

“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

Codice commessa: 1388

Codifica documento: 1388-A-FN-R-05-0

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PRESA E RESTITUZIONE PRESSO IL BACINO DI VALLE	3
3	DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PRESA E RESTITUZIONE PRESSO IL BACINO DI MONTE	4
4	DIMENSIONAMENTO DEL POZZO PIEZOMETRICO	5
4.1	Premessa	5
4.2	Criterio di stabilità di Thoma	6
4.3	Criterio di contenimento del pelo libero	7
5	DIMENSIONAMENTO DEL BACINO DI MONTE	9
5.1	Determinazione del franco netto minimo da normativa	9
5.2	Determinazione della quota di massimo invaso	10
5.3	Soluzione adottata e verifica	10
6	CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA DELLO SFIORATORE DI SUPERFICIE	11
7	STIMA DELLE PERDITE PER EVAPORAZIONE DAL BACINO DI MONTE	11

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 15,40 m². 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 m³/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 m², 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:

$v = 4,09$ m/s = velocità media dell'acqua

$D_{eq} = 5,986$ m = diametro equivalente della sezione policentrica, pari a:

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

in cui:

$A = 29,18$ m² = area della sezione policentrica

$P = 19,49$ m = perimetro bagnato della sezione policentrica

con i valori appena riportati risulta:

$$Fr = 0,53$$

$$h = (0,5 + 2Fr) \cdot D = 9,38 \text{ m}$$

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

3 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 1), 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 $120 \text{ m}^3/\text{s}$; 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 = $120 \text{ m}^3/\text{s}$

R = raggio in sommità

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

μ = 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:

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

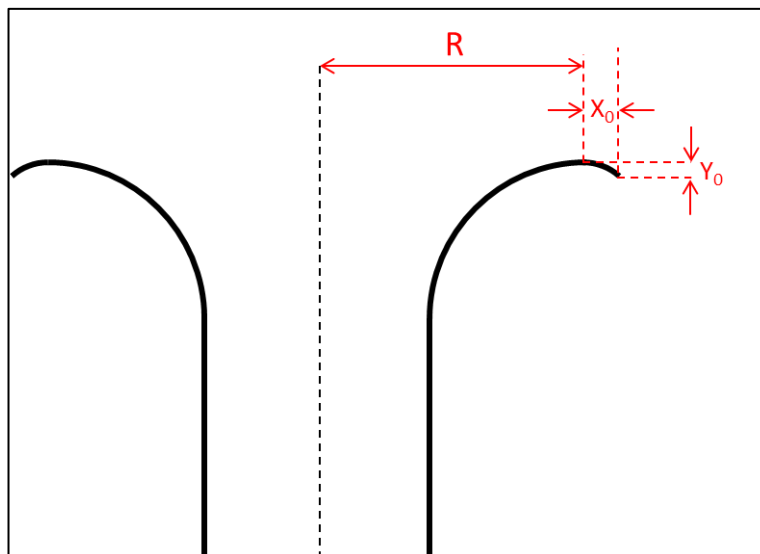


Figura 1 - Schema geometrico dell'imbocco dell'opera di presa e restituzione a calice

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.

Grandezza	Valore	Unità di misura
$Q_{\text{stramazzo}}$	120	m^3/s
R	6	m
x_0	0,38	m
y_0	0,14	m
μ	0,392	-
$(h+y_0)/(R+x_0)$	0,34	-
h_{str}	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.

4 DIMENSIONAMENTO DEL POZZO PIEZOMETRICO

4.1 PREMESSA

Il pozzo piezometrico è previsto al fine di migliorare il comportamento dell'impianto nel caso di moto vario per:

- limitare le sovrappressioni causate dal colpo d'ariete in tutto il canale di carico (specialmente sul tratto che dal pozzo piezometrico raggiunge l'opera di presa e restituzione di valle);
- permettere una migliore regolazione generale dell'impianto.

La posizione scelta è il risultato di un compromesso tra il vincolo per il quale il pozzo debba comprendere la quota di massima regolazione dell'invaso di Villarosa (392,50 m

s.l.m.) e l'opportunità di collocare il pozzo piezometrico quanto più possibile in prossimità della centrale (in modo da estendere il più possibile la porzione di canale di scarico sottoposta a minori sovrappressioni causate dal colpo d'ariete).

La tipologia di pozzo piezometrico adottata per il dimensionamento è quella del pozzo cilindrico con strozzatura alla base. Rispetto alla soluzione più semplice, ossia il pozzo piezometrico cilindrico a sezione costante, questa architettura permette, a parità di condizioni di sollecitazione, di ridurre le ampiezze di oscillazione del pelo libero dell'acqua in esso contenuto.

I criteri che regolano il dimensionamento del pozzo sono essenzialmente tre:

- criterio di stabilità di Thoma
- criterio di strozzatura ottima
- criterio di contenimento del pelo libero

L'applicazione di questi criteri ha condotto a un pozzo piezometrico di diametro di 15 m, alto 61 m (dalla quota di 356 m s.l.m. alla quota di 417 m s.l.m.), con strozzatura di 2,60 m.

4.2 CRITERIO DI STABILITÀ DI THOMA

Con l'introduzione di un pozzo piezometrico lungo il sistema di condotte che collegano l'invaso alle macchine idrauliche della centrale, l'impianto è soggetto a fenomeni di oscillazioni di massa.

Nel caso di un piccolo decremento della quota del pelo idrico all'interno del pozzo piezometrico, aumenterebbe il salto dell'impianto, e dunque la potenza generata. Un aumento della potenza tende ad accelerare le turbine; in tal caso subentra il regolatore di velocità che, con l'obiettivo di riportare la potenza a quella desiderata, interviene riducendo la portata. Quest'azione potrebbe pertanto comportare un ulteriore abbassamento del pelo libero all'interno del pozzo, tanto più intenso quanto più piccola è la sezione del pozzo.

Il criterio di Thoma¹, permette di individuare la sezione minima che deve essere garantita nel pozzo piezometrico affinché vi sia stabilità. Tale metodo è stato introdotto nel 1910 ed è tutt'ora considerato il riferimento per questo tipo di dimensionamento.

Introducendo un fattore di sicurezza pari a 1,5 è stato possibile ricavare il diametro necessario a soddisfare il criterio di Thoma, pari a $D_{Thoma} = 11,92 m$. Tuttavia, è stato deciso di adottare come diametro un valore maggiore, pari a $D_{pozzo} = 15,00 m$, in modo tale da limitare le oscillazioni del pelo libero, che consente di avere un pozzo piezometrico meno alto e conseguentemente una più breve galleria d'accesso alla sua sommità.

¹ Thoma, D., (1910), *Zur Theorie des Wasserschlosses bei Selbsttaetig Geregeltten Turbinenanlagen*, Oldenburg, Munchen, Germany.

4.3 CRITERIO DI CONTENIMENTO DEL PELO LIBERO

Il criterio di Thoma ha imposto unicamente la sezione minima del pozzo, ma non considera l'estensione verticale che questo debba avere per poter contenere in sicurezza le oscillazioni del pelo libero, che potrebbero occorrere in fase di esercizio e nell'eventualità di particolari e sfavorevoli concatenazione di eventi.

Il criterio di contenimento del pelo libero impone banalmente che le oscillazioni di questo livello non oltrepassino il limite superiore e inferiore del pozzo; è di fondamentale importanza scegliere la condizione di carico più gravosa per questa verifica.

Le variazioni di portata che maggiormente sollecitano il pozzo piezometrico sono quelle che derivano da manovre alterne, e non da manovre singole. Tra le numerose possibili manovre alterne che possono verificarsi durante la vita utile dell'impianto di pompaggio, si è scelto di considerare una particolare condizione: da una situazione di fermo impianto si avviano istantaneamente entrambe le pompe alla massima potenza ($115 \text{ m}^3/\text{s}$), e nel momento più sfavorevole si verifica un brusco arresto di entrambe le pompe (attraverso cui, istantaneamente, non transita alcuna portata). Questo scenario, denominato di seguito "caso A", consente di valutare il livello massimo raggiunto nel pozzo piezometrico, e viene valutato imponendo come condizione al contorno che il livello nell'invaso di valle sia pari alla quota di massima regolazione ($392,50 \text{ m s.l.m.}$).

Si fa presente che tale situazione è estremamente improbabile, ma utile per valutare l'altezza massima raggiunta dal livello idrico all'interno del pozzo piezometrico. Si nota inoltre che, a favore di sicurezza, si è ipotizzato che l'avvio delle macchine sia istantaneo, nonostante questo sia ben lontano dall'essere possibile.

L'istante più sfavorevole in cui potrebbe verificarsi l'arresto contemporaneo delle pompe corrisponde al momento in cui la portata transitante all'interno del canale di scarico che unisce la presa al pozzo piezometrico raggiunge un valore di massimo locale. Infatti, arrestando bruscamente le pompe, per il bilancio di massa non può più transitare alcuna portata tra il pozzo piezometrico e le macchine, e tutta l'acqua viene immediatamente dirottata verso il pozzo, innalzandone il livello.

Per la valutazione relativa al livello minimo raggiunto all'interno del pozzo piezometrico, si prende invece in considerazione il caso in cui si abbia un avvio istantaneo alla massima potenza quando il livello nell'invaso di valle corrisponda al livello minimo che consente il funzionamento dell'impianto, ossia $384,00 \text{ m s.l.m.}$ Questo caso è denominato "caso B".

Per l'analisi di questi particolari transitori ci si è avvalsi del modello numerico proposto da Travaš² (2014). I risultati permettono di riprodurre il moto vario dell'impianto, mostrando le variazioni in cui incorrono le portate transittanti nel canale di scarico che unisce l'invaso di valle al pozzo e nel pozzo (mentre nella condotta tra il pozzo e le macchine la portata è solo pari a quella di progetto oppure nulla).

² Travaš, V. (2014). *Water mass oscillations in a generic surge chamber*. Građevinar. 66. 323-334. 10.14256/JCE.989.2013.

I risultati di questa analisi, eseguita con una discretizzazione temporale molto elevata, sono esposti nei grafici di Figura 2 e Figura 3.

A seguito del *processing* sopra descritto, possono dunque essere estrapolati i valori delle quote massime e minime raggiunte dall'acqua all'interno del pozzo piezometrico: la quota minima è pari a $359,33 \text{ m s.l.m.}$ e la quota massima è $415,06 \text{ m s.l.m.}$

In seguito a questi risultati, per il pozzo piezometrico è stata prevista una quota minima di $356,00 \text{ m s.l.m.}$ ed una quota massima di $417,00 \text{ m s.l.m.}$

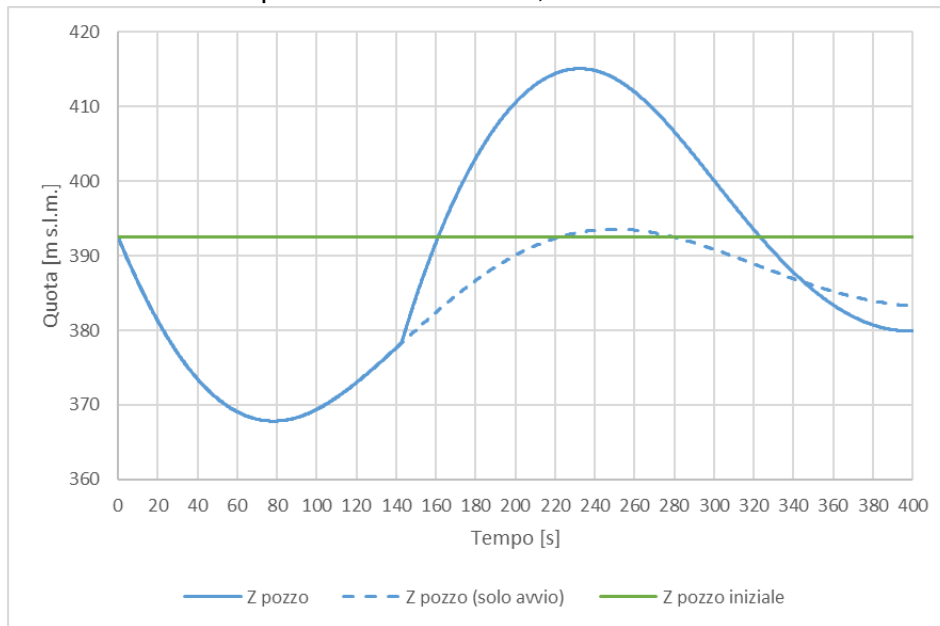


Figura 2 - Andamento del pelo libero all'interno del pozzo piezometrico relativamente al caso A (si noti lo scostamento tra la quota massima raggiunta nel caso A e la quota che si raggiungerebbe con la singola manovra di avvio delle pompe)

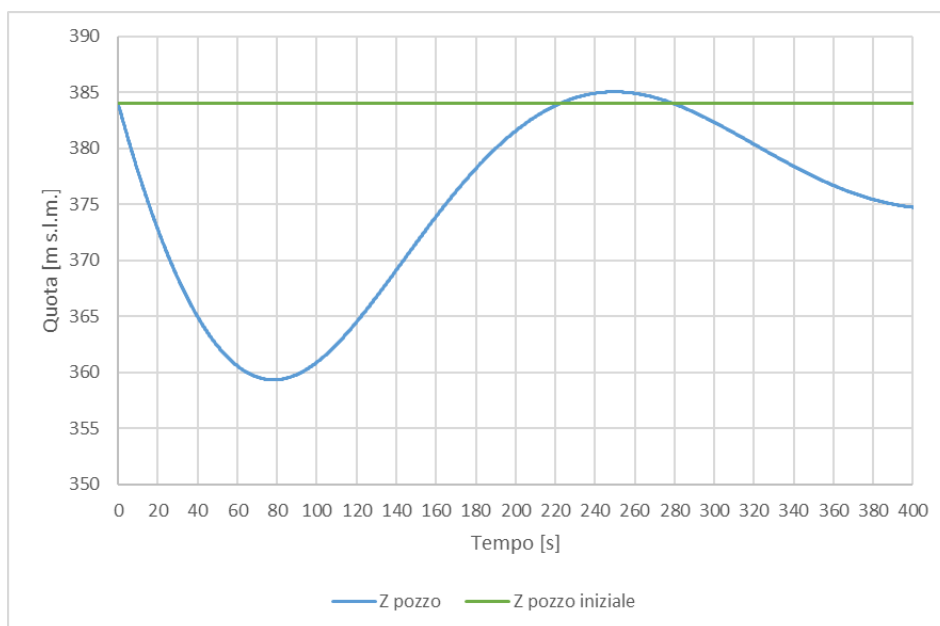


Figura 3 - Andamento del pelo libero all'interno del pozzo piezometrico relativamente al caso B

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 m x 28,50 m = 0,143 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 [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-04-0).

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 4); 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 $1,860 + 0,143 \text{ m} = 2,003 \text{ m}$.

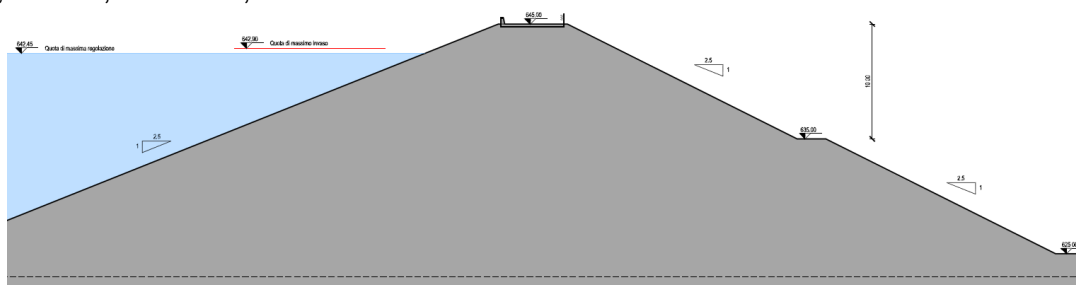


Figura 4 – Dettaglio del rilevato di monte

6 CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA DELLO SFIORATORE DI SUPERFICIE

Lo sfioratore di superficie è previsto lungo il lato sud-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-01-0), ci si attende il funzionamento di tale sfioratore solo in occorrenza di una concatenazione di eventi sfavorevoli 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 [m³/s] = portata transitante dallo sfioratore di superficie

L [m] = larghezza della luce dello sfioratore

μ [-] = 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 **$Q = 0,40$ m³/s.**

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 paragrafo 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 m²
- superficie occupata dall'acqua nel bacino di monte alla quota di minima regolazione: 75.000 m²

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 2.

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 2 - Temperature medie mensili ed evaporazione media mensile³

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:

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

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

³ I dati di temperature medie mensili provengono dal sito www.ncei.noaa.gov/.

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:

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

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 m³/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 vaso.



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