

**IMPIANTO DI RIGOSO - DIGA DI LAGO BALLANO E LAGO VERDE:
SERVIZI DI PROGETTAZIONE**



**RECUPERO DELLA DIGA DI LAGO VERDE
PROGETTO DEFINITIVO**



con la consulenza di **WATERWAYS**

TITOLO

RELAZIONE IDRAULICA

CODICE OPERA

C732

CODICE ELABORATO

R205

REVISIONE	DATA	NOTE
0	30/05/2023	Revisione 1 con adeguamento ai commenti del DGD del 30/09/2022

Contratto:	n° 1401366462
Oggetto:	IMPIANTO DI RIGOSO_ DIGA DI LAGO BALLANO E LAGO VERDE: SERVIZI DI PROGETTAZIONE
Data contratto:	05 Giugno 2020
Durata:	36 mesi
Cliente:	Enel Green Power S.p.A.
Gestore del Contratto	Ing. Federica Cella
Gestione Tecnica	Ing. Luca Dal Canto
ATI:	STUDIO SPERI Società di ingegneria S.r.l. (Mandataria) Frosio Next S.r.l. (Mandante) Waterways S.r.l. (Consulente)
ATI PM:	Gianluca Gatto
ATI Staff	Federico Bisci, Gioele Filippi, Piero Civollani, Fabrizio Cassone, Simone Di Lorenzo, Alessandro Ferrera, (Speri) Matteo Rebuschi, Luigi Papetti, Caterina Frosio (Frosio Next) Luciano Serra, Federico Marini, Anxhela Zaza (Waterways)

Storia del documento

Revisione	Data	Redatto	Verificato	Approvato	Note
0	30/04/2022	Luciano Serra Matteo Rebuschi	Gianluca Gatto Luciano Serra	Giorgio Lupoi	Prima emissione
1	30/05/2023	Luciano Serra Matteo Rebuschi	Gianluca Gatto Luciano Serra	Giorgio Lupoi	Revisione 1 con adeguamento ai commenti del DGD del 30/09/2022

STUDIO SPERI Società di ingegneria S.r.l. e Frosio Next S.r.l. non si assumono alcuna responsabilità per l'utilizzo da parte di terzi di risultati o metodi presentati in questo rapporto.

Le Società sottolineano inoltre che varie sezioni di questo rapporto si basano su dati forniti da o provenienti da fonti di terze parti. **STUDIO SPERI Società di ingegneria S.r.l. e Frosio Next S.r.l.** non si assumono alcuna responsabilità per perdite o danni subiti dal cliente o da terzi a causa di errori o inesattezze in tali dati da terze parti.

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. CONFORMAZIONE DELLE OPERE	4
2.1 SERBATOIO	4
2.2 DIGA	6
2.3 SFIORATORE.....	7
2.4 SCARICO DI FONDO	9
3. SFIORATORE	11
3.1 SOGLIA	11
3.2 MODELLO IDRAULICO	12
3.3 VERIFICA IDRAULICA DEL CANALE FUGATORE CON LE PORTATE DI PIENA AVENTI TEMPI DI RITORNO INFERIORE AI MILLE ANNI	16
4. FRANCO.....	18
4.1 INTRODUZIONE	18
4.2 FETCH DEL BACINO DI BALLANO	19
4.3 VELOCITÀ DEL VENTO	20
4.4 AMPIEZZA D'ONDA	21
4.5 CALCOLO DEL FRANCO MINIMO	22
5. SCARICO DI FONDO E DERIVAZIONE	23
6. DEFLUSSO MINIMO VITALE	25

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1 Ortofoto invaso di Lago Verde allo stato attuale	4
Figura 3-1 – Profilo idraulico	13
Figura 3-2 – Sezione trasversale della pila sullo sfioratore di superficie	13
Figura 3-3 - Sezione trasversale della vasca di dissipazione in corrispondenza dei denti	14
Figura 3-4 - Profili idraulici sul canale fugatore delle portate aventi tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni	16
Figura 3-5 - Risultati ottenuti col modello di calcolo Hec – Ras per portate inferiori a quella millenaria	17
Figura 4-1 Ampiezza d'onda e run-up in funzione della velocità del vento e del fetch (capitolo C.2 delle Norme Tecniche del 2014)	18

Figura 5-1 – Calcolo tempo di svuotamento serbatoio 24

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Tabelle aree e volumi dell'invaso di Lago Verde 5

Tabella 2 - Lunghezze e pendenze dei tratti del canale di scarico 7

Tabella 3 - Legenda sezioni Hec-Ras 14

Tabella 4 - Risultati ottenuti col codice di calcolo Hec – Ras..... 15

Tabella 5-3 - Parametri curve di possibilità pluviometrica e relative portate aventi tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni 16

Tabella 4-1 - Velocità del vento ai sensi delle NTC 2018 20

Tabella 4-2 - Franco netto (tempo di ritorno = 1.000 anni) 22

1. INTRODUZIONE

Con contratto numero 1401366462 Enel Green Power Italia Srl ha affidato all'Associazione Temporanea d'Impresa (di seguito ATI), composta dalla società mandataria STUDIO SPERI Società di Ingegneria S.r.l e dalla società mandante FROSIO NEXT S.r.l., l'incarico di redigere il progetto definitivo, esecutivo e la direzione dei lavori delle opere oggetto del sopraccitato contratto "Impianto di Rigoso_ diga di Lago Ballano e Lago Verde: Servizi di Progettazione"; la progettazione definitiva interessa solamente l'intervento sullo sbarramento di Lago Verde.

I due sbarramenti sono ubicati nel comune di Monchio delle Corti (PR).

La progettazione delle opere oggetto del contratto è stata eseguita con il contributo all'ATI della società Waterways S.r.l..

A seguito dell'intervento di demolizione e di recupero lo sbarramento, con la conseguente riduzione di altezza dei paramenti e di volume invasato, si avrà il declassamento della diga di Lago Verde a diga di competenza regionale.

Il progetto prevede l'abbassamento del coronamento dello sbarramento, da quota 1.514,60 a 1.505,00 m s.l.m..

Scopo della presente relazione è lo sviluppo della componente idraulica del progetto definitivo di recupero dello sbarramento di Lago Verde.

Questa versione del rapporto risulta essere la prima revisione del documento originario, effettuata in seguito all'Istruttoria della Direzione Generale Dighe (DGD) del 30/09/2022. Per semplicità di trattazione, le parti modificate rispetto alla prima emissione, sono riportate evidenziate in ciano.

2. CONFORMAZIONE DELLE OPERE

2.1 Serbatoio

Il serbatoio è originato dal sopralzo di un lago naturale situato circa a quota 1496 m s.l.m, posto alla testata della valle del Rio del Lago, presso lo spartiacque fra i bacini dell'Enza e del Magra.

In origine il lago presentava una superficie di 60.000 m² ed un invaso di 650.000 m³. Esso risulta alimentato da un bacino imbrifero di 1.08 km².

Negli anni 1907-1908 fu realizzato lo sbarramento che, elevandosi di 16 m al di sopra del pelo libero dell'invaso naturale, portò la superficie dello specchio liquido a 117.000 m² ed il volume complessivo a 215.0000 m³.



Figura 2-1 Ortofoto invaso di Lago Verde allo stato attuale

L'opera di presa fu posizionata 7 m al di sotto del pelo libero dell'invaso naturale, rendendo disponibili circa 360.000 dei 650.000 m³ di acqua in esso contenuti. In tal modo il volume utile risultò essere di 1.860.000 m³.

Fin dall'origine le portate derivate dal Lago Verde, unitamente a quelle derivate dal sottostante Lago Ballano nel quale sono convogliate, alimentano in cascata le centrali di Rigoso, Rimagna, Isola di Palanzano e Selvanizza, alle quali compete una producibilità media annua di 71.33 GWh.

Dal 1965 il serbatoio è stato reso inoperante e ridotto al residuo lago di origine glaciale al di sotto della quota 1489 m s.l.m..

L'intervento di recupero dello sbarramento di Lago Verde consentirà di raggiungere la quota di massima regolazione fino a 1.498 m s.l.m., corrispondente ad un volume massimo di regolazione di circa 460.000 metri cubi su una altezza di circa 9 metri.

Nei grafici che seguono si riportano le curve delle aree e dei volumi desunti dal foglio condizioni esercizio e manutenzione della diga. I volumi regolati si distinguono dai volumi totali, in quanto il serbatoio possiede una capacità al di sotto della quota di imbocco dell'opera di presa, situata a quota 1488,6 m s.l.m..

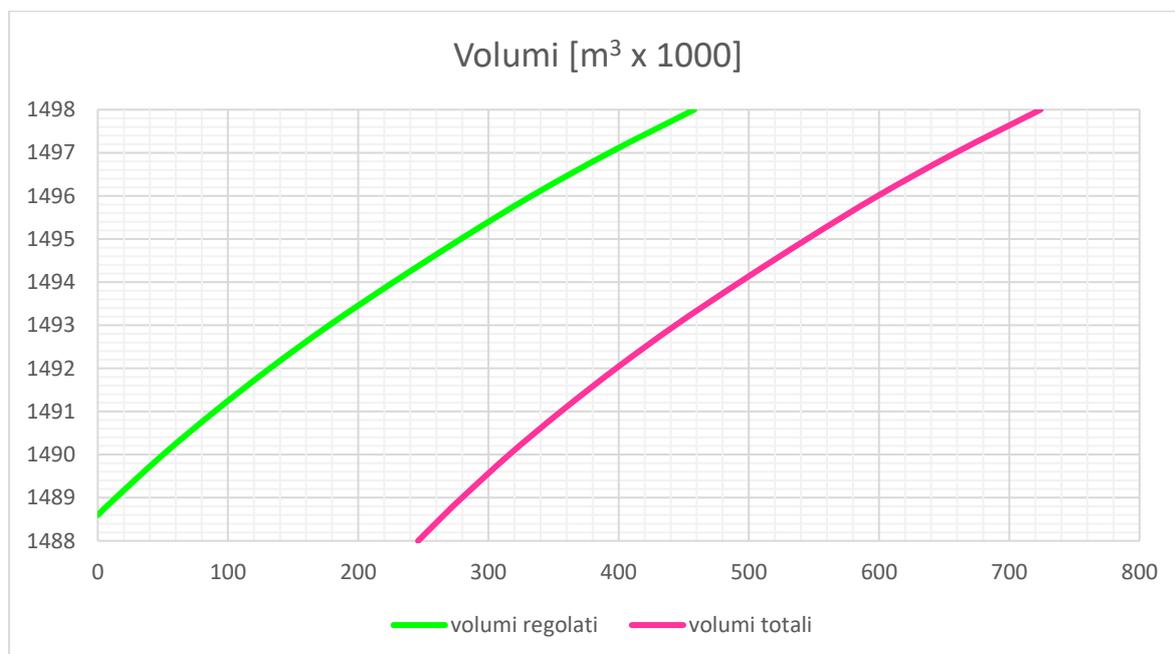
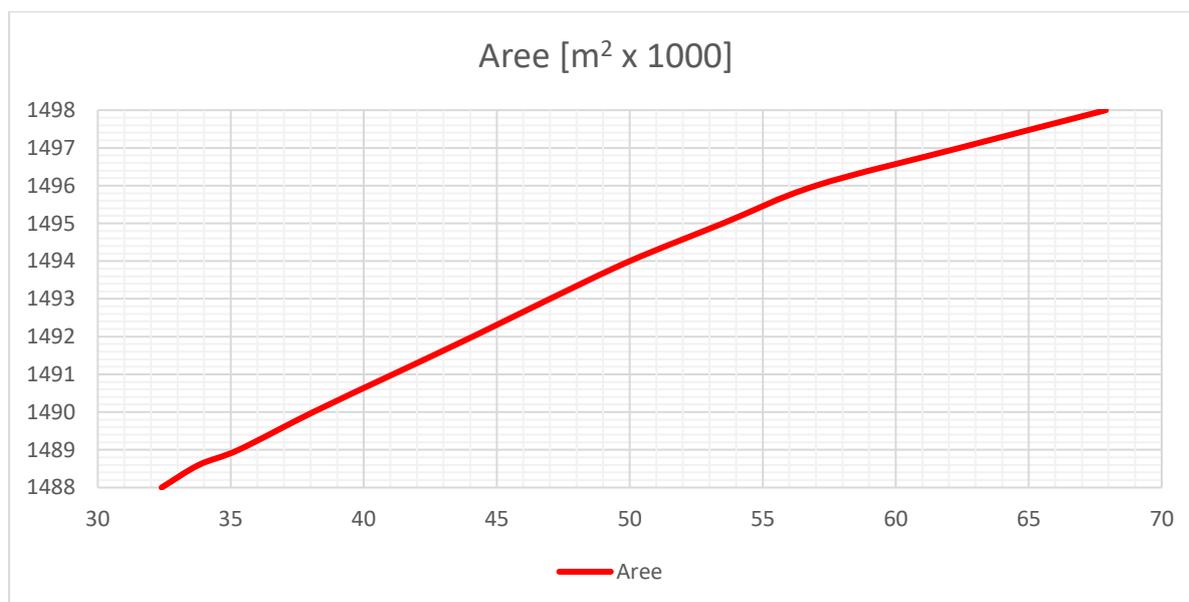


Tabella 1 – Tabelle aree e volumi dell'invaso di Lago Verde

2.2 Diga

Lo sbarramento è costituito da una porzione della diga precedente, il cui coronamento era ubicato alla 1514,60 m s.l.m.

Tutta la porzione superiore della diga esistente è rimossa, e l'opera residua, declassata da grande diga essendo la sua altezza inferiore ai 15 metri ed il volume sotteso allo sbarramento inferiore al milione di metri cubi, è ridotta a livelli inferiori posti a quote differenti.

La quota delle ampie terrazze che costituiscono il piano superiore di demolizione, in destra e in sinistra, sono alla quota 1.505,00 m s.l.m.. Esse potrebbero essere considerate il coronamento della diga.

Nella porzione centrale è ubicato lo sfioratore, è previsto alla quota 1.498,00 m s.l.m.. Esso è largo 10 metri ed è costituito da un piano orizzontale che si estende per tutta la larghezza della diga.

A fianco dello sfioratore sono ubicate due banchine poste a quota 1501,5 m s.l.m.. Dalle banchine parte un ponticello di collegamento, alla stessa quota, da cui si stacca il ponte di accesso al torrino di manovra del sezionamento dello scarico di fondo, posto a monte della soglia dello sfioratore.

2.3 Sfiatore

Lo sfioratore è assimilato ad una soglia grossa.

Il canale fuggatore è largo 10 m ed ha pendenza del 20% circa.

Il canale fuggatore termina con una briglia di calcestruzzo, da cui inizia la vasca di dissipazione.

La vasca, con fondo a quota costante di 1.488 m s.l.m., è dotata di quattro denti di dissipazione, alti 2 m, larghi 1 m, lunghi 1,50 m con distanza di 1,25 m l'uno dall'altro

A valle della vasca è prevista una protezione di raccordo con l'alveo naturale che devia in sinistra idraulica, lungo circa una ventina di metri.

Il canale fuggatore è delimitato lateralmente da muri in pietrame cementato con malta e fondo realizzato in gabbioni riempiti con materiale proveniente dalla demolizione della diga,

La vasca di calma sarà interamente in calcestruzzo, mentre il raccordo con l'alveo naturale sarà in gabbioni riempiti con materiale proveniente dalla demolizione della diga.

Il canale di scarico dello sfioratore, la vasca di calma e la restituzione in alveo sono larghi costantemente 10 metri.

Tratto	Lunghezza [m]	Pendenza [-]
Sfiatore	20.9	0%
Rapida	42.3	18%
Briglia	3.3	73%
Vasca di dissipazione	10.5	0%
Recapito alveo naturale	14	1%

Tabella 2 - Lunghezze e pendenze dei tratti del canale di scarico

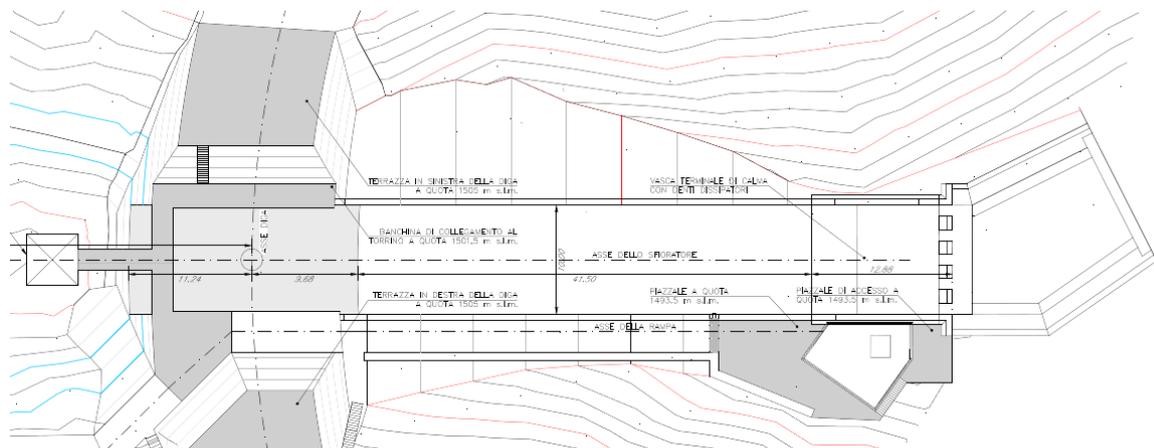


Figure 1 - Pianta

2.4 Scarico di fondo

Lo scarico di fondo, posto a quota 1488.60 m s.l.m., attraversa le fondazioni della diga e costituisce al tempo stesso anche l'opera di presa.

Lo scarico di fondo era originariamente costituito da un imbocco e cunicolo di adduzione di collegamento idraulico al lago, ed in corpo diga da due tubazioni metalliche del diametro di 400 mm poste con asse alla quota di 1489.00 m s.l.m., intercettate a monte da paratoie lenticolari e a valle da saracinesche. Nel 1965 lo scarico di fondo è stato ampliato e privato di organi di intercettazione, al fine di rendere inoperante il serbatoio.

Cunicoli di scarico consentono il rilascio in alveo e la derivazione di portate al lago di Ballano.

Lo scarico di fondo dello sbarramento qui descritto è realizzato mediante una condotta d'acciaio di 800 mm di diametro, posata all'interno del cunicolo esistente, con gli opportuni adattamenti.

La presa dal lago e il cunicolo di adduzione esistente viene conservato.

A monte dello sbarramento lo scarico di fondo sarà presidiato da una paratoia a strisciamento, ubicata in un torrino di comando, nel quale si potrà accedere grazie ad una passerella.

Il cunicolo dove verrà posata la nuova tubazione sarà tombato con il materiale da demolizione proveniente dallo sbarramento.

La condotta seguirà l'asse del vecchio scarico di fondo, deviando in destra idrografica verso la camera di manovra.

La camera di manovra consente di indirizzare le portate verso la vasca di calma dello sfioratore, e quindi al drenaggio naturale, ovvero alla derivazione di alimentazione del lago di Ballano. Una derivazione separata e regolabile di 300 mm di diametro consente di gestire il rilascio del minimo deflusso vitale.

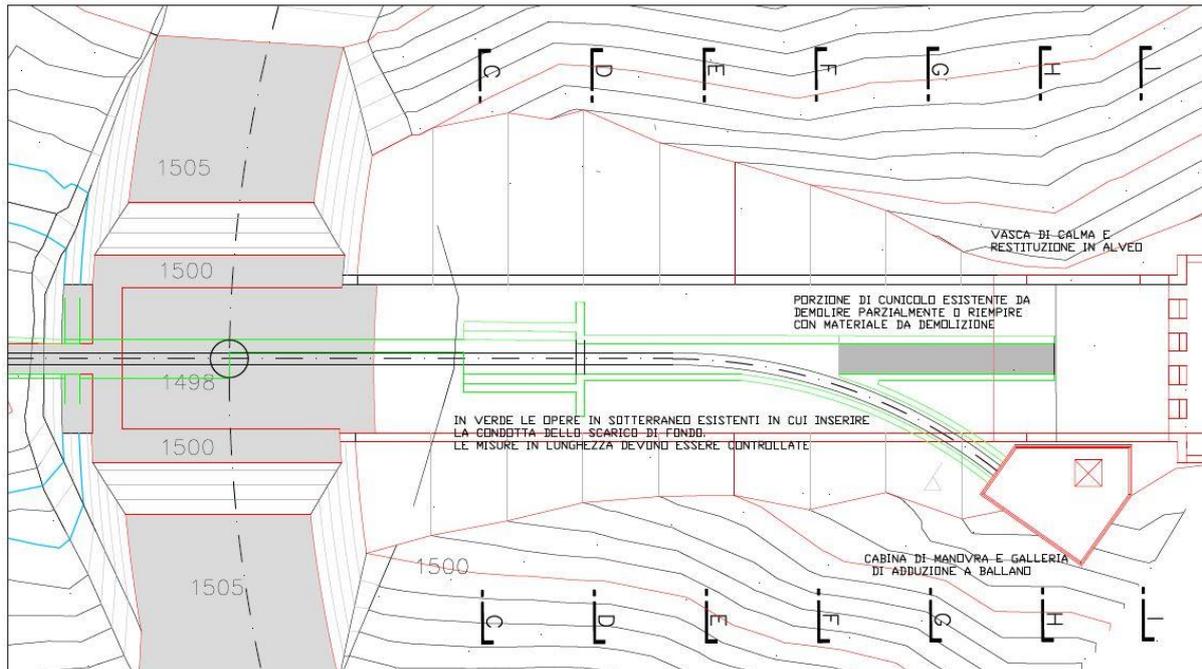


Figure 3 - Planimetria dello scarico di fondo

3. SFIORATORE

3.1 Soglia

La piena di dimensionamento delle opere di sfioro è la millenaria, definita in 41 m³/s nella relazione idrologica.

Le condizioni di transito della piena millenaria sullo sfioratore sono calcolate con l'espressione:

$$Q = \mu L h \sqrt{2 g h}$$

Dove:

- L è la larghezza della luce sfiorante, pari a 10 m. Togliendo lo spessore della pila della passerella la larghezza utile si riduce a 9,6 m
- μ è il coefficiente di efflusso, pari a 0,385
- Q è la portata, valutata in 41 m³/s.
- h è il tirante idrico, calcolato in 1,84 m.

3.2 Modello idraulico

I calcoli idraulici sono stati eseguiti per tutta l'opera di scarico (sfioratore, canale fugatore, vasca di dissipazione e recapito all'alveo naturale) per mezzo del codice di calcolo Hec-Ras. Le altezze idrauliche si mantengono sempre entro i limiti di altezza del canale di scarico, anche nella vasca di dissipazione dove si localizza il risalto idraulico.

I risultati sono in linea con le assunzioni teoriche con le quali è stato previsto l'intero canale fugatore:

- Passaggio della corrente critica ad inizio rapida
- Corrente veloce lungo la rapida
- Localizzazione del risalto idraulico nella vasca di dissipazione
- Decelerazione della corrente dopo la vasca di dissipazione
- Raggiungimento dello stato di moto uniforme a valle della sistemazione dell'alveo naturale

Il modello idraulico è stato così costruito:

- altezza definita pari a **1.499,84 m s.l.m.** nella prima sezione di monte, rappresentata dall'inizio della soglia dello sfioratore di superficie
- altezza di moto uniforme nella sezione di valle dell'alveo naturale
- **pila sullo sfioratore larga 40 cm**
- un valore del coefficiente di Strickler di $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lungo tutto il canale fugatore, tranne le sezioni della briglia e della vasca di dissipazione
- un valore del coefficiente di Strickler di $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lungo le sezioni della briglia e della vasca di dissipazione
- stato di moto permanente

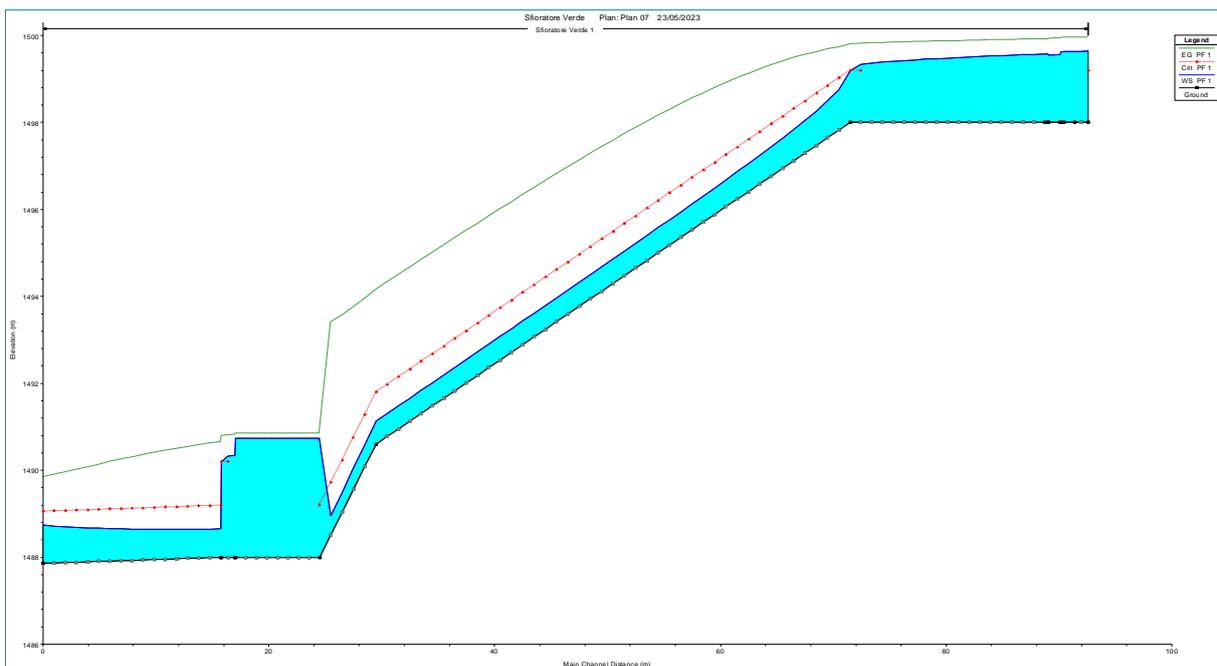


Figura 3-1 – Profilo idraulico

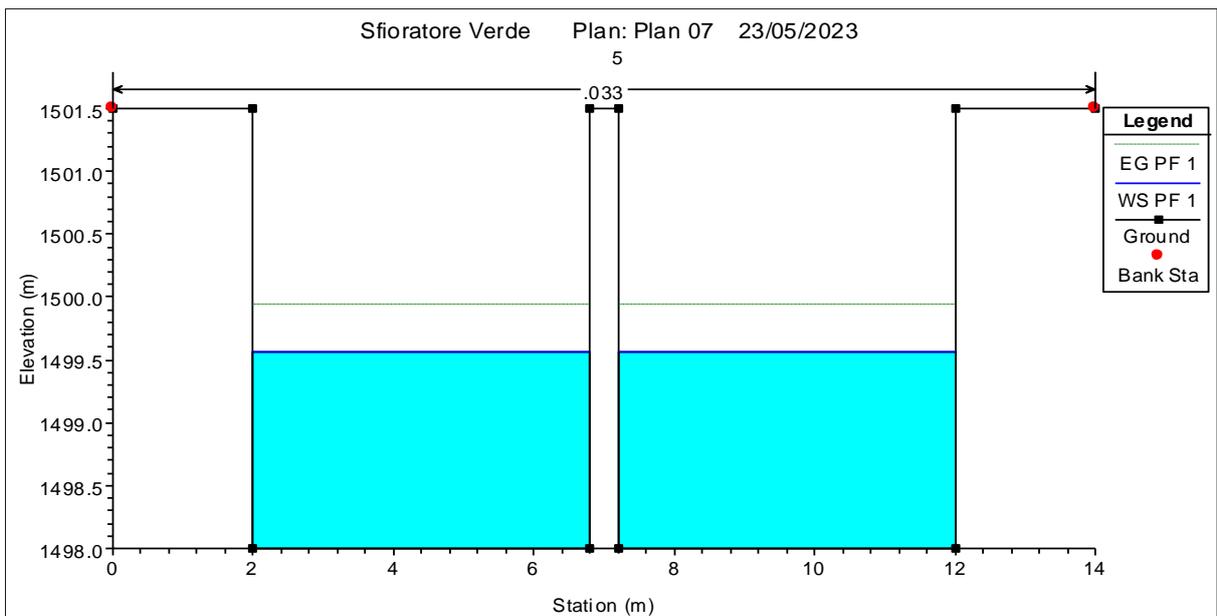


Figura 3-2 – Sezione trasversale della pila sullo sfioratore di superficie

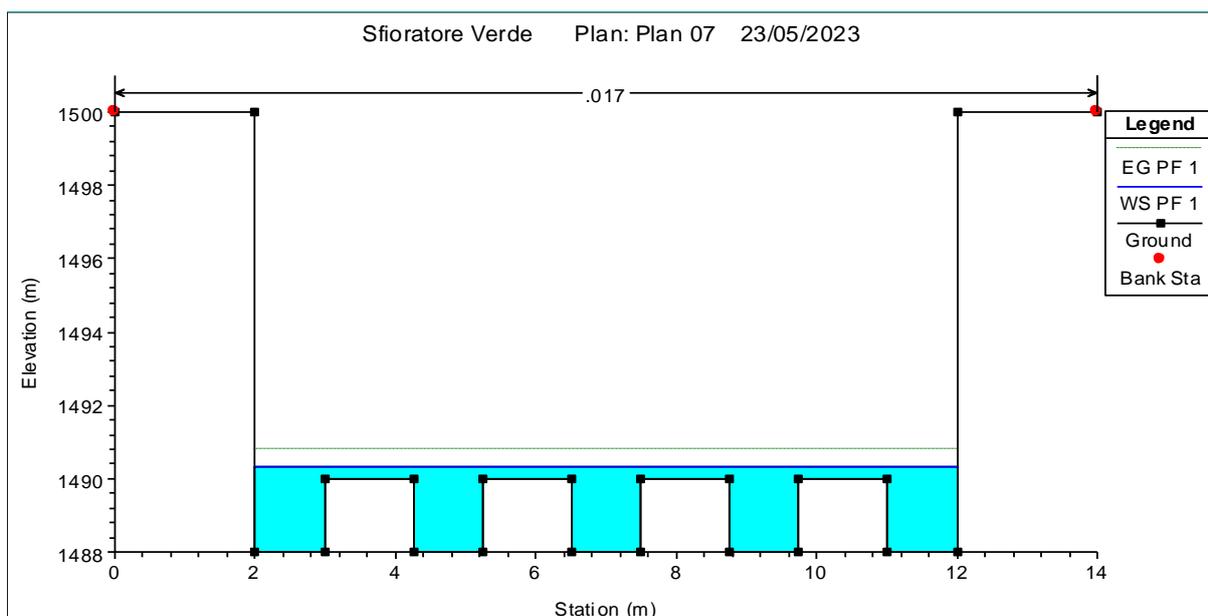


Figura 3-3 - Sezione trasversale della vasca di dissipazione in corrispondenza dei denti

Legenda	
Profilo del terreno	Spezzata nera
Profilo della corrente	Spezzata blu
Profilo dell'energia specifica della corrente	Spezzata verde
Asse delle ordinate	Quote di riferimento
Asse delle ascisse	Progressiva del profilo longitudinale Progressiva della sezione trasversale

Tabella 3 - Legenda sezioni Hec-Ras

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	10	PF 1	41.00	1498.00	1499.64	1499.96	0.005104	2.49	16.43	10.00	0.62
1	9.5	PF 1	41.00	1498.00	1499.64	1499.96	0.005189	2.51	16.35	10.00	0.63
1	9.1	PF 1	41.00	1498.00	1499.63	1499.95	0.005259	2.52	16.27	10.00	0.63
1	9.05	PF 1	41.00	1498.00	1499.63	1499.95	0.005283	2.52	16.25	10.00	0.63
1	9	PF 1	41.00	1498.00	1499.56	1499.94	0.008765	2.73	14.99	9.60	0.70
1	8.5	PF 1	41.00	1498.00	1499.55	1499.94	0.009031	2.76	14.84	9.60	0.71
1	8.4	PF 1	41.00	1498.00	1499.58	1499.92	0.005791	2.60	15.76	10.00	0.66
1	8.2	PF 1	41.00	1498.00	1499.57	1499.92	0.005820	2.61	15.73	10.00	0.66
1	8	PF 1	41.00	1498.00	1499.19	1499.80	0.013558	3.44	11.92	10.00	1.01
1	7.5	PF 1	41.00	1490.60	1491.13	1494.16	0.171335	7.70	5.32	10.00	3.37
1	7	PF 1	41.00	1488.00	1490.74	1490.86	0.000301	1.49	27.43	10.00	0.29
1	6.5	PF 1	41.00	1488.00	1490.74	1490.86	0.000302	1.50	27.40	10.00	0.29
1	6	PF 1	41.00	1488.00	1490.34	1490.82	0.008090	3.05	13.44	10.00	0.84
1	5	PF 1	41.00	1488.00	1490.20	1490.80	0.011814	3.43	11.95	10.00	1.00
1	4.5	PF 1	41.00	1488.00	1488.66	1490.65	0.023476	6.26	6.55	10.00	2.47
1	4	PF 1	41.00	1487.86	1488.74	1489.84	0.034465	4.64	8.83	10.00	1.58

Tabella 4 - Risultati ottenuti col codice di calcolo Hec – Ras

Il muro del canale fagatore è alto ad inizio rapida 2 m in sponda sinistra e 3,36 m in sponda destra; a fine rapida è alto 1 m in sponda sinistra e 2,57 m in sponda destra.

Il tirante della portata con tempo di ritorno di 1000 anni è pari a 1,19 m ad inizio rapida e 53 centimetri a fine rapida.

Invece, nella vasca di dissipazione il muro è alto 3,87 m in sponda sinistra, 4,81 m in sponda destra ed il tirante idraulico del risalto è pari a 2,74 m.

Il muro in sponda destra presenta una altezza molto maggiore di quella del muro in sponda sinistra non per motivi idraulici ma per motivi funzionali legati alla pista di accesso della camera di manovra dello scarico di fondo e della derivazione verso Ballano.

Il franco idraulico ai sensi delle NTD del 2014 è stato calcolato nel capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

3.3 Verifica idraulica del canale fugatore con le portate di piena aventi tempi di ritorno inferiore ai mille anni

Il canale fugatore dello scarico di superficie è stato verificato, per mezzo del codice di calcolo Hec-Ras, anche con le seguenti portate, il cui procedimento di calcolo è stato descritto nella Relazione idrologica:

Tabella 3-5 - Parametri curve di possibilità pluviometrica e relative portate aventi tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni

Tempo di ritorno [anni]	Q [m ³ /s]	h [m]
50	28,5	1,45
100	32	1,56
200	34,5	1,64
500	38,5	1,77

Si riportano di seguito i profili idraulici ottenuti ed i dati caratteristici della corrente.

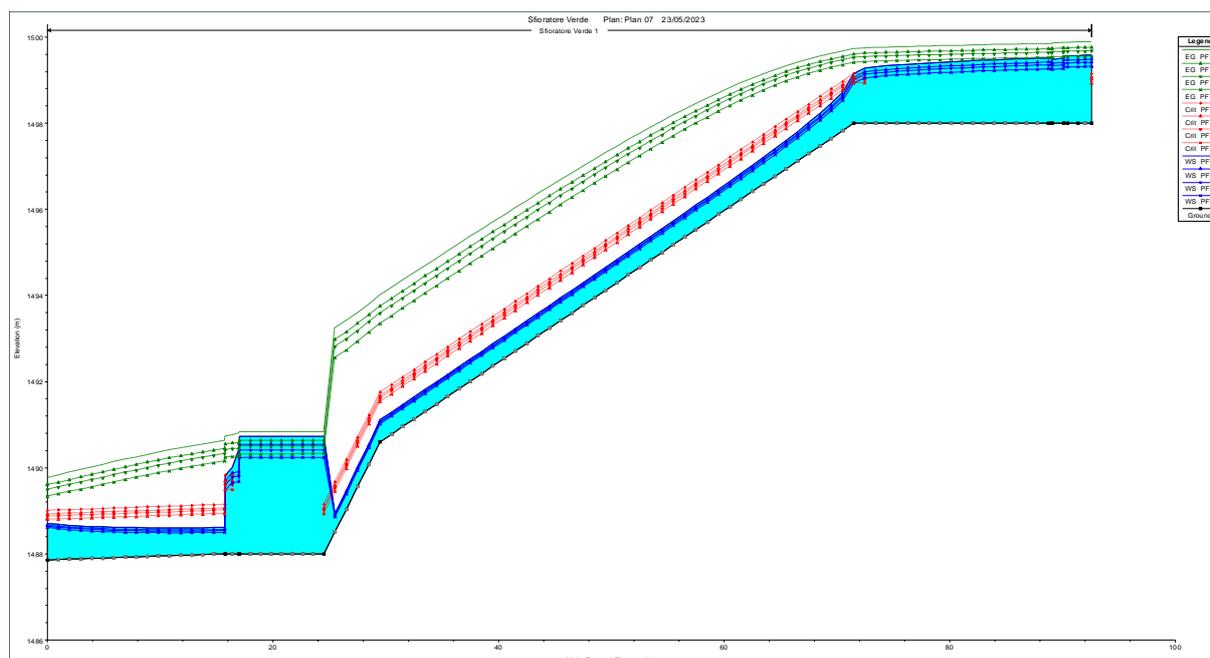


Figura 3-4 - Profili idraulici sul canale fugatore delle portate aventi tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	10	PF 2	41.00	1340.00	1340.75	1340.75	1341.13	0.002423	2.73	15.02	20.00	1.01
1	10	PF 3	35.00	1340.00	1340.68	1340.68	1341.02	0.002496	2.59	13.50	20.00	1.01
1	10	PF 4	31.50	1340.00	1340.63	1340.63	1340.95	0.002536	2.50	12.59	20.00	1.01
1	10	PF 5	28.00	1340.00	1340.58	1340.58	1340.88	0.002599	2.41	11.63	20.00	1.01
1	9.5	PF 2	41.00	1339.00	1339.41	1339.81	1341.00	0.022070	5.59	7.34	18.00	2.79
1	9.5	PF 3	35.00	1339.00	1339.36	1339.73	1340.88	0.025315	5.48	6.39	18.00	2.93
1	9.5	PF 4	31.50	1339.00	1339.32	1339.68	1340.82	0.027878	5.41	5.82	18.00	3.04
1	9.5	PF 5	28.00	1339.00	1339.29	1339.62	1340.75	0.031135	5.34	5.24	18.00	3.16
1	9	PF 2	41.00	1338.40	1338.84	1339.31	1340.78	0.024675	6.17	6.65	15.10	2.97
1	9	PF 3	35.00	1338.40	1338.78	1339.21	1340.64	0.028128	6.04	5.80	15.10	3.11
1	9	PF 4	31.50	1338.40	1338.75	1339.16	1340.56	0.030753	5.95	5.29	15.10	3.21
1	9	PF 5	28.00	1338.40	1338.72	1339.10	1340.47	0.033824	5.86	4.78	15.10	3.32
1	8	PF 2	41.00	1337.56	1338.18	1338.76	1340.47	0.020350	6.70	6.12	10.00	2.74
1	8	PF 3	35.00	1337.56	1338.10	1338.64	1340.29	0.022954	6.56	5.34	10.00	2.87
1	8	PF 4	31.50	1337.56	1338.05	1338.58	1340.18	0.024880	6.46	4.87	10.00	2.96
1	8	PF 5	28.00	1337.56	1338.01	1338.49	1340.06	0.027051	6.35	4.41	10.00	3.05
1	7	PF 2	41.00	1336.73	1337.94	1338.63	1340.27	0.012068	6.76	6.07	5.00	1.96
1	7	PF 3	35.00	1336.73	1337.78	1338.44	1340.07	0.013647	6.71	5.22	5.00	2.10
1	7	PF 4	31.50	1336.73	1337.68	1338.32	1339.94	0.014775	6.66	4.73	5.00	2.19
1	7	PF 5	28.00	1336.73	1337.58	1338.20	1339.79	0.016036	6.59	4.25	5.00	2.28
1	6	PF 2	41.00	1336.70	1337.91	1338.60	1340.27	0.012298	6.80	6.03	5.00	1.98
1	6	PF 3	35.00	1336.70	1337.74	1338.41	1340.06	0.013902	6.75	5.19	5.00	2.12
1	6	PF 4	31.50	1336.70	1337.64	1338.29	1339.93	0.015055	6.70	4.70	5.00	2.21
1	6	PF 5	28.00	1336.70	1337.55	1338.17	1339.78	0.016342	6.63	4.23	5.00	2.30
1	5.5	PF 2	41.00	1336.70	1337.93	1338.60	1340.20	0.011645	6.68	6.14	5.00	1.92
1	5.5	PF 3	35.00	1336.70	1337.76	1338.41	1339.99	0.013107	6.62	5.29	5.00	2.05
1	5.5	PF 4	31.50	1336.70	1337.66	1338.29	1339.86	0.014139	6.56	4.80	5.00	2.14
1	5.5	PF 5	28.00	1336.70	1337.57	1338.17	1339.70	0.015264	6.48	4.32	5.00	2.22
1	5	PF 2	41.00	1332.30	1333.02	1334.19	1339.60	0.056365	11.36	3.61	5.00	4.27
1	5	PF 3	35.00	1332.30	1332.92	1334.01	1339.38	0.064653	11.25	3.11	5.00	4.56
1	5	PF 4	31.50	1332.30	1332.86	1333.89	1339.23	0.070968	11.18	2.82	5.00	4.75
1	5	PF 5	28.00	1332.30	1332.81	1333.77	1339.07	0.078669	11.08	2.53	5.00	4.98
1	4	PF 2	41.00	1324.63	1325.15	1326.52	1337.80	0.153722	15.75	2.60	5.00	6.97
1	4	PF 3	35.00	1324.63	1325.08	1326.34	1337.63	0.181199	15.69	2.23	5.00	7.50
1	4	PF 4	31.50	1324.63	1325.04	1326.22	1337.16	0.193342	15.42	2.04	5.00	7.70
1	4	PF 5	28.00	1324.63	1324.99	1326.10	1337.10	0.221203	15.41	1.82	5.00	8.16
1	3.5	PF 2	41.00	1324.56	1325.09	1326.46	1337.51	0.821823	15.61	2.63	5.00	6.88
1	3.5	PF 3	35.00	1324.56	1325.01	1326.27	1337.27	0.960920	15.51	2.26	5.00	7.37
1	3.5	PF 4	31.50	1324.56	1324.98	1326.15	1336.78	1.020580	15.22	2.07	5.00	7.55
1	3.5	PF 5	28.00	1324.56	1324.93	1326.03	1336.67	1.158491	15.17	1.85	5.00	7.97
1	2	PF 2	41.00	1323.00	1324.43	1325.66	1329.09	0.027905	9.56	4.29	3.00	2.55
1	2	PF 3	35.00	1323.00	1324.29	1325.40	1328.45	0.026707	9.02	3.88	3.00	2.53
1	2	PF 4	31.50	1323.00	1324.22	1325.23	1328.00	0.025325	8.61	3.66	3.00	2.49
1	2	PF 5	28.00	1323.00	1324.14	1325.07	1327.58	0.024355	8.22	3.41	3.00	2.46
1	1	PF 2	41.00	1322.70	1324.13	1325.36	1328.80	0.028030	9.57	4.28	3.00	2.56
1	1	PF 3	35.00	1322.70	1323.99	1325.10	1328.17	0.026951	9.05	3.87	3.00	2.55
1	1	PF 4	31.50	1322.70	1323.91	1324.93	1327.73	0.025709	8.65	3.64	3.00	2.51
1	1	PF 5	28.00	1322.70	1323.83	1324.77	1327.32	0.024864	8.28	3.38	3.00	2.49
1	0.5	PF 2	41.00	1322.40	1323.83	1325.06	1328.51	0.028140	9.59	4.28	3.00	2.56
1	0.5	PF 3	35.00	1322.40	1323.68	1324.80	1327.89	0.027189	9.08	3.85	3.00	2.56
1	0.5	PF 4	31.50	1322.40	1323.61	1324.63	1327.46	0.026058	8.70	3.62	3.00	2.53
1	0.5	PF 5	28.00	1322.40	1323.52	1324.47	1327.06	0.025323	8.33	3.36	3.00	2.51
1	0.4	PF 2	41.00	1322.34	1323.76	1325.01	1328.49	0.156589	9.63	4.26	3.00	2.58
1	0.4	PF 3	35.00	1322.34	1323.62	1324.74	1327.87	0.151567	9.13	3.83	3.00	2.58
1	0.4	PF 4	31.50	1322.34	1323.55	1324.58	1327.44	0.145501	8.74	3.60	3.00	2.55
1	0.4	PF 5	28.00	1322.34	1323.46	1324.41	1327.04	0.141638	8.38	3.34	3.00	2.54
1	0.25	PF 2	41.00	1321.68	1321.99	1322.69	1327.44	0.613319	10.34	3.97	13.00	5.98
1	0.25	PF 3	35.00	1321.68	1321.96	1322.59	1326.84	0.626748	9.78	3.58	13.00	5.96
1	0.25	PF 4	31.50	1321.68	1321.94	1322.53	1326.44	0.627907	9.39	3.35	13.00	5.91
1	0.25	PF 5	28.00	1321.68	1321.92	1322.46	1326.06	0.635707	9.01	3.11	13.00	5.88
1	0.1	PF 2	41.00	1316.10	1316.58	1317.11	1318.78	0.139685	6.56	6.25	13.00	3.02
1	0.1	PF 3	35.00	1316.10	1316.55	1317.01	1318.44	0.133680	6.10	5.74	13.00	2.93
1	0.1	PF 4	31.50	1316.10	1316.52	1316.94	1318.24	0.129954	5.80	5.43	13.00	2.87
1	0.1	PF 5	28.00	1316.10	1316.50	1316.88	1318.04	0.126157	5.49	5.10	13.00	2.80

Figura 3-5 - Risultati ottenuti col modello di calcolo Hec - Ras per portate inferiori a quella millenaria

4. FRANCO

4.1 Introduzione

Il franco di sicurezza è stato determinato in modo conforme al DM 16 giugno 2014 "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)"; si sono considerati i dati riportati al capitolo 2.2 e 3.1.

La quota delle banchine dello sbarramento, definibile come quota del coronamento, q_c è pari a 1.501,5 m s.l.m..

Il franco f è pari alla quota del coronamento meno la quota di massimo invaso.

Per il calcolo del franco netto si devono considerare le onde da vento e da sisma nel serbatoio (Figura 4-1).

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

Figura 4-1 Ampiezza d'onda e run-up in funzione della velocità del vento e del fetch (capitolo C.2 delle Norme Tecniche del 2014)

4.2 Fetch del bacino di Ballano

Il fetch del bacino di Verde è circa pari a 300 metri.

4.3 Velocità del vento

La velocità del vento è stata calcolata con le assunzioni e le formule riportate nei capitoli 3.3.1 e 3.3.2 delle NTC 2018.

Rimandando alle NTC 2018 per maggiori informazioni, di seguito si riportano i valori dei parametri calcolati ed i risultati ottenuti.

Grandezza	Abbreviazione	Valore	unità di misura
Velocità base di riferimento al livello del mare	$V_{b,0}$	25	m/s
Coefficiente di altitudine	C_d	1,35	-
Altitudine di riferimento regionale	a_0	750	m
Parametro funzione NTC 2018	k_s	0,45	-
Altitudine sito di riferimento (soglia sfioratore)	a_s	1.498	m s.l.m.
Velocità base di riferimento	V_b	36,22	m/s
Tempo di ritorno vento	T_r	1000	anni
Coefficiente di ritorno	C_r	1,16	-
Velocità di riferimento	V_r	41,92	m/s
Velocità di riferimento	V_r	150,92	km/h

Tabella 4-1 - Velocità del vento ai sensi delle NTC 2018

E' molto improbabile che si verifichi, contemporaneamente, una precipitazione che determini una portata con tempo di ritorno di 1000 anni ed un vento avente lo stesso tempo di ritorno.

4.4 Ampiezza d'onda

Per il calcolo della massima ampiezza delle onde generate dal vento si è ricavata la funzione che interpola la curva avente come ascisse la velocità del vento e come ordinate l'ampiezza delle onde, a fetch costante; tale curva è stata presa dalla tabella riportata in Figura 4-1, avendo considerato il fetch del bacino pari a 300 m.

La velocità del vento è stata considerata pari a 151 km/h. Pertanto, l'ampiezza d'onda ed il run up sono pari a (sulla base della tabella allegata in cui si sono operati i calcoli delle estrapolazioni per adeguarsi ai valori di progetto):

ampiezza onda vento (km/h)	fetch											
	0.3	1	2	4	6	8	10	11	20	40	50	
151	0.34	0.45	0.61	0.86	1.06	1.21	1.35	1.42	1.89	2.69	3.02	
100	0.19	0.27	0.38	0.53	0.65	0.75	0.84	0.88	1.18	1.67	1.87	
80	0.14	0.20	0.29	0.40	0.49	0.57	0.64	0.67	0.90	1.27	1.42	
60	0.10	0.14	0.20	0.29	0.35	0.41	0.45	0.48	0.64	0.90	1.01	
40	0.06	0.09	0.13	0.18	0.22	0.26	0.29	0.30	0.40	0.57	0.63	
	ru-up											
	0.012	0.033	0.063	0.120	0.170	0.223	0.273	0.298	0.518	0.973	1.118	

0,34 m – ampiezza onda

- 0,012 m – run up

Inoltre, è usuale l'assunzione che la ampiezza definita in tabella nella norma sia in realtà la semi ampiezza.

4.5 Calcolo del franco minimo

Il franco per le NTD 2014 vale $1 + 0,494 + 0,033 = 1,527$ m, sopra il livello di massimo invaso. La quota di coronamento minima è dunque 1501,317 m s.l.m.

Tabella 4-2 - Franco netto (tempo di ritorno = 1.000 anni)

Quota massimo invaso	1.499,84	m s.l.m.
Franco minimo	1	m
Semionda	0,34	m
Run up	0,012	m
Quota minima di coronamento	1.501,192	m s.l.m.

La quota di coronamento di progetto è 1.501,5, quindi superiore al minimo di norma.

5. SCARICO DI FONDO E DERIVAZIONE

La portata dello scarico di fondo è stata ottenuta considerando una legge di efflusso a battente.

$$Q = C_c A \sqrt{2 g h}$$

Dove:

- A è l'area della sezione della tubazione [m²]
- C_c è il coefficiente di contrazione di Kirchhoff assunto di valore 0,60
- h è il carico idrico e varia in funzione del livello d'invaso [m]

Considerando le seguenti quote:

- quota imbocco scarico di fondo = 1.488,60 m s.l.m.
- quota massima regolazione = 1.498 m s.l.m.

si ottiene la seguente tabella delle velocità e delle portate in funzione del carico idrico:

h	Portata scaricata	Velocità corrente
[m]	[m ³ /s]	[m/s]
0.00	0.00	0.00
0.50	0.94	1.88
1.00	1.34	2.66
1.50	1.64	3.25
2.00	1.89	3.76
2.50	2.11	4.20
3.00	2.31	4.60
3.50	2.50	4.97
4.00	2.67	5.32
4.50	2.83	5.64
5.00	2.99	5.94
5.50	3.13	6.23
6.00	3.27	6.51
6.50	3.41	6.78
7.00	3.53	7.03
7.50	3.66	7.28
8.00	3.78	7.52
8.50	3.89	7.75
9.00	4.01	7.97
9.40	4.10	8.15

La norma per le grandi dighe prevede che sia scaricato il 75% del serbatoio in minimo 3 giorni.

Quota [m slm]	Aree [m ² * 10 ³]	Volumi totali [m ³ * 10 ³]	Volumi regolati [m ³ * 10 ³]
1498.0	67.9	724.0	458.1
1497.0	62.4	658.7	392.8
1496.0	57.0	599.0	333.1
1495.0	53.5	544.7	278.8
1494.0	50.0	493.0	227.1
1493.0	47.0	443.6	177.7
1492.0	44.1	398.0	132.1
1491.0	41.1	355.6	89.7
1490.0	38.1	316.0	50.1
1489.0	35.3	279.7	13.8
1488.6	33.8	265.9	0.0

- Curva aree - volumi dell'invaso di Lago Verde

Il 75% del volume utile di regolazione è pari a circa 344.000 m³; il tempo di svuotamento per scaricare questo volume è pari a circa 29 ore, ossia meno di 3 giorni.

Pertanto, lo scarico di fondo è dimensionato in modo conforme alla norma.

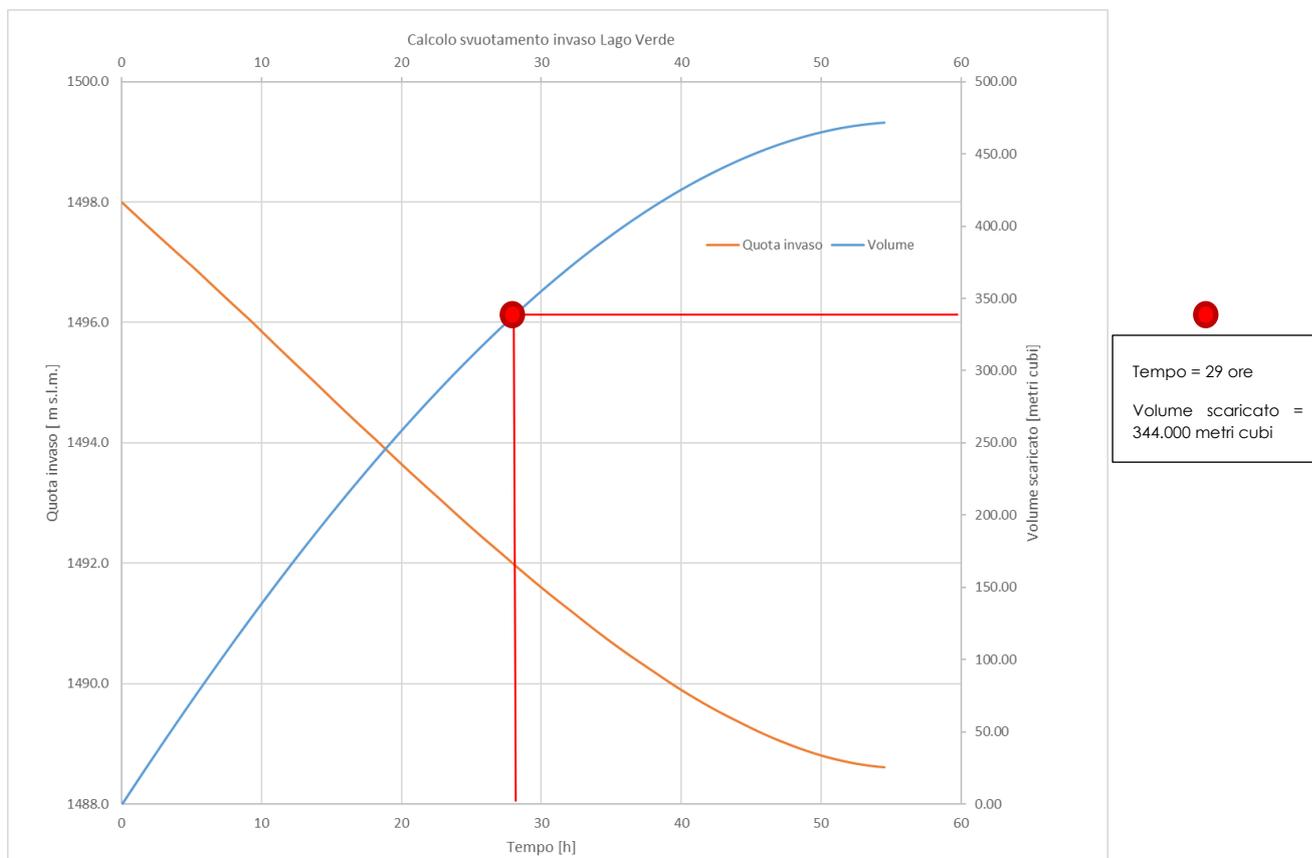


Figura 5-1 – Calcolo tempo di svuotamento serbatoio

6. DEFLUSSO MINIMO VITALE

Attualmente, il DMV dell'impianto di Rigoso viene rilasciato da una singola opera di presa, quella individuata sul Rio Pratospilla con un rilascio di 200 l/s.

La condotta del 300 prevista consente l'erogazione di una portata massima di 576 l/s e minima (con serbatoio alla quota minima di regolazione) di 188 l/s. La saracinesca di sezionamento consente la regolazione e quindi di rilasciare la portata convenuta.