

**S.S. 106 "JONICA"**

Lavori di realizzazione dell'asta di collegamento  
in dx idraulica del Torrente Gerace  
tra la SS 106 VAR/B (Svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. CZ311

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
Ing. Francesco M. LA CAMERA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

**S.T.E.** s.r.l.

Structure and Transport Engineering

Direttore Tecnico  
Ing. E. Moroni  
Ordine Ing. Roma  
N. 10020

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  
Ing. Francesco M. LA CAMERA

**RKSOJL** S.p.A.

Direttore Tecnico  
Ing. G. Cassani  
Ordine Ing. Milano  
N.20997

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Fiorenza PENNINO Ordine Geol. Lombardia N. 1575

**E.D.IN.** s.r.l.  
Società di Ingegneria

Direttore Tecnico  
Ing. G. Grimaldi  
Ordine Ing. Roma  
N. 17703

L'ARCHEOLOGA: Dott.ssa Grazia SAVINO

Elenco MIBACT n. 3856 – archeologa di 1° fascia ai sensi del D.M. 244/2019

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Antonella PIRROTTA

**Prof. Arch. F. KARRER**

Ordine Arch. Roma  
N. 2097

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00_ID00_IDR_RE01_C			
DPCZ0311	D 20	CODICE ELAB.	T00ID00IDRRE01	C	-
C	EMISSIONE PER PROCEDURA VASSVIA	Ottobre 2022	BONAMASSA	MORONI	LA CAMERA
B	EMISSIONE A SEGUITO RIESAME INTEMEDIO	Luglio 2022	BONAMASSA	MORONI	LA CAMERA
A	PRIMA EMISSIONE	Marzo 2022	BONAMASSA	MORONI	LA CAMERA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## Sommario

1	PREMESSA	2
1.1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	2
1.2	STUDIO IDROLOGICO	2
2	Valutazione del clima pluviometrico (osservazioni al pluviometro)	3
2.1	RICOGNIZIONE DEI DATI DISPONIBILI	3
2.2	DATI UTILIZZATI	5
2.3	RISULTATI	11
3	Metodologia Vapi	13
3.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA GENERALE	13
3.1.1	GERARCHIA DELLA REGIONALIZZAZIONE	13
3.1.2	APPLICAZIONE ALL'AREA IN ESAME	17
3.1.3	CONFRONTO CON LE PIOGGE AL PLUVIOMETRO	19
3.1.4	PIOGGE BREVI	20
4	Portate di piena	22
4.1	VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI BACINI	23
4.2	STIMA DELLE PORTATE DI PIENA	23
4.2.1	MODELLO IDROLOGICO	23
4.2.2	PORTATE DI PIENA	25

## 1 PREMESSA

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento in oggetto consiste nella realizzazione del collegamento diretto tra la SS 106 VAR/B (Megalotto 1) a 4 corsie e la SS 106 "litoranea". Tale collegamento è oggi garantito dall'esistente strada provinciale che attraversa il centro urbano di Locri nell'area in cui sono situati il presidio ospedaliero e alcuni istituti scolastici. Esso prevede la realizzazione di un nuovo asse viario - la "bretella" in oggetto - classificata come strada extraurbana secondaria cat. C1 secondo il DM 05/11/2001, dello sviluppo di circa 2 km, fra lo svincolo di Gerace e la SS 106 litoranea. Detto asse è previsto anche nello strumento urbanistico comunale vigente e la sua localizzazione è stata sostanzialmente rispettata nel progetto in descrizione, mantenendo la giacitura dell'infrastruttura in destra idraulica della fiumara Gerace, ma avendo cura di situarla al di fuori dell'area di vincolo idraulico. Nel corso dello sviluppo del progetto sono stati effettuati vari incontri con l'Amministrazione comunale della Città di Locri al termine dei quali il Sindaco ha condiviso la Progettazione definitiva in corso di redazione esprimendo parere positivo sulle scelte progettuali illustrate durante le riunioni. Nella stessa lettera il Sindaco di Locri ha ribadito e confermato anche la propria richiesta di completamento del Megalotto 1 nel tratto tra Locri e Ardore che risulta assolutamente strategico nel futuro sviluppo socioeconomico del proprio territorio.

Analoga posizione è sostenuta dalla Regione Calabria.

La presente relazione descrive le metodologie adottate e i risultati dello studio idrologico condotto nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento.

### 1.2 STUDIO IDROLOGICO

Lo studio idrologico condotto ha previsto le seguenti attività:

- stima del clima pluviometrico sulla base dell'inferenza di una distribuzione dei valori massimi di precipitazione oraria, ottenuta a partire da osservazioni pluviometriche di 1, 3, 6, 12 e 24 ore
- valutazione della precipitazione in accordo con la metodologia proposta nell'ambito del metodo VAPI - valutazione piene per la Regione Calabria

- studio delle precipitazioni di breve durata (sub-orarie), per la definizione del clima pluviometrico sulla scala temporale breve
- determinazione delle caratteristiche dei bacini versanti
- stima del numero di curva di ciascun bacino (metodo Curve Number del Soil Conservation Service) e del tempo di concentrazione
- Stima delle portate di piena.

Tali procedure sono state messe in atto sia per determinare la portata attesa sulla fiumara Gerace (valutazione della compatibilità idraulica relativa allo scavalco dei due viadotti di progetto e delle rampe di raccordo alla S.S. 106) sia per gli attraversamenti minori interferiti lungo l'asta di collegamento in destra idraulica della fiumara stessa. I risultati idrologici per la fiumara Gerace sono riportati nella relazione di compatibilità idraulica relativa alla fiumara stessa.

## 2 VALUTAZIONE DEL CLIMA PLUVIOMETRICO (OSSERVAZIONI AL PLUVIOMETRO)

### 2.1 RICOGNIZIONE DEI DATI DISPONIBILI

Al fine di stimare le precipitazioni rare (tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni) per le diverse durate, anche in considerazione del tempo trascorso dall'elaborazione dello studio VAPI, di cui al paragrafo successivo, si è cercato di individuare il maggior numero di serie storiche complete ed aggiornate ricadenti nell'area in esame. Ciò al fine di eseguire in confronto della metodologia VAPI con i risultati di una analisi statistica classica eseguita sui dati diretti da pluviometro.

Si è condotta una ricognizione delle stazioni presenti che ha mostrato che i pluviografi attivi con una serie storica ricostruibile per l'area in esame sono rappresentati dalle seguenti stazioni (figura 2.1):

- Antonimima
- Locri
- Siderno Marina

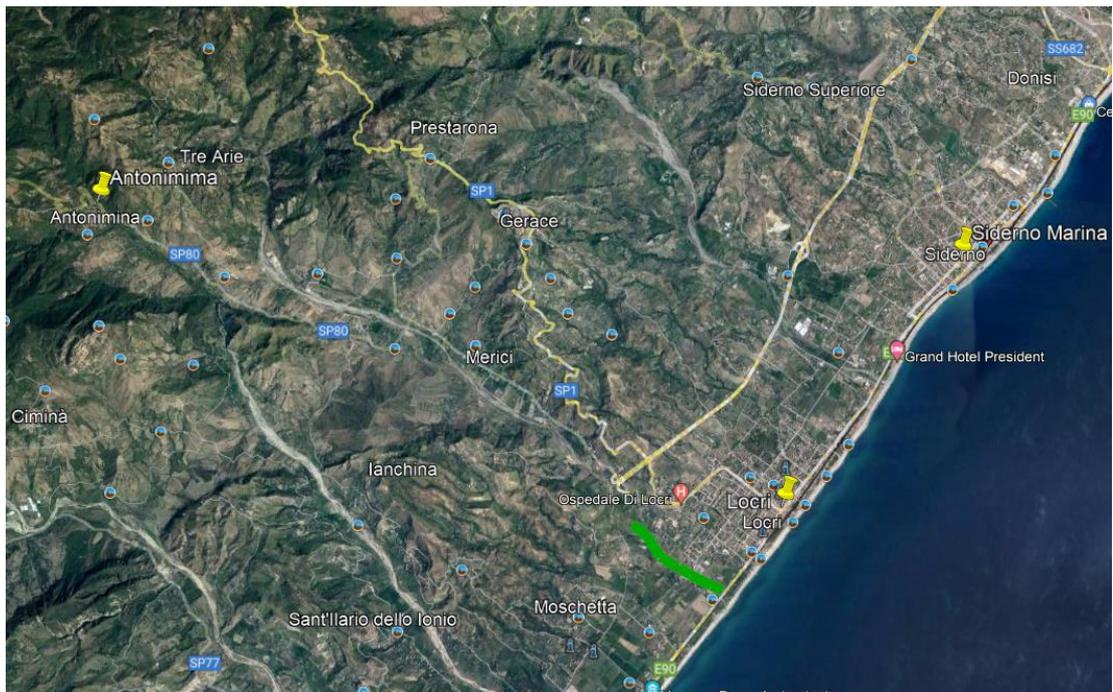


Figura 2.1 – posizione relativa delle tre stazioni di Locri, Siderno Marina e Antonimima e posizione del tracciato di progetto (in verde)

La situazione, a livello di numerosità dei diversi campioni, è quella che segue:

- Antonimima ha nel complesso valori per 41 anni di precipitazioni massime di durata tra 1 e 24 ore;
- Locri ha nel complesso valori per soli 14 anni di precipitazioni massime di durata tra 1 e 24 ore;
- Siderno Marina ha nel complesso valori per 19 anni di precipitazioni massime di durata tra 1 e 24 ore

Ad eccezione di Anonimima, la numerosità dei campioni è quindi piuttosto limitata

## 2.2 DATI UTILIZZATI

Le serie storiche delle tre stazioni sono riportate per completezza nel presente paragrafo

tabella 2.2.1 - serie storica dati per Antonimima

Anno	Data	Max 1h	Data	Max 3h	Data	Max 6h	Data	Max 12h	Data	Max 24h
1958	30-09	30.6	23-11	37.4	22-11	53.6	18-01	75.4	18-01	84.2
1959	08-06	81.0	08-06	99.0	08-06	105.6	08-06	105.6	08-06	106.3
1960	05-05	59.0	05-05	94.4	05-05	96.4	05-05	101.5	05-05	112.1
1961	25-09	71.8	25-09	71.8	25-09	71.8	25-09	71.8	25-09	75.8
1962	05-05	22.0	19-12	28.6	15-04	37.0	15-04	51.8	14-02	81.0
1963	25-07	30.6	25-07	32.6	10-12	53.2	10-12	74.2	10-12	79.4
1964	31-10	25.4	26-12	37.2	26-04	45.8	04-12	62.0	04-12	110.3
1965	19-10	19.4	19-10	29.8	14-01	34.6	14-01	48.0	14-01	86.8
1966	08-10	51.0	08-10	51.2	08-10	51.4	08-10	75.0	08-10	111.1
1967	17-02	36.0	17-02	59.6	17-02	98.2	17-02	126.3	17-02	146.3
1968	04-11	18.2	03-06	38.0	03-06	45.0	03-06	49.4	03-06	55.8
1970	02-10	20.6	02-10	37.4	02-10	50.8	04-03	75.0	03-03	94.8
1971	21-07	26.8	21-07	45.2	01-10	73.6	01-10	95.0	01-10	159.1
1979	02-03	16.6	08-02	26.6	08-02	38.2	07-02	51.2	07-02	52.8
1980	14-11	53.4	14-11	92.2	14-11	104.8	14-11	113.8	13-11	119.8
1992	14-10	29.2	17-04	49.4	17-04	53.8	17-04	54.6	16-04	54.6
1993	26-11	31.8	26-11	60.8	25-11	80.4	25-11	111.8	24-11	165.0
1994	22-10	30.0	07-06	40.0	22-10	49.4	01-01	59.2	01-01	60.4
1995	13-03	22.4	13-03	51.2	13-03	68.8	13-03	79.8	24-11	128.0
1996	26-01	32.0	26-01	50.4	26-01	84.2	25-01	114.0	25-01	132.2
1997	23-09	30.0	23-09	48.8	23-09	69.2	23-09	81.6	22-09	91.8
1998	27-09	23.6	09-03	25.8	21-03	30.2	05-02	40.0	05-02	42.4
1999	24-07	24.4	24-07	39.4	24-07	47.0	24-07	47.4	29-11	48.6
2000	10-09	66.2	30-09	140.8	30-09	166.2	30-09	230.0	29-09	256.6
2001	09-02	32.0	05-05	45.2	05-05	54.2	05-05	59.2	09-02	62.4
2002	13-09	24.0	01-09	36.0	01-09	37.0	01-09	37.6	24-05	42.8
2003	02-08	26.6	04-04	39.0	04-04	70.4	04-04	96.2	04-04	105.6
2004	07-03	45.6	07-03	71.0	07-03	102.2	07-03	153.0	06-03	158.2
2005	04-09	28.2	30-08	32.6	30-08	34.8	13-12	41.0	13-12	79.6

Anno	Data	Max 1 h	Data	Max 3 h	Data	Max 6 h	Data	Max 12 h	Data	Max 24 h
2006	03-07	27.4	20-10	44.2	20-10	70.2	19-10	101.8	19-10	104.4
2007	25-10	43.0	25-10	47.4	25-10	48.0	08-12	51.4	08-12	64.6
2008	28-10	36.4	28-10	44.4	04-12	45.2	03-12	65.2	03-12	75.4
2009	02-10	31.6	24-09	53.0	13-01	68.0	13-01	94.4	12-01	111.0
2010	09-09	29.0	09-09	49.4	09-09	55.0	24-02	65.2	09-03	80.8
2011	09-11	56.0	09-11	70.2	27-01	79.8	27-01	98.2	26-01	101.4
2012	31-10	47.6	31-10	61.4	31-10	77.0	31-10	86.0	21-02	99.4
2013	01-12	21.8	02-03	30.4	02-03	35.8	30-11	46.6	30-11	81.6
2014	02-09	17.2	02-09	31.6	02-09	43.8	01-02	55.2	01-02	88.8
2015	20-09	40.2	25-11	58.6	24-11	76.6	01-11	118.0	01-11	182.6
2016	25-11	45.6	25-11	74.0	24-11	109.0	24-11	136.2	24-11	198.6
2017	11-09	31.6	27-09	37.2	23-01	50.2	23-01	95.6	22-01	147.4

Tabella 2.2.2 - Serie storica dati per Locri

Anno	Data	Max 1 h	Data	Max 3 h	Data	Max 6 h	Data	Max 12 h	Data	Max 24 h
2002	24-09	39.8	24-09	45.0	24-09	45.2	24-09	45.2	06-12	49.6
2003	19-10	33.2	04-04	36.8	04-04	64.8	04-04	94.2	04-04	105.4
2004	20-09	36.8	20-09	46.6	20-09	52.6	20-09	53.0	19-09	101.2
2005	05-09	15.2	14-12	19.0	09-12	26.6	13-12	38.4	13-12	70.4
2006	20-10	29.4	20-10	38.0	19-10	42.4	14-12	61.8	13-12	63.4
2007	25-10	54.8	25-10	59.2	25-10	62.8	25-10	67.0	25-10	67.2
2008	28-10	30.0	04-12	37.0	03-12	49.0	03-12	61.4	03-12	82.0
2009	01-02	34.2	01-02	58.6	01-02	82.4	01-02	87.2	31-01	87.8
2010	03-09	80.0	03-09	126.0	03-09	138.0	03-09	138.2	03-09	159.4
2011	09-11	25.0	27-01	33.2	27-01	47.8	27-01	68.4	15-04	78.6
2012	31-10	38.0	31-10	57.2	31-10	80.8	31-10	119.4	31-10	134.2
2013	01-11	27.6	01-11	29.2	01-11	29.2	31-10	34.6	30-11	50.8
2014	04-10	36.4	04-10	43.6	04-10	43.6	01-02	43.8	01-02	60.4
2015	24-11	42.4	24-11	61.8	24-11	106.2	24-11	109.2	01-11	152.2

Tabella 2.2.3 - Serie storica dati per Siderno Marina

Anno	Data	Max 1 h	Data	Max 3 h	Data	Max 6 h	Data	Max 12 h	Data	Max 24 h
1938	04-02	12.6	04-02	17.2	29-11	24.0	29-11	35.4	28-11	53.8
1940	»	30.0	»	40.8	»	49.6	»	49.6	»	51.0
1941	04-11	21.6	04-11	31.2	16-11	33.0	16-11	46.6	15-11	72.8
1942	16-08	27.8	28-02	44.4	28-02	52.0	26-11	53.2	25-12	77.0
1947	26-11	37.4	26-06	64.6	26-06	67.2	26-06	67.2	25-10	103.7
1950	24-01	27.4	02-03	43.8	02-03	59.8	02-03	64.0	24-01	82.2
1951	18-10	49.0	18-10	83.4	17-10	130.5	17-10	176.3	17-10	283.3
1988	15-09	58.0	15-09	59.2	15-09	61.2	05-03	86.8	05-03	100.4
1991	13-10	27.2	13-10	51.6	13-10	67.2	13-10	70.8	12-10	94.6
1992	30-12	30.4	30-12	50.6	18-12	64.6	18-12	99.8	18-12	144.2
1993	25-11	14.8	25-11	31.6	25-11	55.8	25-11	82.0	24-11	128.4
1994	05-08	26.6	05-08	52.2	05-08	54.0	19-12	73.0	19-12	81.0
1995	13-12	45.4	13-12	57.2	12-12	78.0	12-12	104.6	12-12	108.2
1996	11-10	35.0	17-12	44.4	17-12	46.0	06-02	60.8	25-01	82.6
1997	23-09	21.4	23-08	29.6	23-09	30.6	23-09	41.4	22-09	53.4
1998	27-09	30.6	27-09	31.0	25-09	33.2	25-09	47.4	24-03	49.4
1999	24-07	24.4	24-07	36.4	24-07	39.8	24-07	40.0	23-07	40.0
2000	09-09	76.2	09-09	103.2	30-09	123.6	30-09	163.4	09-09	245.2
2001	05-05	34.2	05-05	43.8	05-05	47.6	05-05	47.8	05-05	47.8

La metodologia utilizzata è quella che prevede il tracciamento delle *curve di caso critico*, e successivamente la caratterizzazione statistica delle altezze di pioggia oraria.

Le curve di caso critico rappresentano le massime altezze annue di precipitazione (in mm di pioggia) misurate relativamente alle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Indicate con M il numero delle durate prefissate ( $j = 1, 2, \dots, M$ ) in base al quale si intende tracciare le curve, e con N il numero degli anni di osservazione ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), si ottengono M serie di N valori empirici  $h_i(t_j)$ .

Ordinata ogni serie M in senso decrescente, si ottengono, così, M serie di N valori empirici di altezze di pioggia  $h_i(t_j)$  ordinati in senso decrescente, in cui i valori contrassegnati

dallo stesso indice  $i$  prendono il nome di  $i$ -esimo caso critico; le linee che uniscono i punti rappresentativi dello stesso caso critico (per  $M$  durate  $t_j$  diverse) prendono il nome di curve di caso critico delle altezze di precipitazione.

Le curve così determinate presentano un andamento irregolare che varia notevolmente da caso a caso; ai fini pratici è utile regolarizzare gli andamenti delle curve empiriche con curve analitiche interpolatrici del tipo:

$$h(t) = a t^n, \quad (1)$$

valida per le altezze di pioggia, o l'equivalente, valida per le intensità:

$$i(t) = a t^{n-1}. \quad (2)$$

Volendo regolarizzare gli andamenti dei valori empirici delle altezze di pioggia, si linearizza la (1) passando alla forma logaritmica

$$\log h(t) = n \log t + \log a. \quad (3)$$

Ponendo poi  $y(x) = \log h(t)$ ,  $x = \log t$ ,  $\alpha = n$ ,  $\beta = \log a$ , si ottiene la forma semplificata:

$$y(x) = \alpha x + \beta, \quad (4)$$

che rappresenta l'equazione di una retta.

Per determinare, per ogni  $i$ -esimo caso critico dei valori empirici, gli  $i$ -esimi coefficienti  $\alpha_i$  e gli  $i$ -esimi coefficienti  $\beta_i$  della  $i$ -esima curva interpolante:

$$y_i(x_j) = \alpha_i x_j + \beta_i, \quad (5)$$

si è utilizzato il metodo dei minimi quadrati, imponendo, cioè, che essi assumano valori tali da rendere minima, per ogni caso critico, la somma dei quadrati degli scarti tra i valori empirici (osservati)  $y'_i(x_j)$  ed i corrispondenti valori  $y_i(x_j)$  della retta interpolante:

$$S_i = \sum_{j=1}^M [y_i(x_j) - y'_i(x_j)]^2 = \sum_{j=1}^M [\alpha_i x_j + \beta_i - y'_i(x_j)]^2 \quad (6)$$

Derivando la (6) rispetto ai coefficienti  $\alpha_i$  e  $\beta_i$ , uguagliando a zero tali derivate e risolvendo il sistema delle due equazioni nelle due incognite  $\alpha_i$  e  $\beta_i$  si ottiene:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x}) y'_i(x_j)}{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2} \text{ e } \beta_i = \bar{y}'_i - \alpha_i \bar{x} \quad (7)$$

Dove  $\bar{y}'_i$ ,  $\bar{x}$  e sono le medie, rispetto alle M durate j, dei valori empirici  $y'_i(x_j)$  e dei valori  $x_j$  delle durate stesse:

$$\bar{y}'_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y'_i(x_j) \text{ e } \bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_j \quad (8)$$

Per ogni caso critico, determinati i coefficienti  $\alpha_i$ , si ottengono immediatamente i coefficienti  $n_i$ , mentre per ottenere i coefficienti ai basta invertire la  $\beta_i = \log a_i$ .

Con questo metodo può accadere che le rette rappresentanti i casi critici si incrocino; per ovviare a tale inconveniente si è imposto a priori il parallelismo tra le rette interpolatrici, imponendo, cioè, che esse abbiano tutte lo stesso coefficiente angolare:

$$y_i(x) = \alpha x + \beta_i \quad (9)$$

In tal caso i coefficienti  $\beta_i$  e l'unico valore di  $\alpha$  possono essere determinati imponendo che essi assumano valori tali da rendere minima la somma dei quadrati degli scarti tra i valori empirici  $y'_i(x_j)$  ed i corrispondenti valori  $y_i(x_j)$  delle rette interpolanti, per tutti i casi critici contemporaneamente:

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [y_i(x_j) - y'_i(x_j)]^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [\alpha x_j + \beta_i - y'_i(x_j)]^2 \quad (10)$$

Derivando la (10) rispetto ai coefficienti  $\alpha$  e  $\beta_i$ , uguagliando a zero tali derivate e risolvendo il sistema di due equazioni nelle incognite  $\alpha$  e  $\beta_i$  si ottiene:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x}) y'_i(x_j)}{N \sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2} \text{ e } \beta_i = \bar{y}'_i - \alpha \bar{x} \quad (11)$$

Dove  $\bar{y}'_i$ ,  $\bar{x}$  hanno lo stesso significato del caso precedente.

I valori dei coefficienti di crescita sono risultati rispettivamente pari a 0,339 per Antonimima, 0,277 per Locri e 0,322 per Siderno Marina.

Successivamente si sono inferiti i parametri della distribuzione di Gumbel

$$P[h(t)] = e^{-e^{-\alpha[h(t)-x_0]}} = e^{-e^{-\alpha_1 t^{-n} (a t^n - x_0 t^n)}} = e^{-e^{-\alpha_1 (a - x_0)}} = P(a) \quad (12)$$

relativi alla distribuzione delle altezze orarie di pioggia, per associare a ciascun tempo di ritorno il valore del parametro  $a$  che compare nella (1) e nella (2). I parametri della distribuzione di Gumbel si stimano in funzione di media e varianza secondo le note espressioni:

$$\alpha_1 = \frac{1,2825}{\sigma_1}$$

$$x_{01} = \mu_1 - 0.45006 \sigma_1$$

## 2.3 RISULTATI

Per ciascuna stazione sono stati quindi determinate le seguenti altezza di precipitazione oraria in funzione del tempo di ritorno.

Tabella 2.3.1 Antonimima: Valori dell'altezza di precipitazione oraria in funzione del tempo di ritorno

<b>Tr</b>	<b>a</b>
<b>25</b>	<b>66.7</b>
<b>50</b>	<b>75.1</b>
<b>100</b>	<b>83.5</b>
<b>200</b>	<b>91.8</b>
<b>500</b>	<b>102.8</b>

Esponente di crescita con la durata (durate superiori ad un'ora)  
 $n^* = 0,339$

Tabella 2.3.2 Locri: Valori dell'altezza di precipitazione oraria in funzione del tempo di ritorno

<b>Tr</b>	<b>a</b>
<b>25</b>	<b>70.0</b>
<b>50</b>	<b>78.9</b>
<b>100</b>	<b>87.7</b>
<b>200</b>	<b>96.5</b>
<b>500</b>	<b>108.1</b>

Esponente di crescita con la durata (durate superiori ad un'ora)  
 $n^* = 0,277$

Tabella 2.3.3 Siderno Marina: Valori dell'altezza di precipitazione oraria in funzione del tempo di ritorno

<b>Tr</b>	<b>a</b>
<b>25</b>	<b>68.1</b>
<b>50</b>	<b>77.3</b>
<b>100</b>	<b>86.5</b>
<b>200</b>	<b>95.6</b>
<b>500</b>	<b>107.7</b>

Esponente di crescita con la durata (durate superiori ad un'ora)  
 $n^* = 0,322$

Nel complesso l'analisi al pluviometro restituisce un quadro molto coerente per le 3 stazioni, con valori di precipitazione oraria compresi tra 67 e 70 mm un tempo di ritorno di 25 anni e tra 92 e 96 mm per un tempo di ritorno di 200 anni.

### 3 METODOLOGIA VAPI

Viene dato nel seguito un richiamo della metodologia sviluppata per la regione Calabria nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione delle Piene) del Gruppo nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologici.

#### 3.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA GENERALE

La legge di distribuzione probabilistica prescritta dal PAI per la variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata oraria o suboraria  $t$ , è la *Two Component Extreme Value* (TCEV), secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (*outliers*), legati a differenti fenomeni meteorologici.

La funzione di distribuzione di probabilità della  $h_t$  è funzione di 4 parametri:  $\Lambda_1$ ,  $\vartheta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\vartheta_2$ , che esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni ( $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$ ) e il loro valore medio ( $\vartheta_1$  e  $\vartheta_2$ ). Se si pone  $\vartheta^* = \vartheta_2 / \vartheta_1$  e  $\Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\vartheta^*}$ , si può considerare la quaterna di parametri  $\Lambda^*$ ,  $\vartheta^*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\vartheta_1$ . La funzione di distribuzione di probabilità della variabile casuale  $x = h_t$  (massimo annuale della pioggia di durata  $t$ ) è espressa come segue :

$$F_x(x) = \exp [ - \Lambda_1 e^{-x/\vartheta_1} - \Lambda_2 e^{-x/\vartheta_2} ]$$

##### 3.1.1 GERARCHIA DELLA REGIONALIZZAZIONE

Nell'ambito del progetto VAPI (progetto di Valutazione delle Piene del Consiglio Nazionale delle Ricerche), del quale in questa sede si segue l'impostazione, l'analisi delle piogge giornaliere ha portato alla verifica dell'ipotesi che la Calabria sia una zona pluviometricamente omogenea, ciò implica la costanza dei parametri  $\Lambda^* = 0,418$  e  $\vartheta^* = 2,154$ . Si sono, quindi, individuate tre sottozone in cui si ritiene costante il coefficiente di variazione e di conseguenza il parametro  $\Lambda_1$  (sottozona tirrenica, T:  $\Lambda_1 = 48,914$ ; sottozona centrale, C:  $\Lambda_1 = 22,878$ ; sottozona ionica, I:  $\Lambda_1 = 10,987$ ). La suddivisione in aree omogenee dal punto di vista pluviometrico è rappresentata nella figura successiva.

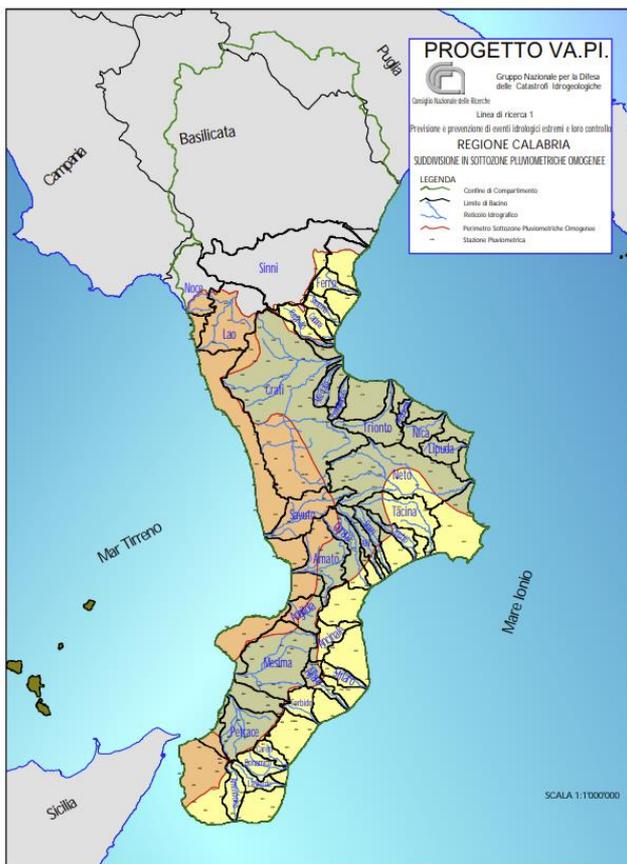


Figura3.1 – Regioni pluviometriche omogenee (VAPI Regione Calabria)

Infine, sono state delimitate 13 aree omogenee, in ciascuna delle quali si ritiene valido un legame di correlazione tra la media delle altezze di pioggia giornaliere massime annuali e la quota sul mare. Ritenendo valida la suddivisione in sottozone e aree omogenee del VAPI anche per le piogge di breve durata  $t$ , si è effettuata l'analisi delle stesse, pervenendo alla valutazione dei parametri  $\Lambda^*$ ,  $\vartheta^*$  e  $\Lambda_1$  per le diverse durate,  $t=1, 3, 6, 12, 24$  ore (Tabella 1), attraverso il metodo della massima verosimiglianza (*Maximum Likelihood, ML*).

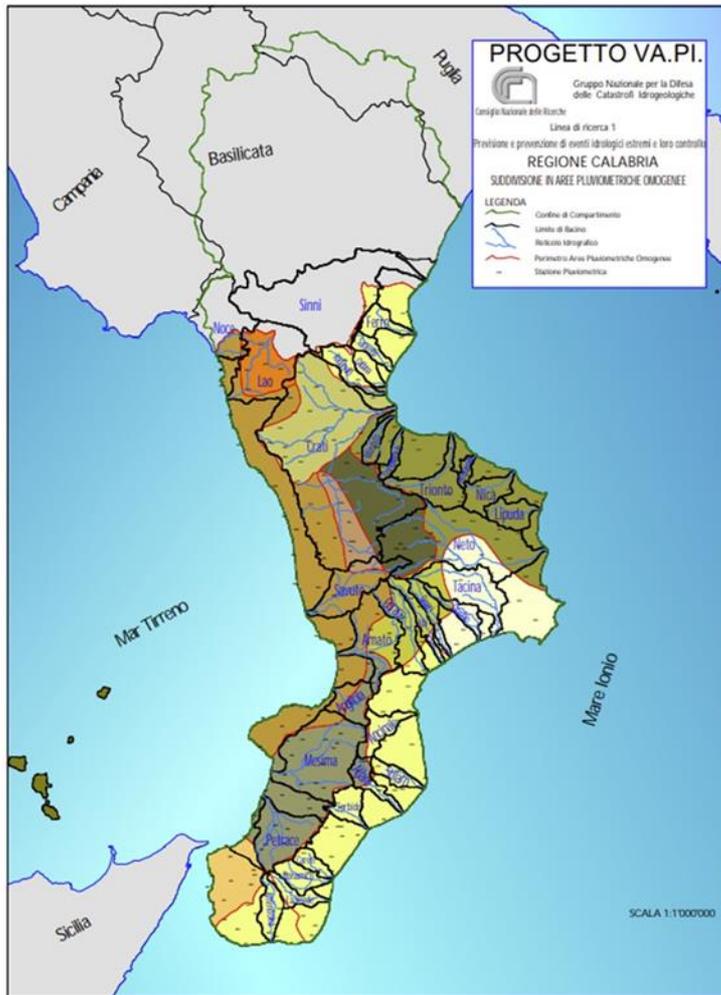


Figura 3.2 – aree pluviometriche omogenee (VAPI Regione Calabria)

Tabella.31. Valori dei parametri  $\Lambda^*$ ,  $\vartheta^*$  e  $\Lambda_1$  della TCEV per durate orarie

Durata (ore)	Calabria zona omogenea		$\Lambda_1$ per sottozona omogenee (Calabria)		
	$\Lambda^*$	$\vartheta^*(mm)$	tirrenica	centrale	ionica
1	0.1997	2.0735	13.03	12.84	12.26
3	0.2614	2.4100	21.26	17.77	14.02
6	0.2615	2.3103	25.17	18.97	14.17
12	0.2616	2.2148	31.85	17.60	12.91
24	0.3610	1.9420	31.54	13.42	10.26

Per le 13 aree omogenee, si è ricercato un legame di correlazione multipla tra il valor medio delle intensità di pioggia massime annuali di breve durata,  $\mu_i$ , la durata della pioggia,  $t$ , e la quota sul mare della stazione di misura,  $H$ .

Partendo dall'espressione:

$$\mu_i(t, H) = i_0 / (1 + t/t_{car})^{C+D \cdot H}$$

sono stati stimati attraverso un'operazione di regressione lineare multipla i valori di:

- $i_0$ , valore finito dell'intensità di pioggia per durate tendenti a zero,
- $t_{car}$ , durata caratteristica che rende massimo il coefficiente di correlazione multipla,
- $C$  e  $D$  coefficienti.

Nota l'altitudine media di ciascun bacino si ottengono:

- la media  $\mu_i(t)$  in funzione della sola durata
- la media delle altezze di pioggia massime annuali di breve durata,  $\mu_h(t) = \mu_i(t) \cdot t$ ,
- $\theta_1(t) = \mu_h(t) / \eta(t)$ , essendo:

$$\eta(t) = \ln \Lambda_1(t) + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} [(-1)^j \Lambda^j / j!] \cdot \Gamma(j/\theta^*)$$

Noti i parametri  $\Lambda^*(t)$ ,  $\theta^*(t)$  e  $\Lambda_1(t)$ , la distribuzione TCEV è caratterizzata completamente.

La procedura di calcolo al terzo livello di regionalizzazione, prevede pertanto :

- la scelta di un valore del tempo di ritorno  $T$ ,
- la valutazione della probabilità di non superamento a esso legata,  $F(T)=1-1/T$ ,
- il calcolo di  $x_T=h_{t,T}$  massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata  $t$ , per un fissato tempo di ritorno, risolvendo la relazione esprime la TCEV mediante risolutore numerica.

Interpolando le altezze di pioggia  $h_{1,T}$ ,  $h_{3,T}$ ,  $h_{6,T}$ ,  $h_{12,T}$  e  $h_{24,T}$  ottenute dalla legge TCEV, per ciascun bacino d'interesse si ricavano le curve segnalatrici di probabilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno. Si è utilizzata una curva di possibilità pluviometrica di tipo monomio  $h(t,T)= a \cdot t^n$  i cui parametri  $a$  e  $n$  dipendono dal tempo di ritorno.

### 3.1.2 APPLICAZIONE ALL'AREA IN ESAME

Il progetto in esame ricade nell'area pluviometricamente omogenea:

- Regione ionica (I)
- Zona pluviometricamente omogenea I3

Di seguito sono forniti i parametri della distribuzione per questa sottozona

Tabella 3.2 – parametri per la sottozona pluviometrica I3

sottozona I3	parametro	
altezza di pioggia oraria	a	39.58
coefficiente	c	0.00043
valore d	d	1.953
quota	z	Tra 0 e 360 metri s.l.m.
	n	0.41176

In sintesi, i parametri della regionalizzazione da adottare nel calcolo della distribuzione TCEV sono quelli di seguito forniti:

Tabella 3.3 – parametri per la sottozona pluviometrica I3

T	25	50	100	200	500
labmda1	10.987	10.987	10.987	10.987	10.987
eta	3.681	3.681	3.681	3.681	3.681
teta	2.154	2.154	2.154	2.154	2.154
lambdastar	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418
Kappa (rapporto tra la pioggia media e la pioggia per assegnato quantile)	2.089	2.462	2.851	3.248	3.780
app	0.039999	0.02	0.01	0.005	0.002

I risultati delle altezze di pioggia vengono forniti nella tabella successiva per le quote di 100 metri (che risulta cautelativa per tutti i bacini interferiti dal progetto in esame) e per la quota di 360 metri (che, come verrà indicato nella relazione di compatibilità idraulica della fiumara Gerace, risulterà la quota media del bacino per la fiumara stessa)

Tabella 3.4 - altezze di pioggia per durate superiori ad un'ora, tempi di ritorno di 25 - 50 -100 - 200 e 500 anni

		durata in ore				
TR =25 anni		1	3	6	12	24
quota 360	0.412	83	130	173	230	306
quota 100	0.33	83	119	150	188	237
		durata in ore				
TR =50 anni		1	3	6	12	24
quota 360	0.412	97	153	204	271	361
quota 100	0.33	97	140	176	222	279
		durata in ore				
TR =100 anni		1	3	6	12	24
quota 360	0.412	113	177	236	314	418
quota 100	0.33	113	162	204	257	323
		durata in ore				
TR =200 anni		1	3	6	12	24
quota 360	0.412	129	202	269	358	476
quota 100	0.33	129	185	233	292	368
		durata in ore				
TR=500 anni		1	3	6	12	24
quota 360	0.412	150	235	313	416	554
quota 100	0.33	150	226	271	340	428

I valori delle altezze di pioggia per le diverse durate e per diversi tempi di ritorno sono riportati nella seguente figura:

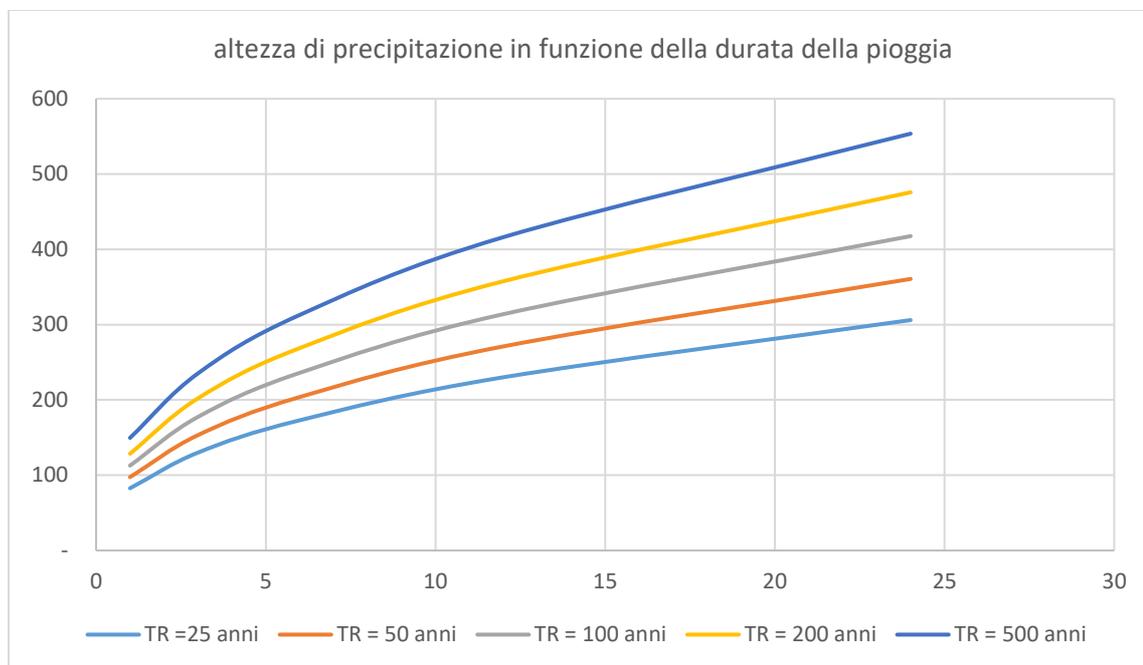


Figura 3.3 – valori delle altezze di pioggia per le diverse durate e per diversi tempi di ritorno

### 3.1.3 CONFRONTO CON LE PIOGGE AL PLUVIOMETRO

I risultati ottenuti con il metodo di regionalizzazione appaiono cautelativi rispetto agli analoghi ottenuti attraverso l'inferenza al singolo pluviometro.

Infatti, per quanto riguarda sia la precipitazione oraria, che verrà utilizzata come riferimento per la riduzione alle precipitazioni inferiori ad un'ora, sia per la durata di 3,5 ore, che risulta il tempo di concentrazione caratteristico della fiumara Gerace, e considerando il tempo di ritorno di 200 anni, si ha

pluviometro	Altezza di pioggia (mm)	
	Durata d= 1 ora	Durata d=3,5 ore
Antonimima	91,8	140
Locri	96,5	136
Siderno	95,6	143
VAPI	128,5	215

Risultati simili si ottengono, in termini di rapporti tra le altezze nelle diverse stazioni e i valori del VAPI, per tempi di ritorno inferiori.

Per tale ragione, nel seguito verrà utilizzata i risultati ottenuti dalla regionalizzazione VAPI.

#### 3.1.4 PIOGGE BREVI

Per le piogge di breve durata (inferiori ad un'ora), è stata utilizzata la riduzione delle precipitazioni orarie desunte dal VAPI al variare del tempo di ritorno attraverso i parametri ricavati sulla base delle osservazioni del pluviografo registratore di Milano Monviso; tali coefficienti riduttivi sono risultati, infatti più cautelativi sia rispetto a quelli del pluviografo di Roma Macao, sia rispetto a quelli dello studio per il territorio calabrese proposti da Ferro e Bagarello (1996).

Tabella 3.5 – coefficienti di riduzione delle piogge orarie secondo lo studio del pluviografo di Milano Monviso

applicazione dei coefficienti di riduzione di Milano Monviso										
<i>r</i>	0.13	0.18	0.229	0.272	0.322	0.489	0.601	0.811	0.913	1
Durata (h)	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.17	0.25	0.50	0.75	1.00
<i>Durata (min)</i>	1	2	3	4	5	10	15	30	45	60
h in mm (Tr=25anni)	11	15	19	22	27	40	50	67	75	83
<i>i (mm/h, TR=25 anni)</i>	645	447	379	337	320	243	199	134	101	83
h in mm (Tr=50anni)	13	18	22	27	31	48	59	79	89	97
<i>i (mm/h, TR= 50 anni)</i>	760	526	446	398	377	286	234	158	119	97
h in mm (TR=100 anni)	15	20	26	31	36	55	68	92	103	113
<i>i (mm/h, TR= 100 anni)</i>	880	609	517	460	436	331	271	183	137	113
h in mm (TR=200 anni)	17	23	29	35	41	63	77	104	117	129
<i>i (mm/h, TR= 200 anni)</i>	1003	694	589	524	497	377	309	209	156	129

Tabella 3.6 – coefficienti di riduzione delle piogge orarie secondo lo studio di Ferro e Bagarello

applicazione dei coefficienti di riduzione di Ferro e Bagarello, 1996										
<b>Durata (h)</b>	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.17	0.25	0.50	0.75	1.00
<b><i>Durata (min)</i></b>	1	2	3	4	5	10	15	30	45	60
h in mm (Tr=25anni)	11	15	18	21	24	34	41	58	72	83
<i>i (mm/h, TR=25 anni)</i>	641	453	370	320	286	203	165	117	95	83
h in mm (Tr=50anni)	13	18	22	25	28	40	49	69	84	97
<i>i (mm/h, TR= 50 anni)</i>	755	534	436	377	338	239	195	138	113	97
h in mm (TR=100 anni)	15	21	25	29	33	46	56	80	98	113
<i>i (mm/h, TR= 100 anni)</i>	874	618	505	437	391	276	226	160	130	113
h in mm (TR=200 anni)	17	23	29	33	37	52	64	91	111	129
<i>i (mm/h, TR= 200 anni)</i>	996	704	575	498	445	315	257	182	148	129

#### 4 PORTATE DI PIENA

Le caratteristiche dei bacini interferiti sono state desunte dall'analisi della cartografia disponibile, ed in particolare del rilievo celerimetrico eseguito per la progettazione dell'intervento, la Carta Tecnica Regionale ed il modello digitale delle quote del terreno fornito dal Ministero dell'Ambiente.

Per la rappresentazione dei bacini individuati lungo il tracciato si rimanda all'apposito elaborato della corografia bacini; in figura 4.1 sono riportati i bacini perimetrati su una rappresentazione del DTM del Ministero dell'Ambiente. Sono state quindi individuate le aste principali e le caratteristiche morfometriche dei bacini versanti.

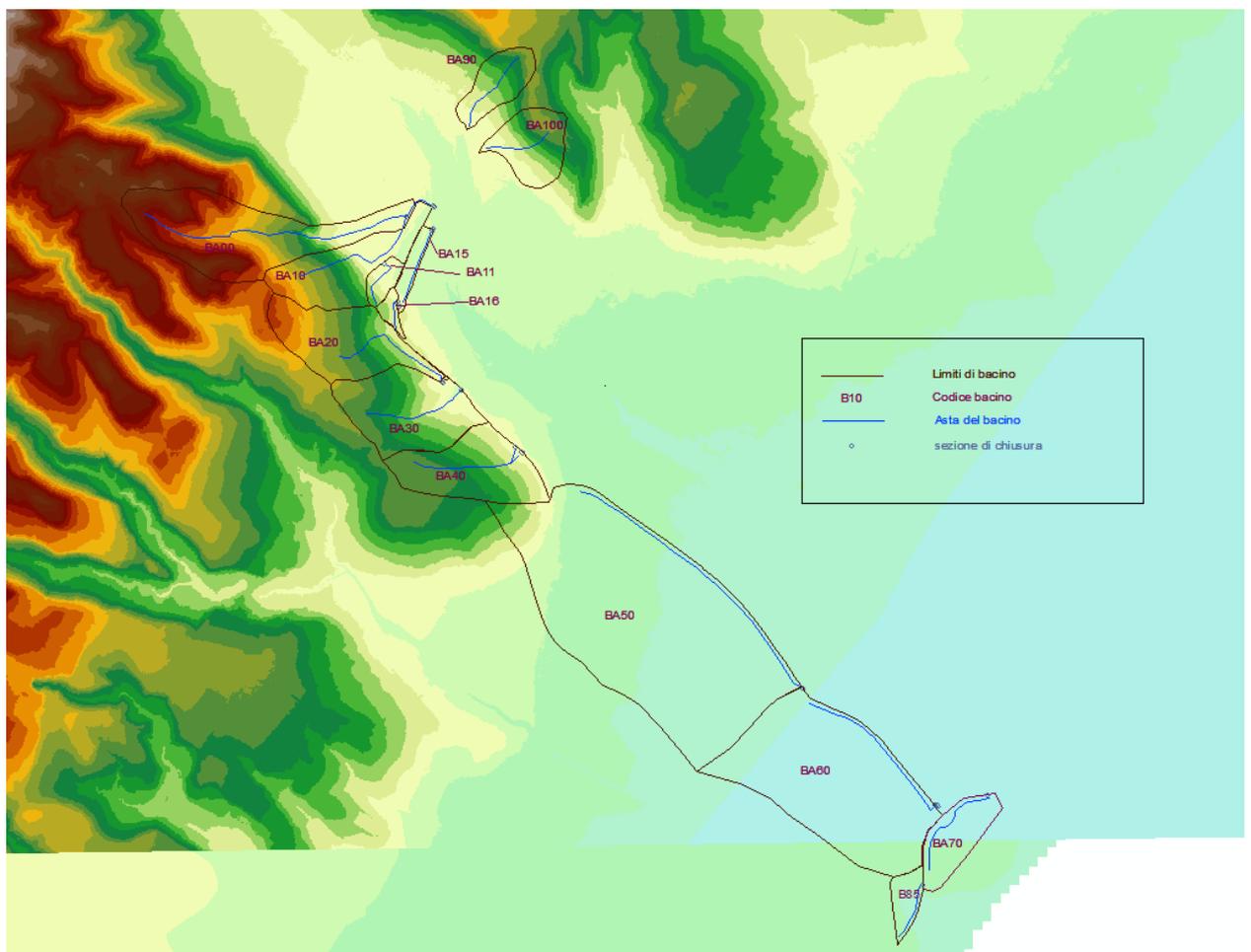


Figura 4.1 – modello digitale del terreno e determinazione dei bacini interferenti con il

tracciato di progetto

#### 4.1 VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI BACINI

Le caratteristiche dei bacini interferenti con il tracciato di progetto sono indicate nella tabella successiva (4.1): sono riportati per ciascuna opera il bacino di riferimento, l'area del bacino (km<sup>2</sup>), la lunghezza dell'asta principale (km), le elevazioni massime e minime e la pendenza media (%).

Nome opera	Bacino di riferimento	Area bacino (km <sup>2</sup> )	Lunghezza asta principale (km)	Elevazione minima (m)	Elevazione massima (m)	Pendenza (%)
TO10	BA00 BA10 BA11	0.172	0.75	27	134	14%
TO20	BA20	0.062	0.30	34	97	21%
TO35	BA30	0.067	0.29	27	79	18%
TO40 / TO45	BA40	0.059	0.16	23	66	28%
TO50 / TO58	BA50	0.311	0.82	11	55	5%
TO60	BA60	0.165	0.50	5	13	2%
TO70	BA70	0.014	0.19	4	6	1%
TO15	BA15+BA16	0.013	0.32	27	38	3%
TO01	BA 90	0.025	0.24	33	85	21%
TO02	BA 100	0.033	0.19	35	90	30%
TO11	BA11	0.008	0.14	30	48	13%
TO16	BA16	0.005	0.08	30	46	20%
TO30	BA20 BA30	0.129	0.31	27	97	23%
TO85	BA85	0.014	0.10	4	7	3%

#### 4.2 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

##### 4.2.1 MODELLO IDROLOGICO

Così come previsto nelle Linee Guida emanate nell'ambito del PAI Calabria, per la valutazione delle portate è stata considerata una pioggia con durata pari a quella corrispondente al tempo di corrivazione del bacino stesso (determinata in base alle sue caratteristiche fisiche: pendenza dell'asta media del torrente, quota media del bacino, ecc), ed è stato utilizzato come modello di trasformazione la classica Formula Razionale.

$$Q_c = A \cdot \Phi \cdot h / (3.6 \cdot t_c)$$

dove A = superficie del bacino in Km<sup>2</sup>;  $\Phi$  = coefficiente di afflusso; h = altezza di precipitazione in mm corrispondente alla durata critica (t<sub>c</sub>) del bacino per assegnato periodo di ritorno T.

Il metodo considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T di quello dell'intensità di pioggia;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione;
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione t<sub>c</sub>.

Calcolo del tempo di concentrazione

Così come previsto nelle Linee Guida del PAI, i tempi di corrivazione dei bacini analizzati sono stati calcolati mediante la nota formula di Giandotti (1934,1937):

$$t_c = (4\sqrt{A} + 1.5 L) / (0.8 \sqrt{(H_m - H_0)})$$

essendo t<sub>c</sub> (ore) il tempo di corrivazione, A (km<sup>2</sup>) l'area della superficie topografica, L (km) la lunghezza dell'asta principale, H<sub>m</sub> (m) l'altitudine media del bacino, H<sub>0</sub> (m) la quota della sezione di chiusura. Si ritiene che questa formula sottostimi t<sub>c</sub> nei bacini montani. Per bacini aventi superficie inferiore a 10 km<sup>2</sup> sono state utilizzate le seguenti formulazioni

Ventura (1905):  $t_c = 0.127 \sqrt{\frac{A}{p}}$  dove A indica l'area del bacino e p la pendenza media dei

suoli dello stesso (m/m);

Pezzoli (1970):  $t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{p}}$  dove L indica la lunghezza dell'asta principale e p la pendenza

media dei suoli del bacino;

Kirpich  $t_c = 0.000325 L^{0.77} - 0.385$

Con L lunghezza dell'asta principale e la pendenza del bacino.

I risultati dei calcoli effettuati vengono esposti nella successiva tabella riassuntiva 4.2; A favore di sicurezza, è stato assunto in ogni caso il valore del tempo di concentrazione minore tra tutte le formulazioni sopra esposte.

I valori del tempo di concentrazione ottenuti inferiori a 15' sono stati comunque portati a 15', tenendo conto sia del tempo necessario alla formazione del deflusso in condizioni di saturazione, e sia del fatto che lo stesso sistema dei fossi longitudinali ha un tempo minimo di percorrenza assunto pari a questo valore.

#### 4.2.2 PORTATE DI PIENA

La pioggia lorda è stata depurata dalle perdite attraverso il metodo del Curve Number<sup>1</sup>, proposto dal Soil Conservation Service del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti. La formulazione usata permette di ricavare la pioggia netta depurata in base all'espressione:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I)^2}{(h_{lorda} + S - I)}$$

dove  $h_{lorda}$  è la pioggia stimata per assegnata distribuzione di probabilità,  $S$  (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione

$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

ed  $I$  è l'assorbimento iniziale, legato empiricamente al parametro  $S$  dalla relazione  $I = 0.2 \cdot S$ .

In particolare, il metodo del CN sintetizza le caratteristiche idrologiche di un bacino attraverso un unico parametro CN che definisce la relazione precipitazione-volume di deflusso in bacini idrografici di cui è nota, oltre che la morfologia, la copertura vegetale e il tipo idrologico di suolo.

Il parametro CN, ricavato dall'analisi qualitativa delle carte tematiche, rappresenta la capacità di una porzione di terreno del bacino imbrifero di produrre deflusso ed è stato

---

<sup>1</sup>U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – SOIL CONSERVATION SERVICE, *SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology*, pp. 10.1÷24, Washington, D.C., U.S.A., 1972.

calcolato sulla base delle caratteristiche geopedologiche e vegetazionali del bacino stesso.

Si è valutato il valore del CN sulla base della carta del suolo del progetto Corine Land Cover.

Il valore CN si ottiene per intersezione delle caratteristiche del suolo (quattro tipi A, B, C, D) a permeabilità decrescente e delle caratteristiche di uso prevalente.

Gruppo A: suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso e capacità di infiltrazione, in condizioni di saturazione, molto levata; comprende sabbie profonde, con bassa percentuale di limi e argille molto permeabili.

Gruppo B: suoli aventi moderata potenzialità di deflusso e capacità di infiltrazione, anche in condizioni di saturazione, elevata; comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi rispetto al gruppo A;

Gruppo C: suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta e scarsa capacità di infiltrazione e saturazione; comprende suoli contenenti considerevoli quantità di argille e colloidali.

Gruppo D: Suoli aventi potenzialità di deflusso molto elevate e scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione; comprende argille ad elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

A vantaggio di sicurezza si sono assunte condizioni del suolo con potenzialità di deflusso molto elevata, In particolare si è utilizzato un valore del CN pari a 86 per le porzioni di bacino non impermeabilizzata e 98 per quella impermeabilizzata.

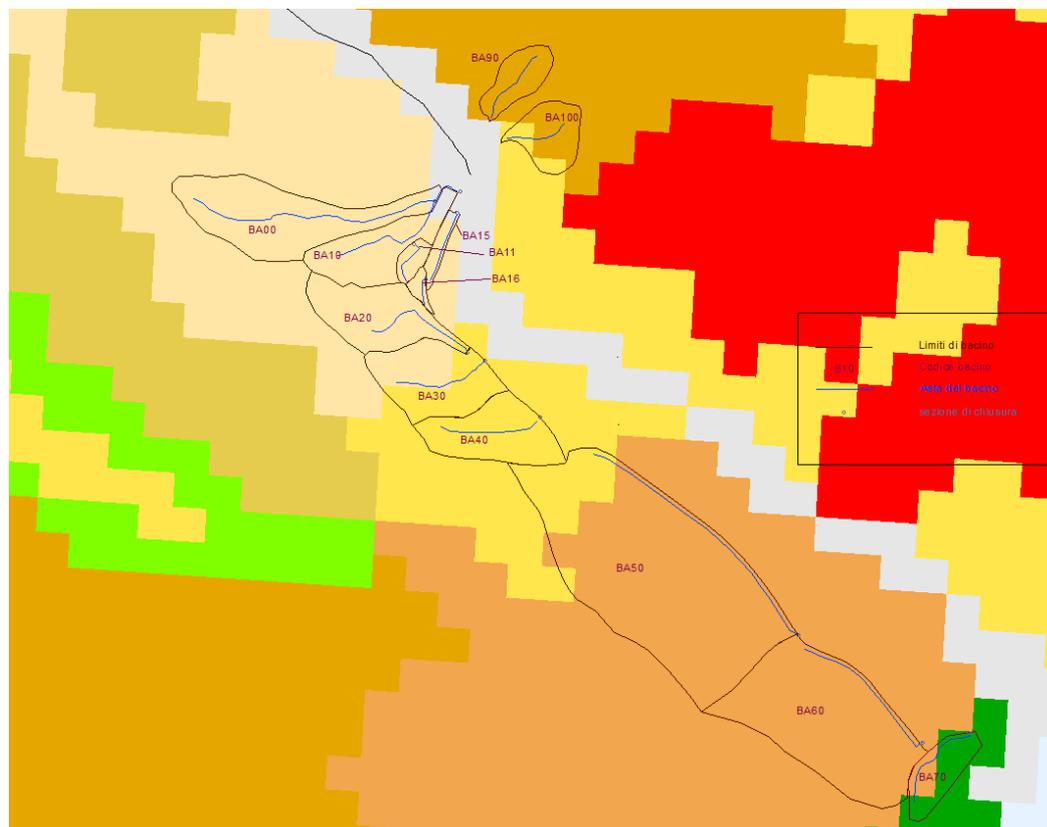


Figura 4.2 – Rappresentazione dell'uso suolo per i bacini interferenti con il tracciato di progetto - Carta dell'uso del suolo Corine Land Cover 2018.

Tabella 4.1 – Valori del tempo di concentrazione, dell'intensità di pioggia e della portata al colmo per i bacini interferenti con il tracciato di progetto.

Nome opera	Bacini connessi	Tempo di concentrazione	Tempo di concentrazione	Tempo di concentrazione	Tempo di concentrazione	Intensità di precipitazione TR	Intensità di precipitazione TR	Numero di Curva	Portata TR = 100 anni	Portata TR = 200 anni
		Kirpich	Pezzoli	Ventura	adottato	=100 anni	=200 anni			
		(h)	(h)	(h)	(h)	(mm/h)	(mm/h)		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
TO10	BA00 BA10 BA11	0.11	0.15	0.16	0.25	271	309	86	7.8	8.9
TO20	BA20	0.05	0.05	0.08	0.25	271	309	86	2.8	3.2
TO35	BA30	0.05	0.05	0.09	0.25	271	309	86	3	3.4
TO40 / TO45	BA40	0.03	0.02	0.07	0.25	271	309	87.1	2.7	3.1
TO50 / TO58	BA50	0.18	0.26	0.35	0.25	271	309	86.8	14.1	16.1
TO60	BA60	0.19	0.3	0.47	0.25	271	309	86	7.4	8.5
TO70	BA70	0.11	0.14	0.17	0.25	271	309	86	0.6	0.7
TO15	BA15+BA16	0.1	0.13	0.09	0.25	271	309	86	0.6	0.7
TO01	BA 90	0.04	0.04	0.05	0.25	271	309	86	1.1	1.3
TO02	BA 100	0.03	0.03	0.05	0.25	271	309	86	1.5	1.7
TO11	BA11	0.03	0.03	0.04	0.25	271	309	86	0.4	0.4
TO16	BA16	0.02	0.01	0.02	0.25	271	309	86	0.2	0.2
TO30	BA20 BA30	0.05	0.05	0.11	0.25	271	309	86	5.8	6.7
TO85	BA85	0.04	0.04	0.1	0.25	271	309	86	0.6	0.7