

# “VILLAROSA”

## Progetto di impianto di accumulo idroelettrico

Comuni di Calascibetta, Enna e Villarosa (EN)

### COMMITTENTE



### PROGETTAZIONE

STRATEGIES FOR WATER



Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

### Relazione idraulica



| REV. | DESCRIZIONE                | DATA       | REDATTO     | VERIFICATO | APPROVATO  |
|------|----------------------------|------------|-------------|------------|------------|
| 0    | PRIMA EMISSIONE            | 15/07/2022 | E. Marchesi | C. Pasqua  | L. Papetti |
| 1    | REVISIONE 1 - INTEGRAZIONI | 26/05/2023 | E. Marchesi | P. Macchi  | L. Papetti |
|      |                            |            |             |            |            |
|      |                            |            |             |            |            |
|      |                            |            |             |            |            |

Codice commessa: 1388

Codifica documento: 1388-A-FN-R-05-1

## INDICE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PRESA E RESTITUZIONE PRESSO<br/>IL BACINO DI VALLE</b> | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>VARIAZIONI SULLA QUOTA D'INVASO INDOTTE PRESSO IL BACINO DI<br/>VALLE</b>            | <b>4</b>  |
| <b>4</b> | <b>DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PRESA E RESTITUZIONE PRESSO<br/>IL BACINO DI MONTE</b> | <b>6</b>  |
| <b>5</b> | <b>DIMENSIONAMENTO DEL BACINO DI MONTE</b>  | <b>8</b>  |
| 5.1      | Determinazione del franco netto minimo da normativa                                     | 8         |
| 5.2      | Determinazione della quota di massimo invaso  | 9         |
| 5.3      | Soluzione adottata e verifica   | 9         |
| <b>6</b> | <b>CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA DELLO SFIORATORE DI<br/>SUPERFICIE</b>                 | <b>10</b> |
| <b>7</b> | <b>STIMA DELLE PERDITE PER EVAPORAZIONE DAL BACINO DI MONTE</b>                         | <b>14</b> |

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono sintetizzate le analisi svolte durante il dimensionamento idraulico delle principali opere che costituiscono l'impianto di pompaggio in progetto.

## 2 DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PRESA E RESTITUZIONE PRESSO IL BACINO DI VALLE

L'opera di presa e restituzione è costituita da un canale di calcestruzzo armato ad andamento orizzontale, munito di griglia a protezione dell'imbocco, raccordato al pozzo paratoie. Presso il pozzo paratoie è prevista un'area netta di transito dell'acqua di circa 27 m<sup>2</sup>.

Il dimensionamento della sezione di imbocco è stato effettuato in maniera tale che la velocità media dell'acqua, sia in entrata che in uscita, sia sempre inferiore a 1 m/s. Il superamento di tale velocità si rivela spesso causa di eccessive perdite di carico, trasporto ed accumulo di detriti che possono intasare le griglie, o di pericolose vibrazioni capaci di indurre danni gravi alle griglie.

Si prevede che attraverso l'opera di presa possa transitare una portata massima di circa 120 m<sup>3</sup>/s. La scelta progettuale adottata è stata quella di prevedere una sezione di imbocco con dimensione di 13 x 9,5 m, divisa in due sezioni separate di 6,50 x 9,50 m (cosicché in totale l'area sia di 123,5 m<sup>2</sup>, e dunque si abbiano velocità medie inferiori a 1 m/s).

È essenziale valutare la sommergenza dell'opera di presa e restituzione in modo da evitare la generazione di vortici, i quali potrebbero danneggiare per cavitazione le componenti meccaniche installate e limitare la portata effettivamente prelevabile dagli invasi.

In letteratura sono proposti due diversi approcci, basati sui test svolti da Gordon (1970) e Hacker (1981), in funzione dal valore del numero di Froude ( $Fr$ ), i quali consentono di calcolare il rapporto tra il diametro della condotta e la sommergenza minima che questa deve presentare.

Per calcolare la sommergenza sono quindi state utilizzate le seguenti formule:

Se  $Fr \leq 0,25$ , allora  $1,0 \leq h/D \leq 1,5$

Se  $Fr > 0,25$ , allora  $h/D = 0,50 + 2 \cdot Fr$

quindi:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D_{eq}}}$$

in cui:

$v = 3,89$  m/s = velocità media dell'acqua

$D_{eq} = 6,194$  m = diametro equivalente della sezione policentrica, pari a:

$$D_{eq} = \frac{4 \cdot A}{P}$$

in cui:

$A = 30,86$  m<sup>2</sup> = area della sezione policentrica

$P = 19,93$  m = perimetro bagnato della sezione policentrica  
con i valori appena riportati risulta:

$$Fr = 0,53$$
$$h = (0,5 + 2Fr) \cdot D = 9,28 \text{ m}$$

Durante la progettazione delle opere idrauliche si è considerato cautelativamente un valore pari a  $h = 9,65$  m.

### 3 VARIAZIONI SULLA QUOTA D'INVASO INDOTTE PRESSO IL BACINO DI VALLE

Le variazioni di quota del livello dell'acqua all'interno dell'invaso di Villarosa (che si verificano a seguito del funzionamento dell'impianto di pompaggio) dipendono dai seguenti fattori:

- quota iniziale dell'acqua presso l'invaso di Villarosa;
- quota iniziale dell'acqua presso il bacino di monte;
- portata in ingresso od in uscita dall'impianto (che dipende a sua volta dal numero di pompe-turbine in funzione e dalla regolazione);
- durata del funzionamento delle macchine.

In questo paragrafo vengono riportate le variazioni di livello massime, ossia quelle che avvengono nell'ipotesi in cui si voglia trasferire, da un bacino all'altro, l'intero volume utile, pari a circa 3,1 milioni di metri cubi.

Come base per i calcoli ci si è avvalsi della curva di correlazione tra quote d'invaso e volumi d'invaso ottenuta a seguito di un rilievo batimetrico eseguito dalla Regione, riportata in Figura 1.

La variazione del livello dell'acqua è maggiore quando il lago ha un minore volume di invaso, ed è minore quando il volume invasato è maggiore.

La massima escursione di livello idrico all'interno del lago di Villarosa, a seguito del funzionamento dell'impianto in progetto, avviene quando viene prelevato l'intero volume utile (3,1 milioni di metri cubi) in modo tale che, terminato il prelievo, il livello dell'acqua raggiunge la quota di 384,00 m s.l.m., quota al di sotto della quale non è possibile effettuare il pompaggio in quanto non sarebbe garantita la necessaria sommergenza all'opera di presa riportata al § 2. In questo scenario, l'escursione massima è pari a circa a 3,8 m e pertanto, è possibile trasferire l'intero volume utile nel bacino di monte solo se nel lago di Villarosa la quota dell'acqua è maggiore o uguale a 387,80 m s.l.m.

Nel caso in cui il livello del lago di Villarosa raggiunga la quota di massima regolazione (392,50 m s.l.m.), il prelievo dell'intero volume utile (3,1 milioni di metri cubi) comporterebbe un abbassamento del livello del lago pari di circa 2,7 m (fino a quota 389,80 m s.l.m.).

Infine, nel caso in cui la quota d'invaso all'interno del lago di Villarosa sia pari al valore medio tra la quota di massima regolazione (392,50 m s.l.m.) e la quota di minima regolazione che consente il funzionamento dell'impianto di pompaggio (384,00 m s.l.m.),

ossia nel caso in cui la quota d'invaso sia pari a 388,25 m s.l.m., l'escursione risulta pari a 3,7 m nel caso di prelievo dell'intero volume utile (la quota d'invaso in questo caso scenderebbe a quota 384,55 m s.l.m.) mentre l'escursione risulta pari a 2,9 m nel caso di restituzione dell'intero volume utile dal bacino di monte (la quota d'invaso in questo caso salirebbe a quota 391,15 m s.l.m.).

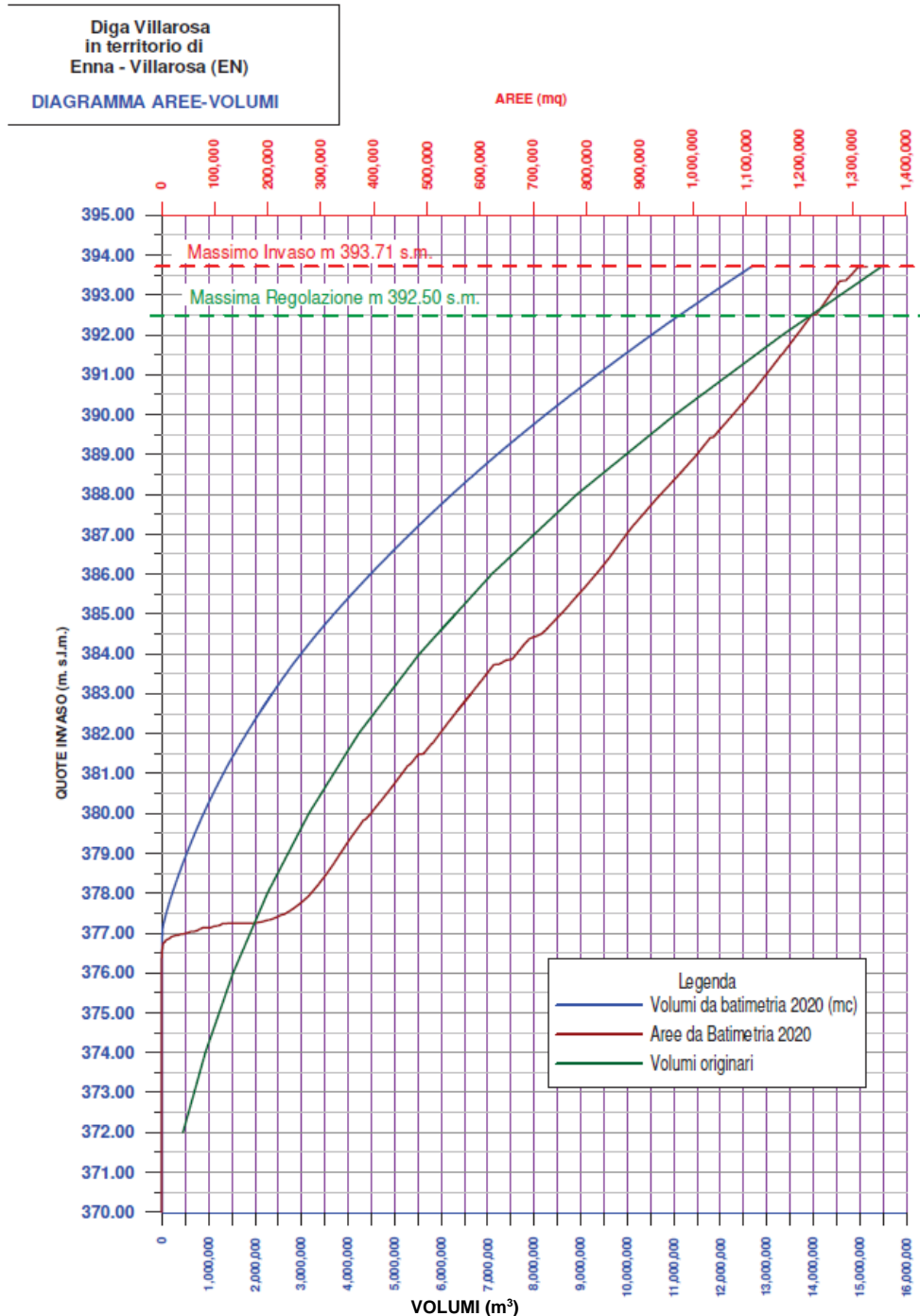


Figura 1 - Diagramma aree volumi dell'invaso di Villarosa

#### 4 DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PRESA E RESTITUZIONE PRESSO IL BACINO DI MONTE

L'opera di presa e restituzione a calice è costituita da una soglia di forma circolare (Figura 2), che convoglia le acque all'interno di una struttura verticale di raggio interno variabile; tale struttura è raccordata alla galleria sub-orizzontale, posta alla sua base, tramite una curva ad angolo retto.

L'opera di presa deve sempre funzionare sotto battente, al fine di limitare i fenomeni di intrusione di aria e di formazione di vortici (che sollecitano la struttura). A tal fine, è necessario individuare la sommergenza minima, ossia un'altezza di acqua che deve essere presente al di sopra della soglia sfiorante affinché venga inibito il funzionamento a stramazzo. La sommergenza minima, che è funzione della portata, coincide con il battente idrico sul ciglio in condizioni di funzionamento a stramazzo nel caso in cui venga derivata la portata massima di progetto, ossia 120 m<sup>3</sup>/s; questo valore può essere ricavato sfruttando la seguente legge di deflusso a stramazzo:

$$Q_{str} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \mu \cdot h_{str}^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}$$

In cui:

$Q_{str}$  = portata di riferimento = 120 m<sup>3</sup>/s

$R$  = raggio in sommità

$h_{str}$  = battente idrico in condizioni di funzionamento a stramazzo, per la portata  $Q_{str}$

$\mu$  = coefficiente di efflusso, valutabile secondo la seguente espressione (Lazzari, 1959):

$$\mu = 0,371 \cdot \left( \frac{R + x_0}{h + y_0} \right)^{0,05}$$

In cui  $x_0$  e  $y_0$  rappresentano due parametri geometrici dell'imbocco, che possono essere determinati sfruttando le formule sperimentali di Lazzari:

$$\begin{cases} x_0 = 0,144 \cdot (h + y_0) + 0,011 \cdot (R + x_0) \\ y_0 = 0,055 \cdot (h + y_0) + \frac{0,03 \cdot (h + y_0)^2}{R + x_0} \end{cases}$$

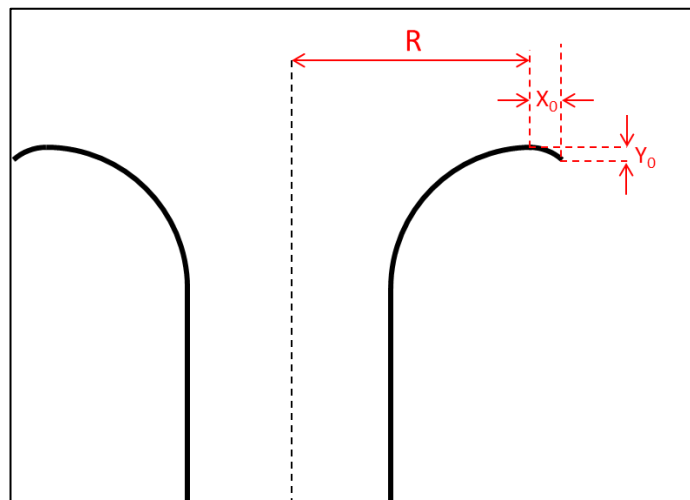


Figura 2 - Schema geometrico dell'imbocco dell'opera di presa e restituzione a calice

La validità delle formule di Lazzari sussiste se vale quanto segue:

$$0,1 \leq \left( \frac{h + y_0}{R + x_0} \right) \leq 0,5$$

Ipotizzando di avere un ciglio di raggio di 6 m, si ottengono i valori riportati in Tabella 1.

| <b>Grandezza</b>                         | <b>Valore</b> | <b>Unità di misura</b> |
|--|---------------|------------------------|
| Q <sub>stramazzo</sub>                   | 120           | m <sup>3</sup> /s      |
| R  | 6             | m                      |
| x <sub>0</sub>                           | 0,38          | m                      |
| y <sub>0</sub>                           | 0,14          | m                      |
| μ  | 0,392         | -                      |
| (h+y <sub>0</sub> )/(R+ x <sub>0</sub> ) | 0,34          | -                      |
| h <sub>str</sub>                         | 1,49          | m                      |

*Tabella 1 - Caratteristiche geometriche dell'opera di presa*

Dai calcoli effettuati risulta che la sommergenza minima da considerare è pari a 1,49 m.

## 5 DIMENSIONAMENTO DEL BACINO DI MONTE

### 5.1 DETERMINAZIONE DEL FRANCO NETTO MINIMO DA NORMATIVA

Il rilevato che costituisce il bacino di monte è classificabile come “grande diga” in quanto determina un volume d’invaso superiore al milione di metri cubi. Per questa categoria di dighe, il D.M. 26/06/2014 prevede delle norme relative al franco netto minimo, definito in questo modo: “... differenza tra la quota del piano di coronamento e quella di massimo invaso incrementata della semialtezza della maggiore tra l’onda generata dal vento ovvero quella di massima regolazione incrementata della semialtezza dell’onda da sisma di progetto, calcolate come all’art. C2. Per il calcolo del franco netto dovranno essere, inoltre, considerati i fenomeni di interazione tra moto ondoso e diga: “riflessione” e “risalita” (run-up). Per queste due ultime componenti, ai fini del mantenimento del franco previsto, si potrà anche ricorrere ad un idoneo muro paraonde, di altezza non superiore a 1,4 m ...”

Sinteticamente, nel caso di rilevati in terra il franco (inteso come dislivello tra quota di massimo invaso e quota del coronamento della diga) è definito come la somma dei contributi seguenti:

- contributo variabile in funzione dell’altezza del rilevato (1,5 m per dighe di altezza inferiore a 15 m; 3,5 m per dighe di altezza superiore o uguale a 90 m; per valori intermedi si ricorre all’interpolazione lineare).

L’altezza massima della diga è di 28,50 m, pertanto questo contributo è assunto pari a 1,860 m;

- contributo associato all’abbassamento del coronamento derivante dai cedimenti del terreno e del rilevato dopo il termine della costruzione, nonché quelli derivanti da azioni sismiche; questi non devono essere assunti inferiori a 0,5 cm per metro di altezza della diga.

In questa fase preliminare, si prende come riferimento il valore indicato, pertanto questo contributo è pari a  $0,005 \text{ m} \times 28,50 \text{ m} = 0,143 \text{ m}$ ;

- contributo associato alle onde da vento e da sisma; in mancanza di indagini più precise, il D.M. indica di assumere i valori della massima ampiezza delle onde generate nel serbatoio dal vento di velocità U (km/h) incrementati dalla risalita contro il paramento dello sbarramento, dati nella tabella seguente:

| Velocità vento<br>[km/h] | Ampiezza d'onda [m] |       |      |      |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|---------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | Fetch [km]          |       |      |      |       |       |       |       |       |       |
|                          | 1                   | 2     | 4    | 6    | 8     | 10    | 11    | 20    | 40    | 50    |
| 100                      | 0.27                | 0.38  | 0.53 | 0.65 | 0.75  | 0.84  | 0.88  | 1.18  | 1.67  | 1.87  |
| 80                       | 0.20                | 0.29  | 0.40 | 0.49 | 0.57  | 0.64  | 0.67  | 0.90  | 1.27  | 1.42  |
| 60                       | 0.14                | 0.20  | 0.29 | 0.35 | 0.41  | 0.45  | 0.48  | 0.64  | 0.90  | 1.01  |
| 40                       | 0.09                | 0.13  | 0.18 | 0.22 | 0.26  | 0.29  | 0.30  | 0.40  | 0.57  | 0.63  |
|                          | run_up [m]          |       |      |      |       |       |       |       |       |       |
|                          | 0.033               | 0.063 | 0.12 | 0.17 | 0.223 | 0.273 | 0.298 | 0.518 | 0.973 | 1.188 |



Essendo il *fetch* inferiore ad 1 km, si assume cautelativamente il valore associato alla velocità massima del vento prevista nella tabella per *fetch* di 1 km; tale contributo è pertanto pari a  $0,27 \text{ m} + 0,033 \text{ m} = 0,303 \text{ m}$

Come riportato in precedenza, la normativa vigente prevede la possibilità di ricorrere a muri paraonde per contenere questo contributo.

## 5.2 DETERMINAZIONE DELLA QUOTA DI MASSIMO INVASO

Il bacino di monte non sbarra alcun corso d'acqua, e pertanto non possiede un bacino imbrifero. In altre parole, le uniche acque che possono essere recapitate all'interno del bacino sono quelle derivanti dalle precipitazioni che cadono all'interno della superficie delimitata dal perimetro del coronamento.

Pertanto, l'altezza di massimo invaso può essere calcolata semplicemente tramite un'analisi idrologica, valutando l'altezza di precipitazione associata ad un tempo di ritorno di 3.000 anni. Per le analisi idrologiche eseguite, si rimanda alla *Relazione idrologica* (elaborato 1388-A-FN-R-04-1).

È stato scelto di adottare in via cautelativa l'altezza di precipitazione associata ad una durata di 1 h, ossia **120 mm**. Come ulteriore misura cautelativa, in virtù dell'intrinseca incertezza delle analisi idrologiche ed in considerazione del fatto che la superficie sciolante (quella delimitata dal coronamento) è maggiore della superficie bagnata alla quota di massima regolazione, si ipotizza che tale altezza sia pari a **0,150 m**.

È utile sottolineare che questa scelta è a favore di sicurezza in quanto si ipotizza che durante l'intera durata dell'evento di precipitazione venga trascurato il modesto effetto di laminazione operatore dallo sfioratore di superficie e non venga fatto entrare in funzione l'impianto di pompaggio.

## 5.3 SOLUZIONE ADOTTATA E VERIFICA

Al fine di contenere l'altezza della diga, e conseguentemente l'ingombro planimetrico, si è deciso di realizzare un muro paraonde alto 0,50 m (Figura 3); esso consente di contenere interamente gli effetti di sovrizzo causato dalle onde da vento e da sisma (aventi un valore stimato di 0,303 m).

In questo modo, è stato possibile soddisfare la verifica del franco di sicurezza della diga prevedendo una differenza di 2,10 m tra la quota di massimo invaso (642,90 m s.l.m.) ed il piano di coronamento (645,00 m s.l.m.): infatti, tale dislivello consente di contenere la parte restante del franco minimo non associato alle onde da vento e sisma, ossia  $1,860 + 0,143 \text{ m} = 2,003 \text{ m}$ .

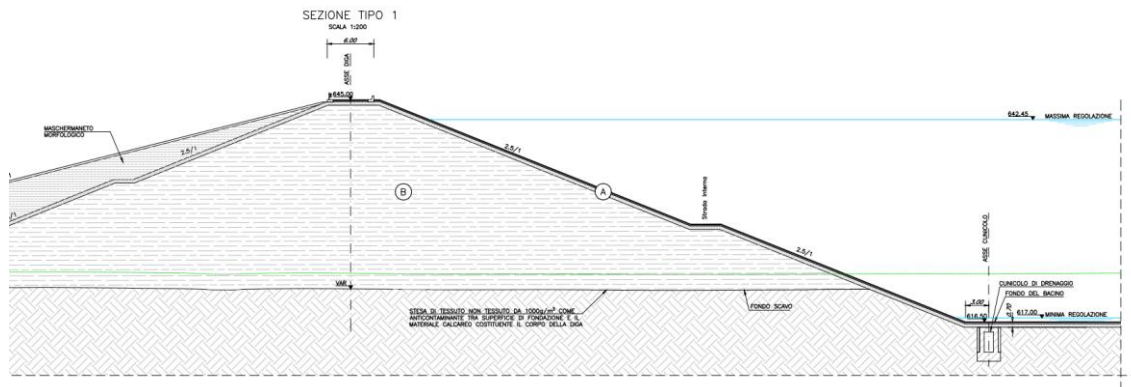


Figura 3 – Sezione del rilevato di monte

## 6 CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA DELLO SFIORATORE DI SUPERFICIE

Lo sfioratore di superficie è previsto lungo il lato nord-est del bacino, con soglia posta a 30 cm sopra la quota di massima regolazione (642,45 m s.l.m.), dunque a quota 642,75 m s.l.m.

Come riportato nella *Relazione Tecnica Particolareggiata* (doc. ref. 1388-A-FN-R-01-1), ci si attende il funzionamento di tale sfioratore solo in occorrenza di una concatenazione di eventi sfavorevoli e in caso di un evento meteorico associato ad un tempo di ritorno di 3.000 anni; ad ogni modo, di seguito è calcolata la massima portata che ci si attende in uscita dallo sfioratore.

La formula utilizzata per il calcolo di tale portata è quella dello sfioratore Bazin:

$$Q = \mu \cdot L \cdot h_{sfioro} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{sfioro}}$$

dove:

$Q$  [m<sup>3</sup>/s] = portata transitante dallo sfioratore di superficie

$L$  [m] = larghezza della luce dello sfioratore

$\mu$  [-] = coefficiente di efflusso

$h_{sfioro}$  [m] = battente d'acqua sopra la soglia sfiorante

La  $h_{sfioro}$  è pari a 150 mm, ottenuta come differenza tra 642,90 m s.l.m. (quota raggiungibile in occasione dell'evento di precipitazione citato al § 5.2) e 642,75 m s.l.m. (la quota della soglia dello sfioratore), trascurando quindi ogni effetto di laminazione che la presenza dello sfioratore stesso introdurrà e ipotizzando che non sia attivata la derivazione tramite l'impianto di pompaggio, il quale ridurrebbe il livello all'interno del bacino e conseguentemente la lama d'acqua sopra il ciglio dell'opera.

Il coefficiente di efflusso ha valore 0,385 (valido per sfioratori a larga soglia) mentre la larghezza  $L$  è scelta pari a 4 m.

Con i valori appena introdotti la portata sfiorata è  **$Q = 0,40$  m<sup>3</sup>/s.**

Come descritto al § 5.5 della *Relazione tecnica particolareggiata* (doc. ref. 1388-A-FN-R-01-1), partendo dallo sfioratore di superficie, la sopra citata portata sarà incanalata in una tubazione sotterranea avente diametro interno di 400 mm, lunga circa 700 m ed

avente una pendenza pari al 9% circa. Tale tubazione termina presso un impluvio naturale posto lungo in direzione sud-est rispetto al bacino di monte.

Nel seguito del capitolo viene analizzato e spiegato che la probabilità di attivazione dello sfioratore di superficie del bacino di monte è estremamente remota, e che il contributo della portata massima evacuata tramite lo sfioratore di superficie è paragonabile ad un evento di piena naturale con tempo di ritorno di 5 anni in corrispondenza dell'impluvio in cui vengono recapitate le acque derivanti dallo sfioratore di superficie.

#### Probabilità di attivazione dello scarico dello sfioratore di superficie del bacino di monte

Come descritto al § 5.5 della *Relazione tecnica particolareggiata* (doc. ref. 1388-A-FN-R-01-1), lo sfioratore risulterebbe in funzione nel caso in cui si verificano contemporaneamente le seguenti condizioni:

- *il bacino di monte è riempito fino alla quota di massima regolazione*
- *si verifica un evento meteorico (pioggia) con tempo di ritorno di 3,000 anni*
- *l'intensità e la direzione del vento sono tali da creare un sovrizzo di almeno 30 cm in corrispondenza dello sfioratore*
- *l'impianto non è in grado di poter attivare le macchine in maniera tale da restituire al bacino di valle parte del volume accumulato nel bacino di monte.*

Convertendo queste condizioni in termini numerici, si può affermare che la probabilità di attivazione dello sfioratore di superficie del bacino di monte sia pari al prodotto delle seguenti probabilità:

- probabilità che l'acqua nel livello di monte sia alla quota di massima regolazione al momento dell'inizio dell'evento meteorico: si può ipotizzare una probabilità del 50%;
- probabilità che in un determinato anno accada un evento meteorico con tempo di ritorno di 3.000 anni:  $1/3.000 = 0,0\bar{3} \%$ ;
- probabilità che intensità e direzione del vento siano tali da creare un sovrizzo di almeno 30 cm in corrispondenza dello sfioratore: difficilmente stimabile, e pertanto si ipotizza cautelativamente che la probabilità sia pari al 100% (coincidente con il sopracitato evento meteorico con tempo di ritorno di 3.000 anni);
- probabilità che vi sia un guasto ad entrambe le pompe-turbine tale per cui non è possibile in alcun modo trasferire volume di acqua dal bacino di monte a quello di valle: tale probabilità può essere stimata pari all'1%.

Il prodotto finale rappresenta la probabilità che venga attivato lo sfioratore di superficie (e che quindi possa defluire nel relativo canale e ricettore una portata massima di  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ed è pari a  $0,0001\bar{6} \%$ . Convertendo questo numero in un tempo di ritorno, quest'ultimo sarebbe pari a  $1 / 0,0001\bar{6} \% = 600,000$  anni.

Si evince dunque che la probabilità di contemporaneità di tali coincidenze è estremamente remota.

Contributo della portata dello scarico dello sfioratore di superficie del bacino di monte rispetto alle portate già defluenti nel ricettore finale

Di seguito viene valutata la portata di piena del bacino imbrifero d'interesse, ossia quello del ricettore in cui termina lo scarico dello sfioratore di superficie. Le portate di piena sono valutate con tempi di ritorno di 5, 10 e 20 anni, per poter consentire un migliore confronto tra gli ordini di grandezza degli eventi di piena normale del bacino imbrifero d'interesse e la portata massima eventualmente derivante dallo sfioratore di superficie.

Il bacino imbrifero d'interesse ha un'estensione pari a circa 30.000 m<sup>2</sup> (Figura 4).



*Figura 4 – Bacino imbrifero sotteso dalla sezione di chiusura individuata (termine scarico sfioratore di superficie)*

La portata massima attesa all'interno di questa canaletta può essere stimata tramite la formula razionale:

$$Q_T[\text{m}^3/\text{s}] = 0,28 \cdot c \cdot i_T(t_c) \cdot A$$

in cui:

- 0,28 = coefficiente numerico che consente di ottenere la portata in m<sup>3</sup>/s [-]

- $c$  = coefficiente di deflusso del bacino [-] , ossia la frazione dell'afflusso meteorico che si traduce in deflusso superficiale
- $i_T(t_c)$  = l'intensità di precipitazione [mm/h] con tempo di ritorno  $T$  e durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  [h]
- $A$  = area del bacino [km<sup>2</sup>]

Per la determinazione del coefficiente di deflusso si fa riferimento alla Tabella 2, che riprende i valori indicati dalla FAO<sup>1</sup> nel 1976. A favore di sicurezza, si assume un valore pari a  $c = 0,5$  (il valore massimo contenuto previsto nella Tabella 2).

| Tipo di suolo  | Copertura del bacino |         |        |
|--|----------------------|---------|--------|
|  | coltivazioni         | pascoli | boschi |
| Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi   | 0,20                 | 0,15    | 0,10   |
| Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla)- Terreni di medio impasto o simili   | 0,40                 | 0,35    | 0,30   |
| Suoli poco permeabili. Suoli fortemente argillosi o simili con strati di argilla vicini alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile | 0,50                 | 0,45    | 0,40   |

Tabella 2 - Valori del coefficiente di deflusso al variare del tipo di suolo e copertura del bacino

L'intensità di precipitazione associata al tempo di ritorno  $T$  può essere stimata tramite la seguente formula:

$$i_T(t_r) = \frac{h_T}{t_r}$$

In cui  $h_T$  può essere calcolato utilizzando la definizione fornita dal progetto VaPI (si rimanda al § 2 della *Relazione Idrologica*, doc. ref. 1388-A-FN-R-04-1).

Per il tempo di corrivazione, si utilizza la formula di Giandotti:

$$t_c \text{ [h]} = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_{min}}}$$

in cui:

- $L = 0,4$  km = lunghezza dell'asta principale
- $H_{med} = 616$  m s.l.m. = altitudine media del bacino imbrifero
- $H_{min} = 572$  m s.l.m. = altitudine minima del bacino imbrifero

In base a quanto riportato, i valori della piena associata a tempi di ritorno di 5, 10 e 20 anni sono rispettivamente  $Q_5 = 0,42$  m<sup>3</sup>/s,  $Q_{10} = 0,52$  m<sup>3</sup>/s e  $Q_{20} = 0,62$  m<sup>3</sup>/s.

In *Tabella 3* vengono riassunti i risultati di questo metodo:

<sup>1</sup> FAO, Conservation Guide n° 2; Hydrological Tecnicques for upstream conservation, Roma 1976.

| Grandezza                         | Valore | Unità di misura   |
|-----------------------------------|--------|-------------------|
| A                                 | 0,03   | km <sup>2</sup>   |
| c                                 | 0,50   | -                 |
| t <sub>c</sub>                    | 0,24   | h                 |
| h <sub>5</sub>                    | 24     | mm                |
| i <sub>5</sub> (t <sub>c</sub> )  | 100    | mm/h              |
| Q <sub>5</sub>                    | 0,42   | m <sup>3</sup> /s |
| h <sub>10</sub>                   | 30     | mm                |
| i <sub>10</sub> (t <sub>c</sub> ) | 124    | mm/h              |
| Q <sub>10</sub>                   | 0,52   | m <sup>3</sup> /s |
| h <sub>20</sub>                   | 36     | mm                |
| i <sub>20</sub> (t <sub>c</sub> ) | 148    | mm/h              |
| Q <sub>20</sub>                   | 0,62   | m <sup>3</sup> /s |

Tabella 3 - Calcolo della piena associata ad un tempo di ritorno di 5, 10 e 20 anni

Si può notare che la sola portata di piena del bacino imbrifero d'interesse per un tempo di ritorno di 5 anni è superiore alla portata che eventualmente potrebbe derivare dallo sfioratore di superficie del bacino di monte.

In virtù della remota probabilità di attivazione dello scarico citata precedentemente (tempo di ritorno stimabile in 600,000 anni), la presenza dello scarico dello sfioratore di superficie non influenza in modo rilevante le condizioni idrauliche del bacino imbrifero d'interesse. Pertanto, la presenza di tale opera non rende necessario alcun intervento di messa in sicurezza a valle dello scarico stesso (e.g., arginature, dissipatori, vasche di laminazione, etc.) e l'influenza sui fenomeni di trasporto solido può essere ritenuta trascurabile.

Si ritiene infine che l'attivazione dello sfioratore di superficie non produca alcun effetto sensibile sul bacino di valle (lago di Villarosa), in quanto il contributo di tale scarico (400 l/s) rappresenta lo 0,03% della portata di progetto della diga di Villarosa (pari a 1.350 m<sup>3</sup>/s, come riportato nel Foglio Condizioni per l'Esercizio e la Manutenzione della diga di Villarosa).

## 7 STIMA DELLE PERDITE PER EVAPORAZIONE DAL BACINO DI MONTE

La stima delle perdite d'acqua per evaporazione dalla superficie di un bacino è argomento complicato e di difficile valutazione.

Come è intuibile, esso dipende da diversi fattori come temperatura di acqua e aria, umidità, irraggiamento, precipitazioni, presenza di venti e da altre variabili atmosferiche che, combinandosi con quelle sito-specifiche (come, ad esempio, la profondità del bacino), rendono quantomeno complicato calcolare un valore con alta affidabilità.

In letteratura sono presenti diverse formulazioni dell'evaporazione da bacino proposte da vari autori: Thornthwaite-Holzman, Meyer, Leather, Visentini, ecc. In questo para-

grafo sarà sviluppato il calcolo seguendo due delle alternative proposte da Visentini le quali, soprattutto in Italia, hanno trovato significativo utilizzo ed applicazione.

I dati utilizzati in ingresso ai due metodi sono i seguenti:

- temperature medie mensili a Villarosa, stimate come media tra le massime e minime mensili (dati ottenuti dal *National Centers for Environmental Information*)
- superficie occupata dall'acqua nel bacino di monte alla quota di massima regolazione: 169.000 m<sup>2</sup>
- superficie occupata dall'acqua nel bacino di monte alla quota di minima regolazione: 75.000 m<sup>2</sup>

Il primo dei due metodi consente di stimare l'evaporazione media mensile  $E_m$  partendo dalla relativa temperatura media mensile, tramite la formula:

$$E_{mensile} = 2,25 \cdot T_m^{1,5}$$

Si ottengono i risultati riportati in Tabella 4.

| Mese               | Temperature medie mensili [°C] | $E_{mensile}$ [mm/mese] |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Gennaio            | 8,5                            | 55,8                    |
| Febbraio           | 9,0                            | 60,8                    |
| Marzo              | 11,5                           | 87,7                    |
| Aprile             | 14,0                           | 117,9                   |
| Maggio             | 18,5                           | 179,0                   |
| Giugno             | 24,0                           | 264,5                   |
| Luglio             | 27,0                           | 315,7                   |
| Agosto             | 27,0                           | 315,7                   |
| Settembre          | 22,5                           | 240,1                   |
| Ottobre            | 19,0                           | 186,3                   |
| Novembre           | 13,5                           | 111,6                   |
| Dicembre           | 10,0                           | 71,2                    |
|                    |                                |                         |
| <i>Media annua</i> | <i>17,0</i>                    | <i>167,2</i>            |
| <i>Somma</i>       | -                              | <i>2006,3 [mm/anno]</i> |

Tabella 4 - Temperature medie mensili ed evaporazione media mensile<sup>2</sup>

Moltiplicando il risultato di evaporazione annua ottenuto per la superficie del bacino di monte alla massima regolazione si ottiene la stima dell'evaporazione annua del bacino in esame:

$$Evap_{annua,1} = 2.006,3 \frac{\text{mm}}{\text{anno}} \cdot 169.000 \text{ m}^2 \approx 339.000 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 10,8 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Ipotizzando invece di aver un bacino che per il 50% dell'anno è alla quota di massima regolazione mentre per il restante tempo è posto a quella di minima regolazione, si ottiene:

<sup>2</sup> I dati di temperature medie mensili provengono dal sito [www.ncei.noaa.gov/](http://www.ncei.noaa.gov/).

$$Evap_{annua,1} = 2.006,3 \frac{\text{mm}}{\text{anno}} \cdot \frac{169.000 + 75.000}{2} \text{ m}^2 \approx 245.000 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 7,8 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Il secondo metodo di stima dell'evaporazione proposto da Visentini prevede l'utilizzo della temperatura media annua e di un coefficiente empirico (90 nel caso di specchi d'acqua posizionati in quota sopra i 500 m s.l.m.) e di un contributo fisso di 300 mm/anno, espressi nella seguente formulazione:

$$E_{annua,2} = 90 \cdot 17,0 \text{ }^\circ\text{C} + 300 \frac{\text{mm}}{\text{anno}} = 1.833,8 \frac{\text{mm}}{\text{anno}}$$

Procedendo come per il primo metodo, moltiplicando il risultato di evaporazione annua appena ottenuto per la superficie del bacino di monte alla massima regolazione si ottiene la stima dell'evaporazione annua del bacino in esame:

$$Evap_{annua,2} = 1.833,8 \frac{\text{mm}}{\text{anno}} \cdot 169.000 \text{ m}^2 \approx 310.000 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 9,8 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Ipotizzando un bacino che per il 50% dell'anno è alla quota di massima regolazione mentre per il restante tempo è posto a quella di minima regolazione, si ottiene:

$$Evap_{annua,2} = 1.833,8 \frac{\text{mm}}{\text{anno}} \cdot \frac{169.000 + 75.000}{2} \text{ m}^2 \approx 224.000 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 7,1 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

In conclusione, volendo prendere il risultato più cautelativo, ovvero quello che restituisce il più elevato valore di evaporazione, si considera per il bacino di monte una perdita di 339.000 m<sup>3</sup>/anno, pari a 10,8 l/s.

Questa stima potrebbe essere ritenuta cautelativa considerando il fatto che, in seguito al trasferimento di acqua dal bacino di valle a quello di monte, si riduce la superficie bagnata dell'invaso di Villarosa, e dunque si induce indirettamente una diminuzione delle perdite per evaporazione in tale invaso.





Tel: +39 030 3702371 – Mail: [info@frosionext.com](mailto:info@frosionext.com) - Sito: [www.frosionext.com](http://www.frosionext.com)  
Via Corfù 71 - Brescia (BS), CAP 25124  
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179