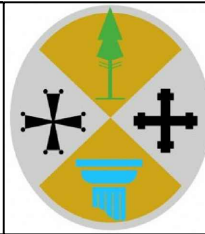




CITTÀ METROPOLITANA DI REGGIO CALABRIA



Intervento di sistemazione idraulica per la messa in sicurezza della Fiumara Armo nel Comune di Reggio Calabria” Codice Rendis 18IR003/G4 – CUP: J35J1900018001 - CIG: 876826592C

PROGETTO DEFINITIVO

Il R.U.P.
Geom. Saverio Calafiore

Il Progettista
Ing. Pasquale Penna



TITOLO ELABORATO:
RELAZIONE IDROLOGICA FIUMARA ARMO

ELABORATO N°:
D.ID.PR.04.RE.01.A

SIGLA			
REVISIONE	N	DATA	DESCRIZIONE
	A	A	Revisione
	B	B	Revisione
	C	C	Revisione
	D	D	Revisione

NOME FILE:
D.ID.PR.04.RE.01.A

DATA:
Dicembre 2021

SCALA:

INDICE

1. Premessa	1
2. Studio idrologico bacini idrografici	4
3. Dati pluviometrici e idrometrici	5
4. Stima delle portate attraverso l'analisi regionale	6
5. Stima delle piogge attraverso l'analisi regionale con metodo TCEV	8
6. Stima del coefficiente di deflusso	18
7. Calcolo della portata indice attraverso la stima delle piogge	20
8. Trasporto solido	23
8.1 - Calcolo delle perdite al suolo metodo di Gavrilovic	23
9. Studio idraulico	27
10 Caratteristiche del modello	28

1. Premessa

La presente relazione riguarda lo studio idrologico - idraulico relativo al bacino idrografico che alimenta l'alveo principale della Fiumara Armo. Gli interventi previsti, all'interno della Fiumara Armo, riguardano la sistemazione e la messa in sicurezza di due tratti del tronco principale.

Il primo tratto è compreso tra la quota +71.78, dove è presente l'attraversamento a raso che collega la strada comunale con la Contrada di Aretina, e la quota +86,27. Il secondo tratto è compreso tra la tombinatura esistente che attraversa la pista dell'aeroporto Tito Minniti e il Ponte della SS 106.

Gli interventi nel primo tronco di alveo, riguardano la scolmatura del materiale presente all'interno e il ripristino delle arginature alla sinistra e destra idraulica. Sul secondo tronco di alveo, saranno realizzati interventi di messa in sicurezza mediante la costruzione di un nuovo attraversamento che avrà la forma geometrica di uno scatolare in calcestruzzo armato, le cui dimensioni sono riportate negli elaborati grafici di progetto, la costruzioni di nuove arginature in calcestruzzo armato in sinistra e destra idraulica del torrente.

La finalità di questo studio sarà quella di valutare, mediante un approccio semiprobabilistico, il regime idraulico della fiumara e verificare l'interazione degli interventi da realizzare lungo i due tratti dell'alveo principale.

Gli interventi, come già descritto in precedenza, in generale prevedono la pulizia e scolmatura dell'alveo dal materiale sedimentato, risagomatura dell'alveo, regimentazione del corso d'acqua mediante realizzazione di nuovi argini in destra e sinistra idraulica, realizzazione di un nuovo attraversamento e costruzione di una briglia a monte del nuovo attraversamento.

Lo studio idrologico - idraulico è stato condotto per la fase ante operam e post operam utilizzando le portate di progetto i cui periodi di ritorno adottati, di seguito riportati, risultano in accordo al punto 2.5 delle Linee Guida PAI.

Dall'analisi della carta della perimetrazione delle aree a rischio idraulico (RI 80054/A), redatta dall'Autorità di Bacino Regionale nell'ottobre 2001, è emerso che i tratti di Fiumara oggetto di interventi ricadono in area a rischio R4.



Fig. 1 – Area a rischio idraulico con indicazioni aree di intervento

Alla luce di questi risultati, la realizzazione dell'intervento in progetto dovrà tenere conto delle situazioni evidenziate dall'A.B.R. e conseguentemente prevedere opere al fine di rimuovere o mitigare le condizioni di rischio evidenziate.

Lo studio idrologico – idraulico, quindi, serve come strumento, nella fase esecutiva della progettazione, per modificare la perimetrazione delle aree a rischio d'inondazione molto elevata ed elevata ai sensi degli articoli 21 e 24. L'art. 21 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico), consente nelle aree a rischio R4 e nelle aree di attenzione la realizzazione di:

- *interventi finalizzati alla manutenzione ordinaria e straordinaria delle infrastrutture, delle reti idriche e tecnologiche, delle opere idrauliche esistenti e delle reti viarie;*
- *interventi idraulici volti alla messa in sicurezza delle aree a rischio, previo parere dell'ABR, che non pregiudichino le attuali condizioni di sicurezza a monte e a valle dell'area oggetto dell'intervento.*

Il presente studio è stato redatto seguendo le indicazioni delle “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 d'attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio inondazione" del Piano Stralcio per Assetto Idrogeologico 2001. Esso è finalizzato alla caratterizzazione idrologica dei due tratti ed in particolare alla stima delle piene di progetto che possono verificarsi per assegnati tempi di ritorno in ottemperanza a quanto previsto dalle disposizioni legislative in atto vigenti e, in particolare, a:

- ✓ D.L. 180 dell'11.6.1998 concernente le "misure per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", convertito in legge n. 267 in data 3.8.1998,
- ✓ D.P.C.M. del 29 settembre 1998 concernente gli "atti di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto legge 11 giugno 1998 n. 180;
- ✓ Decreto Legge n. 279 del 12.10.2000 "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché delle zone della regione Calabria danneggiate dalle calamità idrogeologiche di settembre e ottobre 2000" convertito in legge n. 365/2001;
- ✓ D.M. LL.PP. del 4 maggio 1990 e Circolare Ministero LL.PP. n. 34233 del 25.2.1991 "prescrizioni normative ed indirizzi per la progettazione e la verifica idraulica dei ponti stradali";
- ✓ Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico (PAI) della Regione Calabria approvato con delibera del Consiglio Regionale nella seduta del 28.12.2001 e pubblicato sul B.U.R. della Regione Calabria in data 26.3.2002;
- ✓ 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 Tecnico dell'Autorità di Bacino Regionale in data 15.7.2002 e dal Comitato Istituzionale della stessa nella seduta del 31.7.2002.

Il presente studio è stato redatto seguendo le indicazioni delle "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 d'attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio inondazione" del Piano Stralcio per Assetto Idrogeologico 2001. Nel caso specifico la determinazione delle portate di progetto sarà relativo ai singoli tratti di intervento.

2. Studio idrologico bacini idrografici

Per l'analisi dei dati pluviometrici e, in particolare, delle piogge annue, mensili e dei massimi giornalieri ed orari, non avendo a disposizione dati sufficienti da estrapolare a tutto il bacino imbrifero, si è fatto riferimento a criteri basati sull'analisi regionale adottando come modello probabilistico il modello TCEV (Two Component Extreme Value) che bene si adatta ad interpretare la serie dei massimi annuali delle portate al colmo e dei massimi annuali di pioggia giornaliera ed in base al quale è possibile determinare, per i tempi di ritorno imposti, sia la curva di probabilità cumulata per diverse durate e stazioni di misura sia la curva di probabilità pluviometrica che lo caratterizzano.

Il modello TCEV consente di compiere un'analisi regionale mediante un approccio di tipo gerarchico basato su tre livelli successivi in base al quale si individuano regioni via via più ristrette nelle quali è possibile identificare un numero crescente di relazioni tra i parametri della distribuzione e i fattori climatici e fisiografici che caratterizzano i bacini.

Il procedimento è basato sull'andamento generale dei parametri che caratterizzano il legame tra le grandezze h , t e T_r sull'intera superficie della regione esaminata. Lo studio è quindi finalizzato alla valutazione delle portate al colmo di piena che possono defluire, nelle sezioni del reticolo idrografico in esame, con assegnato periodo di ritorno T .

Il modello T.C.E.V. costituisce una generalizzazione del modello di Gumbel, risultando infatti 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 (aventi, secondo il classico modello di Gumbel, una probabilità di superamento inferiore del 5% e, quindi, tali da potersi ritenere eccezionali).

Di seguito vengono riassunti i dati caratteristici dei bacini e sottobacini che hanno interessato la progettazione, utili al calcolo delle portate:

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI BACINI IDROGRAFICI					
Bacino	Area (Km ²)	H _{max} (m slm)	H _{min} (m slm)	H _{med} (m slm)	Lasta (Km)
Armo compl.vo	15,05	970,00	0,00	378,81	10,32
Armo I° Intervento	7,19	970,00	71,78	530,73	8,67



Fig. 1 – Bacino Idrografico F. Armo

3. Dati pluviometrici e idrometrici

Per lo studio della formazione delle piene, per bacini di dimensioni limitate come quelli presenti sul territorio calabrese, è solitamente richiesto l'uso dei dati delle precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi di tipo Pr (pluviografo registratore) o Pe (pluviometro a memoria elettronica) reperibili nella Parte I- Tabella III degli Annali idrologici pubblicate dal Servizio Idrografico e Mareografico Italiano.

Piuttosto che ricorrere ad una stima puntuale si preferisce effettuare una stima regionale dei parametri utilizzando tutti i dati rilevati all'interno della regione idrologica in esame. La regionalizzazione è un metodo per estendere la lunghezza delle serie storiche e per ridurre gli errori dovuti al difetto di campionatura.

La stazione di Armo, non fornisce dati di pioggia di durata inferiore alle 24 ore e pertanto, non potranno essere utilizzate nel seguito dello studio.

4. Stima delle portate attraverso l'analisi regionale

L'ipotesi di base su cui si fondano i modelli di regionalizzazione delle portate di piena, si riferiscono allo studio del modello di trasformazione afflussi/deflussi con la metodologia proposta su scala nazionale dal progetto VAPI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDICI). Questo studio si basa nell'ammettere l'esistenza di regioni, formate da bacini tra loro confinanti, ideologicamente omogenee nel senso che, da un punto di vista statistico, i regimi di piena dei corsi d'acqua che in esse scorrono sono caratterizzate da portate di colmo i cui valori normalizzati rispetto a quelli di una portata di riferimento (portata indice) sono descrivibili da una stessa distribuzione di probabilità denominata curva di crescita.

Secondo un approccio di tipo probabilistico si assume come piena di progetto, in una determinata sezione di un corso d'acqua, la portata di piena X_T caratterizzata da un periodo di ritorno T .

Una stima di X_T può essere ottenuta se si conosce la funzione di probabilità cumulata della variabile X che rappresenta il massimo annuale della portata al colmo di piena.

La funzione di probabilità cumulata (CDF) si indica con:

$$F_X(x) \Leftrightarrow P[X \leq x]$$

dove $P[X \leq x]$ esprime la probabilità che la variabile X assuma un valore non superiore ad x . Poiché si ha:

$$F_X(x) \Leftrightarrow 1 - 1/T$$

la stima di X_T può essere facilmente ottenuta una volta che sia nota la $F_X(x)$. Infatti inserendo il valore di T nell'espressione sopra riportata si ricava la corrispondente $F_X(x)$ e, da questa, la portata di progetto. La determinazione della $F_X(x)$ è, quindi, il problema centrale dell'analisi statistica delle piene e richiede il ricorso al modello probabilistico e la stima dei parametri che lo rappresenta.

Il modello probabilistico a cui si farà riferimento è il modello TCEV adottato, peraltro, anche nel progetto VAPI (Valutazione Piene).

Secondo il metodo TCEV (Two Component Extreme Value) la CDF (Cumulative Distribution Function) della variabile casuale X , massimo annuale della portata al colmo di piena, è espressa come segue:

$$1) F_x(x) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-X/\theta_1) - \Lambda_2 \exp(-X/\theta_2)]$$

essendo $\Lambda_1, \theta_1, \Lambda_2, \theta_2$ i quattro parametri della distribuzione.

Essa equivale al prodotto delle due CDF della legge del valore estremo di Gumbel con cui coincide per $\Lambda_2 = 0$.

I quattro parametri esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia delle due popolazioni (Λ_1 e Λ_2) ed il loro valore medio (θ_1 e θ_2).

Se si pone

$$\theta^* = \theta_2/\theta_1 \text{ e } \Lambda^* = \Lambda_2/\Lambda_1^{1/\theta^*}$$

si può considerare la quaterna di parametri $\Lambda^*, \theta^*, \Lambda_1, \theta_1$.

La stima dei parametri avviene su scala regionale attraverso un approccio gerarchico su più livelli:

- 0) livello di regionalizzazione zero in cui i parametri sono tutti stimati dalla singola serie di dati, qualora se ne possiedono, nel sito di interesse;
- 1) livello di regionalizzazione uno in cui i parametri Λ^*, θ^* sono stimati regionalmente ed i parametri Λ_1, θ_1 sono stimati puntualmente;
- 2) livello di regionalizzazione due in cui i parametri $\Lambda^*, \theta^*, \Lambda_1$ sono stimati regionalmente ed il parametro θ_1 è stimato puntualmente;
- 3) livello di regionalizzazione tre in cui tutti i parametri sono stimati regionalmente.

Il valore della grandezza idrologica X_T che corrisponde ad un tempo di ritorno T (durata media fra due superamenti consecutivi), si ricava in funzione di T e dei quattro parametri sopra stimati.

In assenza di dati si farà, invece, ricorso al terzo livello di regionalizzazione. Lo studio "Valutazione delle piene in Calabria (VAPI)" di Versace ed al. (1989) ha verificato l'ipotesi che la Calabria sia una zona idrometricamente omogenea riguardo a Λ^* e θ^* , che assumono, quindi, un valore costante, rispettivamente, pari a 0,350 e 2,654 m³/sec.

Sono state, inoltre, individuate tre sottozone in cui è costante Λ_1 così come di seguito indicato:

- sottozona tirrenica T: $\Lambda_1 = 10,417$;
- sottozona centrale C: $\Lambda_1 = 5,519$;
- sottozona ionica I: $\Lambda_1 = 3,047$.

Per le tre sottozone le espressioni fornite dal rapporto VAPI della curva di crescita, cioè della CDF della variabile casuale $X' = X/Q_m$ essendo Q_m la media dei massimi annuali delle portate al colmo di piena, sono le seguenti:

- sottozona tirrenica T:

$$F_x(x) = \exp[-10,147*(38,458)^{-x'} - 0,837*(3,956)^{-x'}] \quad (1)$$

- sottozona centrale C:

$$F_x(x) = \exp[-5,519*(20,918)^{-x'} - 0,665*(3,154)^{-x'}] \quad (2)$$

- sottozona ionica I:

$$F_x(x) = \exp[-3,047*(11,550)^{-x'} - 0,532*(2,154)^{-x'}] \quad (3)$$

Sempre in assenza di dati idrometrici la portata media Q_m è legata all'area ridotta A_{rid} (area del bacino priva delle parti calcaree fessurate e delle aree sottese da invasi di notevoli dimensioni).

$$Q_m = 1.578 * A_{rid}^{0,839}$$

Noti i quattro parametri la 1) esprime il legame tra F_x ed X .

La procedura di calcolo relativa al terzo livello di regionalizzazione, cioè in assenza di dati, prevede la scelta di un valore del tempo di ritorno T , la valutazione della probabilità di non superamento ad esso legata

$F(T) = (T - 1)/T$ ed il calcolo di x dalla 1). Tale x è proprio Q_T , massimo annuale della portata al colmo di piena, per un fissato tempo di ritorno.

5. Stima delle piogge attraverso l'analisi regionale con metodo TCEV

A causa dell'assenza di stazioni di misura pluviometriche nel bacino oggetto di studio, l'analisi statistica delle piogge di breve durata (1-24 ore) è stata condotta mediante la legge di

distribuzione a doppia componente TCEV (Two Component Extreme Value distribution) (Rossi & Versace, Criteri e metodi per l'analisi statistica delle piene, "Valutazione delle Piene", 1982), (Rossi, Fiorentino, & Versace, Two Component Extreme Value distribution for flood frequency analysis, 1984). La distribuzione TCEV è stata sviluppata nell'ambito del Progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia, dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Tale progetto si poneva come obiettivo la regionalizzazione delle piogge intense su tutto il territorio nazionale. La distribuzione TCEV prende spunto dall'osservazione empirica dei campioni dei massimi annuali delle precipitazioni di breve durata, che ha portato a riconoscere l'esistenza di alcuni valori eccezionali, denominati outliers, estremamente più elevati degli altri e responsabili dei maggiori danni: dal punto di vista statistico tali valori vengono considerati appartenenti ad una popolazione diversa, legata ad una differente fenomenologia meteorologica. Tale legge traduce, pertanto, in termini statistici, la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel: la prima, denominata componente base, assume valori non elevati ma frequenti mentre la seconda, denominata componente straordinaria, genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti. La legge di distribuzione TECV ha espressione

$$P(h_t) = \exp \left[-\lambda_1 \exp \left(-\frac{h_t}{\vartheta_1} \right) - \lambda_2 \exp \left(-\frac{h_t}{\vartheta_2} \right) \right]$$

con:

$P(h_t)$ probabilità di non superamento dell'altezza di pioggia h_t di durata t ;

λ_1 numero medio di eventi della componente base;

λ_2 numero medio di eventi della componente straordinaria;

$\lambda_1 \gg \lambda_2$

ϑ_1 valor medio degli eventi della componente base;

ϑ_2 valor medio degli eventi della componente straordinaria;

$\vartheta_2 \gg \vartheta_1$

La stima dei quattro parametri $\lambda_1, \lambda_2, \vartheta_1, \vartheta_2$ può essere condotta con il metodo della massima verosimiglianza (Fiorentino & Gabriele, Distribuzione TCEV: metodi di stima dei parametri e proprietà statistiche degli stimatori, 1985), sia a partire da una singola serie di dati, sia utilizzando una idonea procedura di regionalizzazione.

La presenza di quattro parametri conferisce al modello probabilistico TCEV caratteristiche di maggiore flessibilità, migliorando l'adattamento alle singole serie, ma comporta maggiori difficoltà connesse al metodo di stima dei parametri ed una notevole variabilità della stima con la dimensione campionaria della serie storica disponibile (Landwehr, Matalas, & Wallis, 1980). In questi casi, per ridurre l'incertezza nella stima dei parametri, è necessario utilizzare una procedura di regionalizzazione che si basa sull'ipotesi che le stime regionali dei parametri siano più affidabili di quelle condotte su singole serie storiche in quanto ottenute a partire da un notevole numero di dati storici rilevati all'interno della regione idrologica in esame. Pertanto, la regionalizzazione è un mezzo per estendere la lunghezza delle serie storiche e per ridurre gli errori dovuti a difetti di campionatura (Fiorentino, Gabriele, Rossi, & Versace, 1987), (Rossi & Villani, Regional flood estimation methods, 1992), (Stediger, 1983).

La legge di distribuzione si può anche scrivere come:

$$P(y) = \exp \left[-\exp(-y) - \Lambda^* \exp \left(-\frac{y}{\Xi^*} \right) \right]$$

con:

$$y = \frac{h_t}{\vartheta_1} - \ln \lambda_1$$

$$\Xi^* = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$$

$$\Lambda^* = \frac{\lambda_2}{\lambda_1^{\Xi^*}}$$

Le espressioni precedenti sono state ricavate a partire da analisi svolte nel campo dei valori reali di y (Beran, Hosking, & Arnell, 1986). Tali analisi hanno evidenziato anche che il coefficiente di asimmetria della distribuzione di probabilità TCEV dipende solo dai parametri Λ^* e Θ^* mentre il coefficiente di variazione dipende da Λ^* , Θ^* e λ_1 . Inoltre, si ha:

$$\mu = \vartheta_1 \left[\ln \lambda_1 + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j} \Gamma\left(\frac{j}{\vartheta_1^*}\right)}{j!} \right]$$

con Γ funzione gamma.

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi, in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni dati statistici (Beran, Hosking, & Arnell, 1986):

- Primo livello di regionalizzazione: si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante in una regione molto ampia, denominata zona omogenea, alla quale vengono a competere due valori costanti dei parametri Λ^* e ϑ^* ;
- Secondo livello di regionalizzazione: si individuano sottozone omogenee, interne a quelle individuate al primo livello, nelle quali risultino costanti i coefficienti di asimmetria e di variazione della legge teorica Λ^* , ϑ^* e λ_1 ; si ottiene quindi:

$$P(h'_t) = \exp \left\{ -\lambda_1 \left[\exp \left(\frac{\mu}{\vartheta_1} \right) \right]^{-h'_t} - \Lambda^* \lambda_1^{\frac{1}{\vartheta_1^*}} \left[\exp \left(\frac{\mu}{\vartheta_1^*} \right) \right]^{-h'_t} \right\}$$

con:

$$h'_t = \frac{h_t}{\mu}$$

In definitiva, la variabile h'_t risulta identicamente distribuita in ciascuna sottozona mentre la scelta della media μ come parametro centrale della distribuzione è utile se si verifica una sostanziale coincidenza con la media campionaria, la quale, essendo svincolata dalla procedura gerarchica di regionalizzazione, consente un facile aggiornamento;

- Terzo livello di regionalizzazione: si individuano relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità e le grandezze, prevalentemente geografiche (quali altitudine e distanza dal mare) del sito di misura. Il valor medio μ_i delle intensità di pioggia massime annuali di breve durata, la durata della pioggia e l'altitudine media del bacino sono legate tra loro dalla seguente relazione:

$$\mu_i(t, H) = \frac{i_0}{\left(1 + \frac{t}{t_{car}}\right)^{C-DH_{med}}}$$

con:

- i_o intensità di pioggia per durate tendenti a zero;
- t_{car} durata caratteristica, che rende massimo il coefficiente di correlazione multipla;
- C, D coefficienti caratteristici dell'area pluviometricamente omogenea.

Valgono, inoltre, le seguenti relazioni:

$$\mu_h(t) = \mu_i(t)t$$

$$\theta_1(t) = \frac{\mu_h(t)}{\eta(t)}$$

La procedura di calcolo, al terzo livello di regionalizzazione, si articola nelle seguenti fasi:

- 1) scelta del tempo di ritorno;
- 2) valutazione della probabilità di non superamento a esso legata:

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

- 3) calcolo del massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata t , per un fissato tempo di ritorno, invertendo la distribuzione cumulata del modello TCEV.

Lo studio sui bacini calabresi è stato condotto dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Cosenza (CNR-IRPI), che ha suddiviso la Calabria in tre sottozone e tredici aree pluviometricamente omogenee, suddivise in:

- Ionica:
I1 Alto Ionio; I2 Marchesato; I3 Medio e basso Ionio; I4 Aspromonte meridionale;
- Centrale:
C1 Basso Crati; C2 Sila Grande; C3 Sila Greca; C4 Sila Piccola; C5 Serre Orientali;
- Tirrenica:
T1 Pollino; T2 Sila Grande; T3 Alto e medio Tirreno; T4 Stretto.



Fig. 2 – Calabria: sottozone pluviometricamente omogenee Fig. 3 – Calabria: aree pluviometricamente omogenee

Al 2° livello di regionalizzazione i valori dei parametri di forma θ_* , Λ_* e di scala Λ_1 del modello TCEV per i massimi annuali di pioggia giornaliera e di portata al colmo assumono i valori riportati nella tabella 1.

	Piogge giornaliere
	1° LIVELLO
θ_*	2.154
Λ_*	0.418
	2° LIVELLO
Λ_1 TIRRENO	48.914
Λ_1 CENTRO	22.878
Λ_1 IONIO	10.987

Tab. 1 - Valori regionali dei parametri TCEV relativi al 2° livello di analisi regionale.
In base ai valori riportati nella tabella 1, le espressioni ottenute per le leggi di crescita nelle diverse sottozone omogenee (2° livello di regionalizzazione, θ_* , Λ_* e Λ_1 costanti) sono riportate nella tabella 2.

Piogge giornaliere
$F_{x'}(x') = \exp \left[- 48.914 (177.96)^{-x'} - 2.542 (11.068)^{-x'} \right]$ TIRRENO
$F_{x'}(x') = \exp \left[- 22.878 (83.341)^{-x'} - 1.786 (7.794)^{-x'} \right]$ CENTRO
$F_{x'}(x') = \exp \left[- 10.987 (39.986)^{-x'} - 1.271 (5.549)^{-x'} \right]$ IONIO

Tab. 2- Espressioni delle leggi di crescita delle piogge giornaliere della regione Calabria.

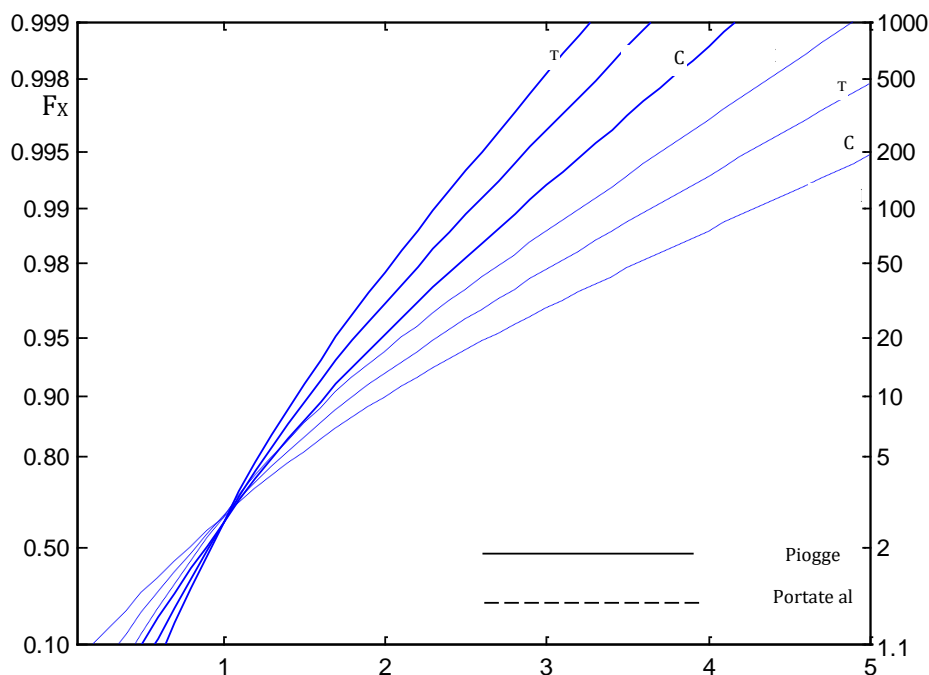


Fig.3- Leggi di crescita di portate al colmo e piogge giornaliere relative al 2° livello di analisi regionale

Il bacino dell'Armo, oggetto di studio, ricade interamente nella sottozona pluviometricamente omogenea Tirrenica. Per tale zona, il valore del parametro Λ_1 è pari a 48.914.

Una volta sostituiti i valori dei parametri nella distribuzione di probabilità, per la sottozona pluviometricamente omogenea Tirrenica si ottiene la curva di crescita $F_x(x')$.

Nella tabella sono riportati, per diversi periodi di ritorno, i valori di K_T nelle singole sottozone omogenee, sono stati determinati tramite i parametri della distribuzione di probabilità dei massimi di pioggia giornaliera.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (Tirreno)	0.92	1.22	1.45	1.69	1.78	1.95	2.04	2.32	2.6	2.98	3.27

K_T (Centrale)	0.91	1.26	1.53	1.81	1.91	2.12	2.22	2.54	2.87	3.32	3.65
K_T (Ionio)	0.89	1.31	1.63	1.97	2.09	2.34	2.46	2.85	3.25	3.78	4.18

Tab. 3 - Valori teorici del coefficiente di crescita per le piogge in Calabria per alcuni valori del tempo di ritorno

La scelta della procedura da utilizzare, e quindi del livello di regionalizzazione al quale fare riferimento, dipende sostanzialmente dalla dimensione campionaria.

- La stima puntuale di tutti e 4 i parametri (*livello 0 di regionalizzazione*) presenta una elevata incertezza per le dimensioni usuali delle serie campionarie ed è quindi poco utilizzata.
- Quando si dispone di almeno 40÷50 anni di osservazione, si può adottare il *1° livello di regionalizzazione*, utilizzando le stime regionali dei parametri di forma θ_* e Λ_* . Per i rimanenti due parametri del modello si utilizzano i dati della serie campionaria, effettuando una stima puntuale di Λ_1 e θ_1 vincolata ai parametri θ_* e Λ_* con il metodo della massima verosimiglianza (approccio $F_X(x)$).
- Se si dispone di almeno 20÷30 anni di osservazione, adottando al *2° livello di regionalizzazione* i valori regionali stimati per i parametri θ_* , Λ_* e Λ_1 si può effettuare sulla base dei dati campionari una stima vincolata di θ_1 ai parametri θ_* , Λ_* , Λ_1 con il metodo della massima verosimiglianza (approccio $F_X(x)$). Se invece si utilizza la curva di crescita, al valore regionale dei parametri θ_* , Λ_* e Λ_1 si può affiancare la media aritmetica della serie campionaria, \bar{x} , come stima del valore indice μ . Quest'ultimo metodo è più semplice e di immediata applicabilità.
- Nel caso in cui le osservazioni campionarie manchino completamente o siano scarse per qualità e dimensione, al *3° livello di analisi regionale* si preferisce adottare la curva di crescita e affiancare ai valori regionali di θ_* , Λ_* e Λ_1 la stima di \bar{x} ottenuta dalle relazioni empiriche identificate per la singola area omogenea (tabelle 3-4). La stima del frattile x_T è ottenuta in questo livello in modo completamente regionale.

Nel caso specifico, lo studio idrologico – idraulico segue il terzo livello di analisi regionale seguendo l'approccio del CNR – 1989. I cui valori, nel caso della Fiumara Armo ricadente all'interno della sottozona Tirrenica "T4", sono:

$$\theta_* = 2,154 \quad \Lambda_* = 0,418 \quad \Lambda_1 = 48,914$$

Il terzo livello di regionalizzazione 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 si è stata osservata, all'interno di aree omogenee, una buona relazione tra la media annuale dei massimi giornalieri e la quota. Si è 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, h , del tipo

$$m[h_g] = C Z + D$$

in cui C e D sono due parametri variabili da area ad area. Nel caso della Calabria sono state individuate 13 aree pluviometriche omogenee i cui coefficienti sono riportati in Tab. 10.3.

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:

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

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

Si è notato, inoltre, che il rapporto:

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

relative 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 si ottiene:

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

con n pari a:

$$\frac{C Z + D + \text{Log } r - \text{Log } a}{\text{Log } 24}$$

il parametro a della 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 $N \geq 20$.

Per l'area pluviometricamente omogenea T4 "Stretto", in cui ricade il bacino oggetto del presente studio idrologico, il progetto VAPI riporta i seguenti valori dei parametri:

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	1,840
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 meridionale	34,13	0,00027	1,817

Tab. 4 - Valori dei parametri al 3° livello delle piogge estreme per singola area omogenea

Sostituendo i valori nell'espressione precedente, considerando come quota Z l'altezza media del bacino si ottiene:

VALORI CARATTERISTICI DEL PARAMETRO "n"						
Bacino	Area (Km ²)	H _{MAX} (m slm)	H _{MIN} (m slm)	H _{MED} (m slm)	L _{ASTA} (Km)	n
Armo compl.vo	15,05	970,00	0,00	378,81	10,32	0,354
Armo l° Intervento	7,19	970,00	71,78	530,73	8,67	0,287

Tab. 5 - Valori dei parametri n

Le curve di probabilità pluviometrica $h = a \cdot t^n$, afferenti lo studio idrologico, avranno i parametri riportati nella tabella seguente.

	t_c (ore)	a (50)	a (200)	$H_{cr 50}$	$H_{cr 200}$
F. ARMO COMPLESSIVO	2,02	59,2	80,8	75,93	103,63
F. ARMO I° INTERVENTO	1,78	60,9	80,6	71,86	95,10

Tab. 6 - Valori caratteristici dell'altezza di pioggia in relazione ad un prefissato periodo di ritorno

6. Stima del coefficiente di deflusso

La teoria classica di Horton attribuisce alla superficie del suolo il ruolo di partizionare la pioggia netta: una parte raggiunge rapidamente la rete idrografica per deflusso superficiale, l'altra si infiltra e si muove lentamente come deflusso di base.

In un dato istante il terreno ha una capacità di infiltrazione f , se su di esso insiste una pioggia con intensità i (maggiore di f) la frazione $(i-f)$, detta afflusso efficace, alimenta il deflusso superficiale.

La capacità di infiltrazione diminuisce esponenzialmente nel tempo quindi è probabile che all'inizio dell'evento f sia maggiore di i e di conseguenza tutta la pioggia si infiltre nel suolo, successivamente, quando $(i-f)$ diviene positivo, una frazione di essa contribuisce, su tutta la superficie del bacino, alla produzione di deflusso superficiale.

Dal punto di vista pratico, nell'idrologia di progetto quando si applicano i vari metodi per il calcolo della portata, si può ricorrere spesso al generico termine concettuale "deflusso diretto", che rappresenta la porzione di deflusso che contribuisce alla formazione della piena.

Ai fini progettuali, si parametrizza la pioggia efficace sulle caratteristiche morfometriche, geolitologiche, pedologiche e vegetazionali del bacino, introducendo un parametro di corrispondenza tra la pioggia precipitata e quella defluita che prende il nome di coefficiente di deflusso C , ed è dato dal rapporto tra il volume (che coincide con la pioggia efficace) defluito

dal bacino in un dato intervallo di tempo ed il relativo afflusso costituito dalla precipitazione totale:

$$C = P_e/P$$

La stima del coefficiente C è certamente l'elemento più incerto nell'applicazione della formula. Esistono diverse formule empiriche e tabelle in cui compaiono la tipologia del suolo e la copertura della superficie del bacino, la pendenza del corso d'acqua, il tempo di ritorno. Nella pratica ingegneristica il problema della valutazione delle perdite idrologiche viene affrontato spesso in maniera globale attraverso la stima del cosiddetto coefficiente di afflusso definito come rapporto tra il volume defluito e quello di precipitazione. Anche se in realtà tale coefficiente C dovrebbe essere variabile nel tempo (in quanto dipendente da fattori, come ad esempio l'umidità del terreno, che variano durante l'evento meteorico) considereremo C costante.



Una tabella proposte da R.H. McCuen “A Guide to Hydrological Analysis using SCS Methods” che mette in relazione i valori di C con il tipo di uso suolo (asfalto, coltivazioni, pascoli, boschi etc.), e con la permeabilità del substrato (tipo A, B, C, D).

La suddivisione delle zone a differente uso del suolo, ottenibile dalla carta dell'uso dei suoli allegata, fornisce i valori di seguito riportati di C .

USO DEL SUOLO	Tipo permeabilità	C	Ai/Atot
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	B	0.69	57.47%
Boschi di conifere e latifoglie	A	0.56	3.24%
Colture annuali associate a colture permanenti	B	0.73	0.16%
Rocce nude, falesie, rupi ed affioramenti	A	0.77	29.06%
Seminativi in aree non irrigue	A	0.70	4.71%
Tessuto urbano continuo	A	0.77	0.26%
Tessuto urbano discontinuo	B	0.72	5.10%

Tab. 7 - Valori del coefficiente C di deflusso.

Effettuando una media pesata, con pesi uguali alle percentuali di area, si ricava un valore globale del coefficiente di afflusso $C = 0.70$.

7. Calcolo della portata indice attraverso la stima delle piogge

Per la durata di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h e per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, applicando il modello TCEV al terzo livello di regionalizzazione, si ottengono le altezze di pioggia.

Per la determinazione della portata, una volta conosciuta la curva di probabilità pluviometrica, sarà necessario calcolare il tempo di corrivazione del bacino (tempo che impiega la particella d'acqua più lontana a raggiungere la sezione di chiusura del bacino).

Nel caso in esame, poiché sono stati programmati due interventi di sistemazione, precisamente tra l'intubata, che attraversa la pista dell'aeroporto Tito Minniti, fino al Ponte della SS 106, e il tratto compreso tra la quota di inizio degli interventi in alveo, pari a +86,27, e la quota di conclusione interventi coincidente con l'attraversamento a raso, a quota +71,78, il tempo di corrivazione si andrà a determinare per ogni singolo intervento.

Per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino si è utilizzata la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$$

dove:

- S è l'area del bacino espressa in Km²;

- L è la lunghezza dell'asta principale espressa in Km;
- H_m è l'altezza media del bacino espressa in m s.l.m.;
- H_0 è la quota della sezione di chiusura del bacino espressa in m s.l.m.

Tempo corrivazione	S (km ²)	L (km)	H_m (m)	H_0 (m)	t_c (ore)
F. ARMO COMPLESSIVO	15,05	10,64	378,81	0,00	2,02
F. ARMO I° INTERVENTO	7,19	8,67	530,73	71,78	1,38

Tab. 8 - Valori caratteristici del tempo di corrivazione t_c

Determinato il tempo di corrivazione del bacino, si dovrà calcolare l'intensità di pioggia data dal rapporto tra l'altezza di pioggia, per il fissato tempo di ritorno, e il tempo di corrivazione del bacino.

L'altezza di pioggia per il fissato tempo di corrivazione è uguale a:

$$h = 26,73 \cdot t_c^n$$

l'intensità di pioggia è data da:

$$i = \frac{h}{t_c}$$

Tempo corrivazione	S (km ²)	L (km)	t_c (ore)	n	h_{50} (mm)	i_{50} (mm/h)	h_{200} (mm)	i_{200} (mm/h)
F. ARMO COMPLESSIVO	15,05	10,64	2,02	0,354	75,93	37,58	103,63	51,30
F. ARMO I° INTERVENTO	7,19	8,67	1,38	0,287	52,07	37,73	95,10	68,91

Tab. 9 - Valori dell'altezza e dell'intensità di pioggia in funzione del tempo di corrivazione

Le Linee Guida ABR forniscono indicazioni per la stima della massima portata al colmo di piena mediante metodi analitici (Appendice A, punto 4). La stima della massima portata al colmo di piena è stata eseguita adottando il metodo razionale, che concorda sostanzialmente con i risultati derivanti dall'applicazione del modello afflussi-deflussi SCS-CN.

Tale metodo, nel quale si ipotizza la pioggia uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo, si fonda sull'uso della curva di probabilità pluviometrica (della pioggia ragguagliata) nonché sulle seguenti assunzioni:

- la portata al colmo Q_T con assegnato tempo di ritorno T risulta la maggiore tra le portate al colmo di tutti gli eventi di piena ad intensità costante, ricavati dalla curva di probabilità pluviometrica con tempo di ritorno T ;
- a parità di tempo di ritorno T , la portata al colmo maggiore sia stata prodotta dall'evento con durata uguale al tempo di corrivazione t_c del bacino;
- la portata al colmo Q dell'evento di piena causato da una precipitazione (ragguagliata), rappresentata da uno ietogramma ad intensità costante di durata t_c , risulta proporzionale al prodotto tra l'intensità di pioggia ragguagliata i_r e l'area del bacino A , tramite un coefficiente di proporzionalità C che consente di tenere conto delle perdite.

La portata Q_T , per un prefissato periodo di ritorno T , è fornita dalla relazione:

$$Q_T = \frac{C \cdot i \cdot S}{3,6} = m^3/s$$

dove:

- C è il coefficiente di afflusso che tiene conto delle perdite assunto pari a $0,7$;
- i è l'intensità di pioggia espressa in mm/h ;
- S è l'area del bacino espressa in Km^2 .

BACINO	S (km^2)	t_c (ore)	h_{50} (mm)	i_{50} (mm/h)	h_{200} (mm)	i_{200} (mm/h)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{200} (m^3/s)
F. ARMO	15,05	2,02	75,93	37,58	103,63	51,30	109,97	150,12
F. ARMO 1° INTERVENTO	7,19	1,38	52,07	37,73	95,10	68,91	52,75	96,34

Tab. 10 - Valori dell'altezza e dell'intensità di pioggia in funzione del tempo di corrivazione

Le portate di piena per i tempi di ritorno a 50 e 200 anni sono state calcolate rispettivamente alle sazone di chiusura dei due interventi previsti in progetto.

8. Trasporto solido

La valutazione quantitativa dell'erosione nei bacini di drenaggio può essere affrontata con varie metodologie, che differiscono fra loro sia per il significato dei risultati, che per le condizioni di applicabilità.

8.1 – Calcolo delle perdite al suolo metodo di Gavrilovic

Richiede l'introduzione dei dati geometrici del bacino e di parametri legati all'erodibilità (in funzione del tipo di vegetazione, dei litotipi e delle condizioni morfologiche) del settore del bacino stesso soggetto ad erosione. Viene fornito come risultato la quantità di materiale che può essere perduta dal bacino in un anno per erosione.

La relazione, sui cui si basa il metodo, è la seguente:

$$W = \pi \cdot A \cdot T \cdot h \cdot \sqrt{Z^3}$$

dove i parametri:

W è la perdita di suolo media annua, espressa in m³;

A è l'area del bacino espresso in Km²;

h è la precipitazione annuale media in mm;

T = coefficiente di temperatura = $\sqrt{\frac{t}{10}} + 0.1 = 1,414$

t = temperatura media annua del bacino = 19° C;

Z è il coefficiente di erosione relativa, determinabile con la seguente espressione analitica:

$$Z = X \cdot Y (\phi + \sqrt{I_m})$$

in cui:

X è un fattore di protezione del suolo ad opera della copertura vegetale;

Y è un fattore di erodibilità del suolo in funzione della struttura litologica;

φ è un fattore che esprime il grado e la tipologia dei processi erosivi;

I_m è la pendenza media del bacino in m/m.

Il valore del parametro di protezione X è stato valutato, per ogni sub-area bacinale contribuyente fino ad ottenere un valore medio ponderato sull'area dell'intero bacino. L'attribuzione dei valori ai coefficienti parametrici X , Y e ϕ è avvenuta mediante l'adattamento e l'uso delle tabelle proposte dagli autori (Zemljic 1971) ed in conformità a stime delle superfici dei diversi sub-bacini in funzione dei fattori uso del suolo e/o della copertura vegetale, della geologia e dei processi geomorfologici. Nel presente studio l'applicazione del modello di Gavrilovic è stata specificatamente adattata alla realtà del bacino idrografico sopra citato. Per la valutazione del valore dei fattori X_i , con i che varia tra 1 e n superfici S_i , caratterizzate da una determinata tipologia di uso e/o copertura del suolo, sono stati rivalutati secondo un valore medio pesato sulla superficie totale del bacino per ottenere il valore di X associato all'intero bacino stesso. Analogamente, la parametrizzazione del valore dei fattori Y_j , con j che varia tra 1 e n superfici S_j , caratterizzate da un substrato litologico, è stata condotta attraverso la riclassificazione del dataset della geologia dei substrati, associando dei valori ad ogni superficie caratterizzata da un particolare substrato geologico, in seguito rivalutati secondo un valore medio pesato per ottenere il valore di Y associato al bacino. Per la valutazione del fattore ϕ , infine, si è proceduto in prima analisi alla mappatura, per aerofotointerpretazione delle superfici interessate da diverse forme e processi geomorfologici erosivi di vario grado e, quindi, alla redazione, per il bacino, di un nuovo dataset, con topologia poligonale, da inserire nel database; in seguito si è proceduto all'attribuzione dei valori ϕ_k , con k che varia tra 1 e s superfici distinte secondo la mappatura e caratterizzate da un particolare processo geomorfologico erosivo. I valori sono stati rivalutati secondo un valore medio pesato sulla superficie totale del bacino per ottenere il valore di ϕ associato al bacino intero. Attraverso un processo di analisi spaziale condotto sul raster delle pendenze è stato calcolato il valore $I_m^{1/2}$. Il valore della temperatura media annua t' utilizzato per il calcolo del fattore T deriva dall'analisi statistica condotta sui dati delle termometrie medie annuali relative alla stazione meteorologica di Reggio Calabria ed è $t' = 19^\circ\text{C}$.

Valori medi mensili ed annuale

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Med
11.6	11.8	12.9	15.6	19.1	23.2	26.1	26.5	23.9	20.1	16.4	13.0	19.0

Analogamente, il valore della precipitazione media annua **h** utilizzato nel calcolo della formula di Gavrilovic deriva dall'interpolazione e dall'analisi statistica condotta sui dati delle altezze di pioggia medie annuali registrate nella stessa stazione meteorologica di Armo ed è **h = 3.701,6 mm**. Di seguito sono riportate le Tabelle in cui sono riassunti i valori associati ai coefficienti X, Y e ϕ derivanti dai datasets dell'uso e della copertura del suolo e della geologia delle aree interessate da forme e processi geomorfologici erosivi. I valori riportati nelle Tabelle derivano dall'osservazione delle tabelle proposte da Zemljic (1971) e sono stati adattati alla realtà locale anche in funzione della scala di dettaglio con cui è stato redatto il database (G. Gisotti e M. Benedini, 2000). Infatti, per quanto riguarda l'uso e della copertura del suolo si deve osservare che numerose classi di legenda non sono citate nelle tabelle dello Zemljic e pertanto i valori sono stati adattati operando una scelta ponderata e sulla base di osservazioni dirette in campo.

VALORI DEL FATTORE X DI PROTEZIONE DEL SUOLO DALL'EROSIONE		
CODICE UDS	VOCI DESCRITTIVE DI LEGENDA	VALORI DI X
1111	Centro città con uso misto, tessuto urbano continuo molto denso	0,15
1121	Tessuto urbano discontinuo denso con uso misto	0,10
1132	Strutture residenziali isolate	0,50
1131	Complessi residenziali comprensivi di area verde	0,25
131	Aree estrattive	1,00
1213	Aree destinate a servizi pubblici, militari e privati	0,15
1223	Rete ferroviaria con territori associati	0
1221	Rete stradale veloce con territori associati	0
1214	Infrastrutture di supporto	0
123	Aree portuali	0
132	Discariche	0,70
133	Aree in costruzione	1,00
141	Aree verdi urbane	0,60
14	Spazi verdi artificiali non agricoli (extraurbani)	0,85
142	Aree ricreative e sportive	0
2127	Sementi in aree irrigue	0,90
2112	Colture estensive	0,95
2124	Colture orticole in serra o sotto tendoni in aree irrigue	0,10
221	Vigneti	0,70
222	Frutteti (e frutti minori)	0,70

223	Oliveti	0,70
332	Rocce nude	1,00
32211	Arbusteti (Brughiere e cespuglietti)	0,10
3232	Macchia bassa e garighe	0,65
3231	Macchia alta	0,10
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	0,05

Tab. 8 – Tabella dei valori del coefficiente X o fattore di protezione suolo

VALORI DEL FATTORE Φ D'INTENSITA' EROSIVA DEI PROCESSI GEOMORFOLOGICI	
VOCI DESCRITTIVE DI LEGENDA	Valori di Φ
Processi di erosione eolica costiera (molto debole: < 20 % del bacino)	0,10
Processi di erosione laminare debole (< 50 % del bacino)	0,30
Processi di erosione laminare intensa, detriti di falda e depositi incisi, erosione carsica (> 50 % del bacino)	0,60
Processi di erosione laminare intensa e formazione di franamenti (< 80 % del bacino)	0,80
Processi di erosione lineare da deflusso in talweg, di erosione di sponda, di incisione di canali e franamenti (> 80 % del bacino)	1,00

Tab. 9 – Tabella dei valori del Coefficiente ϕ o Fattore d'intensità di erosione di processi geomorfologici

VALORI DEL FATTORE Y DI ERODIBILITA' DEL SUOLO	
VOCI DESCRITTIVE DI LEGENDA	Valori di Y
Rocce dure, resistenti all'erosione come porfidi, graniti, quarziti, sieniti, gneiss e serpentiniti	0,40
Rocce con moderata resistenza all'erosione come dioriti, brecce calcaree, dolomie e calcari	0,80
Rocce friabili, stabilizzate come arenarie, travertini, ardesie, calcareniti e tufi	1,20
Rocce sedimentarie poco resistenti, come sabbie, ghiaie, morene ed argille	1,80
Sedimenti molto fini non resistenti come loess e limi	2,00

Tab. 10 – Tabella dei valori del Coefficiente Y o Fattore geolitologico di erodibilità del suolo

Sulla base dei valori riportati nelle Tabelle ed attraverso le procedure precedentemente descritte, sono stati calcolati per il bacino i fattori X, Y e G per la determinazione del coefficiente di erosione relativa Z, secondo quanto riportato nella formulazione di Gavrilovic.

FATTORE	BACINO IDROGRAFICO
	Fiumara Armo
ϕ	0,80
X	0,43
Y	1,80
I_m	0,33
Z	1,06
A (km²)	7,19
W (m³)	129,66

Tab. 11 - Tabella riassuntiva dei valori dei coefficienti parametrici e del sedimento annuo.

Si può affermare, quindi, che la quantità, di sedimento medio, annua prodotta dal bacino idrografico, in esame, che arriva sulla spiaggia di Torre Calderina, è pari al quantitativo: **W = 126,66 m³/anno**. Ovviamente la quantità di sedimento stimata è una quantità lorda, poiché non tutta la quantità W calcolata, in metri cubi, è quella che giunge alla sezione di chiusura del bacino idrografico, infatti, una certa quantità di sedimenti erosi e trasportati, sono depositati prima di giungere alla sezione di chiusura considerata.

9. Studio idraulico

La finalità del presente studio è quella di verificare se le sezioni d'alveo sono sufficientemente idonee a far defluire le portate di progetto per un determinato periodo di ritorno nel tratto dell'asta torrentizia interessata dagli interventi.

Lo studio idrologico della Fiumara Armo è stato redatto in conformità e secondo le specifiche riportate nella Parte II – Assetto Idraulico – delle Nor-me di Attuazione e misure di salvaguardia del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Calabria approvato con Delibera del Con-siglio Regionale in data 28.12.2001.

In ottemperanza a quanto disposto dalle "linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, su-gli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree di attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio

di inondazione approvate dal Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino in data 15.7.2002 e dal Comitato Istituzionale della stessa nella seduta del 31.7.2002, si procederà a valutare:

- verifiche delle opere di sistemazione idraulica esistenti (soglie, argini e briglie) con portate stimate per un periodo di ritorno $T = 200$ anni;
- individuazione, progettazione e verifiche degli interventi di sistemazione idraulica (soglie, argini e briglie) con portate stimate per un periodo di ritorno $T = 200$ anni
- verifiche delle opere di attraversamento (ponti o scatolari) con portate stimate per un periodo di ritorno pari a $T = 200$ anni;
- determinazione del massimo scalzamento al piede delle briglie;
- verifica al sifonamento delle briglie

Per come indicato ai punti 4.1 e 4.3 delle linee guida prima citate dovranno essere rispettate le seguenti limitazioni:

- a. il franco minimo tra la quota di massima piena e la quota di intradosso del nuovo attraversamento dovrà essere pari a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e, in ogni caso, non inferiore a 1,00 metro;
- b. gli argini in pietrame, muratura o calcestruzzo dovranno garantire un franco minimo tra la quota di massima piena di progetto e la quota della sommità dell'argine pari a 0,25 volte l'altezza cinetica della corrente e, in ogni caso, un valore non inferiore a 0,50 mt.

10 Caratteristiche del modello

Lo schema di calcolo utilizzato per la determinazione del profilo idrico della corrente è quello di moto permanente monodimensionale (portata costante e geometria variabile), secondo quanto previsto al punto 2.6 delle Linee Guida ABR. Tale schema di calcolo è stato ritenuto idoneo per il caso in esame sia perché non si è in presenza di elementi particolarmente vulnerabili in prossimità di attraversamenti, ed inoltre non risulta necessaria una valutazione della capacità di laminazione del corso d'acqua.

Nell'ipotesi di moto permanente, le verifiche sono state effettuate con tempi di ritorno $T=200$ anni per argini e infrastrutture come previsto dalle linee guida ABR;

La determinazione del profilo idrico della corrente è stata effettuata con il programma di calcolo HEC-RAS (River Analysis System del Hydrologic Engineering Center of US Army Corps of Engineers). La versione qui utilizzata è la 6.0 prodotta da "Corps' Civil Works Hydrologic Engineering Research and Development Program".

Il programma consente di calcolare il profilo dell'acqua in correnti gradualmente variate e può gestire un singolo fiume o una rete di fiumi. Il modulo per il calcolo delle correnti permanenti, permette di calcolare regimi di moto veloci (supercritical), lenti (subcritical) e misti (mixed).

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione di conservazione dell'energia in termini monodimensionali, le perdite di carico sono valutate in funzione della scabrezza (equazione di Manning), per quanto riguarda le perdite distribuite, e tramite i coefficienti di contrazione e di espansione (che moltiplicano la variazione dell'altezza cinetica), preponderanti nei tratti in cui si hanno sensibili variazioni della sezione.

L'equazione dei momenti è utilizzata in situazioni in cui la superficie dell'acqua è rapidamente vallata ad esempio quando il regime di moto è misto. Ciò si verifica in presenza di risalto idraulico, di ponti, di confluenze tra più rami.

Il modello consente inoltre di schematizzare l'effetto di vari tipi di strutture quali ponti, tombini, briglie, etc..

La procedura adottata dal programma Hec-Ras per valutare il profilo idraulico in un determinato tronco è quello di assumere la condizione di moto permanente gradualmente vario, attraverso il metodo direct step. La base di questa procedura è basata sulla soluzione iterativa dell'equazione dell'energia:

$$H = Z + Y + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

tale equazione, stabilisce che l'energia totale (h) in una data sezione lungo il tratto in analisi è data dalla somma dell'energia potenziale (Z+Y) e dalla energia cinetica ($\alpha V^2/2g$).

La differenza di energia tra due sezioni è definita quale "head loss" (hL).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + hL$$

Date la portata ed il tirante idrico in una determinata sezione il compito del direct step è quello di calcolare il tirante idrico per la sezione adiacente. Il calcolo procederà da monte verso valle o viceversa a seconda del regime del flusso, caratterizzato attraverso il numero di Froude Fr:

- $Fr < 1$ moto subcritico
- $Fr > 1$ moto supercritico
- $Fr = 1$ stato critico

Hec - Ras permette, inoltre, di calcolare le condizioni di elevazione della superficie dell'acqua attraverso quattro metodi:

1. Altezza della superficie conosciuta per osservazioni dirette (Know Water Surface Elevations)
2. Altezza critica – il programma calcolerà l'altezza critica (Critical Depth)
3. Altezza normale – la condizione al contorno è uguale alla profondità di moto uniforme che il programma calcola per ciascuno dei profili (Normal Depth). In questo caso occorre inserire la pendenza della linea dei carichi totali, che può essere approssimata mediante la pendenza del tratto di canale a monte
4. La condizione al contorno, per ciascun profilo, viene ottenuta interpolando le altezze d'acqua della scala di deflusso per il corrispondente valore di portata.(Rating Curve). In questo caso occorre inserire una serie di valori noti di altezza d' acqua e delle relative portate.

Il primo passo nello sviluppo del progetto in Hec-Ras è stato quello di introdurre i dati per la descrizione geometrica del modello. I dati inseriti comprendevano sia dati topografici (coordinate planimetriche, quote, sezioni) che alcune caratteristiche fisiche (coefficiente di Manning che ne caso in esame si è assunto pari a 0,028 per gli argini e 0.038 per il canale centrale) e le opere interferenti con la rete idrografica (Ponte).

Il successivo passaggio è stato quello della immissione dei dati di portata calcolati precedentemente con il metodo TCEV per i tempi di ritorno di 50 e 200 anni e la definizione della condizione al contorno (Boundary Condition).

L'ultimo passo prima di avviare l'analisi, è consistito nel definire le caratteristiche della corrente (Flow Regime), che può essere subcritica, supercritica o mista. Nel nostro calcolo si è ritenuto opportuno selezionare un regime di analisi Misto.

Dai riferimento del P.A.I. *"i progetti degli attraversamenti dovranno rispettare, al fine della sicurezza delle stesse strutture le seguenti indicazioni costruttive"* : il franco minimo tra la quota di massima piena di progetto, valutata con periodo di ritorno pari a $T = 200$ anni, e la quota di intradosso del ponte dovrà essere pari a 0,5 volte l'altezza cinetica e in ogni caso non inferiore a 1.00 metri; la progettazione di interventi di regimazione e difesa idraulica dovrà rispettare i criteri seguenti: franco minimo tra la quota di massima piena di progetto, valutata per un periodo di ritorno pari a $T = 200$ anni, e la quota del piano viabile dovrà essere pari a 0.25 volte l'altezza cinetica della corrente, e in ogni caso non inferiore a 0.50 m.

Reggio Calabria, Dicembre 2021

Il Pogettista

Ing. Pasquale Penna

