

Impianto "PESCOPAGANO"

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio ad alta flessibilità

Comune di Pescopagano (PZ)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE

STRATEGIES FOR WATER



Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

Relazione idrologica



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PROGETTO PRELIMINARE	04/06/2021	E. Marchesi	L. Papetti	

Codice commessa: 1295

Codifica documento: 1295-A-FN-R-04-0

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3	CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE VALLONE DEL PIANO	5
3.1	Definizione del bacino di riferimento	5
3.2	Calcolo della portata di piena millenaria	7
3.2.1	Metodo della piena indice	7
3.2.2	Calcolo della piena millenaria tramite metodo razionale	10
3.2.3	Confronto dei risultati e conclusioni	13
4	CALCOLO DELLA PRECIPITAZIONE ALL'INTERNO DEL BACINO DI VALLE	14

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è volta a definire due grandezze:

- la portata di piena per la quale dimensionare l'opera di deviazione del torrente Vallone del Piano, un modesto affluente in sponda destra del torrente Ficocchia (corso d'acqua che dall'invaso di Saetta si immette nel fiume Ofanto, circa 7,5 km a Nord della diga di Saetta). Tale deviazione si rende necessaria in quanto l'invaso di valle in progetto occupa la confluenza di tale torrente nel Ficocchia, e perché, dato che si intende progettare un impianto di pompaggio puro, non si prevede di recapitare le acque di tale torrente all'interno dell'invaso stesso. Considerando la disposizione delle opere e l'importanza dell'impianto complessivo, si intendono adottare importanti misure cautelative al fine di ridurre in maniera considerevole il rischio associato all'esondazione di tale torrente in caso di piena. Come principale forma di cautela, per l'opera di deviazione si utilizza come portata di dimensionamento la portata di piena millenaria;
- la precipitazione attesa presso il bacino di valle associata ad un tempo di ritorno di 3.000 anni. Il bacino di valle, realizzato tramite un rilevato classificabile come "grande diga" (in quando l'altezza è superiore a 15 m), deve essere dimensionato in base al D.M. 26/04/2014 "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", in base al quale gli scarichi di superficie delle dighe in materiali sciolti devono essere dimensionati per l'onda con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno di 3.000 anni. In particolare, il bacino di valle 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 dalla precipitazione che cade all'interno della superficie delimitata dal perimetro del coronamento.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'intero impianto ricade all'interno del bacino idrografico del fiume Ofanto. Questo bacino idrografico ricade all'interno di 3 regioni (Campania, Basilicata e Puglia), e ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale. Le risorse idriche rese disponibili da tale schema soddisfano i bisogni irrigui ed industriali dei territori lucani e pugliesi del medio e basso Ofanto.

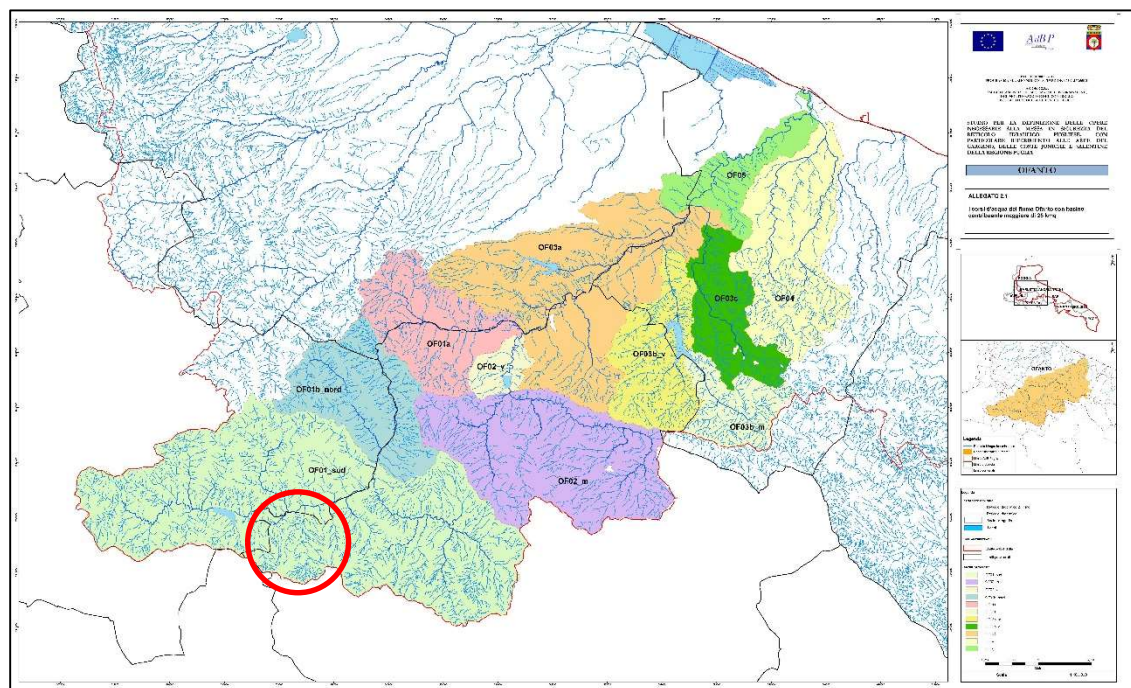


Figura 1 - Bacino idrografico del fiume Ofanto, con inquadramento sull'area interessata dalla realizzazione dell'impianto¹.

¹ Allegato 2.1 "I corsi d'acqua del fiume Ofanto con bacino contribuente maggiore di 25 kmq" dello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia" (Autorità di Bacino della Puglia).

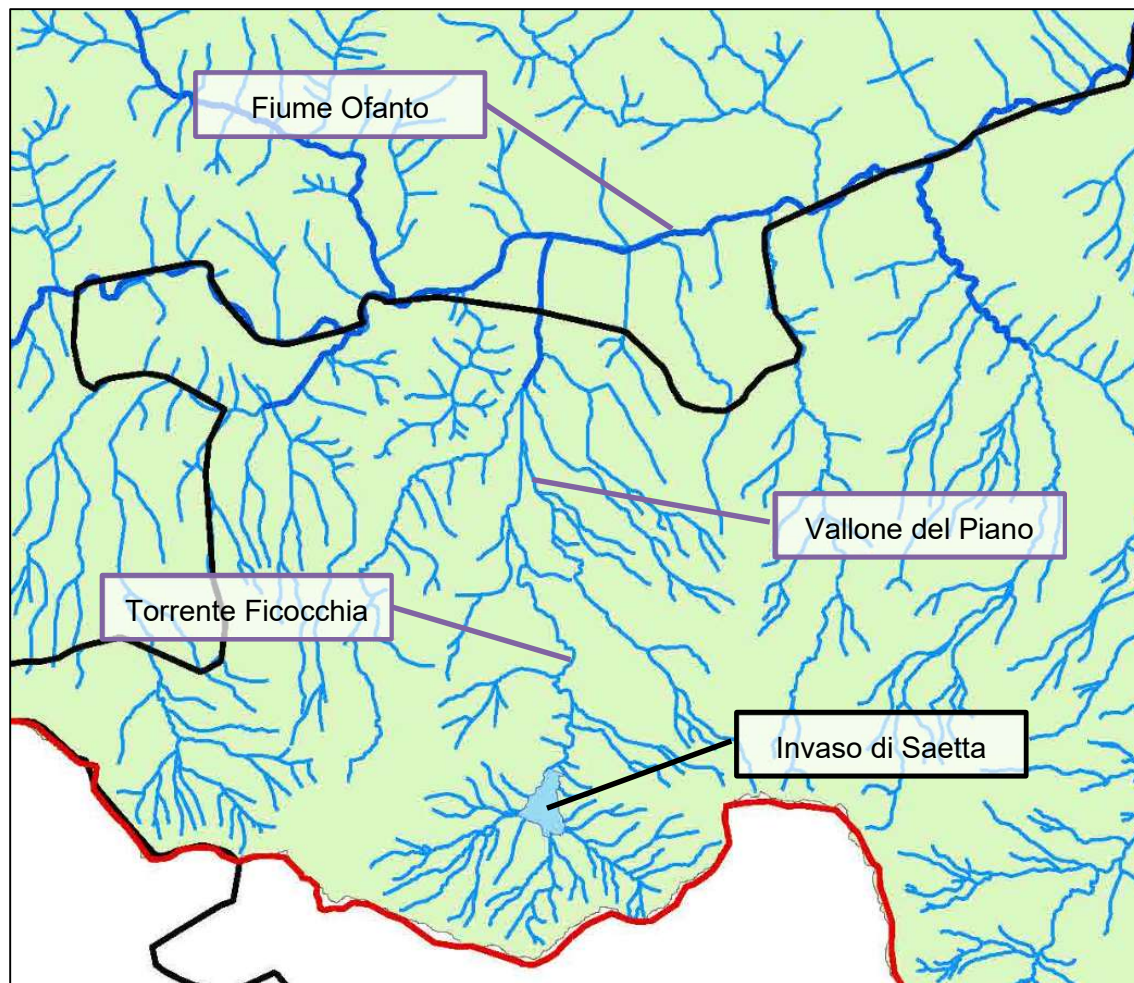


Figura 2 – Estratto del bacino idrografico del fiume Ofanto, con inquadramento sull'area interessata dalla realizzazione dell'impianto.

Nella tabella seguente vengono riportati i dati principali del bacino idrografico dell'Ofanto:

Grandezza	Valore	Unità di misura
Superficie	~ 2.790	km ²
Altitudine media	~ 450	m s.l.m.
Lunghezza dell'asta principale	~ 165	km
Afflusso medio annuo	~ 720	mm

Tabella 1 - Caratteristiche principali del bacino idrografico dell'Ofanto²

3 CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE VALLONE DEL PIANO

3.1 DEFINIZIONE DEL BACINO DI RIFERIMENTO

Per poter definire la portata di piena, è necessario ricavare il bacino idrico associato alla sezione di chiusura corrispondente al punto iniziale del canale deviatore. Nota questa

² Piano di bacino – stralcio assetto idrogeologico (PAI), relazione di piano (Autorità di Bacino della Puglia, dicembre 2004)

posizione, tramite gli strumenti del software QGIS è stato possibile ricavarne il bacino imbrifero, rappresentato nella figura seguente.



Figura 3 - Bacino imbrifero sotteso dalla sezione di chiusura individuata

Di seguito si riassumono le caratteristiche principale del bacino in questione:

Grandezza	Valore	Unità di misura
Superficie	4,74	km ²
Altitudine massima	1246	m s.l.m.
Altitudine media	891	m s.l.m.
Altitudine minima	497	m s.l.m.
Lunghezza dell'asta principale	6,59	km
Pendenza media dell'asta principale	11,35 %	-
Pendenza media del bacino	22,08 %	-

Tabella 2 - Caratteristiche principali del bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura stabilita

3.2 CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA MILLENARIA

Esistono molteplici metodi attraverso i quali poter valutare le massime portate al colmo di piena associati a determinati tempi di ritorno.

Come per la maggioranza di bacini di esigue dimensioni (superficie inferiore ai 5 km²), non sono disponibili misurazioni dirette, ed è pertanto necessario avvalersi di approcci statistici indiretti. In particolare, in questo studio si è fatto riferimento ai due metodi seguenti:

- Metodo della piena indice, così come riportata nel rapporto del progetto VaPI (Valutazione delle Piene in Italia) redatto per la Regione Puglia
- Metodo razionale, tarato con alcuni coefficienti forniti dal rapporto del progetto VaPI redatto per la Regione Puglia

3.2.1 METODO DELLA PIENA INDICE

Il calcolo della portata di piena millenaria spesso viene eseguito tramite il metodo della piena indice, per il quale una portata di piena associata ad un determinato tempo di ritorno può essere definita come il seguente prodotto:

$$Q_T = K_T \cdot Q_i$$

in cui:

- Q_T = Portata di piena associata al tempo di ritorno T
- K_T = fattore probabilistico di crescita, associato al tempo di ritorno T
- Q_i = Piena indice (o piena media annuale)

Per quanto riguarda la definizione del fattore probabilistico di crescita K_T , ci si affida alla quanto riportato nel rapporto sintetico del progetto VaPI sopracitato, in cui vengono riportate le definizioni da adottare in funzione dell'area si intende effettuare l'analisi. In particolare, il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia è stato suddiviso in 6 aree pluviometricamente omogenee. Il comune di Pescopagano ricade interamente all'interno della zona omogenea 4.

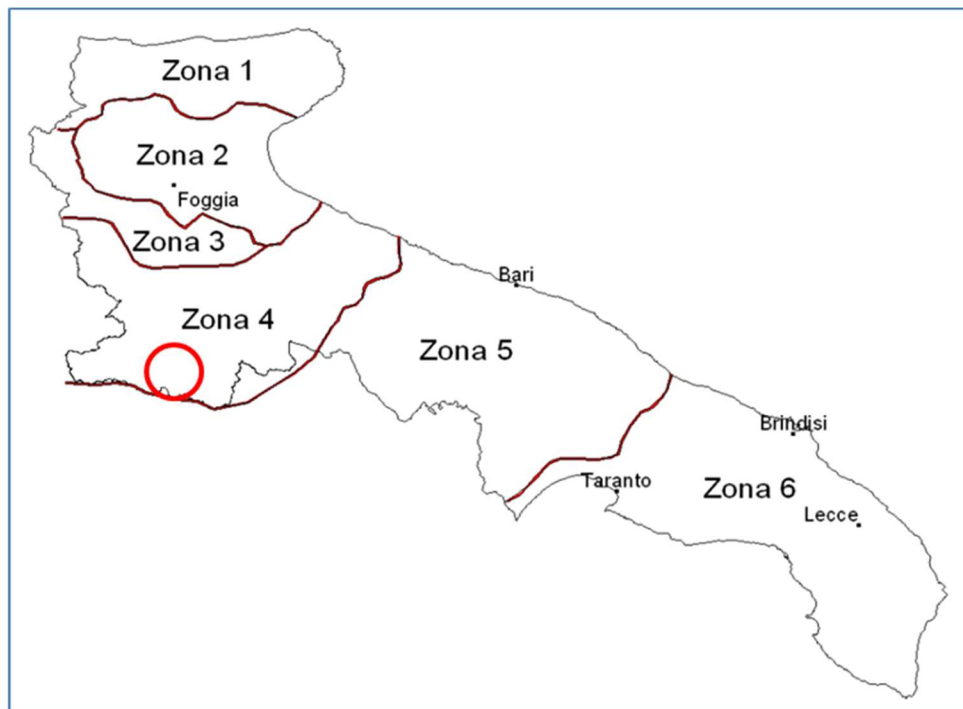


Figura 4 - Aree pluviometricamente omogenee del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia riportate nel PAI (il cerchio rosso indica la posizione approssimativa del comune di Pescopagano).

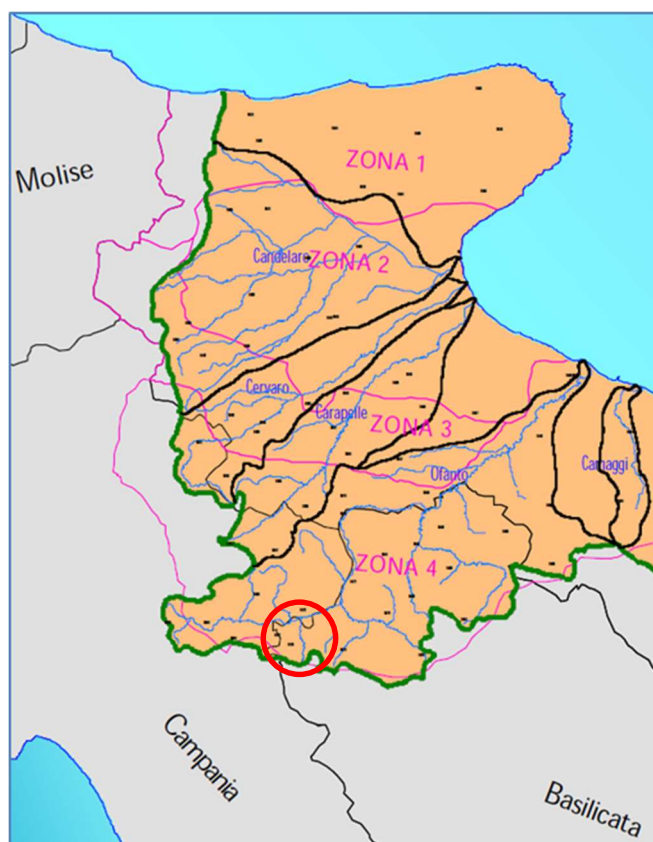


Figura 5 - Aree pluviometricamente omogenee del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia riportate nel progetto VaPI (il cerchio rosso indica la posizione approssimativa del comune di Pescopagano).

Per le aree omogenee 1-2-3-4 (Puglia Settentrionale), la definizione di K_T è la seguente:

$$K_T = -0,4007 + 0,904 \cdot \ln(T)$$

Assumendo un tempo di ritorno di 1.000 anni, il corrispondente valore del fattore probabilistico di crescita è pari a $K_{1000} = 5,84$.

Di seguito viene riportata la formula per il calcolo della piena indice adotta nel rapporto sintetico del progetto VaPI per l'applicazione nella regione Puglia:

$$Q_i[\text{m}^3/\text{s}] = \frac{C_* \cdot K_A(t_r) \cdot i(t_r) \cdot A}{3,6}$$

in cui:

- C_* = coefficiente di piena [-], definito in questo modo:

$$C_* = 0,09 + 0,47 \cdot (1 - pp)$$

In cui pp indica il rapporto tra l'area del bacino ad elevata permeabilità e l'area totale del bacino

- t_r = tempo di ritardo del bacino [h], definito in questo modo:

$$t_r = 0,344 \cdot A^{0,5}$$

in cui A [km²] è l'area del bacino

- $K_A(t_r)$ = fattore di riduzione areale [-] associato al tempo di ritardo t_r , definito in questo modo:

$$K_A(t_r) = 1 - (1 - e^{-0,0021 \cdot A}) \cdot e^{-0,53 \cdot t_r^{0,25}}$$

- $i(t_r)$ = intensità di precipitazione [mm/h] associata al tempo di ritardo t_r
- A = area del bacino [km²]

La definizione dell'intensità di precipitazione prescinde dalla definizione di un'altezza di precipitazione associata ad una durata pari a t_r ; per la zona pluviometrica omogenea 4, il progetto VaPI prevede la seguente definizione:

$$h(t)[\text{mm}] = 24,7 \cdot t^{0,256}$$

in cui t indica la durata dell'evento di precipitazione [h].

L'intensità di precipitazione $i(t_r)$ è pertanto esprimibile tramite l'espressione seguente:

$$i(t_r) = \frac{h(t_r)}{t_r}$$

Per quanto riguarda la definizione del parametro pp , data la scarsa presenza di aree rocciose o impermeabilizzate (si nota la presenza di alcuni tratti stradali e pochi edifici sparsi) e la prevalenza di aree boscate, si è ritenuto sufficientemente cautelativo adottare un valori pari a 0,5.

In base a quanto riportato, il valore della piena indice Q_i è pari a $Q_i = 13,03 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre il valore della il valore della piena millenaria è pari a $Q_{1000} = 76,14 \text{ m}^3/\text{s}$.

Di seguito vengono riassunti i risultati di questo metodo:

Grandezza	Valore	Unità di misura
<i>A</i>	4,74	km ²
<i>pp</i>	0,5	-
<i>C*</i>	0,325	-
<i>t_r</i>	0,74	h
<i>K_A(t_r)</i>	0,994	-
<i>h(t_r)</i>	22,87	mm
<i>i(t_r)</i>	30,90	mm/h
<i>Q_i</i>	13,03	m³/s
<i>K₁₀₀₀</i>	5,84	-
<i>Q₁₀₀₀</i>	76,14	m³/s

Tabella 3 - Calcolo della piena indice tramite il metodo VaPI

3.2.2 CALCOLO DELLA PIENA MILLENARIA TRAMITE METODO RAZIONALE

Di seguito viene riportata la formula per il calcolo della piena indice secondo la formula razionale:

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

in cui:

- 0,28 = coefficiente numerico che consente di ottenere la portata in m³/s [-]
- *c* = coefficiente di deflusso del bacino [-], ossia la frazione dell'afflusso meteorico che si traduce in deflusso superficiale
- *i_T(t_c)* = l'intensità di precipitazione [mm/h] con tempo di ritorno *T* e durata pari al tempo di corrivazione *t_c* [h]
- *A* = area del bacino [km²]

La stima del coefficiente di deflusso, infine, rappresenta l'elemento di incertezza principale nel metodo razionale. Dalla consultazione di strumenti cartografici e satellitari, oltre che dalle osservazioni in fase di sopralluogo, si può affermare che le aree interessate dal bacino idrografico in questione sono costituite prevalentemente da boschi, campi ad uso agricolo e terreni incolti (vi sono alcune strade e sporadici edifici).

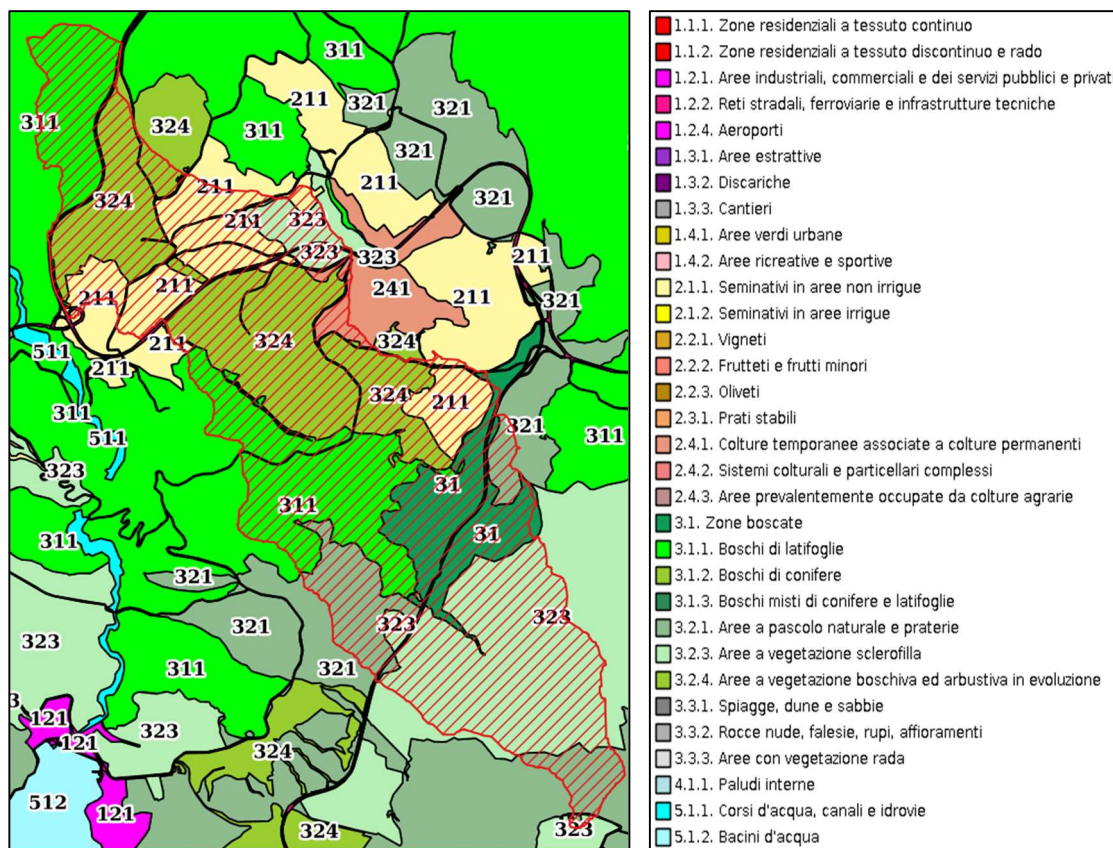


Figura 6 - Estratto della carta di uso del suolo (Fonte dati: "Carta dell' Uso Suolo della Regione Basilicata (2013)", Geoportale della Regione Basilicata), con evidenziazione dell'area associata al bacino imbrifero analizzato

Per la determinazione del coefficiente di deflusso si fa riferimento alla tabella seguente, che riprende i valori indicati dalla FAO³ nel 1976:

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

Tabella 4 - Valori del coefficiente di deflusso al variare del tipo di suolo e copertura del bacino

La maggior parte della superficie del bacino (circa il 70 %) è associata ad aree incolte o vegetazione rada, mentre la parte restante è divisa all'incirca a metà tra aree seminative semplici e boschi. In virtù di questa suddivisione degli usi del suolo, della pendenza media del bacino (pari a circa 21 %) e della presenza diffusa di complessi argillosi nel

³ FAO, Conservation Guide n° 2; Hydrological Tecnicques for upstream conservation, Roma 1976.

territorio, si è deciso di assegnare cautelativamente un valore di pari a $c = 0,5$ (il valore massimo contenuto nella tabella precedente).

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

$$i_T(t_r) = K'_T \cdot \frac{h(t_r)}{t_r}$$

In cui $h(t_r)$ può essere calcolato utilizzando la definizione fornita dal progetto VaPI (e già indicata al § 3.2.1), mentre K'_T rappresenta il fattore di crescita associato alla precipitazione, che il VaPI definisce in questo modo (per la zona 4):

$$K'_T = 0,5648 + 0,415 \cdot \ln(T)$$

Il tempo di corrivazione di un bacino idrografico rappresenta il tempo impiegato dalla precipitazione caduta nella sua parte più distante a raggiungere la sezione di chiusura, ossia l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione di chiusura. In letteratura esistono molteplici definizioni del tempo di corrivazione, tra cui quella più utilizzata è indubbiamente quella di Giandotti (1934), ritenuta tuttavia valida perlopiù per bacini di notevole estensione (superiore ai 100 km²). Per bacini di modeste dimensioni (inferiori ai 20 km²) si consiglia l'utilizzo della formulazione proposta da Kirpich-Ramser. Ad ogni modo, si ritiene opportuno riportare un confronto tra i valori ottenibili dalle diverse formulazioni, in modo da avere maggiore consapevolezza dell'incertezza legato a questo parametro.

Formula	Definizione	t_c
Kirpich-Ramser	$t_c \text{ [h]} = 0,000325 \cdot (L \cdot 1000)^{0,77} \cdot \left(\frac{H_{max} - H_{min}}{L \cdot 1000}\right)^{-0,385}$	0,66 h
Giandotti	$t_c \text{ [h]} = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_{min}}}$	1,17 h
Pezzoli	$t_c \text{ [h]} = \frac{0,055 \cdot L}{\sqrt{S_L}}$	1,08 h
Ventura	$t_c \text{ [h]} = 0,127 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_L}}$	0,82 h
Puglisi	$t_c \text{ [h]} = 6 \cdot (L \cdot 1000)^{2/3} \cdot (H_{max} - H_{min})^{-1/3}$	2,32 h
Tournon	$t_c \text{ [h]} = \frac{0,396 \cdot L}{\sqrt{S_L}} \left(\frac{A}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{S_L}{S_B}}\right)^{0,72}$	1,24 h
Viparelli	$t_c \text{ [h]} = \frac{L}{A}$	1,39 h
Pasini	$\frac{0,108 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{S_L}}$	1,01 h

Tabella 5 - Tempo di corrivazione valutato secondo diverse formule di letteratura

in cui:

- $A = 4,74 \text{ km}^2$ = area del bacino
- $L = 6,59 \text{ km}$ = lunghezza dell'asta principale

- $H_{max} = 1246$ m s.l.m. = altitudine media del bacino
- $H_{med} = 891$ m s.l.m. = altitudine media del bacino
- $H_{min} = 497$ m s.l.m. = altitudine minima del bacino
- $s_L = 0,1135$ = pendenza media dell'asta principale
- $s_B = 0,2208$ = pendenza media del bacino

La piena indice diminuisce all'aumentare del tempo di corrivazione, pertanto a favore di sicurezza è opportuno adottare il valore ricavato minore, ossia – in questo caso – quello ottenuto dalla formula di Kirpich-Ramser, generalmente considerata adatta a bacini imbriferi di dimensioni limitate.

In base a quanto riportato, il valore della piena millenaria è pari a $Q_{1000} = 77,05 \text{ m}^3/\text{s}$.

Di seguito vengono riassunti i risultati di questo metodo:

Grandezza	Valore	Unità di misura
A	4,74	km ²
c	0,50	-
t_c	0,66	h
$h(t_c)$	22,17	mm
$K'_T(t_c)$	3,43	-
$i_T(t_c)$	116,09	mm/h
Q_{1000}	77,05	m ³ /s

Tabella 6 - Calcolo della piena millenaria tramite il metodo razionale

3.2.3 CONFRONTO DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Si riassumono di seguito le portate di piena millenarie ricavata attraverso i due metodi differenti:

Grandezza	Valore	Unità di misura
Q_{1000} (metodo piena indice VaPI)	76,14	m ³ /s
Q_{1000} (metodo razionale)	77,05	m ³ /s

Tabella 7 – Portata di piena millenaria in funzione del metodo impiegato

A favore di sicurezza, viene preso come riferimento $Q_{1000} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$.

Come ulteriore verifica, nella *Relazione idraulica* si intende verificare il franco di sicurezza in condizioni di piena trimillenaria. Pertanto, con le stesse formule riportate precedentemente, è stato ottenuto i seguenti risultati.

Grandezza	Valore	Unità di misura
Q_{3000} (metodo piena indice VaPI)	89,07	m ³ /s
Q_{3000} (metodo razionale)	87,29	m ³ /s

Tabella 8 – Portata di piena trimillenaria in funzione del metodo impiegato

A favore di sicurezza, viene preso come riferimento $Q_{1000} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$.

4 CALCOLO DELLA PRECIPITAZIONE ALL'INTERNO DEL BACINO DI VALLE

Per il calcolo della precipitazione attesa associata ad un tempo di ritorno di 3.000 anni, si utilizzano le stesse formule riportate adottate al § 3.2.

La definizione dell'intensità di precipitazione prescinde dalla definizione di un'altezza di precipitazione associata ad una durata pari a t_r ; per la zona pluviometrica omogenea 4, il progetto VaPI prevede la seguente definizione:

$$h(t)[\text{mm}] = 24,7 \cdot t^{0,256}$$

in cui t indica la durata dell'evento di precipitazione [h].

L'intensità di precipitazione $i(t_r)$ è pertanto esprimibile tramite l'espressione seguente:

$$i(t_r) = \frac{h(t_r)}{t_r}$$

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

$$i_T(t_r) = K'_T \cdot \frac{h(t_r)}{t_r}$$

In cui K'_T rappresenta il fattore di crescita associato alla precipitazione, che il VaPI definisce in questo modo (per la zona 4):

$$K'_T = 0,5648 + 0,415 \cdot \ln(T)$$

Conoscendo queste informazioni, è possibile ricostruire le LSPP (Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica), ossia curve che rappresentano il legame tra altezze massime e durata di eventi piovosi in funzione di diversi tempo di ritorno, valide per il sito oggetto di analisi.

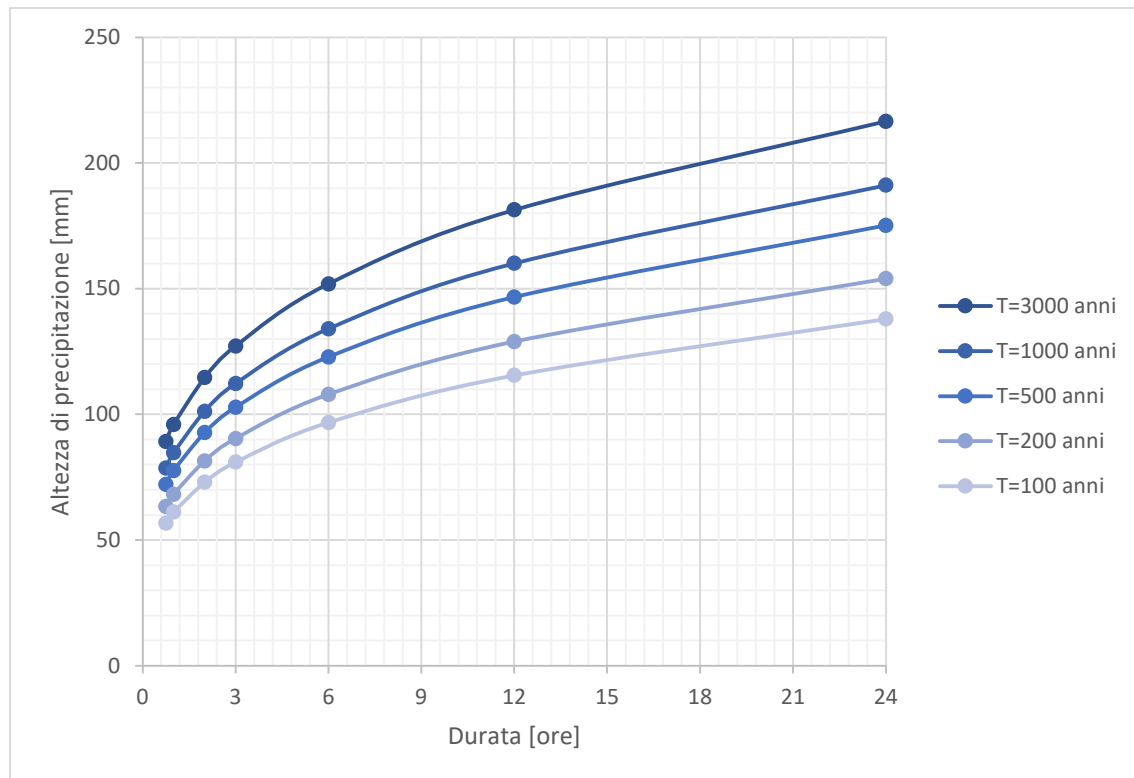


Figura 7 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

Per quanto riguarda l'altezza da adottare per le verifiche sui franchi di sicurezza, si è ritenuto cautelativo adottare come valore di riferimento l'altezza associata ad un evento di durata pari a 24 ore, ossia **217 mm**. Ulteriori misure cautelative sono state adottate nel dimensionamento del bacino di valle, meglio descritte nella *Relazione idraulica*.



Tel: +39 030 3702371 – Mail: info@frosionext.com - Sito: www.frosionext.com
Via Pier Fortunato Calvi 11 - Brescia (BS), CAP 25123
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179