

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. – CATANZARO L. (Lotto 01)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione Idrologica

PFTE da sottoporre all'esame del CSLPP ai sensi del DL 16 luglio 2020, n. 76 convertito con legge n. 120/2020 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale.»

SCALA: ITALFERR S.p.A.
Ordine degli Ingegneri della
Provincia di La Spezia
Dott. Ing. Andrea Nardinocchi
iscritto all'Albo Professionale
cod. n. 71263

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

RC0W 01 D 78 RI ID0001 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Filippello	Luglio 2020	G. De Cianni	Luglio 2020	S. Vanfiori	Luglio 2020	D. Tiberti Settembre 2020 ITALFERR S.p.A. Direzione Infrastrutture Sud UO Impianti e Energie Dott. Ing. Andrea Nardinocchi Codice di Impiegato Prov. di Napoli n. 10976
B	Emissione esecutiva	G. De Cianni	Settembre 2020	A. Tortora	Settembre 2020	S. Vanfiori	Settembre 2020	

File: RC0W.01.D.78.RI.ID0001.001.B

n. Elab.: 245

INDICE

1. PREMESSA	4
2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	5
2.1. Pericolosità idraulica dell'area di studio.....	6
3. DEFINIZIONE DEI BACINI E DELLE LORO CARATTERISTICHE	9
3.1. Morfologia dei bacini drenanti.....	10
4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CLIMATICO SINTETICO.....	12
4.1. Clima.....	12
4.2. Precipitazioni	12
5. ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI.....	14
5.1. Tempi di ritorno	14
5.2. Il modello probabilistico di Gumbel	15
5.3.1. Stazioni pluviometriche di riferimento	17
5.3. Il modello probabilistico TCEV	18
5.4. Metodo VAPI Calabria	20
5.4.1. Aree pluviometriche omogenee e determinazione dei fattori di crescita <i>KT</i>	20
5.5. Determinazione delle massime precipitazioni di progetto.....	24
5.5.1. Stima del tempo di corrivazione	24
5.5.2. Precipitazioni massime.....	24
6. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA.....	27
6.1. Il metodo cinematico o razionale	27
6.2. Coefficiente di deflusso	28
6.3. Metodo SCS – Curve Number.....	29
6.4. Calcolo del tempo di corrivazione	33
6.5. Calcolo delle portate di progetto	34

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1– Perimetrazione aree a rischio idraulico PAI (2001) nell’area di intervento - PT05</i>	6
<i>Figura 2 – Perimetrazione aree a rischio idraulico PAI (2001) nell’area di intervento - PT06</i>	6
<i>Figura 3 – Mappa della pericolosità dal Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PGRA2016) della Calabria nella zona d’intervento PT05.</i>	7
<i>Figura 4 – Mappa della pericolosità dal Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PGRA2016) della Calabria nella zona d’intervento PT06.</i>	8
Figure 5 - Inquadramento su ortofoto dell’interferenza idraulica – PT05.....	9
Figure 6 - Inquadramento su ortofoto dell’interferenza idraulica – PT06.....	10
Figure 7 - Corografia dei bacini	11
Figure 8 - Precipitazioni medie annue	13
Figura 9 – Poligoni di Thiessen per le stazioni pluviometriche di riferimento e indicazione dei sottobacini.....	17

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Caratteristiche morfometriche dei bacini	4
Tabella 2 - Caratteristiche morfometriche dei bacini	10
Tabella 3 - Tempi di ritorno di progetto.....	15
Tabella 4 - Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica con il metodo di Gumbel	18
Tabella 5 - Zone pluviometriche omogenee (primo e secondo livello)	21
Tabella 6 - Fattori di crescita delle altezze di pioggia per le diverse sottozone omogenee calabresi	21
Tabella 7 - Aree pluviometriche omogenee in cui ricadono le aree di studio e parametri caratteristici	23
Tabella 8 - Quota media sul livello del mare e coefficiente a ed n per i diversi bacini ..	23
Tabella 9 - Tempi di corrivazione e precipitazioni, per diversi tempi di ritorno	26
Tabella 10 – Valori dei coefficienti di deflusso assunti per le diverse classi di uso del suolo	28
Tabella 11 – Categorie di umidità del suolo in funzione di API5 (in inch = 2.54 cm)	30
Tabella 12 – Valori di CN(II) in funzione del tipo di suolo e della copertura	31
Tabella 13 – Descrizione delle categorie dei tipi di suolo.	32
Tabella 14 - Valori del tempo di corrivazione e velocità	34
Tabella 15 – Portata al colmo per Tr 300 anni per il bacino PT05	35
Tabella 16 – Portata al colmo determinata con il metodo razionale per Tr 200 anni per PT06	35
Tabella 17 – Portata di progetto per le interferenze oggetto di studio.....	35

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo denominato “Elettrificazione tratta Lamezia T. – Catanzaro L. (lotto 01)” e descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento minori e la curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma stradale e di piazzale.

Gli interventi di progetto consistono nella realizzazione di nuovi piazzali (mats e SSE) e relative strade di accesso. È previsto, inoltre, il ripristino di alcuni piazzali esistenti e strade di accesso per i quali, però, non sono previsti interventi di natura idraulica.

N.	WBS	INTERVENTO	Opera	Studio
1	PT01	Cabina TE Lamezia terme	Nuova	Drenaggio di Piattaforma
2	PT02	SSE Feroletto	Nuova	Drenaggio di Piattaforma
3	PT03	SSE Settingiano	Nuova	Drenaggio di Piattaforma
4	PT04	SSE Catanzaro Lido	Nuova	Drenaggio di Piattaforma
5	PT05	Mats – Galleria Pianopoli (imbocco lato Lamezia Terme)	Nuova	Drenaggio di Piattaforma e studio idraulico f. Gaccia
6	PT06	Mats – Galleria Montecavaliere (imbocco lato Catanzaro Lido)	Nuova	Drenaggio di Piattaforma e studio idraulico fosso
7	PT07	Mats – Galleria Marcellinara (imbocco lato Lamezia Terme)	Nuova	Drenaggio di Piattaforma
8	PT08	Mats – Galleria Marcellinara (imbocco lato Catanzaro Lido)	Nuova	Drenaggio di Piattaforma
9	PT09	Mats – Galleria Chiana Munda (imbocco lato Lamezia Terme)	Esistente	-
10	PT10	Mats – Galleria Chiana Munda (imbocco lato Catanzaro Lido)	Esistente	-
11	PT11	Mats – Galleria Monaci (imbocco lato Catanzaro Lido)	Esistente	-

Tabella 1 - Caratteristiche morfometriche dei bacini

Nel dettaglio l’analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle principali interferenze tra le opere in progetto e l’idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza delle opere in progetto e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l’utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante il metodo di regionalizzazione VAPI e il modello probabilistico di Gumbel (solo per PT05 e PT06);
- definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all’ora necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale;
- calcolo delle massime portate dei bacini idrografici mediante il metodo razionale.

2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Il presente studio è stato redatto in conformità agli indirizzi dettati per il settore specifico dal *“Piano stralcio per l’assetto idrogeologico” della Regione Calabria - approvato con Delibera di Consiglio Regionale n.115 del 28/12/2001*, di seguito indicato **PAI**.

Questo Piano, sviluppato in ottemperanza del DL 180/98 (Decreto Sarno) e finalizzato alla valutazione del rischio di frana, di alluvione ed erosione costiera, ha valore sovraordinatorio sulla strumentazione urbanistica locale, come sancito dall’art. 1 bis della L. n.365 del 11 dicembre 2000.

Pertanto, il PAI rappresenta uno strumento conoscitivo del territorio fisico oltre che normativo e di programmazione degli interventi necessari alla difesa e/o alla mitigazione dei rischi.

Le direttive emanate dal PAI relativamente alle specifiche tematiche sviluppate nel presente studio sono riportate essenzialmente in due atti:

- *“Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia” – testo aggiornato con delibera del C.I. n°27 del 02708/2011*
- *“Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d’acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree di attenzione e l’aggiornamento delle aree a rischio di inondazione (approvate dal Comitato Istituzionale il 31/07/2020)”*, che fornisce gli indirizzi generali da applicare nelle attività di progettazione per i casi espressamente previsti dalle Norme di Attuazione.

Nelle sopra citate Norme di Attuazione all’Art. 11 (Individuazione delle aree a rischio e/o pericolo d’inondazione) sono definite come aree di attenzione, linee di attenzione e punti di attenzione le aree storicamente inondate e/o localizzate dai Piani di Protezione Civile e riportate nell’Atlante allegato al Piano; aree all’intorno di tratti e punti critici rilevati (riduzioni di sezioni, ostruzioni, rotture d’argine, ecc).

In mancanza di dati storici, le aree di attenzione sono state quindi identificate e delimitate dall’Autorità di Bacino mediante l’utilizzo di criteri geomorfologici.

All’Art. 24 delle stesse Norme di Attuazione (Disciplina delle aree d’attenzione per pericolo d’inondazione) si demanda all’ABR di provvedere ad effettuare gli studi e le indagini necessarie alla classificazione dell’effettiva pericolosità e alla perimetrazione delle aree di cui all’art. 11.

Ai fini del presente studio sono state consultate anche le carte di pericolosità idraulica e di Rischio del **PGRA** (Piano di Gestione Rischio di Alluvioni) della Regione Calabria, reperibili al seguente indirizzo <http://old.regione.calabria.it/abr/allegati/PGRA/index.html>. Tali carte, seppur in fase di verifica e approvazione, rappresentano un valido strumento di riferimento per la definizione della pericolosità idraulica dei siti in studio.

2.1. Pericolosità idraulica dell'area di studio

Dall'analisi delle carte del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Calabria si evince che il Fiume Gaccia, secondo il PAI, ricade nella classificazione "aree di attenzione" (Figura 1); il piazzale PT05 risulta esterno a tali aree.

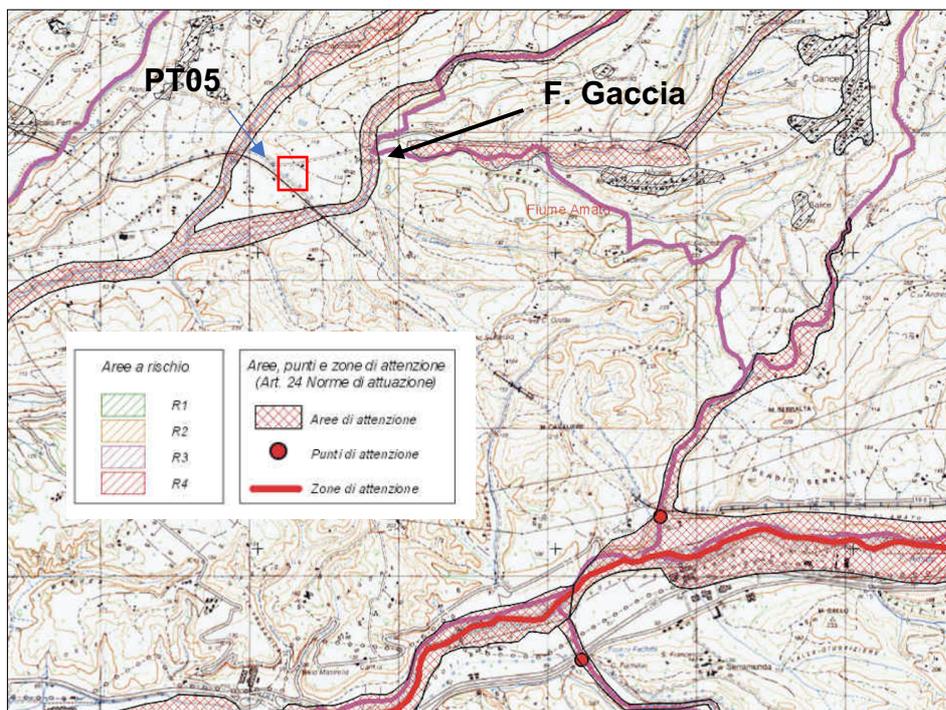


Figura 1– Perimetrazione aree a rischio idraulico PAI (2001) nell'area di intervento - PT05

Il fosso PT06, affluente in destra idraulica del T. Cannello, non ricade nelle aree mappate dal PAI (figura 2).

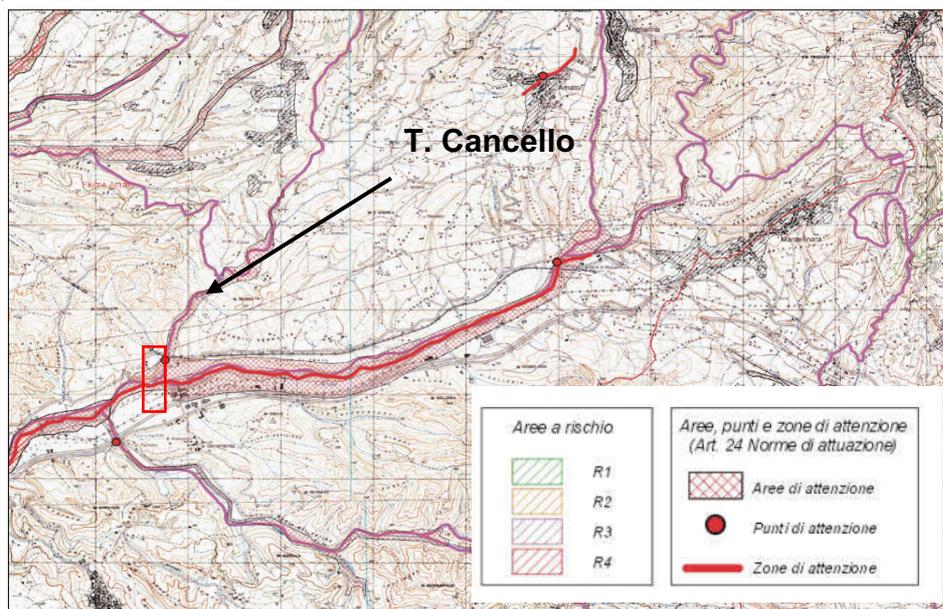


Figura 2 – Perimetrazione aree a rischio idraulico PAI (2001) nell'area di intervento - PT06

Le aree perimetrare nel PAI come aree a rischio idraulico sono state recepite nel PGRA dell'Autorità di Bacino della Regione Calabria (2015) come aree di pericolosità idraulica secondo il seguente criterio:

- aree R4 → P3 (pericolosità elevata) aree allagabili con tempi di ritorno di 50 anni;
- aree R3 → P2 (pericolosità media) aree allagabili con tempi di ritorno di 200 anni;
- aree R2, R1 → P1 (pericolosità bassa) aree allagabili con tempi di ritorno di 500 anni.

Nelle figure seguenti è riportato un inquadramento dell'area di intervento con sovrapposte le aree di pericolosità idraulica P1, P2 e P3 secondo il PGRA: il fiume Gaccia è classificato come pericolosità idraulica elevata P3.

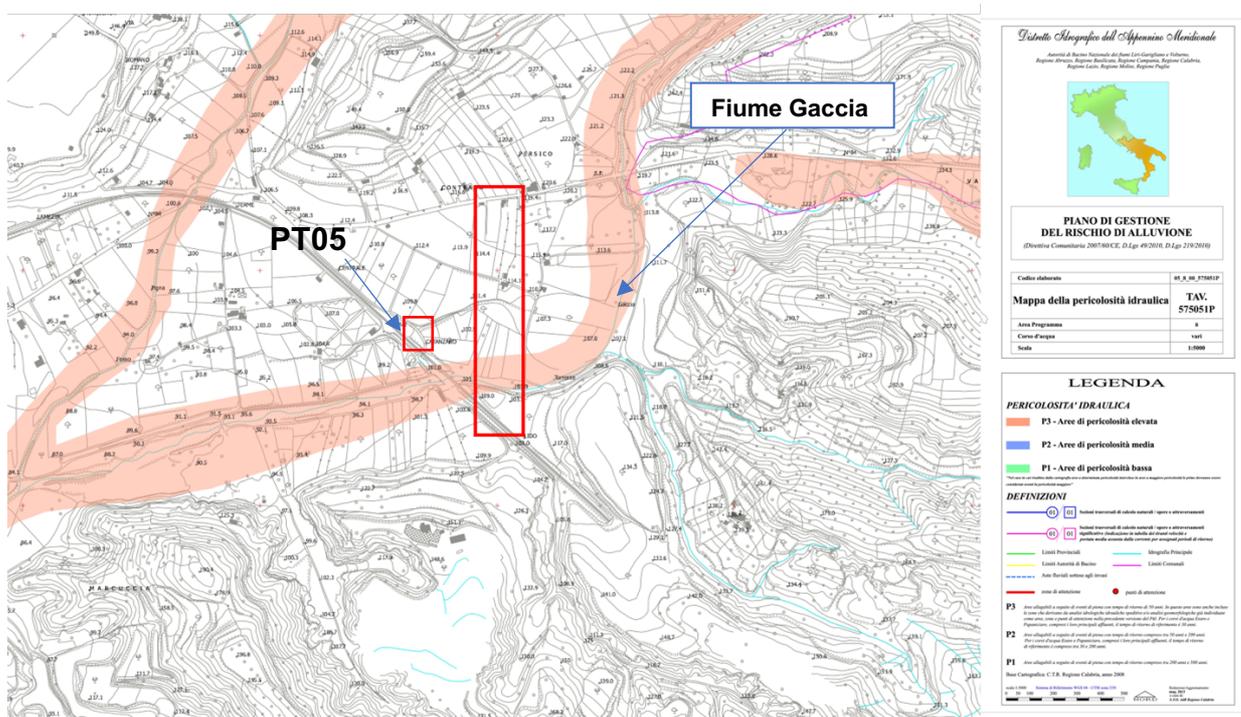


Figura 3 – Mappa della pericolosità dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PGRA2016) della Calabria nella zona d'intervento PT05.

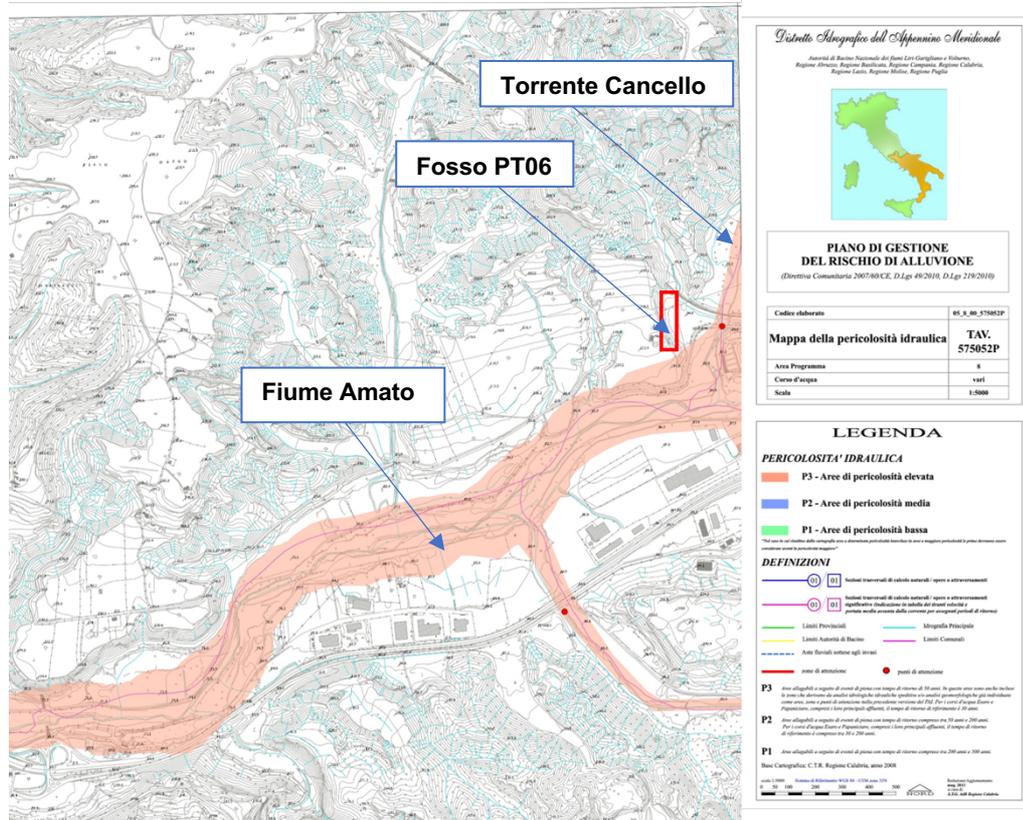


Figura 4 – Mappa della pericolosità dal Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PGRA2016) della Calabria nella zona d’intervento PT06.

3. DEFINIZIONE DEI BACINI E DELLE LORO CARATTERISTICHE

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche dei sottobacini imbriferi interessati dall'intervento.

Ad ogni bacino è stato attribuito lo stesso codice del corrispondente intervento.

Nelle figure in basso sono riportati l'ubicazione degli interventi (in rosso) e dell'interferenza idraulica (in blu).

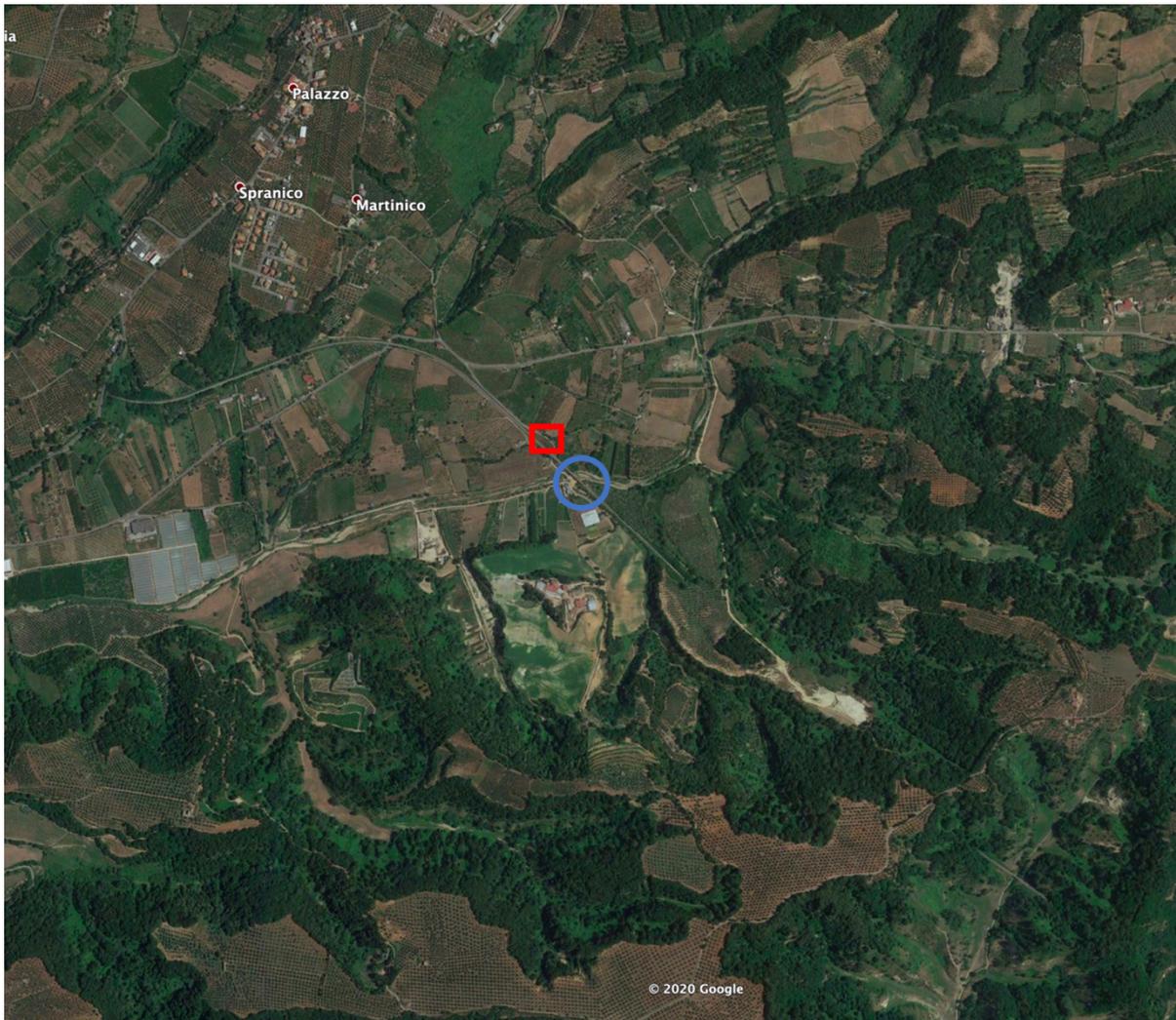


Figure 5 - Inquadramento su ortofoto dell'interferenza idraulica – PT05

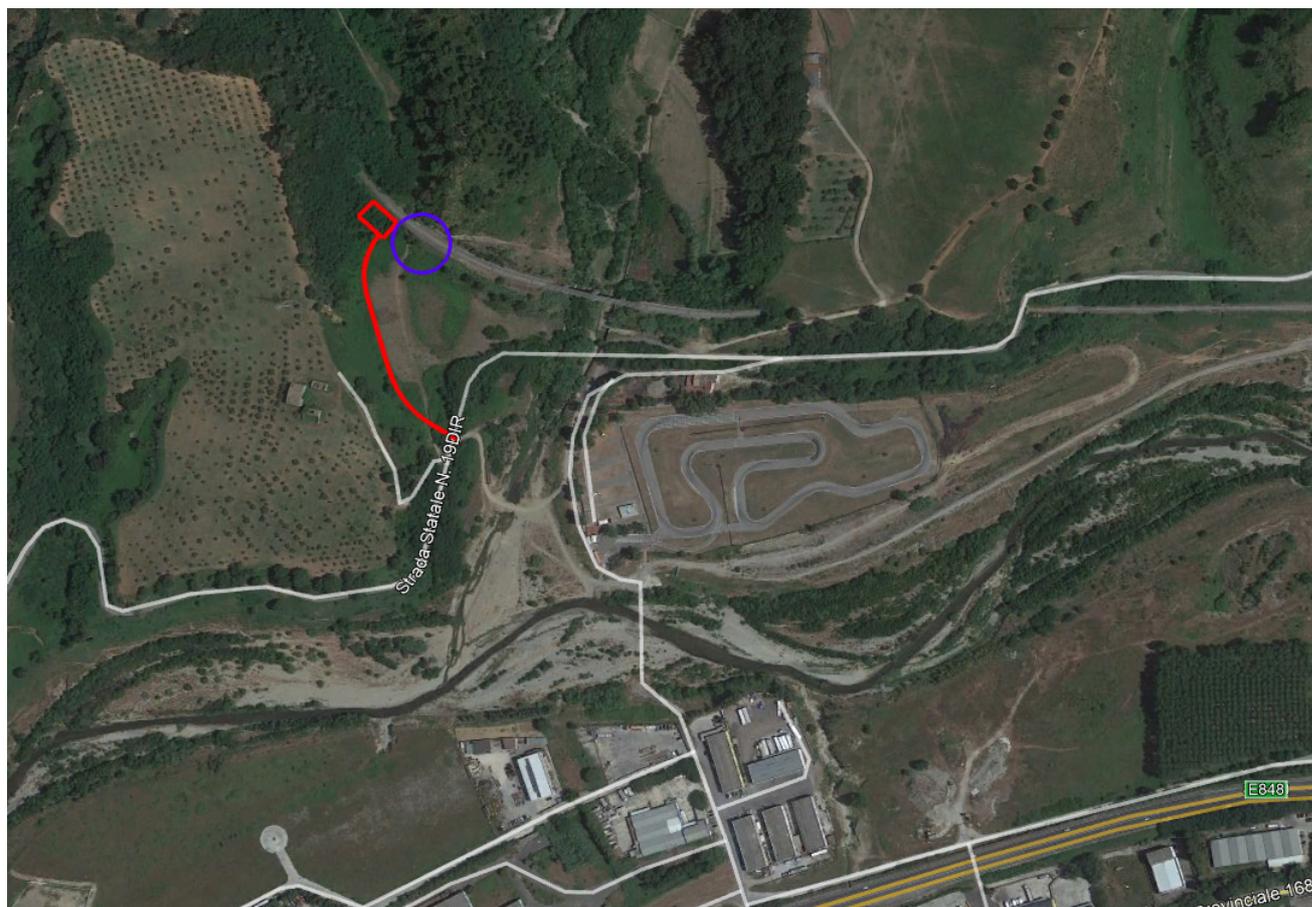


Figure 6 - Inquadramento su ortofoto dell'interferenza idraulica – PT06

3.1. Morfologia dei bacini drenanti

Lo schema della rete idrografica della zona e il bacino idrografico sono stati ricavati dal modello digitale del terreno dell'area di studio.

Nella tabella sottostante si riportano le principali caratteristiche dei bacini.

		F. Gaccia (PT05)	PT06
Area totale drenata	[km ²]	17.21	0.42
Lunghezza asta	[km]	9.89	1.23
Quota massima	[m.s.l.m.]	1040.96	230.17
Quota media	[m.s.l.m.]	435	162
Quota minima	[m.s.l.m.]	100.55	100.29
Pendenza media asta	[m/m]	8.83	8.46

Tabella 2 - Caratteristiche morfometriche dei bacini

Nella figura a seguire è riportata la corografia dei bacini drenanti (in rosso PT05 e in verde il PT06).



Figure 7 - Corografia dei bacini

4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CLIMATICO SINTETICO

I siti in progetto ricadono nella Regione Calabria nei territori provinciali di Cosenza, Crotone e Catanzaro.

4.1 Clima

Le condizioni climatiche dell'area sono sostanzialmente influenzate dall'orografia e dall'azione del mare, nonché dall'orientamento dei versanti rispetto ai venti predominanti.

Il clima è caratterizzato comunque dall'alternanza di una stagione piovosa (ottobre – marzo) in cui la temperatura raggiunge i valori minimi (gennaio-febbraio) e da una stagione secca (aprile-settembre), dove al contrario si raggiungono i massimi valori della temperatura (luglio-agosto).

Anche le temperature si diversificano fra i due versanti: quello ionico si presenta sensibilmente più caldo e caratterizzato da maggiori escursioni termiche con punte massime superiori a 40 ° C e minime assolute frequentemente al di sotto dello zero.

L'orografia tormentata e l'azione dei mari sono sicuramente i principali fattori che determinano le condizioni climatiche della Calabria. Accanto ad esse l'orientamento delle varie località, relativamente soprattutto alla distanza dal mare ed alla natura dei venti predominanti, esercita una maggiore influenza sulle condizioni estreme.

4.2 Precipitazioni

In generale è possibile dire che il clima della Calabria è caratterizzato dall'alternanza di una stagione piovosa, che va da ottobre a marzo con temperature medie mensili che solo in aree limitate ed a quota elevata si abbassano fino a 5 °C, e di una stagione asciutta, relativa al restante periodo, durante la quale nelle pianure si raggiungono temperature molto elevate.

La Calabria è la regione più piovosa dell'Italia Meridionale; in particolare i valori medi delle precipitazioni relative alle varie quote sono sempre più elevati di quelli italiani (Caloiero, 1975). La piovosità media annua in Calabria è di 1176 mm, a fronte di una media in Italia pari a 970 mm, con un contributo unitario medio di 37.2 l/sec km².

Questi valori di precipitazione sono dovuti, analogamente alle temperature, all'orografia e all'azione del mare. In particolare, la Catena Costiera a nord e la Catena delle Serre a Sud costituiscono un notevole ostacolo sia per i venti occidentali, di origine atlantica, che per quelli orientali. In conseguenza della convezione forzata che ne deriva vengono scaricati sui relativi versanti notevoli quantità di precipitazioni. Nel versante occidentale della Calabria i complessi pluviogeni provenienti dal Tirreno subiscono una convezione forzata, mentre quelli provenienti dallo Ionio sono in condizione di fohn. Situazione analoga ma ribaltata si verifica nel versante orientale che risulta essere in condizioni di convezione forzata per i complessi pluviogeni provenienti dallo Ionio e di fohn per quelli provenienti dal Tirreno.

In generale poiché i venti occidentali sono più carichi di umidità di quelli orientali e dal momento che il versante tirrenico della Catena Costiera ha una pendenza maggiore del versante ionico delle Serre si hanno sul Tirreno piogge frequenti e di minore intensità e sullo Ionio un minor numero di esse ma molto intense.

È opportuno evidenziare come nei mesi invernali, al di sopra dei 1200 m, le precipitazioni sono prevalentemente di tipo nevoso, la loro fusione permette di alimentare varie sorgenti che, come si è visto, influiscono positivamente sul regime fluviale.

Per quanto concerne la distribuzione delle precipitazioni durante l'anno la Calabria è caratterizzata da un regime di tipo marittimo. Il periodo piovoso si estende essenzialmente dall'autunno inoltrato all'inizio della primavera, mentre nei mesi estivi le piogge sono molto più ridotte. Il valore massimo delle precipitazioni medie mensili si ha generalmente nel mese di dicembre e quello minimo nel mese di luglio.

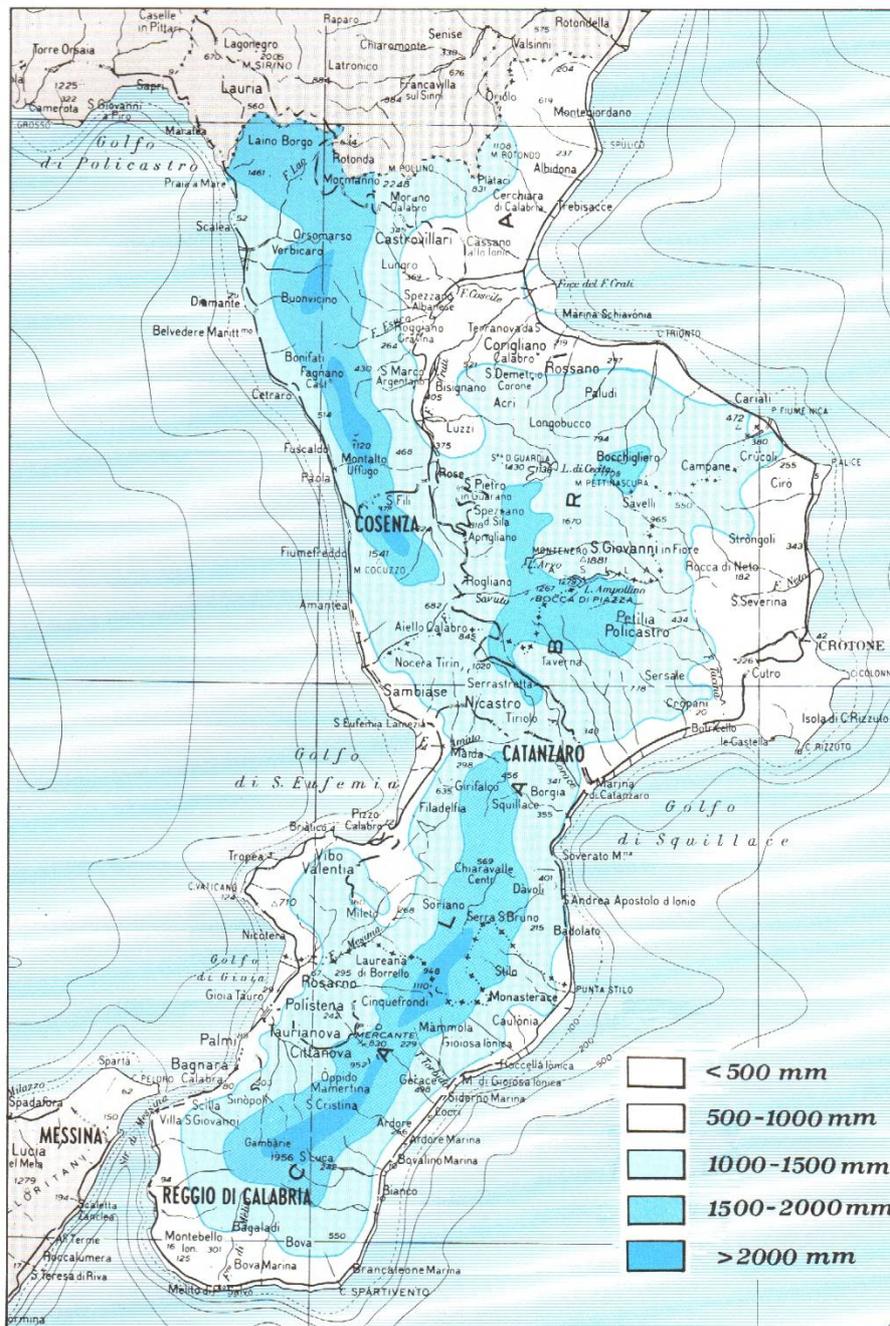


Figure 8 - Precipitazioni medie annue

5. ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI

Per quanto riguarda l'analisi delle precipitazioni la letteratura tecnica classica consiglia leggi a due parametri (*Gumbel, Galton, Fuller*); tuttavia recenti studi svolti nell'ambito del progetto VA.P.I. del CNR-GNDCl suggeriscono di utilizzare la più affinata funzione TCEV (Two Component Extreme Value)¹. Quest'ultima è stata recepita anche nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

Nel presente studio sono state adottate sia l'analisi probabilistica di Gumbel che la metodologia VA.P.I. e si sono scelti i parametri più cautelativi.

In particolare, l'analisi con Gumbel è stata eseguita solo per i siti PT05 e PT06, che interferiscono rispettivamente con il fiume Gaccia e il fosso affluente in destra idraulica al torrente Canello; per i restanti siti si è fatto riferimento solo alla metodologia VA.P.I..

N.	WBS	INTERVENTO	Modello probabilistico	Studio
1	PT01	Cabina TE Lamezia terme	VAPI	Drenaggio di Piattaforma
2	PT02	SSE Feroletto	VAPI	Drenaggio di Piattaforma
3	PT03	SSE Settingiano	VAPI	Drenaggio di Piattaforma
4	PT04	SSE Catanzaro Lido	VAPI	Drenaggio di Piattaforma
5	PT05	Mats – Galleria Pianopoli (imbocco lato Lamezia Terme)	VAPI/Gumbel	Drenaggio di Piattaforma e studio idraulico f. Gaccia
6	PT06	Mats – Galleria Montecavaliere (imbocco lato Catanzaro Lido)	VAPI/Gumbel	Drenaggio di Piattaforma e studio idraulico fosso
7	PT07	Mats – Galleria Marcellinara (imbocco lato Lamezia Terme)	VAPI	Drenaggio di Piattaforma
8	PT08	Mats – Galleria Marcellinara (imbocco lato Catanzaro Lido)	VAPI	Drenaggio di Piattaforma
9	PT09	Mats – Galleria Chiana Munda (imbocco lato Lamezia Terme)	-	-
10	PT10	Mats – Galleria Chiana Munda (imbocco lato Catanzaro Lido)	-	-
11	PT11	Mats – Galleria Monaci (imbocco lato Catanzaro Lido)	-	-

5.1. Tempi di ritorno

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione ferroviaria e dall'Aggiornamento delle Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018) e Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

La scelta ha tenuto conto anche di quanto riportato nelle “Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, (approvate dal Comitato Istituzionale il 31/07/2020)”, contenute nel PAI della Regione Calabria.

¹ Versace P. Ferrari E. Gabriele S. Rossi F. (1989) – Valutazione delle piene in Calabria – CNR-IRPI. Cosenza

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.-CATANZARO L. (Lotto 01)					
	Relazione idrologica	PROGETTO RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID 0001	REVISIONE 001B

La tabella seguente sintetizza la scelta effettuata per tipologia di opere:

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa	Linee Guida PAI Calabria
Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc)	<i>Piattaforma ferroviaria TR 100 anni</i> <i>Deviazioni stradali Tr=25 anni</i>	-	-
Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)	<i>Deviazioni stradali Tr=200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i>

Tabella 3 - Tempi di ritorno di progetto

5.2. Il modello probabilistico di Gumbel

Il metodo di Gumbel prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

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 plotting position di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Al 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 fonda 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:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \quad \Rightarrow \quad y_i = -\ln\left[-\ln\left(\frac{i}{N+1}\right)\right] \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende solamente da h con 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. Otteniamo quindi per α e u le espressioni:

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

Introducendo ora il concetto di tempo di ritorno, Tr , 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:

$$Tr(h) = \frac{1}{1 - F(h)} \quad \Rightarrow \quad F(h) = \frac{Tr - 1}{Tr} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{Tr - 1}{Tr} \quad \Rightarrow \quad h = u - \frac{1}{\alpha} \ln\left[-\ln\left(\frac{Tr - 1}{Tr}\right)\right] \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Grazie al metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione $h(Tr, \tau)$ che fornisce il valore di 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 $h(Tr, \tau)$ la seguente forma:

$$h(Tr, \tau) = a(Tr) \tau^n \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica).

L'intensità di precipitazione è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$j(Tr, \tau) = \frac{h(Tr, \tau)}{\tau} = a \tau^{n-1} \quad (\text{Eq. 2.7})$$

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.

$$\log h = \log a + n \log \tau \quad (\text{Eq. 2.8})$$

5.3.1. Stazioni pluviometriche di riferimento

Per identificare le stazioni pluviometriche di riferimento per l'analisi delle piogge, e di conseguenza per il calcolo delle portate di ogni bacino idrografico individuato nell'analisi idrografica effettuata nel capitolo precedente, sono state prese in considerazione le stazioni di misura più vicine alla zona di studio.

Inoltre, in base al numero di anni di misurazioni, le stazioni di misura di interesse per la presente analisi idrologica sono risultate essere le seguenti: Gimigliano (ID 1910), Tiriolo (ID 2890), Lamezia-Nicastro (2940) e Lamezia.

Si è quindi proceduto a ripartire il territorio di studio in aree di competenza relative alle stazioni vicine. Per questo scopo, è stato utilizzato il metodo geometrico dei reticoli di Thiessen. Con questo approccio si definisce il punto di mezzo dei segmenti che collegano una stazione con quella contigua e da questo punto si traccia la normale fino ad incontrare la normale relativa ad un'altra congiungente. L'area così delimitata è associata agli eventi che si sono verificati nella stazione posta all'interno del poligono.

Ai bacini individuati è stata assegnata la stazione pluviometrica di Tiriolo e Lamezia-Nicastro in cui ricadono i bacini idrografici in studio.

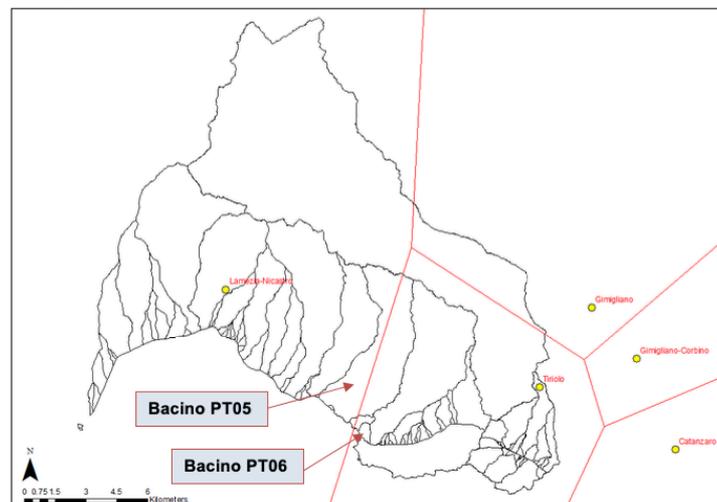


Figura 9 – Poligoni di Thiessen per le stazioni pluviometriche di riferimento e indicazione dei sottobacini

Nel caso di bacini la cui superficie ricade all'interno dei poligoni di Thiessen di diverse stazioni pluviometriche l'altezza di pioggia è stata calcolata come media pesata delle altezze di pioggia delle singole stazioni.

I dati idrologici disponibili per l'analisi pluviometrica sono quelli degli Annali Idrologici; sono stati scaricati dal sito dell'ARPA Calabria - Centro Funzionale Multirischi (<http://www.cfd.calabria.it/>).

Di seguito si riportano i risultati delle analisi statistiche eseguite con il metodo di Gumbel per la stazione di:

- Tiriolo ---> 56 anni di dati disponibili, compresi nel periodo 1941+2015

- Lamezia-Nicastro ---> 19 anni di dati disponibili, compresi nel periodo 1992÷2015

La Tabella 4 contiene i parametri delle curve di possibilità pluviometrica a ed n per diversi tempi di ritorno.

Tabella 4 - Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica con il metodo di Gumbel

Tr	Tiriolo		Lamezia-Nicastro	
	a [mm/ore ⁿ]	n	a [mm/ore ⁿ]	n
200	97.2	0.356	60.2	0.380
300	102.5	0.356	63.1	0.381

La portata duecentennale rappresenta l'evento di progetto di riferimento per le verifiche previste dalle NTC2018 e dal manuale di progettazione ferroviario; la portata trecentennale è stata considerata al fine di valutare gli scenari corrispondenti al superamento delle portate di progetto.

5.3. Il modello probabilistico TCEV

Tale modello ipotizza che il massimo valore annuale assuma la seguente funzione di probabilità cumulata:

$$F(X_T) = e^{-\Lambda_1 e^{\frac{X_T}{\theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{1}{\theta_2} X_T}}$$

dove:

- X_T è la variabile considerata con $X_T \geq 0$;
- Λ^* θ^* sono parametri dimensionali dipendenti solo dal coefficiente di asimmetria e pertanto stimabili solo sulla base di un'indagine regionale ad ampia scala (Analisi regionale di I livello);
- Λ_1 è il numero medio di eventi indipendenti, di tipo ordinario, che si determinano nella zona (e, pertanto, è una caratteristica climatica di una zona omogenea valutata un'analisi regionale di II livello).
- La precedente funzione di probabilità cumulata $F(X_T)$ esprime la probabilità che la variabile X_T assuma un valore al più uguale a x, mentre ovviamente:

$$1 - F(X_T) = P[X_T > x]$$

esprime la probabilità che X_T superi il valore x, e si abbia quindi un evento critico.

Per un valore x della variabile X_T , noto $F(X_T)$, può essere immediatamente calcolato il periodo di ritorno T_r corrispondente:

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(X_T)}$$

Nel programma VAPI è stata effettuata l'analisi statistica dell'intera informazione idrologica su base regionale delle piogge massime giornaliere; tale informazione è stata successivamente integrata con l'analisi delle piogge intense di breve durata.

In dettaglio l'analisi dei parametri di forma è stata effettuata all'interno del primo livello di regionalizzazione: si è ipotizzato, infatti, che tali parametri, poiché dipendono da fattori essenzialmente climatici, siano costanti in senso statistico in ampie aree geografiche, dette zone omogenee. Nel caso della distribuzione TCEV, si può fare riferimento alla variabile standardizzata Y , definita come:

$$Y = \frac{X}{\theta_1} - \text{Ln } \Lambda_1$$

che dipende solo dai parametri standardizzati (parametri di forma):

$$\theta^* = \frac{\theta_2}{\theta_1}; \quad \Lambda^* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\theta^*}}$$

La funzione di probabilità cumulata della variabile Y è:

$$F_Y(y) = \exp\left(-e^{-y} - \Lambda^* e^{-y/\theta^*}\right)$$

che è ancora una distribuzione TCEV standardizzata.

L'ipotesi di omogeneità regionale, che si esprime attraverso le relazioni:

$$\theta^* = \text{cost}; \quad \Lambda^* = \text{cost.}$$

corrisponde ad ammettere che la variabile standardizzata Y sia identicamente distribuita sull'intera regione.

L'analisi del parametro di scala della distribuzione viene effettuata all'interno del secondo livello di regionalizzazione, che riguarda contemporaneamente i parametri di forma e di scala della distribuzione delle piogge. Si assume che il parametro di scala sia costante in aree geografiche omogenee più piccole contenute all'interno delle zone omogenee precedentemente identificate al primo livello di regionalizzazione (sottozone omogenee).

Nel caso della distribuzione TCEV si può fare riferimento alla variabile K definita come:

$$K = \frac{X}{\mu(X)}$$

che dipende sia dai parametri di forma θ^* e Λ^* , sia dal parametro di scala Λ_1 poiché la sua funzione di probabilità cumulata è ancora una distribuzione TCEV del tipo:

$$F_K(k) = \exp\left[-\Lambda_1 e^{-k\eta} - \Lambda_1^{1/\theta^*} \Lambda^* e^{-k\eta/\theta^*}\right]$$

Mettendo in relazione esplicita la variabile K con il periodo di ritorno T_r , la $F_K(k)$ esprime la funzione di probabilità cumulata del fattore probabilistico di crescita. Pertanto, per ottenere la legge di crescita con il periodo di ritorno, è necessario e sufficiente completare l'analisi di regionalizzazione ai primi due livelli.

L'espressione del fattore di crescita probabilistica $K_T(T_r)$ è dato dall'espressione implicita:

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp\left[-\Lambda_1 e^{-k\eta} - \Lambda_1^{1/\theta^*} \Lambda^* e^{-k\eta/\theta^*}\right]}$$

La stima dei parametri di forma è stata eseguita utilizzando la tecnica proposta da Gabriele e Villani (1992) nota come tecnica di stima della verosimiglianza regionale con soglia.

5.4. Metodo VAPI Calabria

La metodologia utilizzata in questo caso fa riferimento a quella proposta su scala regionale e nazionale dal **progetto VAPI** del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI). In particolare, viene adottato un **modello probabilistico a doppia componente (TCEV)**, che interpreta gli eventi massimi annuali come risultato di una miscela di due popolazioni distinte di eventi (eventi massimi ordinari ed eventi massimi straordinari).

Le elaborazioni relative all'applicazione di tale modello fanno riferimento ad una procedura di regionalizzazione gerarchica in cui i parametri vengono valutati a scale regionali differenti, in funzione dell'ordine statistico.

Di fatto il modello TCEV adottato costituisce una generalizzazione del modello di *Gumbel*, il quale tende a sottostimare i valori più elevati registrati. Esso risulta costituito dal prodotto di due leggi di *Gumbel*, la prima delle quali destinata ad interpretare e descrivere, in chiave probabilistica i massimi valori ordinari e, la seconda, quelli straordinari (*outliers*) (aventi secondo il classico modello di *Gumbel* una probabilità di superamento inferiore del 5% e, quindi, tali da potersi ritenere straordinari).

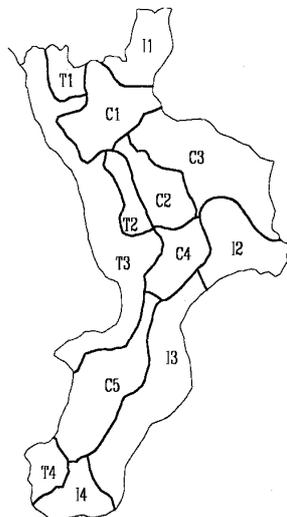
5.4.1. Aree pluviometriche omogenee e determinazione dei fattori di crescita KT

Per potere utilizzare le formule che contengono dati relativi alle precipitazioni in termini di altezze o di intensità si è provveduto alla determinazione di tali parametri sulla base dei dati pluviometrici regionali elaborati nel progetto VAPI.

Per il primo e secondo livello di regionalizzazione sono individuate le regioni omogenee rispetto ai parametri Λ^* e Θ^* (primo livello) e al parametro Λ_1 (secondo livello) e risulta quindi individuato il valore di η . Tali regioni sono dette Sottozone Omogenee (SZO) e per la Calabria sono le seguenti:

- Sottozona Tirrenica
- Sottozona Centrale
- Sottozona Ionica

Per comodità di lettura tale delimitazione viene riportata di seguito.



Limiti delle zone e sottozone omogenee del compartimento della Calabria [Ferrari e altri, 1994].

I valori dei parametri caratteristici al primo e secondo livello di regionalizzazione sono i seguenti:

SOTTOZONA	ϑ^*	Λ^*	Λ_1	η
Tirrenica	2.154	0.418	48.914	5.173
Centrale			22.878	4.414
Ionica			10.987	3.681

Tabella 5 - Zone pluviometriche omogenee (primo e secondo livello)

I valori di K_T relativi ai tempi di ritorno più comunemente usati nella pratica sono riportati nella tabella seguente:

TEMPI DI RITORNO	SOTTOZONA OMOGENEA TIRRENICA	SOTTOZONA OMOGENEA CENTRALE	SOTTOZONA OMOGENEA JONICA
10	1.45	1.53	1.63
25	1.78	1.91	2.09
50	2.04	2.22	2.46
100	2.32	2.54	2.85
200	2.60	2.87	3.25
500	2.98	3.32	3.78
1000	3.27	3.65	4.18

Tabella 6 - Fattori di crescita delle altezze di pioggia per le diverse sottozone omogenee calabresi

Le zone oggetto di studio ricadono all'interno delle sottozone omogenee centrale e ionica.

Il terzo livello di regionalizzazione, come già indicato in precedenza, consiste nella individuazione di legami tra valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano le località in cui sono installate le stazioni di misura. Nel caso della Calabria è stata osservata, all'interno di aree omogenee, una buona relazione tra la media annuale dei massimi giornalieri e la quota. È stato pertanto ipotizzato che l'intera regione possa essere suddivisa in aree omogenee in ciascuna delle quali esiste una correlazione tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera $m[h_g]$ e la quota sul mare Z , del tipo:

$$m[h_g] = cZ + d$$

in cui C e D sono due parametri variabili da area ad area.

Nel caso della Calabria sono state individuate 13 aree pluviometriche omogenee (APO). La delimitazione delle APO è riportata sempre nella figura precedente.

Analizzando 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 evidenzia che per ogni stazione esista, per d compreso tra 1 e 24 ore un legame del tipo:

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

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

Si è notato, inoltre, che il rapporto:

$$r = m[h_g] / m[h_{24}]$$

relativo ad uno stesso periodo di funzionamento, comprendente cioè solo gli anni per cui sono disponibili entrambi i valori, varia molto poco passando da una stazione all'altra. Nel caso della Calabria r è distribuito normalmente con media 0.875 e scarto quadratico medio 0.031. Si può quindi utilizzare l'informazione ben più ampia disponibile sulle precipitazioni giornaliere anche per sviluppare il terzo livello dell'analisi regionale delle piogge brevi.

Più precisamente:

- assumendo che $m[h_{(1)}]$, e quindi il parametro a è costante in ciascuna delle aree omogenee e pari al valor medio pesato con gli anni di funzionamento degli x_1 relativi alle serie con $N \geq 20$;
- assumendo che in ogni stazione vale il rapporto: $r = m[h_g] / m[h_{24}]$;
- ricordando che in ciascuna area omogenea è nota la relazione $m[h(d)] = a \cdot d^n$;
- si ottiene:

$$n = (CZ + D + \log r - \log a) / \log 24$$

Nella tabella sottostante sono riportate le aree pluviometriche omogenee in cui ricadono le aree di studio e i parametri caratteristici:

N.	WBS INTERVENTO	AREA PLUVIOMETRICA OMOGENEA	a	c	d
1	PT01	T3	26.61	0.00022	1.769
2	PT02	C4	33.22	0.00032	1.840
3	PT03	I3	39.58	0.00043	1.953
4	PT04	T3	26.61	0.00022	1.769
5	PT05	C4	33.22	0.00032	1.840
6	PT06	C4	33.22	0.00032	1.840
7	PT07	C4	33.22	0.00032	1.840
8	PT08	C4	33.22	0.00032	1.840

Tabella 7 - Aree pluviometriche omogenee in cui ricadono le aree di studio e parametri caratteristici

Complessivamente le piogge sui bacini considerati possono essere espresse, per ogni tempo di ritorno, mediante la classica formula monomia:

$$h = a * \delta^n$$

dove h è l'altezza di pioggia e δ è la relativa durata e con i parametri a e n variabili con la quota. Le formulazioni espote possono essere dunque applicate ai bacini oggetto di studio, determinando per ciascuno di essi la quota media sul livello del mare del bacino idrografico ed assumendo come durata un tempo pari al tempo di corrivazione del bacino stesso.

Nella tabella seguente si riportano i valori della quota media sul livello del mare dei bacini e dei parametri a ed n ottenuti.

N.	WBS INTERVENTO	QUOTA MEDIA	n	a		
		m s.l.m.		TR = 25 anni	TR = 100 anni	TR = 200 anni
1	PT01	100	0.223	47.37	61.74	69.19
2	PT02	100	0.212	63.45	84.38	95.34
3	PT03	8	0.218	82.72	112.80	128.64
4	PT04	28	0.212	47.37	61.74	69.19
5	PT05	120	0.217	63.45	84.38	95.34
6	PT06	24	0.194	63.45	84.38	95.34
7	PT07	150	0.224	63.45	84.38	95.34
8	PT08	167	0.228	63.45	84.38	95.34

Tabella 8 - Quota media sul livello del mare e coefficiente a ed n per i diversi bacini

5.5. Determinazione delle massime precipitazioni di progetto

Sulla base della metodologia di analisi pluviometrica esposta si procede nel seguito alla determinazione delle massime precipitazioni di progetto. Per tale scopo occorre innanzitutto stabilire la durata dell'evento pluviometrico critico del bacino idrografico di interesse, quindi applicare le formulazioni determinate ai paragrafi precedenti.

A tale fine si è assunto, come ampiamente consolidato in letteratura, che la durata della precipitazione critica sul bacino coincida con il tempo di corrivazione del bacino stesso.

Nel seguito, pertanto, se ne procede alla stima.

5.5.1. Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione, inteso quale tempo intercorrente fra l'inizio della pioggia efficace (cioè che dà luogo ai deflussi superficiali) ed il colmo della piena, ritenuto uguale al tempo necessario perché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino pervenga alla sezione di chiusura, costituisce un parametro del modello indipendente dalla portata e dal tempo.

Tale parametro risulta di difficile determinazione; nella letteratura tecnica vengono riportate numerose formulazioni empiriche, tutte legate alle caratteristiche morfologiche e fisiografiche del bacino, ma comunque valide per lo specifico campo di applicabilità.

Nel caso dell'idraulica di piattaforma, il tempo è stato assunto pari a 0,167 ore (10 minuti), che tiene conto di un tempo minimo di formazione del deflusso. Per l'idraulica fluviale (PT05 - fiume gaccia e PT06 affluente del torrente cancello) si rimanda al paragrafo 6.4..

5.5.2. Precipitazioni massime

Una volta determinata la durata della pioggia critica sui vari bacini, assunta pari al tempo di corrivazione, si può procedere alla stima delle altezze massime di precipitazione sui bacini ai diversi tempi di ritorno applicando le formule del progetto VAPI.

Allo scopo sono stati utilizzati i parametri determinati a scala regionale per la stima della media annua della pioggia indice e della curva di crescita.

Come già esposto, i bacini interferiti dalle infrastrutture stradali in progetto ricadono all'interno della sottozona omogenea T3 "Tirreno medio e superiore", C4 "Sila Piccola" e I3 "Medio e basso Ionio".

Per gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora, denominati eventi brevi, è necessario procedere ad una correzione delle CPP estrapolate per durate superiore all'ora.

Infatti, studi precedenti hanno ampiamente dimostrato che le estrapolazioni delle curve monomie a due parametri (desunte da elaborazioni su piogge multiorarie) alle durate inferiori all'ora non hanno significatività statistica, conducendo a valori eccessivi. In tali casi è possibile adottare una legge intensità - durata - frequenza a tre parametri oppure utilizzare due distinte leggi per eventi superiori o inferiori all'ora. Tale secondo approccio, che conduce a risultati assolutamente analoghi, è stato preferito nel seguente progetto, per la sua evidenza statistica.

Per quanto attiene la determinazione dell'altezza di pioggia per durate inferiori all'ora è stato dimostrato (Bell, 1969) che il rapporto fra l'altezza di pioggia $h(t,T)$, con $t < 60$ minuti, e l'altezza di pioggia di durata 60 minuti e pari tempo di ritorno T è dipendente solo dalla durata t :

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

Tale relazione, trovata nell'ambito delle ricerche idrologiche condotte negli Stati Uniti, si fonda sulla grande variabilità geomorfologica nonché sulla vasta ed articolata quantità di dati idrologici e morfometrici del territorio Americano, ed assume la seguente espressione:

$$\frac{h}{h_{60}} = \left(\frac{t}{60} \right)^{0.495}$$

in cui t risulta espresso in minuti.

Il dato più interessante che se ne trae è che il rapporto risulta poco dipendente dalla località. La relazione è stata inoltre confermata anche per vasti territori dell'Australia e dell'Africa.

Più recentemente autori italiani hanno sperimentato la validità della relazione prima citata calcolando i rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno. In particolare (Calenda e altri, 1993) sono stati ottenuti al pluviometro registratore di Roma Macao i seguenti rapporti:

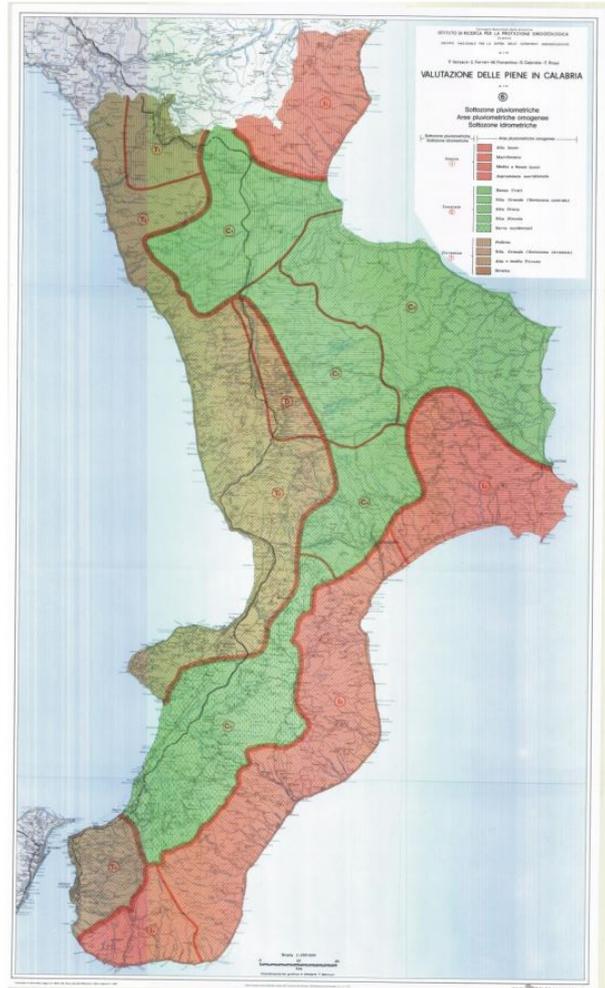


Fig. 2 - Sottozone e aree omogenee individuate nel progetto VAPI Calabria

d(min)	5'	10'	15'	20'	25'	30'
r = h_(d)/h₁	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

Nel nostro caso l'altezza di pioggia di durata 10' sarà dunque:

$$h_{10,T} = (h_1 r_{10}) K_T$$

dove h₁ è l'altezza di pioggia indice per la durata di 1 ora, mentre "r" è il rapporto ottenuto al suddetto pluviometro di Roma Macao.

Per il dimensionamento degli elementi di drenaggio della piattaforma ferroviaria e delle deviazioni stradali si è assunto un tempo di concentrazione pari a 10 minuti.

Le altezze di pioggia stimate, per i diversi tempi di ritorno nelle diverse stazioni, sono riportate nella tabella seguente.

N.	INTERVENTO	TEMPO DI CORRIVAZIONE h _(d)	PIOGGIA INDICE mm	h (TR = 25anni) mm	h (TR = 100anni) mm
1	PT01	0.167	11.58	20.60	26.85
2	PT02	0.167	14.45	27.60	36.70
3	PT03	0.167	17.22	35.98	49.07
4	PT04	0.167	11.58	20.60	26.85
5	PT05	0.167	14.45	27.60	36.70
6	PT06	0.167	14.45	27.60	36.70
7	PT07	0.167	14.45	27.60	36.70
8	PT08	0.167	14.45	27.60	36.70

Tabella 9 - Tempi di corrivazione e precipitazioni, per diversi tempi di ritorno

6. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

In conformità ai criteri indicati nelle “Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d’acqua.....”, contenute nel PAI della Calabria, per la stima delle portate massime al colmo di piena si è adottato il metodo della corrivazione ed in particolare la formula razionale.

Nel presente capitolo viene riportata la procedura di calcolo della portata di piena relativa alla interferenza idraulica con il fiume Gaccia (PT05) e con il fosso affluente in destra idraulica al torrente Canello (PT06).

6.1. Il metodo cinematico o razionale

Il metodo cinematico viene utilizzato per il calcolo della portata conseguente ad un’assegnata precipitazione incidente su un bacino di limitata estensione. In questo studio, il metodo è stato utilizzato per la determinazione della massima piena corrispondente ad un fissato periodo di ritorno (T_r) per il bacino PT06.

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

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell’evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q = 278\varphi Sh/t_c$$

in cui:

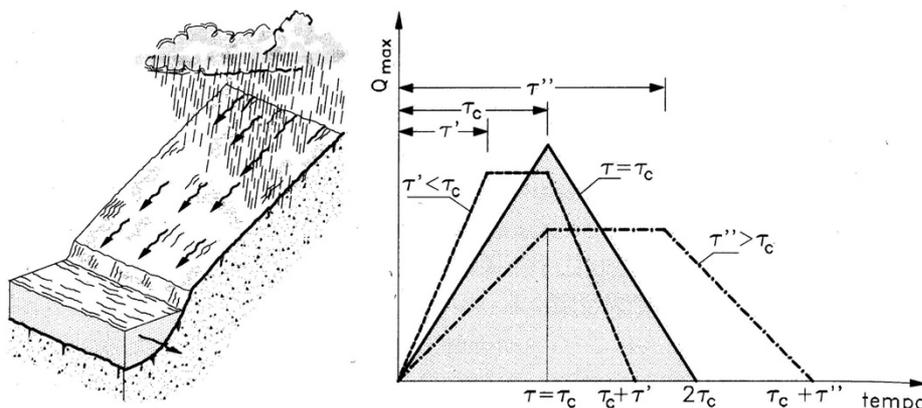
Q = portata di piena [m^3/sec];

φ = coefficiente di deflusso;

h = pioggia netta [m];

S = area del bacino [km^2];

t_c = tempo di corrivazione [ore].



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

Il valore di h rappresenta l'altezza di precipitazione 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 S contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa, se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella figura su riportata è rappresentato 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 assuma la forma triangolare.

6.2. Coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso φ_m rappresenta un valore medio pesato che tiene conto della diversa natura dei suoli costituenti i bacini in esame; i valori per ciascuna tipologia di suolo sono stati dedotti da letteratura.

In particolare, in considerazione anche delle caratteristiche geologiche dei bacini in esame (suoli impermeabili o mediamente permeabili), sono stati utilizzati i seguenti coefficienti per le diverse classi di uso del suolo presenti:

Tabella 10 – Valori dei coefficienti di deflusso assunti per le diverse classi di uso del suolo

USO DEL SUOLO	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO
Urbanizzato	0.70
Seminativi	0.50
Oliveti	0.45
Pascoli	0.45
Aree eterogenee	0.45
Aree complesse	0.48
Aree miste agricole-naturali	0.45
Bosco latifoglie	0.30
Bosco conifere	0.30
Bosco misto	0.30
Prato naturale non alberato	0.35
Vegetazione sclerofilla	0.40
Aree rinnovate	0.35
Aree nude	0.60
Vegetazione sparsa	0.50
Aree percorse da incendio	0.40

Il valore medio del coefficiente di permeabilità è stato calcolato come media pesata dei coefficienti delle diverse superfici presenti in ogni sottobacino:

$$\phi_m = \frac{\sum_i \phi_i S_i}{S}$$

6.3. Metodo SCS – Curve Number

Per il bacino del fiume Gaccia (PT05) avente una superficie maggiore di 10 km² la pioggia effettiva EA(t) è stata stimata anche col metodo SCS (Soil Conservation Service, 1972).

Il metodo SCS è largamente impiegato in campo idrologico, soprattutto nel caso di bacini non strumentati, per la sua grande facilità di applicazione e per la sua discreta affidabilità. Esso si basa su un'equazione, sviluppata sull'analisi di eventi pioggia-portata di un gran numero di bacini degli Stati Uniti, e così rappresentabile:

$$\frac{F_a - F_p}{S} = \frac{R^A_E}{R^A - F_p} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

con:

F_a = spessore totale di pioggia ritenuto nel bacino dall'istante t=0 di inizio della pioggia;

F_p = spessore totale di pioggia ritenuto fra t=0 e l'istante di raggiungimento del ponding;

S = massima ritenzione potenziale del suolo;

R^A_E = spessore totale di pioggia effettiva per l'intero evento;

R^A = spessore totale di pioggia per l'intero evento.

La relazione pone l'uguaglianza tra il rapporto ritenzione/ritenzione massima e il rapporto pioggia effettiva prodotta/massima pioggia effettiva generabile.

A questa si aggiunge la legge di conservazione della massa d'acqua:

$$R^A = R^A_E + F_a \quad (\text{Eq. 3.3})$$

che sostituita nell'equazione fornisce:

$$R^A_E = \frac{(R^A - F_p)^2}{R^A + S - F_p}$$

con F_p che può essere a sua volta sostituito tramite la relazione ricavata sperimentalmente dall' SCS:

$$F_p = 0.2 \cdot S$$

La relazione finale si pone quindi nella forma:

$$R^A_E = \frac{(R^A - 0.2S)^2}{R^A + 0.8S} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

in cui, nota la pioggia media areale e quindi la R^A , l'unico parametro che resta da stimare è S .

Sulla base di considerazioni empiriche, il Soil Conservation Service ha proposto la seguente

stima di S:

$$S = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (Eq. 3.5)$$

(con S espresso in mm), in funzione di un parametro adimensionale, CN, indicato come Curve Number.

Il valore di CN varia tra 0 (suoli "infinitamente" permeabili) e 100 (suoli impermeabili) in funzione del tipo di suolo, dell'uso del suolo e del contenuto di acqua iniziale. In particolare, sulla base del contenuto d'acqua iniziale, definito in termini di classi di valori del parametro API5 (indice delle precipitazioni nei cinque giorni antecedenti l'evento), vengono distinte tre categorie di CN: CN(I), CN(II), CN(III), come indicato in Tabella 11.

Tabella 11 – Categorie di umidità del suolo in funzione di API5 (in inch = 2.54 cm)

Categoria di umidità	Stagione con vegetazione ferma	Stagione con vegetazione crescente
I	< 0.5	< 1.4
II	0.5 + 1.1	1.4 + 2.1
III	> 1.1	> 2.1

I valori di CN(II) sono tabulati in funzione del tipo e dell'uso del suolo come indicato in Tabella 11; sono distinte quattro categorie di tipo di suolo ordinate dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente (Tabella 12).

I valori di CN(I) e CN(III) sono, invece, ricavabili da quelli di CN(II) mediante le seguenti relazioni empiriche:

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

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

Tabella 12 – Valori di CN(II) in funzione del tipo di suolo e della copertura

<i>Tipo di copertura</i>	<i>Tipo di suolo</i>			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
senza interventi di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Praterie				
buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
buone condizioni, con almeno il 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa				
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali				
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
Strade				
pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
in terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Nel caso in esame è stata ricavata una mappa dei CN (sulla base della litologia e dell'uso del suolo) e per ogni bacino è stato ricavato il valore del CN medio.

Si è quindi proceduto alla stima della REA, che rappresenta uno spessore di pioggia effettiva cumulato e dipende dal tempo di ritorno dell'evento.

Tabella 13 – Descrizione delle categorie dei tipi 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 la maggior parte dei suoli sottili e contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di 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

Pioggia effettiva – portata diretta

La formula utilizzata per il calcolo delle portate per il bacino PT05 è stata dedotta con considerazioni di carattere cinematico analoghe a quelle su cui si basa il metodo della corrivazione, ottenendo il valore della portata al colmo di piena in funzione del volume di acqua precipitata sul bacino durante l'evento meteorico.

Se supponiamo che l'idrogramma di piena abbia forma triangolare con tempo di base pari a due volte il tempo di corrivazione (tempo di risalita pari al tempo di discesa pari a t_c) la portata Q_{max} (m^3/s) risulta data da:

$$Q_{max} = \frac{V}{t_c} = \frac{R^A_E \cdot A}{t_c} \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Con:

V = Volume onda di piena (m^3);

A = Area del bacino (m^2);

R^A_E = spessore totale di pioggia effettiva per l'intero evento (m).

6.4. Calcolo del tempo di corrivazione

Per la costruzione del modello di trasformazione afflussi-deflussi si è partiti dalla stima dell'altezza di precipitazione che può verificarsi sulla superficie scolante per una definita durata di tempo.

La durata critica di precipitazione per il bacino, da assumere nei calcoli idrologici, è quella pari al tempo di corrivazione, cioè pari al maggiore dei tempi di trasporto nel bacino, in modo che tutta la superficie sottesa dalla sezione di chiusura contribuisca al deflusso.

Il tempo di corrivazione, che è un parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Il tempo di corrivazione si stima, in genere, utilizzando formule empiriche derivate dall'analisi di una gran quantità di casi reali, che esprimono il legame mediamente esistente tra il tempo di corrivazione e alcune grandezze caratteristiche del bacino di facile determinazione.

In letteratura sono disponibili diverse formule per la stima del tempo di concentrazione t_c .

Nel presente studio si è fatto riferimento a quanto riportato nell'appendice A delle linee guida del PAI Calabria "Indicazioni sulla stima del calcolo della portata di piena" che suggerisce:

Formula di Giandotti (1934,1937):

$$t_c = \frac{4 \cdot S^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (H_{med} - H_o)^{0.5}}$$

in cui:

- L è la lunghezza dell'asta principale (km);
- S è la superficie totale del bacino (km²);
- H_{med} è la quota media del bacino (m s.l.m.);
- H_o è la quota della sezione di chiusura (m s.l.m.).

Formula di Puglisi e Zanframundo:

$$t_c = 6 \cdot L^{2/3} (z_{max} - z_{min})^{-1/3}$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale a partire dallo spartiacque (km);
- z_{max} = quota massima del bacino (m s.l.m.);
- z_{min} = quota della sezione di chiusura (m s.l.m.).

Formula di Viparelli:

$$t_c = \frac{L}{v}$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale a partire dallo spartiacque (m);
- v = velocità di scorrimento dell'acqua nel percorso relativo sia ai versanti che alla rete idrografica, ritenuta dall'autore pari a $1 \div 1.5$ m/s (m/s.);

I valori del tempo di corrivazione ottenuti per i bacini oggetto di indagine utilizzando le diverse formule sono riportati in Tabella 14.

Non è stata utilizzata la formula di Puglisi e Zanframundo, in quanto le stesse linee guida indicano la sua validità per bacini imbriferi con $43 < A < 94$ km².

Sottobacini	Superficie [km ²]	Giandotti	Viparelli (v=1m/s)	Viparelli (v=1.5m/s)
PT05	17.21	2.15	2.75	1.83
PT06	0.42	0.71	0.34	0.23

Tabella 14 - Valori del tempo di corrivazione e velocità

6.5. Calcolo delle portate di progetto

La valutazione delle portate al colmo per le interferenze con i corsi d'acqua studiati in moto permanente è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 e 300 anni. La portata duecentennale rappresenta l'evento di progetto di riferimento per le verifiche previste dalle NTC2018 e dal manuale di progettazione ferroviario; la portata trecentennale è stata considerata al fine di valutare gli scenari corrispondenti al superamento delle portate di progetto.

Per tutti e due i bacini è stato applicato il metodo razionale, effettuando il calcolo per i t_c stimati con le formule di Giandotti e Viparelli (quest'ultima per $v=1$ m/s e $v=1.5$ m/s).

Per il bacino PT05 è stato applicato anche il metodo SCS-CN, nell'ipotesi prevista dalle citate linee guida dell'Autorità di Bacino che gli eventi estremi di piena avvengano in condizioni di terreno pressoché saturo, per precedenti precipitazioni: nella valutazione del CN si sono quindi ritenute, cautelativamente, umide le condizioni antecedenti di umidità del suolo (Antecedent Moisture Conditions, AMC, di tipo III), secondo la classificazione del SCS. Anche in questo caso il calcolo è stato eseguito considerando i tre diversi valori del t_c .

Per il bacino del fiume Gaccia (PT05), dopo aver condotto le analisi per i vari tempi di ritorno, si è fatto un confronto preliminare tra i valori delle portate ottenute con il metodo Razionale ed il metodo SCS-CN. Trattandosi di due metodologie di calcolo che approssimano il problema in modo differente è più che ragionevole riscontrare delle piccole differenze sui valori di portata al colmo.

In Tabella 5 sono riportati i valori delle portate al colmo ottenute per il bacino PT05, al variare della metodologia di stima delle altezze di precipitazione (Gumbel e VAPI), di stima dell'altezza

di precipitazione efficace (metodo razionale e SCS-CN) e di calcolo del tc (Giandotti, Viparelli con $v=1\text{m/s}$ e Viparelli con $v=1.5\text{m/s}$) per un tempo di ritorno pari a 300 anni.

Tabella 15 – Portata al colmo per Tr 300 anni per il bacino PT05

Interf.	Area bacino [km ²]	Gumbel						VAPI					
		Q_METODO RAZIONALE [m ³ /s]			Q_METODO SCS [m ³ /s]			Q_METODO RAZIONALE [m ³ /s]			Q_METODO SCS [m ³ /s]		
		Giandotti	Viparelli (v=1m/s)	Viparelli (v=1.5m/s)	Giandotti	Viparelli (v=1m/s)	Viparelli (v=1.5m/s)	Giandotti	Viparelli (v=1m/s)	Viparelli (v=1.5m/s)	Giandotti	Viparelli (v=1m/s)	Viparelli (v=1.5m/s)
PT05	17.21	96.79	82.78	107.07	115.23	103.71	123.15	117.18	98.37	131.20	154.92	134.82	169.32

In Tabella 6 sono riassunti i valori delle portate al colmo ottenute con il metodo razionale per il bacino PT06, al variare della metodologia di stima delle altezze di precipitazione (Gumbel e VAPI) e di calcolo del tc (Giandotti, Viparelli con $v=1\text{m/s}$ e Viparelli con $v=1.5\text{m/s}$) per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

Tabella 16 – Portata al colmo determinata con il metodo razionale per Tr 200 anni per PT06

Interf.	Area bacino [km ²]	Gumbel			VAPI		
		Q [m ³ /s]			Q [m ³ /s]		
		Giandotti	Viparelli (v=1m/s)	Viparelli (v=1.5m/s)	Giandotti	Viparelli (v=1m/s)	Viparelli (v=1.5m/s)
PT05	0.42	4.41	6.88	8.82	4.55	7.10	9.11

Come valori delle portate di riferimento da utilizzare nelle verifiche idrauliche delle opere di attraversamento implementate nei modelli 1D sono state assunte, a favore di sicurezza, **i valori massimi tra quelli ottenuti dall'applicazione dei diversi metodi**, e riassunti nella seguente Tabella 7.

Tabella 17 – Portata di progetto per le interferenze oggetto di studio

Interferenza	Area bacino [km ²]	Tempo di ritorno di riferimento	Q Tr200 [m ³ /s]	Q Tr300 [m ³ /s]
PT05	17.21	Tr200	152.44	169.32
PT06	0.42	Tr200	9.11	10.39