

Impianto idroelettrico di CORENNO

DIGA DI PAGNONA

COMUNE DI PREMANA (LC)

Progetto di abbassamento della diga
con classificazione tra le opere di competenza regionale



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA

<i>dic 2006</i> Data di emissione	<i>02 - giu 2011</i> Revisione numero	- Allegato numero	<i>Pagnona - def_RT (rev_2).doc</i> Nome file	<i>43</i> Totale pagine
--------------------------------------	--	----------------------	--	----------------------------

Elaborazione: Lorenzo Lazzari

Approvazione: Giuseppe Oldani

SOMMARIO

1) GENERALITA'	1
1.1) SCOPO DEL PROGETTO E ALTERNATIVE ANALIZZATE	1
1.2) DESCRIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI	2
IMPIANTO DI CORENNO	2
RILASCIO DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE	3
1.3) DIGA DI PAGNONA (stato di fatto)	5
CARATTERISTICHE DELLA DIGA	5
TERRENI DI FONDAZIONE	6
BACINO IMBRIFERO AFFERENTE L'INVASO	7
SPONDE DELL'INVASO	7
INTERRIMENTO	7
OPERE DI SCARICO	7
ACCESSI ALLA DIGA	8
1.4) INDAGINI SULLA MURATURA DELLA DIGA E INTERVENTI EFFETTUATI	12
SINTESI DELLE INDAGINI DIAGNOSTICHE	14
1.5) DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA	16
ANALISI DEI RISULTATI E CONFRONTO CON LE PORTATE Q_T RICAVATE NELLO STUDIO PRECEDENTE	17
2) INTERVENTO IN PROGETTO SULLA DIGA	18
2.1) ABBASSAMENTO CORPO DIGA	19
2.2) OPERE DI SCARICO	20
2.3) IMPIANTO DI SGRIGLIATURA AUTOMATICO	24
3) EFFETTI SULL'IDROGEOLOGIA DEL BACINO	25
4) STRADA DI ACCESSO ALLA DIGA	27
5) CANTIERIZZAZIONE DEL PROGETTO	29
5.1) ATTIVITA' E TEMPI DI REALIZZAZIONE	29
5.2) OPERE PROVVISORIALI	30
5.3) ATTIVITA' DI SCAVO E RIPORTO	32
5.3) INSTALLAZIONI DI CANTIERE	32
5.4) TRASPORTO DI MATERIALI	33

5.5)	PROBLEMATICHE CONNESSE AL CONFERIMENTO A DISCARICA	33
5.6)	INTERFERENZE NEGATIVE TRA LE ATTIVITA' DI CANTIERE E LE CARATTERISTICHE DEL CORSO D'ACQUA	35
5.7)	FABBISOGNO DI RISORSE	36
5.8)	TUTELA DELLA RISORSA PEDOLOGICA	36
5.9)	INTERVENTI SULLA VEGETAZIONE	36
6)	VIGILANZA E CONTROLLO DURANTE L'ESERCIZIO	38
6.1)	STATO DI FATTO	38
6.2)	STATO DI PROGETTO	39
<u>RIFERIMENTI</u>		43

1) GENERALITA'

1.1) SCOPO DEL PROGETTO E ALTERNATIVE ANALIZZATE

In seguito alla prescrizione del Registro Italiano Dighe dell'ottobre 2005 (RID/UPM/2271/05) l'Enel ha provveduto ad una riconsiderazione generale delle condizioni di esercizio della diga di Pagnona, che hanno portato al progetto in esame.

Il progetto tiene conto, come richiesto, della rideterminazione della piena di progetto, oltre che della classificazione sismica del territorio (zona 4) e delle altre modifiche normative intervenute successivamente al progetto e alla costruzione della diga (1921÷23).

Nella sua configurazione attuale, la diga è stata collaudata nel dicembre 1927 ai sensi del R.D. n. 2540/1925.

Gli interventi previsti permetteranno di incrementare i margini di sicurezza strutturale dell'opera, in particolare nei confronti della verifica di scorrimento, e di aumentare la portata massima esitabile dallo scarico superficiale, per una più agevole gestione delle piene ricorrenti ed eccezionali.

Nella fase preliminare del progetto sono state analizzate le diverse possibilità che rispondevano a questi obiettivi e che andavano dall'incremento di volume della diga, mantenendo l'attuale livello di massima regolazione, alla riduzione del livello di invaso, mantenendo in questo caso la geometria della diga (o almeno parte di essa).

Le valutazioni economiche effettuate, tenendo conto dei costi di costruzione ma anche dei minori ricavi per la perdita di volume utile invasato, hanno portato alla scelta di ridurre il livello di invaso, abbassando la quota di sfioro e mantenendo la parte inferiore della diga nelle condizioni attuali.

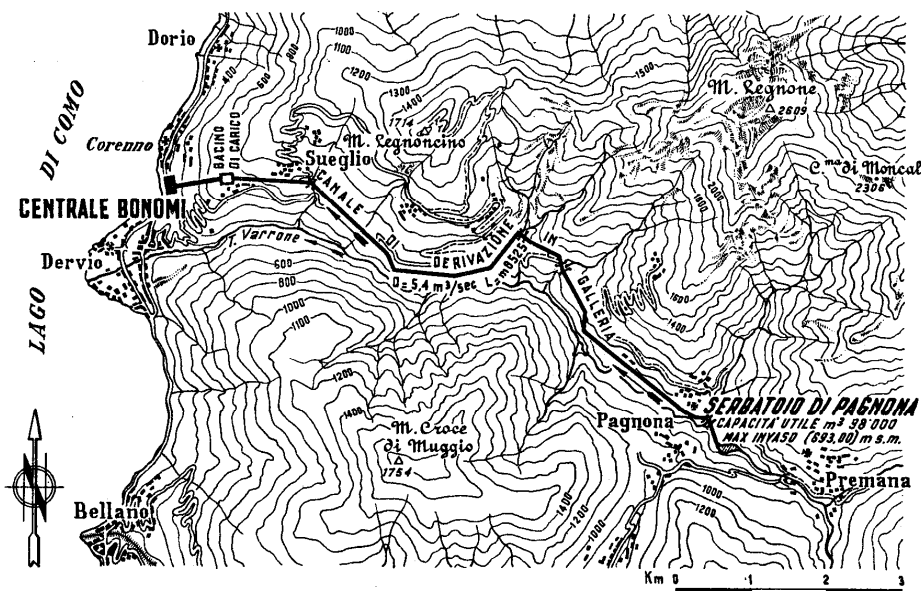
L'abbassamento proposto in progetto, con la modifica alla geometria che questo comporta, è superiore a quanto strettamente necessario per adeguare la diga ai parametri di stabilità prescritti dalla normativa attuale. E' stato però scelto di limitare comunque l'altezza massima della diga a 15 m, in modo di declassarla dalla attuale condizione di opera iscritta al R.I.D. e far rientrare l'opera tra gli sbarramenti minori di competenza regionale, secondo la casistica prevista dalla L. 584/1994.

I lavori in progetto non determinano modifiche allo stato dell'alveo e delle sponde del bacino.

L'intervento descritto di seguito è quindi finalizzato al raggiungimento degli scopi sopra enunciati. Il progetto è stato redatto secondo le indicazioni della Legge Regionale n. 8/1998 e del D.M. LLPP del 24 marzo 1982.

1.2) DESCRIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI

Impianto di Corenno



L'impianto di Corenno utilizza a fini idroelettrici le acque del torrente Varrone, tributario del lago di Como.

Il corso del torrente è sbarrato dalla diga di Pagnona, una diga in muratura di pietrame e malta ubicata nelle vicinanze dell'abitato di Pagnona (comune

di Premana), in provincia di Lecco. Si tratta di una diga a gravità massiccia con andamento planimetrico arcuato, coronamento a quota 694.50 m s.l.m. con uno sviluppo di 58.0 m e altezza 18.75 m sulla quota dell'alveo a valle. Il volume totale della diga di circa 7000 m³ mentre la capacità complessiva del serbatoio è di 120'000 m³.

La diga risale all'inizio degli anni '20. Gli interventi in progetto prevedono modifiche solo alla diga e al relativo bacino: per questo nei capitoli successivi si focalizzerà l'attenzione solo su questa parte dell'impianto.

Da una presa nel corpo diga inizia il canale di derivazione in galleria a pelo libero della lunghezza di 8525 m, nel quale immettono anche le prese secondarie (Varroncello, Avano, Molini e Roggio) e che convoglia le portate al bacino di Vestreno a quota 674.95 m s.l.m.

Questo bacino costituisce la vasca di carico di una condotta forzata lunga 1000 m con diametro Ø 1250 mm, che alimenta le due turbine Pelton installate nella centrale Bonomi (comune di Corenno).

La potenza efficiente è di 15 MW con una producibilità di 51,2 GWh/anno.

I dati di concessione indicano una portata massima di 4,4 m³/s per un salto di 473,95 m.

Attualmente l'impianto effettua una regolazione giornaliera degli afflussi, grazie alla presenza dell'invaso, e quindi concentra la produzione nelle ore di punta; i lavori in progetto riducono il volume di invasore e pertanto la produzione risulterà più distribuita nell'arco della giornata.

Non vengono comunque modificati né la producibilità dell'impianto né i valori di concessione.

Rilascio del Deflusso Minimo Vitale

Le normative di riferimento sono il PTUA del 12 novembre 2004, che definisce le procedure per la stima del Deflusso Minimo Vitale (DMV) e impone un rilascio idrico in funzione della superficie del bacino idrografico sotteso, e la Delibera della Regione Lombardia n° VIII/006232 del 19 dicembre 2007.

Tenendo conto delle indicazioni del PTUA, che prevede compensazioni tra le varie opere di presa e concentrazione dei rilasci per evitare la dispersione di contributi insignificanti da un punto di vista ambientale, e in considerazione dell'assetto impiantistico e delle procedure di esercizio attualmente in atto si è ipotizzato un rilascio concentrato in due punti:

- ✓ in corrispondenza della presa dalla diga di Pagnona, all'origine del canale derivatore; a compensazione, il rilascio viene incrementato della quota dovuta alla presa Varroncello, la prima a valle della diga; il rilascio avviene tramite una derivazione dalla condotta di presa, intercettata con una valvola di regolazione a farfalla DN 250.
- ✓ in corrispondenza della presa Roggio, l'ultima prima della vasca di carico di Vestreno; a compensazione, il rilascio dal ponte canale nella Val di Roggio è incrementato dei rilasci dovuti dalle prese Avano e Molini, afferenti al medesimo canale di derivazione; il rilascio avviene tramite apertura della paratoia dissabbiatrice.

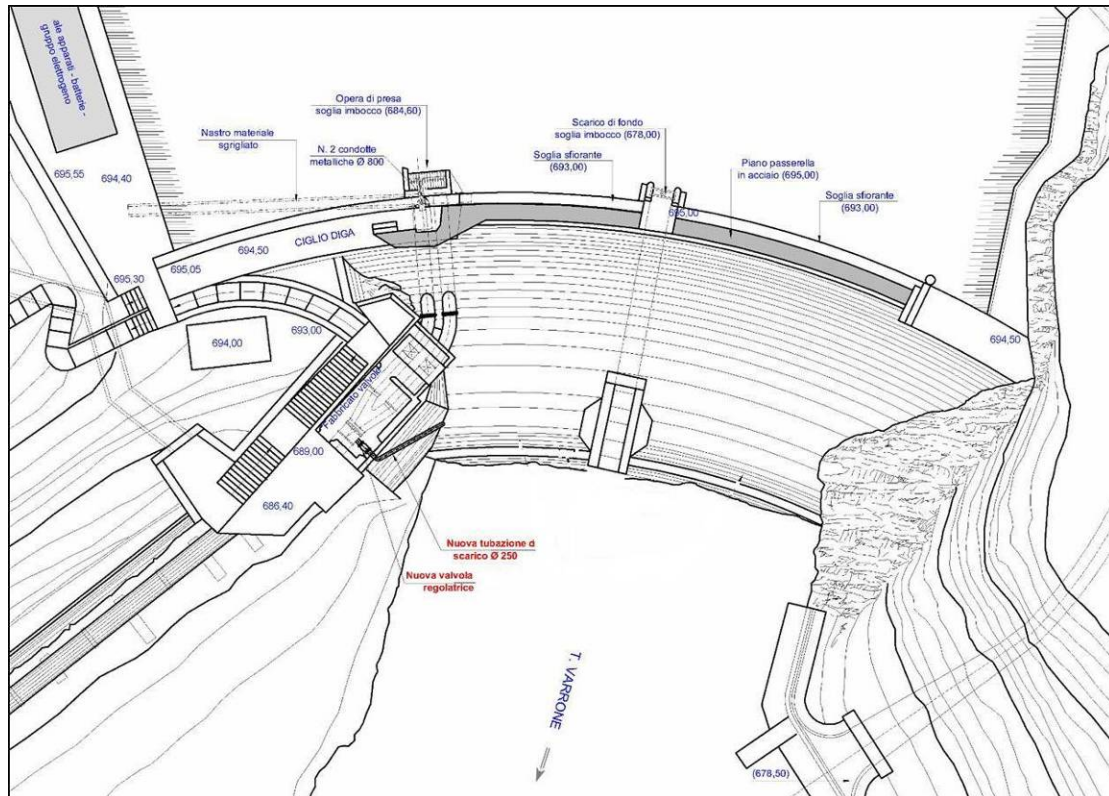
Si riportano in tabella i bacini sottesi e i DMV calcolati e da rilasciare dai punti suddetti:

Presa	Bacino sotteso (Km²)	DMV calcolato (l/s)	DMV da rilasciare (l/s)	Note
Pagnona	42.2	170.2	201.4	Valore incrementato a compensazione Varroncello
Varroncello	8.1	31.2	0.0	Rilascio compensato a Pagnona
Avano	3.86	14.6	0.0	Rilascio compensato a Roggio
Molini	4.2	15.9	0.0	Rilascio compensato a Roggio
Roggio	1.4	5.4	35.9	Valore incrementato a compensazione Molini e Avano

Nella pagina seguente vengono illustrate le postazioni di rilascio del DMV.

Per maggiori informazioni sulle modalità di rilascio ci si può riferire alla Nota Tecnica in merito di Enel Green Power – Unità di Business Bergamo [5].

Con l'esecuzione dei lavori in progetto le modalità di rilascio del DMV e naturalmente anche le quantità, non vengono modificate.



Planimetria schematica della diga di Pagnona con i nuovi dispositivi per il rilascio costante del DMV.



Ponte canale sulla Val di Roggio. Vista dello sfioratore laterale, in evidenza l'organo di manovra della paratoia dissabbiatrice.

1.3) DIGA DI PAGNONA (stato di fatto)

Caratteristiche della diga

Indicazioni ricavate da Anidel "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani", 1951 [1] e da SND "Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga", 1999 [2].

La diga ha andamento planimetrico arcuato (arco di cerchio con raggio di 60 m) con ciglio tracimabile su parte dello sviluppo. La struttura è in calcestruzzo di cemento in fondazione ed in pietrame a grossi blocchi, con malta mista di cemento e calce idraulica, in elevazione. Il coronamento è di 3 m di larghezza e per lo sviluppo di 27,65 m è sagomato a sfioratore. Una passerella completa il coronamento e permette il transito sopra la parte sfiorante.

Il paramento di valle è profilato secondo una spezzata di pendenza decrescente verso il piede. Circa 4 m a valle della diga una briglia, raccordata al piede della stessa con un cunettone profondo 50 cm, crea un cuscino d'acqua nel quale viene a dissiparsi l'energia delle acque di sfioro.

Dati principali della diga	
Quota coronamento	694,50 m s.l.m.
Sviluppo coronamento	58,00 m
Franco (ai sensi del D.M. 24-03-82)	0,50 m
Altezza della diga	
- secondo regolamento D.M. 24-03-82	21,50 m
- secondo L. 584/94	18,75 m
Altezza max ritenuta	17,00 m
Quota alveo a valle	675,75 m s.l.m.
Quota minima fondazioni	673,00 m s.l.m.
Quota unghia a monte	677,00 m s.l.m.
Volume della diga	7'000 m ³
Grado di sismicità progetto originario	S = 0
Classificazione D.M. 24-03-82	A.a.1

Non esistono cunicoli di ispezione longitudinali, né canne di drenaggio delle fondazioni e del corpo diga. Il corpo diga è attraversato da un cunicolo trasversale, interamente rivestito in lamiera, che costituisce lo scarico di fondo, oltre che da due tubazioni di derivazione in acciaio, del diametro di 800 mm, in destra orografica.

Nel 1989 l'opera ha subito un intervento di manutenzione straordinaria, consistente essenzialmente nella gunitatura del paramento di monte (gunita armata, dello spessore di 10 cm), nella riprofilatura della soglia sfiorante e nell'esecuzione di iniezioni cementizie in corrispondenza dell'unghia di monte.

Dati principali del serbatoio	
Quota massimo invaso	694,00 m s.l.m.
Quota massima regolazione (= q. sfioratore)	693,00 m s.l.m.
Quota soglia di derivazione	684,60 m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido	
- alla quota di massimo invaso	0,0212 km ²
- alla quota massima di regolazione	0,0195 km ²
- alla quota della soglia di derivazione	0,0060 km ²
Volume totale invaso (D.M. 24.3.82)	0,14x10 ⁶ m ³
Volume di invaso (ai sensi della L. 584/1994)	0,12x10 ⁶ m ³
Volume utile di regolazione	0,10x10 ⁶ m ³
Volume di laminazione	0,02x10 ⁶ m ³
Sup. bacino imbrifero direttamente sotteso	46 km ²
Sup. bacino imbrifero allacciato	0 km ²
Portata di massima piena	non noto ⁽¹⁾

nota (1): per la determinazione della portata di massima piena si veda più avanti.

Terreni di fondazione

La sezione di sbarramento è una stretta non molto pronunciata, ricadente in micascisti analoghi a quelli di contenimento del serbatoio; sul versante sinistro la roccia è affiorante con un'inclinazione di 45° circa, mentre sul fondo e sul versante destro, a lieve pendenza, essa è ricoperta da una coltre alluvionale.

Nella parte più elevata, la spalla destra della diga non è stata impostata nella roccia, ma incassata in uno sperone morenico, fino alla profondità di circa 4 m sotto la quota di massimo invaso.

Terminati i lavori venne eseguito un rivestimento in calcestruzzo della sponda sinistra a monte del serbatoio, in prosecuzione della diga, per circa 25 m di sviluppo e per l'intera altezza di invaso, nonché una galleria filtrante di drenaggio e raccolta delle perdite attraverso le morene in sponda destra. Furono eseguite iniezioni cementizie nella spalla sinistra, nel

corpo diga e nella roccia d'imposta, praticando in totale 1.100 m di fori con una profondità media di 22 m.

Bacino imbrifero afferente l'invaso

Si estende nell'alta Val Varrone, nelle valli di Premaniga, Marcia, Ombrega, Dolcigo, Legnone, Avano, Rasiga, Molino, Roggio ed interessa i corsi d'acqua Varrone, Varoncello, Avano, Molini e Roggio; è boscato e prevalentemente impermeabile.

L'altitudine media è di 1.650 m s.l.m.

Sponde dell'invaso

L'invaso è contenuto in una formazione di micascisti a banchi raddrizzati con andamento generale normale all'asse del torrente. Verso il fondo e prevalentemente in sponda destra, la formazione rocciosa è in parte ricoperta da depositi morenico - alluvionali. Le sponde appaiono stabili e non sono visibili insediamenti abitativi.

Interrimento

L'interrimento supera attualmente il 20% del volume utile, nonostante la briglia di trattenuta in località Gebbio. Gli scarichi non mostrano tuttavia inconvenienti.

Opere di scarico

Portata esitata con livello nel serbatoio alla quota 694 m s.m.

- dallo scarico di superficie 52 m³/s
- dallo scarico di mezzofondo 22 m³/s
- dallo scarico di fondo 26 m³/s

Scarico di superficie

Soglia libera a quota 693,00 m s.l.m., articolata su sei luci in corrispondenza della parte centrale della diga, con sviluppo complessivo del ciglio sfiorante di 27,65 m, al netto delle pile. La soglia è profilata con un tratto iniziale di 3,25 m di larghezza con pendenza del 5% verso valle, seguito da un'ampia curva di raccordo allo scivolo; quest'ultimo è a sua volta sagomato secondo una spezzata di pendenza decrescente. La dissipazione dell'energia è realizzata tramite un cuscino d'acqua al piede, mantenuto durante lo sfioro da una controbriglia disposta poco a valle dello sbarramento. La muratura tracimabile è rivestita in pietra lavorata a punta grossa con giunti stilati.

Scarico di mezzofondo

Lo scarico di mezzofondo consiste in una galleria in roccia avente l'imbocco sulla sponda sinistra del serbatoio, circa 20 m a monte della diga, con soglia a quota 684,85 m s.l.m., sviluppo di 61 metri, pendenza di fondo di circa 105 m/km e sezione a ferro di cavallo di 1,8 m di altezza per 1,4 m di larghezza. La galleria è tutta rivestita in calcestruzzo e sbocca all'aperto a quota 678,5 circa 14 m a valle del piede della diga, dopo averne aggirata la spalla sinistra. Gli ultimi 5 m si raccordano ad una sezione terminale di 2,4 x 2,5 metri.

L'organo di intercettazione, installato all'imbocco, è costituito da una singola paratoia piana avente la luce libera di 1,5 x 2,0 metri, con comando elettromeccanico dal piano di manovra ubicato sulla verticale della paratoia medesima, in fregio alla mulattiera di accesso alla diga, in sponda sinistra del serbatoio.

La manovra motorizzata della paratoia richiede energia elettrica di rete o del gruppo elettrogeno: lo scarico può però essere azionato anche manualmente, tramite apposita manovella. Il grado di apertura della paratoia si misura sul vitone; non esiste attuatore oleodinamico. La manovra non è possibile dalla casa di guardia.

Scarico di fondo

Lo scarico di fondo è ricavato attraverso la diga, mediante un cunicolo lungo 13 m con sezione di 1,7 x 1,77 metri, soglia a quota 678 e sbocco a quota 677,5; il condotto è interamente rivestito in lamiera dello spessore di 10 mm.

L'organo di intercettazione è costituito da una singola paratoia piana, della luce di 1,7 x 1,55 metri, manovrabile a mano e con comando elettromeccanico (alimentato da rete e da gruppo elettrogeno) dal coronamento della diga, tramite attuatore oleodinamico. La manovra manuale si avvale di pompa a mano. La manovra non è possibile dalla casa di guardia.

Accessi alla diga

Dal ponte sul torrente Varrone, in prossimità di Premana, si scende sino alla diga con una mulattiera (circa 2 km in sponda sinistra) caratterizzata da una pendenza molto elevata nel tratto iniziale e dall'essere percorribile solo a piedi nel tratto finale.

Buona parte del tracciato è stato recentemente allargato per consentire i lavori per la costruzione di un nuovo impianto idroelettrico, la cui centrale è ubicata circa 500 m a monte della diga. In conseguenza a questi lavori la strada è percorribile con automezzi fuoristrada e mezzi d'opera fino a circa 400 m dalla diga.

Il coronamento della diga non è carrabile e la casa di guardia e le cabine di manovra (salvo quella dello scarico di mezzofondo) possono essere raggiunte solo a piedi. L'accesso alle varie parti della diga è assicurato da sentieri.

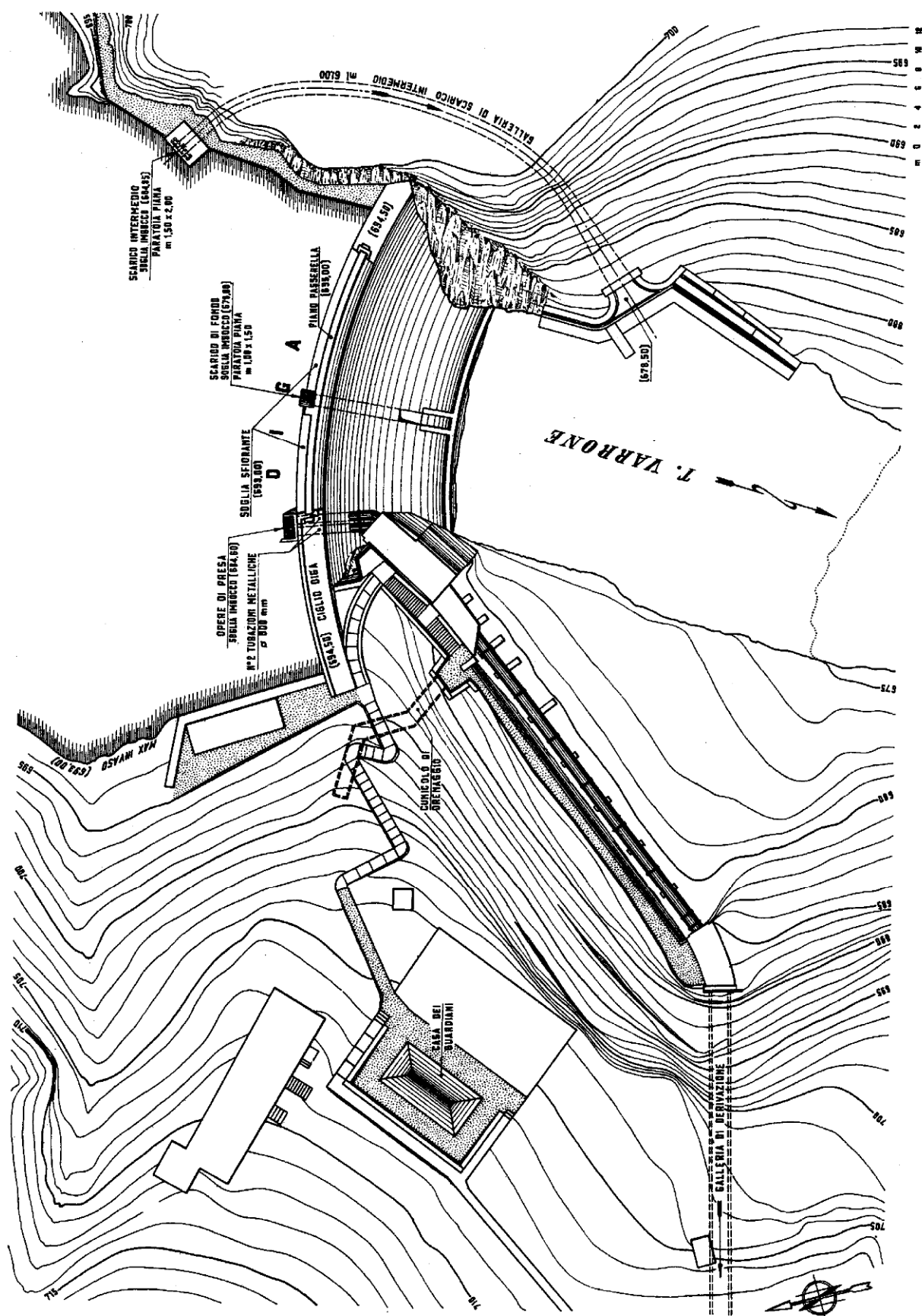


Fig. 1
Diga di Pagnona – Planimetria - ANIDEL 1951

SEZIONE LONGITUDINALE VISTA DA VALLE

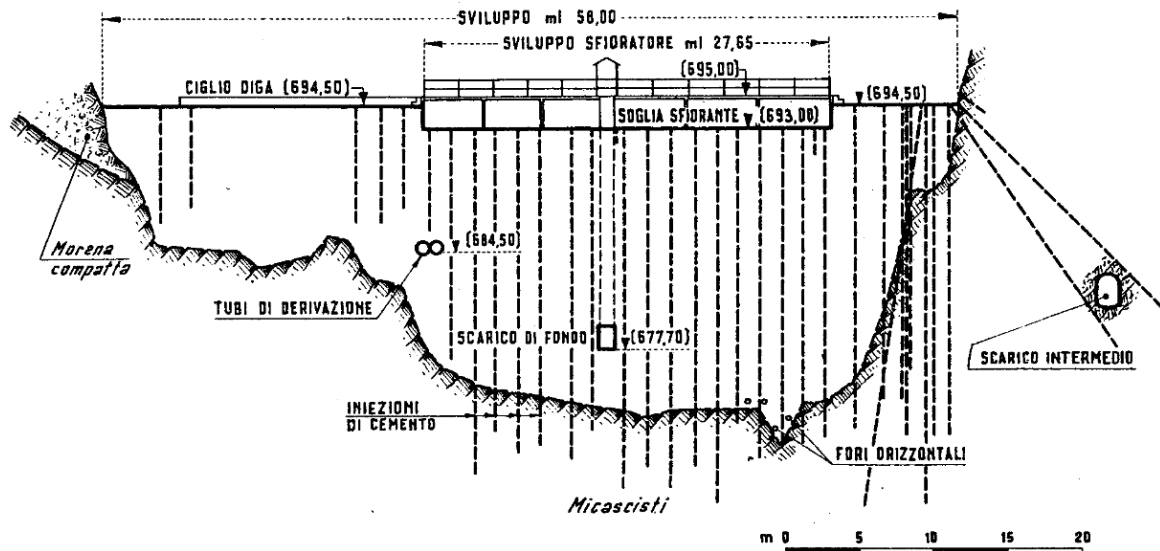


Fig. 2
Diga di Pagnona – Sezione longitudinale
ANIDEL 1951

SEZIONE TRASVERSALE TIPO

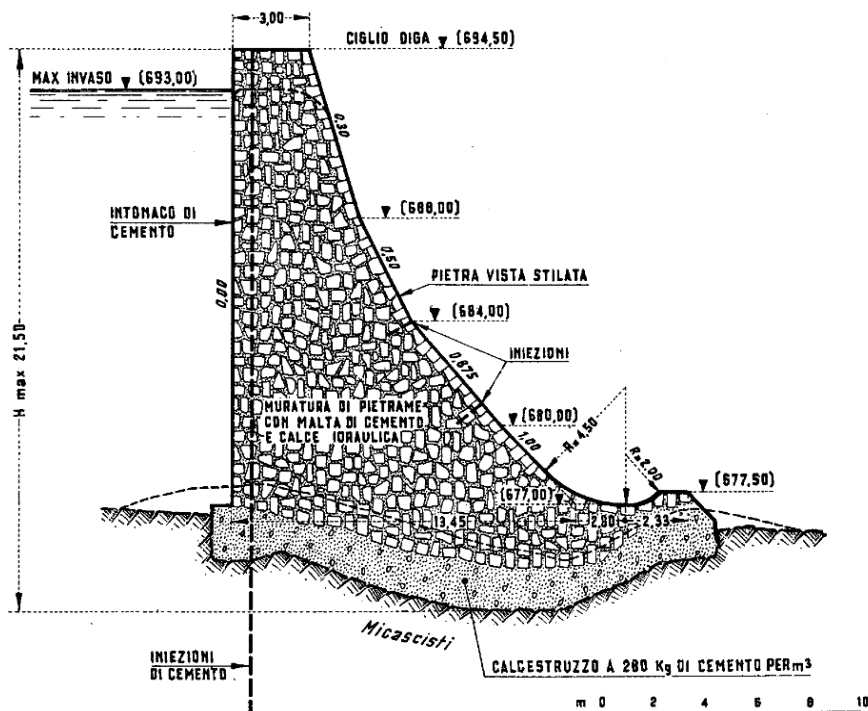


Fig. 3
Diga di Pagnona – Sezione trasversale
ANIDEL 1951



*Fig. 4
Diga da monte con
scarico di fondo,
sgrigliatore e casa di
guardia.
maggio 2006*



*Fig. 5
Diga da valle, con fabbricato valvole di intercettazione della derivazione e sbocco dello
scarico di fondo. – maggio 2006*

1.4) INDAGINI SULLA MURATURA DELLA DIGA E INTERVENTI EFFETTUATI

Nell'estate 2000 sono stati effettuati dei sondaggi nel corpo diga e nelle fondazioni, oltre a prove di laboratorio sui campioni prelevati, per caratterizzare la muratura e valutarne il grado di invecchiamento. Per il dettaglio delle analisi effettuate si rimanda al documento [3]: ENEL Hydro – Diga di Pagnona – Caratterizzazione della muratura del corpo diga – PIS n. 6166 – Febbraio 2001. Di seguito vengono riportati i risultati principali estratti da questo documento, insieme a un riepilogo degli interventi effettuati sul corpo diga.

La diga di Pagnona, sul torrente Varrone, tributario del lago di Como, è una diga in muratura di pietrame e malta ubicata poco a nord dell'abitato di Pagnona (comune di Premana), in provincia di Lecco. Si tratta di una diga a gravità massiccia con andamento planimetrico arcuato, alta 17.5 m sul piano generale di fondazione e con uno sviluppo al coronamento (a quota 694.50 m s.l.m.) di 58.0 m. Il volume totale della diga è di circa 7000 m³ mentre la capacità complessiva del serbatoio è di 0.121×10^9 m³. L'acqua dell'invaso viene utilizzata per la produzione di energia elettrica nella centrale Bonomi (impianto idroelettrico di Corenno), dove le portate vengono convogliate mediante un canale di derivazione in galleria a pelo libero della lunghezza di 8525 m.

La diga risale all'inizio degli anni '20. il corpo diga è stato realizzato con muratura di pietrame e malta mista di cemento e calce idraulica mentre la fondazione con calcestruzzo (Fig. 2) [1]. Il paramento di monte, verticale, è stato all'epoca rivestito con intonaco di cemento mentre il paramento di valle, con pendenza variabile, è stato lasciato in pietra a vista stilata. Non sono stati realizzati né giunti di contrazione né reti drenanti.

Negli anni successivi l'opera è stata oggetto di vari interventi di manutenzione (1927, 1971 e 1989) intesi principalmente a ridurre le perdite, sia attraverso il corpo diga che a contatto con la roccia di imposta, che sin dall'origine avevano fatto registrare valori elevati.

Nel 1927 è stata eseguita un'intonacatura generale del paramento di monte e del rivestimento della sponda sinistra, accompagnati da iniezioni cementizie. Un analogo lavoro è stato eseguito sul paramento di monte anche nel 1971. Nello stesso anno la sponda sinistra è stata gunita.

Dalla metà degli anni '80, pur in presenza di buone condizioni generali della diga, si è registrata la tendenza ad un aumento delle perdite, sia per permeazioni dirette attraverso il paramento di monte, conseguenti al deterioramento del rivestimento, sia per infiltrazioni d'acqua attraverso la roccia di imposta del corpo diga e del tratto rivestito in sponda sinistra.

Al fine di ripristinare un soddisfacente grado di impermeabilità dell'opera e delle sue fondazioni, e di arrestare conseguentemente il processo di degrado della muratura, si è proceduto, nel 1989, all'applicazione sull'intero paramento di un nuovo rivestimento di calcestruzzo proiettato retinato, previa demolizione di quello esistente. Inoltre sono state condotte una campagna di iniezioni cementizie in corrispondenza dell'unghia di monte della diga, allo scopo di assicurare la ricucitura con la roccia di fondazione, ed una campagna di iniezione in sponda sinistra e nel corpo diga, allo scopo di consolidare le strutture e di intercettare eventuali vie di percolazione. Nello stesso anno 1989 si è proceduto anche al risanamento del paramento di valle in pietra a vista stilata, con scarnitura e stilatura delle fughe tra i bolognini.

Nel 1998 il Servizio Nazionale Dighe, ha prescritto ad Enel di effettuare *"un'indagine sullo stato effettivo della muratura del corpo diga, con esecuzione di uno o più carotaggi (estesi dal coronamento alle fondazioni, con diametro compatibile con la pezzatura del pietrame) ed esecuzione delle pertinenti prove di laboratorio (in particolare sulla malta)"*. Per questo nei mesi di giugno e luglio 2000 sono stati eseguiti tre carotaggi verticali a partire dal coronamento della diga e le prove necessarie per la caratterizzazione completa dei materiali prelevati.

Sono state eseguite tre perforazioni verticali di seguito denominati S1, S2 e S3 (Fig. 6):

- Sondaggio S1 in prossimità della spalla sinistra, del diametro di 146 mm e della profondità di 19.50 m
- Sondaggio S2 al centro della diga, del diametro di 146 mm e della profondità di 19.40 m
- Sondaggio S3 in prossimità della spalla destra, del diametro di 200 mm sino a 5.25 m di profondità e di 146 mm da 5.25 m sino alla massima profondità di 12.20 m.

Per le indagini di caratterizzazione dei materiali sono state utilizzate le carote di muratura e calcestruzzo prelevate direttamente dalla diga con la campagna di sondaggi.

Dalla osservazione diretta delle carote viene confermata la presenza di uno strato di calcestruzzo di fondazione posto tra la roccia e la muratura. La profondità di tale strato risulta di circa 1.0 m in corrispondenza del sondaggio S1 e di circa 1.3 m in corrispondenza di S2. In corrispondenza del sondaggio S3 sembra invece di passare direttamente dalla muratura alla roccia di fondazione.

Per quanto riguarda la muratura, essa appare costituita da grossi blocchi di pietrame (sono presenti anche spezzoni di carote lunghe 70 cm costituite da sola pietra) intervallati da strati di malta dello spessore variabile da qualche centimetro a qualche decimetro.

La malta si presenta con caratteristiche di consistenza molto variabili, passando da una apparente compattezza ad una condizione di maggior porosità o disgregazione.

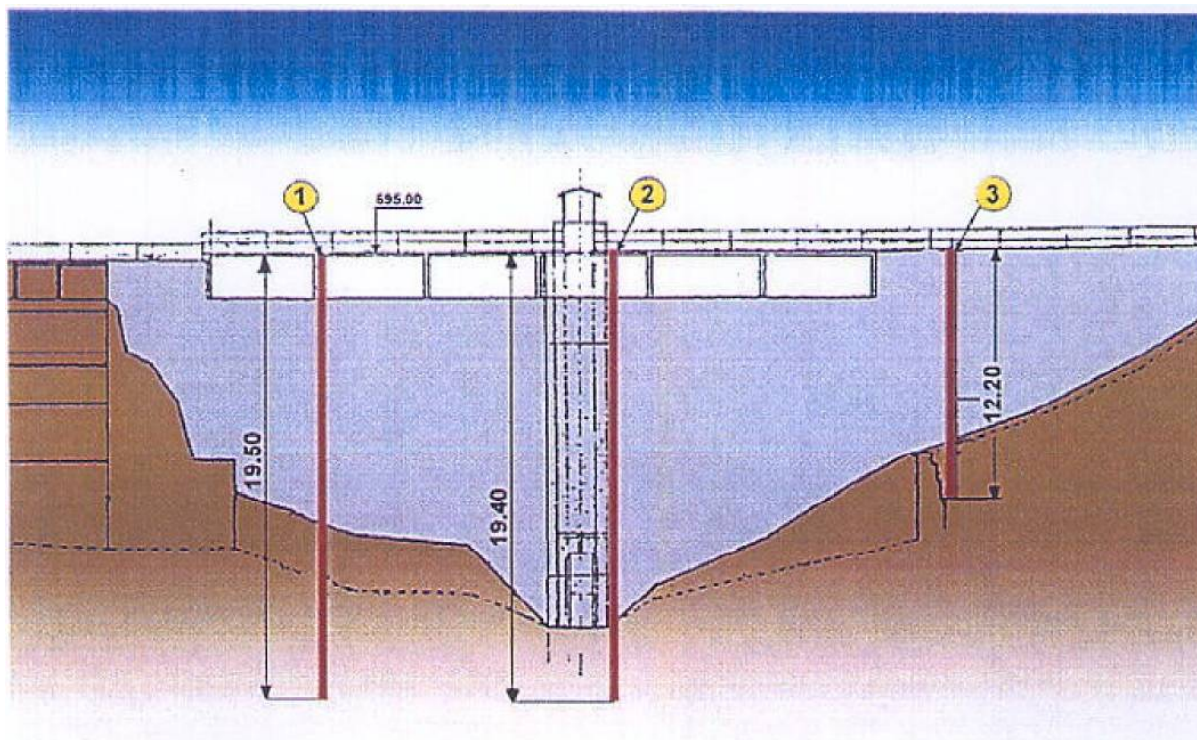


Fig. 6 - Sezione longitudinale della diga (vista da monte), con il posizionamento delle indagini effettuate nel giugno 2000.

Sintesi delle indagini diagnostiche

La diga di Pagnona è costituita da un nucleo (corpo diga) in muratura di pietrame e malta, caratterizzata da circa 2/3 in volume di pietrame e 1/3 di malta, e da uno strato di fondazione in calcestruzzo.

Il pietrame della muratura, costituito da rocce gneissiche, è caratterizzato da una massa volumica media di 2630 kg/m^3 , da una velocità ultrasonica media di 4400 m/s e da una resistenza a compressione cubica variabile da circa 60 a circa 150 MPa, in relazione alla direzione dei piani di scistosità rispetto alla direzione del carico. Anche il modulo elastico statico si presenta con una variazione tra circa 25.000 e circa 50.000 MPa.

La malta della muratura è invece caratterizzata da una massa volumica media di 2150 kg/m^3 , da una velocità ultrasonica media di 3800 m/s e da una resistenza a compressione cubica variabile da circa 9 a circa 40 MPa, in relazione alle sue condizioni di porosità e compattezza. La permeabilità all'acqua della malta risulta dell'ordine di 10^{-10} m/s .

Le proprietà fisico-meccaniche della muratura sono state desunte da prove eseguite direttamente sui campioni di muratura, necessariamente costituiti da spezzoni di pietrame e

parti di malta, casualmente distribuiti; stante le piccole dimensioni dei campioni disponibili (diametro di circa 11 cm) possono solo fornire una indicazione delle proprietà della muratura, senza avere la pretesa di fornire un valore quantitativo sicuramente affidabile. La massa volumica della muratura è risultata di 2307 kg/m^3 , mentre un valore teorico più affidabile, sulla base della stima della distribuzione volumetrica di pietrame e malta, dovrebbe essere di circa 2470 kg/m^3 . La velocità ultrasonica ha fatto registrare un valor medio di 3730 m/s . La resistenza a compressione cubica è risultata variabile tra 6.4 e 34.3 MPa, con una stima del valor medio di circa 15 MPa.

Come prevedibile, le proprietà della muratura sono in generale risultate inferiori rispetto a quelle dei materiali componenti.

Infine il calcestruzzo della zona di fondazione è risultato caratterizzato da una massa volumica media di 2280 kg/m^3 , da una velocità ultrasonica media di 3915 m/s , da una resistenza a compressione cubica media di 21 MPa, da un modulo elastico statico medio di 22650 MPa, da una resistenza a trazione indiretta media di 1.66 MPa e da una permeabilità all'acqua media inferiore a 10^{-11} m/s .

Le analisi petrografiche e mineralogiche sulla malta hanno evidenziato un aggregato costituito principalmente da rocce gneissiche con quarziti e quarzo a forte estinzione ondulata. Tale composizione mineralogica lo classifica tra quelli potenzialmente pericolosi da punto di vista della reazione alcali-aggregati, anche se una valutazione realistica di questo rischio potrebbe essere effettuata solo con 'apposite prove espansive. Tuttavia il fatto di non aver trovato all'interno della malta i prodotti di neoformazione attribuibili a questa reazione lascia supporre che per ora il problema non si sia manifestato. Non si è riscontrato neppure un generalizzato attacco solfatico, anche se localmente nelle porosità è stata riscontrata la presenza di ettringite.

Viceversa l'analisi chimica sia delle acque dell'invaso che sono venute a contatto con la malta, sia l'analisi chimica della malta stessa hanno chiaramente evidenziato un fenomeno di aggressione della malta da parte delle acque pure e acidule. Tale fenomeno è responsabile della scarsa compattezza e consistenza riscontrata, sia pur non in maniera generalizzata, su diversi campioni di malta. E questo spiega le prestazioni piuttosto scadenti di alcuni campioni di malta.

1.5) DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Per il dettaglio delle analisi idrologiche e la valutazione delle portate di piena alla sezione di sbarramento si rimanda allo studio Enel – Unità di Idrologia di Mestre – del gennaio 2004: “Integrazione dello studio idrologico finalizzato alla valutazione della massima piena attesa”, [4] di cui si riportano qui di seguito le conclusioni per comodità di lettura.

Il rapporto illustra le elaborazioni effettuate in risposta alla richiesta di approfondimenti ed integrazioni pervenuta dal Servizio Nazionale Dighe (attualmente Registro Italiano Dighe), Ufficio di Idraulica, relativamente allo studio idrologico precedentemente completato.....

Per completezza, e per assicurare alle elaborazioni maggior affidabilità e robustezza, l'analisi ha comportato l'aggiornamento dell'informazione sperimentale circa gli eventi di piena e le piogge intense che hanno interessato lo sbarramento e l'area geografica ad esso limitrofa (informazione precedentemente limitata a quanto disponibile sino al 1998), nonché l'esame delle analisi idrologiche redatte successivamente al 1999 e finalizzate alla valutazione delle portate di piena e delle precipitazioni di assegnato rischio nell'area in indagine.

La stima della portata al colmo con assegnato tempo di ritorno T (anni) affluente al serbatoio, di seguito per brevità denominata Q_T , è stata quindi effettuata ricorrendo sia ad un'analisi statistica diretta sia ad un modello di trasformazione afflussi-deflussi così da utilizzare nella misura più completa l'informazione idrometeorologica disponibile. I nuovi dati sperimentali raccolti e le elaborazioni effettuate permettono le seguenti considerazioni:

- a) le analisi disponibili in letteratura, supportate dai dati sperimentali rilevati alla diga, conducono alla stima di un rapporto tra portata indice al colmo e portata indice sulla durata di 1 ora che, pur sotto ipotesi cautelative, può essere quantificato pari a 1.10. La portata indice al colmo $Q_{c,m}$ attesa alla diga risulta pertanto quantificabile in $35.0 \text{ m}^3/\text{s}$, valore significativamente superiore al valore di $27.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ottenuto nel precedente studio idrologico. Tale differenza è tuttavia da imputare non tanto al valore del rapporto $Q_{c,1}/Q_{1,m}$ precedentemente utilizzato, di fatto pari a 1.15, quanto alla rilevante differenza nella stima della portata indice media oraria. Il valore di $Q_{1,m}$ ricavato dai dati sperimentali su cui si era precedentemente basati risultava infatti pari a $25.8 \text{ m}^3/\text{s}$, a fronte di una stima calcolata in base al più recente campione sperimentale di $31.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Quest'ultimo valore di $Q_{1,m}$ è comunque da considerarsi sicuramente più attendibile per la più elevata affidabilità delle portate massime annue ricostruite successivamente al 1987 alla diga di Pagnona tramite equazione di bilancio; conseguentemente sono da ritenersi più corrette le nuove stime di Q_T .

- b) L'utilizzo di un modello di trasformazione afflussi-deflussi per la valutazione indiretta dei valori delle portate al colmo Q_T a partire dall'analisi delle precipitazioni intense, queste ultime ricavate sempre mediante un approccio regionale, conferma pienamente le stime ottenute mediante l'analisi statistica. Le differenze tra i valori di portata al colmo di assegnato rischio prodotti dai due approcci sono infatti contenute entro pochi percento anche per i tempi di ritorno più elevati.
- c) L'esame dei valori di Q_T calcolati nella presente elaborazione evidenzia che le portate ottenute nella precedente analisi idrologica sono da considerare poco cautelative; i precedenti valori risultano infatti mediamente inferiori del 15% rispetto a quelli ottenuti tramite la nuova indagine. Considerando la più elevata affidabilità delle portate massime annue alla diga di Pagnona calcolate sugli anni successivi al 1987, affidabilità che trova immediato riflesso nella nuova stima della portata indice $Q_{c,m}$, le nuove stime di Q_T sono da ritenersi sicuramente più robuste ed attendibili. Tale conclusione trova inoltre ulteriore supporto sia nella più ampia informazione pluviometrica sperimentale utilizzata nella redazione del presente studio, precedentemente limitata alle informazioni disponibili al 1998, sia nel risultato offerto dal doppio riscontro effettuato, analisi statistica diretta ed indiretta (modello afflussi deflussi), con un'ottima corrispondenza tra i risultati di Q_T prodotti dai due approcci.

Analisi dei risultati e confronto con le portate Q_T ricavate nello studio precedente

Il confronto tra le stime di Q_T e di $Q_{24,T}$ ottenute tramite analisi statistica diretta e mediante trasformazione afflussi deflussi, evidenzia che i valori delle portate, al colmo e medie sulle 24 ore, risultano tra loro ben comparabili, con differenze inferiori a pochi percento anche per $T \geq 500$ anni, indicando una ragionevole validità e robustezza delle due valutazioni, effettuate per vie tra loro indipendenti.

Non avendo termini per decidere quale tra le due stime risulti più attendibile, il confronto con i valori di Q_T ricavati nella precedente analisi è stato condotto considerando come valori di portata al colmo risultanti dalla presente indagine la media delle due valutazioni. I valori sono riportati nella tabella sottostante.

Tempo di ritorno (anni)	Studio precedente	Analisi statistica diretta (tab. 7)	Studio attuale Metodo afflussi deflussi (tab. 11)	Media
T = 100	$Q_{100} = 91 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{100} = 101 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{100} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{100} = \mathbf{101} \text{ m}^3/\text{s}$
T = 200	$Q_{200} = 99 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{200} = 114 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{200} = 114 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{200} = \mathbf{114} \text{ m}^3/\text{s}$
T = 500	$Q_{500} = 114 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{500} = 133 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{500} = 130 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{500} = \mathbf{132} \text{ m}^3/\text{s}$
T = 1000	$Q_{1000} = 128 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{1000} = 147 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{1000} = 145 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{1000} = \mathbf{146} \text{ m}^3/\text{s}$

2) INTERVENTO IN PROGETTO SULLA DIGA

L'intervento in progetto prevede, per sommi capi, le seguenti attività:

- aumento della capacità di scarico della diga tale da esitare la piena con tempo di ritorno 500 anni ($Q_{500} = 132 \text{ m}^3/\text{s}$) dallo scarico di superficie e complessivamente una piena superiore alla piena millenaria ($Q_{1000} = 146 \text{ m}^3/\text{s}$);
- abbassamento della soglia sfiorante della diga e ricostruzione di un nuovo coronamento, tale che, tenendo conto delle massime piene di progetto e del franco di 1 m, l'altezza della diga ai sensi della Legge 584/94 sia pari a 15 m;
- modifica degli organi di comando dello scarico di fondo e dello scarico intermedio che verranno dotati di attuatori oleodinamici e adattati alle opere modificate;
- modifica dell'impianto di sgrigliatura automatico che verrà quindi ristrutturato e adattato alla nuova geometria della diga;
- In progetto è inoltre previsto l'allargamento del tratto terminale della strada di accesso alla diga in modo da consentire la percorribilità anche con piccoli mezzi d'opera.

Nella tabella seguente vengono riepilogati i dati principali dell'intervento sulla diga, che viene poi descritto più in dettaglio nei capitoli seguenti.

Riepilogo caratteristiche diga	Attuale (f. condizioni)	In progetto	
Quota coronamento	694,50	690,75	m s.l.m.
Larghezza coronamento	3,00	3,50	m
Quota max regolazione = quota sfioratore	693,00	687,75	m s.l.m.
Quota di max invaso	694,00 ⁽¹⁾	689,75 ⁽²⁾	m s.l.m.
Franco	0,50	1,00	m
Altezza della diga - secondo regolamento D.M. 24-03-82 - secondo L. 584/94	21,50 18,75	17,75 15,00	m m
Quota alveo a valle	675,75	==	m s.l.m.
Soglia derivazione	684,60	==	m s.l.m.
Quota minima fondazioni	673,00	==	m s.l.m.
Quota unghia a monte	677,00	==	m s.l.m.
Grado di sismicità	S = 0	S = 6	

Note: (1) H sfioro 1,00 m – Valore calcolato per $Q_S = 52 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_T = 100 \text{ m}^3/\text{s}$)

(2) H sfioro 2,00 m – Valore calcolato per $Q_S = Q_{500} = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_T = 170 \text{ m}^3/\text{s}$)

Con l'intervento in progetto il volume di invaso si riduce da 121'000 m³ a 43'500 m³ circa. Il volume utilizzabile sarà di circa 21'000 m³.

2.1) ABBASSAMENTO CORPO DIGA

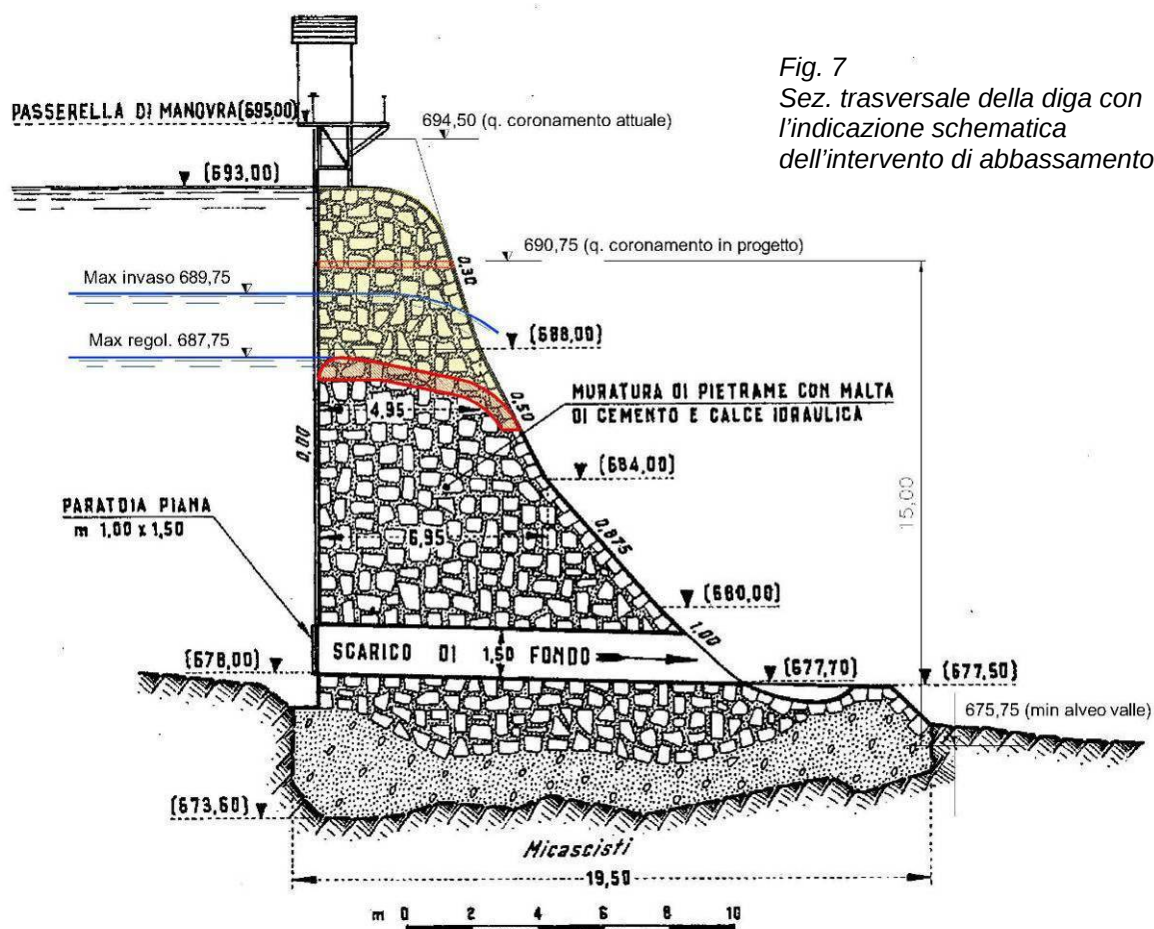


Fig. 7
Sez. trasversale della diga con
l'indicazione schematica
dell'intervento di abbassamento

Il progetto prevede l'abbassamento della quota del ciglio di sfioro di 5,25 m, passando dagli attuali 693.00 m s.l.m. a 687,75 m s.l.m.

La quota di coronamento sarà pari a 690,75 m s.l.m. contro gli attuali 694,50 m s.l.m.

Lo sfioratore sarà a soglia fissa, come l'esistente, con una larghezza complessiva netta di 25 m. Questo permette il transito della portata di piena Q_{500} , pari a $132 \text{ m}^3/\text{s}$, dal solo scarico di superficie, con un'altezza di sfioro di 2.00 m e un franco di 1 m.

Con lo stesso livello, aggiungendo il contributo del solo scarico intermedio, si possono esitare $148 \text{ m}^3/\text{s}$, cioè una portata superiore alla piena millenaria ($Q_{1000} = 146 \text{ m}^3/\text{s}$), mentre considerando anche lo scarico di fondo si arriva a un totale scaricabile di $170 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con questa configurazione la quota di massima regolazione è pari alla quota di sfioro 687,75 m s.l.m.; la quota di massimo invaso è pari a 689,75 m s.l.m.

L'altezza della diga calcolata secondo la L. 584/94 come dislivello tra la quota di coronamento e il punto più depresso dell'alveo a valle è pari a 15 m, quindi la diga rientra tra le opere di competenza regionale.

Per realizzare il suddetto abbassamento del corpo diga dovranno essere eseguite le seguenti attività:

- rimozione con recupero dell'impianto di sgrigliatura automatico;
- demolizione della passerella metallica di coronamento e rimozione degli organi di comando della paratoia dello scarico di fondo;
- taglio in conci della parte di corpo diga da demolire;
- demolizione e conferimento a discarica del calcestruzzo;
- costruzione della nuova soglia di sfioro con rivestimento in bolognini e raccordo di questa al paramento di valle della diga;
- costruzione della nuova passerella di coronamento e ripristino impianti;
- messa in opera di un nuovo servomotore oleodinamico per la paratoia dello scarico di fondo;
- messa in opera dell'impianto di sgrigliatura automatica adattato alla nuova geometrica delle opere.

In sponda sinistra una parte della spalla verrà mantenuta dell'altezza attuale (694.50 m s.l.m.) con la funzione di sperone di sostegno della parete rocciosa. Questo consente anche di mantenere agibile il percorso del sentiero pedonale attualmente esistente.

La strada di accesso alla diga, modificata e allargata come si dirà più avanti, verrà collegata al coronamento per mezzo di una rampa inclinata, disposta planimetricamente in senso perpendicolare alla diga..

Il coronamento di 3,50 m di larghezza consentirà il transito di autovetture e piccoli mezzi d'opera per il recupero del materiale sgrigliato.

In sponda destra il coronamento verrà raccordato con una rampa, in asse alla diga, alla spalla attuale a quota 694,50 m s.l.m. In corrispondenza a questa spalla verrà realizzato uno slargo per consentire la manovra dei mezzi d'opera e l'accesso all'area dove verrà posizionato il cassone per la raccolta del materiale sgrigliato.

Gli accessi alla casa di guardia, alla camera valvole del canale di derivazione e in generale alle opere a valle diga restano invariati.

2.2) OPERE DI SCARICO

Scarico di superficie

Nella configurazione in progetto lo scarico di superficie è a soglia libera a quota 687,75 m s.l.m., articolato su cinque luci, con sviluppo complessivo del ciglio sfiorante di 25,00 m, al netto delle pile.

La soglia verrà profilata con un raccordo verso monte di raggio 0.7 m (0.4 h) e un profilo inclinato 1:5 (20%) nel primo tratto verso valle, in modo da ottenere un buon coefficiente di efflusso, per poi raccordarsi al paramento esistente.

Nel calcolo della portata esitabile il coefficiente di efflusso è stato posto pari a 0.425, uguale a quello che si ricava dal Foglio Condizioni per lo scarico attuale. Questo valore risulta adeguato anche per il tipo di profilo in progetto.

In condizioni di massimo invaso la portata esitabile dal solo di scarico di superficie è di 133 m³/s, pari quindi alla portata di piena con tempo di ritorno 500 anni ($Q_{500} = 132 \text{ m}^3/\text{s}$).

Scarico di mezzofondo

Le opere dello scarico di mezzofondo verranno modificate solo per quanto riguarda gli organi di comando. Il fabbricato esistente dove è alloggiato il comando elettromeccanico della paratoia e il quadro di controllo verrà demolito per consentire l'allargamento della strada di accesso.

Verrà installato un nuovo servomotore oleodinamico, comandabile localmente e dalla casa di guardia. La centralina e il quadro locale verranno posizionati all'aperto, alla quota del piano manovra, in prossimità della verticale della paratoia.

Il valore della portata esitabile non verrà variato rispetto a quello attuale.

Scarico di fondo

Anche in questo caso gli interventi sono limitati all'adeguamento degli organi di comando della paratoia esistente, che verranno riposizionati sul nuovo piano di coronamento.

La manovra del nuovo servomotore oleodinamico sarà possibile localmente e dalla casa di guardia. Il valore della portata esitabile non verrà variato rispetto a quello attuale.

Il calcolo delle portate esitabili per diversi livelli di invaso è riportato nelle tabelle allegate.

Di seguito si riassumono i valori in condizioni di massimo invaso per la situazione attuale e di progetto.

Portata esitata	Situazione attuale livello a q. 694,00 m s.l.m.	Situazione di progetto livello a q. 689,75 m s.l.m.
scarico di superficie	52 m ³ /s	133 m ³ /s
scarico di mezzofondo	22 m ³ /s	15 m ³ /s
scarico di fondo	26 m ³ /s	22 m ³ /s
Portata esitata totale	100 m³/s	170 m³/s

DIGA DI PAGNONA*Valutazione della portata degli scarichi*

Livelli bacino	max vaso	689.75	m slm
	max regolazione	687.75	m slm
	min regolazione	680.00	m slm

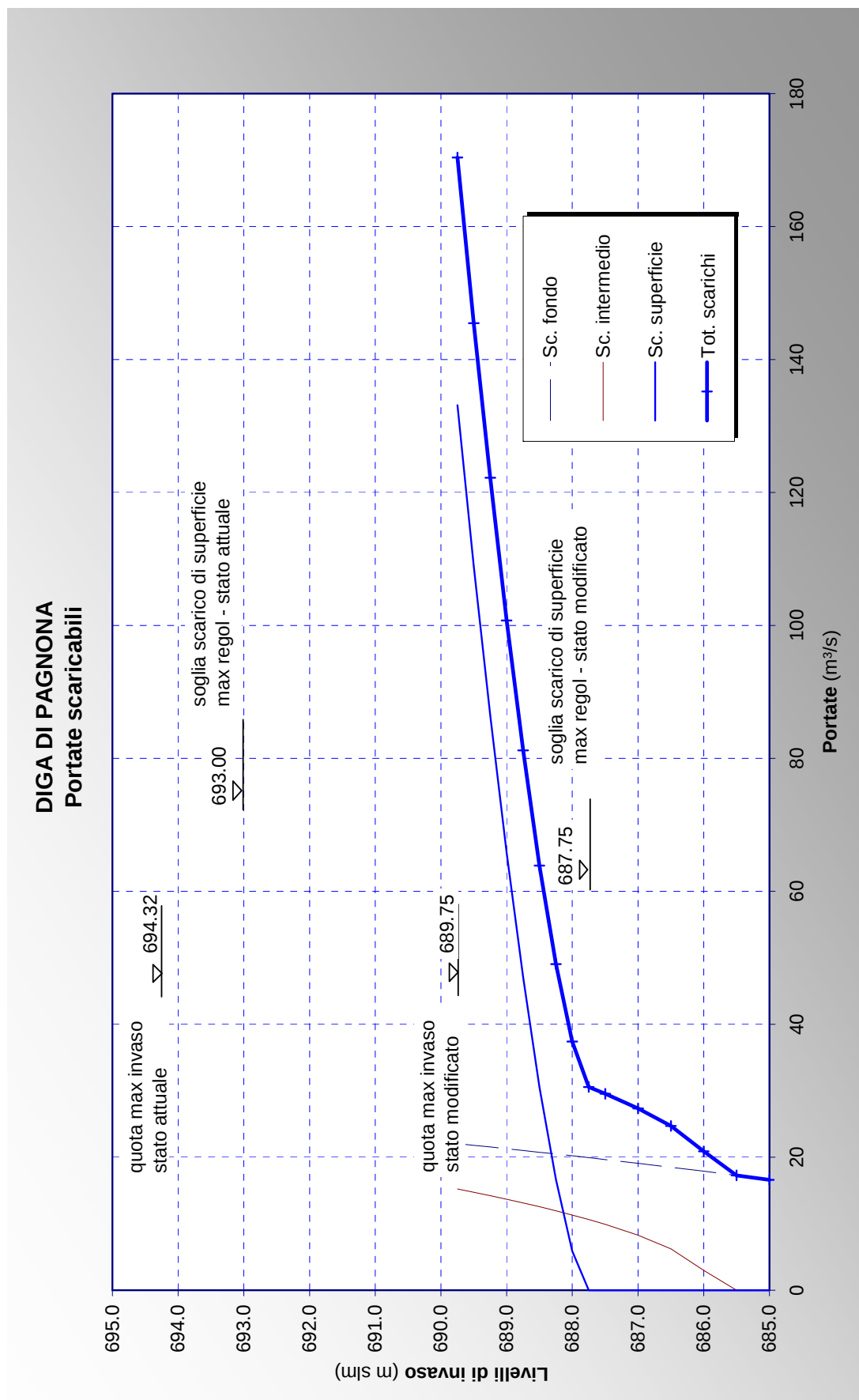
Scarico di fondo (corpo diga)				
paratoia imb_ (soglia, dim.)	678.00 m slm	1.70 x 1.55	m	
cunicolo (lunghezza, sez.)	12.00	1.70 x 1.77	m	
sbocco (soglia, dim.)	677.50 m slm	1.70 x 1.77	m	
portata $Q = C A \sqrt{2gH}$	per $C =$	0.57		
$Q_{max} = 22 \text{ m}^3/\text{s}$	sez_rif. $A =$	2.64	m^2	

Scarico intermedio (sponda)				
paratoia imb_ (soglia, dim.)	684.85 m slm	1.50 x 2.00	m	
galleria (lunghezza, sez.)	61.00	1.40 x 1.80	m	
sbocco (soglia, dim.)	678.50 m slm	2.40 x 2.50	m	
portata $Q = C A \sqrt{2gH}$	per $C =$	0.58		
$Q_{max} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$	sez_rif. $A =$	3.00	m^2	

Scarico di superficie		quota soglia	687.75	m slm
(6 luci a soglia fissa sfiorante)	luci sfioranti	5 x 5.00	m	
portata $Q = C L H \sqrt{2gH}$	per $C =$	0.425		
$Q_{max} = 133 \text{ m}^3/\text{s}$	$l_{sfioro} L =$	25.00	m	

Le portate sono calcolate utilizzando i coefficiente di efflusso ricavati dal foglio condizioni.

Quota di vaso (m slm)	Portate scaricate (m^3/s)			
	Sc. fondo	Sc. intermedio	Sc. superficie	Tot. scarichi
689.75	22.0	15.2	133.1	170.4
689.50	21.8	14.7	109.0	145.5
689.25	21.5	14.2	86.5	122.2
689.00	21.3	13.7	65.8	100.7
688.75	21.0	13.1	47.1	81.2
688.50	20.7	12.5	30.6	63.9
688.25	20.5	11.9	16.6	49.1
688.00	20.2	11.3	5.9	37.4
687.75	19.9	10.6	0.0	30.6
687.50	19.7	9.9	0.0	29.6
687.00	19.1	8.3	0.0	27.3
686.50	18.5	6.2	0.0	24.7
686.00	17.9	3.0	0.0	20.9
685.50	17.3	0.0	0.0	17.3
685.00	16.6	0.0	0.0	16.6



2.3) IMPIANTO DI SGRIGLIATURA AUTOMATICO

L'imbocco dell'opera di presa è costituito da una luce realizzata nel corpo diga con soglia a quota 684.60 m s.l.m. a cui seguono due condotte $\varnothing$ 800 mm, intercettate nella camera valvole posta immediatamente a valle della diga.

L'imbocco è protetto da una griglia che viene mantenuta pulita da uno sgrigliatore automatico a comando oleodinamico.

Il pettine dello sgrigliatore porta il materiale sgrigliato su un nastro trasportatore che a sua volta porta il materiale sulla spalla in sponda destra, nell'area antistante il fabbricato quadri-gruppo elettrogeno.

Da qui il materiale sgrigliato viene rimosso manualmente per essere portato in discarica.

L'intervento in progetto sulla diga comporta ovviamente la ristrutturazione dell'impianto di sgrigliatura, che dovrà essere adattato alle nuove opere, anche se lo schema generale viene confermato.

Il telaio in profilati metallici che sostiene il braccio dello sgrigliatore verrà installato sul piano del nuovo coronamento e verrà modificato in modo da non ostacolare il transito dei mezzi d'opera. La corsa del braccio dello sgrigliatore dovrà essere modificato per adeguarsi alla nuova geometria delle opere.



La movimentazione del materiale sgrigliato verrà ancora effettuata per mezzo di un nastro trasportatore che alimenterà un cassone di deposito in sponda destra.

Le modifiche in progetto alla strada di accesso e al coronamento consentiranno di accedere a questo cassone di deposito con mezzi d'opera per la raccolta e il trasporto del materiale in discarica.

*Fig. 8
Lo sgrigliatore esistente con il nastro trasportatore, in sponda destra*

3) EFFETTI SULL'IDROGEOLOGIA DEL BACINO

L'abbassamento della diga di Pagnona e la conseguente riduzione di livello nell'invaso incrementa la stabilità delle sponde del bacino, in quanto viene meno, o comunque si riduce drasticamente, l'oscillazione del livello stesso.

Dal punto di vista del volume invasato e del contributo del bacino alla laminazione delle piene l'effetto dell'intervento in progetto non è significativo; si possono infatti fare le seguenti considerazioni.

In relazione alla gestione del bacino normalmente effettuata, il volume utile per la laminazione delle piene è pari alla differenza fra il volume invasato in condizioni di massimo invaso e quello invasato in condizioni di massima regolazione.

I valori di riferimento sono riportati nella seguente tabella, mentre il diagramma livelli – volumi è riportato in allegato.

	Situazione attuale		Situazione progetto	
	Quota	Volumi	Quota	Volumi
Max invaso	694.32 ⁽¹⁾	0.146 Mm ³	689.75 ⁽²⁾	0,067 Mm ³
Max ritenuta	693.00	0.121 Mm ³	687.75	0.044 Mm ³
Differenza		0.025 Mm ³		0.023 Mm ³

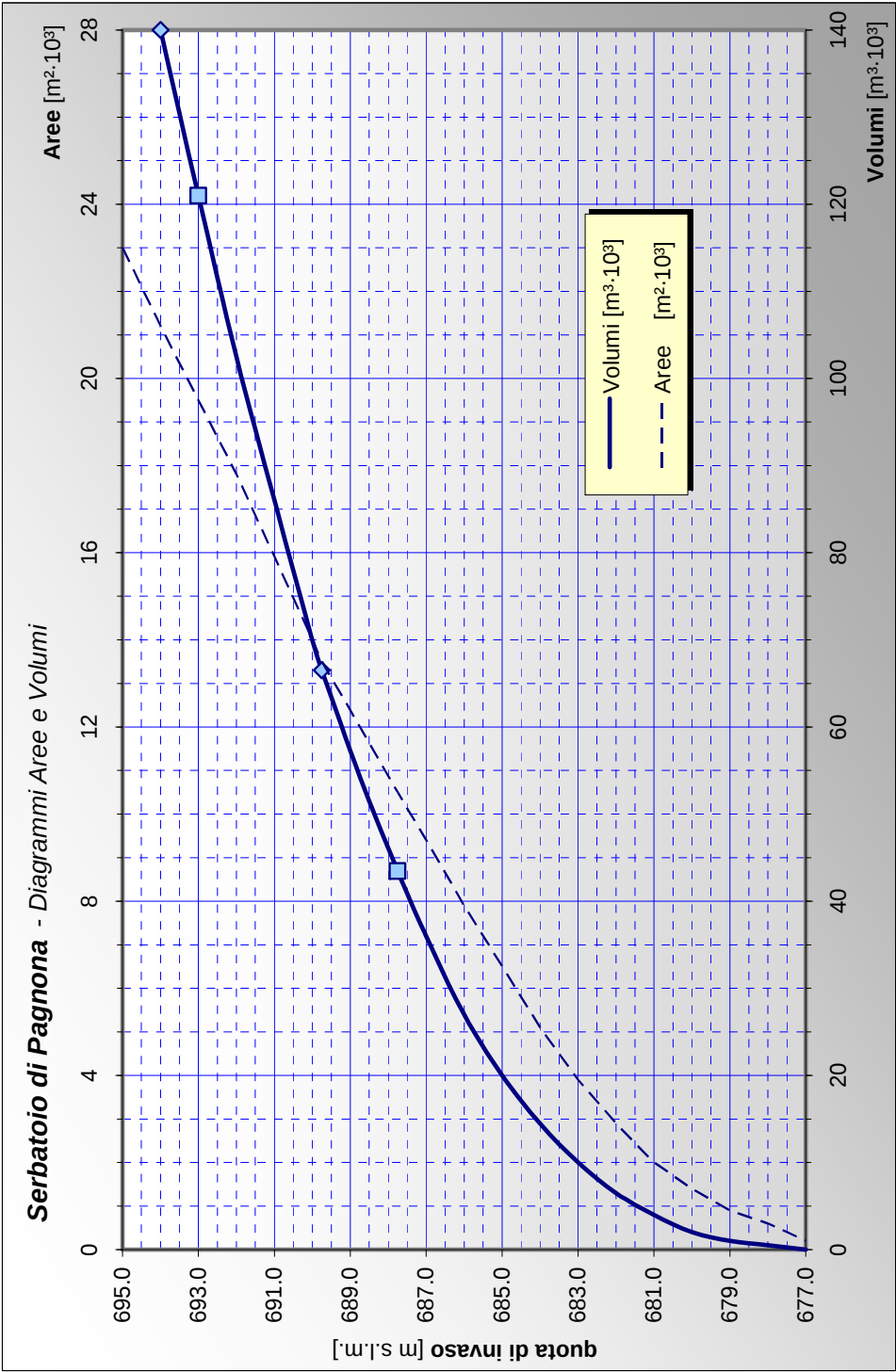
Valore calcolato per $Q_T = 128 \text{ m}^3/\text{s}$ (piena Q_{1000} rif. precedente studio idrologico)

Valore calcolato per $Q_S = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ (sfioro Q_{500} piena di progetto)

Tra la situazione attuale e la situazione in progetto quindi il volume utile ai fini della laminazione passa da 25.000 a 23.000 m³ e quindi differisce di una quantità irrilevante.

Occorre anche notare che in ogni caso un invaso di laminazione di 20 – 30.000 m³, a fronte di una piena di progetto calcolata in oltre 130 m³/s, non è assolutamente efficace per la riduzione della portata di piena al colmo.

quota [m slm]	Volumi [m ³ ·10 ³]	Aree [m ² ·10 ³]
695.0		23.0
694.0	140.0	21.2
693.0	121.0	19.5
692.0	102.5	17.8
691.0	86.0	15.9
690.0	70.0	14.0
689.75	66.5	13.5
688.75	54.3	12.0
687.75	43.5	10.5
687.0	36.0	9.4
686.0	27.0	7.9
685.0	20.0	6.5
684.0	14.5	5.1
683.0	10.0	3.9
682.0	6.5	2.9
681.0	4.0	2.0
680.0	2.0	1.4
679.0	1.0	0.9
678.0	0.5	0.6
677.0	0.0	0.2



4) STRADA DI ACCESSO ALLA DIGA

L'accesso alla diga avviene per strade provinciali, da Bellano (ss 36 Lecco – Colico) o dalla Valsassina, fino al comune di Premana. Poco a valle dell'abitato di Premana, in prossimità del ponte sul torrente Varrone, inizia la strada di accesso alla diga che si sviluppa sulla sponda sinistra della valle.

La strada presenta un primo tratto ripido e pavimentato in cls che scende sul fondovalle, dopo di che segue il torrente con un andamento pressoché pianeggiante ed è sterrata.

La lunghezza complessiva della strada di accesso alla diga è di circa 2 Km.

Buona parte del tracciato è stato recentemente allargato per consentire l'esecuzione dei lavori per la costruzione di un nuovo impianto idroelettrico, la cui centrale è ubicata circa 500 m a monte della diga. In conseguenza a questi lavori la strada è percorribile con automezzi fuoristrada e mezzi d'opera fino a circa 400 m dalla diga. L'ultimo tratto è percorribile solo a piedi.

In progetto è previsto l'allargamento di questo tratto per consentire il transito con automezzi, di piccole dimensioni, fino alla diga. Questo permetterà di rendere più agevole e veloce l'accesso del personale alla diga oltre a consentire l'accesso di mezzi per l'esecuzione di lavori di manutenzione e rimozione dello sgrigliato.

In merito alle possibili alternative bisogna osservare che stiamo operando in ambiente montano, con una morfologia del territorio molto accidentata sia in sponda destra sia in sponda sinistra; pertanto qualunque nuovo tracciato risulterebbe ovviamente molto impegnativo e impattante sul territorio. La soluzione di allargare il tracciato esistente, tra l'altro soltanto per una minima parte, risulta essere certamente quella di minore impatto.

Le sezioni con il dettaglio dell'intervento sono illustrate nelle tavole di progetto.

In generale è stata prevista la realizzazione di un muretto di scarpa in pietrame e calcestruzzo a sostegno dell'allargamento, completato da un cordolo in c.a. e dal parapetto.

Nei tratti dove la sponda è più ripida il fondo della strada è costituito da una soletta in c.a., parzialmente a sbalzo rispetto al muretto di sostegno.

Negli altri tratti il fondo viene mantenuto in stabilizzato come la strada esistente.

La larghezza tipica di progetto della strada è di 2.80 m totali. La parte verso monte (sinistra orografica) non è stata modificata per evitare ulteriori interventi di sostegno al pendio esistente oltre a quelli esistenti.

Per consentire l'allargamento della strada in corrispondenza allo scarico intermedio della diga, dovrà essere demolito il fabbricato che ospita gli organi di comando della paratoia.

La centralina e il quadro locale per il nuovo servomotore oleodinamico verranno posizionati

all'aperto, alla quota del piano manovra, in prossimità della verticale della paratoia.

In questo tratto della strada, la sponda molto ripida non consente la realizzazione di una strada a mezzacosta. Verrà pertanto realizzata una rampa a ponte, inclinata, che collegherà la strada al coronamento.

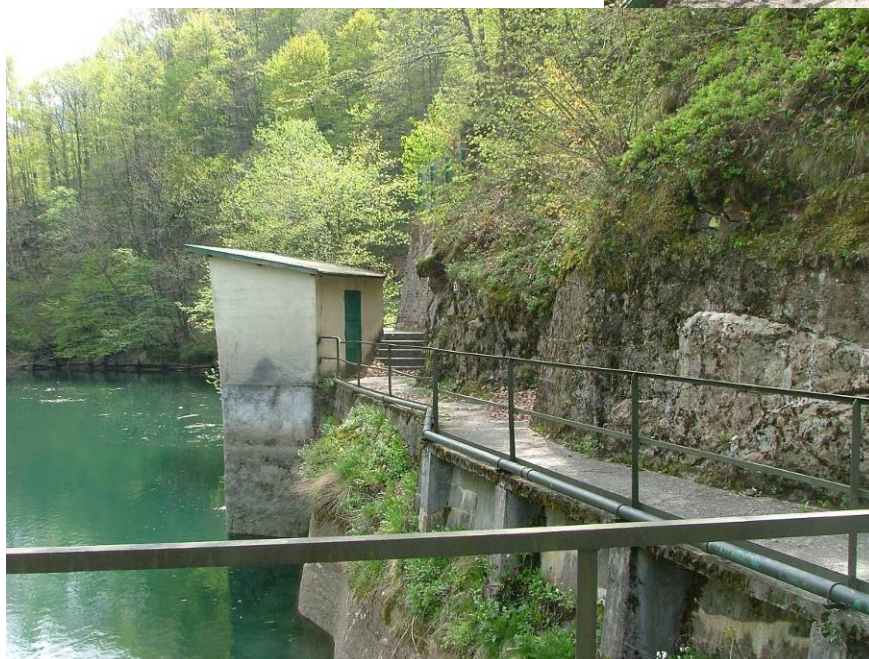
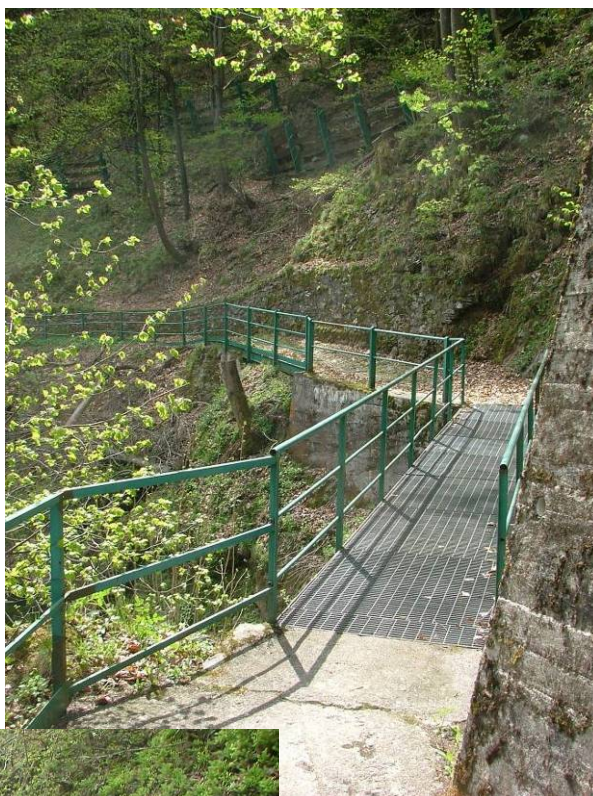
Questa rampa sarà appoggiata all'estremità di monte e in mezzeria a pile fondate su pali, mentre all'estremità di valle sarà appoggiata al corpo diga. L'impalcato sarà realizzato con travetti prefabbricati in c.a. p. e getti di completamento in c.a.

La larghezza minima della rampa è di 2.80 m come per il resto della strada. La pendenza è del 20%. A fianco della rampa verrà mantenuto il sentiero esistente, con le quote attuali, fino alla spalla attuale delle diga.

Questo, oltre ad evitare demolizioni alle opere di sostegno del pendio e quindi possibili instabilità, consente di mantenere agibile il percorso pedonale che collega la strada con i terreni a valle della diga.

Fig. 9 - 10

Il sentiero di accesso in prossimità della diga e il fabbricato dello scarico intermedio



5) CANTIERIZZAZIONE DEL PROGETTO

5.1) ATTIVITA' E TEMPI DI REALIZZAZIONE

La realizzazione dell'opera comprende le seguenti principali fasi di lavoro:

- costruzione di opere provvisionali quali: adeguamento accesso dalla via pubblica, formazione di guado, realizzazione di pista di cantiere in sponda orografica destra;
- rimozione degli organi elettromeccanici posti sul coronamento esistente;
- rimozione della passerella in profilati di acciaio;
- demolizione del coronamento esistente fino alla quota 687,75 m.s.l.m. mediante martello demolitore montato su escavatore previa sconnessione della parte da demolire con taglio con filo diamantato;
- realizzazione di opere di sottofondazione armate e pile di sostegno in c.a. della rampa a ponte;
- opere di sistemazione del tratto esistente della strada di accesso e formazione del tratto terminale
- formazione di impalcato in c.a. della nuova rampa a ponte;
- formazione di nuova soglia di sfioro mediante getto di calcestruzzo armato;
- rivestimento nuova soglia con bolognini fissati con cuciture;
- montaggio di nuova passerella carrabile in acciaio;
- opere varie di sistemazione dell'estradosso del coronamento e lavori accessori;
- installazioni degli apparati elettromeccanici;
- smantellamento pista e guado provvisori di cantiere e ripristini ambientali;
- smantellamento cantiere.

Sia i materiali provenienti dalla rimozione della esistente passerella in profilati metallici, sia i materiali provenienti dalla demolizione del coronamento verranno conferiti in discarica autorizzata.

Non è prevista la realizzazione di depositi provvisori di materiali provenienti da smontaggi e rimozioni in quanto gli stessi verranno conferiti a discarica contestualmente all'esecuzione delle rispettive attività.

Ipotizzando una presenza media giornaliera di circa 5-6 persone compresi gli operatori dei mezzi meccanici addetti alle lavorazioni in alveo (un escavatore, una pala gommata) e alle demolizioni (una autogrù, un escavatore con martello demolitore, una pala gommata), esclusi gli operatori degli autocarri addetti al trasporto dei materiali provenienti dalle

demolizioni, si prevede che la durata del cantiere sia approssimativamente di 12 mesi lavorativi.

Tenuto conto che la quota minima di regolazione (688,60 m s.l.m.) non consente la realizzazione del progetto con l'impianto in esercizio, si prevede, almeno durante le fasi di demolizione, di svuotare l'invaso; ciò consentirà il montaggio di ponteggi tradizionali a vantaggio sia della economia dell'intervento, sia della sicurezza dei lavori.

5.2) OPERE PROVVISORIALI

Per la realizzazione dei lavori risulterà necessario costruire opere provvisorie per la regimazione provvisoria delle portate del torrente Varrone (ture in terra) oltre che per la realizzazione di piste al servizio del cantiere.

Le ture per la regimazione del torrente verranno realizzate con materiale reperito in alveo ed avranno lo scopo di convogliare le portate presso lo scarico di fondo esistente al fine di mantenere asciutte le aree interessate dalla realizzazione delle opere di sostegno della rampa a ponte di collegamento fra la strada di accesso ed il nuovo coronamento della diga.

Inoltre le stesse consentiranno di mantenere asciutto il piede della pista provvisoria in sponda orografica destra, la cui realizzazione permetterà l'accesso alle macchine operatrici sul coronamento da demolire.

Al fine di ridurre i tempi di cantierizzazione il progetto prevede di operare contemporaneamente su strada e diga; si è sviluppata pertanto una logistica di cantiere che prevede la realizzazione di una pista provvisoria di cantiere che, nel tratto terminale, consente l'accesso alla diga impegnando l'alveo e la sponda destra.

Secondo questo piano di intervento la pista sarà così costituita (Rif. Elaborato grafico Enel CIV.COR.33.06.134);

1° tratto – circa 160 m su pista in battuto di cemento esistente;

2° tratto – circa 450 m su pista sterrata esistente;

3° tratto – circa 80 m su pista sterrata esistente di accesso al torrente;

4° tratto – circa 10 m di attraversamento torrente su rilevato con sottostanti tubazioni;

5° tratto – circa 300 m di pista in alveo (compresa rimonta).

Per la realizzazione della pista provvisoria in alveo è prevista la movimentazione di limitate quantità di materiale inerte reperito nell'alveo stesso.

La pista verrà realizzata in adiacenza alla sponda orografica destra ed in parte realizzando un guado sul torrente Varrone; sia le ture sia la pista provvisoria di cantiere verranno

smantellate alla fine dei lavori.

Il progetto prevede il ripristino delle aree anche mediante piantumazioni laddove, per la realizzazione della pista, si rendessero necessari tagli di vegetazione ad alto fusto.

L'autorizzazione all'occupazione di aree private eventualmente necessarie per l'esecuzione delle opere provvisionali e le installazioni di cantiere, verrà preventivamente richiesta ai rispettivi proprietari.



Fig. 11 La pista provvisoria di accesso al cantiere: in azzurro la pista esistente – in giallo il guado e la pista in alveo



Fig. 12 La sponda in destra orografica, su cui verrà realizzata la pista di cantiere

5.3) ATTIVITA' DI SCAVO E RIPORTO

Il progetto di abbassamento della diga di Pagnona prevede le seguenti attività di scavo:

- risagomatura del versante in sponda orografica destra interessato dalla realizzazione terminale della pista provvisoria di cantiere (120 m³ ca.) con compensazione dei volumi di sterro e riporto;
- scavo in roccia per formazione rampa di accesso al nuovo coronamento in sponda orografica sinistra (60 m³ ca.) con contestuale trasporto dei materiali a scarica;
- movimentazione di depositi a ridosso del paramento di monte (200 m³ ca.) con sistemazione all'interno del bacino stesso, salvo quanto previsto da futuri Progetti di gestione.

Non sono previste attività di riporto con materiale apportato dall'esterno del cantiere.

5.3) INSTALLAZIONI DI CANTIERE

Per la realizzazione dei lavori risulterà necessario installare alcuni baraccamenti (nell'ordine delle 3, 4 unità) che verranno utilizzati per uffici, spogliatoi, deposito attrezzature, oltre ad un bagno chimico installato nei pressi dell'area lavori ed uno nei pressi dell'area baraccamenti. Vista la conformazione orografica del sito si prevede di installare le baracche a monte

dell'attraversamento del Torrente Varrone, presso un'area esistente pressoché piana e priva di alberi, adiacente alla pista di accesso alla diga.

La superficie dell'area occupata dai baraccamenti sarà approssimativamente di 80 m²; in adiacenza a questa verrà ricavata un'area per il deposito provvisorio dei materiali da costruzione e dei mezzi d'opera, avente un dimensione di 100 m² ca.

I volumi necessari per la costruzione delle opere in progetto non determinano la necessaria installazione di impianti di betonaggio; il calcestruzzo preconfezionato verrà recapitato in sito mediante autobetoniere.

Tutte le aree citate verranno delimitate con cesata di cantiere.

L'area del bacino svasato verrà interessata solamente dalla realizzazione delle ture e della pista provvisoria di cantiere.

5.4) TRASPORTO DI MATERIALI

L'attività che determina il maggior impatto sulla viabilità locale, visti i volumi in gioco, è quella relativa alle demolizioni.

La riduzione della quota del coronamento attuale fino alla quota della nuova soglia di sfioro prevede la demolizione di circa 1.000 mc di calcestruzzo in opera, pari a circa 1.700 mc di materiale demolito.

Non è prevista la produzione di alcun rifiuto speciale ad esclusione di olio per il funzionamento degli apparati a funzionamento idraulico; questo verrà recuperato prima dello smontaggio degli apparati stessi.

I materiali provenienti dalle demolizioni in progetto sono esclusivamente costituiti da acciaio per carpenteria, calcestruzzo e pietrame (bognini di rivestimento del paramento di valle – rivestimento del piano di calpestio del coronamento).

Conformemente alla Decisione del Consiglio 2003/33/CE tali rifiuti sono classificati di categoria 170101 (Cemento, Rifiuti selezionati prodotti dall'edilizia e dalla demolizione).

Secondo la Direttiva Discariche (Direttiva 31/1991/CE) e le disposizioni comunitarie per l'accettazione dei rifiuti in discarica di inerti (Decisione del Consiglio 2003/33/CE) tali rifiuti possono essere ammessi in discarica di inerti senza essere sottoposti a prove (test di cessione e analisi) poiché si ritengono conformi sia alla definizione di "rifiuto inerte", sia ai parametri indicati dalle disposizioni stesse.

5.5) PROBLEMATICHE CONNESSE AL CONFERIMENTO A DISCARICA

Tenuto conto delle caratteristiche degli accessi al sito è previsto vengano impiegati autocarri in grado di trasportare circa 8 mc/viaggio; lo smaltimento di tutto il materiale demolito

comporta un totale di 220 viaggi a vuoto e 220 viaggi con carico.

Dovendo operare con l'escavatore con martello sul piano del coronamento, quindi con margini di manovra ristretti e con macchina singola, si prevede una demolizione giornaliera di 20 mc di coronamento pari a circa 35 mc di materiale demolito; lo smaltimento a discarica di tale volume comporta il carico di 4, 5 autocarri e quindi di 8, 10 viaggi al giorno fra carico e scarico.

La destinazione di conferimento del materiale proveniente dalle demolizioni è stata individuata nella discarica Nogara Strade presente in comune di Taceno (Lc) , località Fornaci.

Detta discarica è stata autorizzata dalla Provincia di Lecco – Settore Ambiente ed Ecologia – Ufficio Rifiuti Industriali all'esercizio della attività di recupero rifiuti speciali non pericolosi in data 04/03/2002 (Vedi allegato).

Più precisamente la discarica individuata è autorizzata per il conferimento dei seguenti materiali:

CER 170101 cemento;

CER 170107 miscugli o scorie di cemento, mattoni e mattonelle;

CER 170904 rifiuti misti dell'attività di costruzione o demolizione senza sostanze pericolose;

CER 170504 terra e rocce da scavo;

CER 170302 miscele bituminose senza catrame di carbone.

Il tragitto dal cantiere alla discarica prevede la percorrenza della Strada Provinciale 67 per la quasi totalità del tratto che è complessivamente lungo 10 km circa; l'unico centro abitato ad essere interessato dal percorso è il Comune di Casargo.

Altre discariche autorizzate per rifiuti inerti si trovano a Lecco (35 km circa) e Colico (30 km circa).



Mappa stradale con in evidenza il tragitto Premana-Taceno

Vista la tipologia di mezzi che potranno essere impiegati per i trasporti e le caratteristiche della rete stradale interessata, in relazione al numero di viaggi previsti, si ritiene non vengano prodotti impatti di inquinamento acustico ed atmosferico tali da alterare significativamente le ordinarie condizioni attualmente in essere.

In particolare, in relazione all'impatto acustico generato dalle attività di trasporto con autocarro, al fine di meglio precisare la ridotta azione dell'impatto prodotto, si segnala che la vigente normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, per i lavoratori addetti alle attività di assistenza agli scavi nei cantieri edili (quindi impegnati in attività interferenti con la presenza di autocarri ed esposti a valori inferiori ai valori superiori di azione $LEX = 85dB(A)$) non prevede sorveglianza sanitaria; ciò a sottolineare l'effettiva reale natura dell'impatto prodotto sull'ambiente e su persone occasionalmente esposte.

5.6) INTERFERENZE NEGATIVE TRA LE ATTIVITA' DI CANTIERE E LE CARATTERISTICHE DEL CORSO D'ACQUA

Il progetto prevede sostanzialmente due attività potenzialmente in grado di arrecare

pregiudizio alle condizioni attuali del torrente Varrone in due fasi temporalmente distinte: la prima si determina durante le demolizioni dei calcestruzzi, la seconda durante le operazioni di getto di cls.

Durante entrambe le fasi verrà implementato un sistema di protezione in grado di evitare il recapito in alveo sia di calcestruzzo derivante dalle demolizioni, sia soprattutto di calcestruzzo fresco durante i getti; l'approntamento di tali difese sarà agevolata dal necessario svasso del bacino.

Verrà inoltre progettata una logistica di cantiere tale da garantire la tempestiva evacuazione di materiali e macchine operatrici in caso di piene improvvise; eventuali depositi di carburanti, additivi per cls, lubrificanti ecc., verranno collocati in aree delimitate e poste a quota di sicurezza rispetto alle portate del torrente.

5.7) FABBISOGNO DI RISORSE

Il progetto prevede il getto di circa 500 m³ di calcestruzzo recapitato in sito mediante autobetoniere.

Si stima che durante le attività di cantiere verranno utilizzati circa 10 mc/gg di acqua e verrà installato un gruppo elettrogeno di potenza pari a 10 kW; l'energia necessaria per l'esercizio dell'impianto al termine dei lavori sarà pari a quella attuale.

5.8) TUTELA DELLA RISORSA PEDOLOGICA

Prima della sagomatura della pista di cantiere in sponda orografica destra si provvederà ad adottare specifiche misure di tutela della risorsa pedologica che consisteranno essenzialmente nell'accumulo e nella conservazione del terreno vegetale asportato per una profondità di almeno 20 cm.

Tale accantonamento dovrà avvenire adottando tutte le attenzioni necessarie per evitare un'eventuale modifica della struttura del terreno, delle condizioni di compattazione, nonché evitarne la contaminazione con materiali estranei o con strati più profondi di composizione chimico-fisica differente.

Il terreno accantonato temporaneamente in fase di cantiere verrà riutilizzato nelle operazioni di ricopertura della pista smantellata a fine lavori superiormente ad eventuali riporti necessari per riprofilare il versante.

5.9) INTERVENTI SULLA VEGETAZIONE

La realizzazione della pista di cantiere e l'allargamento della strada di accesso esistente alla diga comportano limitati interventi di taglio di vegetazione arbustiva e d'alto fusto che non

avrà influenza negativa sulla conservazione della biodiversità, la stabilità dei terreni, la regimazione delle acque, la difesa dalla caduta massi.

Al termine delle attività è comunque previsto il rinverdimento delle zone interessate da taglio, mediante piantumazione di specie idonee al sito ed esclusivamente di natura autoctona.

Pista di cantiere di accesso all'alveo (sviluppo 80 m ca.)

La pista esistente è stata interessata dai recenti lavori di costruzione della nuova centrale idroelettrica e di regimazione dell'alveo; il frassineto di colonizzazione precedentemente presente è stato rimosso in occasione di detti lavori.

Pista di cantiere in sponda destra (sviluppo 50 m ca.)

La presenza in sponda destra, a circa 65 m dal corpo diga, di un trovante roccioso di importanti dimensioni impone di realizzare la pista di rimonta dall'alveo con sbarco a valle di detta conformazione.

Di conseguenza il tratto di sponda interessato dalla costruzione della pista si limita a circa 50 m già attualmente privi di vegetazione arborea; sarà necessario il taglio di limitate presenze arbustive.

Pista permanente in sponda sinistra

La necessità di allargare l'esistente pista di circa 1 m comporta il taglio di alcuni esemplari di frassino ed ontano adulti (nell'ordine della decina di esemplari).

6) VIGILANZA E CONTROLLO DURANTE L'ESERCIZIO

6.1) STATO DI FATTO

Ai sensi della normativa nazionale vigente e conformemente a quanto indicato nel Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga [2], Enel esegue i controlli e rilievi periodici come di seguito indicato:

- a) controllo della struttura, spostamenti planimetrici, con frequenza mensile:
collimazione angolare ottica, con base stazione dello strumento in sponda destra, mira fissa in sponda sinistra e n. 3 postazioni ubicate sul coronamento;
- b) controllo della struttura, spostamenti altimetrici, con frequenza mensile:
livellazione di tre capisaldi sul coronamento in corrispondenza delle postazioni per la collimazione e caposaldo di riferimento ubicato su manufatto in sponda destra;
- c) controllo delle perdite, con frequenza settimanale:
rilievo delle perdite attraverso la struttura raccolte in due postazioni di misura al piede del paramento di valle riferibili agli apporti della parte destra e sinistra della diga;
rilievo delle perdite attraverso le spalle riferibili alla galleria drenante della massa morenica in destra, ubicata in corrispondenza dello sbocco della galleria stessa;
- d) con frequenza giornaliera vengono rilevate:
 - ✓ temperatura minima e massima dell'aria (misura manuale mediante termometro a doppia scala);
 - ✓ altezza di precipitazione (misura manuale mediante pluviometro);
 - ✓ spessore manto nevoso (misura manuale mediante asta graduata);
 - ✓ quota del livello di invaso: aste idrometriche a lettura diretta e teleidrometro a misura continua, con lettura diretta in sito al posto di teleconduzione di Sondrio;
 - ✓ temperatura dell'acqua in superficie (misura manuale, mediante termometro ad immersione);
 - ✓ temperatura dell'acqua a 5 metri di profondità (misura manuale, mediante termometro ad immersione);
 - ✓ stato atmosferico (rilevato a vista dal personale di guardiania e registrato con specifica codifica);

In aggiunta ai controlli riportati, anche se non previsti nel foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga, con frequenza mensile vengono rilevate le sottopressioni mediante tre piezometri a rilevamento manuale, posti sul coronamento.

6.2) STATO DI PROGETTO

Per il controllo e la sorveglianza dell'opera durante l'esercizio, a valle della realizzazione dell'intervento, si prevedono visite di controllo visivo con frequenza giornaliera e ispezioni tecniche con frequenza mensile. Non è prevista la guardiania continua delle opere.

Nell'ambito degli interventi di adeguamento della diga è prevista l'implementazione di un sistema di monitoraggio automatico ad integrazione del sistema di controllo dell'opera, comprendente anche le informazioni per la gestione dal Posto di Teleconduzione.

Tale sistema di monitoraggio sarà strutturato per consentire la sorveglianza automatica a distanza del manufatto; la trasmissione delle segnalazioni al PT avverranno mediante un computer collegato ai trasduttori di misura tramite appositi moduli di interfacciamento, all'apparato STO-E e ad un modem telefonico.

Il sistema prevede il mantenimento di tutti i rilievi e controlli attualmente esistenti e particolarmente la sorveglianza automatica di:

- ✓ controllo delle perdite attraverso la struttura raccolte in una postazione di misura al piede del paramento di valle riferibile agli apporti della parte destra e sinistra della diga;
- ✓ controllo delle perdite attraverso le spalle riferibili alla galleria drenante della massa morenica in destra, ubicata in corrispondenza dello sbocco della galleria stessa;
- ✓ controllo delle sottopressioni attraverso i 3 piezometri attualmente già presenti;
- ✓ misura della temperatura minima e massima dell'aria ;
- ✓ misura della altezza di precipitazione;
- ✓ misura dello spessore del manto nevoso;
- ✓ misura della quota del livello di invaso;
- ✓ misura della temperatura dell'acqua in superficie e a 5 metri di profondità.

Controllo delle perdite

La misura delle perdite del paramento verrà ubicata in una postazione di misura al piede del paramento di valle; considerando che tale ubicazione viene interessata dallo scarico idrico attraverso la soglia sfiorante, si prevede la misurazione entro tubazione sifonata in acciaio di protezione del rilevatore di livello da collocarsi all'interno della stessa.

La misura delle perdite attraverso le spalle, riferibili alla galleria drenante della massa morenica in destra, verrà ubicata in corrispondenza dello sbocco della galleria stessa ove è già presente una vasca dotata di bocca tarata a stramazzo; la misura verrà ricondotta al rilievo del livello nella vasca a monte di tale bocca mediante un rilevatore di livello da collocarsi all'interno della galleria stessa.

Controllo delle sottopressioni

Il controllo delle sottopressioni avverrà attraverso la misura della quota piezometrica; a tal fine è prevista l'installazione di 3 misuratori di pressione relativa del tipo ad immersione, da posizionarsi a circa 50 cm dal fondo di ciascuno dei 3 tubi piezometrici esistenti; questi dovranno preliminarmente essere ridotti per potere essere accessibili dalla nuova quota di coronamento.

Misura della temperatura dell'aria

Il controllo della misura della temperatura dell'aria avverrà a mezzo di un sensore a variazione di resistenza, autoventilato, posizionato su di un supporto metallico di opportuna altezza da installare in prossimità della casa di guardia.

Misura della temperatura dell'acqua

Per l'acquisizione in automatico delle misure si utilizzeranno sensori a variazione di resistenza con connessione a 4 fili.

L'installazione dei sensori è prevista entro la tubazione in acciaio già esistente ove è collocata la bilancia di misurazione del livello d'invaso; la tubazione verrà opportunamente finestrata in corrispondenza dei sensori; allo scopo di rendere agevole una loro eventuale sostituzione, i sensori non saranno fissati alla tubazione ma lasciati sospesi al loro cavo di collegamento fino alle quote desiderate.

Misura delle precipitazioni meteoriche

Verrà impiegato un pluviometro automatico per alta montagna con trasduttore automatico da installare in prossimità della casa di guardia.

La cabina pluviometrica sarà dotata di sistema di riscaldamento con termostato.

Il pluviometro sarà installato su apposito basamento evitando situazioni o fattori che possano schermare la bocca tarata ed influenzare il regolare afflusso delle precipitazioni.

Misura dell'altezza del manto nevoso

Si utilizzerà un sensore ad ultrasuoni con emettitore posto ad una altezza di 2,50 m sostenuto da un apposita struttura in acciaio zincato da installare in zona pianeggiante in prossimità della casa di guardia.

Misura del livello d'invaso

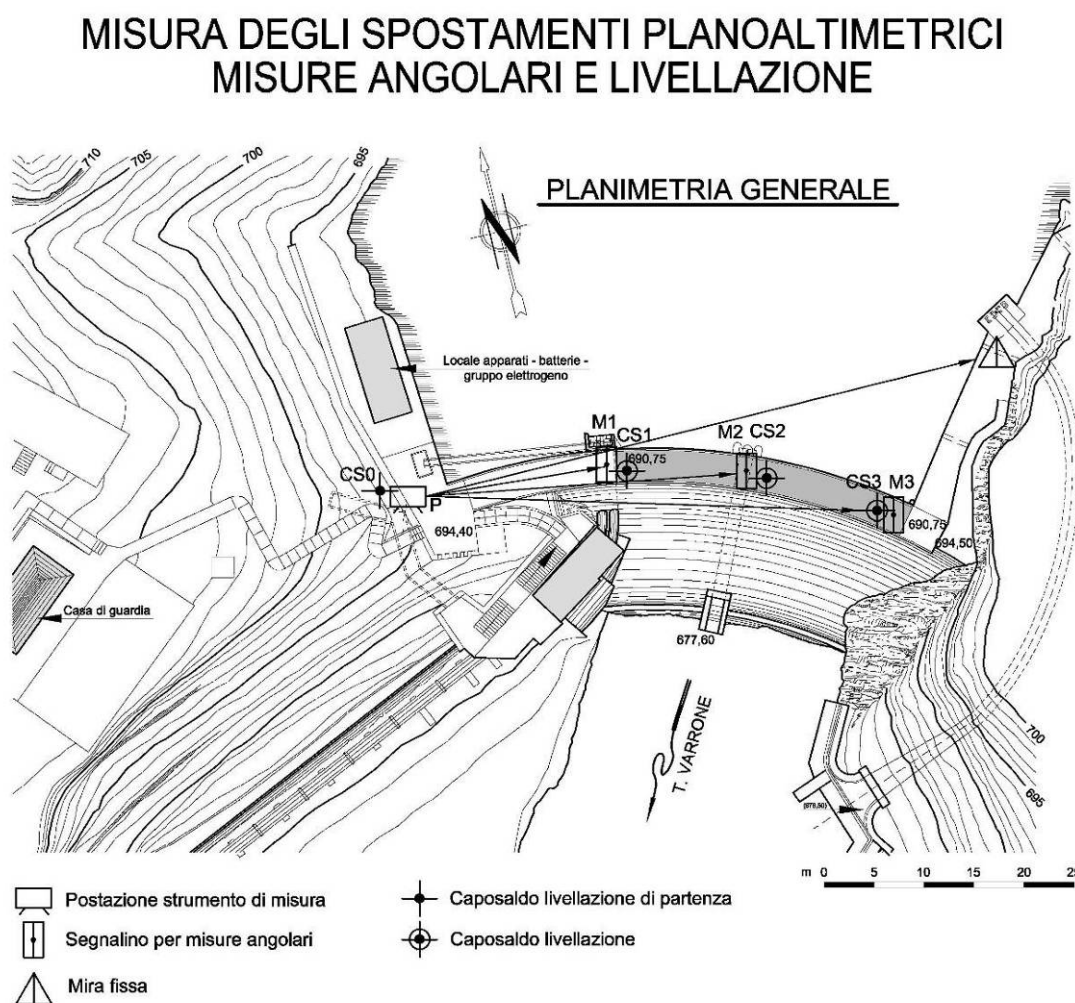
Il livello del serbatoio è rilevato da teleidrometro a lettura continua, installato all'interno di una tubazione in acciaio di con visualizzazione nel locale apparati.

Il segnale, digitale in codice di Gray, attualmente inviato al PT di Sondrio per esigenze di esercizio, dovrà essere duplicato presso l'armadio relé e collegato al sistema di acquisizione.

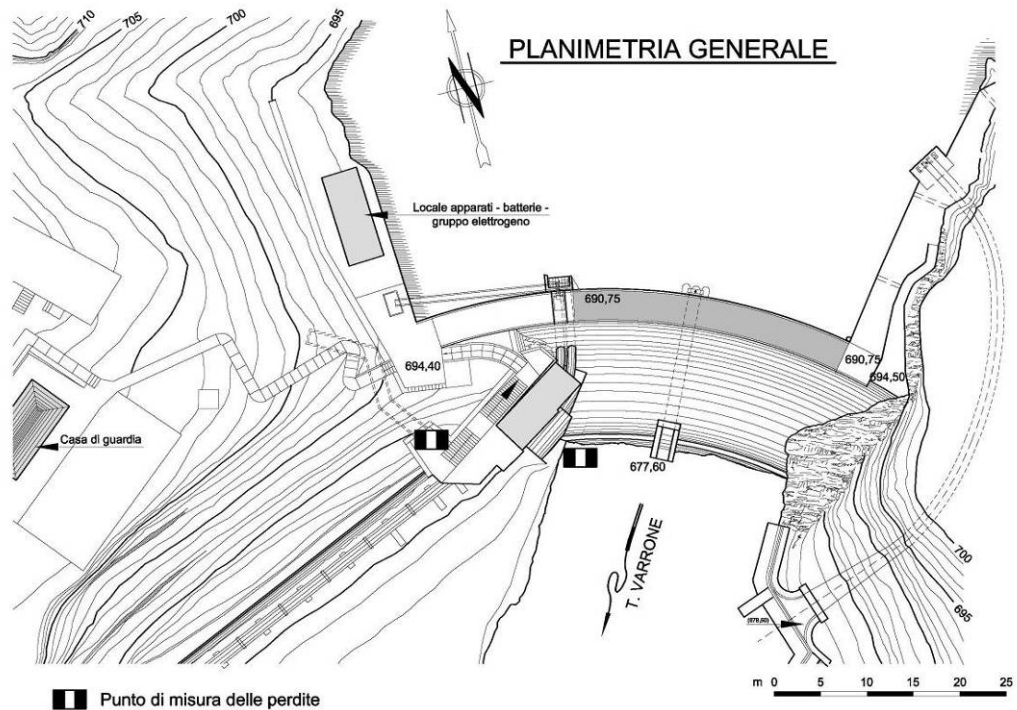
Oltre al sistema di rilevamento automatico verranno effettuate misure e controlli manuali di spostamenti piano altimetrici:

- a) controllo della struttura, spostamenti planimetrici, con frequenza mensile:
collimazione angolare ottica, con base stazione dello strumento in sponda destra su piastrino esistente, mira fissa esistente in sponda sinistra e n. 3 postazioni ubicate sul coronamento;
- b) controllo della struttura, spostamenti altimetrici, con frequenza mensile
livellazione su tre capisaldi disposti sul coronamento in corrispondenza delle postazioni per la collimazione e riferiti a caposaldo ubicato su un manufatto in sponda destra; il dislivello fra detto caposaldo ed il nuovo piano di coronamento impone l'installazione di almeno due punti intermedi di passaggio che verranno realizzati con borchie metalliche fissate al corpo diga.

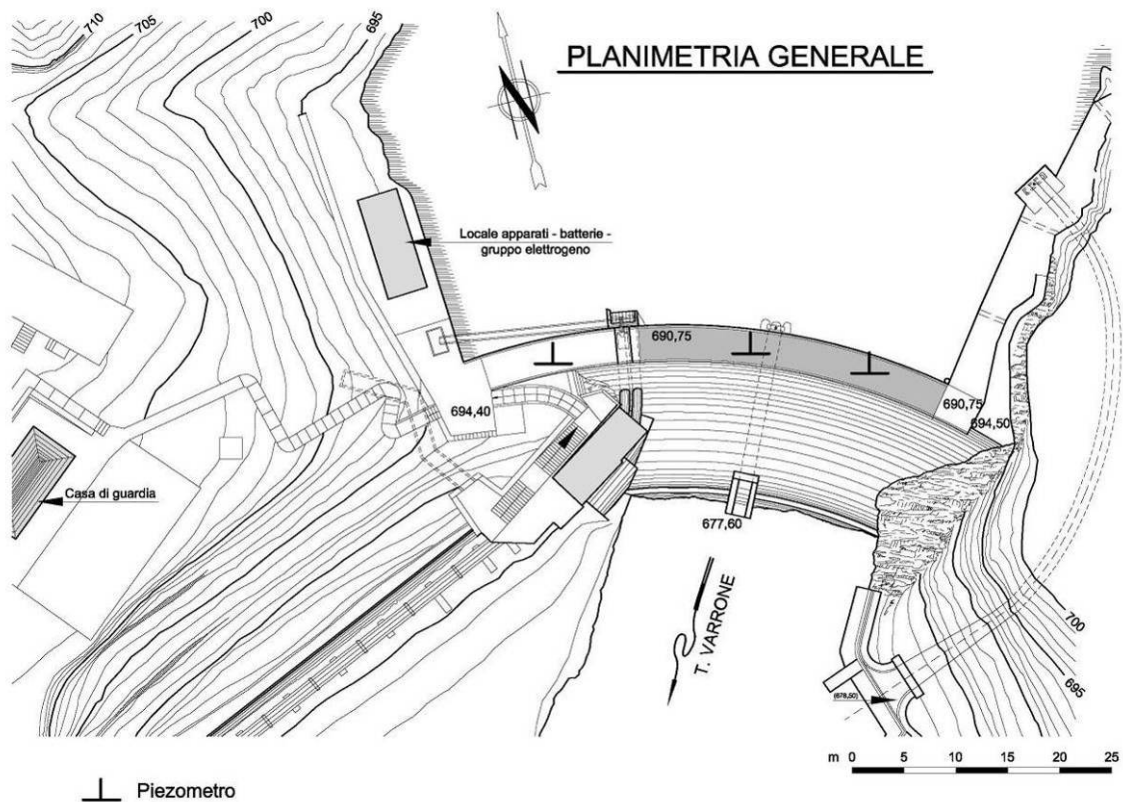
Si riportano di seguito gli schemi planimetrici con indicata la posizione dei componenti del sistema di misura e controllo:



MISURA DELLE PERDITE DELLA DIGA E DELLA SPALLA SINISTRA



MISURA DELLE SOTTOPRESSIONI



RIFERIMENTI

- [1] ANIDEL
Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani – Diga di Pagnona Vol. 3, 1951

- [2] Servizio Nazionale Dighe, Ufficio Periferico di Milano, “Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga di Pagnona (LC)”, Milano 1999.

- [3] ENEL Hydro – Diga di Pagnona – Caratterizzazione della muratura del corpo diga – PIS n. 6166 – Febbraio 2001.

- [4] Enel Produzione – Unità di Idrologia di Mestre – Diga di Pagnona (LC) – Integrazione dello studio idrologico finalizzato alla valutazione della massima piena attesa – Giorgio Galeati – gennaio 2004

- [5] Enel Green Power – Unità di Business Bergamo – Impianto di Corenno – Rilascio del Deflusso Minimo Vitale (DMV) – Nota Tecnica – febbraio 2009