



CONSORZIO DI BONIFICA  
DEL MUSONE, POTENZA, CHIENZI, ASOLA E ALTO NERA  
Macerata

**SBARRAMENTO DI RITENUTA  
SUL RIO CAPO D'ACQUA IN LOCALITA' "BIVIO ERCOLE"  
E OPERE DI GRONDA**

PROGETTO PRELIMINARE

**RELAZIONE TECNICA**

IL PROGETTISTA  
(dott. ing. G.VISENTINI)

Roma, febbraio 2005

 **C.LOTTI & ASSOCIATI**  
SOCIETÀ DI INGEGNERIA S.p.A. - ROMA

**CONSORZIO DI BONIFICA  
DEL MUSONE, POTENZA, CHIENZI, ASOLA E ALTO NERA  
MACERATA**

**SBARRAMENTO DI RITENUTA  
SUL RIO CAPO D'ACQUA IN LOCALITÀ "BIVIO ERCOLE"  
E OPERE DI GRONDA**

**PROGETTO PRELIMINARE**

***RELAZIONE TECNICA***

N° PROGETTO: <b>151.A.001</b>		N° ALLEGATO: <b>A.3</b>			
0	Febbraio 2005	EMISSIONE PER CONSEGNA	F. Menichelli	M. Balzarini	G. Visentini
1					
2					
3					
4					
<b>revisione</b>	<b>data</b>	<b>descrizione</b>	<b>redatto</b>	<b>controllato</b>	<b>approvato</b>

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>3. OPERA DI SBARRAMENTO E INVASO.....</b>	<b>3</b>
3.1    GENERALITÀ.....	3
3.2    INVASO.....	4
3.2.1 <i>Curva di invaso</i> .....	4
3.2.2 <i>Capacità morta</i> .....	4
3.3    SBARRAMENTO.....	6
3.3.1 <i>Geometria del corpo diga</i> .....	6
3.3.2 <i>Opere in corpo diga</i> .....	6
3.3.3 <i>Scavi e fondazioni</i> .....	6
3.3.4 <i>Impermeabilizzazione e drenaggi</i> .....	7
3.4    SCARICO DI SUPERFICIE .....	8
3.4.1 <i>Generalità</i> .....	8
3.4.2 <i>Sfioratore</i> .....	8
3.4.3 <i>Scivolo</i> .....	10
3.4.4 <i>Dissipatore</i> .....	10
3.5    SCARICO DI FONDO .....	13
3.5.1 <i>Generalità</i> .....	13
3.5.2 <i>Condotta di scarico</i> .....	13
3.5.3 <i>Dissipatore</i> .....	16
3.6    SCARICO DI ESAURIMENTO .....	17
3.6.1 <i>Generalità</i> .....	17
3.6.2 <i>Condotta di scarico</i> .....	18
3.7    PRESA IRRIGUA .....	18
3.8    PRESA POTABILE.....	20
3.9    SISTEMAZIONE DELL'ALVEO A VALLE .....	20
3.10    OPERE ACCESSORIE .....	21
3.11    CALCOLI STATICI.....	21
3.11.1 <i>Premessa</i> .....	21
3.11.2 <i>Verifica</i> .....	21
<b>4. OPERE DI GRONDA .....</b>	<b>24</b>
4.1    TRAVERSA DI DERIVAZIONE "ALTO POTENZA" .....	24
4.1.1 <i>Deviazione del tracciato</i> .....	25
4.1.2 <i>Traversa di sbarramento</i> .....	25
4.1.3 <i>Canale sghiaiatore</i> .....	26
4.1.4 <i>Ascensore ittico</i> .....	26
4.1.5 <i>Vasca di carico di monte</i> .....	26
4.1.6 <i>Vasca di dissabbiamento</i> .....	27
4.1.7 <i>Vasca di carico di valle</i> .....	28
4.1.8 <i>Opere accessorie</i> .....	28
4.1.9 <i>Funzionamento idraulico</i> .....	28
4.2    TRAVERSE DI DERIVAZIONE "SORIFA" E "CORNELLO" .....	31

---

4.2.1	<i>Traversa di sbarramento</i> .....	31
4.2.2	<i>Canale sghiaiatore</i> .....	31
4.2.3	<i>Vasca di carico</i> .....	32
4.3	OPERE DI ADDUZIONE .....	32
4.3.1	<i>Generalità</i> .....	32
4.3.2	<i>Linea di adduzione principale</i> .....	32
4.3.3	<i>Linee allaccianti minori</i> .....	33
4.3.4	<i>Opere complementari</i> .....	33
4.3.5	<i>Funzionamento idraulico</i> .....	34
<b>5.</b>	<b>APPENDICE</b> .....	<b>37</b>

## 1. PREMESSA

Il Consorzio di Bonifica del Musone, Potenza, Chienti, Asola e Alto Nera ha incaricato la Carlo Lotti & Associati di redigere il *Progetto preliminare* di uno sbarramento da realizzarsi nell'alto bacino del Potenza; l'opera, che si inserisce all'interno di un vasto programma di estensione dei sistemi irrigui nelle valli dei fiumi Potenza e Chienti, ha il fine di rendere disponibile un volume di invaso tale da consentire una maggiore redditività dei terreni consortili e da costituire una riserva idrica adeguata ad affrontare periodi di carenza idrica

Con gli stessi obiettivi e sulla scorta di un *Piano generale per lo sviluppo irriguo* (Italconsult, 1980) era stata redatto un *Progetto di massima* (C. Lotti & Associati, 1986) il quale prevedeva uno sbarramento sul Fiume Potenza; nonostante l'elevato volume di invaso (circa 30 milioni di m<sup>3</sup>) e la favorevole situazione geotecnica e morfologica, tale soluzione progettuale non aveva avuto seguito in quanto comportava lo spostamento di parte del tracciato della S.S. 361, con costi e impatti ambientali giudicati non sostenibili.

Il persistere delle necessità e delle opportunità che avevano motivato il progetto ha recentemente consigliato la ripresa degli studi in merito alla regolazione dei contributi idrici nel bacino del Potenza e l'elaborazione di soluzioni progettuali che consentissero di ovviare agli impedimenti emersi in precedenza.

## **2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO**

La soluzione progettuale presentata con il presente Progetto preliminare consiste in:

- uno sbarramento sul Rio Capo d'Acqua, tributario del Potenza, nel quale confluisce in sinistra poco a monte della località Bivio Ercole.
- una traversa di derivazione sull'alto Potenza, a monte di Poggio Sorifa
- due traverse di derivazione minori, sui fossi Sorifa e Cornello, anch'esse a monte di Poggio Sorifa
- un'opera di adduzione, parte in condotta interrata e parte in galleria, che trasferisce all'invaso le portate derivate ai bacini allacciati

Le opere descritte ricadono in parte nella Regione Marche ed in parte nella Regione Umbria; in particolare l'invaso è quasi interamente compreso nel comune di Nocera Umbra in provincia di Perugia, le opere di gronda interessano esclusivamente il comune di Fluminata in provincia di Macerata, mentre lo sbarramento attraversa il territorio di entrambi i comuni.

La capacità di invaso a monte dello sbarramento sul Fosso Capo d'Acqua è di 20 milioni di m<sup>3</sup>; gli afflussi provenienti dal bacino presente alle spalle della diga, esteso 12,8km<sup>2</sup> sono completati da quelli derivati nel periodo invernale dal Potenza, dal Sorifa e dal Cornello, i quali assommano un bacino contribuente di 26,8km<sup>2</sup>.

Lo schema adottato consente di derivare, invasare e gestire a fini irrigui e idropotabili (in armonia con le esigenze ecologiche ed ambientali) una parte considerevole dei deflussi provenienti dai principali corsi d'acqua del bacino dell'alto Potenza; al tempo stesso l'invaso e lo sbarramento vengono realizzati su di una porzione del territorio in cui le interferenze con attività antropiche ed infrastrutture sono ampiamente tollerabili, riducendo al minimo gli effetti collaterali indesiderati dell'intervento.

### **3. OPERA DI SBARRAMENTO E INVASO**

#### **3.1 GENERALITÀ**

Lo sbarramento, denominato di Bivio Ercole per omogeneità con il già citato progetto del 1986, si trova sul fosso di Capo d'Acqua, circa 1km a monte della confluenza di questo con il Potenza in località Valle del Frate; il relativo invaso ha una superficie di circa 115 Ha e una capacità di 20 milioni di m<sup>3</sup>, al netto degli interrimenti previsti.

Lo sbarramento previsto viene realizzato con una diga a gravità massiccia in calcestruzzo alta 62 m sulle fondazioni, con uno sviluppo del coronamento di 51 0m ed un volume in calcestruzzo di circa 270.000 m<sup>3</sup>.

La capacità utile totale è pari a 20 milioni di m<sup>3</sup>, dei quali 15 milioni di m<sup>3</sup> saranno destinati all'agricoltura, mentre 5 milioni di m<sup>3</sup> vengono riservati per integrazione potabile.

Circa l'utilizzo di tale risorsa, tanto in termini di comparti irrigui, quanto in termini di fabbisogni idropotabili, è in corso da parte del Consorzio di Bonifica l'aggiornamento delle valutazioni che erano alla base del Progetto di massima del 1986.

Data la notevole distanza dell'invaso dalle principali aree irrigue da servire, le acque regolate del serbatoio verranno rilasciate in alveo a valle della diga e saranno riprese da una traversa dove necessario. Per l'utilizzo delle portate ad uso potabile si rimanda invece alla progettazione di uno schema di adduzione adeguato alle esigenze che verranno evidenziate dai prossimi studi in materia, limitando l'intervento alla realizzazione dell'opera di presa.

## 3.2 INVASO

### 3.2.1 Curva di invaso

La curva di invaso descrive la relazione esistente tra livello di invaso e volume invasato; essa è stata determinata interpolando tra valori noti, ricavati dall'analisi della cartografia tecnica regionale in formato vettoriale tridimensionale.

La curva che meglio approssima i valori di riferimento è la:

$$V = 280.8 (h-h_0)^{2.874}$$

con  $h$  quota assoluta del pelo libero nell'invaso in mslm,  $h_0=498,00$ mslm quota a cui corrisponde il volume di invaso nullo e  $V$  volume invasato in  $m^3$ .

### 3.2.2 Capacità morta

Per il trasporto solido non esistono misure dirette. E' stato necessario pertanto effettuare valutazioni empiriche basate sui dati di trasporto solido misurati in altri bacini, sui dati di interrimento relativi a serbatoi con bacini aventi situazioni geo-morfologiche ed idrologiche simili e sui risultati degli studi effettuati sul grado di erosione dei terreni in situazioni analoghe.

Valutato un trasporto solido di  $400 m^3/km^2/anno$  su di un bacino di  $12,8km^2$  è stato stimato cautelativo assumere un volume di capacità morta di  $600.000m^3$ , sufficiente ad ospitare il deposito relativo ad un orizzonte operativo superiore a 100 anni di funzionamento. Stante il volume di capacità morta adottato, la quota a partire dalla quale si conta il volume utile dell'invaso è  $513,00$ mslm.

Lo sbarramento è stato comunque dotato di uno scarico di esaurimento che, correttamente gestito, permette la parziale evacuazione del materiale depositato a tergo dell'opera, rendendo nuovamente disponibile parte del volume morto.

**Tabella 1 Dati caratteristici dell'invaso**

<b><i>Quote di riferimento</i></b>	
quota massima di regolazione	547.30 m slm
quota di massimo invaso	549.00 m slm
quota di minimo invaso	513.00 m slm
<b><i>Capacità dell'invaso</i></b>	
capacità alla quota di massima regolazione	20.6 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
capacità alla quota di massimo invaso	22.7 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
capacità riservata all'interrimento (volume morto)	0.6 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
capacità utile	20.0 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
capacità riservata all'irrigazione	15.0 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
capacità riservata all'integrazione idropotabile	5.0 *10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
<b><i>Superficie dello specchio d'acqua</i></b>	
superficie alla quota di massima regolazione	109.0 ha
superficie alla quota di massimo invaso	114.5 ha
<b><i>Bacini contribuenti</i></b>	
superficie del bacino sottesa dallo sbarramento	12.8 km <sup>2</sup>
superficie allacciata	26.7 km <sup>2</sup>

### 3.3 SBARRAMENTO

#### 3.3.1 Geometria del corpo diga

L'opera è sbarramento è rappresentata da una diga a gravità massiccia in calcestruzzo, con coronamento a 551,00mslm e sviluppo complessivo di 510m; di questi 320m costituiscono il *corpo principale* della diga, interessando direttamente la valle in cui scorre il Rio Capo d'Acqua, mentre la restante parte colma la lacuna costituita da una sella morfologica, che, per 190m e con massima depressione 540,00mslm circa, si estende sul lato sinistro dello sbarramento.

La diga ha andamento planimetrico prevalentemente rettilineo, con un tratto curvilineo a raccordare il corpo diga principale con la diga di sella.

La massima altezza sulle fondazioni si rileva in corrispondenza di uno dei conci trascinabili, situati in corrispondenza della massima incisione della valle del Rio di Capo d'Acqua, (62 metri).

Ogni coniglio misura 13,00m. ad eccezione dei tre trascinabili e dei due estremali, che misurano 11,00m.

Il paramento di monte ha inclinazione 0,07/1 mentre quello di valle ha inclinazione 0,75/1<sup>1</sup>.

Il coronamento della diga è largo 5,00m e su di esso è ubicata una strada di servizio, la cui continuità in corrispondenza dei conci trascinabili è assicurata da un ponte a tre campate poste su pile appoggiate in corrispondenza dei giunti dei conci.

#### 3.3.2 Opere in corpo diga

Il corpo diga è attraversato da due cunicoli, entrambi dotati di accessi dal paramento di valle: il *cunicolo superiore* si estende per tutto lo sviluppo dello sbarramento, mantenendosi generalmente parallelo al coronamento, mentre il *cunicolo inferiore* interessa esclusivamente il corpo principale della diga, della quale segue la sagoma d'imposta alle estremità per poi assumere andamento orizzontale nella parte centrale, a quota 514.50mslm.

Le opere di scarico e di presa previste sono tutte ospitate nel corpo principale della diga, in corrispondenza dei conci trascinabili.

#### 3.3.3 Scavi e fondazioni

L'approfondimento degli scavi di fondazione è stato definito sulla base delle risultanze delle osservazioni geologiche condotte e presentate nel relativo allegato. In particolare è prevista la totale asportazione del materiale alluvionale presente, con spessore massimo dell'ordine dei 7 m, in corrispondenza dell'incisione del Rio di Capo d'Acqua, al di sotto

---

<sup>1</sup> Valori cautelativi passibili di riduzione a seguito di verifiche statiche di dettaglio

del quale la fondazione in roccia viene approfondita di ulteriori 2 metri. Allontanandosi dal punto più depresso della sezione d'imposta, lo spessore di materiale alterato da rimuovere per raggiungere il piano di fondazione si riduce fino a un minimo di circa 4 metri dal piano campagna. Il piano di fondazione della diga risale trasversalmente, da monte verso valle, con una pendenza del 3%.

### **3.3.4 Impermeabilizzazione e drenaggi**

Lungo tutto lo sviluppo della diga è prevista la realizzazione di uno schermo di impermeabilizzazione onde migliorare la tenuta nelle fondazioni, realizzato con doppia fila di fori verticali distanziati 3,00m con file distanziate 1,50m. La profondità dello schermo sotto la fondazione è prevista in prima ipotesi variabile tra 20m nella zona di massima altezza dello sbarramento e 10m alle estremità e sotto la diga di sella, ma queste indicazioni sono ovviamente passibili di approfondimento nelle successive fasi progettuali.

Nel corpo diga sono previste canne drenanti Ø200, distanziate di circa 2,50 m, che partono dal cunicolo superiore ed affondano al di sotto del piano di fondazione, intersecando il cunicolo inferiore dove presente.

La tenuta idraulica dei giunti è garantita dalla presenza di un nastro di materiale impermeabile, presente con continuità tra conci adiacenti dalle fondazioni al coronamento, in prossimità del paramento di monte. Sui giunti dei conci tracimabili analogo dispositivo è sistemato anche lungo il paramento di valle.

**Tabella 2 Dati caratteristici dello sbarramento**

<b>Quote di riferimento</b>	
quota del piano di coronamento	551.00 m slm
quota media piano campagna (alveo)	498.00 m slm
<b>Altezza dello scavo</b>	
spessore massimo del terreno alluvionale	7.00 m
minimo affondamento della fondazione nel substrato roccioso	2.00 m
<b>Altezze della diga</b>	
altezza dello sbarramento	62.00 m
altezza di massima ritenuta	51.00 m
<b>Franchi rispetto al coronamento</b>	
franco	2.00 m
franco netto*	1.40 m
<b>Coronamento</b>	
sviluppo del coronamento	510 m
larghezza del coronamento	5 m
<b>Paramenti</b>	
pendenza del paramento di monte	0.07 m/m
pendenza del paramento di valle	0.75 m/m
<b>Conci</b>	
numero e larghezza dei conci emergenti	35 x 13.00 m
numero e larghezza dei conci tracimabili	3 x 11.00 m
larghezza dei conci terminali	11.00 m

\* massima ampiezza dell'onda pari a 1.2m, calcolata in base alle indicazioni delle *Norme Tecniche* (Decreto Min.LL.PP. 24 marzo 1082)

### 3.4 SCARICO DI SUPERFICIE

#### 3.4.1 Generalità

Lo sfioratore è stato dimensionato per smaltire, nel rispetto del franco di regolamento, la piena di progetto di 125m<sup>3</sup>/s corrispondente ad un evento con tempo di ritorno millenario (cfr. *A.4-Relazione idrologica*).

Il dissipatore al piede dello sfioratore è stato prescelto del tipo *a risalto*.

In favore di sicurezza non si è tenuto conto nello smaltimento di tale piena dell'effetto di laminazione operato dall'invaso.

#### 3.4.2 Sfioratore

Lo sfioratore è costituito da 3 luci larghe ciascuna 9m, per una lunghezza complessiva di 27m. La soglia, posta a quota 547,30 mslm, è sagomata secondo un profilo *Creager-Scimemi*. Esso è ricavato su tre conci tracimabili, ciascuno di 11m di larghezza, situati in corrispondenza del parte più depressa della sezione sull'asse diga.

### Calcolo idraulico

La portata  $Q$  defluente sulla soglia (in  $\text{m}^3/\text{s}$ ) è fornita dalla:

$$Q = \mu L (2g)^{1/2} h^{3/2} \quad [1.]$$

dove  $\mu$  è il coefficiente di deflusso, che per il profilo scelto per la soglia vale 0,473,  $L$  è larghezza della vena liquida in metri,  $h$  è il carico sulla soglia in metri e  $g$  è l'accelerazione di gravità in  $\text{m}/\text{s}^2$ .

La larghezza della vena liquida è pari a quella della soglia  $L_s$  depurata degli effetti di contrazione del deflusso dovuti alla presenza delle pile e delle spalle; si ha quindi che:

$$L = L_s - b$$

con

$$b = 2 (n k_p + k_0) h \quad [2.]$$

dove, fermi restando i significati delle grandezze già richiamate,  $b$  rappresenta la somma delle contrazioni della vena fluida ancora in metri,  $n$  è il numero delle pile, mentre  $k_p$  e  $k_0$  sono i coefficienti di contrazione rispettivamente relativi alle pile ed alle spalle, per i quali si assume il valore 0,01.

Considerato trascurabile il contributo dell'altezza cinetica della corrente proveniente dall'invaso e assumendo come quota di riferimento quella della soglia, si ha che il carico totale  $H$  e quello piezometrico  $h$  coincidono tra loro e sono pari alla differenza tra la quota nell'invaso e la quota della soglia.

Sostituendo nelle due equazioni [1.] e [2.] i valori di dimensionamento riportati nella

Tabella 4 Dati caratteristici dello scarico di superficie (alla fine di questo capitolo) e facendo riferimento all'evento di piena millenaria, assunto a norma di regolamento quale riferimento della progettazione dello sfioratore, si ha che il carico è pari alla differenza tra la quota di massimo invaso e la quota della soglia e cioè:

$$h=549,00-547.30=1,70\text{m.}$$

la contrazione dovuta alle 2 pile e alle spalle è pari a:

$$b = 2 (3 k_p + k_0) 1.70 = 0,10 \text{ metri}$$

mentre la portata sfiorata sulla soglia risulta:

$$Q = 0.473 (27,00-0,10) (2g)^{1/2} 1.70^{3/2} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.4.3 Scivolo

Uno scivolo convergente ha il compito di raccogliere le portate sfiorate indirizzandole al dissipatore; il suo profilo longitudinale segue la pendenza del paramento di valle dello sbarramento salvo raccordarsi al profilo convesso della soglia sfiorante a monte e assumere un profilo concavo a valle, in modo da orientare orizzontalmente il flusso all'interno della vasca di dissipazione.

Per i calcoli successivi si assume che nel deflusso sullo scivolo venga dissipato il 20% del carico disponibile.

### 3.4.4 Dissipatore

Il dissipatore al piede dello sfioratore è stato prescelto del tipo *a risalto*, tale cioè da contenere all'interno di un tratto di alveo rivestito e dotato di un'opportuna geometria (ma senza l'intervento di pilastri o risvolti) il risalto idraulico nel quale viene dissipato il sovrappiù di energia che la corrente proveniente dallo sfioratore di superficie della diga ha rispetto a quella necessaria al deflusso nell'alveo presente a valle dello sbarramento.

Il dissipatore è costituito da una vasca in calcestruzzo larga 13,00 m e lunga 35,00 m, con fondo a 493,10 mslm, la quale riceve le portate provenienti dallo scarico di superficie per tramite dello scivolo ricavato sul paramento di valle della diga, il cui profilo si raccorda al fondo della vasca, e le rilascia, dopo averne dissipato in parte l'energia, nel tratto canalizzato di alveo presente a valle e posto a quota 497.50 mslm. Tra la vasca di dissipazione e l'alveo canalizzato è quindi presente una soglia di circa 4,50 m.

#### Calcolo idraulico

Il calcolo di dimensionamento è stato svolto con riferimento alla trattazione di Citrini (riportata da F. Arredi in *Costruzioni idrauliche*, Vol.II, UTET, 1977), la quale permette di ricavare, attraverso un procedimento iterativo, il valore dell'affondamento della vasca di dissipazione rispetto alla quota d'alveo necessario a garantire, nelle condizioni di progetto, che il risalto avvenga all'interno della vasca stessa. La procedura consiste nell'esprimere le condizioni a monte e a valle del risalto in funzione dell'affondamento  $a$  della vasca (in metri) e di grandezze note: la portata per unità di larghezza  $q$  in  $\text{m}^2/\text{s}$ , il carico totale della corrente sulla soglia dello sfioratore  $H_m$  e quello nell'alveo a valle della vasca di dissipazione  $H_v$ , entrambi calcolati con riferimento alla quota di fondo alveo di valle.

Ricordiamo nel seguito le espressioni che conducono alla soluzione del problema in esame, riferito alla condizione di deflusso in alveo rettangolare:

- le altezze coniugate a monte e a valle del risalto ( $y_m$  e  $y_v$  rispettivamente, entrambe in metri) sono legate dalle relazione:

$$y_v / y_m = \frac{1}{2} ((1 + 8 F_m^2)^{1/2} - 1) \quad [3.]$$

dove  $F_m$  è il numero di Froude calcolato nella sezione di monte

- il carico totale  $H_{sf}$ , sullo sfioratore, l'altezza d'acqua  $y_m$  e la velocità  $U_m$  nella vasca di dissipazione a monte del risalto sono messe tra loro in relazione per mezzo dell'equazione di Bernulli:

$$H_{sf} = -a + y_m + U_m^2 / 2g + \Delta H \quad [4.]$$

nella quale la perdita di carico  $\Delta H$  dovuta alle resistenze opposte alla corrente lungo lo scivolo può essere messa in diretta relazione con l'altezza cinetica della corrente al piede dello stesso per mezzo di un coefficiente  $c$  (approssimativamente pari a 0.8)

- in un canale rettangolare l'altezza critica  $y_c$  (in metri) e la portata per unità di larghezza  $q$  (in  $m^3/s/m$ ) sono legate dalla:

$$y_c^3 = q^2 / g \quad [5.]$$

la quale si ricava imponendo la condizione di criticità al numero di Froude e cioè:

$$F = U / (g y_c)^{1/2} = 1$$

dove  $U$  è la velocità della corrente in m/s e  $g$  è l'accelerazione di gravità; per una corrente in un canale a sezione rettangolare ne deriva, chiamata  $A_c$  la sezione bagnata in condizioni di moto critico:

$$1 = U / (g y_c)^{1/2} = (Q / A_c) / (g y_c)^{1/2} = (q / y_c) / (g y_c)^{1/2}$$

da cui la [5.].

- perché il risalto idraulico venga confinato all'interno della vasca di dissipazione occorre imporre infine i carichi totali della corrente nella vasca a valle del risalto  $H_v$  e in alveo  $H_a$  risultino uguali, a meno dell'affondamento  $a$  della vasca rispetto alla quota d'alveo di valle:

$$H_a - H_v = a \quad [6.]$$

Le equazioni sopra richiamate rappresentano un sistema che (nell'approccio del Citrini) viene risolto per tentativi rispetto all'incognita  $\xi = y_c / y_m$ , noti i valori di  $q$  (e quindi di  $y_c$ ), di  $H_m$  e di  $H_a$ , ricavando poi grazie alle equazioni precedenti i valori di  $y_m$ , di  $a$  e di  $y_v$ .

Nota la portata di dimensionamento  $Q = 125 m^3/s$  e quindi  $q = 125/13 = 9,6 m^2/s$ , il calcolo iterativo ha determinato i seguenti valori delle grandezze idrauliche:

**Tabella 3 Grandezze idrauliche nello scarico di superficie**

grandezze idrauliche	soglia di sfioro	vasca di dissipazione		alveo	unità di misura
		monte risalto	valle risalto		
altezza d'acqua (y)	1,7	0,3	7,5	1,8	m
velocità (U)	-	30,2	1,3	5,4	m/s
carico totale rispetto quota alveo (H)	51,5	42,3	3,2	3,2	m

Le dissipazioni sullo scivolo sono responsabili della differenza di carico totale della corrente previsto sulla soglia di sfioro e nella vasca a monte del risalto, il quale poi determina l'ulteriore perdita di carico prevista all'interno della vasca.

Per determinare la lunghezza  $L$  della vasca di dissipazione sono state confrontate e opportunamente incrementate le stime empiriche fornite dalle due equazioni seguenti, proposte rispettivamente da Safranez (1933) e Certussov (1935):

$$L_{\text{Safranez}} = 5,9 y_m F_m = 5,9 \times 0,3 \times 17,0 = 30,0 \text{ m}$$

$$L_{\text{Certussov}} = 10,3 y_m (F_m - 1)^{0,81} = 10,3 \times 0,3 \times (17,0 - 1)^{0,81} = 29,9 \text{ m}$$

Il dettaglio delle dimensioni caratteristiche della vasca di dissipazione, così come risultanti dal calcolo sopra richiamato, sono fornite nella tabella che segue.

**Tabella 4 Dati caratteristici dello scarico di superficie**

<b>Soglia sfiorante</b>	
tipologia	<i>soglia libera</i>
profilo della soglia	<i>Creager-Scimeni</i>
quota soglia	547.30 m slm
sviluppo totale luce	27 m
carico massimo sulla soglia (TR=1000 anni)	1.70 m
portata massima sfiorata (TR=1000 anni)	125 m <sup>3</sup> /s
<b>Dissipatore</b>	
larghezza scivolo (nella parte terminale)	13.00 m
quota di fondo vasca di dissipazione	493.10 m slm
affondamento vasca di dissipazione	4.40 m
lunghezza vasca di dissipazione	35.00 m
larghezza vasca di dissipazione	13.00 m
quota di fondo alveo	497.50 m slm
pendenza alveo	0.006 m/m
larghezza alveo	13.00 m

### 3.5 SCARICO DI FONDO

#### 3.5.1 Generalità

Lo scarico di fondo ha la finalità di consentire lo svuotamento dell'invaso in tempi ragionevolmente rapidi, compatibilmente con la capacità di deflusso dell'alveo di valle.

L'opera prevista è dimensionata con riferimento ad una portata massima di 55m<sup>3</sup>/s, la quale consente lo svuotamento completo del serbatoio (dalla quota di massimo invaso a quella di minimo invaso) in circa 6,5 giorni e il suo semi-svuotamento (rilascio della metà dei circa 22,1 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> compresi tra le due quote suddette) in circa 2,6 giorni.

Il dissipatore al piede della condotta di scarico è stato prescelto del tipo *a risalto* ed è posto in affiancamento a quello asservito allo scarico di superficie.

#### 3.5.2 Condotta di scarico

La condotta di scarico è rappresentata da una tubazione blindata in acciaio di diametro 2,00 m, alloggiata all'interno del corpo diga, al quale è assicurata per mezzo di corone; la quota di scorrimento all'imbocco si trova a 512,00 mslm (un metro al di sotto della quota di minimo invaso).

L'imbocco della condotta è presidiato da una camera nella quale è possibile alloggiare panconature, sia per necessità connesse alla presenza di detriti a quota superiore a quella di scorrimento, sia per l'esecuzione di interventi da monte senza il completo svuotamento dell'invaso.

L'opera viene intercettata per mezzo di una coppia di paratoie 1,40x1,60 in serie, situate a circa 7 m dall'imbocco, in corrispondenza di un restringimento della condotta, e comandate dalla soprastante camera di manovra, raggiungibile da valle tramite il cunicolo inferiore della diga. A valle delle paratoie fino ad una distanza di circa 10 m dall'imbocco

della condotta, essa diverge per raggiungere nuovamente un diametro di 2,00 m. Da questo punto e per circa 10,5 m la condotta riamane rettilinea e dotata di una pendenza pari a 0,01 m/m. Infine in corrispondenza dello sbocco la condotta assume un andamento altimetrico convesso, mentre subisce una contemporanea divaricazione planimetrica, raccordandosi così allo scivolo che ne recapita il deflusso alla vasca di dissipazione.

### Calcolo del tempo di vuotamento dell'invaso

Per il calcolo del tempo di vuotamento dell'invaso è necessario definire preliminarmente:

1. la relazione tra quote e volumi nell'invaso, o più semplicemente la *curva di invaso*
2. la *legge di efflusso* dal serbatoio

Supposti trascurabili gli afflussi, la combinazione delle due equazioni consente di risolvere l'equazione di continuità.

La determinazione della *curva di invaso*, è stata oggetto di trattazione in un precedente paragrafo.

Per quanto riguarda la *legge di efflusso*, essa è funzione delle caratteristiche della condotta di scarico e dal battente idraulico determinato dai livelli (variabili) presenti nell'invaso.

L'equazione della conservazione dell'energia, nella forma definita da Bernulli, consente di legare il carico totale della corrente nella sezione di monte (imbocco)  $H_m$  con quello alla sezione di valle (sbocco), articolato in carico piezometrico  $h$ , altezza cinetica  $U^2/2g$  e sommatoria delle perdite di carico tra le due sezioni  $\Delta H_{mv}$ :

$$H_m = h + U^2/2g + \Delta H_{mv} \quad [7.]$$

in essa le perdite di carico principali sono relative alle resistenze diffuse dovute al moto della corrente nella condotta, pari al prodotto della lunghezza della condotta per la cadente piezometrica  $J$ , e a quelle concentrate relative all'imbocco, alle paratoie e alle variazioni di geometria della condotta.

Poiché all'estremità di valle della condotta il carico totale della corrente sostanzialmente coincide con la sua altezza cinetica (presa a riferimento la quota dell'asse della condotta), esprimendo la velocità  $U$  in funzione della portata  $Q$  e dell'area  $A$  della condotta, la [7.] può essere così semplificata:

$$H_m = (Q/A)^2/2g + \Delta H$$

Con l'obiettivo di esprimere l'equazione del moto in funzione delle sole grandezze  $H$  e  $Q$ , procediamo quindi ad esplicitare il termine relativo alla perdita di carico:

- Le perdite concentrate relative all'imbocco, alla convergenza e alle paratoie possono essere espresse per mezzo della generica equazione:

$$\Delta H' = k U^2/2g = k (Q/A)^2/2g = k/(2gA^2) \cdot Q^2$$

nella quale per i calcoli all'imbocco occorre utilizzare il coefficiente  $k_{in}=0,10$  e l'area  $A$ , per quelli sulla convergenza il coefficiente  $k_c=0,13$  e l'area  $A_p$ , mentre per quelli alle paratoie il coefficiente  $k_p=0,20$  e l'area  $A_p$ .

- Per quanto riguarda le perdite distribuite, l'equazione del moto uniforme nelle condotte circolari in pressione, da moltiplicare per la lunghezza della condotta interessata dal moto, è la seguente:

$$\lambda/D U^2/(2g)$$

e può essere riscritta, sostituendo il velocità  $U$  con l'espressione  $Q/A$ , dove  $Q$  è la portata e  $A=\pi D^2/4$  è la sezione del deflusso raccogliendo il coefficiente  $\beta$  i termini  $\lambda/(2g \pi^2)$ , nella forma:

$$J = \beta Q^2/D^5 \quad [8.]$$

Adottando per il coefficiente  $\beta$  la forma di Manning:

$$\beta = (4^{10/3}/\pi^2) (n_m^2 / D^{1/3})$$

nella quale  $n_m$  rappresenta il coefficiente di scabrezza la [8.] diventa:

$$J = (10,3) \cdot n_m^2 Q^2 / D^{16/3}$$

e quindi le perdite distribuite lungo un tratto di sviluppo  $L$ , espresse funzione delle grandezze  $H$  e  $Q$ , sono fornite dalla:

$$\Delta H'' = J L = (10,3 \cdot n_m^2 / D^{16/3}) \cdot L \cdot Q^2$$

Possiamo quindi riscrivere l'espressione semplificata della [7.] nella forma:

$$H_m = 1/(2gA^2)Q^2 + k_{in}/(2gA^2)Q^2 + k_c/(2gA_p^2)Q^2 + k_p/(2gA^2)Q^2 + (10,3n_m^2/D^{16/3})LQ^2$$

E quindi:

$$H_m = 1/(2gA^2) Q^2 + k_{in}/(2gA^2) Q^2 + (k_c+k_p)/(2gA_p^2) Q^2 + (10,3 n_m^2 L / D^{16/3})Q^2$$

ovvero:

$$Q^2 = H_m / (K_v + K_1 + K_2 + K_3)$$

$$K_v = 1/(2gA^2) \quad \text{termine cinetico}$$

$$K_1 = 10,3 n_m^2 L / D^{16/3} \quad \text{termine delle perdite diffuse}$$

$$K_2 = k_{in}/(2gA^2) \quad \text{termine delle perdite concentrate all'imbocco}$$

$$K_3 = (k_c+k_p)/(2gA_p^2) \quad \text{termine delle perdite concentrate alle paratoie}$$

Scritta in questo modo, l'equazione di conservazione dell'energia consente di esprimere la portata in diretta funzione del carico disponibile e di determinare quindi la legge di efflusso dall'invaso.

Nel caso in esame, adottati per i coefficienti di perdita di carico i valori sopra richiamati, per il coefficiente di scabrezza di Manning il valore  $n_m=0,011$  e per la geometria della condotta di scarico i valori riportati nella *Tabella 6 Dati caratteristici dello scarico di fondo*, si ottengono i seguenti valori per i coefficienti  $K$ :

$$K_v = 1/(2g \cdot 3,14^2) = 5,16 \cdot 10^{-3}$$

$$K_1 = 10,3 \cdot 011^2 \cdot 22 / 2^{16/3} = 6,80 \cdot 10^{-4}$$

$$K_2 = 0,10 / (2g \cdot 3,14^2) = 5,16 \cdot 10^{-4}$$

$$K_3 = (0,13+2 \cdot 0,20) / (2g \cdot (1,40 \cdot 1,60)^2) = 5,40 \cdot 10^{-3}$$

che sommati danno  $(K_v+K_1+K_2+K_3) = 1,2 \cdot 10^{-2}$ .

È possibile a questo punto mettere a sistema la *curva di invaso* con la *legge di efflusso*:

$$Q^2 = 1,2 \cdot 10^2 H_m$$

$$V = 280,8 (h-h_0)^{2,874}$$

dove  $Q$  è la portata in  $m^3/s$ ,  $H_m$  è il carico totale sull'asse della condotta in metri,  $V$  è il volume di invaso in  $m^3$ ,  $h$  la quota assoluta in mslm e  $h_0=498,00$ mslm.

Nelle condizioni di massimo carico, pari a 36m sull'asse della condotta, la portata effluente è pari a  $55m^3/s$ , a cui corrisponde una velocità di circa 18m/s nella condotta e di circa 25m/s alle paratoie.

Le due equazioni sopra richiamate permettono di determinare l'andamento dei volumi e dei livelli nell'invaso e quello delle portate nella condotta di scarico deducendone, infine, il tempo di vuotamento dell'invaso; il dettaglio del calcolo è fornito nella tabella *Svuotamento dell'invaso* in appendice.

### 3.5.3 Dissipatore

Il dissipatore al piede dello scarico di fondo è stato prescelto del tipo *a risalto*, in analogia con quello dello scarico di superficie, esso è costituito da una vasca in calcestruzzo larga 7,00m lunga 30,00 m, con fondo a 494,20 mslm, la quale riceve le portate provenienti dallo scarico di fondo per tramite dello scivolo ricavato sul paramento di valle della diga, il cui profilo si raccorda al fondo della vasca, e le rilascia, dopo averne dissipato in parte l'energia, nel tratto canalizzato di alveo presente a valle e posto a quota 497.50mslm. Tra la vasca di dissipazione e l'alveo canalizzato è quindi presente una soglia di circa 3,30m.

#### Calcolo idraulico

Il calcolo di dimensionamento è stato svolto in modo analogo a quello dello scarico di superficie al quale si rimanda per ogni descrizione dello schema teorico adottato.

Nel caso in esame, nota la portata di dimensionamento  $Q=55m^3/s$  e quindi  $q=55/7=7,9m^2/s$ , il calcolo iterativo ha determinato i seguenti valori delle grandezze idrauliche:

**Tabella 5 Grandezze idrauliche nello scarico di fondo**

grandezze idrauliche	sbocco condotta	vasca di dissipazione		alveo	unità di misura
		monte risalto	valle risalto		
altezza d'acqua (y)	-	0,3	6,0	1,7	m
velocità (U)	17,6	23,7	1,3	4,7	m/s
carico totale rispetto quota alveo(H)	31,3	25,7	2,8	2,8	m

Le dissipazioni sullo scivolo sono responsabili della differenza di carico totale della corrente previsto al termine della condotta di scarico e nella vasca a monte del risalto, il quale poi determina l'ulteriore perdita di carico prevista all'interno della vasca.

Per determinare la lunghezza  $L$  della vasca di dissipazione sono stati confrontati e opportunamente incrementate le stime empiriche fornite dalle due equazioni seguenti, proposte rispettivamente da Safranez (1933) e Certussov (1935):

$$L_{\text{Safranez}} = 5,9 y_m F_m = 5,9 \times 0,3 \times 13,1 = 23,2 \text{ m}$$

$$L_{\text{Certussov}} = 10,3 y_m (F_m - 1)^{0,81} = 10,3 \times 0,3 \times (13,1 - 1)^{0,81} = 23,3 \text{ m}$$

Il dettaglio delle dimensioni caratteristiche della vasca di dissipazione e dalle altre opere costituenti lo scarico di fondo, così come risultanti dai calcoli sopra richiamati sono fornite nella tabella che segue.

**Tabella 6 Dati caratteristici dello scarico di fondo**

<b>Condotta</b>	
tipo	<i>circolare in acciaio</i>
dimensioni (diametro)	2.00 m
lunghezza condotta fino alle paratoie	10.00 m
lunghezza condotta a valle delle paratoie (escluso divergente)	11.50 m
pendenza della condotta a valle delle paratoie	0,01 m/m
quota asse condotta (tratto in pressione)	513.00 mslm
quota asse condotta allo sbocco	512.80 mslm
<b>Organi di intercettazione</b>	
tipo	due paratoie piane in serie
altezza paratoie	1.6 m
larghezza paratoie	1.4 m
<b>Grandezze idrauliche</b>	
portata massima	55 m <sup>3</sup> /s
tempo di vuotamento	156 ore
quota massimo invaso	549.00 mslm
battente max (rispetto asse condotta)	36.00 m
velocità max nella condotta in pressione	17,60 m/s
<b>Dissipatore</b>	
larghezza scivolo (nella parte terminale)	7.00 m
quota di fondo vasca di dissipazione	494.20 m slm
affondamento vasca di dissipazione	3.30 m
larghezza della vasca di dissipazione	7.00 m
lunghezza vasca di dissipazione	30,00 m
quota di fondo alveo	497.50 m slm
pendenza alveo	0.006 m/m
larghezza alveo	7.00 m

## 3.6 SCARICO DI ESAURIMENTO

### 3.6.1 Generalità

Lo scarico di esaurimento ha la finalità di svuotare dall'acqua e dai depositi, per quanto possibile, la porzione di volume posta al di sotto della quota di minimo invaso e rendere nuovamente disponibile parte del *volume morto*. Lo scarico di esaurimento viene azionato solo dopo che sia stata raggiunta, per motivi naturali o attraverso la regolazione, la quota di minimo invaso.

Dato il poco carico di cui è dotata la corrente e non si ritiene necessario, in prima istanza, la presenza di un dissipatore allo sbocco della condotta, che avviene direttamente in alveo dopo un percorso rettilineo di circa 135m.

### 3.6.2 Condotta di scarico

L'opera prevista è costituita da una condotta circolare in acciaio di 800mm di diametro, inserita per la parte all'interno del corpo diga. L'asse della condotta ha una pendenza di 0,0025 m/m e, all'imbocco, è posto a quota 498,50mslm.

L'opera viene intercettata per mezzo di una saracinesca, situata all'interno della camera di manovra presente immediatamente a valle dello sbarramento e da cui si governano anche le prese irrigue e potabili. In corrispondenza dello sbocco della condotta è presente una valvola di non ritorno.

Le grandezze idrauliche calcolate con riferimento alla condizione di massimo carico, ossia con livello del serbatoio a quota 512,00mslm (generatrice inferiore della condotta di scarico di fondo) sono le seguenti:  $Q_{max}=4,1m^3/s$ ,  $U_{max}=8,1m/s$ , alle quali è associata una perdita di carico circa 10m.

### 3.7 PRESA IRRIGUA

La captazione delle acque destinate all'irrigazione avviene in corrispondenza dello sbarramento stesso. L'opera di captazione, ospitata sul paramento di monte della diga, è presidiata da una camera alta circa 5,5m a partire da quota 510,90mslm, nella quale è possibile alloggiare panconature, sia per necessità connesse alla presenza di detriti a ridosso del corpo diga, sia per l'esecuzione di interventi da monte senza il completo svuotamento dell'invaso. L'ingresso dell'opera di captazione è presidiato da una paratoia piana e da una griglia dimensionata in modo da impedire il passaggio di materiale grossolano.

Le portate captate vengono raccolte da una condotta circolare in acciaio di 800mm di diametro, la quale è così articolata:

1. un tratto di 26,00m, con asse orizzontale a quota 511,50mslm, che attraversa il corpo diga
2. un tratto il quale assume la medesima inclinazione del paramento di valle, venendo alloggiato in uno scasso del medesimo,
3. un tratto nuovamente orizzontale a valle dello sbarramento, il quale attraversa la camera di manovra, dove la condotta viene intercettata da una valvola a farfalla Ø800.
4. un ultimo tratto verticale, al termine del quale avviene il rilascio delle captazioni all'interno di una vasca per mezzo di una valvola a getto cavo Ø600.

Un canale di trasporto rettangolare di larghezza 1,50m, altezza 1,00m e pendenza 0,0075m/m recapita le portate destinate all'agricoltura dalla vasca all'alveo, dal quale saranno derivate dove necessario.

#### Calcolo idraulico

Il calcolo di dimensionamento è stato svolto in modo analogo a quello dello scarico di fondo al quale si rimanda per ogni descrizione dello schema teorico adottato.

Tutte le opere suddette sono state dimensionate con riferimento ad una portata massima di  $2\text{m}^3/\text{s}$ , all'incirca pari al contributo costante necessario al rilascio del maggiore tra i volumi mensili complessivi previsti (5 milioni di  $\text{m}^3$  nel mese di luglio).

La verifica del funzionamento della condotta è stata quindi svolta nella condizione di carico meno vantaggiosa, ossia ipotizzando che all'inizio del mese di luglio sia disponibile nell'invaso il volume strettamente necessario all'erogazione prevista (pari a 5 milioni di  $\text{m}^3$ ); è evidente che l'eventuale disponibilità di una maggiore riserva d'acqua comporta la presenza di un maggiore battente all'imbocco della presa e quindi una condizione di captazione maggiormente favorevole.

Nella condizione di riferimento prevista e al livello di dettaglio necessario in questa fase della progettazione, possiamo considerare quale battente medio nel mese di luglio, quello corrispondente ad un volume utile di invaso pari alla metà di quello minimo necessario; risultando 520,80mslm la quota di invaso relativa ad un volume utile di 2,5 milioni di  $\text{m}^3$  ed essendo il baricentro dell'opera di presa a quota 511,50mslm, il carico medio disponibile è pari a 9,30m circa.

Adottando lo stesso approccio già utilizzato per definire il rapporto tra carico e portata, ovvero:

$$Q^2 = H_m / K$$

dove ai termini già visti si aggiunge quello relativo alle perdite nei gomiti

$$K_4 = k_g / (2gA^2) \quad \text{termine delle perdite concentrate nelle curve della condotta}$$

e adeguando correttamente il termine relativo agli organi di regolazione  $K_3$  possiamo scrivere:

$$Q^2 = H_m / (K_v + K_1 + K_2 + K_3 + K_4)$$

Adottati per i coefficienti di perdita di carico i valori di letteratura, per il coefficiente di scabrezza di Manning il valore  $n_m = 0,011$  e per la geometria della condotta di scarico i valore riportati nella *Tabella 7 Dati caratteristici della presa irrigua*, si ottengono i seguenti valori per i coefficienti  $K$ :

$$K_v = 1 / (2g \cdot 0,50) = 2,00 \cdot 10^{-1}$$

$$K_1 = 10,3 \cdot 0,011^2 \cdot 64 / 0,8^{16/3} = 2,60 \cdot 10^{-1}$$

$$K_2 = 0,10 / (2g \cdot 0,50^2) = 2,00 \cdot 10^{-2}$$

$$K_3 = (0,50 + 1 \cdot 1,00) / (2g \cdot 0,28^2) = 9,60 \cdot 10^{-1}$$

$$K_4 = 4 \cdot 0,4 / (2g \cdot 0,50^2) = 3,20 \cdot 10^{-1}$$

che sommati danno  $(K_v + K_1 + K_2 + K_3) = 1,76$

Ne deriva una portata (in media nella condizione di invaso più sfavorevole) di  $2,3\text{m}^3/\text{s}$ , superiore con opportuno margine a quella minima necessaria; ad essa corrisponde una velocità in condotta di 4,6m/s e perdite di carico per 8,2m.

Per quanto attiene al *canale di trasporto*, la portata di riferimento defluisce con tirante pari a 0,53m, risultando un franco sulle sponde di 0,47m.

**Tabella 7 Dati caratteristici della presa irrigua**

<b>Condotta</b>	
Tipo	<i>circolare in acciaio</i>
dimensioni (diametro)	0.800 m
lunghezza condotta	64.00 m
quota asse condotta all'imbocco	511.50 mslm
organi di regolazione	<i>valvola a farfalla</i>
	<i>valvola a getto cavo</i>
diametri degli organi di regolazione	0.600 m
portata massima di riferimento	2,0 m <sup>3</sup> /s
<b>Canale di trasporto</b>	
tipo	<i>rettangolare in calcestruzzo</i>
lunghezza	500 m
larghezza di base	1.50 m
altezza delle sponde	1.00 m
pendenza del fondo	0.75%
coeff. scabrezza di manning ( <i>nm</i> )	0.016

### 3.8 PRESA POTABILE

La captazione della acque destinate ad integrazione potabile avviene anch'essa in corrispondenza dello sbarramento, attraverso tre opere di presa poste a diverse quote e presidiate da paratoie piane, le quali rilasciano le acque captate in una torre di raccolta dalla quale parte una condotta Ø500, che con quote l'andamento analogo a quello descritto per la presa irrigua, raggiunge la camera di manovra già ricordata.

Le aperture lato monte sono dotate di griglie dimensionate in modo da impedire il passaggio di materiale grossolano, mentre l'estremità di valle della condotta è chiusa da una flangia cieca.

### 3.9 SISTEMAZIONE DELL'ALVEO A VALLE

Allo scopo di prevenire situazioni di dissesto e garantire la regolarità dei deflussi in occasione del transito delle portate di scarico provenienti dagli organi di regolazione e sicurezza della diga, si prevede una sistemazione dell'alveo a valle dell'invaso per circa 250m, inizialmente per mezzo di una canalizzazione in calcestruzzo raccordata alle vasche di dissipazione dello scarico di fondo e di quello di superficie, poi tramite modeste risagomature dalla sezione, che sostanzialmente conservano l'attuale conformazione dell'alveo, unite al rivestimento del fondo e delle sponde con materassi reno e gabbionature.

#### Calcolo idraulico

Il calcolo di dimensionamento è stato svolto in moto uniforme con riferimento alla massima delle portate di scarico previste nel dimensionamento, pari a 125m<sup>3</sup>/s e relativa all'intervento dello sfioratore di superficie in occasione della piena millenaria.

La sezione rappresentativa dell'alveo ha sagoma trapezia, con larghezza del fondo pari a 18m e sponde alte 2 m dotate di inclinazione 0,20m/m; il tratto immediatamente a valle dello sbarramento ha una pendenza naturale di circa 0,015m/m.

Adottando una coefficiente di scabrezza di Manning di 0,025, nelle condizioni oggetto della verifica si ottiene un tirante d'acqua di 1,15m e di conseguenza un franco sulle sponde di 0,85m, largamente sufficiente.

### 3.10 OPERE ACCESSORIE

La casa di guardia si trova in corrispondenza della spalla destra dello sbarramento, trovando posto in un modesto sbancamento ed è accessibile transitando sul coronamento della diga.

L'accesso al coronamento è garantito da una strada in cresta all'altura su cui si innesta la spalla sinistra dello sbarramento, la quale, dopo un primo tratto di nuova realizzazione di circa 500m, si sovrappone al tracciato di una esistente strada campestre che, dopo altri 900m circa, raggiunge la S.P. 272 di Monte Alago (o Strada Clementina) all'altezza di Casa Giorgio.

L'accesso al piede della diga viceversa, tanto nel periodo di costruzione, quanto in quello di esercizio, avviene per mezzo della viabilità già esistente nel fondovalle del Rio di Capo d'Acqua.

### 3.11 CALCOLI STATICI

#### 3.11.1 Premessa

Per la verifica statica dello sbarramento si è fatto riferimento alle *Norme tecniche per la progettazione e costruzione delle dighe di sbarramento* di cui al Decreto Min. LL.PP. del 24 marzo 1982.

Dato il carattere preliminare della presente fase di progettazione ci si è limitati a verificare la stabilità allo scorrimento nelle condizioni di carico più gravose relativamente ad una schematizzazione geometrica dei conci di maggiore altezza scelti tra quelli tracimabili e tra quelli emergenti (nel seguito identificati dal pedice *tr* e *em*),

Gli approfondimenti e le ulteriori verifiche, in particolare quelle che tengono in conto le azioni sismiche, vengono riservate alle successive fasi della progettazione.

#### 3.11.2 Verifica

Per la verifica di stabilità allo scorrimento, tenuto conto delle approssimazioni accettabili nella progettazione preliminare, vengono prese in considerazione le seguenti forze, misurate in kg/m con riferimento all'unità di larghezza nel senso trasversale allo sbarramento:

1. il peso proprio dello sbarramento:  $P = \gamma_c A$

2. la spinta idrostatica:  $S_i = \frac{1}{2} \gamma_w h_m^2$   
 3. la sottospinta in fondazione:  $S_s = \int_B p_s dx$

dove  $\gamma_c$  e  $\gamma_w$  sono i pesi specifici di calcestruzzo ed acqua rispettivamente ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  è la superficie della sezione trasversale del concio oggetto di analisi ( $\text{m}^2$ ),  $h_m$  è l'altezza dell'acqua a monte dello sbarramento (m); infine  $p_s$  e  $B$  rappresentano l'andamento delle sottopressioni in fondazione in  $\text{kg/m}^2$  e lo sviluppo della fondazione in m rispetto alla direzione trasversale allo sbarramento.

L'area trasversale dei conci oggetto di verifica è stata misurata con riferimento alle sezioni n.1 e n.2 dell'elaborato B.3.2 - *Sezioni tipo*, dove sono rappresentate le più alte tra le sezioni tracimabili ed emergenti, risultando  $A_{tr}=1.480\text{m}^2$  e  $A_{em}=1.185\text{m}^2$ .

L'altezza d'acqua di riferimento a monte dello sbarramento è quella relativa al verificarsi della piena millenaria, in occasione della quale viene raggiunto il livello di massimo invaso (549,00mslm). Poiché il concio tracimabile ha fondazione a 489mslm, mentre quello emergente fonda a 496mslm, le altezze d'acqua a monte sono  $h_{m,tr}=60\text{m}$  e  $h_{m,em}=53\text{m}$ .

Per il calcolo delle sottospinte in fondazione, rispettando lo sbarramento le condizioni previste dalla normativa citata al paragrafo D.1.a, è stata adottata la schematizzazione delle sottopressioni ivi riportata: andamento linearmente decrescente da monte a valle, con valore pari alla massima pressione idrostatica di invaso (pari ad  $h_m$ ) in corrispondenza del paramento di monte ed alla massima pressione idrostatica che può verificarsi in corrispondenza in alveo (relativa all'altezza d'acqua massima nell'alveo) in corrispondenza del paramento di valle  $h_v$  ed infine valore pari ad  $h_v+0,35(h_m-h_v)$  lungo la linea dei drenaggi.

In occasione della piena millenaria nell'alveo a valle dello sbarramento si instaura un deflusso con altezza di circa 1,20m sul fondo alveo ( $1.20+497.50 = 498.70\text{mslm}$ ), ricordando le quote di fondazione sopra richiamate, si ha che l'altezza d'acqua a valle è diversa da zero solo per il concio tracimabile, per il quale vale  $h_{m,tr}=5,7\text{m}$ . Una volta linearizzato l'andamento delle sottopressioni è possibile calcolare la sottospinta determinando l'area delle aree comprese tra la linea delle sottopressioni e quella di fondazione, avendo chiamato  $b_0$  la distanza tra l'estremità di monte della fondazione e la linea dei drenaggi:

$$S_s = \gamma_w ( h_v B + \frac{1}{2} [(h_m-h_v)+0,35 (h_m-h_v)] b_0 + \frac{1}{2} [0,35 (h_m-h_v)] (B-b_0) )$$

Gli elementi finora riportati, aggiungendovi la lunghezza della fondazione ( $B_{tr}=53\text{m}$  e  $B_{em}=47\text{m}$ ) e la distanza della linea dei drenaggi dal paramento di monte ( $b_{0,tr}=b_{0,em}=10\text{m}$ ), sono sufficienti quindi a determinare sulle sezioni e nelle condizioni previste, il rapporto tra carichi orizzontali e verticali:

Per il concio tracimabile:

1. il peso proprio dello sbarramento:  $P = 2.400 \cdot 1.480 = 3.552.000 \text{ kg/m}$   
 2. la spinta idrostatica:  $S_i = \frac{1}{2} 1.000 \cdot 60^2 = 1.800.000 \text{ kg/m}$   
 3. la sottospinta in fondazione:  $S_s = 1.077.233 \text{ kg/m}$

e quindi  $S_i / (P-S_s) = 1.800.000 / 2.474.768 = 0,73$

Per il concio emergente:

1. il peso proprio dello sbarramento:  $P = 2.400 \cdot 1.185 = 2.844.000 \text{ kg/m}$
2. la spinta idrostatica:  $S_i = \frac{1}{2} 1.000 \cdot 53^2 = 1.404.500 \text{ kg/m}$
3. la sottospinta in fondazione:  $S_s = 700.925 \text{ kg/m}$

e quindi  $S_i / (P - S_s) = 1.404.500 / 2.140.075 = 0,66$

Poiché la normativa prevede un rapporto massimo di 0,75, la verifica risulta positiva.

## 4. OPERE DI GRONDA

### 4.1 TRAVERSA DI DERIVAZIONE “ALTO POTENZA”

La traversa “Alto Potenza” è la principale opera di derivazione relativa allo schema di regimazione in oggetto. L’opera si trova a monte di Poggio Sorifa, nel punto in cui il corso d’acqua abbandona la valle incisa in cui inizialmente scorre, per attraversare una modesta area alluvionale pianeggiante.

La scelta della sezione di sbarramento è funzionale a diversi obiettivi: ha un bacino sufficientemente esteso, è sufficientemente ampia da consentire il passaggio della piena di riferimento sulla soglia con battente adeguato, è distante dal centro abitato e non coinvolge manufatti o aree di forte interesse antropico e tuttavia risulta facilmente accessibile.

L’opera è sottesa ad un bacino di 20,9km<sup>2</sup>, capace di una piena cinquecentennale di 130m<sup>3</sup>/s e si compone di:

- una traversa, che fissa il livello di monte
- uno sghiaiatore, inserito sulla deviazione del tracciato del corso d’acqua
- un ascensore ittico, situato in parallelo allo sghiaiatore
- un dissabbiatore, che comunica con il corso d’acqua per mezzo della vasca di carico di monte
- una vasca di carico di valle, alimentata dal dissabbiatore e collegata alla condotta di adduzione all’invaso

L'opera sarà non permanentemente presidiata e dotata di dispositivi di limitazione della portata derivata sia di tipo fisso (soglie sfioranti e luci sottobattente), che di tipo variabile (paratoie motorizzate).

Nelle condizioni di progetto, le regolazioni fisse previste consentono di realizzare la completa disconnessione tra l'opera di presa e la condotta di adduzione, garantendo una maggiore affidabilità operativa e permettendo di sviluppare la progettazione idraulica di queste due opere in modo indipendente.

#### **4.1.1 Deviazione del tracciato**

Una serie di motivazioni rendono vantaggiosa la realizzazione dell'opera di presa sulla destra idraulica della sezione di sbarramento: innanzitutto la preferenza accordata a questo lato nella scelta del tracciato da seguire per la condotta di adduzione, ma anche la presenza della strada provinciale, dalla quale è possibile realizzare un agevole accesso.

Questa scelta progettuale ha comportato la necessità di deviare l'alveo del Fiume Potenza per mezzo di un canale in terra, che in corrispondenza dell'opera viene rivestito in calcestruzzo assumendo la funzione di canale sghiaiatore (di cui si dirà nel seguito); la deviazione ha uno sviluppo di circa 300m, equamente distribuiti a monte e a valle dell'opera.

#### **4.1.2 Traversa di sbarramento**

La traversa di sbarramento è rappresentata da una soglia con profilatura Creager posta trasversalmente alla vallata, la quale, occupando quasi per intero la piana alluvionale presente, fissa il livello idrico di monte a quota 561,00mslm.

La larghezza dello sbarramento, pari a 43 m, è determinata dalla morfologia della sezione e dalla necessità di consentire il deflusso della piena cinquecentennale.

L'energia posseduta dalla portata che transita sulla traversa viene opportunamente dissipata all'interno della vasca di smorzamento presente a valle di essa; superata l'opera il deflusso di piena viene a scorrere sulla piana alluvionale che occupa la parte centrale della valle (rivestita con gabbioni e pietrame per i primi 23m circa), confinato tra la scarpata naturale presente in sinistra e l'argine che presidia la sponda esterna del nuovo tracciato del Potenza.

#### **Calcolo idraulico**

La portata  $Q$  defluente sulla soglia (in  $m^3/s$ ) è fornita dalla:

$$Q = \mu L (2g)^{1/2} h^{3/2} \quad [9.]$$

dove  $\mu$  è il coefficiente di deflusso,  $L$  è larghezza della vena liquida in metri,  $h$  è il carico sulla soglia in metri e  $g$  è l'accelerazione di gravità in  $m/s^2$ .

Poiché la portata cinquecentennale stimata è pari a  $130m^3/s$ , alla geometria adottata si associa un battente idraulico sulla soglia pari a 1,2m, infatti risulta:

$$Q = 0.52 (43) (2g)^{1/2} 1.20^{3/2} = 130 m^3/s$$

### 4.1.3 Canale sghiaiatore

Il canale sghiaiatore si trova, come detto, sulla destra della traversa di sbarramento, inserito sulla deviazione del tracciato del corso d'acqua. L'opera è costituita da:

- un tratto di 15,00m e largo 6,00m precedente la paratoia di intercettazione, nel quale avviene la distribuzione delle portate affluenti: verso la vasca di carico di monte in destra (per mezzo di due luci sottobattente), verso l'area retrostante la traversa di sbarramento in sinistra (per mezzo di una soglia sfiorante laterale posta a quota 561,00mslm) e verso l'ascensore ittico frontalmente in sinistra (per mezzo di una soglia sfiorante posta a quota 560,80mslm). A paratoia chiusa e con la giusta regolazione degli organi di derivazione, questo tratto mantiene il carico idraulico a quota 561,00mslm, destinando circa 200 l/s all'ascensore ittico e derivando il resto, fino ad un massimo di 2,35m<sup>3</sup>/s. A paratoia aperta la portata viene convogliata nella sezione successiva dello sghiaiatore, trascinando con sé il materiale depositato
- un tratto di 40,00m largo 4,00m successivo alla paratoia di intercettazione, nel quale la forte pendenza del fondo nella prima metà del canale (0,06m/m) produce un'accelerazione della corrente sotto la paratoia e l'evacuazione dei depositi; la seconda metà di questo tratto ha invece pendenza analoga a quella del canale con il quale si raccorda.

### 4.1.4 Ascensore ittico

L'ascensore ittico è costituito da una rampa in pietrame avente lo scopo di lasciar passare a valle dello sbarramento una portata pari al deflusso minimo vitale e di consentire la risalita dell'ittiofauna. Il canale ha larghezza paria a 1,50m e pendenza 0,07m/m e corre parallelamente al canale di sghiaiatore, dal quale viene alimentato a monte della paratoia e al quale restituisce infine le portate.

#### Calcolo idraulico

Per la verifica idraulica è stata ipotizzata una larghezza utile (al netto di dispositivi atti a consentire la risalita) di 1,00m e un coefficiente di scabrezza di Manning  $n_m=0,040m$ ; sostituendo i valori nell'equazione del moto uniforme:

$$Q=1/n_m A R^{2/3} i^{1/2}$$

in cui  $A$  è l'area trasversale del deflusso in m<sup>2</sup>,  $R$  è il raggio idraulico in metri e  $i$  è la pendenza del fondo in m/m, risulta una altezza d'acqua di circa 0,15m; date le approssimazioni adottate la soglia di carico è stata posta 0,20m sotto il livello di riferimento di monte, a quota 559,80mslm.

### 4.1.5 Vasca di carico di monte

La vasca di carico di monte mette in comunicazione il canale di sghiaiatore con la vasca di disabbigliamento, fungendo inoltre da raccordo geometrico tra l'incile di presa, perpendicolare all'alveo, e la vasca di sedimentazione, parallela allo stesso alveo, da ciò derivando la propria geometria.

A monte presenta due luci, ciascuna di larghezza 1,50 m e altezza 1,40 m, munite di griglie e presidiate panconature per eventuali necessità di disconnessione della vasca, mentre a valle è presente una sola luce di dimensioni 1,50 x 1,50 m, provvista di paratoia meccanizzata.

In corrispondenza delle bocche di presa avviene la limitazione della portata derivata, tramite il loro funzionamento sottobattente a luce fissa; esse rappresentano inoltre il primo filtro rispetto ai solidi trasportati dalla corrente: le griglie, costituite da pannelli di barre da 10 mm di spessore e luci tra le barre di 20 mm inclinate 75° rispetto all'orizzontale, impediscono l'ingresso del materiale grossolano trasportato dalla corrente diretta al dissabbiatore, mentre la posizione delle bocche, con soglia minima un metro più alta della quota di base del canale sghiaiatore in quel punto, impedisce l'ingresso del materiale depositato nel canale stesso a monte della paratoia. Resterà all'esperienza l'eventualità di posizionare griglie di tranquillizzazione o altro dispositivo, atto a contenere eccessive perturbazioni nelle vasche di valle.

Il fondo della vasca è sagomato in modo ad avere una pendenza del 4% circa verso lo spigolo in corrispondenza del quale è posizionato lo scarico di fondo della vasca, costituito da una condotta DN500 con recapito della portata e del materiale depositato sullo scivolo a valle della paratoia che intercetta il canale di sghaiamento. La pulizia del materiale scaricato avviene quindi per apertura delle paratoie del canale.

#### **4.1.6 Vasca di dissabbiamento**

La vasca di dissabbiamento è situata a valle della vasca di carico di monte, dalla quale riceve la portata per mezzo di una luce sottobattente di dimensioni 1,50 x 1,50m, provvista di paratoia meccanizzata, mentre a valle è presente una soglia di 5,00m di larghezza, per mezzo della quale la portata derivata stramazza nella vasca di carico di valle ed i solidi depositati vengono trattenuti all'interno del dissabbiatore; uno sfioratore corre per 18,00m in fregio alla vasca, sul lato destro, con recapito dei superi nel secondo tronco del canale sghiaiatore; la quota di sfioro è posta a 560,90 mslm e corrisponde all'incirca alla quota del pelo libero con il funzionamento a regime dell'opera di presa.

La vasca ha una lunghezza di 24,00 m, è larga 6,00 m ed ha sezione a tramoggia, costante a meno dei due tratti iniziale e finale, rispettivamente divergente e convergente, e della canaletta trapezia posta sul fondo, la cui profondità aumenta da monte a valle. Aprendo la paratoia poste al termine della canaletta, i solidi depositati sul fondo vengono richiamati all'interno dei una condotta Ø500 e scaricati nel tratto finale del canale sghiaiatore.

La soglia terminale è posta a quota tale da consentire, nelle condizioni di funzionamento ordinario, lo stramazzo della portata di progetto, operando la regolazione automatica della portata derivata e la disconnessione idraulica rispetto alle opere di adduzione presenti a valle; una paratoia 5,00x1,00 m è situata sulla soglia con duplice funzione: in occasione di afflussi superiori a quello ordinario, impone il passaggio del deflusso da stramazzo libero a sottobattente, limitando la portata diretta all'invaso e provocando l'instaurarsi di livelli di monte tali da produrre l'intervento dello sfioratore laterale, e, in condizioni di funzionamento ordinario, effettuare le regolazioni che l'esperienza e la taratura dell'opera potranno suggerire.

#### **4.1.7 Vasca di carico di valle**

La vasca di carico di valle ospita la partenza della condotta di adduzione; il suo funzionamento prevede che essa risulti disconnessa rispetto alle opere di monte, derivandone che il livello idrico che vi si instaura dipende unicamente dalle condizioni del deflusso nella condotta di valle, di cui si dirà nel seguito.

Il fondo della vasca si trova a quota 558,00mslm, rispettivamente 0,90m e 2,50m circa al di sotto della generatrice inferiore interna della condotta  $\varnothing 1200$  che qui ha il suo inizio, presidiato da paratoia per le necessità di messa fuori servizio, e della soglia terminale del dissabbiatore.

#### **4.1.8 Opere accessorie**

L'intervento è completato da:

- sbancamenti protetti da rivestimenti per circa 150m a monte dell'opera, i cui materiali di risulta, al pari di quelli relativi agli altri scavi necessari alla realizzazione dell'opera, potranno esse utilizzati a parziale riempimento dell'incisione che rappresenta il tracciato del Potenza nel tratto in cui esso viene abbandonato
- un argine di protezione, di circa 100m, del quale si è già accennato, che ha la funzione di indirizzare verso la parte sinistra della vallata, dove si trova l'incisione naturale del Potenza, i deflussi eventualmente esondanti dalla deviazione dell'alveo realizzata in corrispondenza dell'opera, così come quelli che, in occasione di eventi di piena maggiori, si trovano a transitare sulla traversa di sbarramento.
- una strada di accesso carrabile di circa 200m, con origine dalla strada provinciale Sorifa-Laverino, al fianco della quale passa il tracciato della condotta di adduzione; un piazzale, posto in affiancamento del lato destro del dissabbiatore al termine della strada, consente di raggiungere ed ispezionare agevolmente ogni parte dell'opera ed eventualmente intervenire su di essa; il piazzale ha ampiezza sufficiente alla realizzazione di un locale-rimessa nel quale ospitare le utenze ed i comandi necessari.

#### **4.1.9 Funzionamento idraulico**

La verifica del funzionamento idraulico della traversa di sbarramento e dell'ascensore ittico è già stata svolta; nel seguito viene esaminato il funzionamento dell'opera di presa in condizioni di funzionamento ordinario, seguito da cenni sul suo funzionamento in condizioni di piena eccezionale.

Il funzionamento ordinario dell'opera di presa prevede che nel tronco di canale sghiaiatore sul quale si affacciano le bocche della vasca di carico di monte il pelo libero si trovi a quota 561,00mslm. L'obiettivo è quello di derivare  $2,35\text{m}^3\text{s}$  sulla soglia terminale del dissabbiatore. Nel seguito vengono forniti i dettagli della verifica, articolata nei tre passaggi determinanti per il funzionamento idraulico dell'opera.

##### *Canale sghiaiatore > Vasca di carico di monte*

Il primo passaggio avviene dal canale sghiaiatore alla vasca di carico di monte attraverso due luci  $1,50 \times 1,40\text{m}$  poste tra le quote 559,00mslm e 560,40mslm; poiché il pelo libero nel

canale sghiaiatore si trova a quota 561,00mslm il relativo deflusso è governato dall'equazione relativa alle luci funzionanti sottobattente:

$$Q = \mu' S (U_v + (2g \Delta h + U_m^2 - U_v^2)^{1/2})$$

in cui  $S$  è l'area della luce in  $m^2$ ,  $U_m$  è la velocità media nella vasca di monte in  $m/s$ ,  $U_v$  è la velocità media nella vasca di valle in  $m/s$ ,  $\Delta h$  è la differenza tra il pelo libero di monte  $h_m$  e quello di valle  $h_v$ ; il coefficiente di efflusso  $\mu'$  vale 1,01.

Poichè le luci sono presidiate da griglie occorre considerare, oltre alla relativa parzializzazione della luce utile, anche le perdite di carico  $\Delta H$  (in m) che si determinano nel loro attraversamento; a riguardo è stata adottata la formula di Kirshmer:

$$\Delta H = k (s/b)^{4/3} v^2 / (2g) \sin(\alpha)$$

dove  $s$  è lo spessore delle barre visto dalla corrente,  $b$  è la distanza tra due barre affiancate (entrambe in metri o in centimetri),  $v$  è la velocità attraverso la griglia e  $\alpha$  è l'angolo che la griglia forma con l'orizzontale; per barre mediamente sagomate il coefficiente di forma  $k$  assume valore unitario.

Nel caso in esame l'area di ciascuna luce è pari a  $2,10 m^2$ ; la griglia prevista, compreso un intasamento del 15%, ne comporta una riduzione al 57%, da che discende un'area netta complessiva pari a  $2 \times 0,57 \times 2,10 = 2,38 m^2$ . Ne deriva una velocità, in condizioni ordinarie di funzionamento, di circa  $1 m/s$ .

Le perdite di carico attraverso la griglia sono quindi pari a:

$$\Delta H = (1/2)^{4/3} (2,35/2,38)^2 / (2g) \sin(75^\circ) = 0,02 m$$

Poiché, data la geometria delle vasche a monte e a valle delle luci si ha che  $U_m \cong U_v = 0,16 m/s$ , Le perdite di carico relative al deflusso sottobattente sono fornite risolvendo la:

$$2,35 = 1,01 \cdot 2,38 (0,16 + (2g (\Delta h))^{1/2})$$

dalla quale deriva  $\Delta h = 0,03 m$  e quindi, complessivamente, una quota del pelo libero nella vasca di carico di monte  $h_v = 560,95 mslm$

#### Vasca di carico di monte > Vasca di dissabbiamento

Il secondo passaggio avviene dalla vasca di carico di monte a quella di dissabbiamento, attraverso una luce  $1,50 \times 1,50 m$  posta tra le quote  $558,70 mslm$  e  $560,20 mslm$ , priva di griglia; poiché il pelo libero a monte si trova a quota  $560,95 mslm$  il relativo deflusso è governato dall'equazione relativa alle luci funzionanti sottobattente sopra utilizzata.

Seguendo quindi gli stessi passaggi si ha, essendo ancora  $U_m \cong U_v = 0,16 m/s$  per la sostanziale costanza della portata e della sezione bagnata:

$$2,35 = 1,01 \cdot 2,25 (0,16 + (2g (\Delta h))^{1/2})$$

dalla quale deriva  $\Delta h = 0,04 m$  e quindi una quota del pelo libero nel dissabbiatore  $h_v = 560,91 mslm$ ;

Tale quota (approssimata), costituisce il riferimento per il posizionamento della soglia dello sfioratore laterale presente in fregio alla vasca.

Vasca di dissabbiamento > Vasca di carico di monte

Il terzo ed ultimo passaggio avviene dalla vasca di dissabbiamento alla vasca di carico di valle, sopra una soglia larga 5,00m posta a quota 560,48mslm.

Poiché la soglia è dotata di spessore non trascurabile e, come si vedrà in seguito, non viene rigurgitata da valle, l'equazione da utilizzare è quella che fornisce la portata che transita su una luce a stramazzo libero in parete grossa:

$$Q = \mu'' L (2g)^{1/2} y_m^{3/2}$$

con  $L$  sviluppo della soglia in m,  $y_m$  differenza tra la quota del pelo libero di monte e quella della soglia e  $\mu''=0,38$  (Bélanger). Nel nostro caso, poiché il pelo libero a monte si trova a quota 560,91mslm e considerando una contrazione laterale della vena di 0,05m, si ha:

$$Q = 0,38(5,00-0,05) (2g)^{1/2} 0,43^{3/2} = 2,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cenni sul funzionamento in piena

La massima piena prevista viene stimata in  $130\text{m}^3/\text{s}$ ; come già visto, ad essa corrisponde un livello sulla soglia della traversa di sbarramento di 1,20mslm, pari a 562,20mslm.

Rispetto al funzionamento ordinario, si assiste, com'è ovvio, all'ingresso nell'opera di presa di una maggiore portata; inoltre il funzionamento della soglia terminale del dissabbiatore passa da stramazzo libero a sottobattente (non rigurgitato da valle), comportando, con il rialzo del livello nella vasca, l'intervento dello sfioratore laterale postole in fregio.

Per la verifica idraulica è possibile quindi utilizzare le stesse equazioni sopra riportate per le luci presenti tra canale sghiaiatore, vasca di carico di monte e dissabbiatore, integrandole con la:

$$Q = \mu L y_1 (2gy_2)^{1/2}$$

nella quale ponendo  $y_1=y_2=y_m$ , differenza tra la quota del pelo libero di monte e quella della soglia in metri, e  $\mu=0,42$  (Bazin) si ha un valore della portata che transita su una luce a stramazzo in parete sottile, valida in prima approssimazione per lo sfioratore laterale, mentre sostituendo ad  $y_1$  l'altezza della luce sotto la paratoia e  $y_2$  con  $y_b$ , distanza tra il pelo libero a monte ed il baricentro della luce in metri, si ha il deflusso sotto una paratoia piana non rigurgitata; in entrambi i casi  $L$  è la larghezza della luce in metri

Attraverso un procedimento analogo a quello già visto per il funzionamento ordinario dell'opera di derivazione si vede che il moto permanente si instaura con una portata in ingresso di circa  $7,30\text{m}^3/\text{s}$ , alla quale corrisponde, calcolate le perdite precedenti, un livello idrico nel dissabbiatore a quota 561,28mslm; impostando la quota di chiusura della paratoia che governa, in queste situazioni, la luce terminale del dissabbiatore ad una quota pari all'altezza critica sulla soglia relativa al transito della portata ordinaria ( $2,35\text{m}^3/\text{s}$ ) e quindi compatibile con essa, si ottiene una derivazione di meno di  $3\text{m}^3/\text{s}$ , con la parte restante della portata captata che viene restituita all'alveo per mezzo dello sfioratore laterale. La derivazione calcolata risulta compatibile con il funzionamento dell'opera stessa e di quelle poste a valle, e può ad ogni buon conto essere ridotta semplicemente agendo sulla regolazione della paratoia a monte della vasca di carico di valle.

## 4.2 TRAVERSE DI DERIVAZIONE “SORIFA” E “CORNELLO”

Le portate derivate alle traverse “Sorifa” e “Cornello” rappresentano una integrazione marginale a quelle derivate alla traversa “Alto Potenza”. Le due opere si trovano a Ovest di Poggio Sorifa, in zone in cui i due torrenti di cui captano parte dei deflussi scorrono in valli piuttosto incise, delle quali si dispone di informazioni topografiche di scarso dettaglio.

La scelta della sezione di sbarramento è funzionale all’ottenimento, nella vasca di carico delle condotte che hanno vi hanno origine, di livelli idraulici adeguati per il buon funzionamento delle successive opere di adduzione; la posizione e la dimensione delle due opere, non distanti dalla viabilità esistente, è tale da non interessare attività antropiche, se non marginalmente.

La traversa “Sorifa” è sottesa ad un bacino di  $3,57\text{km}^2$ , capace di una piena cinquecentennale di  $26\text{m}^3/\text{s}$ , dal quale si ipotizza di derivare al massimo  $0,40\text{m}^3/\text{s}$ , mentre per la “Cornello” le medesime voci valgono  $2,27\text{km}^2$ ,  $19\text{m}^3/\text{s}$  e  $0,25\text{m}^3/\text{s}$ .

Rispetto alle due opere, per la loro dimensione e per il dettaglio disponibile, è stato adottato un approccio tipologico alla progettazione ed alla rappresentazione; esse si compongono di:

- una traversa, che fissa il livello di monte
- uno sghiaiatore, in destra idraulica
- una vasca di carico, alimentata dallo sghiaiatore e collegata ad una condotta di adduzione all’invaso

Le opere saranno non permanentemente presidiate e dotate di paratoie per la regolazione della portata derivata e per la loro messa fuori servizio.

### 4.2.1 Traversa di sbarramento

La traversa di sbarramento è rappresentata da una soglia con profilatura Creager, posta trasversalmente all’incisione dei due fossi Sorifa e Cornello, la quale fissa il livello di monte alle quote 563,60mslm e 562,80 rispettivamente.

Data una larghezza dello sbarramento di 10m per entrambe, si ha il transito della portata di progetto cinquecentennale con altezza sulla soglia dell’ordine del metro. A valle della soglia è presente una vasca di smorzamento ed un breve tratto d’alveo rivestito con gabbionature.

### 4.2.2 Canale sghiaiatore

Il canale sghiaiatore è dotato di un tratto iniziale precedente la paratoia di intercettazione, nella quale avviene la distribuzione delle portate affluenti verso la vasca di carico in destra (per mezzo di una luce sottobattente governata da una paratoia), e di un tratto successivo alla paratoia di intercettazione, nel quale la forte pendenza del fondo nella produce, a paratoia aperta, un’accelerazione della corrente e l’evacuazione dei depositi presenti a monte di essa.

### 4.2.3 Vasca di carico

La vasca di carico è costituita da una camera interrata e chiusa, con accesso verticale per mezzo di una botola; essa mette in comunicazione il canale di sghiaimento con la condotta di adduzione.

A monte presenta una luce quadrata di lato 1,00 m, munita di griglia e regolata da una paratoia motorizzata, mentre a valle è presente, presidiato da opportuno organo di intercettazione, l'imbocco della condotta di adduzione.

## 4.3 OPERE DI ADDUZIONE

### 4.3.1 Generalità

Lo schema di adduzione all'invaso di Bivio Ercole delle portate derivate dai bacini allacciati si compone di una *linea principale*, che collega la traversa "Alto Potenza" all'invaso, e di *linee allaccianti minori*, che partendo dalle traverse "Sorifa" e "Cornello" per riunirsi in prossimità dell'abitato di Poggio Sorifa, raggiungono la linea principale; in corrispondenza di questa confluenza è prevista la realizzazione di un *manufatto di disconnessione*.

Nel seguito, così come nelle rappresentazioni grafiche allegate, viene seguito lo schema descrittivo sopra esposto.

### 4.3.2 Linea di adduzione principale

La linea di adduzione che ha origine alla traversa "Alto Potenza" si compone a sua volta di tre tronchi dalle caratteristiche piuttosto diverse:

1. l'*allacciante "Alto Potenza"*, una condotta  $\varnothing 1200$  in c.a., copre i 275m che separano l'omonima traversa di derivazione dal manufatto che unisce i deflussi della condotta in esame con quelli provenienti dalle traverse minori di Sorifa e Cornello, attuando allo stesso tempo la disconnessione idraulica tra le condotte entranti (le "allaccianti") e le opere a valle. All'interno della condotta, a pendenza costante, la portata di progetto scorre a pelo libero.
2. l'*"adduttore principale"*, ossia la condotta  $\varnothing 1500$  in c.a. con funzionamento in pressione uscente dal manufatto di disconnessione, la quale attraversa diagonalmente la valle del Potenza tra Poggio Sorifa e le pendici del Colle Gagli per circa 1.500m, inizialmente in destra, poi in sinistra; l'attraversamento del Potenza, così come quello di un suo affluente più a valle, sono effettuati in briglia
3. il tratto "*galleria Colle Gagli*", relativo agli ultimi 500m di adduzione prima del rilascio nel bacino del Rio di Capo d'Acqua a monte dello sbarramento, nel quale il deflusso avviene a pelo libero in una canaletta trapezia di base 1,20m e altezza 1,50m, alloggiata nella galleria omonima

### 4.3.3 Linee allaccianti minori

Le linee allaccianti minori, che adducono al manufatto di disconnessione i contributi derivati alle traverse “Sorifa” e “Cornello”, si compongono a loro volta di tre tronchi, tutti caratterizzati da funzionamento in pressione:

1. *allacciante “Sorifa”*
2. *allacciante “Cornello”*
3. *allacciante “Sorifa-Cornello”*

Le prime due, dei Ø500 in c.a., sono relative ai tratti, rispettivamente di circa 200m e 250m, che vanno dalle traverse omonime al nodo di raccordo di Poggio Sorifa; la terza è una condotta Ø600 in c.a. che porta per circa 220m i deflussi riuniti delle due condotte di monte al manufatto di disconnessione, attraversando in briglia il Potenza all’ingresso del paese.

### 4.3.4 Opere complementari

Le opere complementari principali sono costituite dal più volte ricordato *manufatto di disconnessione*, dalla *galleria Colle Gagli* e dalle opere di *imbocco* e *sbocco* della stessa.

#### Manufatto di disconnessione

L’opera è costituita da una camera semi-interrata con accesso dall’alto per mezzo di una botola, situata a mezza costa approssimativamente in corrispondenza dell’intersezione della valli del Potenza e del Sorifa. Le sue dimensioni interne sono 3,00x3,50m la base e 6,20m l’altezza, a partire da 554,30mslm; su di essa si innestano frontalmente l’una all’altra, ma con assi sfalsati planimetricamente, le condotte allaccianti Ø1200 e Ø600 provenienti dalle traverse, mentre centrato e ad un livello inferiore si trova il c.d. adduttore principale: entrambe le linee di scorrimento delle condotte entranti si trovano a 558,00mslm, mentre quella della condotta in uscita si trova a 554,80mslm.

#### Galleria Colle Gagli

La galleria Colle Gagli, lunga 500m, ha sezione policentrica R3.20m e ospita, oltre alla già ricordata canaletta destinata al deflusso della portata diretta all’invaso, un camminamento di larghezza minima 1,10m, separati un elemento verticale in c.a. alto circa 1,50m.

L’opera è realizzata in terreni analoghi a quelli presenti nella fondazione della diga.

#### Manufatti di imbocco e sbocco della galleria

I manufatti di imbocco e sbocco della galleria hanno la duplice funzione di fornire un accesso al camminamento presente nella stessa, opportunamente chiuso da portoni di dimensioni adeguate e dotati di finestratura per l’areazione dell’interno, e di ospitare le vasche che mettono in comunicazione la canaletta presente in galleria, con la condotta a monte e l’opera di rilascio a valle; il rilascio avviene attraverso una soglia profilata Creager larga 2,00m posta a quota 551.10, più alta della quota di massimo vaso (2,10m), ma anche della quota del coronamento diga.

### 4.3.5 Funzionamento idraulico

Nell'analizzare il funzionamento dello schema idraulico descritto, assumiamo le suddivisioni in tratti già utilizzate, ripercorrendole secondo la gerarchia proposta, da valle verso monte.

Le lunghezze, i diametri e le portate utilizzati nel calcolo sono forniti dalla seguente tabella.

**Tabella 8 Sistema di adduzione delle portate dei bacini allacciati**

	lunghezza (m)	dimensioni (mxm o Ømm)	portata (m <sup>3</sup> /s)
galleria "Colle Gagli"	500	1.20x1.50	3.00
adduttore principale	1467	Ø1500	3.00
allacciante "Alto Potenza"	275	Ø1200	2.35
allacciante "Sorifa-Cornello"	219	Ø600	0.65
allacciante "Sorifa"	196	Ø500	0.40
allacciante "Cornello"	250	Ø500	0.25

#### Manufatto di rilascio

La portata di 3,00m<sup>3</sup>/s transita sulla soglia terminale del manufatto di rilascio, posta a quota 551,10 e larga 2,00m, con un carico di 0,80m; infatti si ha:

$$Q = \mu'' L (2g)^{1/2} y_m^{3/2} = 0,47 \cdot 2,00 (2g)^{1/2} \cdot 0,80^{3/2} = 3,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

La quota piezometrica nella vasca è quindi di 551,90 mslm.

#### Galleria Colle Gagli

All'interno della canaletta presente in galleria, dotata di pendenza costante pari a 0,0020m/m, si instaura un moto uniforme descritto dall'equazione di Manning:

$$Q = 1/n_m A R^{2/3} i^{1/2}$$

la quale fornisce la portata desiderata, assumendo  $n_m=0,013$ , per un'altezza d'acqua di 1,16m, per la quale si ha  $A = 1,5\text{m}^2$  (area trasversale del deflusso),  $R=0,43\text{m}$  (raggio idraulico),  $v=2,00\text{m/s}$ , altezza cinetica pari a 0,20m e franco di oltre 0,30m.

Poiché le quote di fondo canale all'imbocco ed allo sbocco della galleria valgono 553,10mslm e 552,10mslm rispettivamente, si ha la disconnessione tra la canaletta ed il manufatto di rilascio (pelo libero a 551,90mslm) e una quota piezometrica nella canaletta variabile tra 554,46mslm a monte e 553,46mslm a valle.

#### Adduttore principale

L'andamento della piezometrica nell'adduttore principale è governato, in prima istanza, dal livello esistente nella vasca ospitata nel manufatto di imbocco della galleria, arrotondata in eccesso rispetto a quello nella canaletta immediatamente a valle per tener conto dell'effetto delle perdite concentrate di imbocco.

La quota piezometrica di valle dell'adduttore principale è quindi 554,60mslm; poiché la corrispondente quota del cervello tubo è di 553,40, la condotta sbocca in pressione.

Dati il diametro di 1.500mm e la portata di 3m<sup>3</sup>/s si ottiene una velocità di 1,7m/s; assunta una scabrezza relativa  $\varepsilon=1\text{mm}$  e risolvendo per tentativi la nota formula di Colebrook si ottiene infine la cadente piezometrica  $j=1,77\text{m/m}$  e quindi le perdite di carico distribuite sui 1.467m della condotta, ammontanti a 2,60m.

La quota piezometrica di monte dell'adduttore principale è quindi pari a 557,50mslm (554,60mslm+2,60+0,30, dove l'ultimo termine è un arrotondamento che tiene conto delle perdite concentrate lungo il tracciato); poiché la corrispondente quota del cervello tubo è di 556,30, e data l'assenza di punti di massimo altimetrico del tracciato superiori alla linea congiungente i due valori estremi della piezometrica, la condotta lavora interamente in pressione.

#### Manufatto di disconnessione

Il livello piezometrico all'interno del manufatto di disconnessione è quello della condotta di valle appena richiamato, aumentato di 0,10m per tener conto delle perdite concentrate di imbocco della condotta: 557,60mslm; poiché la quota di scorrimento delle condotte entranti si trova a 558,00mslm, è garantita la disconnessione idraulica tra monte e valle con un franco di 0,40m.

#### Allacciante "Alto Potenza"

L'allacciante "Alto Potenza" è progettata con riferimento ad un funzionamento a pelo libero rispetto ad una portata di 2,35m<sup>3</sup>/s; essa ha diametro di 1200mm e pendenza costante di 0,0033m/m. In essa si instaura quindi un moto uniforme, descritto dall'equazione di Manning:

$$Q=1/n_m A R^{2/3} i^{1/2}$$

la quale fornisce la portata desiderata, assumendo  $n_m=0,013$ , per un'altezza d'acqua di 1,05m, per la quale si ha  $A=1,05\text{m}^2$  (area trasversale del deflusso),  $R=0,36\text{m}$  (raggio idraulico),  $v=2,24\text{m/s}$ , altezza cinetica 0,26m e grado di riempimento dell'87%.

Poiché le quote di scorrimento del tubo all'imbocco ed allo sbocco valgono 558,90mslm e 558,00mslm rispettivamente, le relative quota piezometriche sono 560,20mslm a monte e 559,30mslm a valle.

Arrotondato di 0,10m in eccesso per tener conto delle perdite di imbocco, il livello idrico nella vasca di carico da cui ha origine la condotta è a quota 560,30mslm, garantendo la disconnessione tra opera di presa (soglia a 560,48mslm) e condotta con un franco di circa 0,20m.

#### Allaccianti minori

L'andamento della piezometrica delle allaccianti minori è indipendente dalle condizioni di valle, come già dimostrato, per effetto delle quote relative di condotta e livello idrico al manufatto di disconnessione.

Il calcolo delle perdite di carico distribuite totali, viene condotto risolvendo nuovamente per tentativi la nota formula di Colebrook, e ricavandone i valori per le cadenti piezometriche delle tre condotte di questo ramo dell'adduzione, note le caratteristiche riportate nella *Tabella 8 Sistema di adduzione delle portate dei bacini allacciati* e assunta una scabrezza relativa  $\varepsilon=1\text{mm}$  si ha:

**Tabella 9 Grandezze idrauliche alle allaccianti minori**

	<b>portata</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>velocità</b> <b>(m/s)</b>	<b>cadente</b> <b>piezometrica</b> <b>(m/m)</b>	<b>perdite di</b> <b>carico</b> <b>(m)</b>
allacciante "sorifa-cornello"	0,65	2,30	10,12	2,23
allacciante "sorifa"	0,40	2,04	10,20	1,80
allacciante "cornello"	0,25	1,27	3,94	0,99

Il dimensionamento è stato svolto in modo da ottenere un carico residuo di 0,50m sopra il cervello del tubo allo sbocco nel manufatto di disconnessione.

Procedendo a ritroso si ha quindi una piezometrica allo sbocco dell'allacciante Sorifa-Cornello di 559,10mslm ( $558,00+0,600+0,50$ ) e quindi una piezometrica al punto di raccordo delle due condotte provenienti da monte pari a 561,40 mslm (arrotondamento di  $559,10+2,23$ ). Sommando a questa quota le perdite di carico distribuite delle allaccianti Sorifa e Cornello, si hanno le rispettive piezometriche all'opera di derivazione: 563,40 mslm e 562,50 mslm.

Note piezometriche di imbocco delle due allaccianti minori e stimando approssimativamente in 0,20 m le perdite di carico all'opera di presa è possibile assegnare la quota di sbarramento alle relative traverse di derivazione.

## 5. APPENDICE

### *Svuotamento dell'invaso*

<b>tempo</b>	<b>volume di invaso</b>	<b>quota di invaso</b>	<b>carico idraulico</b>	<b>Portata scaricata</b>
<b>ore</b>	<b>10<sup>6</sup>m<sup>3</sup></b>	<b>mslm</b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
0	22.70	549.06	36.06	0
1	22.70	549.06	36.06	55.41
2	22.50	548.90	35.90	55.35
3	22.30	548.74	35.74	55.23
4	22.10	548.58	35.58	55.10
5	21.90	548.42	35.42	54.98
6	21.70	548.26	35.26	54.86
7	21.50	548.10	35.10	54.73
8	21.31	547.93	34.93	54.60
9	21.11	547.77	34.77	54.48
10	20.91	547.61	34.61	54.35
11	20.72	547.44	34.44	54.22
12	20.52	547.28	34.28	54.09
13	20.33	547.11	34.11	53.96

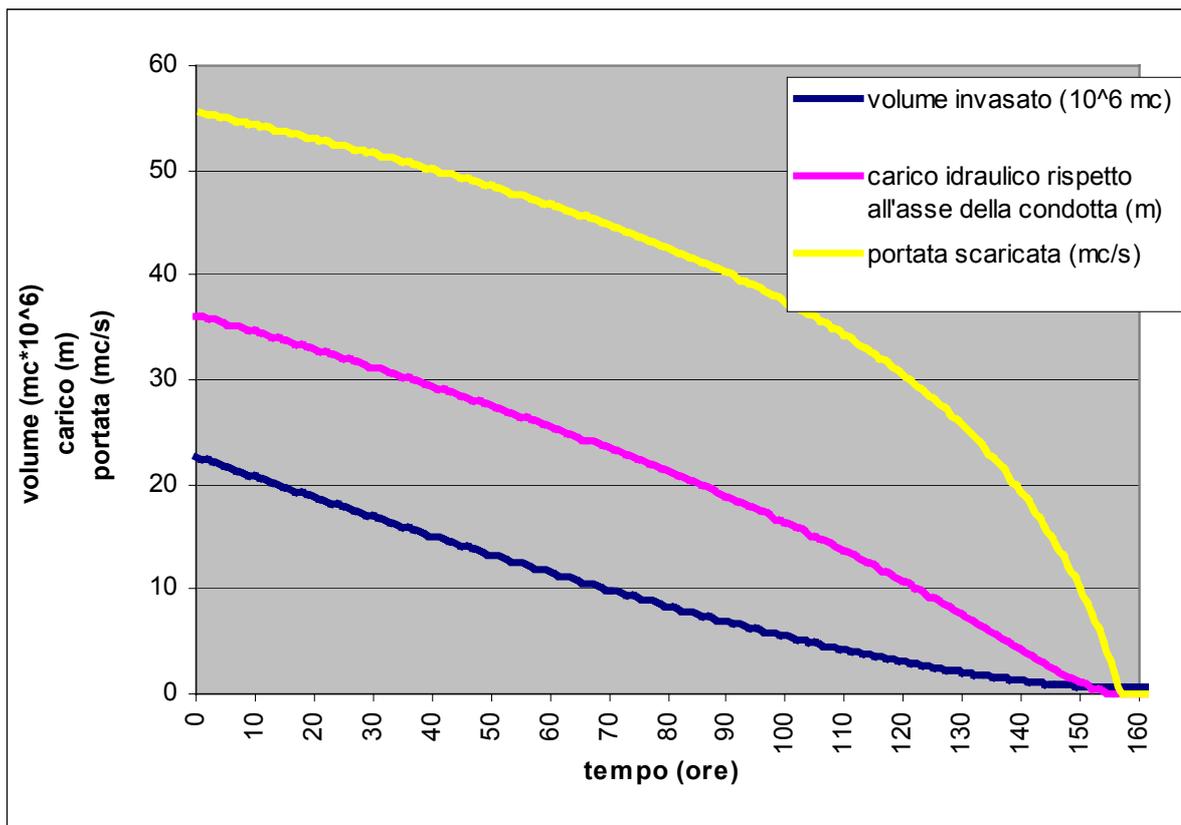
<b>tempo</b>	<b>volume di invaso</b>	<b>quota di invaso</b>	<b>carico idraulico</b>	<b>Portata scaricata</b>
<b>ore</b>	<b>10<sup>6</sup>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sub>slm</sub></b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
14	20.13	546.95	33.95	53.83
15	19.94	546.78	33.78	53.70
16	19.75	546.61	33.61	53.56
17	19.55	546.44	33.44	53.43
18	19.36	546.28	33.28	53.30
19	19.17	546.11	33.11	53.16
20	18.98	545.94	32.94	53.03
21	18.79	545.77	32.77	52.89
22	18.60	545.59	32.59	52.75
23	18.41	545.42	32.42	52.61
24	18.22	545.25	32.25	52.47
25	18.03	545.08	32.08	52.33
26	17.84	544.90	31.90	52.19
27	17.65	544.73	31.73	52.05
28	17.47	544.55	31.55	51.91
29	17.28	544.38	31.38	51.76
30	17.09	544.20	31.20	51.62
31	16.91	544.02	31.02	51.47
32	16.72	543.84	30.84	51.32
33	16.54	543.67	30.67	51.17
34	16.35	543.49	30.49	51.02
35	16.17	543.31	30.31	50.87
36	15.99	543.12	30.12	50.72
37	15.80	542.94	29.94	50.57
38	15.62	542.76	29.76	50.42
39	15.44	542.58	29.58	50.26
40	15.26	542.39	29.39	50.11
41	15.08	542.21	29.21	49.95
42	14.90	542.02	29.02	49.79
43	14.72	541.83	28.83	49.63
44	14.54	541.65	28.65	49.47
45	14.36	541.46	28.46	49.31
46	14.18	541.27	28.27	49.14

<b>tempo</b>	<b>volume di invaso</b>	<b>quota di invaso</b>	<b>carico idraulico</b>	<b>Portata scaricata</b>
<b>ore</b>	<b>10<sup>6</sup>m<sup>3</sup></b>	<b>mslm</b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
47	14.01	541.08	28.08	48.98
48	13.83	540.89	27.89	48.81
49	13.66	540.70	27.70	48.65
50	13.48	540.50	27.50	48.48
51	13.31	540.31	27.31	48.31
52	13.13	540.11	27.11	48.14
53	12.96	539.92	26.92	47.96
54	12.79	539.72	26.72	47.79
55	12.61	539.53	26.53	47.61
56	12.44	539.33	26.33	47.44
57	12.27	539.13	26.13	47.26
58	12.10	538.93	25.93	47.08
59	11.93	538.73	25.73	46.89
60	11.76	538.52	25.52	46.71
61	11.60	538.32	25.32	46.52
62	11.43	538.11	25.11	46.34
63	11.26	537.91	24.91	46.15
64	11.09	537.70	24.70	45.96
65	10.93	537.49	24.49	45.77
66	10.76	537.28	24.28	45.57
67	10.60	537.07	24.07	45.37
68	10.44	536.86	23.86	45.18
69	10.27	536.65	23.65	44.98
70	10.11	536.44	23.44	44.77
71	9.95	536.22	23.22	44.57
72	9.79	536.01	23.01	44.36
73	9.63	535.79	22.79	44.16
74	9.47	535.57	22.57	43.94
75	9.31	535.35	22.35	43.73
76	9.16	535.13	22.13	43.52
77	9.00	534.91	21.91	43.30
78	8.84	534.68	21.68	43.08
79	8.69	534.46	21.46	42.86

<b>tempo</b>	<b>volume di invaso</b>	<b>quota di invaso</b>	<b>carico idraulico</b>	<b>Portata scaricata</b>
<b>ore</b>	<b>10<sup>6</sup>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>slm</sup></b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
80	8.53	534.23	21.23	42.63
81	8.38	534.00	21.00	42.40
82	8.23	533.78	20.78	42.17
83	8.08	533.54	20.54	41.94
84	7.93	533.31	20.31	41.71
85	7.78	533.08	20.08	41.47
86	7.63	532.84	19.84	41.23
87	7.48	532.61	19.61	40.98
88	7.33	532.37	19.37	40.74
89	7.18	532.13	19.13	40.48
90	7.04	531.89	18.89	40.23
91	6.89	531.64	18.64	39.97
92	6.75	531.40	18.40	39.71
93	6.61	531.15	18.15	39.45
94	6.46	530.91	17.91	39.18
95	6.32	530.66	17.66	38.91
96	6.18	530.40	17.40	38.63
97	6.04	530.15	17.15	38.35
98	5.91	529.89	16.89	38.07
99	5.77	529.64	16.64	37.78
100	5.63	529.38	16.38	37.49
101	5.50	529.12	16.12	37.20
102	5.36	528.85	15.85	36.89
103	5.23	528.59	15.59	36.59
104	5.10	528.32	15.32	36.28
105	4.97	528.05	15.05	35.96
106	4.84	527.78	14.78	35.64
107	4.71	527.51	14.51	35.31
108	4.58	527.23	14.23	34.98
109	4.46	526.96	13.96	34.64
110	4.33	526.68	13.68	34.30
111	4.21	526.39	13.39	33.95
112	4.09	526.11	13.11	33.59

<b>tempo</b>	<b>volume di invaso</b>	<b>quota di invaso</b>	<b>carico idraulico</b>	<b>Portata scaricata</b>
<b>ore</b>	<b>10<sup>6</sup>m<sup>3</sup></b>	<b>mslm</b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
113	3.97	525.82	12.82	33.23
114	3.85	525.53	12.53	32.85
115	3.73	525.24	12.24	32.48
116	3.61	524.95	11.95	32.09
117	3.50	524.65	11.65	31.70
118	3.38	524.35	11.35	31.29
119	3.27	524.05	11.05	30.88
120	3.16	523.75	10.75	30.46
121	3.05	523.44	10.44	30.03
122	2.94	523.13	10.13	29.59
123	2.83	522.82	9.82	29.14
124	2.73	522.50	9.50	28.68
125	2.63	522.19	9.19	28.21
126	2.52	521.87	8.87	27.72
127	2.42	521.54	8.54	27.22
128	2.33	521.22	8.22	26.71
129	2.23	520.89	7.89	26.19
130	2.14	520.56	7.56	25.65
131	2.04	520.23	7.23	25.10
132	1.95	519.90	6.90	24.53
133	1.87	519.56	6.56	23.94
134	1.78	519.22	6.22	23.33
135	1.70	518.88	5.88	22.70
136	1.61	518.54	5.54	22.06
137	1.53	518.20	5.20	21.39
138	1.46	517.86	4.86	20.70
139	1.38	517.52	4.52	19.98
140	1.31	517.18	4.18	19.24
141	1.24	516.84	3.84	18.47
142	1.17	516.50	3.50	17.68
143	1.11	516.17	3.17	16.85
144	1.05	515.84	2.84	15.98
145	0.99	515.51	2.51	15.09

tempo ore	volume di invaso $10^6 m^3$	quota di invaso mslm	carico idraulico m	Portata scaricata $m^3/s$
146	0.94	515.19	2.19	14.15
147	0.89	514.88	1.88	13.17
148	0.84	514.59	1.59	12.16
149	0.80	514.30	1.30	11.09
150	0.76	514.03	1.03	9.97
151	0.72	513.79	0.79	8.80
152	0.69	513.56	0.56	7.56
153	0.66	513.36	0.36	6.25
154	0.64	513.19	0.19	4.84
155	0.62	513.06	0.06	3.24
156	0.61	512.97	0.00	1.56
157	0.60	512.92	0.00	0.00



**Andamento delle grandezze idrauliche nel corso dello svuotamento**