

Omaggio a due dighe centenarie : Vulci e Pagnona

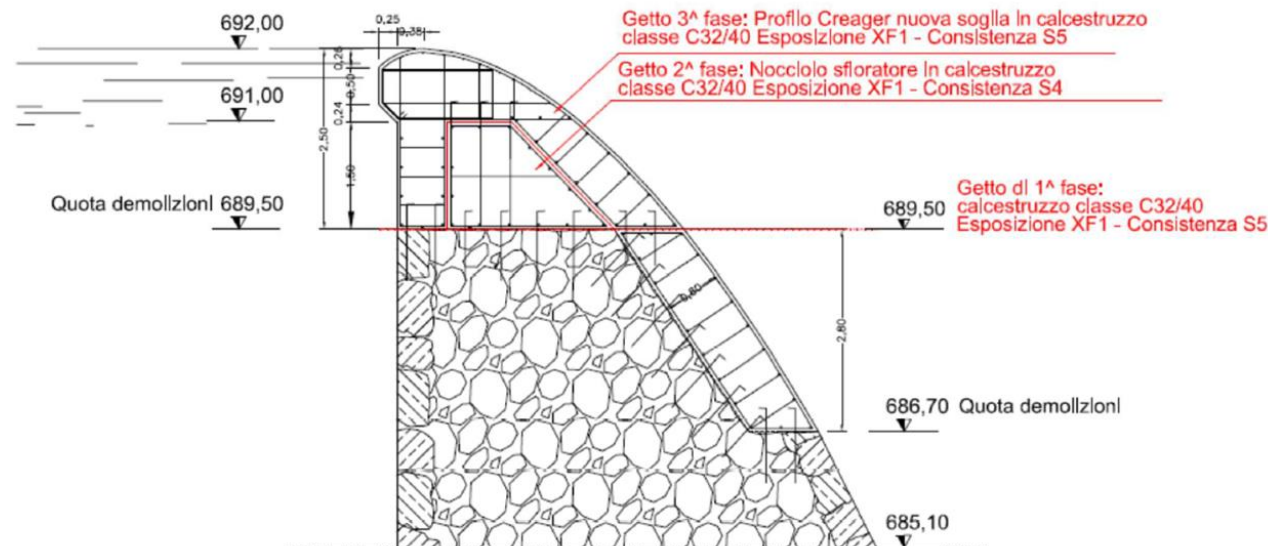
Diga di Pagnona – INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO IDRAULICO E STRUTTURALE DELLA DIGA

Aspetti costruttivi per la realizzazione del nuovo sfioratore e della vasca di dissipazione

Raffaele Figini

Enel Green Power Italia srl

Realizzazione nuovo sfioratore e pile



- Definizione mix design calcestruzzi
- Definizione fasi e volumi di getto
- Definizione dei casseri metallici e messa in opera
- Modalità di getto e controlli in corso d'opera
- Finiture e altri dettagli

Realizzazione nuovo sfioratore e pile

➤ Definizione mix design calcestruzzi

1. Calcestruzzo C32/40, esposizione XF1, consistenza S5 per la porzione esterna dello sfioratore

CEM IV/A(V)-32.5 N-LH/SR cemento pozzolanico ad alta resistenza ai solfati e a basso calore di idratazione – rapporto a/c 0.45

Diametro max aggregati 22.4 mm

Additivo superfluidificante e additivo anti-ritiro

2. Calcestruzzo C32/40, esposizione XF1, consistenza S4 per nocciolo interno dello sfioratore, pile e vasca dissipazione

CEM IV/A(V)-32.5 N-LH/SR cemento pozzolanico ad alta resistenza ai solfati e a basso calore di idratazione – rapporto a/c 0.43

Diametro max aggregati 31.5 mm

Additivo superfluidificante e additivo anti-ritiro

3. Calcestruzzo C32/40, esposizione XF4, consistenza S4 per solette passerella e coronamento

CEM IV/A(V)-32.5 N-LH/SR cemento pozzolanico ad alta resistenza ai solfati e a basso calore di idratazione – rapporto a/c 0.39

Diametro max aggregati 22.4 mm

Additivo superfluidificante, additivo anti-ritiro e additivo aerante

Calcestruzzi prodotti con processo industrializzato dalla ditta F.Ili Locatelli S.a.s. di Introbio (Lc), secondo il dossier di pre-qualifica autorizzato da UTD-Mi

CALCOLO MIX DESIGN

Descrizione: Calcestruzzo classe C 32/40 , XF1, Dmax 22,4, classe cloruri 0,20, consistenza "S5", Cemento CEM IV/A (V) 32.5 N LH/SR, additivi Sika.

MISCELA	REQUISITI RICHIESTI DEL CALCESTRUZZO	
F.Ili Locatelli Sas Introbio (Lc) UNI 11104:2016 C40-XF1-D22-POZ-SRA-S5 XF1, consistenza "S5", Dmax 22 mm CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 420 kg/mc	COMPONENTI	PARAMETRI GUIDA RICHIESTI
	CEMENTO : CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 420	MASSA VOLUMICA kg/m ³ 2358
	AGGREGATI : 0/4mm, 3/8mm, 16/24mm e 20	CONSISTENZA "SLUMP" mm > 220
	ADDITIVO SF: Sika "Viscocrete 4290": 0,55% in peso	CONSISTENZA "spandimento" mm > 220
	ADDITIVO RIT.: Sika "Control 41": 0,94% in peso	RAPPORTO A/C 0,45
	ADDITIVO AER: -	POROSITA P % 1,0

DIMENSIONAMENTO DELLA MISCELA	
CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 420 kg/mc	kg/m ³ 420
ACQUA:	l/m ³ 189
SIKA "Viscocrete 4290": 0,55% in peso	kg/m ³ 2,75
ADDITIVO RITARDANTE:	kg/m ³ 3,95
-	kg/m ³ 0
POROSITA:	% vol 1,0
AGGREGATI ASCIUTTI:	kg/m ³ 1742
MASSA CALCESTRUZZO:	kg/m ³ 2358

COMPONENTI AGGREGATI:	
0-4mm	47 % kg 819
3-8 mm	10 % kg 174
16-24mm	43 % kg 749
20-31,5mm	0 % kg 0
-	0 % kg 0
TOTALE	100 % kg 1742

CALCOLO MIX DESIGN

Descrizione: Calcestruzzo classe C 32/40 , XF1, Dmax 31,5 classe cloruri 0,20, consistenza "S4", Cemento CEM IV/A (V) 32.5 N LH/SR, additivi Sika.

MISCELA	REQUISITI RICHIESTI DEL CALCESTRUZZO	
Centrale "Fili Locatelli Sas" - Introbio (Lc) UNI 11104:2016 C40-XF1-D32-POZ-SRA-S4 XF1, consistenza "S4", Dmax 32 mm CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 420 kg/mc	COMPONENTI	PARAMETRI GUIDA RICHIESTI
	CEMENTO : CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 420	MASSA VOLUMICA kg/m ³ 2367
	AGGREGATI : 0/4mm, 3/8mm, 16/24mm e 20	CONSISTENZA "SLUMP" mm 160-210
	ADDITIVO SF: Sika "Viscocrete 4290": 0,50% in peso	CONSISTENZA "spandimento" mm > 220
	ADDITIVO RIT.: Sika "Control 41": 0,84% in peso	RAPPORTO A/C 0,43
	ADDITIVO AER: -	POROSITA P % 1,0

DIMENSIONAMENTO DELLA MISCELA	
CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 420 kg/mc	kg/m ³ 420
ACQUA:	l/m ³ 181
SIKA "Viscocrete 4290": 0,50% in peso	kg/m ³ 2,75
ADDITIVO RITARDANTE:	kg/m ³ 3,95
-	kg/m ³ 0
POROSITA:	% vol 1,0
AGGREGATI ASCIUTTI:	kg/m ³ 1760
MASSA CALCESTRUZZO:	kg/m ³ 2367

COMPONENTI AGGREGATI:	
0-4mm	46 % kg 810
3-8 mm	15 % kg 264
16-24mm	24 % kg 422
20-31,5mm	15 % kg 264
-	0 % kg 0
TOTALE	100 % kg 1760

CALCOLO MIX DESIGN

Descrizione: Calcestruzzo classe C 32/40 , XF1, Dmax 22,4, classe cloruri 0,20, consistenza "S4", Cemento CEM IV/A (V) 32.5 N LH/SR, additivi Sika.

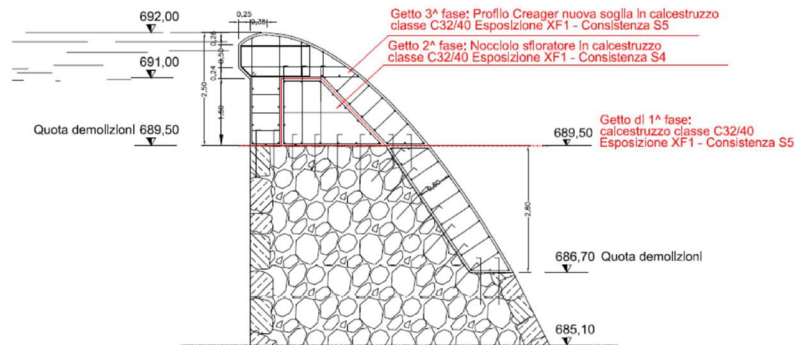
MISCELA	REQUISITI RICHIESTI DEL CALCESTRUZZO	
F.Ili Locatelli Sas Introbio (Lc) UNI 11104:2016 C40-XF4-D22-POZ-SRA-S4 XF4, consistenza "S4", Dmax 22 mm CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 440 kg/mc	COMPONENTI	PARAMETRI GUIDA RICHIESTI
	CEMENTO : CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 440	MASSA VOLUMICA kg/m ³ 2293
	AGGREGATI : 0/4mm, 3/8mm, 16/24mm e 20	CONSISTENZA "SLUMP" mm 160-210
	ADDITIVO SF: Sika "Viscocrete 4290": 0,50% in peso	CONSISTENZA "spandimento" mm > 220
	ADDITIVO RIT.: Sika "Control 41": 0,84% in peso	RAPPORTO A/C 0,39
	ADDITIVO AER: Sika "LPS A94": 0,07% in volume	POROSITA P % 1,0

DIMENSIONAMENTO DELLA MISCELA	
CEM IV/A 32.5 N LH/SR: 440 kg/mc	kg/m ³ 440
ACQUA:	l/m ³ 172
SIKA "Viscocrete 4290": 0,50% in peso	kg/m ³ 2,64
ADDITIVO RITARDANTE:	kg/m ³ 3,52
SIKA "LPS A94": 0,07% in volume	kg/m ³ 0,31
POROSITA:	% vol 4,5
AGGREGATI ASCIUTTI:	kg/m ³ 1675
MASSA CALCESTRUZZO:	kg/m ³ 2293

COMPONENTI AGGREGATI:	
0-4mm	47 % kg 787
3-8 mm	10 % kg 167
16-24mm	43 % kg 720
20-31,5mm	0 % kg 0
-	0 % kg 0
TOTALE	100 % kg 1675

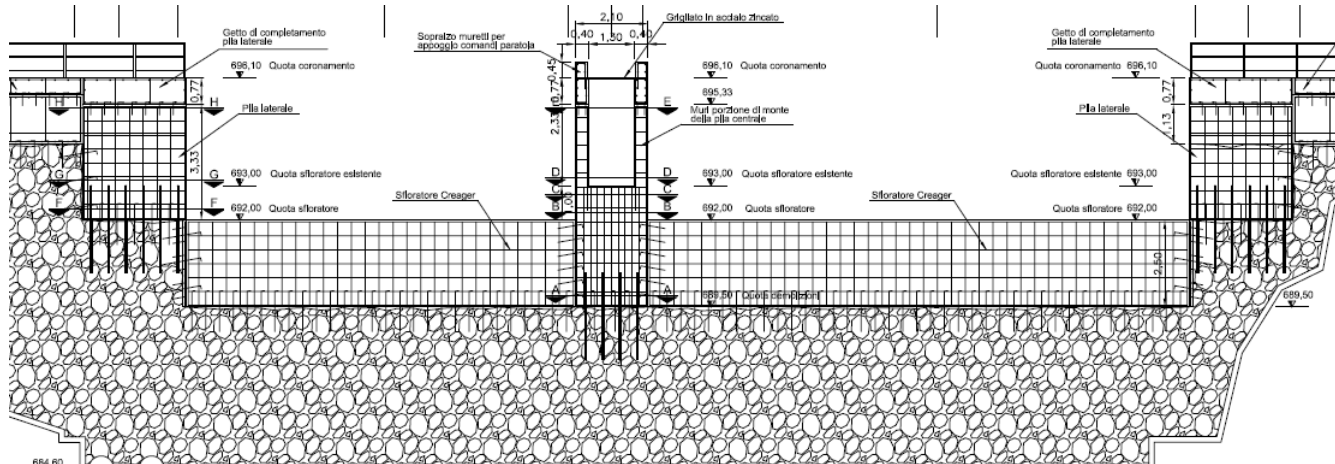
Realizzazione nuovo sfioratore e pile

➤ Definizione fasi e volumi di getto



Sfioratore	Volume getto (mc)
Scivolo valle sx	65
Scivolo valle dx	50
Nocciolo sx	37
Nocciolo dx	29
Creager sx	75
Creager dx	57
Volume totale sfioratore	313

Pila centrale	Volume getto (mc)
1a fase	41
2a fase	20
3a fase	8
Pila laterale dx	
1a fase	21
2a fase	31
Pila laterale sx	
1a fase	21
2a fase	28,5
Volume totale pile	170,5



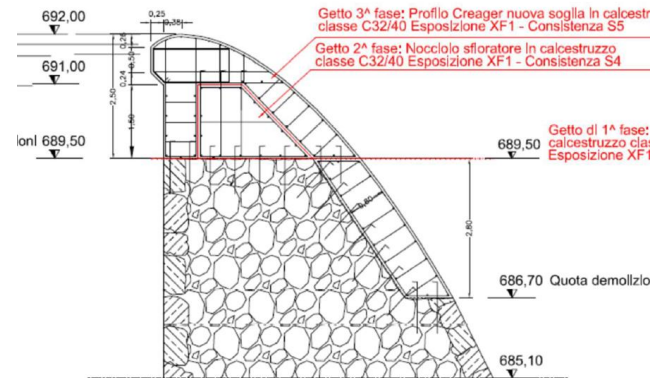
Sequenza delle fasi di getto:

1. Scivoli inferiori sfioratore dx e sx
2. Pila centrale 1a fase e 2a fase
3. Pile laterali 1a fase
4. Noccioli centrali sfioratore dx e sx
5. Pile laterali 2a fase
6. Sfioratori Creager dx e sx

Nota: la sequenza è stata definita sulla base di esigenze di natura logistica e di cantiere (es. installazione e rimozione casseri metallici)

Realizzazione nuovo sfioratore e pile

- Definizione dei casseri metallici e messa in opera



Per la ricostruzione esatta della sagoma del profilo Creager si è reso necessario l'utilizzo di casseri metallici sagomati secondo l'equazione matematica del profilo, ed opportunamente nervati ed ancorati per assorbire le spinte in fase di getto (calcestruzzo consistenza S5).

I casseri degli scivoli inferiori sono stati mantenuti in opera fino al getto della porzione superiore del Creager, per garantire la continuità del profilo di sfioro

Dettagli posizionamento e ancoraggio casseri scivoli inferiore sfioratore



Dettagli posizionamento e ancoraggio casseri porzione superiore sfioratore



Realizzazione nuovo sfioratore e pile

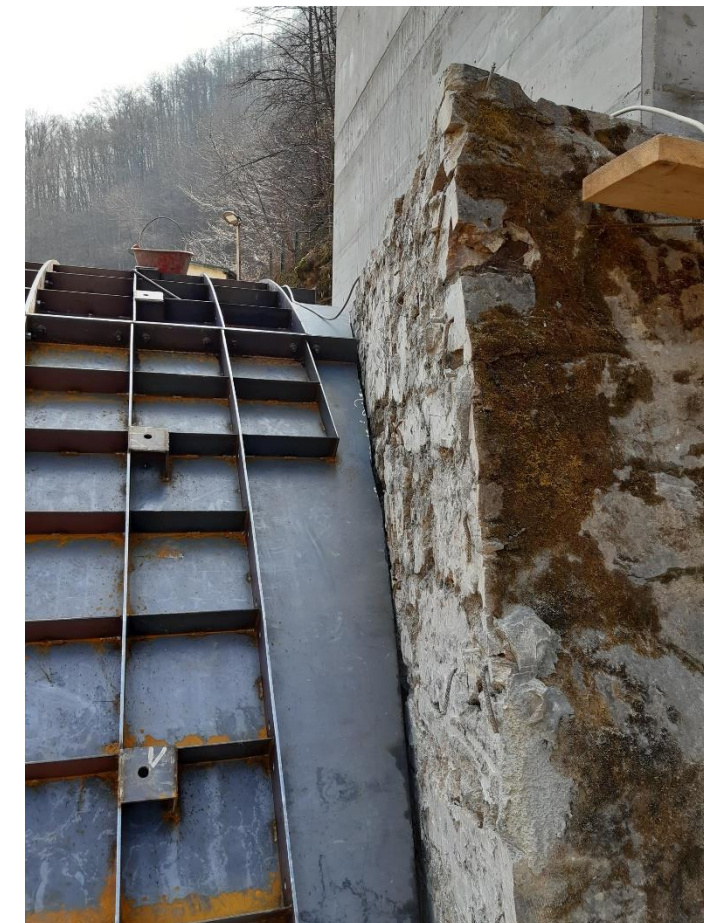
- Definizione dei casseri metallici e messa in opera

Dettagli posizionamento e ancoraggio casseri porzione superiore sfioratore



Rilievo quote e getto cordolo di appoggio del cassero lato monte per garantire la precisione nel posizionamento del profilo di sfioro

Rilievo e costruzione dei pezzi speciali (interfacce laterali)



Realizzazione nuovo sfioratore e pile

- Definizione dei casseri metallici e messa in opera

Casseri per la pila centrale



Problema: cedimento di un ancoraggio del cassero pila centrale durante getto di 1a fase



Anche per i getti della pila centrale e delle mensole delle pile laterali si è optato per uso di casseri metallici, per contenere le spinte del calcestruzzo in fase di getto (consistenza S4)

Il cassero si è lievemente deformato sotto la spinta del calcestruzzo, ma grazie alla nervatura non ha ceduto.

Il getto è stato interrotto e ripreso il giorno successivo: la deformazione presente nella parte bassa della pila è stata contenuta all'interno dei successivi getti del nocciolo dello sfioratore. Per gli ancoraggi dei getti successivi è stata adottata una chiusura a vite anziché a farfalla

Realizzazione nuovo sfioratore e pile

➤ Modalità di getto e controlli in corso d'opera

Getti scivoli inferiori sfioratore: da autobetoniera

Getti pile e sfioratore Creager: con ausilio di pompa

Velocità di getto lenta per consentire adeguata vibrazione e progressiva compattazione del calcestruzzo e diminuire le spinte sulla porzione inferiore dei casseri

Getti profilo Creager effettuati attraverso apposite finestrelle aperte sui casseri, con la seguente sequenza:

1. Getti lato valle fino a sommità nocciolo
2. Getti lato monte fino a sommità nocciolo
3. Getto di completamento superiore (parte finale lenta e a più riprese per consentire la completa saturazione del getto: notare presenza degli sfiati in sommità ai casseri per evitare la formazione di bolle d'aria)

Tutti i getti per il singolo sfioratore sono stati conclusi nell'ambito della stessa giornata di getto



Realizzazione nuovo sfioratore e pile

➤ Modalità di getto e controlli in corso d'opera

Controlli in corso d'opera:

- Prelievo cubetti calcestruzzo per prove di schiacciamento (a 7gg, 28gg e 90gg), e relativi controlli di accettazione secondo norma
- Prelievo barre di armatura per prove secondo norma e relativi controlli di accettazione
- Verifica classe di consistenza calcestruzzo: prove con cono di Abrams
- Campagna di prove sclerometriche condotta dal collaudatore statico



Esito positivo di tutti i controlli effettuati



APAVE ITALIA CPM S.r.l.
Via Salaria 633 - 00198 Roma - Tel. 06/49404040 - Fax 06/49404041
www.apave.com - info@apave.com - info@apave.com - info@apave.com

Certificato n°
CO.21.06.21.1/21
Data: 07/07/2021
Pagina 01 di 01

PROVA DI COMPRESIONE SU CALCESTRUZZO
L'APAVE ITALIA CPM S.r.l. ha eseguito la prova di compressione su calcestruzzo, secondo le norme UNI EN 12390-1 e UNI EN 12390-2.

Informazioni:
Società: ENEL GREEN POWER S.p.A.
Progetto: PREMANA (LC) DGA DI PALINOVIA
Committente: ENEL GREEN POWER S.p.A.
Direttore dei lavori: DOTT. ING. RAFFAELLE FIGUINI
Verifica di consistenza: 50076
Data: 23/06/2021
Materiale: calcestruzzo, classe: C30/37, tipo: M2000
Autore: TECNICO VERIFICATO DAL D.L.

ID	Sito	Data	Dati nominali		Dati di prova		Dati di calcolo		Valore medio	Valore minimo	Valore massimo	Nota
			Area (cm²)	Forza (kN)	Area (cm²)	Forza (kN)	Area (cm²)	Forza (kN)				
P1	←	23/06/2021	130	130	130	7.860	2341	0,000001	48	3500	5	NO
P2	←	23/06/2021	130	130	130	7.860	2341	0,000001	47	3500	5	NO
P3	←	23/06/2021	130	130	130	7.860	2341	0,000001	48	3500	5	NO
P4	←	23/06/2021	130	130	130	7.860	2341	0,000001	47	3500	5	NO
P5	←	23/06/2021	130	130	130	7.860	2341	0,000001	48	3500	5	NO
P6	←	23/06/2021	130	130	130	7.860	2341	0,000001	48	3500	5	NO

Tipo di rottura: SOGGIACENTE (S) NON SOGGIACENTE (NS)

Il Direttore del Laboratorio
Dott. Ing. LUCA SCAVONE

Il Collaudatore Statico
Dott. Ing. LUCA SCAVONE

PROVE SCLEROMETRICHE													Media	f _{cu, cube} [N/mm²]
id.	Punto di battitura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
P ₁ -01	←	41	46	42	44	41	44	41	52	43	45	43	49	
P ₁ -02	←	44	42	45	47	43	43	40	45	43	42	43	49	
P ₁ -03	←	47	51	48	45	48	45	46	48	50	47	47	58	
P ₁ -04	←	42	52	42	43	47	44	43	42	44	44	44	51	
P ₁ -05	←	44	45	45	45	44	44	46	44	46	45	45	53	
P ₁ -06	←	44	44	43	46	45	43	45	42	45	44	44	51	
P ₁ -07	←	45	46	44	44	46	43	47	44	44	47	45	53	
P ₁ -08	←	43	44	43	43	42	46	43	44	48	48	44	51	
P ₁ -09	←	44	43	41	44	41	44	41	41	43	40	42	47	
P ₁ -10	←	43	47	41	48	43	40	43	40	42	42	43	49	
P ₁ -11	←	42	45	46	46	47	45	41	46	45	43	45	53	
P ₁ -12	←	42	40	45	40	43	43	45	44	45	45	43	49	
P ₁ -13	←	45	46	44	47	44	47	44	46	42	47	45	53	
P ₁ -14	←	49	48	46	45	43	47	45	48	47	49	47	58	
													51,6	

Realizzazione nuovo sfioratore e pile

➤ Finiture e altri dettagli costruttivi

Getto appena scassero



Trattamento di rasatura in sommità e lato valle sfioratore (porzione curvilinea):
Rasatura con malta cementizia monocomponente ad alta resistenza all'abrasione, spessore medio 2-3 mm



Realizzazione nuovo sfioratore e pile

➤ Finiture e altri dettagli costruttivi

Getto appena scassero lato monte



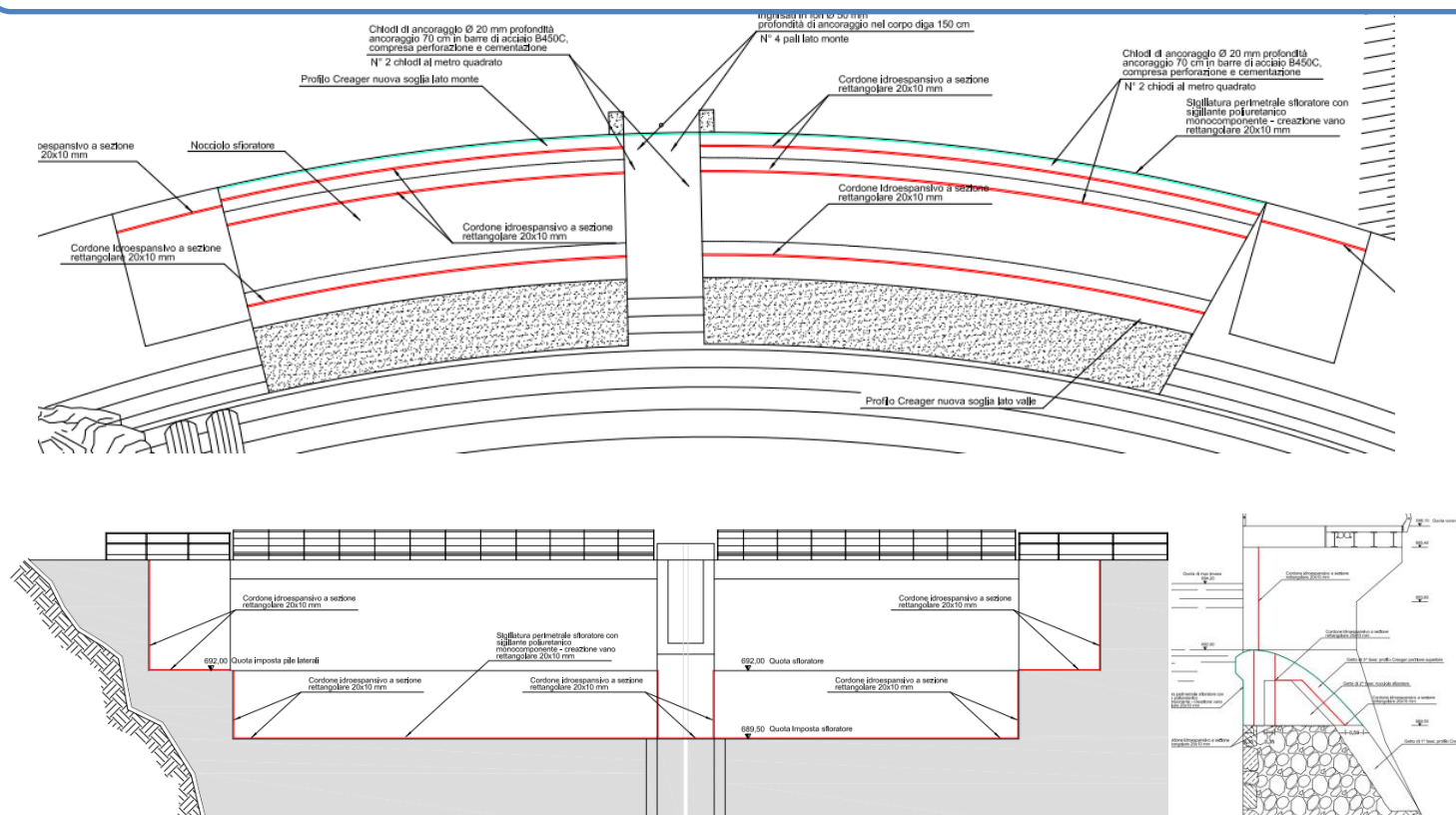
Trattamento di rasatura lato monte:
Rasatura con malta cementizia
impermeabilizzante monocomponente
fibrorinforzata ad alta elasticità, spessore
medio 3 mm



Realizzazione nuovo sfioratore e pile

➤ Finiture e altri dettagli costruttivi

1. Posa di sigillante idroespansivo poliuretanico all'interfaccia interna vecchio-nuovo
2. Posa di sigillante elastico igroindurente a basso modulo per giunti esterni



Posa sigillante idroespansivo alle interfacce



Costruzione cordolo inferiore e sigillatura perimetrale a monte



Realizzazione vasca di dissipazione



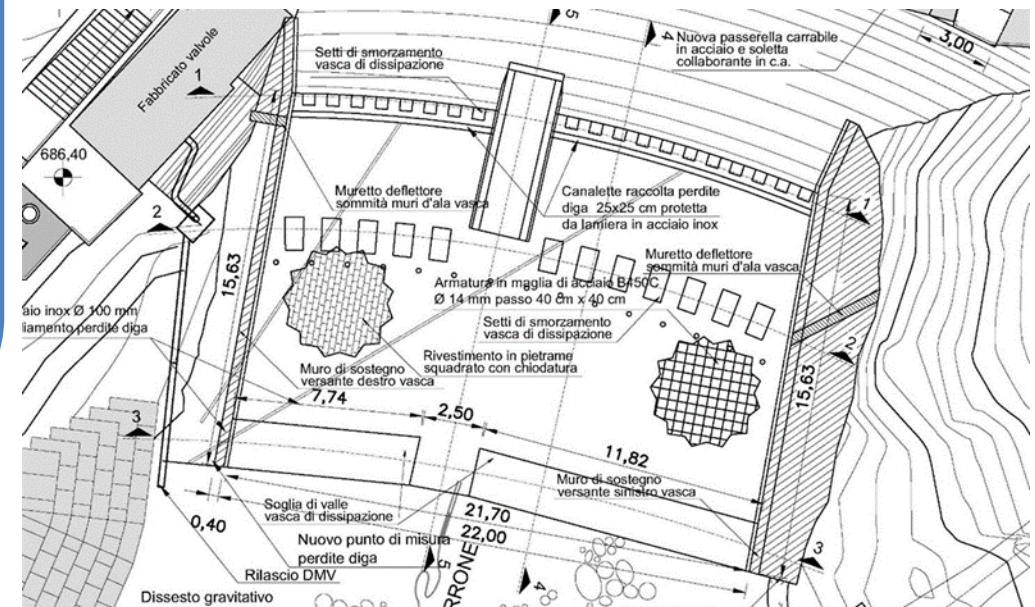
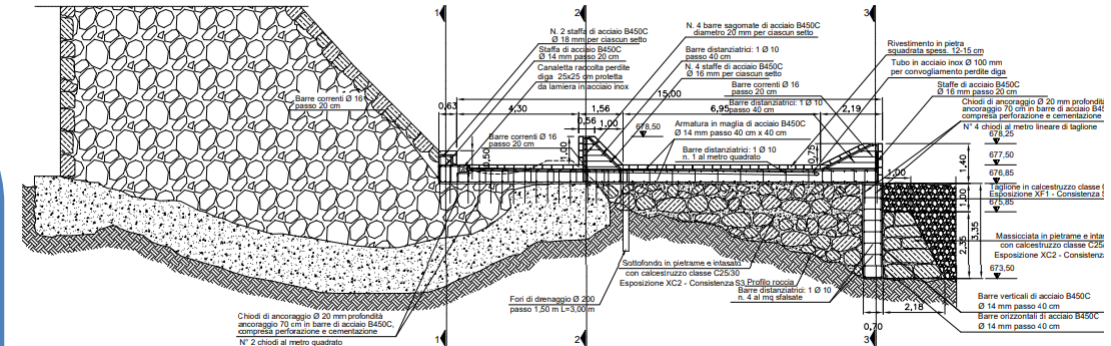
- Definizione fasi costruttive
- Realizzazione taglione e variante in corso d'opera
- Realizzazione dei denti
- Posa in opera dei rivestimenti
- Funzionamento

Realizzazione vasca di dissipazione

► Definizione fasi costruttive

Sequenza delle fasi costruttive:

1. Scavi e demolizioni a piede diga fino alla roccia di imposta
2. Realizzazione del taglione a valle (getto imposta, elevazione dx e sx)
3. Realizzazione della massicciata a valle del taglione
4. Riempimento a tergo del taglione con pietrame intasato di calcestruzzo
5. Getto platea dx
6. Getto platea sx
7. Getto soglia di valle e muro laterale sinistro
8. Getto muro laterale destro
9. Getto denti dissipazione
10. Posa in opera rivestimenti e realizzazione raccordi diga-vasca



Realizzazione vasca di dissipazione

➤ Realizzazione taglione e variante in corso d'opera

Roccia di imposta post scavi/demolizioni



Aggottamento acque da mf



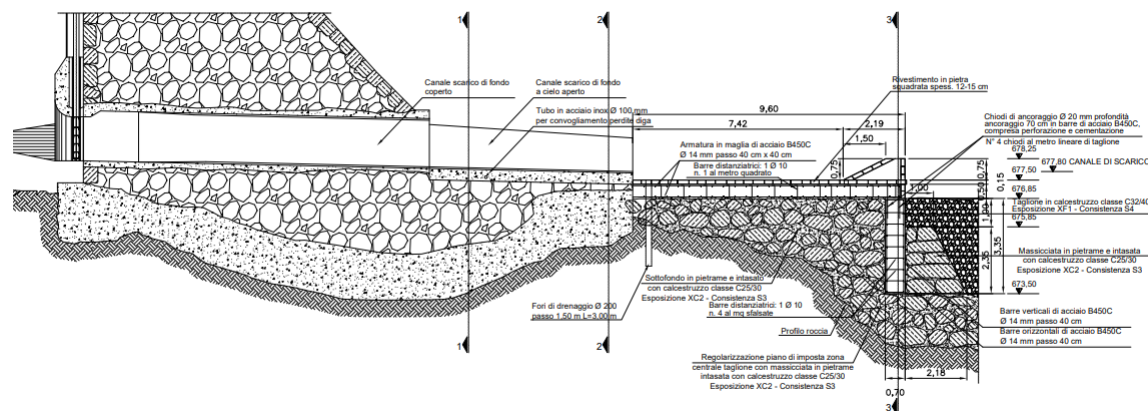
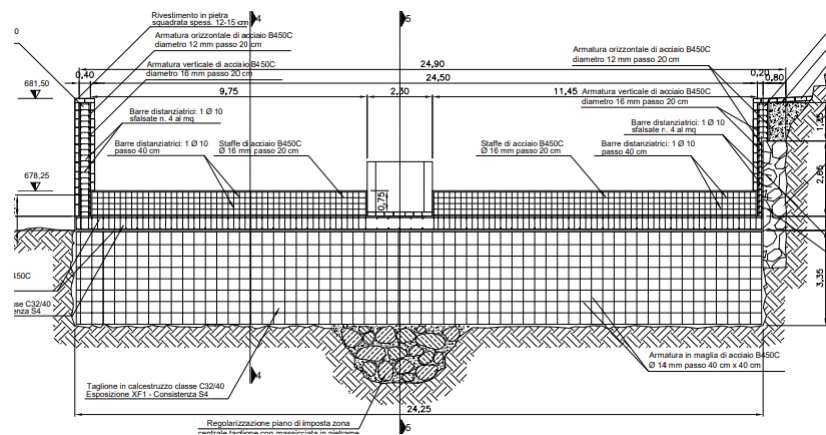
Getti taglione



Realizzazione massicciata a valle



Variante in corso d'opera taglione



Realizzazione vasca di dissipazione

➤ Costruzione dei denti di dissipazione

Armatura



Casseri



Denti scasserati



Realizzazione vasca di dissipazione

- Posa in opera dei rivestimenti in pietra

Rivestimento con lastre di granito Serizzo
spessore 12-15 cm, dimensioni medie 80x25 cm



Realizzazione del raccordo diga - vasca



Chiodatura di tutti i rivestimenti con barre $\phi 16$



➤ Funzionamento sfioratore e vasca dissipazione (evento di piena 22 Settembre 2023)

Funzionamento sfioratore e vasca con sfioro 54 cm ($Q = 20 \text{ mc/s}$)

Funzionamento sfioratore e vasca ad inizio sfioro

