



REGIONE CAMPANIA



COMUNE DI STIO



Parco del Cilento
e Vallo di Diano

COMUNE DI STIO

Provincia di Salerno



MIGLIORAMENTO DELLE CARATTERISTICHE DI STABILITA' E DI SICUREZZA DEL CENTRO URBANO DI GORGA TORRENTI FESCALI E GORGA

ACCELERAZIONE DEL P.O. CAMPANIA FESR 2007-13

PROGETTO ESECUTIVO

Data: Luglio 2013		Elabor.	Verif.	Approv.
Riferimenti:		Distinta materiale n °		
Progettista: Maria Rosaria Reielli Ingegnere		Archiviazione: 		
Geologo Luigi Lillo				
Cliente: Amm. Com. di Stio		Scala:	Foglio di	
Tavola: Relazione idrologica			Disegno n : TAV 1.2	
Documenti di proprietà Comune di Stio		Diritti tutelati a termine di legge		

Indice

1. PREMESSA	2
2. VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE DI PIENA- METODO VAPI .	3
2.1 Generalità	3
2.2 Valutazione del fattore regionale di crescita	4
2.3 Valutazione della piena media annua m(Q)	6
2.3.1 Criteri di stima	6
2.3.2 Il modello geomorfoclimatico	7
4.3.2.1 <i>Ipotesi di base</i>	<i>7</i>
4.3.2.2 <i>Caratteristiche morfometriche ed altimetriche dei bacini idrografici.....</i>	<i>9</i>
4.3.2.3 <i>La legge di probabilità pluviometrica areale</i>	<i>10</i>
4.3.2.4 <i>I parametri del modello geomorfoclimatico.....</i>	<i>13</i>
4.3.2.5 <i>La piena media annua</i>	<i>18</i>
2.4 Valutazione delle massime portate di piena naturali - Risultati...20	20
2.4.1 Caratteristiche fisiografiche ed altimetriche dei bacini.....	20
2.4.2 Caratteristiche geologiche e di uso del suolo	21
2.4.3 La legge di probabilità pluviometrica	21
2.4.4 Valutazione della portata di piena con il metodo VAPI	22

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è lo studio idrologico affidato allo scrivente, relativo al progetto definitivo per il “*Miglioramento delle caratteristiche di stabilità e sicurezza del centro urbano di Gorga*” nel Comune di Stio.

In relazione a quelli che sono le zone di interesse e quindi le relative aste fluviali da sistemare, si sono considerate una serie di sezioni di chiusura idrologiche, al fine di valutare la portata centennale attraverso la quale andare a verificare dal punto di vista idraulico le condizioni attuali e quindi definire e dimensionare gli interventi di progetto.

In particolare la valutazione delle massime portate di piena è stata effettuata sui seguenti bacini:

1. **A02**: Fiume Alento a valle della confluenza con il Torrente Mango, per la verifica nello stato di fatto e di progetto del tratto di Monte del Fiume Alento;
2. **M01**: Torrente Mango in corrispondenza della confluenza con il fiume Alento, per la verifica del Torrente Mango nello stato di fatto e di progetto;
3. **G01**: Torrente Gorga in corrispondenza della confluenza con il fiume Alento, per la verifica del Torrente Gorga nello stato di fatto e di progetto;
4. **F01**: Torrente Fescali in corrispondenza della confluenza con il fiume Alento, per la verifica del Torrente Fescali nello stato di fatto e di progetto;

2. VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE DI PIENA- METODO VAPI

Per quel che concerne la valutazione delle massime portate di piena naturali, necessarie per l'applicazione della modellazione idraulica alla zona di interesse, si è fatto riferimento come dati di base fondamentalmente alla relazione idrologica redatta nell'ambito del PSAI dell'Autorità di Bacino Regionale sinistra Sele.

Ad ulteriore conferma della bontà del risultato si è costruita la curva udometrica dei bacini del fiume Alento utilizzando i dati di base dello studio idrologico redatto nell'ambito del PSAI e verificando l'adattamento dei risultati ottenuti alla curva udometrica;

Di seguito si riportano la metodologia utilizzata per la valutazione delle massime portate di piena naturali ed i risultati ottenuti.

2.1 Generalità

L'analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene in Campania è stata effettuata nel Rapporto VAPI Campania attraverso una metodologia di analisi regionale di tipo gerarchico, basata sull'uso della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente (TCEV - Two Component Extreme Value). Tale procedura si basa sulla considerazione che esistono zone geografiche via via più ampie che possono considerarsi omogenee nei confronti dei parametri statistici della distribuzione, man mano che il loro ordine aumenta.

Indicando con Q il massimo annuale della portata al colmo e con T il periodo di ritorno, cioè l'intervallo di tempo durante il quale si accetta che l'evento di piena possa verificarsi mediamente una volta, la massima portata di piena Q_T corrispondente al prefissato periodo di ritorno T , può essere valutata come:

$$Q_T = K_T \cdot m(Q) \quad (1)$$

dove:

- $m(Q)$ = media della distribuzione dei massimi annuali della portata di piena (piena indice);
- K_T = fattore probabilistico di crescita, pari al rapporto tra Q_T e la piena indice.

Per quanto attiene alla valutazione del fattore regionale di crescita, il rapporto VAPI propone la formulazione riportata al paragrafo 4.2 che segue. Per la valutazione di $m(Q)$, vengono invece indicate quattro differenti metodologie, due di tipo diretto, basate su formule monomie in cui la portata dipende essenzialmente dall'area del bacino, e due di tipo indiretto (la formula razionale e il modello geomorfoclimatico) in cui la piena indice viene valutata a partire dalle piogge e dipende in maniera più articolata dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino (area, percentuale impermeabile, copertura boschiva).

Al paragrafo 4.3.2 è stato descritto in dettaglio il modello geomorfoclimatico.

2.2 Valutazione del fattore regionale di crescita

Nell'ambito del Progetto VAPI del G.N.D.C.I./C.N.R. il territorio nazionale è stato suddiviso in aree idrologicamente omogenee, caratterizzate pertanto da un'unica distribuzione di probabilità delle piene annuali rapportate al valore medio (legge regionale di crescita con il periodo di ritorno $K_T(T)$).

L'indagine regionale volta alla determinazione di tale legge è stata svolta per la regione Campania nel Rapporto VAPI Campania sopra menzionato. I risultati sono stati ottenuti sotto forma di una relazione tra K_T e T esplicitata come:

$$T = \frac{1}{1 - \exp(-13,11 \cdot 0,0202^{K_T} - 0,923 \cdot 0,230^{K_T})} \quad (2)$$

Questa relazione può essere valutata in prima approssimazione attraverso la seguente:

$$K_T = -0,0545 + 0,680 \cdot \ln T \quad (3)$$

con un errore inferiore al 5% per $T \geq 10$ anni.

Nella tabella A che segue sono riportati, per diversi periodi di ritorno, i valori di K_T ottenuti dall'equazione (3).

T (anni)	K_T
2	0.87
5	1.29
10	1.63
20	2.03
30	2.26
50	2.61
100	3.07
300	3.83
500	4.17
1000	4.64

Tabella A – Legge regionale di crescita delle portate per la regione Campania

2.3 Valutazione della piena media annua $m(Q)$

2.3.1 Criteri di stima

La piena media annua $m(Q)$ è caratterizzata da una elevata variabilità spaziale che può essere spiegata, almeno in parte, ricorrendo a fattori climatici e geomorfologici.

E' dunque in genere necessario ricostruire modelli che consentano di mettere in relazione $m(Q)$ con i valori assunti da grandezze caratteristiche del bacino.

Quando manchino dati di portata direttamente misurati nelle sezioni di interesse, l'identificazione di tali modelli può essere ottenuta sostanzialmente attraverso due diverse metodologie:

- approcci di tipo puramente empirico, del tipo $m(Q) = a \cdot A^b$ (con A = superficie del bacino);
- approcci che si basano su modelli in cui la piena media annua viene valutata con parametri che tengano conto delle precipitazioni massime sul bacino e delle caratteristiche geomorfologiche (modelli geomorfoclimatici).

Il Rapporto VAPI Campania ha provveduto alla stima dei parametri sia per modelli empirici di vario tipo che per il modello geomorfoclimatico.

Tali parametri sono stati stimati utilizzando i dati di 12 delle 22 stazioni idrometriche presenti in Campania, corrispondenti a bacini di estensione variabile tra 95 Km² (Tusciano ed Olevano) e 5542 Km² (Volturno e Ponte Annibale).

In quanto segue, mancando dati di misura di portata nelle sezioni di interesse, il calcolo della portata media annua al colmo di piena è stato effettuato in via indiretta, in accordo con la metodologia proposta dal VAPI, a partire dalle precipitazioni intense e in particolare con il “modello

geomorfoclimatico”, stimando $m(Q)$ come una frazione della massima intensità di pioggia che può verificarsi sul bacino dipendente dalle caratteristiche geomorfologiche dello stesso.

2.3.2 Il modello geomorfoclimatico

4.3.2.1 Ipotesi di base

Ad eventi di pioggia brevi ed intensi corrispondono, di solito, deflussi di piena nella sezione terminale del bacino, dovuti essenzialmente allo scorrimento delle acque sui versanti e nei canali della rete idrografica.

Il bilancio idrologico di un bacino durante i fenomeni di piena può pertanto essere schematizzato considerando che fra i volumi in ingresso e quelli in uscita, si stabilisce una relazione per effetto di una concomitante trasformazione dei due sottosistemi da cui è costituito il bacino:

- sui versanti, un'aliquota delle precipitazioni totali viene persa a causa del fenomeno dell'infiltrazione e quindi ai fini del bilancio di piena nella sezione finale contribuisce soltanto una parte delle precipitazioni totali, definita pioggia “efficace”;
- nella rete idrografica, l'aliquota delle piogge efficaci derivante dai versanti viene invasata e trasportata alla sezione di sbocco a costituire l'idrogramma di piena, che si manifesta con un certo ritardo nei confronti del pluviogramma che lo ha causato.

Per definire l'effetto dei versanti sulla determinazione della pioggia “efficace”, si definisce coefficiente di afflusso di piena C_f il rapporto tra i volumi di piena e le precipitazioni totali sul bacino in un prefissato intervallo di tempo.

Per tenere conto del ritardo con cui l'idrogramma di piena si manifesta nella sezione di chiusura di un bacino rispetto al pluviogramma che lo ha

determinato, è necessario definire una funzione di risposta del bacino stesso ad un ingresso impulsivo unitario detto anche idrogramma unitario istantaneo o IUH. Per pluviogramma di forma rettangolare, con durata ed intensità in accordo con la legge di probabilità pluviometrica sul bacino $m[I_A(d)]$, l'idrogramma di piena corrispondente ha ordinata al colmo proporzionale all'intensità di pioggia per mezzo di un coefficiente di attenuazione di piena $S(d)$ o funzione di picco $S(d) = \int_{t_p-d}^d u(\tau) dt$ in cui $u(\tau)$ è l'idrogramma unitario istantaneo, t_p è l'istante in cui si manifesta il colmo di piena, misurato a partire dal momento di inizio della pioggia.

La forma assunta da $S(d)$ dipende sostanzialmente dal tempo di ritardo del reticolo idrografico t_r , definito come intervallo temporale che intercorre tra il baricentro del pluviogramma e quello dell'idrogramma corrispondente.

Definita la funzione $S(d)$, la portata al colmo di piena per unità di area dipende in maniera proporzionale dal prodotto $m[I_A(d)] S(d)$, in cui all'aumentare di d il primo termine diminuisce mentre il secondo aumenta. Il valore della durata d per cui tale prodotto risulta massimo viene definito durata critica del bacino d_c .

Il massimo annuale della portata al colmo di piena, che si verifica dunque per eventi di durata d_c , viene definito come:

$$m(Q) = C_f \cdot A \cdot S(d_c) \cdot m[I_A(d_c)] \quad (4)$$

La (4) può essere riscritta come:

$$m(Q) = \frac{C_f \cdot q \cdot m[I_A(t_r)] \cdot A}{3.6} \quad (5)$$

in cui:

- t_r = tempo di ritardo del bacino, in ore;
- C_f = coefficiente di deflusso, caratteristico del bacino;

- $m[I_A(t_r)]$ = media del massimo annuale dell'intensità di pioggia areale di durata pari al tempo di ritardo t_r del bacino, in mm/ora;
- A = area del bacino, in km^2 ;
- q = coefficiente di attenuazione del colmo di piena.

Seguendo l'approccio sopra definito, per lo studio del bacino e per valutare la media dei massimi annuali della portata al colmo di piena $m(Q)$, risulta in definitiva necessario:

- determinare le caratteristiche morfologiche ed altimetriche dei bacini idrografici;
- definire la legge di probabilità pluviometrica areale $m[I_A(d)]$;
- calcolare i parametri del modello geomorfoclimatico C_f e t_r .

4.3.2.2 Caratteristiche morfometriche ed altimetriche dei bacini idrografici

Ogni bacino è caratterizzato morfologicamente ed altimetricamente attraverso la definizione di una serie di grandezze. Precisamente sono state considerate le seguenti caratteristiche geometriche:

- la superficie del bacino;
- la lunghezza dell'asta principale;
- la quota minima coincidente con quella della sezione di chiusura del bacino;
- l'altitudine massima del bacino riferita al livello medio del mare;
- l'altitudine media, definita come il valore medio della curva ipsografica.

2.3.2.2.1. Altitudine media e Curva ipsografica

Per valutare l'altezza media di un bacino si divide tutta la superficie A in aree parziali A_i comprese tra due curve di livello fra di loro non troppo distanti, in modo da ritenere l'altezza h_i della fascia uguale alla media dei valori delle due curve di livello che la limitano. Si suppone cioè che in quel breve tratto la pendenza sia costante. Si misurano, poi, le aree delle superfici parziali A_i . L'altezza media h_m del bacino è la media ponderata delle altezze medie delle superfici parziali, cioè:

$$h_m = \frac{\sum h_i \cdot A_i}{A} \quad (6)$$

Essa rappresenta il valore medio della curva ipsografica; in particolare, è data dall'area compresa tra la curva ipsografica e gli assi coordinati divisa per l'area dell'intero bacino.

Pertanto nello studio del bacino si costruisce anche la curva ipsografica, che rappresenta la ripartizione delle aree topografiche nelle varie fasce altimetriche. Essa si traccia considerando la successione dei valori delle superfici poste al di sopra di prefissati valori delle quote. La curva ipsografica permette anche di determinare l'estensione del bacino al di sopra o al di sotto di una certa quota.

4.3.2.3 La legge di probabilità pluviometrica areale

La legge di probabilità pluviometrica areale consente di conoscere come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia $m[h_A(d)]$ in funzione della durata d e dell'area del bacino A .

Nota la legge $m[h_A(d)]$, è possibile definire la media dei massimi annuali dell'intensità di pioggia areale come:

$$m[l_A(d)] = m[h_A(d)]/d \quad (7)$$

La metodologia comunemente impiegata consiste nell'ottenere la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia areale $m [h_A(d)]$ dalla media del massimo annuale dell'altezza di pioggia puntuale $m[h(d)]$ attraverso un fattore di ragguglio noto come coefficiente di riduzione areale $K_A(d)$ come:

$$m [h_A(d)] = K_A(d) \cdot m[h(d)] \quad (8)$$

Per definire la $m [h_A(d)]$ risulta dunque necessario:

- definire la legge di probabilità pluviometrica $m [h(d)]$;
- calcolare il coefficiente di riduzione areale.

2.3.2.2.1. La legge di probabilità pluviometrica

Per la stima della legge di probabilità pluviometrica, che definisce appunto la variazione della media del massimo annuale dell'altezza di pioggia con la durata, il Rapporto VAPI Campania fa sostanzialmente riferimento a leggi a quattro parametri del tipo:

$$m[h(d)] = \frac{m[l_0] \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C-D \cdot z}} \quad (9)$$

in cui $m[l_0]$ rappresenta il limite dell'intensità di pioggia per d che tende a 0.

Nel Rapporto VAPI Campania i parametri della suddetta legge sono stati determinati, per sei aree ritenute omogenee dal punto di vista pluviometrico, attraverso una procedura di stima regionale utilizzando i dati di 44 stazioni pluviografiche con più di 10 anni di osservazioni, ed in particolare:

- i massimi annuali delle altezze di pioggia in intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore;
- le altezze di pioggia relative ad eventi di notevole intensità e breve durata, che il SIMN non certifica come massimi annuali.

Area omogenea	n. stazioni	m(I₀) (mm/ora)	D_c (ore)	C	D*10⁵	ρ²
1	14	77.08	0.3661	0.7995	3.6077	0.9994
2	12	83.75	0.3312	0.7031	7.7381	0.9991
3	5	116.7	0.0976	0.7360	8.7300	0.9980
4	3	78.61	0.3846	0.8100	24.874	0.9930
5	6	231.8	0.0508	0.8351	10.800	0.9993
6	4	87.87	0.2205	0.7265	8.8476	0.9969

Tabella B – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea

Successivamente, nell'ambito di uno studio sviluppato dal C.U.G.RI. sul territorio dell'Autorità di Bacino del Sarno e utilizzato nel PAI (Piano per l'Assetto idrogeologico) della stessa Autorità di Bacino, è stata verificata la consistenza della rete idrografica del bacino del Sarno ed è stata aggiornata la banca dati relativa ai massimi annuali delle altezze di pioggia per la fissata durata registrata dal SIMN.

In particolare, sono stati quindi considerati i dati di 26 stazioni di misura, di cui solo 16 pluviografiche aventi più di 10 anni di osservazioni. I dati reperiti consistono ancora in:

- massimi annuali delle altezze di pioggia in intervalli di 1,3,6,12,24 ore;
- altezze di pioggia relative ad eventi di notevole intensità e breve durata, che il SIMN non certifica come massimi annuali.

Dall'analisi di tali dati è stato possibile suddividere l'intero bacino del Sarno in zone pluviometriche omogenee aggiungendo, rispetto ai risultati del VAPI, una zona 2 intermedia per cui il bacino stesso ricade nella zona 1, 2 e 2 intermedia (cfr. tabella C).

Area omogenea	M(I₀)	d_c	C	D 10⁵

1	77.1	0.3661	0.7995	3.6077
2	83.8	0.3312	0.7031	7.7381
2 intermedia	85	0.3034	0.7621	9.6554

Tabella C – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea per il bacino del fiume Sarno

In allegato alla presente è riportata la suddivisione in aree pluviometriche omogenee con l'indicazione del bacino oggetto di studio (Tavola 8)

2.3.2.2.2. Il coefficiente di riduzione areale

Il fattore di riduzione areale viene ritenuto costante al variare del periodo di ritorno, e pari a:

$$K_A(d) = 1 - \left[(1 - \exp(-c_1 \cdot A)) \cdot \exp(c_2 \cdot d^{c_3}) \right] \quad (10)$$

con:

- A = area del bacino, in km²;
- c₁ = 0.0021;
- c₂ = 0.53;
- c₃ = 0.25.

Per i bacini molto piccoli K_A è praticamente pari ad 1.

4.3.2.4 *I parametri del modello geomorfoclimatico*

Nel Rapporto VAPI Campania il territorio campano è stato suddiviso in complessi idrogeologici costituiti da litotipi che, pur diversi, mantengono un identico comportamento nei confronti dell'infiltrazione, della percolazione e della

circolazione dell'acqua nel sottosuolo. Questi complessi sono stati accorpati nelle seguenti cinque classi in base alle caratteristiche di permeabilità:

1. **classe A** (*alta capacità di permeabilità*), in essa sono inclusi quasi esclusivamente i calcari per la loro elevatissima capacità di infiltrazione dovuta all'alto grado di permeabilità per fessurazione e carsismo che li caratterizza ;
2. **classe MA** (*capacità di permeabilità medio-alta*), che ingloba, quasi esclusivamente, le dolomie. Questo litotipo, che costituisce la base affiorante di quasi tutti i massicci carbonatici campani, ha un grado di permeabilità inferiore a quello dei calcari;
3. **classe M** (*media capacità di permeabilità*), comprendente i detriti di falda e di conoide, i depositi alluvionali e il complesso delle lave;
4. **classe MB** (*capacità di permeabilità medio-bassa*), ad essa appartengono i complessi sabbioso-conglomeratico pliocenico, arenaceo-breccioso miocenico, piroclastico, calcareo-siliceo e fluvio-lacustre e lacustre;
5. **classe B** (*bassa capacità di permeabilità*), comprendente tutti i depositi prevalentemente argillosi che, a scala regionale, possono considerarsi per lo più impermeabili.

Sempre ai fini dei deflussi di piena, è stato mostrato inoltre che una certa influenza viene esercitata anche dalla presenza di copertura boschiva, essenzialmente in funzione del tipo di permeabilità del terreno interessato.

La metodologia proposta dal VAPI Campania per la valutazione dei parametri del modello geomorfoclimatico, e cioè del coefficiente di deflusso C_f e del tempo di ritardo del bacino t_r , assume alla base la suddivisione di ogni bacino complessi omogenei dal punto di vista idrogeologico in modo differente a seconda che si tratti di bacini di estensione ridotta o di bacini maggiormente estesi.

In particolare, per i bacini di moderata estensione, il territorio è stato suddiviso in due soli complessi omogenei:

- le aree impermeabili A_{imp} ;
- le aree permeabili $A-A_{imp}$.

In tal caso parleremo di metodo geomorfoclimatico 1.

Per quanto attiene invece ai bacini di notevole estensione, l'intero territorio, è stato suddiviso in:

- le aree permeabili con copertura boschiva, indicate con A_3 ;
- le aree permeabili senza copertura boschiva, indicate con A_1 ;
- le aree a bassa permeabilità, indicate con A_2 .

In tal caso parleremo di metodo geomorfoclimatico 2.

4.3.2.4.1 Il coefficiente di deflusso C_f

Dato il significato del coefficiente di deflusso, l'ipotesi più semplice per la sua stima consiste nell'assumere che esista un valore di C_f per ogni singolo complesso omogeneo e nel considerare il valore globale come la media pesata di tali valori caratteristici.

Adottando il metodo geomorfoclimatico 1, il coefficiente di deflusso risulta pari a:

$$C_f = C_{f1} \left(1 - \frac{A_{imp}}{A} \right) + C_{f2} \left(\frac{A_{imp}}{A} \right) \quad (11)$$

Nel Rapporto VAPI Campania sono stati stimati per C_{f1} e C_{f2} i seguenti valori:

- C_{f1} = coefficiente di afflusso dell'area permeabile = 0.13;

- C_{f2} = coefficiente di afflusso dell'area impermeabile = 0.60.

Adottando il metodo geomorfoclimatico 2, risulta:

$$C_f = C_{f1} \frac{A_1}{A} + C_{f2} \frac{A_2}{A} + C_{f3} \frac{A_3}{A} \quad (11 b)$$

Nel Rapporto VAPI Campania sono stati stimati per C_{f1} , C_{f2} e C_{f3} i seguenti valori:

- C_{f1} = coefficiente di afflusso dell'area permeabile senza bosco = 0.42;
- C_{f2} = coefficiente di afflusso dell'area impermeabile = 0.56;
- C_{f3} = coefficiente di afflusso dell'area permeabile con copertura boschiva = 0.00 .

Noto C_f si sono così valutate le portate di piena

2.3.2.2.2. Il tempo di ritardo t_r

Adottando il metodo geomorfoclimatico 1, il Rapporto VAPI – Campania propone per il tempo di ritardo due diversi tipi di approcci:

- formula di Rossi (1974);
- Metodo VAPI-Rapporto Campania (Villani & Rossi, 1995).

La prima formulazione, di struttura molto semplice, è stata tarata sui bacini naturali lucani aventi sbocco sul Mare Ionico e, pertanto, potrebbe essere ritenuta potenzialmente utilizzabile anche nel territorio campano per i nostri fini.

Essa è data, in particolare, dall'espressione:

$$t_r = 0.77 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.295} \quad (12 a)$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale (in km);
- P è la pendenza media dell'asta principale (in m/m);
- t_r è il tempo di ritardo del bacino (in ore).

La pendenza media dell'asta principale è fornita dalla formula di Taylor & Schwartz, che può essere applicata solo dopo aver suddiviso il profilo del corso d'acqua principale in una serie di n_T tratti di lunghezza L_i e pendenza P_i .

$$\left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right) = \sum_{i=1}^{n_T} \frac{L_i}{\sqrt{P_i}} \quad (13)$$

La seconda alternativa possibile per il calcolo del tempo di ritardo è quella proposta e tarata da F. Rossi e Villani (1995) nell'ambito del progetto VAPI del C.N.R., riportata, più in particolare, nel Rapporto VAPI - Campania.

In base ai ragionamenti ivi effettuati, Rossi e Villani propongono l'espressione :

$$t_r = \frac{c_{f1}}{c_f} p_p \frac{1.25}{3.6 \cdot c_1} \sqrt{S \cdot p_p} + \frac{c_{f2}}{c_f} p_p \frac{1.25}{3.6 \cdot c_2} \sqrt{S \cdot (1 - p_p)} \quad (12 b)$$

dove:

- p_p è la percentuale del bacino considerabile come completamente impermeabile;
- C_f è il coefficiente di afflusso;
- S è la superficie del bacino;
- c_1 è la celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree permeabili senza bosco = 0.25 m/s;

- c_2 è la celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree impermeabili = 1.70 m/s.

Per C_{f1} e C_{f2} valgono i valori : $C_{f1} = 0.13$ e $C_{f2} = 0.60$.

Adottando, invece, il metodo geomorfoclimatico 2, il tempo di ritardo può essere calcolato come media pesata del ritardo medio di ognuno dei complessi idrogeologici eterogenei:

$$t_r = \frac{C_{f1} \cdot A_1}{C_f \cdot A} \frac{1.25}{3.6 \cdot c_1} \sqrt{A_1} + \frac{C_{f2} \cdot A_2}{C_f \cdot A} \frac{1.25}{3.6 \cdot c_2} \sqrt{A_2} \quad (12 c)$$

Nella precedente risultano (dalle stime effettuate nel Rapporto VAPI Campania):

- c_1 = celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree permeabili senza bosco = 0.23 m/s;
- c_2 = celerità media di propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico relativa alle aree impermeabili = 1.87 m/s.

Per C_{f1} e C_{f2} valgono i valori $C_{f1} = 0.42$ e $C_{f2} = 0.56$.

4.3.2.5 La piena media annua

Definita la legge di probabilità pluviometrica areale e calcolati i parametri C_f e t_r , la piena media annua viene calcolata, come detto precedentemente, con la relazione:

$$m(Q) = \frac{C_f \cdot q \cdot m[I_A(t_r)]A}{3.6} \quad (14)$$

Nella precedente il coefficiente di attenuazione del colmo di piena dipende in maniera complessa dalla forma della legge di probabilità pluviometrica e dalla risposta della rete idrografica e consente di tenere conto, tra l'altro, dell'errore che si commette nell'assumere che la durata critica del bacino, e cioè la durata della pioggia che causa il massimo annuale del colmo

di piena, sia pari al tempo di ritardo t_r del bacino stesso. Esso può essere valutato, in prima approssimazione, come:

$$q = \begin{cases} 0.60 & \text{se } 0.25 \leq 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.45 \\ 0.65 & \text{se } 0.45 \leq 1 + k_1 \cdot A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.65 \end{cases} \quad (15)$$

in cui:

- $\beta = (C - D \cdot z)$ e d_c sono i parametri della legge di probabilità pluviometrica;
- k_1 è un coefficiente numerico pari a $1.44 \cdot 10^{-4}$ se l'area A è espressa in km^2 e il tempo di ritardo t_r in ore.

2.4 Valutazione delle massime portate di piena naturali - Risultati

Di seguito, sono descritti i risultati ottenuti applicando la metodologia riportata nei paragrafi precedenti ai bacini di interesse.

2.4.1 Caratteristiche fisiografiche ed altimetriche dei bacini

Utilizzando i dati disponibili, ed in particolare la Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:25.000, per ogni bacino sono state definite le caratteristiche morfometriche ed altimetriche ed in particolare la curva ipsografica, la quota media, il profilo longitudinale e la pendenza media dell'asta principale.

In particolare, nella zona di interesse sono stati tracciati i seguenti Bacini (Tavola 03 in allegato):

- *Bacino A02* Alento a valle del Torrente Mango;
- *Bacino M01* Torrente Mango;
- *Bacino G01* Torrente Gorga;
- *Bacino F01* Torrente Fescali;

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche fisiografiche dei bacini in esame :

Codice	A	Y_{max}	Y_{min}	Y_{med}	L
	Area	Quota massima	Quota minima	Quota media	Lunghezza asta principale
	(Km ²)	(m s.l.m.m.)	(m s.l.m.m.)	(m s.l.m.m.)	(m)
A02	3.83	917	365	550	1926
M01	0.069	601	365	450	466
G01	0.49	917	416	600	782
F01	1.21	917	450	650	1344

2.4.2 Caratteristiche geologiche e di uso del suolo

Per effettuare la stima delle portate di piena naturali, utilizzando il metodo VAPI, è stato necessario definire per ogni bacino le caratteristiche di permeabilità con la metodologia riportata nel VAPI stesso. Per la valutazione delle stesse si è fatto riferimento a quanto indicato nel PSAI ed in particolare alla Monografia del Fiume Alento.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche geomorfologiche dell'area di interesse:

Codice	A	A ₁	A ₂	A ₃
	Area	Area permeabile senza bosco	Area impermeabile	Area permeabile con bosco
	(Km ²)	(Km ²)	(Km ²)	(Km ²)
A02	3.83	0.1532	3.6768	0.0000
M01	0.07	0.0028	0.0662	0.0000
G01	0.49	0.0196	0.4704	0.0000
F01	1.21	0.0484	1.1616	0.0000

2.4.3 La legge di probabilità pluviometrica

Si è inoltre proceduto alla individuazione dei parametri della legge di probabilità pluviometrica areale. Dall'esame della mappa delle aree pluviometriche omogenee riportata nel Rapporto VAPI - Campania si è riscontrato che i bacini in esame ricadono interamente nell'area omogenea A₁ (Tavola02 in allegato), per la quale valgono i parametri riportati in tabella

Codice	m[l ₀]	d _c	C	D	□
	(mm/ora)				
A02	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.75215765
M01	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.76076535
G01	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.74785380
F01	77.1	0.3661	0.7995	0.000086077	0.74354995

2.4.4 Valutazione della portata di piena con il metodo VAPI

Il calcolo della piena media annua con il metodo VAPI è stato effettuato adottando il modello geomorfoclimatico 2, descritto al paragrafo 2.3.2.

Pertanto è stato necessario definire innanzitutto le caratteristiche geologiche in maniera tale da determinare:

- l'area A_{imp} (area impermeabile) e l'area permeabile ($A_{imp}-A$) e la copertura boschiva.

Note le caratteristiche geomorfologiche dei bacini e la legge di probabilità pluviometrica areale è stato possibile calcolare:

- i parametri del modello geomorfoclimatico C_f e t_r ;
- la media dei massimi annuali della intensità di pioggia di durata t_r ;
- il fattore di riduzione areale $K_A(t_r)$;
- la media dei massimi annuali della intensità di pioggia areale di durata t_r ;
- la portata di piena media annua $m(Q)$.

Nota la portata di piena media annua $m(Q)$ e nota la legge regionale di crescita $K_T(T)$ delle portate (cfr. paragrafo 4.2), è stato possibile valutare, attraverso la relazione:

$$Q_T = K_T m(Q)$$

la portata di piena relativa a periodi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 300, 500anni.

I risultati di tale calcolo sono riportati nelle tabelle seguenti:

Codice	A	C _f	t _r	K _A	m[A(t _r)]	n	q	m(Q)
	Area (Km ²)	Coefficiente di deflusso	Tempo di ritardo (ore)	Coefficiente di riduzione areale	Media dell'intensità di pioggia areale (mm/ora)	Coeff. di potenza della LPP di tipo monomio equivalente	Coefficiente di attenuazione del colmo di piena	Portata media annua (m ³ /s)
A02	3.83	0.55	0.36	0.99	45.67	0.63	0.69	18.69
M01	0.07	0.55	0.05	1.00	70.10	0.80	0.79	0.59
G01	0.49	0.55	0.13	1.00	61.39	0.80	0.79	3.67
F01	1.21	0.55	0.20	1.00	55.36	0.73	0.75	7.77

Codice	A	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₃₀₀	Q ₅₀₀
	Area (Km ²)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)	Portata (m ³ /s)
A02	3.83	16.26	24.11	30.46	37.94	42.42	48.78	57.38	69.90	77.56
M01	0.07	0.51	0.76	0.96	1.20	1.34	1.54	1.81	2.21	2.45
G01	0.49	3.20	4.74	5.99	7.46	8.34	9.59	11.28	13.74	15.24
F01	1.21	6.76	10.02	12.66	15.77	17.63	20.27	23.84	29.05	32.23

A conferma della bontà del risultato come detto in precedenza si è costruita la curva udometrica dei bacini del fiume Alento utilizzando i dati di base dello studio idrologico redatto nell'ambito del PSAI e verificando l'adattamento del risultato ottenuto alla curva udometrica. In particolare inserendo nell' equazione della curva i valori dell'area dei bacini considerati, si ottengono valori dei coefficienti udometrici prossimi a quelli calcolati.

I risultati di tale calcolo sono riportati nel grafico seguente



curva udometrica

