

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI

S.O. COORDINAMENTO DI SISTEMA E PFTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

BRETELLA DI SIBARI

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

R C 2 V 0 0 R 1 4 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S.Cignarella <i>S.Cignarella</i>	Marzo 2023	M. Villani <i>M. Villani</i>	Marzo 2023	I. D'Amore <i>I. D'Amore</i>	Marzo 2023	G. Ingrosso Marzo 2023
								ITALFERR S.p.A. COORDINAMENTO DI SISTEMA Dott. Ing. GIULIANA INGROSSO Ordine degli Ingegneri di ROMA N. 20502

File: RC2V00R14RIID0001001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	7
4	SINTESI E OBIETTIVO DELLO STUDIO	8
5	ANALISI MORFOMETRICA DEI BACINI E DEL RETICOLO IDROGRAFICO.....	9
5.1	PERIMETRAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI	9
5.2	RISULTATI DELL'ANALISI MORFOMETRICA	10
5.3	STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	11
6	ANALISI PLUVIOMETRICA.....	12
6.1	IL METODO PROBABILISTICO DI GUMBEL.....	12
6.1.1	<i>Stazioni pluviometriche di riferimento</i>	14
6.1.2	<i>Risultati Gumbel</i>	16
6.2	METODO VAPI.....	17
6.2.1	<i>Leggi di variazioni dei coefficienti di crescita con periodo di ritorno</i>	18
6.2.2	<i>Stima del valor medio</i>	22
6.2.3	<i>Piogge areali</i>	25
6.2.4	<i>Risultati VAPI-POR 2000-2006</i>	25
6.3	PIOGGE INTENSE DI BREVE DURATA.....	26
6.4	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA ADOTTATE	27
7	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE AL COLMO	30

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00	R14	RIID0001001	A	3 di 39

7.1	IL METODO SCS-CURVE NUMBER	30
7.2	IL METODO CINEMATICO O DELLA CORRIVAZIONE	33
7.3	RISULTATI	35
8	RESILIENZA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	37

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del PFTE per il collegamento diretto con le linee Metaponto-Reggio Calabria e Cosenza-Sibari e ha come obiettivo lo studio idrologico per la definizione delle portate di progetto.

Nell'ambito delle risorse previste nel PNRR per gli interventi sulla linea ferroviaria jonica nel territorio della Regione Calabria, è prevista la realizzazione della bretella di Sibari tenendo conto anche della richiesta avanzata formalmente dalla Regione Calabria nell'ambito del Tavolo Tecnico di Ascolto 2021.

La stazione di Sibari costituisce il punto di confluenza delle linee Sibari – Crotona – Catanzaro Lido (cosiddetta linea jonica) e Sibari – Cosenza – Paola. Attualmente non esiste un collegamento diretto fra le linee afferenti a Sibari, pertanto il passaggio da una linea all'altra prevede un'inversione del senso di marcia sui binari di ricevimento della stazione, con conseguente aumento dei tempi di percorrenza. La realizzazione di un binario esterno che colleghi direttamente le due linee diramate consente di creare le condizioni per un nuovo modello di servizio in grado di collegare i versanti jonico e tirrenico della Calabria senza soluzione di continuità.

Nello specifico il progetto è ubicato nel Comune di Cassano all'Ionio, nella frazione di Sibari, in provincia di Cosenza.

Come meglio rappresentato dall'immagine che segue, il raccordo ferroviario di progetto è collocato a cavallo della Strada Statale 106 e permette il collegamento delle linee ferroviarie Sibari – Cosenza (Ovest) e Reggio Calabria – Metaponto (Est). L'intervento ha lunghezza complessiva di 1 km e si sviluppa in rilevato per circa 650 m nei tratti prossimi alle linee esistenti e in viadotto per circa 350 m nel tratto centrale, dove scavalca la SS106 e il canale oggetto di sistemazione. Per maggiori informazioni sulla sistemazione idraulica di progetto si rimanda alla relazione RC2V00R14RIID0002001A.



Figura 1 - Inquadramento della ferrovia di progetto

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- *"Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI, 2023);*
- *Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria (PAI, 2005) e relative Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia (NAMS, 2011);*
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale (PGRA, 2020) e relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA);*
- *Decreto ministeriale 23 giugno 2022 – "Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi" (in vigore dal 04.12.2022).*

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00	R14	RIID0001001	A	7 di 39

3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Relazione idraulica e di compatibilità idraulica	RC2V00R14RIID0002001A
Relazione idraulica drenaggio acque di piattaforma	RC2V00R14RIID0002002A
Aree a preesistente pericolosità idraulica da strumenti di pianificazione vigenti - PAI/PGRA	RC2V00R14P5ID0000001A
Corografia dei bacini	RC2V00R14C5ID0001001A
IN01, Planimetria sistemazione idraulica	RC2V00R14P7ID0002001A
IN01, profilo idrico ante operam	RC2V00R14FZID0002001A
IN01, profilo idrico ante operam	RC2V00R14FZID0002002A
IN01, sezioni ante operam	RC2V00R14WZID0002001A
IN01, sezioni post operam	RC2V00R14WZID0002002A
Planimetria smaltimento acque di piattaforma	RC2V00R14P7ID0002002A

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A	FOGLIO 8 di 39

4 SINTESI E OBIETTIVO DELLO STUDIO

Lo studio idrologico effettuato è articolato nelle seguenti fasi:

- censimento delle interferenze con il reticolo idraulico esistente;
- perimetrazione dei bacini idrografici;
- determinazione dei parametri pluviometrici di progetto;
- determinazione delle portate al colmo per le aste idrauliche oggetto di studio.

L'identificazione dei bacini imbriferi e del reticolo idrografico è stata eseguita mediante software GIS, avvalendosi di un modello digitale del terreno (DTM) con maglia 1x1m.

Per la determinazione dei parametri pluviometrici di progetto sono stati confrontati i risultati ottenuti dall'elaborazione statistica dei massimi annuali (Gumbel) per la stazione pluviometrica di Villapiana Scalo con quelli ottenuti dal metodo regionale VAPI Calabria con le integrazioni riportate nel POR Calabria 2000-2006. I parametri di pioggia più cautelativi sono risultati essere quelli ottenuti a partire dalla metodologia VAPI, utilizzati nel prosieguo dello studio.

Per la trasformazione afflussi deflussi e la determinazione delle portate al colmo si sono confrontati i risultati ottenuti da due metodologie: il metodo SCS ed il metodo cinematico (o della corrivazione) con riferimento ad una portata di progetto pari a $Tr=50, 100, 200$ e 500 anni. I risultati più cautelativi sono risultati essere quelli ottenuti a partire dal modello cinematico.

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A

5 ANALISI MORFOMETRICA DEI BACINI E DEL RETICOLO IDROGRAFICO

5.1 Perimetrazione dei bacini idrografici

L'identificazione del bacino e del reticolo idrografico può essere eseguita in maniera automatica mediante i comuni software GIS, avvalendosi di un modello digitale del terreno, in breve DTM (*Digital Terrain Model*). Nello specifico si è fatto riferimento ad un DTM con maglia 1x1m.

Nella figura a seguire si riporta un inquadramento con i bacini idrografici. In particolare, i bacini A e B definiscono le aree scolanti afferenti a due opere esistenti sottobinario della linea Sibari-Cosenza attraverso le quali risulta alimentato uno scolo consortile (IN01) interferito dalle opere in progetto (Figura 2) e illustrato nella Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica, parte integrante del presente progetto.



Figura 2 – inquadramento tombini idraulici esistenti sotto binario, linea Sibari-Cosenza

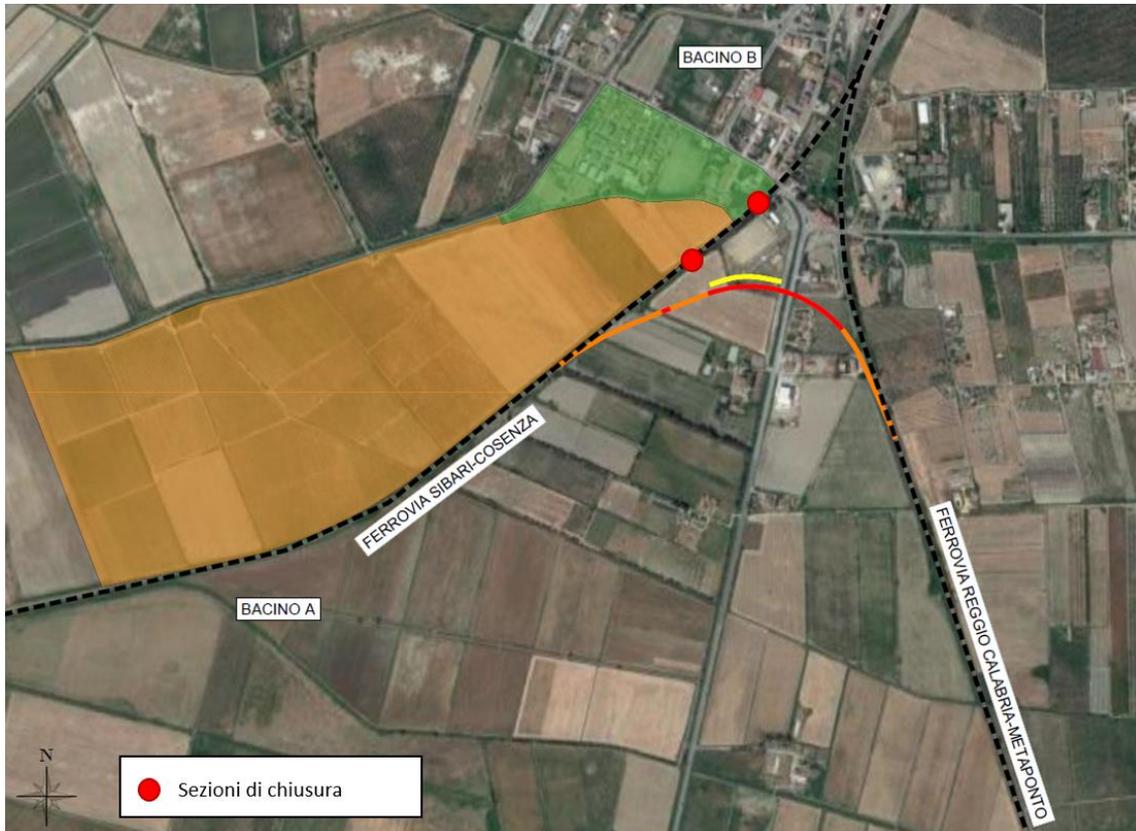


Figura 3 - Stralcio della Corografia dei Bacini

5.2 Risultati dell'analisi morfometrica

Si riportano di seguito le principali grandezze morfometriche ricavate dall'elaborazione eseguita in ambiente GIS:

- Estensione superficiale del bacino (kmq)
- Pendenza media del bacino (%)
- Quota del bacino (m s.l.m)
- Quota massima dell'asta principale (m s.l.m)
- Quota della sezione di chiusura (m s.l.m)
- Lunghezza dell'asta fluviale principale (km)
- Pendenza media dell'asta principale (%)

ID Bacino/ Asta	S	ibac	Z med bac	Z max asta princ	Z sez chius	L asta princ	i med asta princ
	[km ²]	[%]	[m slm]	[m slm]	[m slm]	[m]	[%]
A	0.69	4.94	7.63	13.20	6.00	2050	0.35
B	0.09	5.42	9.12	11.00	6.60	700	0.63

Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche bacini

5.3 Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

In letteratura esistono diverse formulazioni che permettono di stimare il valore del tempo di corrivazione sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico.

Per il presente studio sono stati utilizzati i seguenti metodi:

- Viparelli-Horton
- Viparelli ($v=1$ m/s)
- Giandotti
- Aronica Paltrinieri
- Ventura
- Pasini
- Puglisi
- Pezzoli
- SCS

Nella tabella a seguire si riportano i risultati ottenuti.

Tabella 2 – Calcolo tempi di corrivazione

BACINO	VIPARELLI HORTON	VIPARELLI (1 M/S)	GIANDOTTI	ARONICA PALTRINIERI	VENTURA	PASINI	KIRPICH	PUGLISI	PEZZOLI	SCS	MINIMO
	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
A	2.20	0.57	6.27	6.41	1.79	2.05	0.37	4.35	1.90	1.16	0.37
B	0.54	0.19	1.80	1.84	0.49	0.55	0.15	0.60	0.49	0.26	0.15

Si è dunque adottato il minimo valore tra i metodi utilizzati, che è risultato essere quello di Kirpich per tutti e due i bacini.

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A	FOGLIO 12 di 39

6 ANALISI PLUVIOMETRICA

Per la determinazione dei parametri pluviometrici di progetto sono stati confrontati i risultati ottenuti dalle due seguenti formulazioni:

- Elaborazione statistica dei massimi annuali (Gumbel) per la stazione pluviometrica di Villapiana Scalo;
- Metodo regionale VAPI Calabria con le integrazioni riportate nel POR Calabria 2000-2006.

6.1 Il metodo probabilistico di Gumbel

Tale metodo prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti; nello specifico, la funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta y :

$$y = \alpha(x - u)$$

si ha la forma canonica:

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

I parametri α e u sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione, si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad N . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

A denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1, valore che rappresenta l'evento impossibile da superare.

Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si basa sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln \left[-\ln \left(\frac{i}{N+1} \right) \right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende soltanto da h (= precipitazione) secondo la relazione lineare:

$$y = \alpha(h - u)$$

La stima dei parametri α e u si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione.

Si ottengono quindi per α e u le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Richiamando il concetto di tempo di ritorno, T_r , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T_r(h) = \frac{1}{1-F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\ln \left(\frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

E' stata quindi ricavata l'espressione analitica della funzione $h(T_r, \tau)$ che fornisce il valore di precipitazione (h) in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione.

Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata. A questo scopo, si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente forma:

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica). L'intensità di precipitazione $j(T_r, \tau)$ è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$j(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare, e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

6.1.1 Stazioni pluviometriche di riferimento

Per l'elaborazione statistica dei massimi annuali si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di Villapiana Scalo, che presenta complessivamente 40 anni di osservazioni, dal 1934 al 2005, per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Nella tabella a seguire si riportano i dati utilizzati, scaricati dal sito <https://www.cfd.calabria.it/>.

Tabella 3 – Stazione di Villapiana Scalo (cod. 930) - Piogge massime annuali di durata 1-3-6-12-24 ore

ANNO	INTERVALLO DI ORE				
	1	3	6	12	24
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1934	33.50	39.2	45.5	54.5	95.5
1935	16.00	35	55.2	69.2	87.4
1937	20	27.4	27.6	34.2	34.2
1939	16.4	30.4	51.4	51.4	55.4
1940	19.4	29.4	30.4	45	49
1949	9.4	15.4	19	23	28.8

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00	R14	RIID0001001	A	15 di 39

1953	25.2	27.6	30	30.2	41.4
1955	14.6	19	24.8	24.8	34.8
1957	16.4	22	22	28.2	32.4
1958	-	17.2	25	32.3	50
1959	18.8	26.2	30	49.4	66.6
1964	12	18	32	37	47.4
1966	34.4	41.4	42.2	53	68
1967	23	30.5	40.2	67.4	73.2
1968	40	51	56	60.2	64.8
1969	15.4	22	28	43.6	52.5
1970	13.2	28.5	40	73.5	92.5
1971	10.6	10.6	17.2	27	29.6
1972	17.2	31.6	51.6	69.4	76.4
1978	17.2	19.2	29.8	41.2	47.8
1979	23.4	43.4	56.4	71.2	101.6
1980	8	16.2	28.6	39.4	51.2
1983	32.6	46.4	46.4	46.4	46.4
1984	18.6	41.6	47.2	57.4	60.2
1985	19.4	26.2	34.4	47	57
1986	16.8	23.8	34.4	51.2	63.2
1987	15.8	36.2	45.8	51.6	66
1988	9.6	17.2	19	20.4	30.2
1992	19	23.4	23.6	26.2	39.2
1993	12.6	13.6	18	22.4	25.6
1994	19.8	27	34.6	49.4	57
1995	10	11.8	17.8	30.8	43.4
1996	18.2	24.2	29	36.2	52.6
1997	20.4	29.8	42.2	54.6	58.6
1998	10	23.2	33.4	36.6	46.8
1999	39.8	43.2	43.4	43.4	43.4

2000	19.6	37.2	54.6	80.4	114.6
2001	22.8	38	57.6	90.6	97.2
2004	40.2	44.2	44.8	44.8	46
2005	49.4	69.4	71	71.2	71.4

La stazione di Villapiana dista circa 6 km dagli interventi in progetto ed è risultata l'unica per cui siano disponibili sufficienti dati di registrazione degli eventi meteorici.

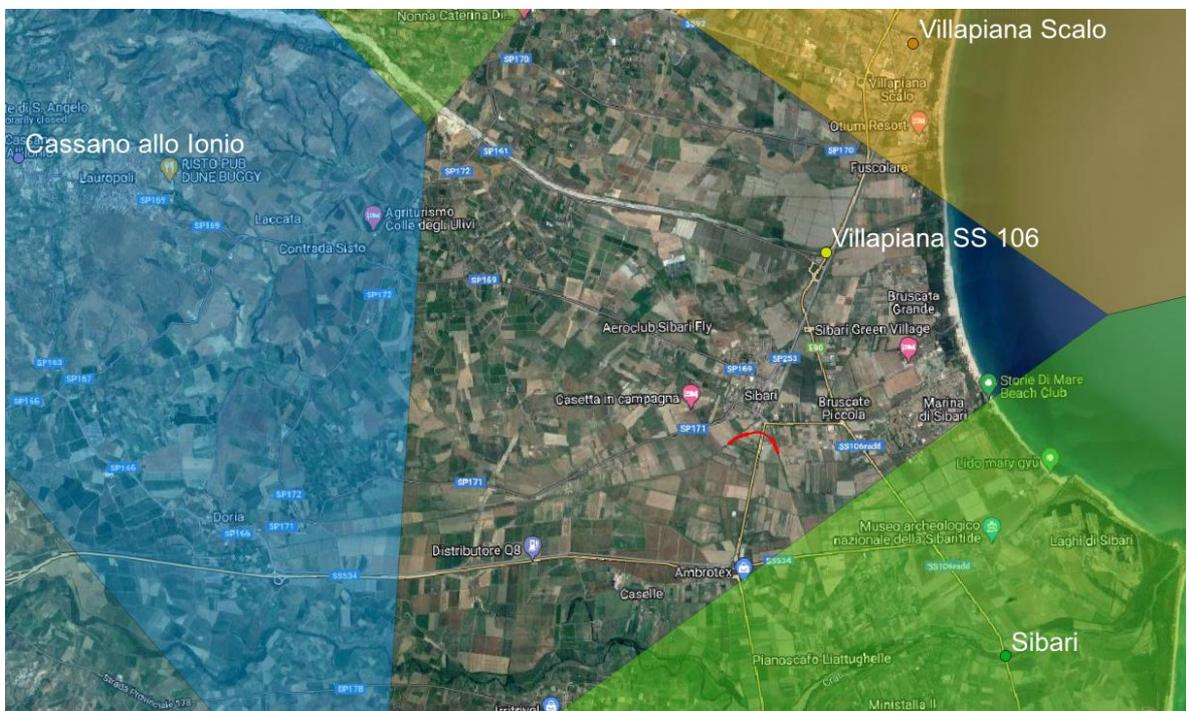


Figura 4 - Stazioni pluviometriche e poligoni di Thiessen in corrispondenza dell'area di intervento

6.1.2 Risultati Gumbel

A seguire si riportano i parametri delle curve di possibilità pluviometrica ottenute con il metodo probabilistico di Gumbel, per eventi di pioggia con durata superiore a 1 ora.

Tabella 4 – Parametri di pioggia Gumbel stazione pluviometrica Villapiana Scalo

Tr	a	n
[anni]	[mm/ora^n]	[-]

25	39.66	0.291
50	44.78	0.287
100	49.87	0.283
200	54.93	0.280
500	61.61	0.277

6.2 Metodo VAPI

La metodologia di regionalizzazione delle piogge individua la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio e nasce con lo scopo di superare le criticità legate alla limitata numerosità e spesso alla poca attendibilità, al fine di elaborazioni statistiche, dei dati raccolti dalla rete di pluviometri ordinari.

Il progetto VAPI (Valutazione Piene) sviluppato dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche [CNR, 1994], ha avuto l'obiettivo di regionalizzare le piogge intense su tutto il territorio nazionale secondo criteri omogenei.

Per la regione Calabria, in seguito alla messa in funzione dagli anni '90 di una rete di pluviometri registratori sull'intero territorio regionale e alla raccolta di dati pluviometrici a elevata risoluzione temporale per un certo numero di anni, si è provveduto a un aggiornamento dei risultati riportati nel suddetto progetto.

Lo studio, condotto tra gli altri, dagli stessi autori del VAPI, Versace (come responsabile scientifico) e Ferrari, si è dunque basato su *“un database aggiornato delle serie storiche di massimi annuali di precipitazione, giornaliera ed oraria, dal quale si sono ricavate stime ex novo dei parametri regionali, che sono sicuramente preferibili in quanto specifiche dei nuovi dati a disposizione”* (cit. *“Studio e sperimentazione di metodologie e tecniche per la mitigazione del rischio idrogeologico. Lotto Progettuale n 7 - Stima delle massime portate al colmo di piena, POR Calabria 2000-2006 – Asse 1 – Risorse naturali. Misura 1.4 – Sistemi insediativi - Attività B: Definizione di procedure standardizzate per l'identificazione dei valori pluviometrici di ingresso”*).

Nei successivi paragrafi sono descritte brevemente le leggi teoriche utilizzate nei citati studi (TCEV) e i parametri stimati.

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A

6.2.1 Leggi di variazioni dei coefficienti di crescita con periodo di ritorno

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni non provengano tutti dalla stessa popolazione, ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche di piogge di uno o più valori (*outliers*) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_X(x) = \exp \left[-\Lambda_1 \exp(-x/\theta_1) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} \exp(-x/\theta_1 \theta_*) \right]$$

È dimostrabile che:

- il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ_1 , Λ_* , θ_* ed è quindi indipendente da θ_1 ;
- il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ_* e θ_* ed è quindi indipendente da Λ_1 e θ_1 .

Il modello TCEV consente di svolgere l'analisi regionale mediante un approccio gerarchico, basato su livelli successivi, tramite il quale si individuano regioni via via meno estese spazialmente, nelle quali è possibile identificare un numero crescente di relazioni tra i parametri della distribuzione ed i fattori climatici e morfologici caratterizzanti i bacini (Fiorentino ed al., 1987).

6.2.1.1 Primo livello di regionalizzazione

Il primo livello di regionalizzazione consiste nell'individuare zone omogenee (Z.O.) nelle quali si può assumere che il coefficiente di asimmetria teorico della serie dei massimi annuali sia costante. Nel caso della TCEV questa ipotesi implica che siano costanti i parametri Λ_* e θ_* , che possono quindi essere stimati utilizzando tutte le serie storiche disponibili nella zona riducendo in modo consistente l'incertezza della stima. Per la stima dei parametri è stata attuata una procedura di tipo iterativo utilizzando i dati ricadenti in quella zona omogenea, con il metodo della massima verosimiglianza (*Maximum likelihood*) secondo la procedura proposta da Fiorentino e Gabriele (1985).

Al primo livello di regionalizzazione, sotto l'ipotesi che la Calabria possa ancora essere considerata un'unica zona omogenea (come descritto nel VAPI) sono state considerate, nello studio citato POR 2000-2006, le stazioni pluviometriche caratterizzate da una dimensione campionaria $N \geq 45$ anni, per un totale di 195 serie storiche, invece delle 53 utilizzate nel VAPI. I risultati ottenuti sono:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A

Tabella 5 – Parametri 1° livello di regionalizzazione

θ_*	Λ_*
2.168	0.449

Tali valori (che nell'ambito del rapporto VAPI erano pari rispettivamente a 2.154 e 0.418) sono stati confermati da una verifica di omogeneità dell'intera regione per 239 stazioni con dimensione campionaria $N \geq 20$ anni tramite tecniche di tipo Montecarlo ottenendo intervalli di confidenza, per ogni stazione, ad un livello di significatività del 5% del coefficiente di asimmetria. Il risultato ottenuto ha condotto a non rigettare l'ipotesi che la Calabria sia una zona statisticamente omogenea.

6.2.1.2 Secondo livello di regionalizzazione

Il secondo livello di regionalizzazione riguarda l'individuazione delle sottozone omogenee (S.Z.O.), con estensione minore rispetto alle precedenti, nelle quali oltre al coefficiente di asimmetria, risulta costante anche il coefficiente di variazione. Nel modello TCEV, ciò significa che risultano costanti in tutte le stazioni ricadenti nella sottozona omogenea i tre parametri Λ_* , θ_* e Λ_I . La stima del valore regionale del parametro Λ_I viene effettuata utilizzando i valori di Λ_I relativi alle singole serie ed ottenuti con le stime vincolate ai parametri Λ_* e θ_* stimati al primo livello di regionalizzazione. È però preferibile fare riferimento allo stimatore CV_I , legato a Λ_I dalla relazione:

$$CV_I = 0.577 / (\log \Lambda_I + 0.251)$$

Al secondo livello è possibile ottenere anche la variabile Fattore di Crescita (K_T), caratterizzata dalla seguente CDF, denominata Curva di Crescita:

$$F_K(k) = \exp \left[- \Lambda_I \exp(-\eta k) - \Lambda_* \Lambda_I^{1/\theta_*} \exp(-\eta k / \theta_*) \right]$$

anch'essa unica all'interno della sottozona omogenea, con

$$\eta = \frac{\mu}{\theta_1} = \ln \Lambda_I + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma(j/\theta_*)$$

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata all'interno della sottozona resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno e K_T .

$$T = \frac{1}{1 - F_k(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} * e^{-\eta k/\theta_*})}$$

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa dell'espressione di cui sopra, per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile: pertanto, nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento alla seguente espressione semplificata:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln}(\Lambda_*)}{\eta} + \frac{\text{Ln}(\Lambda_1)}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln}(T)$$

Per valori di T (tempo di ritorno) superiori a 10 anni, l'errore nell'uso della formula semplificata è inferiore al 10%.

Lo studio del POR 2000-2006 ribadisce quanto già indicato nel VAPI per le piogge brevi (1-3-6-12-24 ore): vista la ridotta numerosità di serie storiche dotate di dimensione campionaria tale da poter effettuare stime regionali, è stata testata l'ipotesi che, per ogni durata, restino valide le suddivisioni in un'unica ZO e in tre SZO proposte per gli estremi giornalieri, nonché i valori dei parametri regionali. La procedura seguita nelle verifiche è la stessa già descritta nei livelli di regionalizzazione e i risultati confermano l'ipotesi.

È possibile quindi estendere l'applicabilità delle curve di crescita rappresentate dalle equazioni sopra riportate anche per i massimi annuali di pioggia oraria.

Al secondo livello di regionalizzazione si ipotizzano valide le suddivisioni in sottozone omogenee proposte dal rapporto VAPI Calabria, ovvero:

- SZO Tirrenica;
- SZO Centrale;
- SZO Ionica.

Per ognuna di esse è stato stimato il valore del parametro regionale Λ_1 secondo la procedura riportata in precedenza. Anche la verifica dell'omogeneità delle sottozone ha condotto a non rigettare l'ipotesi di tale suddivisione.

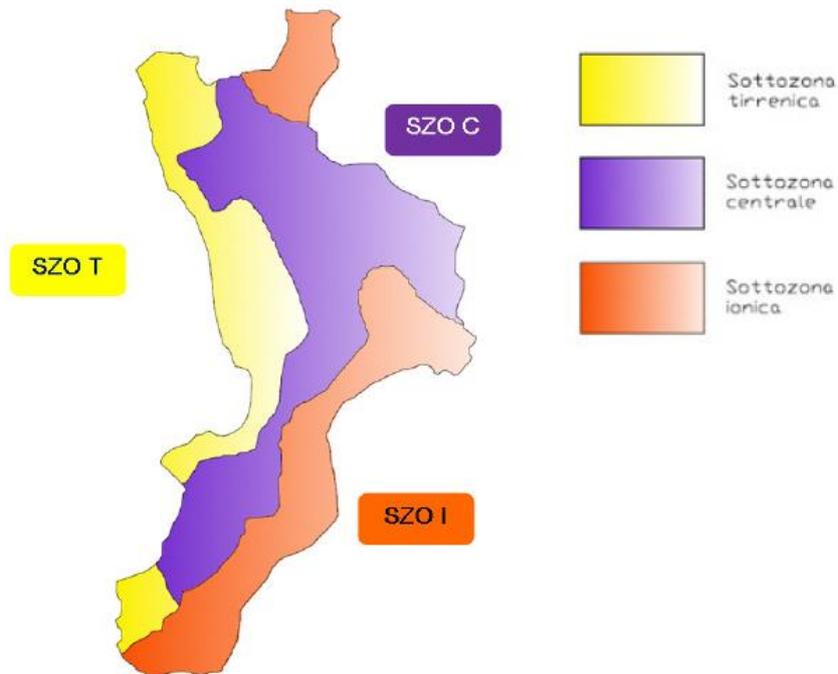


Figura 5 - Suddivisione regione Calabria in 3 Sottozone pluviometriche omogenee

I risultati forniti nello studio nell'ambito del POR 2000-2006 sono i seguenti.

Tabella 6 – Parametri 2° livello di regionalizzazione

SZO	A_I	η
Tirrenica	36	4.929
Centrale	16.687	4.159
Ionica	10.341	3.681

Con tali valori le curve di crescita assumono i seguenti valori:

$$F_k(k) = \exp[-36\exp(-4.929k) - 2.345\exp(-2.274k)]$$

$$F_k(k) = \exp[-16.687\exp(-4.159k) - 1.645\exp(-1.918k)]$$

$$F_k(k) = \exp[-10.341\exp(-3.681k) - 1.319\exp(-1.698k)]$$

Dallo studio sopra citato vengono forniti i valori di K_T per i tempi di ritorno T di 50-100-200-500 anni:

Tabella 7 – Valori dei fattori di crescita per le tre sottozone per $Tr=50-100-200-500$ (POR 2000-2006)

Tr	50	100	200	500
SZO Tirrenica	2.12	2.41	2.71	3.11
SZO Centrale	2.32	2.67	3.03	3.50
SZO Ionica	2.49	2.89	3.29	3.83

La formula semplificata fornita nel VAPI di seguito riportata fornisce i seguenti valori di K_T , sostanzialmente coincidenti con quelli di Tabella 7.

Tabella 8 – Fattori di crescita calcolati con la formula semplificata del VAPI

Tr	25	50	100	200	500
SZO Tirrenica	1.79	2.10	2.40	2.71	3.11
SZO Centrale	1.94	2.30	2.66	3.02	3.50
SZO Ionica	2.06	2.47	2.88	3.28	3.82

Le aree oggetto di intervento ricadono nella SZO Centrale.

6.2.2 Stima del valor medio

6.2.2.1 Terzo livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di Aree Pluviometriche Omogenee (APO) per le quali esiste un legame tra i valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano le località in cui sono installate le stazioni di misura.

Per la regione Calabria è stata osservata, all'interno delle aree omogenee, una buona relazione tra media annuale dei massimi giornalieri e la quota. Si ipotizza che per ciascun'area omogenea la relazione tra $m[h_g]$, valore della media annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera, e la quota sul mare Z sia del tipo:

$$m[h_g] = CZ + D$$

dove C e D sono due parametri variabili da zona a zona.

Se si analizzano i valori delle medie del massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata d , $m[h(d)]$, relative alle diverse stazioni che ricadono in un'APO, si nota che per ogni stazione esista, per d compreso tra 1 e 24 ore un legame del tipo:

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI				
	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A

$$m[h(d)] = a * d^n$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito.

È stato osservato infine che il rapporto r tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione e quelli di durata 24 ore varia molto poco tra le diverse stazioni e si distribuisce normalmente con media 0.875 e scarto quadratico medio 0.031.

$$r = m[h_g]/m[h(24)]$$

Si può quindi ottenere la stima del parametro n della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica sotto le seguenti ipotesi:

- parametro a ($=m[h(1)]$) costante in ciascuna area omogenea e pari al valore medio pesato con gli anni di funzionamento per serie di dati con $N \geq 20$ anni;
- r costante in tutta la regione e pari alla media 0.875;
- che valga l'espressione che definisce r in tutta la regione;
- che valga la relazione fra $m[h_g]$ e la quota Z ;

da cui:

$$n = \frac{CZ + D + \text{Log}(r) - \text{Log}(a)}{\text{Log}(24)}$$

Al terzo livello di regionalizzazione la Calabria è stata suddivisa in 13 Aree Pluviometriche Omogenee (APO), riportate in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Per ciascuna di esse, sono forniti i valori dei parametri a , C e D (Tabella 9) dell'espressione riportata poc'anzi.

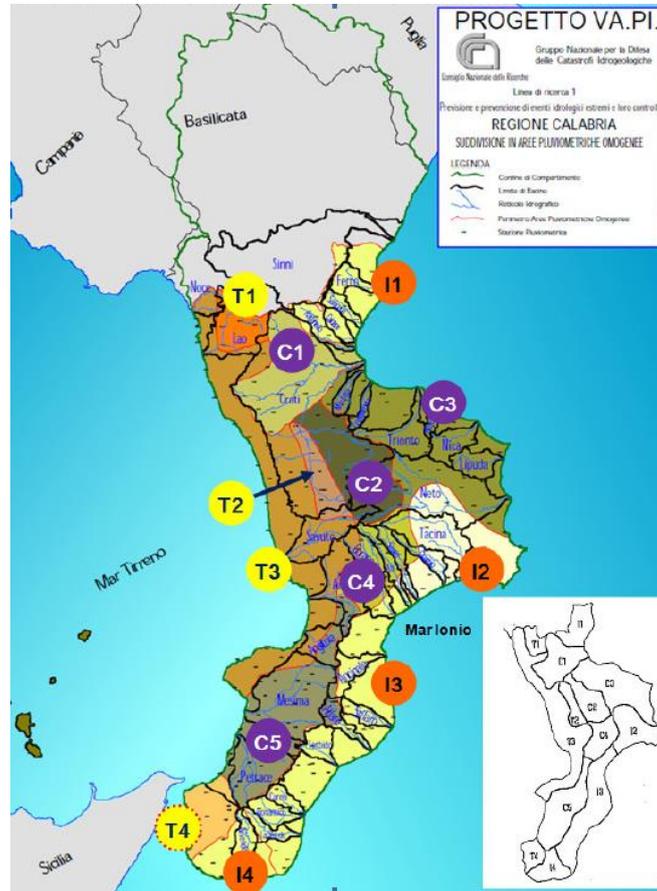


Figura 6 – Suddivisione regione Calabria in 13 Aree Pluviometriche Omogenee (APO) – VAPI

Tabella 9 – Parametri 3° livello di regionalizzazione – APO VAPI

Area pluviometrica omogenea		a	C	D
T1	(Pollino)	27.79	0.00014	1.907
T2	(Sila grande - sottozona tirrenica)	23.75	0.00021	1.683
T3	(Alto e medio Tirreno)	26.61	0.00022	1.769
T4	(Stretto)	26.73	0.00028	1.736
C1	(Basso Crati)	21.73	0.00049	1.690
C2	(Sila grande - sottozona centrale)	23.75	0.00021	1.683
C3	(Sila greca)	31.02	0.00016	1.951
C4	(Sila piccola)	33.22	0.00032	1.84
C5	(Serre orientali)	34.99	0.00036	1.815

I1	(Alto Ionio)	24.37	0.00026	1.778
I2	(Marchesato)	30.97	0.00025	1.922
I3	(Medio e basso Ionio)	39.58	0.00043	1.953
I4	(Aspromonte merid.)	34.13	0.00027	1.817

Le aree oggetto di intervento ricadono nella APO C1 (Basso Crati).

6.2.3 Piogge areali

Per passare dall'informazione puntuale a quella areale, la stima può essere fatta a rigore solo disponendo delle serie storiche costituite dai massimi annali delle piogge di durata d sull'area in esame.

In assenza di tali dati, una stima può essere data dalla relazione interpolatrice proposta nel Rapporto Calabria (indagine sull'andamento areale delle piogge giornaliere condotte sul bacino del fiume Crati (Battista, 1988; Pascuzzi e Catalano, 1988; Catalano et al., 1989) con risultati analoghi allo studio condotto da Penta per i bacini del versante Ionico della Basilicata, e suggerita nel VAPI:

$$ARF = a + (1 - a) * e^{(-bA)}$$

con:

- ARF=fattore di riduzione areale;
- a parametro calcolato con il metodo dei minimi quadrati che assume il valore 0.732;
- b parametro calcolato con il metodo dei minimi quadrati che assume il valore 0.0018;
- A superficie in km².

Nel caso in esame, essendo i bacini di dimensione limitata il coefficiente di riduzione areale può essere assunto cautelativamente pari a 1.

6.2.4 Risultati VAPI-POR 2000-2006

Nella tabella a seguire si riportano i parametri di pioggia ottenuti con il metodo di regionalizzazione sopra esposto. Per la quota Z si è assunto un valore di 11 m slm.

Tabella 10 – Parametri di pioggia VAPI-POR 2000-2006, per eventi di pioggia con durata superiore a 1 ora

Tr	a	n
[anni]	[mm/ora^n]	[-]
25	41.50	0.218
50	48.24	0.218
100	55.19	0.218
200	62.37	0.218
500	72.14	0.218

6.3 Piogge intense di breve durata

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiori all'ora, eventi brevi, seguono dinamiche meteorologiche diverse dagli eventi per durate maggiori dell'ora.

È stato dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia h , con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia h di durata pari a 60 minuti sia dipendente solo dalla durata t espresso in minuti per fissato tempo di ritorno:

$$r_0 = \frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con $f(t)$ un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato il legame funzionale precedente esprimibile attraverso la semplice forma:

$$r_0 = \frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$$

In cui

- t è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora ed espressa in minuti;
- s è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame.

Nel caso in esame si è fatto riferimento a quanto riportato nello studio "Rainfall depth-duration relationship for South Italy" (1996, Ferro e Bagarello), che per la Calabria individua un parametro $s=0,500$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A

Region (1)	s (2)
Basilicata	0.398
Calabria	0.500
Campania	0.310
Puglia	0.227

Figura 7 – Ferro e Bagarello (1996) – Valori del parametro s per piogge inferiori all'ora

L'equazione assume pertanto la seguente forma:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left(\frac{t}{60} \right)^{0.500}$$

6.4 Curve di possibilità pluviometrica adottate

Nelle due figure a seguire si riporta un confronto tra le curve di possibilità pluviometrica ottenute dall'elaborazione statistica dei massimi annuali per la stazione pluviometrica di Villapiana Scalo e quelle ottenute a partire dal metodo di regionalizzazione. Per quasi tutti i tempi di ritorno esaminati le curve di possibilità pluviometrica ottenute dal VAPI-POR 2000-2006 risultano più cautelative per eventi con durata inferiore alle 6÷12 ore, con particolare riferimento alle durate inferiori all'ora, caratteristiche per i bacini in esame.

Curve di Probabilità Pluviometrica d>1 ora

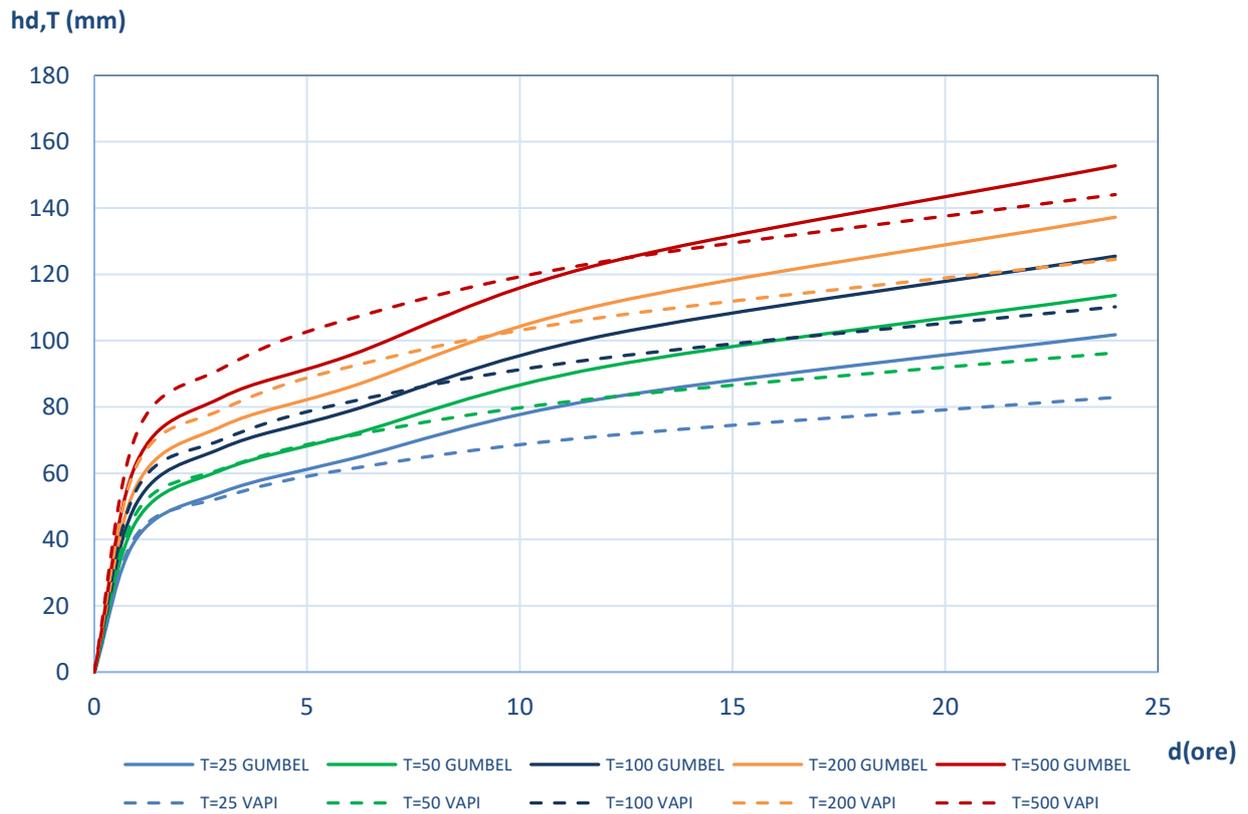


Figura 8 – Confronto tra curve di possibilità pluviometrica VAPI POR 2000-06/Gumbel

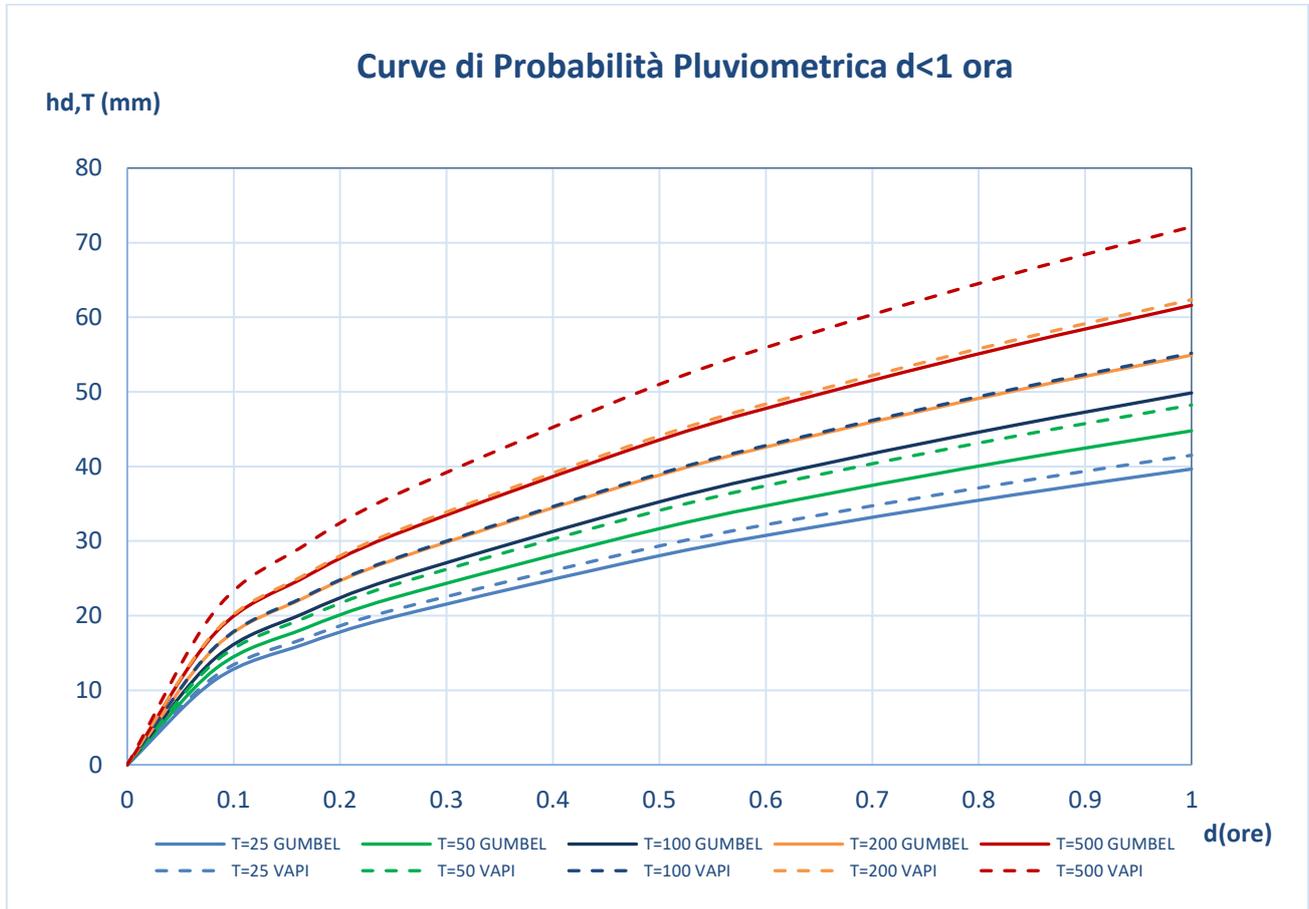


Figura 9 – Confronto tra curve di possibilità pluviometrica VAPI POR 2000-06/Gumbel per $d < 1$ ora

Pertanto, sono stati adottati i parametri di pioggia del VAPI-POR 2000-2006 per durate inferiori all'ora.

Tabella 11 – Parametri curve di possibilità pluviometrica adottati

Tr	a	n (d < 1 ora)
[anni]	[mm/oraⁿ]	[-]
25	41.504	0.50
50	48.241	0.50
100	55.194	0.50
200	62.365	0.50
500	72.144	0.50

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A

7 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE AL COLMO

Per la trasformazione afflussi deflussi e la determinazione delle portate al colmo si sono confrontati i risultati ottenuti da due metodologie: il metodo SCS ed il metodo cinematico (o della corrivazione).

7.1 Il metodo SCS-CURVE NUMBER

Secondo il metodo SCS-CN, sviluppato dal *U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service (SCS)*, ora denominato *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, la formazione del deflusso di piena è determinata fondamentalmente dai seguenti fattori:

- caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali e degli strati geologici immediatamente sottostanti;
- uso del suolo e copertura vegetale;
- condizioni di umidità iniziale del suolo all'inizio della precipitazione meteorica.

Il volume di deflusso superficiale (altezza di pioggia effettiva) per un evento isolato di piena è dato da:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ per } P \geq I_a$$

$$P_e = 0 \text{ per } P < I_a$$

dove:

1. P altezza di precipitazione (in mm) piovuta sino all'istante t ;
2. P_e altezza di precipitazione che partecipa al ruscellamento superficiale (in mm) all'istante temporale t ;
3. S massima ritenzione potenziale del suolo;
4. I_a assorbimento iniziale del suolo, in genere $I_a = \beta \times S$ con $0 < \beta < 1$.

Il metodo SCS-CN lega la pioggia lorda e la pioggia netta tramite una grandezza, S , che è funzione dalle caratteristiche del suolo, in particolare tipo e uso, e dalle condizioni di umidità iniziali. L'assorbimento iniziale I_a rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto inizialmente per l'intercettazione della vegetazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali e l'assorbimento iniziale del terreno. Sulla base di dati sperimentali di numerosi bacini statunitensi, il Soil Conservation Service ha suggerito per la stima di I_a un valore di $\beta=0.2$.

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00	R14	RIID0001001	A	31 di 39

Per un fissato stato iniziale di umidità del suolo, la massima ritenzione potenziale S del bacino è funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo, il cui effetto combinato è descritto globalmente dal parametro adimensionale *Curve Number* CN ($0 < CN < 100$) dalla relazione che segue

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

La determinazione della natura idrologica del suolo è basata su un sistema di classificazione in quattro classi di tipo di suolo ordinate dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente, mentre i valori di CN sono determinati in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo stesso.

Tabella 12 – "Curve Number" CN, per condizioni intermedie di contenuto d'acqua iniziale del suolo, in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo

Copertura o uso del suolo	tipo di suolo			
	A	B	C	D
<i>Terreno coltivato:</i>				
senza interventi di sistemazione	72	81	88	91
con interventi di sistemazione	62	71	78	81
<i>Terreno a pascolo:</i>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<i>Praterie:</i>				
in buone condizioni	30	58	71	78
<i>Terreni boscosi o forestati:</i>				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<i>Spazi aperti, prati rasati, parchi:</i>				
in condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
in buone condizioni, con almeno il 75% di copertura boscosa	39	61	74	80
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
<i>Aree residenziali:</i>				
impermeabilità media 65 %	77	85	90	92
impermeabilità media 38 %	61	75	83	87
impermeabilità media 30 %	57	72	81	86
impermeabilità media 25 %	54	70	80	85
impermeabilità media 20 %	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98

Tabella 13 – "Gruppo idrologico del suolo" in funzione del tipo di suolo

Gruppo	Descrizione
--------	-------------

A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibimento del suolo all'inizio dell'evento meteorico, il metodo SCS individua tre classi (I, II, III) caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC, Antecedent Moisture Condition), come da tabella a seguire:

Tabella 14 – Classi AMC

Classe AMC	Periodo vegetativo	Riposo vegetativo
I	$h < 35\text{mm}$	$h < 13\text{mm}$
II	$35\text{ mm} < h < 53\text{ mm}$	$13\text{ mm} < h < 28\text{ mm}$
III	$h > 53\text{ mm}$	$h > 28\text{ mm}$

Per condizioni antecedenti l'evento molto umide, AMC III, o molto asciutte, AMC I, si possono derivare i relativi valori di CN, determinati con le tabelle riportate in precedenza e riferiti ad una condizione media di umidità (classe II) usando rispettivamente:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00	R14	RIID0001001	A	33 di 39

Si è fatto dapprima riferimento ai sondaggi geologici che hanno definito un terreno più simile alla categoria C nella Tabella 13, e successivamente, mediante la carta di uso del suolo della Regione Calabria e la

Copertura o uso del suolo	tipo di suolo			
	A	B	C	D
<i>Terreno coltivato:</i>				
senza interventi di sistemazione	72	81	88	91
con interventi di sistemazione	62	71	78	81
<i>Terreno a pascolo:</i>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<i>Praterie:</i>				
in buone condizioni	30	58	71	78
<i>Terreni boscosi o forestati:</i>				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<i>Spazi aperti, prati rasati, parchi:</i>				
in condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
in buone condizioni, con almeno il 75% di copertura boscosa	39	61	74	80
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
<i>Aree residenziali:</i>				
impermeabilità media 65 %	77	85	90	92
impermeabilità media 38 %	61	75	83	87
impermeabilità media 30 %	57	72	81	86
impermeabilità media 25 %	54	70	80	85
impermeabilità media 20 %	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98

Tabella 13 si sono scelti i seguenti valori di CNII delle aree omogene all'interno dei bacini. Quindi, si è eseguita una media pesata con peso la superficie dei valori stimati, dopodiché, cautelativamente si è poi tenuto conto di una classe AMC III, calcolando il relativo CN(III). Di seguito si riportano i valori ottenuti:

Tabella 15 – Determinazione CNII e CNIII

BACINO	CN II	CN III
A	78.00	89.25
B	93.99	97.34

Per il calcolo della portata al colmo Q_p , il metodo SCS propone un idrogramma sintetico di forma triangolare, in cui il picco è localizzato al 37.5% dell'evento di piena, vale a dire che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce

	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA - SIBARI					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. A

un volume idrico pari al 37.5% del volume totale della piena. Ne consegue pertanto che la fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena.

La determinazione del tempo di picco t_p , nell'ipotesi di precipitazione costante di durata pari al tempo di corrivazione del bacino t_c , può essere effettuata mediante la seguente espressione:

$$t_p = \frac{1}{2}t_c + t_L$$

dove t_L è il tempo di lag, pari alla distanza tra il baricentro dello ietogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare, valutabile come $t_L = 0.6 t_c$.

L'espressione della portata al colmo è la seguente, in cui A è l'area del bacino e P_e è la pioggia effettiva, definita in precedenza.

$$Q_p = \frac{P_e A}{t_p}$$

7.2 Il metodo cinematico o della corrivazione

Il metodo cinematico viene utilizzato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un bacino di caratteristiche note.

La schematizzazione alla base del metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

- la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione del bacino (sotto l'ipotesi di legge area-tempi lineare);
- la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
- il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

Il calcolo della portata si effettua con la formula seguente:

$$Q_{max} = \frac{\varphi_{i_{Tr}}(t_c)S}{3.6}$$

con:

- Q_{max} portata al colmo [m^3/s];
- S area del bacino [km^2];

- $i_{Tr}(t_c)$ intensità di pioggia ($i_{Tr}(t_c) = h_{Tr}(t_c)/t_c$) di assegnato tempo di ritorno e di assegnata durata, corrispondente al tempo di corrivazione del bacino [mm/ora];
- φ coefficiente di deflusso [-];
- t_c tempo di corrivazione del bacino [ora].

Il valore di h rappresenta l'altezza di pioggia che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione t_c : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo t_c solo una parte del bacino contribuirebbe alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa, se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarebbe minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella figura seguente è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quella di corrivazione l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.

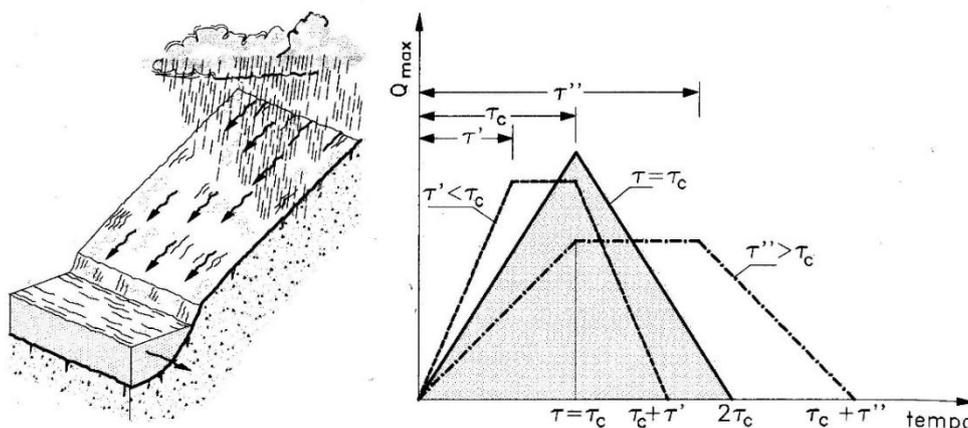


Figura 10 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione

Il coefficiente di deflusso può essere desunto dal metodo CN-SCS sopra illustrato, come rapporto tra l'altezza di precipitazione netta e quella lorda.

7.3 Risultati

Dalla tabella a seguire emerge come le portate definite a partire dal metodo cinematico risultano essere quelle più cautelative, e pertanto assunte come portate di progetto.

Tabella 16 – Portate al colmo $Tr=50$

ID Bacino/ Asta	CN II	CN III	t_c	t_{tag}	t_p	S	I_a	a_{T50}	n	h	i	P_e	ϕ	Q_{50} SCS	Q_{50} raz.
	[-]	[-]	[ore]	[ore]	[ore]	[mm]	[mm]	[mm/ora^n]	[-]	[mm]	[mm/ora]	[mm]	[-]	[mc/s]	[mc/s]
A	78.00	89.25	0.37	0.22	0.40	30.59	6.12	48.24	0.5	29.23	79.61	9.95	0.34	3.56	5.23
B	93.99	97.34	0.15	0.09	0.17	6.93	1.39	48.24	0.5	18.98	122.58	12.62	0.66	1.46	2.14

Tabella 17 – Portate al colmo $Tr=100$

ID Bacino/ Asta	CN II	CN III	t_c	t_{tag}	t_p	S	I_a	a_{T100}	n	h	i	P_e	ϕ	Q_{100} SCS	Q_{100} raz.
	[-]	[-]	[ore]	[ore]	[ore]	[mm]	[mm]	[mm/ora^n]	[-]	[mm]	[mm/ora]	[mm]	[-]	[mc/s]	[mc/s]
A	78.00	89.25	0.37	0.22	0.40	30.59	6.12	55.19	0.5	33.44	91.09	12.89	0.39	4.61	6.77
B	93.99	97.34	0.15	0.09	0.17	6.93	1.39	55.19	0.5	21.72	140.25	15.16	0.70	1.75	2.57

Tabella 18 – Portate al colmo $Tr=200$

ID Bacino/ Asta	CN II	CN III	t_c	t_{tag}	t_p	S	I_a	a_{T200}	n	h	i	P_e	ϕ	Q_{200} SCS	Q_{200} raz.
	[-]	[-]	[ore]	[ore]	[ore]	[mm]	[mm]	[mm/ora^n]	[-]	[mm]	[mm/ora]	[mm]	[-]	[mc/s]	[mc/s]
A	78.00	89.25	0.37	0.22	0.40	30.59	6.12	62.37	0.5	37.79	102.93	16.11	0.43	5.76	8.47
B	93.99	97.34	0.15	0.09	0.17	6.93	1.39	62.37	0.5	24.54	158.49	17.82	0.73	2.06	3.02

Tabella 19 – Portate al colmo $Tr=500$

ID Bacino/ Asta	CN II	CN III	t_c	t_{tag}	t_p	S	I_a	a_{T500}	n	h	i	P_e	ϕ	Q_{500} SCS	Q_{500} raz.
	[-]	[-]	[ore]	[ore]	[ore]	[mm]	[mm]	[mm/ora^n]	[-]	[mm]	[mm/ora]	[mm]	[-]	[mc/s]	[mc/s]
A	78.00	89.25	0.37	0.22	0.40	30.59	6.12	72.14	0.5	45.90	125.02	22.49	0.49	8.04	11.82



**COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO
CALABRIA E COSENZA - SIBARI**

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00	R14	RIID0001001	A	37 di 39

B	93.99	97.34	0.15	0.09	0.17	6.93	1.39	72.14	0.5	29.81	192.49	22.85	0.77	2.64	3.87
---	-------	-------	------	------	------	------	------	-------	-----	-------	--------	-------	------	------	------

8 RESILIENZA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Con riferimento al rapporto dell'ISPRA (Stato dell'ambiente 58/2015), in cui vengono indicate diverse proiezioni sugli effetti dei cambiamenti climatici nei confronti delle precipitazioni, si possono ottenere alcune informazioni rispetto alle tendenze dei fenomeni piovosi fino all'anno 2090 con utilizzo di 4 modelli e secondo due scenari di emissione. Nonostante i risultati siano in alcuni casi contrastanti tra i diversi modelli, mediamente si può concludere che, a fronte di una generale diminuzione della piovosità complessiva sul territorio nazionale, ci si aspetta un aumento dei millimetri di pioggia giornalieri. Le proiezioni, disponibili nel rapporto, fanno riferimento al dato di altezza di pioggia giornaliera e pertanto risulta difficile estrapolare il dato rispetto alle durate orarie o addirittura sub-orarie, che caratterizzano gli eventi considerati nella maggior parte delle progettazioni di opere idrauliche di drenaggio (scrosci).

In analogia ad altri progetti, si propone di adottare la seguente metodologia che prevede di applicare la percentuale di aumento di intensità giornaliera (rispetto al periodo di riferimento) anche agli eventi di durata oraria e sub-oraria.

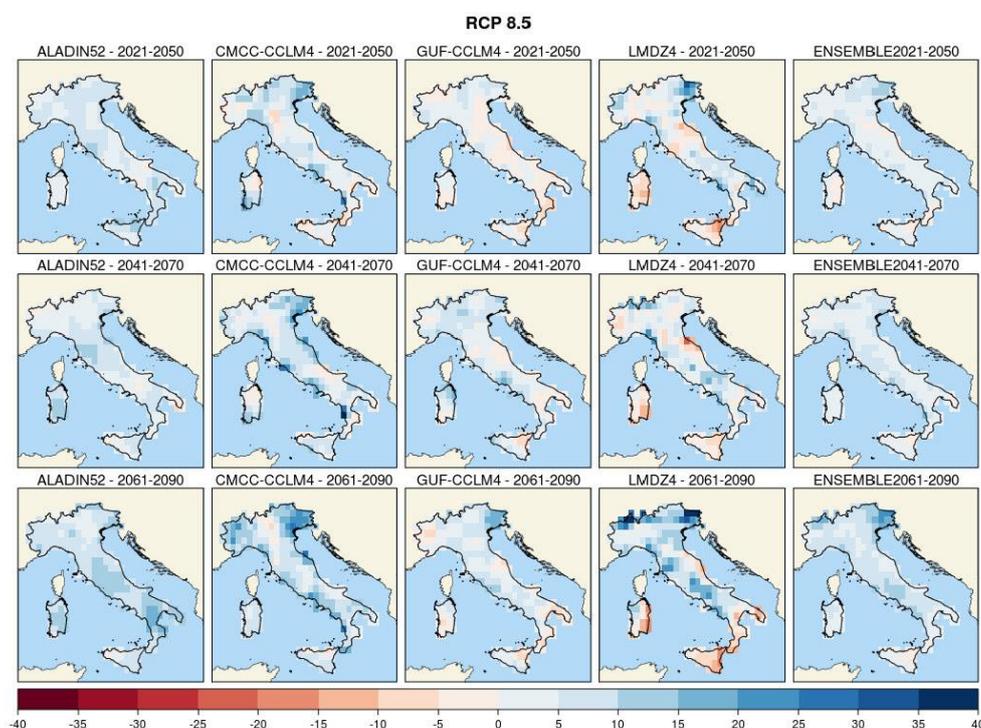


Figura 11 - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2V	00	R14	RIID0001001	A	39 di 39

Ricavando dai grafici del documento ISPRA l'aumento di altezza giornaliera si evince che per l'area di progetto si avrebbe un aumento giornaliero compreso tra 0 e 5 mm, ottenuto come media dei 4 modelli disponibili. Assumendo un incremento pari a 2.5 mm e confrontando tale valore con la media dei massimi annuali giornalieri della serie storica considerata (Villapiana Scalo 1932-2005) si otterrebbe un incremento pari a circa il 5% per il trentennio 2061-2090 nello scenario di emissione più gravoso (RCP8.5).

Di seguito si riportano i valori di portata ottenuti incrementando del 5% il valore di altezza di pioggia di un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni:

Tabella 20 – Portate al colmo $Tr=200$ con cambiamenti climatici

ID Bacino/ Asta	CN II	CN III	t_c	t_{lag}	t_p	S	I_a	a_{T200}	n	h	i	P_e	ϕ	Q_{200CC} SCS	Q_{200CC} raz.
	[-]	[-]	[ore]	[ore]	[ore]	[mm]	[mm]	[mm/ora^n]	[-]	[mm]	[mm/ora]	[mm]	[-]	[mc/s]	[mc/s]
A	78.00	89.25	0.37	0.22	0.40	30.59	6.12	62.37	0.5	37.79	102.93	16.11	0.43	5.76	8.47
B	93.99	97.34	0.15	0.09	0.17	6.93	1.39	62.37	0.5	24.54	158.49	17.82	0.73	2.06	3.02