

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



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



TITOLO

RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE OPERA

C732

CODICE ELABORATO

R102

| REVISIONE | DATA | NOTE |
|-----------|------------|---|
| 1 | 19/05/2023 | Prima revisione in seguito all'Istruttoria della DGD del 15/09/2022 |

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, Luciano Serra, Luigi Papetti,
Matteo Rebuschi, Caterina Frosio

Storia del documento

| Revisione | Data | Redatto | Verificato | Approvato | Note |
|-----------|------------|-----------------|---------------|---------------|--|
| 1 | 19/05/2023 | Matteo Rebuschi | Luciano Serra | Giorgio Lupoi | Prima revisione in seguito all'Istruttoria della DGD del 15/09/2022. |
| 0 | 29/04/2022 | Matteo Rebuschi | Luciano Serra | Giorgio Lupoi | Prima emissione |
| | | | | | |

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 | 2 |
| 2. | ANALISI IDROLOGICA | 4 |
| 2.1 | CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA MILLENARIA | 4 |
| 2.2 | TEMPO DI CORRIVAZIONE | 5 |
| 2.3 | ALTEZZA DI PIOGGIA | 6 |
| 2.4 | LEGGE DI GUMBEL | 8 |
| 2.5 | LOG-NORMALE..... | 9 |
| 2.6 | COEFFICIENTE DI DEFLUSSO | 10 |
| 2.7 | IDROGRAMMA DI PIENA MILLENARIA | 11 |
| 3. | CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA AVENTE TEMPO DI RITORNO DI 50, 100, 200 E 500 ANNI..... | 13 |
| 4. | CONCLUSIONI | 14 |

1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto ha lo scopo di illustrare e descrivere tutti gli aspetti dello studio idrologico della diga di Lago Ballano (PR) ed è parte integrante del progetto definitivo **di miglioramento sismico** e di recupero dello sbarramento, redatto ai sensi della normativa nazionale vigente (MIT19-NTC18 e NTD14).

Questa versione del rapporto risulta essere la prima revisione del documento originario, effettuata in seguito all'Istruttoria della Direzione Generale Dighe (DGD) del 15/09/2022. Per semplicità di trattazione, le parti modificate rispetto alla prima emissione, sono riportate evidenziate in ciano.

Il progetto in esame è finalizzato al recupero parziale dell'invaso e **al miglioramento sismico e idraulico** della diga di Lago Ballano, attualmente messa sostanzialmente fuori esercizio, con limitazione del livello d'invaso alla 1330.00 m s.l.m., a seguito nota prot. n. 20484 del 09.10.2015, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano. L'intervento in progetto prevede la parziale demolizione e l'abbassamento della diga, riducendo in questo modo le sollecitazioni sul corpo diga e l'estensione degli interventi di manutenzione; inoltre verrà realizzato il nuovo scarico di superficie, l'impermeabilizzazione e il consolidamento del paramento di monte. **Quanto previsto non modifica il comportamento strutturale dell'opera, che rimane quello di una diga a gravità. Pertanto, gli interventi in progetto non ricadono nell'obbligo normativo di eseguire l'adeguamento sismico (NTD14, Par. H.2.1).**

Lo sbarramento, costruito nel 1907-1908, attualmente è costituito da una diga a gravità con un'altezza di 20.00 m e volume di invaso di 1.27 Mm³. Tali caratteristiche inquadrano la diga nella come "diga di competenza del Servizio Nazionale Dighe", ai sensi della normativa tecnica nazionale (MinLLPP95), e come "grande diga", conseguentemente l'opera ricade nella categoria delle "dighe di importanza strategica" (NTD14, Par. C.7.7.2). Lo sbarramento è attualmente sostanzialmente fuori servizio, a causa della limitazione del livello d'invaso imposta con nota prot. n. 20484 del 09/10/2015, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano. L'intervento oggetto del presente progetto definitivo prevede il parziale recupero della capacità d'invaso dello sbarramento, tramite demolizione di parte della diga esistente e interventi di ristrutturazione della restante parte di opera. In seguito agli interventi previsti dal presente progetto definitivo, la diga risulterà avere un'altezza pari a 9,70 m e un volume d'invasi pari a 0,60 Mm³. Tali caratteristiche comporteranno il declassamento dell'opera a "diga di competenza regionale" (MinLLPP95) e a "diga di dimensioni contenute". **Lo sbarramento ricadrà ancora nella categoria delle "dighe di importanza strategica" in virtù del suo utilizzo idroelettrico prevalente (NTD14, Par. C.7.7.2).**

Per quanto utile sono stati ampiamente utilizzate le analisi idrologiche effettuate su progetti definitivi disponibili e finalizzati al presente progetto di recupero, rivedendole per quanto necessario. Tra le varie opzioni è stata adottata la relazione idrologica redatto da SWS Engineering S.p.a. nel 2004, per ENEL, nel progetto di recupero della diga di Ballano, per cui il Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili si è già pronunciato positivamente con lettera prot. 12576 del 25/05/2017 e lettera prot. 17847 del 03/08/2018.

L'attività di redigere il presente progetto definitivo fa parte di quelle indicate nel contratto di servizi n. 1401366462, tra il gestore dell'impianto, Enel Green Power Italia Srl, e l'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. La progettazione delle opere oggetto del contratto è stata eseguita con il contributo all'ATI della società Waterways S.r.l.

Sono parte integrante della presente relazione i seguenti rapporti:

C732-R005 Studio sismotettonico e analisi della pericolosità sismica

C732-R101 Relazione generale

C732-R102 Relazione idrologica

C732-R103 Relazione idraulica

C732-R104 Relazione geologica e geomorfologica

C732-R105 Relazione geotecnica e geomeccanica

C732-R106 Relazione di calcolo

C732-D101 Corografia

C732-D102 Stato attuale – Planimetria diga 1:250

C732-D103 Stato attuale – Vista da monte e sezioni diga

C732-D104 Stato attuale – Scarico di superficie

C732-D105 Geologica – Planimetria 1:1000

C732-D111 Stato finale – Planimetria generale

C732-D112 Stato finale – Planimetria diga

C732-D113 Stato finale – Vista da monte e da valle diga

C732-D114 Stato finale – Sezioni trasversali diga 1/2

C732-D115 Stato finale – Sezioni trasversali diga 2/2

C732-D116 Stato finale – Scarico di superficie planimetria e profilo

C732-D117 Stato finale – Scarico di superficie sezioni

C732-D137 Paramento di monte e galleria di ispezione e drenaggio – Schermo di drenaggio

C732-D138 Paramento di monte e galleria di ispezione e drenaggio – Schermo di iniezioni

C732-D144 Scarico di fondo e galleria di accesso – Ricostruzioni – profilo e Sezioni

C732-D191 Strumentazione di monitoraggio – Planimetria

C732-D192 Strumentazione di monitoraggio – Sezioni

2. ANALISI IDROLOGICA

2.1 Calcolo della portata di piena millenaria

Il metodo utilizzato, largamente usato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione, è detto razionale nella letteratura tecnica internazionale, ma noto in Italia come metodo cinematico o del ritardo di corrivazione (D. Turazza, 1980).

Considerata la sezione di un corso d'acqua, è intuitivo pensare che le portate attraverso di essa dipendano sia dalle caratteristiche del bacino tributario sotteso dalla sezione stessa (estensione, lunghezza, forma e caratteristiche idrogeologiche del terreno), sia da quelle dell'evento pluviometrico. Si assume, infatti, schematizzando il fenomeno, che per una precipitazione di altezza h e di intensità media $j = h/T_p$ (cioè costante nella durata T_p) ed estesa a tutto il bacino, sia la portata massima quando alla sezione considerata giungano insieme i contributi di tutte le parti che formano il bacino stesso. Questo intervallo di tempo è definito tempo di corrivazione T_c ed è assunto come elemento caratteristico del bacino. Se si accetta lo schema proposto, anche la durata del processo di esaurimento, contata a partire dalla cessazione della pioggia, è pari al tempo di corrivazione.

Il metodo razionale è rappresentato dalla relazione:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{T}$$

dove c è il cosiddetto coefficiente di deflusso, S è la superficie del bacino, h è l'altezza di pioggia, ragguagliata al bacino, con durata pari a T .

Nell'applicazione del metodo razionale si attribuisce implicitamente all'evento la stessa probabilità dell'evento di pioggia e , quindi, il medesimo tempo di ritorno T_r .

L'altezza di pioggia h (mm) viene usualmente determinata facendo ricorso alle curve di possibilità pluviometrica.

2.2 Tempo di corrivazione

Per la valutazione del tempo di corrivazione si è adottata l'espressione di Giandotti (1933):

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m}}$$

dove:

- T_c = tempo di corrivazione espresso in ore
- S = superficie del bacino (km^2)
- L = lunghezza dell'asta fluviale (km)
- H_m = quota media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)

Le caratteristiche morfologiche del bacino sotteso alla diga di lago Ballano sono le seguenti:

Tabella 2.1 Caratteristiche morfologiche del bacino sotteso dalla diga di Lago Ballano

| S (km^2) | H_m (m) | L (km) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------|
| 0,85 | 110,91 | 1,06 |

Il tempo di corrivazione del bacino risulta quindi $T_c = 0,63$ h (circa 38 minuti).

2.3 Altezza di pioggia

La caratterizzazione delle precipitazioni viene effettuata sulla base dell'analisi dei dati pluviometrici per l'individuazione di relazioni tra altezza di pioggia, durata e tempo di ritorno.

Per la determinazione della portata di progetto, si fa riferimento alle precipitazioni di intensità e breve durata su intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Si osserva, infatti, che le precipitazioni hanno importanza diversa in funzione della durata: l'intensità di pioggia diminuisce all'aumentare del tempo. Risulta allora che le precipitazioni con durata superiore ad un certo intervallo temporale (24 h) non risultano più pericolose, dato che sono facilmente smaltite dalla sezione dell'alveo. Le piogge più temibili saranno allora quelle di breve durata, a meno che la durata non sia così piccola da accumulare nell'alveo tutta la quantità di acqua caduta.

Per il calcolo della portata al colmo, si hanno a disposizione i valori delle massime precipitazioni annue per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, registrate dalla stazione pluviometrica di Paduli, situata a quota 1139 m s.l.m. nella valle del Fiume Enza a pochi chilometri dal lago Ballano.

Come si può vedere in Tabella 2.2, il periodo di osservazione va dal 1937 al 1978 per un totale di 23 dati.

Tabella 2.2 Massime precipitazioni annue registrate dalla stazione pluviometrica di Paduli

| Anno | 1 ORA | 3 ORE | 6 ORE | 12 ORE | 24 ORE |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1937 | 41,00 | 63,00 | 74,00 | 106,00 | 115,00 |
| 1952 | 60,00 | 114,00 | 142,00 | 253,00 | 311,00 |
| 1955 | 41,00 | 85,00 | 105,00 | 130,00 | 180,00 |
| 1956 | 21,00 | 35,00 | 46,00 | 75,00 | 113,00 |
| 1957 | 46,00 | 76,30 | 82,00 | 86,00 | 135,00 |
| 1958 | 48,00 | 59,00 | 98,00 | 143,00 | 228,00 |
| 1959 | 37,00 | 60,00 | 93,00 | 158,00 | 199,00 |
| 1960 | 58,00 | 75,00 | 97,00 | 132,00 | 152,00 |
| 1961 | 38,80 | 49,00 | 79,00 | 115,00 | 161,00 |
| 1962 | 28,00 | 45,00 | 70,00 | 100,60 | 131,80 |
| 1963 | 41,40 | 52,00 | 78,00 | 133,00 | 186,00 |
| 1964 | 41,00 | 55,60 | 83,00 | 141,40 | 188,80 |
| 1965 | 65,00 | 86,60 | 107,00 | 127,80 | 172,00 |
| 1966 | 30,60 | 49,80 | 69,80 | 81,20 | 139,40 |
| 1967 | 23,40 | 43,60 | 49,00 | 84,60 | 140,00 |
| 1968 | 59,00 | 88,20 | 92,60 | 113,80 | 173,00 |
| 1969 | 31,40 | 67,60 | 99,00 | 174,60 | 209,20 |
| 1970 | 29,00 | 40,00 | 46,40 | 59,20 | 86,40 |
| 1972 | 102,00 | 229,40 | 279,00 | 363,20 | 452,60 |
| 1973 | 30,40 | 51,20 | 68,40 | 93,80 | 97,8 |
| 1974 | 39,60 | 62,60 | 70,40 | 96,60 | 107,6 |
| 1975 | 35,00 | 68,40 | 68,40 | 76,00 | 113,00 |
| 1978 | 19,00 | 35,80 | 43,80 | 59,40 | 87,80 |

La relazione tra altezza di pioggia, durata e tempo di ritorno è espressa dalla curva di possibilità pluviometrica, con la seguente espressione:

$$h_p = a \cdot t_p^n$$

dove:

- h_p = altezza di pioggia (mm)
- t_p = durata dell'evento (ore)
- a, n = parametri della curva.

Per il calcolo dell'altezza di pioggia h_p riferita ad un fissato tempo di ritorno si deve utilizzare una legge di distribuzione di probabilità di eventi rari. In particolare, è stato preso in esame la legge di Gumbel e la legge Log- normale.

Qui di seguito si riassumono le procedure di applicazione delle due distribuzioni di probabilità per il calcolo delle curve di possibilità pluviometrica.

2.4 Legge di Gumbel

La legge di Gumbel ben si adatta alla rappresentazione del comportamento dei massimi annuali di pioggia. Tale legge è anche detta, infatti, del valore estremo perché, se da un verso si estraggono N campioni e di ciascuno si prende il valore massimo, dall'altro gli N valori massimi costituiscono a loro volta una variabile aleatoria la cui funzione di distribuzione, qualunque ve ne sia la forma, tende per $N \rightarrow \infty$ alla forma limite della legge di Gumbel.

La legge di Gumbel è caratterizzata, in questo caso, dalla seguente funzione di ripartizione:

$$F(h_p) = \exp(-\exp(-\alpha \cdot (h_p - v))) = 1 - \frac{1}{T_R}$$

con a e v parametri della distribuzione e $F(h_p)$ probabilità di non superamento dell'altezza di pioggia h_p per un determinato tempo di ritorno T_R .

Tale espressione è quindi applicata allo studio probabilistico delle portate di piena annuali, considerando ciascuna di esse come la massima delle piene che si è verificata nel rispettivo anno.

L'altezza di pioggia con tempo di ritorno T_R risulta:

$$h_p = v - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left(\ln \cdot \frac{T_R}{T_R - 1} \right)$$

I parametri a e v della distribuzione di Gumbel possono essere calcolati imponendo l'uguaglianza tra la media e la varianza del campione di dati pluviometrici esaminato e la varianza della Gumbel.

Infatti, la media e la varianza della distribuzione di Gumbel sono calcolate mediante le seguenti espressioni:

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} F(h_p) \cdot h_p \cdot dh_p \cong v + 0,57 \cdot \frac{1}{\alpha}$$

$$\sigma^2 = \int F(h_p) \cdot (h_p - \mu) \cdot dh_p \cong \frac{\pi}{6 \cdot \alpha^2} \cong \frac{1,645}{\alpha^2}$$

A, μ e σ^2 si possono quindi sostituire, per ogni intervallo di tempo considerato, rispettivamente media e varianza del campione esaminato, ottenendo:

$$v = \mu - 0,4444 \cdot \sigma$$

$$\alpha = \frac{1,2825}{\sigma}$$

Il procedimento descritto, fissato il tempo di ritorno, si applica a ciascuna classe di durata della precipitazione (1 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h). Una volta calcolata h_p associata ad ogni durata della precipitazione, si ottengono i coefficienti a e n della possibilità climatica per regressione lineare su $\ln h_p$ e $\ln t$.

2.5 Log-normale

La legge Log-normale si riconduce alla distribuzione normale standardizzata (di Gauss) tramite la sostituzione:

$$x = k_1 \cdot \log h_p + k_2$$

con h_p altezza di pioggia (mm) e k_1, k_2 coefficienti della distribuzione. La probabilità associata ad un certo valore dell'altezza di pioggia risulta:

$$F(h_p) = 1 - \frac{1}{T_R} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-x^2/2} dx$$

Il valore dei due coefficienti caratteristici della distribuzione è calcolato con le espressioni:

$$k_1 = \frac{1,517}{\sqrt{\log\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right)}} \cdot 1,517$$

$$k_2 = \frac{1,1513}{k_1} - k_1 \log \mu$$

dove μ e σ^2 sono media e varianza del campione dei dati esaminato.

Il procedimento descritto, fissato il tempo di ritorno, si applica a ciascuna classe di precipitazione (1 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h). Una volta calcolato $\log h_p$ per ogni durata della precipitazione, si ottengono i coefficienti a e n della curva di possibilità climatica per regressione lineare su $\log h_p$ e $\log t$.

Le espressioni ottenute per le curve di possibilità pluviometrica, per tempo di ritorno, sono infine:

$h = 154,1 t^{0,463}$ con il metodo Log-normale

$h = 143,2 t^{0,454}$ con il metodo di Gumbel

A favore di sicurezza, per il calcolo delle portate di colmo, si è adottata la curva di possibilità pluviometrica con il metodo Log-normale, che fornisce in questo caso altezze di pioggia, e conseguentemente portate, più elevate rispetto al metodo di Gumbel.

L'altezza di pioggia, con tempo di ritorno 1000 anni, per durata della precipitazione, pari al tempo di corruzione (0,63 ore) risulta quindi:

$h = 124,4$ mm.

2.6 Coefficiente di deflusso

Nell'applicazione della formula razionale merita particolare attenzione la valutazione del coefficiente di deflusso c che rappresenta il rapporto tra pioggia netta e pioggia totale.

Tale coefficiente dipende soprattutto dalla copertura vegetale, dalle caratteristiche del suolo e dalle relative condizioni iniziali di umidità del terreno.

Il coefficiente di deflusso può essere calcolato come prodotto di tre fattori

$c = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3$, dove:

- φ_1 tiene conto della capacità del terreno di assorbire precipitazioni e dipende, perciò, dalle caratteristiche pedologico-geologiche dell'intero bacino. A favore di sicurezza si assume $\varphi_1 = 1,00$, il che equivale a ipotizzare che all'inizio della precipitazione il terreno sia completamente saturo ed il bacino impermeabilizzato.
- φ_2 è il coefficiente di ragguglio della precipitazione al centro della pioggia in funzione della superficie del bacino e del tempo di corrivazione, che tiene conto dell'attenuazione della precipitazione all'aumentare dell'area del bacino. Poiché il bacino sotteso alla diga di lago Ballano ha un'estensione molto piccola, si è assunto $\varphi_2(S, TP) = 1,00$
- φ_3 il coefficiente di laminazione, che tiene conto dell'effetto di laminazione della rete idrica sulle portate. Se si ipotizza che l'invaso specifico del bacino $W = W/S$, cioè il volume W massimo invasabile nel S bacino per unità di superficie drenata possa esprimersi come funzione monomia di S , si può avanzare conseguentemente la stessa ipotesi anche per φ_3 . Si è assunto $\varphi_3(S) = 0,93$

Il coefficiente c risulta quindi, infine:

$$c = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 = 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 0,93$$

2.7 Idrogramma di piena millenaria

Il tracciamento dell'idrogramma, relative alla portata con tempo di ritorno 1000 anni, alla sezione di chiusura dello sbarramento di lago Ballano, è stato effettuato tramite il software Hidros, il cui funzionamento è per l'appunto basato sul metodo razionale.

Il tracciamento dell'idrogramma, effettuato su una base temporale pari ad un intero del tempo di corrivazione T_c , e comunque fino al pratico esaurimento dell'evento di piena, procede sommando nella sezione dello sbarramento gli afflussi provenienti da 8 fasce concentriche in cui è stato suddiviso il bacino, ognuna da punti equidistanti dalla sezione suddetta ed aventi tempo di corrivazione convenzionalmente pari ad un multiplo intero m di $T_c/7$ (0,09 ore), essendo variabile da 1 a 7 dalla fascia più vicina a quella più lontana. Tale procedimento presuppone quindi l'ipotesi semplificativa che le linee isocorrive del bacino, cioè le linee che collegano i punti di ugual tempo di corrivazione rispetto alla sezione di chiusura, coincidano con gli archi di cerchio tracciati sul bacino tributario della diga ed inoltre che tali isocorrive si mantengano costanti durante l'evento al variare dell'intensità di pioggia e della durata.

Si riporta l'idrogramma di piena ottenuto per tempo di ritorno 1000 anni per una durata della precipitazione pari a $3 T_c$.

Come si può vedere la portata millenaria al colmo per la diga di lago Ballano risulta:

$$Q_{1000} = 47 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tale valore è stato infine prudenzialmente arrotondato a $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Questo arrotondamento è stato fatto nel rispetto del valore stabilito dall'Ufficio Idrografico per gli studi del bacino del Po - Parma, con comunicazione protocollo n. 1414 del 4/12/1989, che si allega alla presente relazione; in realtà la portata di $50 \text{ m}^3/\text{s}$ è poco credibile perché supera abbondantemente ogni valore massimo di portata riscontrabile sia in bibliografia che nella casistica, per bacini di superficie inferiore ad 1 km^2 come questo.

Tabella 2.3 Idrogramma di piena di Lago Ballano

| Tempo (h) | Q (m ³ /s) | Tempo (h) | Q (m ³ /s) |
|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| 0,05 | 0 | 1,62 | 13,67 |
| 0,09 | 5,95 | 1,71 | 13,18 |
| 0,18 | 17,63 | 1,8 | 12,74 |
| 0,27 | 34,64 | 1,89 | 12,34 |
| 0,36 | 41,44 | 1,98 | 11,97 |
| 0,45 | 46,72 | 2,07 | 11,63 |
| 0,54 | 45,35 | 2,16 | 11,32 |
| 0,63 | 36,14 | 2,25 | 11,03 |
| 0,72 | 27,38 | 2,34 | 10,76 |
| 0,81 | 23,91 | 2,43 | 10,51 |
| 0,9 | 21,56 | 2,52 | 10,27 |
| 0,99 | 19,81 | 2,61 | 9,6 |
| 1,08 | 18,42 | 2,7 | 8,22 |
| 1,17 | 17,29 | 2,79 | 5,98 |
| 1,26 | 16,35 | 2,88 | 3,91 |
| 1,35 | 15,54 | 2,97 | 1,96 |
| 1,44 | 14,84 | 3,06 | 0,53 |
| 1,53 | 14,22 | 3,15 | 0 |

Idrogramma di piena Tr = 1000 anni

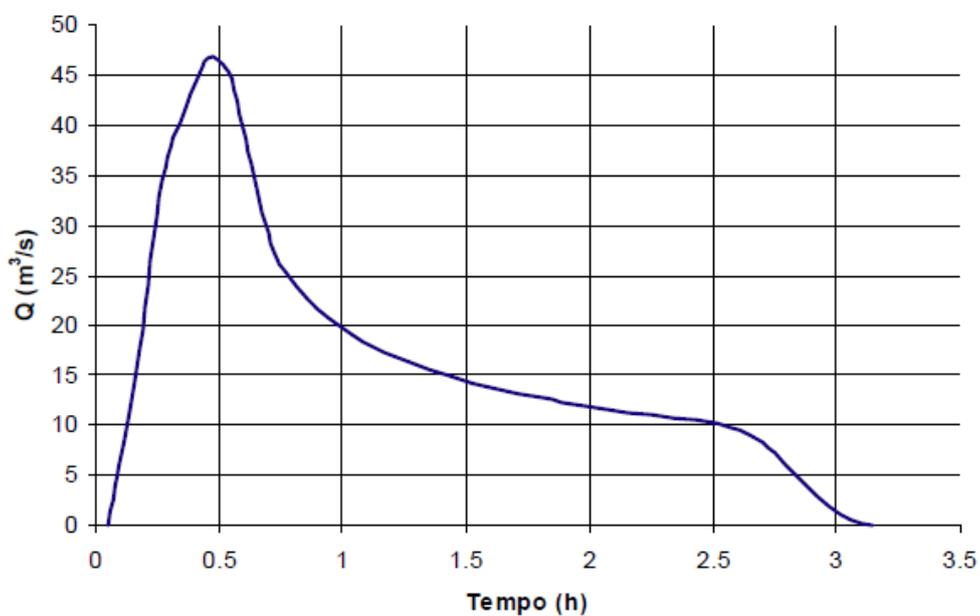


Figura 2.1 Idrogramma di piena di Lago Ballano

3. CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA AVENTE TEMPO DI RITORNO DI 50, 100, 200 E 500 ANNI

Per il calcolo della portata di piena avente un tempo di ritorno inferiore ai 1000 anni si effettua lo stesso procedimento sopra descritto: l'unica differenza è, appunto, il tempo di ritorno con la quale si costruisce l'espressione delle curve di possibilità pluviometrica.

Per la costruzione delle curve di possibilità pluviometrica aventi tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni si è considerato solamente il metodo Log-normale.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Tabella 3.1 Parametri curve di possibilità pluviometrica e relative portate aventi tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni

| Tempo di ritorno [anni] | α [mm/h ⁿ] | n [-] | Q [m ³ /s] |
|-------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------|
| 50 | 97,55 | 0,453 | 28 |
| 100 | 110,69 | 0,456 | 31,5 |
| 200 | 124,26 | 0,458 | 35 |
| 500 | 142,95 | 0,461 | 41 |

4. CONCLUSIONI

Il valore di portata di piena di progetto con tempo di ritorno millenario considerato per il dimensionamento e la verifica dello scaricatore di superficie e del relativo canale di scarico è pari a 50 m³/s.