè di dispositivi che ne permettono la movimentazione senza dover ricorrere all'ausilio di mezzi di sollevamento esterni.

Le gru a torre installate ai piedi di monte e di valle della diga costituiranno comunque uno strumento indispensabile per il rifornimento dei materiali di consumo e per l'approvvigionamento delle attrezzature di lavoro alle maestranze che operano alla sommità dei casseri.

Anche le superfici dei giunti verticali, distanziate tra di loro di circa 10 m, saranno casserate con armature metalliche movimentate dalle gru a torre o da mezzi di sollevamento dislocati sulla sommità dei conci in avanzamento.

I conci più bassi, sfalsati altimetricamente rispetto a quelli in avanzamento, saranno casserati sul lato esterno e lungo i giunti trasversali. Durante il loro sovrizzo verrà disposto all'interno dei giunti trasversali un elemento divisorio (polistirolo o policarbonato) per impedire che il calcestruzzo dei conci in esecuzione venga a contatto con le superfici laterali dei conci già realizzati.

L'impermeabilità dei giunti sarà realizzata tramite la messa in opera di una doppia barriera di nastri di contenimento (waterstops). I waterstops, di larghezza minima 30 cm, saranno collocati ad interasse 50 cm, la prima linea a distanza di circa 40 cm dal paramento di monte. Nello spazio compreso tra i waterstops verrà realizzata un'intercapedine di drenaggio al fine di convogliare le acque filtranti verso la galleria di ispezione al piede (si veda Dis. BADE-3333).

17.6.5 Getto dei Rinfianchi

Il getto dei rinfianchi di monte e di valle verrà eseguito contestualmente alla demolizione dei paramenti esistenti. Si procederà cioè alla demolizione parziale dei paramenti per porzioni successive di circa 3 m di altezza e al successivo getto delle stesse porzioni. In tal modo, il getto



della porzione sottostante costituirà la piattaforma di lavoro dell'escavatore con martellone per l'esecuzione della porzione superiore.

Il lavoro si svolgerà separatamente su conci in modo che, mentre si darà corso al getto di alcuni conci, si procederà contemporaneamente alla demolizione del paramento su quelli contigui. Ovviamente, i conci in fase di getto saranno altimetricamente sfalsati rispetto a quelli in fase di demolizione.

Tale successione operativa tende a consentire una ottimale distribuzione delle risorse in quanto rende possibile l'operatività contemporanea dei mezzi di demolizione e di quelli di getto.

Il calcestruzzo, confezionato nella centrale di betonaggio, verrà fatto affluire, tramite autobetoniere o nastri trasportatori, in tramogge installate ai piedi dei paramenti di monte e di valle della diga. Pompe a pistoni di adeguata potenza preleveranno il conglomerato da bocchette poste al di sotto delle tramogge e lo trasferiranno per mezzo di tubazioni flessibili sulla sommità dei conci in costruzione.

Il calcestruzzo sarà posto in opera in strati sovrapposti di 0.50 m fino a raggiungere uno spessore massimo di 3 m sul concio in costruzione. Il conglomerato sarà costipato con vibratori ad immersione o a parete e la sua superficie sarà sottoposta, a fine getto, a trattamenti di raffreddamento con l'eventuale impiego di prodotti antiritiro.

Trascorse 24 ore dalla fine del getto, sul concio verranno posizionati i mezzi adibiti alla demolizione ed al corrugamento del successivo tratto di paramento per un'altezza di 3 m. Pertanto, prima del getto successivo, la superficie del calcestruzzo andrà accuratamente ripulita da ogni detrito e convenientemente corrugata con getti di aria-acqua in pressione o, se necessario, con piccoli demolitori.

Poiché i fenomeni di ritiro del massiccio getto di calcestruzzo sui paramento della diga possono indurre elevate sollecitazioni sulla struttura esistente, sarà necessario ricorrere all'impiego di additivi antiritiro nella confezione dei calcestruzzi. Sarà probabilmente necessario provvedere, nei periodi più caldi, ad un preventivo raffreddamento degli inerti tramite irroramento con acqua fredda, in modo da ridurre il calore di idratazione dei conglomerati.

17.6.6 Coronamento

Modalità non dissimili da quelle sopra descritte per i paramenti saranno adottate per la realizzazione del nuovo coronamento, il quale dovrà essere necessariamente casserato su entrambi i paramenti.

Anche per nella porzione di coronamento i giunti di costruzione sono previsti con interasse di 10 m in prosecuzione di quelli presenti sui paramenti.



Durante la ristrutturazione della parte superiore della diga sarà interdetto il passaggio di mezzi semoventi sul coronamento, per cui risulterà necessario provvedere alla dislocazione di attrezzature di lavoro e all'approvvigionamento di materiali da costruzione con l'ausilio di gru a braccio dotate di ampio raggio d'azione.

17.7 Scarico di Superficie

17.7.1 Scavi e Demolizioni

Gli scavi in roccia nella spalla sinistra della diga avverranno contestualmente alla demolizione dell'attuale scarico di superficie in calcestruzzo. Pertanto per tali attività di scavo e di demolizione, le modalità e le sequenze esecutive coincidono temporalmente e non sono operativamente distinguibili.

Lo studio di ottimizzazione delle condizioni di imbocco della corrente verso la nuova soglia sfiorante, eseguito sul modello fisico in scala, ha suggerito l'opportunità di ampliare la riprofilatura della spalla a monte dello sfioratore interessando un più ampio e alto fronte di scavo. Per garantire la sicurezza e la stabilità dello scavo verranno realizzati opportuni sostegni (ancoraggi passivi) ed eventualmente interventi locali di consolidamento tramite spritz-beton e rete elettrosaldata.

Le attività sono del tutto analoghe a quelle descritte per gli scavi all'aperto, con l'unica differenza che, non essendo raggiungibile l'area di lavoro per mezzo di piste ricavate sul versante di valle della sponda sinistra, l'accesso è consentito esclusivamente dalla sommità del coronamento della diga.

A tal fine è indispensabile che, per le operazioni di scavo, di demolizione e, successivamente, di getto, l'area di lavoro sia servita da una gru a torre che provveda al trasferimento in zona dei macchinari e dei materiali di costruzione.

Per l'esecuzione degli scavi e delle demolizioni dovranno essere ricavate, nel corpo dell'attuale sfioratore, postazioni su gradoni di adeguata ampiezza che consentano l'operatività dell'escavatore dall'alto verso il basso, in condizioni di sicurezza.

I materiali di risulta degli scavi e delle demolizioni saranno, per la parte superiore (ponte e sfioratore), depositati a monte diga e, per la parte inferiore (scivolo), trasferiti al piede dell'attuale canale di scarico e qui, successivamente, caricati con pala meccanica su autocarri e trasportati, se idonei, agli impianti di lavorazione degli inerti.

17.7.2 Getti

Il getto del calcestruzzo per la costruzione delle opere costituenti lo scarico di superficie sarà preceduto da un'accurata pulizia della superficie di contatto con la roccia per mezzo di getti di aria ed acqua in pressione.



La costruzione della soglia sfiorante di forma a labirinto richiede l'impiego di apposite cassature modellate in modo da permettere il getto del conglomerato per strati orizzontali, evitando giunti verticali. In corrispondenza dell'incastro nella spalla e contro i conci dei nuovi paramenti della diga dovranno essere posizionati idonei waterstops per assicurare la tenuta idraulica della sezione.

Il getto dello scivolo e del profilo superiore di sfioro sarà eseguito procedendo dal basso verso l'alto. Verrà dapprima gettato il corpo delle strutture in c.a. (scivolo), provvedendo solo in seconda fase alla modellazione delle superfici idrauliche conformemente ai disegni di progetto. E' necessario che il collegamento tra i getti di prima e seconda fase garantisca l'aderenza delle superfici. A tal fine il getto di seconda fase sarà preceduto dalla stesa di uno strato di malta arricchita sulla superficie sottostante. Potranno anche essere collocati ferri di ancoraggio tra i due getti. All'interno di tutti gli eventuali giunti previsti dal Progetto dovranno essere collocati idonei waterstops.

17.8 Perforazioni e Iniezioni

17.8.1 Iniezioni di Consolidamento

Le iniezioni di consolidamento, che seguiranno procedure esecutive analoghe a quelle dello schermo di impermeabilizzazione, saranno eseguite dai piedi di monte e di valle della diga.

17.8.2 Schermo di Impermeabilizzazione

Lo schermo di impermeabilizzazione sarà eseguito seguendo scrupolosamente le istruzioni contenute nel Vol. 5 – Specifiche Tecniche sia per quanto attiene le procedure esecutive che le successioni operative.

Le perforazioni e le iniezioni saranno eseguite operando in parte dall'interno del nuovo cunicolo di monte e nelle spalle della diga e in parte sul coronamento.

L'aria compressa necessaria per il funzionamento delle perforatrici verrà fornita dall'impianto centralizzato installato in cantiere ovvero da compressori di adeguata potenza dislocati in prossimità delle attrezzature.

L'alimentazione dei prodotti di iniezione avverrà tramite pompaggio delle miscele confezionate in apposite centrali di dosaggio e di mescolazione, installate in prossimità delle zone di lavorazione.

I prodotti delle perforazioni ed i fanghi di spurgo delle iniezioni dovranno essere accuratamente raccolti e convogliati agli impianti di decantazione e di depurazione, evitando nel modo più assoluto il contaminamento delle acque prima della loro restituzione negli alvei naturali e nei bacini ad uso umano. Le acque rilasciate dagli impianti di decantazione e di depurazione saranno



convogliate, tramite tubazione metallica, nel torrente Gorzente a valle dello scarico della diga Lavezze.

17.9 Dreni

L'esecuzione dello schermo di dreni nella roccia di fondazione avrà inizio solo dopo il completamento dello schema di iniezioni di impermeabilizzazione e di consolidamento della roccia di fondazione.

I drenaggi della roccia saranno eseguiti operando dall'interno del nuovo cunicolo al piede di monte e nelle spalle della diga, nonché dall'interno del nuovo cunicolo al piede di valle.

L'aria compressa necessaria per il funzionamento delle perforatrici verrà prodotta dall'impianto centralizzato installato in cantiere e sarà fornita tramite tubazioni di adeguato diametro disposte lungo il tracciato dei cunicoli.

Ove previsto dal Progetto o imposto dalle condizioni di fessurazione della roccia, i fori potranno essere rivestiti con tubazioni metalliche micro fessurate. In testa ai dreni verrà installata una valvola ed un manometro per la misura della pressione. Lungo il cunicolo di drenaggio sarà ricavata una canaletta per la raccolta e smaltimento delle acque drenate.

17.10 Canne Drenanti

I drenaggi nel corpo della diga (canne drenanti) saranno realizzati contestualmente al getto del paramento di monte della diga e avranno diametro DN 200, eseguiti ad intervalli di 2,50 m.

Nelle spalle della diga le canne saranno prolungate fino a raggiungere il cunicolo di drenaggio tramite perforazione di pari diametro nella roccia di fondazione, eseguita prima della formazione del paramento in calcestruzzo.

Le acque drenate nel corpo diga saranno raccolte e smaltite analogamente alle portate dei dreni in fondazione.

17.11 Opera di Presa

Le condotte di presa originarie saranno definitivamente poste fuori servizio e sigillate. Le attività dovranno essere svolte prima della realizzazione dei nuovi paramenti della diga e includeranno:

- rimozione delle griglie sul paramento di monte;
- scollegamento delle attuali condotte allo sbocco sul paramento di valle;
- sigillatura tramite iniezione di calcestruzzo.

La realizzazione della nuova torre di presa comporta i seguenti magisteri costruttivi:



- predisposizione dei ponteggi lungo il paramento di monte fino al coronamento;
- cassetta e getto della torre e della lesena in aderenza al nuovo paramento;
- predisposizione delle guide delle paratoie;
- montaggio griglie, guide, saracinesche e argani;
- allaccio alla condotta principale dell'acquedotto.

La messa in opera delle guide e delle battute in metallo dovrà prevedersi con uno specifico getto di seconda fase al fine di consentire una precisa calibrazione degli allineamenti.

17.12 Scarico di Fondo

Per la realizzazione del nuovo scarico di fondo dovrà essere preliminarmente previsto un getto di seconda fase all'interno della nuova placca in calcestruzzo del paramento di monte della diga. Lo scarico prevede di fatto un primo tratto di blindaggio in corrispondenza dell'imbocco annesso nei nuovi getti di calcestruzzo e un secondo e più lungo tratto alloggiato all'interno del cunicolo trasversale in chiave alla diga.

Dopo aver eseguito le opere in calcestruzzo esterne e quelle di immersione della tratta iniziale di tubazione (getti di 2a fase), verrà installata la valvola a saracinesca che costituisce l'organo di intercettazione di monte.

Di seguito verrà installata, nella parte inferiore del cunicolo, la tubazione metallica rettilinea supportata da selle metalliche ancorate alla platea. In prossimità dello sbocco di valle verrà infine installata la valvola di regolazione Howell-Bunger, corredata di dispositivi idraulici e di equipaggiamenti elettromeccanici.

A valle dello sbocco le acque saranno restituite al letto del torrente con un breve canale delimitato da muri e rivestito con massi sciolti di idonea pezzatura (rip-rap). I massi saranno legati con malta leggera al fine di prevenire eventuali erosioni prodotte dal getto in uscita dallo scarico.

17.13 Strumentazione

17.13.1 Pendoli

Il pendolo diritto sarà installato in una perforazione di diametro non inferiore a 350 mm attraverso il corpo diga e avrà il punto di sospensione sul coronamento. Il pendolo rovescio sarà installato nella fondazione con perforazione in roccia di diametro non inferiore a 350 mm, con punto di sospensione posto nella stessa cameretta del telecoordinometro del pendolo diritto.

La lettura sarà eseguita per mezzo di un coordinometro manuale (trasportabile) e di due telecoordinometri automatici (fissi) posti rispettivamente nel cunicolo alla base della diga e in una camera intermedia accessibile dal coronamento.



17.13.2Piezometri

Nella roccia di fondazione e nel corpo della diga saranno installati, dopo il completamento dello schermo di iniezioni e delle perforazioni di drenaggio, n° 19 piezometri elettrici a corda vibrante e n° 4 piezometri a punta chiusa con sensore rimovibile. L'installazione dei piezometri avverrà tramite perforazione eseguita dal cunicolo di ispezione e dal paramento di valle della diga.

I rilevamenti saranno effettuati dall'interno dei cunicoli e dai punti di recapito del cablaggio sul paramento di valle della diga.

17.13.3Misuratori di Portata a Stramazzo

All'uscita del cunicolo trasversale al piede di valle della diga verranno installati n° 2 misuratori di portata a stramazzo, uno per ciascuna canaletta di smaltimento delle acque drenate dallo schermo profondo in fondazione e dalle canne drenanti. La misura differenziata delle portate permetterà di distinguere i contributi dei due cunicoli longitudinali di drenaggio.

17.13.4Sensori di Temperatura

Nella muratura esistente e nel calcestruzzo del rinfiango di valle verranno installati, in successione ai getti in elevazione, n° 17 termometri per il rilevamento della distribuzione e delle variazioni di temperatura all'interno del corpo diga.

17.13.5Stazione Sismografica

Due stazioni sismografiche saranno installate nel corpo diga e saranno dotate di tutti i dispositivi necessari alla registrazione sopra una soglia prefissata di attivazione, dell'accelerazione sui tre assi principali (verticale, nord-sud e est-ovest).

17.13.6Estensimetri

Nel corpo della diga verranno installati n° 38 estensimetri di vario tipo per la misura delle sollecitazioni, in particolare:

- n° 2 estensimetri multibase composti da una testa di misura, due basi di misura (protette da una guaina in materiale plastico), ancoraggi di fondo e due tubi di iniezione;
- n° 10 terne di barrette estensimetriche costituite da un corpo tubolare in acciaio inox, provvisto alle estremità di due anelli di ancoraggio, che contiene il filo in acciaio. Ogni estensimetro sarà preventivamente inserito in un prisma di betoncino, calibrato in laboratorio e posto in opera;
- n° 26 estensimetri installati su ferri di armatura, costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox, provvisto alle estremità di due anelli di ancoraggio, che contiene il filo in acciaio. Ogni estensimetro sarà saldato alle due estremità su un ferro di armatura, posto in opera e calibrato in sito.



Tutti i sensori saranno di tipo elettrico a corda vibrante e corredati di sensore di temperatura a termistore al fine di permettere, in fase di elaborazione dei dati, la compensazione termica.

17.13.7 Capsule Tensiometriche

Nel corpo della diga verranno installate n° 4 capsule tensiometriche cilindriche in acciaio, direttamente incorporate nei getti di calcestruzzo, per misurare lo stato di sollecitazione presente nel punto di applicazione. Il sensore di misura sarà a corda vibrante e in grado di misurare anche la temperatura.

17.13.8 Sistema di Collimazione

Sul coronamento verranno installate n° 40 borchie di livellazione, n° 4 caposaldi di collimazione in calcestruzzo, n° 1 mire fisse e n° 2 mire mobili per le letture di collimazione.

17.13.9 Misuratori di Livello

Sul paramento di monte della diga verranno installati misuratori del livello del lago, che trasmetteranno con continuità i dati rilevati ad uno strumento registratore installato nella centrale operativa.

17.14 Smobilizzo Cantiere

A fine lavori l'Impresa dovrà provvedere, nei tempi previsti dal programma contrattuale, allo smontaggio delle attrezzature e degli impianti installati sia in prossimità della diga, sia nelle aree di estrazione e di lavorazione degli inerti, nonché al loro tempestivo allontanamento dalle aree interessate.

17.15 Ripristini e Sistemazioni Ambientali

Dopo lo smobilizzo del cantiere e l'allontanamento di tutte le attrezzature e di tutti i materiali non utilizzati sarà necessario provvedere alle sistemazioni ambientali in modo da ripristinare le caratteristiche ambientali preesistenti o comunque richieste dagli Enti preposti.

Rientrano nei predetti interventi:

- il rimodellamento delle scarpate eventualmente interessate dalle lavorazioni;
- il rivestimento delle superfici inclinate tramite inerbimento o piantumazioni di specie locali;
- la stabilizzazione delle scarpate in trincea tramite gradonature, gabbionate, ecc;
- la regolazione delle acque di superficie intercettate nell'esecuzione dei lavori, per razionalizzarne la restituzione negli alvei naturali, evitando dannose azioni di ruscellamento e conseguenti effetti erosivi localizzati.



18 TEMPI ESECUTIVI

Il cronogramma esecutivo dei lavori è illustrato nel Vol. 8 del presente Progetto Definitivo.

L'esecuzione di tutte le opere interesserà un arco di tempo di circa 3 anni, all'interno del quale si devono prevedere peraltro periodi di sospensione dei lavori nei mesi invernali a causa delle avverse condizioni metereologiche.

In particolare l'esecuzione dei getti in calcestruzzo all'aperto è limitata al solo periodo intercorrente tra i mesi di marzo e ottobre, mentre alcune attività (demolizioni, iniezioni, arredi, ecc.) potranno essere eseguite anche nei mesi di febbraio e novembre.