



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA  
CORSO DI STUDI IN RIASSETTO DEL TERRITORIO E  
TUTELA DEL PAESAGGIO

# RELAZIONE TECNICA CORSO DI IDRAULICA E IDROLOGIA

Andreetta Luca  
2067548  
luca.andreetta.1@studenti.unipd.it

Anno accademico 2023 / 2024

ESERCITAZIONE SULLE LINEE SEGNALATRICI DI  
POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA E RELATIVO  
DIMENSIONAMENTO DI UNA BRIGLIA FILTRANTE

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Descrizione del bacino e nozioni teoriche</b>	<b>3</b>
2.1	Il fiume Boite ed il suo bacino . . . . .	3
2.2	La briglia filtrante . . . . .	3
2.3	Linea segnalatrice di probabilità pluviometrica . . . . .	3
2.4	Calcolo della portata di picco . . . . .	6
2.5	Progetto della sezione di un canale . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Elaborazione dati</b>	<b>9</b>
3.1	Dati storici di precipitazione . . . . .	9
3.2	Calcolo della LSPP . . . . .	9
3.3	Calcolo della portata di picco . . . . .	10
3.4	Dimensionamento della sezione del canale . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Risultati</b>	<b>12</b>
4.1	Altezza di precipitazione . . . . .	12
4.2	Portata di picco . . . . .	12
4.3	Profondità di moto uniforme . . . . .	12
4.4	Energia specifica e larghezza limite . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>13</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>14</b>

# 1 Introduzione

In questa relazione si andrà ad esporre la procedura di dimensionamento di una briglia filtrante, da realizzare nel fiume Boite, quest'ultimo passante per Cortina d'Ampezzo. Tale operazione di dimensionamento è costituita da tre parti: nella prima verrà calcolata la linea segnalatrice di possibilità pluviometrica (LSPP); successivamente, calcolato il tempo di corrivazione, si andrà a ricavare il valore di portata di picco  $Q$ ; infine, avverrà il calcolo di progetto della briglia.

## 2 Descrizione del bacino e nozioni teoriche

### 2.1 Il fiume Boite ed il suo bacino

Il fiume Boite è un corso idrico a carattere torrentizio delle Dolomiti. Le sue caratteristiche principali sono le seguenti:

- lunghezza: 45.07 km;
- portata media:  $12.71 \frac{m^3}{s}$ ;
- area del bacino idrografico:  $395.9 \text{ km}^2$ ;
- altitudine della sorgente: 1800 m s.l.m.;

Tale corso idrico è alimentato da diversi affluenti, e sfocia nel fiume Piave. [1]

### 2.2 La briglia filtrante

Una briglia filtrante è una struttura antropica che viene posta lungo i corsi d'acqua montani. L'obiettivo di tali opere è quello di consentire il passaggio dell'acqua del corso idrico, e di selezionare la quantità di sedimenti in movimento.

Per fare ciò, tali briglie possiedono:

- una o più aperture nel corpo centrale;
- una "piazza di deposito" a monte, dove avviene il deposito dei detriti.

Il ridotto passaggio di acqua attraverso le aperture (durante un evento di piena) riduce la velocità di flusso; ne deriva una minore capacità di trasporto di detriti, i quali vengono depositati. [2]

Successivamente al picco di piena, la velocità di passaggio dell'acqua aumenta nuovamente, permettendo lo svuotamento dai detriti della "piazza di deposito".

### 2.3 Linea segnalatrice di probabilità pluviometrica

La linea segnalatrice di probabilità pluviometrica è un parametro matematico che riguarda gli eventi di precipitazione.

Tale funzione mette in relazione la quantità massima di evento pluviometrico, la sua durata ed il suo tempo di ritorno.

La LSPP si ricava andando ad elaborare i dati storici di precipitazione accaduti in un particolare territorio: la curva risultante sarà caratteristica di quel dato luogo.

La procedura di calcolo della LSPP si articola in diversi passaggi.

Come primo passaggio occorre andare ad ordinare i valori storici di precipitazione, in ordine crescente. Dopo aver fatto ciò, si assegna ad ogni valore la propria plotting position, attraverso la formula di Weibull:

$$P_{em} = \frac{i}{N+1} \quad (1)$$

Tale formula permette di valutare la probabilità di non superamento di un fenomeno, solamente valutando la sua disposizione in una serie di dati.

Successivamente, dai dati storici di precipitazione si ricavano i parametri statistici di media e deviazione standard, rispettivamente secondo le successive formule:

$$m = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N+1}} \quad (3)$$

Da questi due valori statistici si calcolano i parametri della distribuzione  $F(y)$ , ovvero  $\alpha$  e  $u$ , mediante il metodo dei momenti:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} \cdot \sigma}{\pi} \quad (4)$$

$$u = \bar{h} - 0.5772 \cdot \alpha \quad (5)$$

Conoscendo questi parametri è possibile ricavare la variabile ridotta  $y = \frac{\bar{h}-u}{\alpha}$ , che permette finalmente di trarre la funzione della distribuzione di Gumbel:

$$F(y) = e^{e^{-y}} \quad (6)$$

E' possibile creare un grafico che metta in relazione l'altezza di precipitazione  $h$  (in ordinata) e la relativa variabile ridotta ricavata dai calcoli (in ascissa): facendo ciò si adatta la distribuzione di probabilità di Gumbel.

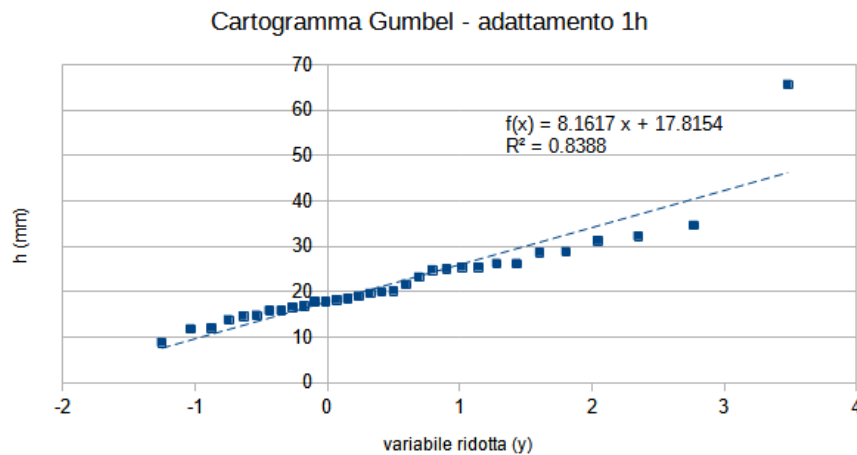


Figura 1: Cartogramma di Gumbel, con adattamento di precipitazioni di 1 ora di durata.

Il programma con cui è stato ricavato questo grafico (Excel) permette di conoscere la funzione della linea di tendenza, e del relativo valore di  $R^2$ .

Il valore  $R^2$ , anche detto "Coefficiente di determinazione" è un parametro statistico che permette di misurare il legame tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato. [3]

Successivamente, è possibile procedere al confronto grafico tra la probabilità empirica P di Weibull e la F(h):

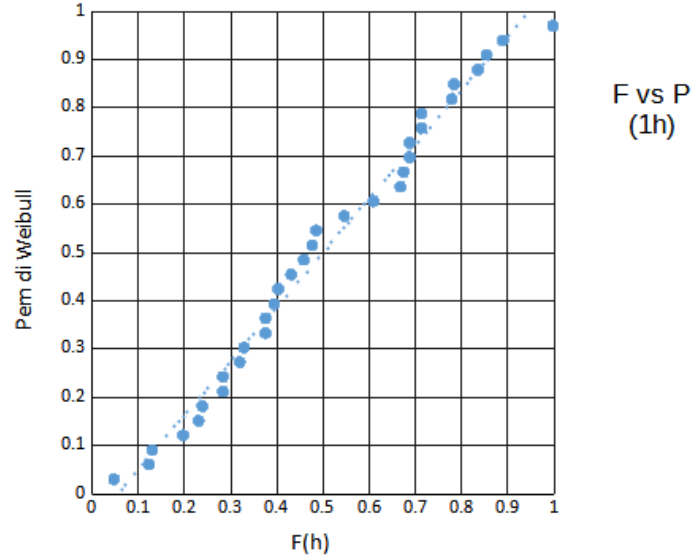


Figura 2: Confronto grafico tra la probabilità empirica di Weibull e la probabilità F(h).

La disposizione dei punti attorno la bisettrice permette di intuire come i valori di probabilità siano congruenti reciprocamente.

Un altro indicatore con cui è possibile valutare la concordanza di probabilità è il  $\chi^2$ . Infatti, tale parametro statistico permette di verificare se le frequenze dei valori osservati si adattano a quelle teoriche, di una distribuzione di probabilità prefissata.

Al fine di confermare la coerenza tra le probabilità, il valore del  $\chi^2$  calcolato dev'essere inferiore a quello teorico.

Per esempio, nel caso di adattabilità di 1h:

- $\chi^2$  calcolato: 3.9375
- $\chi^2$  teorico: 5.9915

Al fine di conoscere la precipitazione prevista ( $h_t$ ) per un certo tempo di ritorno, occorre valutare la relativa linea segnalatrice di possibilità pluviometrica.

Per fare ciò, si utilizzerà la formula

$$y_t = -\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{F(h)} \right) \right] \rightarrow y_t = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (7)$$

Dopo aver trovato il parametro  $y_t$ , si andrà a ricavare  $h_t$  mediante la successiva formula:

$$h_t = u + \alpha \cdot y_t \quad (8)$$

Questi calcoli potranno essere ripetuti per ogni fascia oraria disponibile e per qualsiasi tempo di ritorno.

Per esempio, la linea segnalatrice di possibilità pluviometrica del nostro bacino, per un tempo di ritorno di 10 anni, è la seguente.

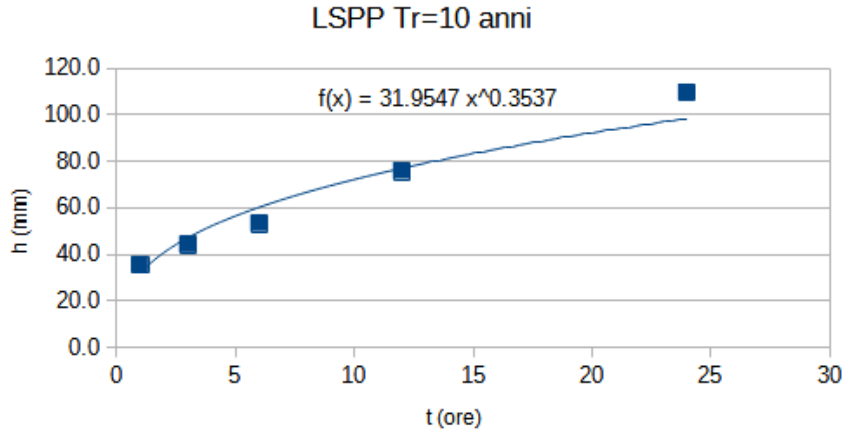


Figura 3: Linea segnalatrice di probabilità pluviometrica del bacino del fiume Boite, per tempo di ritorno di 10 anni.

Anche per questo caso, il programma che ha permesso il calcolo permette di inserire la funzione matematica della linea di tendenza, che in questo caso è  $h_{10} = 31.9547 \cdot x^{0.3537}$ . Da tale espressione è possibile conoscere l'altezza di precipitazione di qualsiasi durata (possibilmente inferiore alle 24 ore), per tempo di ritorno di 10 anni. Infatti, nella formula l'incognita è rappresentata dal tempo di durata dell'evento di pioggia.

## 2.4 Calcolo della portata di picco

Lo studio della portata di picco è essenziale per conoscere la massima quantità d'acqua in movimento nel bacino, soprattutto nel caso in cui la durata di un evento pluviometrico eguagli il tempo di corrvazione del bacino.

Infatti, è proprio questa la peggiore condizione idraulica, poichè:

- all'aumentare della durata di precipitazione l'intensità non aumenta in modo direttamente proporzionale;
- al diminuire della durata di precipitazione l'altezza di pioggia è direttamente proporzionale.

La funzione che permette di conoscere la portata di picco ( $Q_p$ ) è la seguente:

$$Q_p = C_d \cdot \frac{h_r \cdot A}{t_c} \quad (9)$$

dove:

- $C_d$  è il coefficiente di deflusso;

- $h_r(t_c, T_r)$  è l'altezza di pioggia corrispondente al tempo di corrivazione  $t_c$  ed al tempo di ritorno  $T_r \rightarrow h_r = a \cdot t_c^n$ ;
- $A$  è l'area del bacino.

### Il tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione di un bacino ( $t_c$ ) è il tempo massimo che impiega una goccia per attraversare completamente il bacino, fino ad arrivare alla sezione di chiusura.

Tale tempo di passaggio può essere calcolato in diversi modi, per questa relazione è stata utilizzata la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{z}} \quad (10)$$

dove:

- $A$  è l'area del bacino, in  $km^2$ ;
- $L$  è la lunghezza dell'asta principale, in  $km$ ;
- $z$  è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura, espressa in  $m$ .

### Il coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso è il rapporto tra la precipitazione efficace del bacino e la precipitazione totale. Offre in maniera generale una rappresentazione del deflusso superficiale e dell'infiltrazione del bacino.

La formula è quindi:

$$C_d = \frac{P_e}{h_r} \quad (11)$$

### La precipitazione efficace

La precipitazione efficace equivale alla quantità d'acqua dell'evento meteorico, al netto delle perdite iniziali e dell'imbibimento del terreno. In pratica è la frazione di precipitazione che si trasforma in deflusso superficiale.

Tale valore varia in base alle condizioni del terreno ed in funzione delle caratteristiche del territorio.

La formula per calcolare la precipitazione efficace è la seguente:

$$P_e = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S} \quad (12)$$

dove la lettera  $S$  indica lo storage idrico del terreno, che può essere calcolato mediante:

$$S = S_0 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (13)$$

Nella precedente funzione, la costante  $S_0$  equivale a 254 mm ed il valore CN quantifica la permeabilizzazione del suolo.

## 2.5 Progetto della sezione di un canale

Generalmente, in assenza di vincoli esterni e tecnici, durante il dimensionamento di un canale si adotta la sezione di minima resistenza, ovvero quella sezione che a parità di area permette la velocità media massima, e quindi la portata massima.

A parità di altre condizioni, la velocità media dipende dal valore di raggio idraulico (e quindi dalla forma e dimensione della sezione).

### Calcolo della profondità di moto uniforme $y_1$

Il parametro  $y_1$  indica la profondità del canale con cui la portata  $Q$  viene convogliata con la sezione di minor perimetro bagnato.

Il calcolo della profondità critica è un metodo iterativo, ovvero il risultato finale si ottiene dalla ripetizione di una serie di calcoli. Il procedimento inizia con il calcolo di una profondità di primo tentativo  $y_0$ , mediante la seguente equazione:

$$y_0 = \left( \frac{Q}{B \cdot K_S \cdot \sqrt{i_F}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (14)$$

Successivamente si calcola il relativo raggio idraulico, mediante la formula:

$$Rh_0 = \frac{B \cdot y_0}{B + 2 \cdot y_0} \quad (15)$$

E da questo raggio idraulico si calcola nuovamente l'altezza  $y$ :

$$y_1 = \frac{Q}{B \cdot K_S \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i_F}} \quad (16)$$

Nel caso che la differenza percentuale tra le due profondità è inferiore al 2%, il processo può terminare; in caso contrario, occorre ripetere i procedimenti, calcolando il raggio idraulico mediante l'ultima profondità critica ottenuta.

$$\frac{|y_1 - y_0|}{y_0} \leq 2\% \quad (17)$$

### Calcolo della $H$ del canale

Avendo i valori di  $y_c$  (calcolata) e di  $B$  (di progetto), è possibile calcolare il valore  $H$ , ovvero l'energia specifica del canale. La formula per calcolare  $H$  è la seguente:

$$H = y + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot y^2} \quad (18)$$

Il parametro  $q$  indica la portata del canale per unità di larghezza, e si calcola con  $q = \frac{Q}{B}$ .

### Calcolo della larghezza limite $B_L$ , per il passaggio in condizioni critiche

Il valore  $B_L$ , ovvero la larghezza della sezione rettangolare della briglia, in condizioni critiche, si calcola con la seguente formula:

$$B_L = \frac{Q}{0.414 \cdot \sqrt{g} \cdot H_1^{1.5}} \quad (19)$$



### 3 Elaborazione dati

I seguenti procedimenti di calcolo interessano valori valutati per un tempo di ritorno di 50 anni. In questo capitolo verranno effettuati i calcoli di progetto, in concordanza con le nozioni teoriche esposte nella sezione precedente.

Per semplificare l'esposizione, verranno mostrati solamente i calcoli per eventi pluviometrici di 1 ora di durata. Ovviamente i calcoli sono stati ripetuti per ogni durata di evento pluviometrico (1, 3, 6, 12 e 24 ore), per il tempo di ritorno di 50 anni.

#### 3.1 Dati storici di precipitazione

Anno	Pioggia in mm				
	1 ora mm	3 ore mm	6 ore mm	12 ore mm	24 ore mm
1992	14.6	21	33.2	60.8	78
1993	18.4	23.4	41.8	65.4	76.6
1994	19.6	34.4	47.2	64.8	83.2
1995	15.8	19.6	32	41.6	51
1996	24.8	31	40	64.8	100
1997	28.6	36	36	55.6	69
1998	17.8	28.2	39	55.2	78
1999	11.8	30.2	48.4	81.4	96.4
2000	15.8	25.4	46.4	67.8	73.4
2001	25.4	46.2	50.6	61.8	72
2002	17.8	31.6	40	63.6	98.8
2003	21.6	25.4	41.6	71.6	91.2
2004	13.8	21	33.4	36.6	48.2
2005	26.2	31.4	37.2	50.4	69.8
2006	14.8	27.2	48.4	63.8	69.6
2007	32.2	43.4	44.8	50.8	78.2
2008	19	23.8	38.6	58.4	72
2009	20	25.8	34	53.6	95.4
2010	8.8	18.2	30.2	47	78.4
2011	25	27.2	31.4	49.6	81.8
2012	18.2	28.2	49.8	83	104
2013	16.8	22	39	61.8	69.2
2014	31.2	32.4	44	73.4	114.8
2015	20.2	25.4	36.8	42.8	50.2
2016	12	28.8	46.2	63	67.8
2017	25.4	29.2	36	62.6	72.4
2018	65.6	73	73.4	87	146.4
2019	16.6	24.2	42	60.4	85.6
2020	28.8	37.4	47.8	65.8	120.6
2021	26.2	37.4	45.6	51.6	54.6
2022	23.2	38	44	44.6	46.6
2023	34.6	35.4	52.2	67.4	96.2

#### 3.2 Calcolo della LSPP

Successivamente ad aver ordinato in ordine crescente le altezze di precipitazione, si è assegnato ad ogni evento pluviometrico un indice di Weibull, mediante la formula 1. Dopo aver fatto ciò,

si calcolano i parametri statistici di media e deviazione standard, rispettivamente mediante le formule 2 e 3.

$$m = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{8.8 + \dots + 65.6}{32} = 22.21mm \quad (20)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N + 1}} = \sqrt{\frac{(8.8 - 22.21)^2 + \dots (65.6 - 22.21)^2}{32 + 1}} = 10.13mm \quad (21)$$

E da questi valori appena calcolati, ci si calcola i parametri della distribuzione F(y), utilizzando le formule 4 e 5:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} \cdot \sigma}{\pi} = \frac{\sqrt{6} \cdot 22.21}{\pi} = 7.90 \quad (22)$$

$$u = \bar{h} - 0.5772 \cdot \alpha = 10.13 - 0.5772 \cdot 7.90 = 17.65 \quad (23)$$

Successivamente, si effettua il calcolo della variabile ridotta, rispetto al tempo di ritorno, come secondo la formula 7:

$$y_t = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] = -\ln \left[ \ln \left( \frac{50}{50-1} \right) \right] = 3.902 \quad (24)$$

Ed infine si calcola l'altezza di precipitazione per il dato tempo di ritorno, utilizzando la formula 8:

$$h_t = u + \alpha \cdot y_t = 17.65 + 7.90 \cdot 3.902 = 48.5mm \quad (25)$$

Infine, si effettua il test del  $\chi^2$ , che per semplicità verrà svolto dall'apposita funzione di Excel. I risultati sono i seguenti:

- $\chi^2$  calcolato: 3.9375
- $\chi^2$  teorico: 5.9915

### 3.3 Calcolo della portata di picco

Le caratteristiche del bacino sono le seguenti:

- differenza totale di quota: 1000 m;
- CN: 85;
- area del bacino: 4 km<sup>2</sup>;
- lunghezza dell'asta principale: 4 km;
- pendenza del reticolo idraulico ( $i_f$ ): 0.025.

Utilizzando la formula di Giandotti 10 calcolo il tempo di corrivazione del reticolo ( $t_c$ ):

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{z}} = \frac{4\sqrt{4} + 1.5 \cdot 4}{0.8 \cdot \sqrt{1000}} = 0.48h \quad (26)$$

Al fine di conoscere la quantità di precipitazione efficace, per conoscere il coefficiente di deflusso, occorre quantificare lo storage idrico del suolo. Per fare ciò utilizzo la formula 13

$$S = S_0 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) = 254 \cdot \left( \frac{100}{85} - 1 \right) = 44.82mm \quad (27)$$

Da questo parametro è possibile calcolare la precipitazione efficace, mediante la formula 12:

$$P_e = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S} = \frac{(33.87 - 0.1 \cdot 44.82)^2}{33.87 - 0.1 \cdot 48.82 + 48.82} = 11.64mm \quad (28)$$

Da questi valori è possibile calcolare il coefficiente di deflusso del bacino, mediante la formula 11:

$$C_d = \frac{P_e}{h_r} = \frac{11.64}{33.87} = 0.36 \quad (29)$$

Infine, si calcola la portata di picco del reticolo idrografico del bacino, utilizzando la formula 9:

$$Q_p = C_d \cdot \frac{h_r \cdot A}{t_c} = 0.36 \cdot \frac{33.87 \cdot 4 \cdot 1000}{0.48 \cdot 3600} = 26.82 \frac{m^3}{s} \quad (30)$$

### 3.4 Dimensionamento della sezione del canale

#### Profondità di moto uniforme

Mediante la formula 14 si calcola la profondità critica di primo tentativo:

$$y_0 = \left( \frac{Q}{B \cdot K_S \cdot \sqrt{i_F}} \right)^{\frac{3}{5}} = \left( \frac{26.82}{3 \cdot 10 \cdot \sqrt{0.025}} \right)^{\frac{3}{5}} = 2.83m \quad (31)$$

Successivamente si calcola il raggio idraulico equivalente, mediante la formula 15:

$$Rh_0 = \frac{B \cdot y_0}{B + 2 \cdot y_0} = \frac{3 \cdot 2.83}{3 + 2 \cdot 2.83} = 0.98m \quad (32)$$

Da questo raggio idraulico si ricalcola la profondità critica, mediante la formula 16:

$$y_1 = \frac{Q}{B \cdot K_S \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i_F}} = \frac{26.82}{3 \cdot 10 \cdot 0.98^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0.025}} = 5.73m \quad (33)$$

Infine, si calcola lo scostamento tra le profondità critiche ricavate, mediante la formula 17:

$$\frac{|y_1 - y_0|}{y_0} = \frac{|5.13 - 2.83|}{2.83} = 1.02 \quad (34)$$

Il risultato ottenuto è superiore al limite del 2%; occorrà ripetere i calcoli, valutando nuovamente il raggio idraulico di un canale con altezza critica di 5.73 m.

#### Energia specifica

Mediante la formula 18 si calcola l'energia specifica del canale:

$$H = y + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot y^2} = 5.13 + \frac{8.939^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 5.13^2} = 5.285m \quad (35)$$

## Larghezza limite

Mediante la formula 19 si calcola la larghezza limite del canale, per il passaggio dell'acqua in condizione critica:

$$B_L = \frac{Q}{0.414 \cdot \sqrt{g} \cdot H_1^{1.5}} = \frac{26.82}{0.414 \cdot \sqrt{9.81} \cdot 5.285^{1.5}} = 1.702m \quad (36)$$

## 4 Risultati

In questo capitolo verranno esposti i risultati dei calcoli, relativi all'altezza di precipitazione per un assegnato tempo di ritorno, per la portata di picco e per il dimensionamento del canale.

### 4.1 Altezza di precipitazione

h (mm)	
durata (ore)	Tr = 50 anni
1	48.5
3	57.2
6	63.8
12	90.9
24	137.7

### 4.2 Portata di picco

Per completezza si ripete questo valore, anche se è già stato anticipato al paragrafo 3.3. La portata di picco del bacino è  $26.82 \frac{m^3}{s}$ .

### 4.3 Profondità di moto uniforme

I risultati parziali, e quello finale, sono riportati nella seguente tabella:

$y_0$	Rh	y	$\Delta H$ (%)
2.83	0.98	5.73	102
5.73	1.19	5.04	13.7
5.04	1.16	5.13	1.78

Quindi, la profondità finale del canale, per cui avviene la condizione di moto critico, è 5.13 m.

### 4.4 Energia specifica e larghezza limite

Come esposto precedentemente, l'energia specifica del canale è 5.285 m, mentre la larghezza limite è di 1.702 m.

## 5 Conclusioni

Grazie a dei semplici dati storici di precipitazione si è riusciti a svolgere il dimensionamento di un'opera idraulica di vitale importanza per le zone limitrofe al fiume Boite.

## Bibliografia

- [1] *Fiume Boite* - *Wikipedia*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/Boite>.
- [2] *Briglie filtranti e di trattenuta* - *Prov. Auton. di Bolzano*. URL: <https://pericoli-naturali.provincia.bz.it/it/briglie-filtranti-e-di-trattenuta-colate>.
- [3] *R quadro* - *Wikipedia*. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Coefficiente\\_di\\_determinazione](https://it.wikipedia.org/wiki/Coefficiente_di_determinazione).