



Comune di Messina

IMPRESA APPALTATRICE



30015 Chioggia (VE)
Banchina F - Val da Rio
www.coedmar.it

Tel. +39 041 4967 925
Fax +39 041 4967 914
contratti@coedmar.it

COOPTATA



40132 Bologna
Via M. E. Lepido, 182/2
www.consorziointegra.it

Tel. +39 051 3161 300
integra@consorziointegra.it

PROGETTAZIONE



30035 Mirano (VE)
Viale Belvedere, 8/10
www.fm-ingegneria-com

Tel. +39 041 5785 711
Fax +39 041 4355 933
tremestieri@fm-ingegneria.com



20148 Milano
Via Caccialepori, 27

Tel. +39 02 8942 2685
Fax +39 02 8942 5133
mail@idrotec-ingegneria.it

Ing. Vincenzo Iacopino

Viale Regina Elena, 125 - Messina

Studio Tecnico Falzea

Via 1° Settembre, 37 - Messina

Arch. Claudio Lucchesi

Via Roma, 117 - Pace del Mela (ME)

Ing. Manlio Marino

Via Placida, 6 - Messina

Dott. Geol. Sergio Dolfin

Via Marina, 4 - Torre Faro (ME)

PROGETTO

**COMUNE DI MESSINA
LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA
LOGISTICA INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO
SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**

EMISSIONE

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO

A - PARTE GENERALE

Relazione Idrologica

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1					
2					
3					
4					
5					

ELABORATO N.

A005

DATA: Ottobre 2017	SCALA: -	FILE: 1044_A005_0.doc	J.N. 1044
PROGETTO G. Carretta	DISEGNO G. Carretta	VERIFICA L. Masiero	APPROVAZIONE T. Tassi

INDICE

1	PREMESSA E SINTESI DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE IDROLOGICA	2
2	QUANTIFICAZIONE DEGLI EVENTI METEORICI ESTREMI.....	3
2.1	ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI	3
2.1.1	ELABORAZIONI STATISTICHE DEI DATI PLUVIOMETRICI.....	3
2.1.2	RISULTATI DI CALCOLO.....	5
2.1.3	DEFINIZIONE DEL TEMPO DI RITORNO	10
2.2	DEFINIZIONE DEI BACINI IMBRIFERI E DELLE LORO CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	10
2.3	DEFINIZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO PER LE OPERE DI REGIMAZIONE DEI TORRENTI	13
2.3.1	DEFINIZIONE DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	13
2.3.2	IETOGRAMMI DI PROGETTO	14
2.4	MODELLI PER LA DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DEI TORRENTI	15
2.4.1	PREMESSA.....	15
2.4.2	MODELLO CINEMATICO.....	15
2.4.3	MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI DI NASH	15
2.4.3.1	Descrizione teorica del modello.....	15
2.4.4	LA PRECIPITAZIONE NETTA	17
2.5	APPLICAZIONE DEL MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA ..	19
2.5.1	TORRENTE GUIDARI.....	19
2.5.2	TORRENTE FAROTA.....	22
2.5.3	TORRENTE CANNETO.....	24
2.5.4	TORRENTE PALUMARA	25
2.6	DEFINIZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO PER LA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI SMALTIMENTO E TRATTAMENTO DELLE ACQUE METEORICHE DALLA PIATTAFORMA PORTUALE	27
3	QUANTIFICAZIONE DEL VOLUME DI TRASPORTO SOLIDO	27
3.1	ANALISI CON METODI EMPIRICI – RISULTATI DEL PROGETTO PRELIMINARE	27
3.2	I DATI DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE	28
3.3	VERIFICHE IN SITO	28
3.4	CONCLUSIONI.....	28

1 PREMESSA E SINTESI DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE IDROLOGICA

Nella presente relazione si analizzeranno le precipitazioni estreme per quantificare gli ietogrammi di progetto assunti per il dimensionamento delle opere.

Si farà inoltre riferimento agli studi pregressi per la quantificazioni degli apporti solidi prevedibili dai torrenti che intersecano la nuova piattaforma logistica.

Gli ietogrammi di riferimento che verranno assunti per la progettazione saranno:

- Per le opere di regimazione idraulica, eventi meteorici aventi tempo di precipitazione pari al tempo di corrivazione dei bacini imbriferi e tempo di ritorno di 300 anni
- Per le opere di smaltimento delle acque di piattaforma: scrosci di durata 15 minuti e tempo di ritorno di 20 e 50 anni.
- Per le opere di trattamento delle acque di piattaforma: precipitazioni orarie con tempo di ritorno di 50 anni.

Il dimensionamento dell'opera è stato condotto con un tempo di ritorno della portata idrica di progetto di 300 anni per adeguarsi ai criteri riportati nella relazione generale del *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)* della Regione Siciliana.

2 QUANTIFICAZIONE DEGLI EVENTI METEORICI ESTREMI

2.1 ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI

2.1.1 Elaborazioni statistiche dei dati pluviometrici

L'elaborazione dei dati pluviometrici forniti da una stazione di misura si svolge ricercando la relazione esistente tra l'altezza h delle precipitazioni e le loro durate t .

Affinchè le deduzioni siano attendibili è necessario che il campione di dati a disposizione, ovvero il periodo d'osservazione, sia sufficientemente esteso.

Si ammette che un periodo non inferiore a 25 - 30 anni possa dare discreto fondamento all'elaborazione e quindi alle estrapolazioni conseguenti.

La relazione tra precipitazione e durata è data nella consueta forma:

$$h = a \cdot t^n$$

nella quale a ed n risultano costanti per la località nella quale sono state effettuate le misure.

La suddetta relazione viene definita equazione di possibilità pluviometrica e può essere scritta in forma logaritmica:

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

e quindi rappresentata nel piano logaritmico secondo una retta avente coefficiente angolare n ed intercetta all'origine pari a $\log a$.

Le elaborazioni sono state effettuate sulla base delle registrazioni orarie delle precipitazioni con durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Per calcolare le equazioni di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno, ci si è riferiti alla distribuzione doppio esponenziale di Gumbel che viene qui di seguito sinteticamente descritta.

Siano: $X(Tr)$ il valore dell'evento X caratterizzato da un tempo di ritorno Tr , ovvero l'evento che viene eguagliato o superato mediamente ogni Tr anni,

\bar{X} la media degli eventi considerati nel campione in esame,

F il fattore di frequenza,

S_x lo scarto quadratico medio della variabile in esame,

vale allora la seguente relazione:

$$X(Tr) = \bar{X} + F \cdot S_x$$

La distribuzione doppio esponenziale di Gumbel, adatta a rappresentare i valori estremi di una variabile idrologica, assegna ad F la seguente espressione:

$$F = \frac{Y(Tr) - \bar{Y}_N}{S_N}$$

essendo:

$$Y(Tr) = -\ln\left(-\ln\frac{Tr-1}{Tr}\right) \quad \text{la variabile ridotta,}$$

N il numero degli anni di osservazione

$$\bar{Y}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \quad \text{la media della variabile ridotta}$$

$$S_N = \left[\frac{1}{N-1} \sum (Y_i - \bar{Y}_N)^2 \right]^{1/2}$$

lo scarto quadratico medio della variabile ridotta,

dove per il calcolo di Y_i si assuma la formula di plotting position di Weibull:

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

Dalle equazioni sopra descritte, prefissato un tempo di ritorno Tr , si possono ricavare per ogni durata i valori corrispondenti di h .

Per approssimare i dati così ottenuti alla curva di possibilità pluviometrica di equazione $h = a \cdot t^n$, si ricorre all'approssimazione ai minimi quadrati.

Come si è visto, nel piano logaritmico l'equazione di possibilità pluviometrica viene rappresentata da una retta dalla generica espressione:

$$y = a_1 x + a_0$$

dove, nel caso in esame,

$$y = \log h$$

$$x = \log t$$

$$a_1 = n$$

$$a_0 = \log a$$

L'approssimazione ai minimi quadrati mira alla definizione dei coefficienti a_1 e a_0 mediante la minimizzazione della distanza

$$D = \sum_{i=1}^m (a_1 x_i + a_0 - y_i)^2$$

essendo:

x_i ed y_i i dati da approssimare, corrispondenti nel caso in esame rispettivamente a $\log t$ e $\log h$ per le varie durate di precipitazione considerate (1, 3, 6, 12 e 24 ore).

m il numero delle coppie di valori x_i ed y_i da approssimare e pari quindi nel caso in esame a 5.

L'operazione porta a ricavare i coefficienti a ed n con le seguenti espressioni:

$$n = a_1 = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^m x_i \cdot \sum_{i=1}^m y_i \right) / m}{\sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2 / m}$$

$$a = \exp a_0 = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m} - n \cdot \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \right)$$

2.1.2 Risultati di calcolo

Per le analisi statistiche si è presa come riferimento la stazione di Camaro (Caserma Forestale) che, per la quantità di dati di registrazione di eventi estremi con durate inferiori al giorno, e per la sua ubicazione, può essere ritenuta significativa.

I dati, ricavati dalle pubblicazioni dell'APAT e si riferiscono al periodo dal 1970 al 2005, con registrazione delle massime precipitazioni annue per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

La serie storica appare sufficientemente estesa per una analisi statistica significativa.

Le elaborazioni statistiche descritte nel presente paragrafo sono riportate di seguito.

COSTRUZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA: $h = a \cdot t^n$

Stazione pluviometrica di Camaro (Caserma Forestale)

Dati derivanti dalle elaborazioni statistiche

1 ORA	
Precipitazione (mm)	
Tr 5 anni :	57.8
Tr 10 anni :	72.1
Tr 20 anni :	85.9
Tr 30 anni :	93.8
Tr 50 anni :	103.7
Tr 100 anni :	117.1
Tr 300 anni :	138.1

3 ORE	
Precipitazione (mm)	
Tr 5 anni :	89.5
Tr 10 anni :	113.8
Tr 20 anni :	137.1
Tr 30 anni :	150.5
Tr 50 anni :	167.2
Tr 100 anni :	189.8
Tr 300 anni :	225.5

6 ORE	
Precipitazione (mm)	
Tr 5 anni :	98.2
Tr 10 anni :	121.4
Tr 20 anni :	143.7
Tr 30 anni :	156.5
Tr 50 anni :	172.6
Tr 100 anni :	194.2
Tr 300 anni :	228.3

12 ORE	
Precipitazione (mm)	
Tr 5 anni :	112.5
Tr 10 anni :	137.7
Tr 20 anni :	162.0
Tr 30 anni :	175.9
Tr 50 anni :	193.3
Tr 100 anni :	216.8
Tr 300 anni :	253.9

24 ORE	
Precipitazione (mm)	
Tr 5 anni :	131.5
Tr 10 anni :	162.5
Tr 20 anni :	192.3
Tr 30 anni :	209.4
Tr 50 anni :	230.8
Tr 100 anni :	259.6
Tr 300 anni :	305.2

Tempo di ritorno 5 anni:

t (ore)	h (mm)
1	57.8
3	89.5
6	98.2
12	112.5
24	131.5

	ln(t)	ln(h)	(ln(t))^2	(ln(h))^2	ln(t)*ln(h)
	0.00	4.06	0.00	16.45	0.00
	1.10	4.49	1.21	20.20	4.94
	1.79	4.59	3.21	21.04	8.22
	2.48	4.72	6.17	22.30	11.74
	3.18	4.88	10.10	23.80	15.51
Somma	8.55	22.74	20.69	103.80	40.40
n	5	5	5	5	5

a1 =	0.247
a0 =	4.125

a =	61.87
n =	0.247

Tempo di ritorno 10 anni:

t (ore)	h (mm)
1	72.1
3	113.8
6	121.4
12	137.7
24	162.5

	ln(t)	ln(h)	(ln(t))^2	(ln(h))^2	ln(t)*ln(h)
	0.00	4.28	0.00	18.30	0.00
	1.10	4.73	1.21	22.42	5.20
	1.79	4.80	3.21	23.03	8.60
	2.48	4.93	6.17	24.26	12.24
	3.18	5.09	10.10	25.91	16.18
Somma	8.55	23.83	20.69	113.92	42.22
n	5	5	5	5	5

a1 =	0.240
a0 =	4.355

a =	77.83
n =	0.240

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA
 INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE
 PROGETTO ESECUTIVO

Tempo di ritorno 20 anni:

t (ore)	h (mm)
1	85.9
3	137.1
6	143.7
12	162.0
24	192.3

	ln(t)	ln(h)	(ln(t))^2	(ln(h))^2	ln(t)*ln(h)
	0.00	4.45	0.00	19.83	0.00
	1.10	4.92	1.21	24.21	5.41
	1.79	4.97	3.21	24.68	8.90
	2.48	5.09	6.17	25.88	12.64
	3.18	5.26	10.10	27.66	16.71
Somma	8.55	24.69	20.69	122.26	43.66
n	5	5	5	5	5

a1 =	0.236
a0 =	4.534

a =	93.14
n =	0.236

Tempo di ritorno 30 anni:

t (ore)	h (mm)
1	93.8
3	150.5
6	156.5
12	175.9
24	209.4

	ln(t)	ln(h)	(ln(t))^2	(ln(h))^2	ln(t)*ln(h)
	0.00	4.54	0.00	20.62	0.00
	1.10	5.01	1.21	25.14	5.51
	1.79	5.05	3.21	25.54	9.05
	2.48	5.17	6.17	26.73	12.85
	3.18	5.34	10.10	28.56	16.98
Somma	8.55	25.12	20.69	126.58	44.39
n	5	5	5	5	5

a1 =	0.234
a0 =	4.624

a =	101.95
n =	0.234

Tempo di ritorno 50 anni:

t (ore)	h (mm)
1	103.7
3	167.2
6	172.6
12	193.3
24	230.8

	ln(t)	ln(h)	(ln(t))^2	(ln(h))^2	ln(t)*ln(h)
	0.00	4.64	0.00	21.54	0.00
	1.10	5.12	1.21	26.21	5.62
	1.79	5.15	3.21	26.53	9.23
	2.48	5.26	6.17	27.71	13.08
	3.18	5.44	10.10	29.61	17.29
Somma	8.55	25.62	20.69	131.60	45.23
n	5	5	5	5	5

a1 =	0.232
a0 =	4.727

a =	112.95
n =	0.232

Tempo di ritorno 100 anni:

t (ore)	h (mm)
1	117.1
3	189.8
6	194.2
12	216.8
24	259.6

	ln(t)	ln(h)	(ln(t))^2	(ln(h))^2	ln(t)*ln(h)
	0.00	4.76	0.00	22.68	0.00
	1.10	5.25	1.21	27.52	5.76
	1.79	5.27	3.21	27.76	9.44
	2.48	5.38	6.17	28.93	13.37
	3.18	5.56	10.10	30.91	17.67
Somma	8.55	26.22	20.69	137.80	46.24
n	5	5	5	5	5

a1 =	0.230
a0 =	4.850

a =	127.80
n =	0.230

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA
 INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE
 PROGETTO ESECUTIVO

Tempo di ritorno 300 anni:

t (ore)	h (mm)
1	138.1
3	225.5
6	228.3
12	253.9
24	305.2

	ln(t)	ln(h)	(ln(t))^2	(ln(h))^2	ln(t)*ln(h)
	0.00	4.93	0.00	24.29	0.00
	1.10	5.42	1.21	29.36	5.95
	1.79	5.43	3.21	29.49	9.73
	2.48	5.54	6.17	30.66	13.76
	3.18	5.72	10.10	32.73	18.18
Somma	8.55	27.04	20.69	146.52	47.62
n	5	5	5	5	5

a1 =	0.227
a0 =	5.019

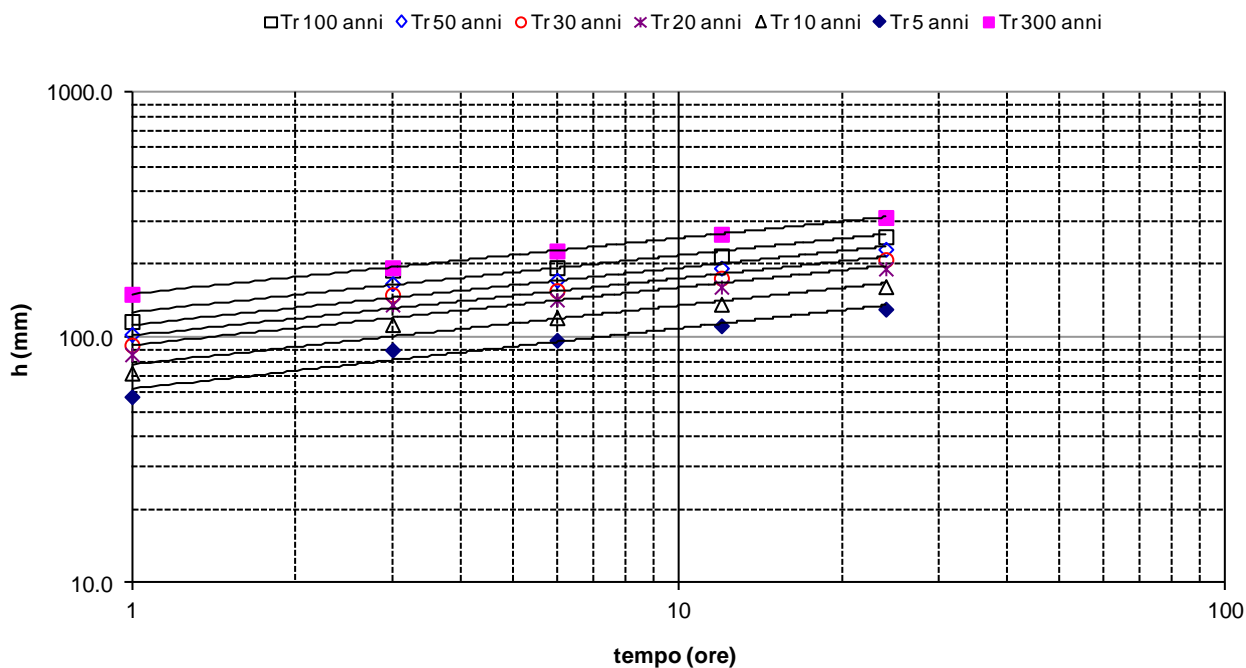
a =	151.23
n =	0.227

COSTRUZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

ore	Tr 5 anni		Tr 10 anni		Tr 20 anni		Tr 30 anni	
	misurato	calcolato	misurato	calcolato	misurato	calcolato	misurato	calcolato
1	57.8	61.9	72.1	77.8	85.9	93.1	93.8	101.9
3	89.5	81.2	113.8	101.3	137.1	120.7	150.5	131.8
6	98.2	96.3	121.4	119.7	143.7	142.1	156.5	155.0
12	112.5	114.3	137.7	141.4	162.0	167.4	175.9	182.3
24	131.5	135.7	162.5	167.0	192.3	197.1	209.4	214.3

ore	Tr 50 anni		Tr 100 anni		Tr 300 anni	
	misurato	calcolato	misurato	calcolato	misurato	calcolato
1	103.7	113.0	117.1	127.8	138.1	151.2
3	167.2	145.7	189.8	164.5	225.5	194.0
6	172.6	171.1	194.2	192.8	228.3	227.1
12	193.3	200.9	216.8	226.1	253.9	265.8
24	230.8	236.0	259.6	265.1	305.2	311.1

Curve di possibilità pluviometrica- Precipitazioni orarie



TR=300 ANNI - $h = 142.59 t^{0.2278}$ TR=100 ANNI - $h = 127.8 t^{0.2296}$ TR=50 ANNI - $h = 112.95 t^{0.2318}$ TR=30 ANNI - $h = 101.95 t^{0.2338}$
 TR=20 ANNI - $h = 93.14 t^{0.2358}$ TR=10 ANNI - $h = 77.832 t^{0.2403}$ TR=5 ANNI - $h = 61.871 t^{0.2471}$

Grafico 1 : Rappresentazione in scala logaritmica delle curve di possibilità pluviometrica elaborate per la stazione di Camaro.

TEMPO DI RITORNO	CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA
TR=5 ANNI	$h = 61.87 t^{0.247}$
TR=10 ANNI	$h = 77.83 t^{0.240}$
TR= 20 ANNI	$h = 93.14 t^{0.236}$
TR=30 ANNI	$h = 101.95 t^{0.234}$
TR=50 ANNI	$h = 112.95 t^{0.232}$
TR=100 ANNI	$h = 127.80 t^{0.230}$
TR=300 ANNI	$h = 151.23 t^{0.227}$

Grafico 2 : Espressioni delle curve di possibilità pluviometrica per la zona di Camaro.

2.1.3 Definizione del Tempo di Ritorno

Il dimensionamento dell'opera è stato condotto con un tempo di ritorno della portata idrica di progetto di 300 anni per adeguarsi ai criteri riportati nella relazione generale del *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)* della Regione Siciliana.

2.2 DEFINIZIONE DEI BACINI IMBRIFERI E DELLE LORO CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

All'interno del territorio oggetto di intervento sono presenti numerosi torrenti e corsi d'acqua che hanno come recapito finale il mare.

In particolare sono oggetto di sistemazione idraulica, in quanto direttamente interferenti con le opere portuali, i corsi d'acqua indicati nella figura seguente.

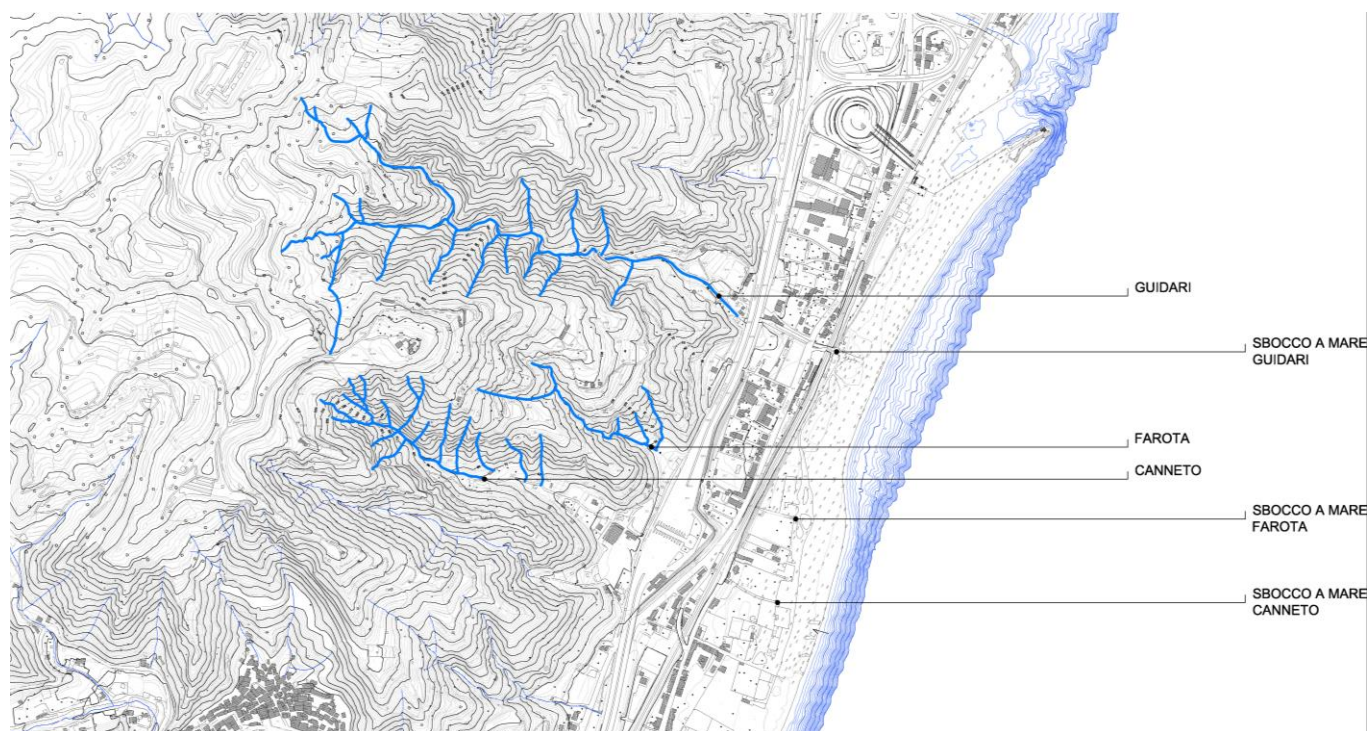


Figura 1 : Estratto cartografico con i corsi d'acqua indagati.

Sulla base della carta tecnica regionale si sono individuati e delimitati i bacini idrografici del Vallone Guidari, Farota e Canneto le cui caratteristiche geometriche e morfologiche sono sintetizzate nella figura e tabella seguente.

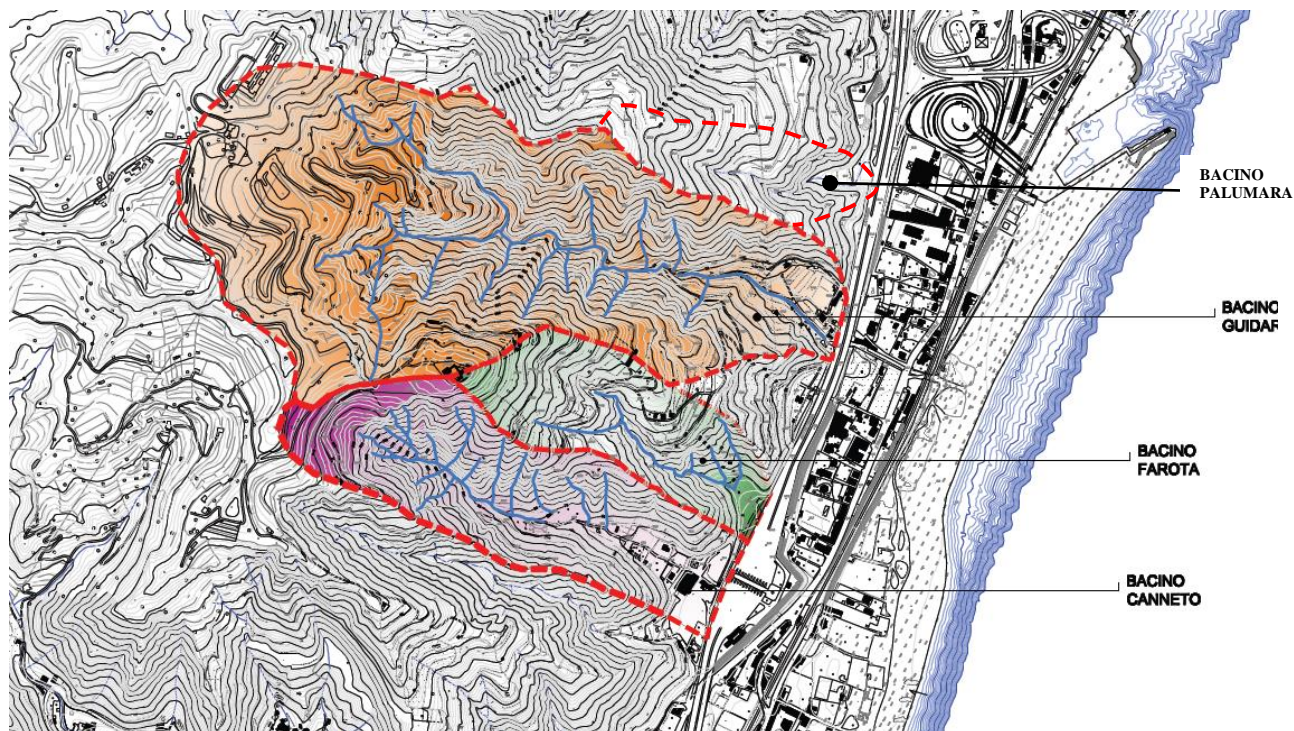


Figura 2 : Estratto cartografico con i bacini idrografici dei corsi d'acqua indagati.

BACINO	SUPERIFICIE kmq	LUNGHEZZA km	PENDENZA %
GUIDARI	0.484	3.3	31.6
FAROTA	0.103	0.9	26.2
CANNETO	0.177	2.1	33.3
PALUMARA	0,067	0,4	40.0

Grafico 3 : Caratteristiche geometriche dei bacini idrografici indagati.

Per la definizione delle opere idrauliche necessarie alla sistemazione dei corsi d'acqua i bacini sono stati successivamente suddivisi in ulteriori sottobacini, come riportato nella figura seguente.

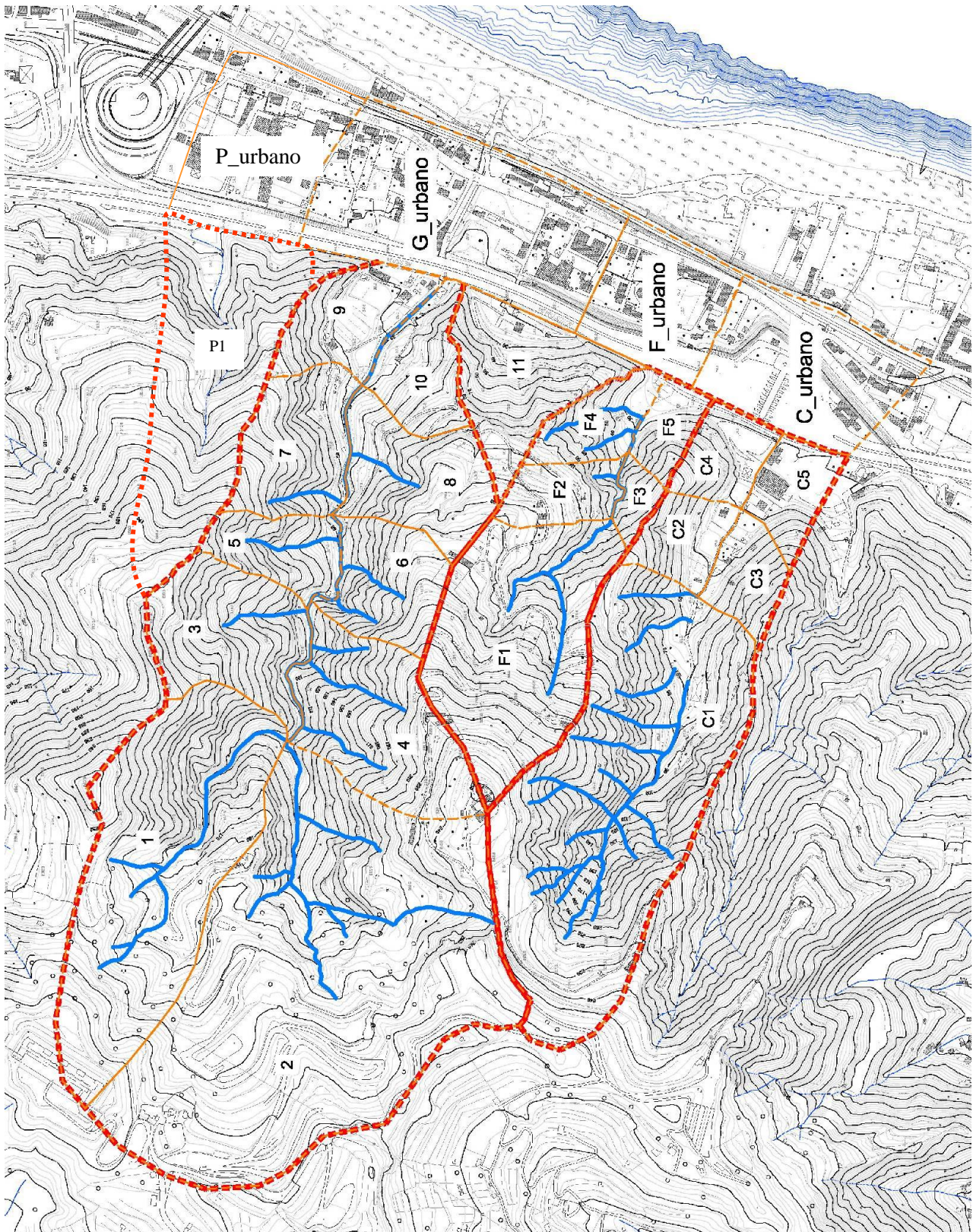


Figura 3 : Estratto cartografico con la suddivisione in sottobacini dei bacini imbriferi dei corsi d'acqua indagati.

<u>GUIDARI</u>			<u>FAROTA</u>		
Bacino n.ro	Superficie mq	Superficie ha	Bacino n.ro	Superficie mq	Superficie ha
1	91424	9.14	F1	64446	6.44
2	187769	18.78	F2	11953	1.20
3	33532	3.35	F3	4787	0.48
4	41485	4.15	F4	13189	1.32
5	15652	1.57	F5	8462	0.85
6	21890	2.19	F_URBANO	28961	2.90
7	26192	2.62	<u>CANNETO</u>		
8	28214	2.82	Bacino n.ro	Superficie mq	Superficie ha
9	20574	2.06	C1	128063	12.81
10	17354	1.74	C2	12319	1.23
G_URBANO	73673	7.37	C3	11863	1.19
11	32158	3.22	C4	12636	1.26
			C5	12473	1.25
			C_URBANO	42122	4.21
			<u>PALUMARA</u>		
			Bacino n.ro	Superficie mq	Superficie mq
			P1	67086	6,7
			P_URBANO	36532	3,6

Figura 4 : Caratteristiche di superficie sei sottobacini individuati per i corsi d'acqua indagati.

2.3 DEFINIZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO PER LE OPERE DI REGIMAZIONE DEI TORRENTI

2.3.1 Definizione del tempo di corrivazione

Per tempo di corrivazione si intende il periodo di tempo intercorrente affinché tutto il bacino imbrifero contribuisca alla formazione della piena. Tale tempo coincide con il periodo intercorrente affinché la goccia caduta nel punto idraulicamente più distante del bacino arrivi tramite la rete idrografica alla sezione di chiusura considerata.

Per il calcolo del tempo di corrivazione esistono diverse formulazioni empiriche:

- Soil Consolidation Service: $t_c = 0.00227(1000L)^{0.8}[(1000/CN) - 9]^{0.7} i_b^{-0.5}$
- Ventura: $t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{i}}$
- Pasini: $t_c = \frac{0.108}{\sqrt{i}} (AL)^{1/3}$
- Giandotti: $t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{zm - z_0}}$

Dove:

A = area bacino (kmq)

L = lunghezza asta principale

z_m = quota media bacino (m slm)

z_o = quota di chiusura bacino (m slm)

i = pendenza media dell'asta

i_b = pendenza media percentuale dell'asta

CN = curve number del Soil Consolidation Service (vd. capitolo successivo).

Con riferimento alle indicazioni del Responsabile del Procedimento, in risposta al quesito n. 24 del 31/03/2010 in sede di gara, i tempi di corrivazione indicati per il torrente Guidari e Canneto risultano:

- Torrente Guidari : 0,414 ore (~ 25 minuti);
- Torrente Canneto : 0,315 ore (~ 19 minuti).

Per quanto riguarda il torrente Farota, visto che le indicazioni fornite dal Responsabile del Procedimento sono riferite all'intero bacino Farota-Canneto si è determinato il tempo di corrivazione mediante applicazione delle espressioni riportate sopra.

BACINO	CN	VENTURA	PASINI	GIANDOTTI	MEDIA	
	tc (ore)	tc (ore)	tc (ore)	tc (ore)	tc (ore)	tc (minuti)
FAROTA	0.25	0.08	0.10	0.36	0.19	12

Grafico 4 : Calcolo del tempo di corrivazione dei bacini idrografici indagati.

Dalle analisi condotte si è assunto come tempo di corrivazione per il Farota un tempo di pioggia di 12 minuti. Tale valore risulta in linea con i dati forniti dal Responsabile del Procedimento per gli altri bacini idrografici.

Analogamente per il Palumara si è assunto un tempo di 12 minuti, viste le analogie del bacino imbrifero con quello del Farota.

2.3.2 Ietogrammi di progetto

Con riferimento alla curva di possibilità pluviometrica di 300 anni ed ai tempi di pioggia determinati al punto precedente per i bacini in esame risultano univocamente determinati gli ietogrammi di progetto.

- Guidari : $h = 151.23 t^{0.227} \Rightarrow tp = 25 \text{ min}, h = 124.01 \text{ mm} \Rightarrow j = 297.61 \text{ mm/ora};$
- Farota : $h = 151.23 t^{0.227} \Rightarrow tp = 12 \text{ min}, h = 104.95 \text{ mm} \Rightarrow j = 524.74 \text{ mm/ora.}$
- Canneto : $h = 151.23 t^{0.227} \Rightarrow tp = 19 \text{ min}, h = 116.49 \text{ mm} \Rightarrow j = 367.85 \text{ mm/ora.}$
- Palumara : $h = 151.23 t^{0.227} \Rightarrow tp = 12 \text{ min}, h = 104.95 \text{ mm} \Rightarrow j = 524.74 \text{ mm/ora.}$

2.4 MODELLI PER LA DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DEI TORRENTI

2.4.1 Premessa

Il territorio in esame risulta caratterizzato nella zona a nord-ovest dell'autostrada da un bacino di tipo prevalentemente boschivo, mentre nella zona sud-est da un bacino di tipo urbano.

Per il calcolo delle portate di piena si è fatto riferimento a due metodi. Il primo, il metodo cinematico, applicato per la stima delle portate di piena nell'area urbana, mentre il secondo, il metodo di Nash per il calcolo della formazione delle piena nei valloni dei corsi d'acqua indagati.

Si riporta di seguito la trattazione teorica dei due metodi.

2.4.2 Modello cinematico

Con il metodo cinematico, la portata al colmo, si calcola con la seguente formulazione:

$$Q = \frac{\phi Sh}{t_c}$$

La stima del coefficiente di deflusso ϕ è l'aspetto più problematico del procedimento.

Da un'analisi della cartografia e foto aeree si è stimato come coefficiente di deflusso per il calcolo delle portate di piena un indice pari a 0.4 per la parte urbana afferente al torrente Guidari, 0.45 per la parte urbana afferente al torrente Farota e 0.6 per la parte urbana afferente al torrente Canneto.

2.4.3 Modello afflussi-deflussi di nash

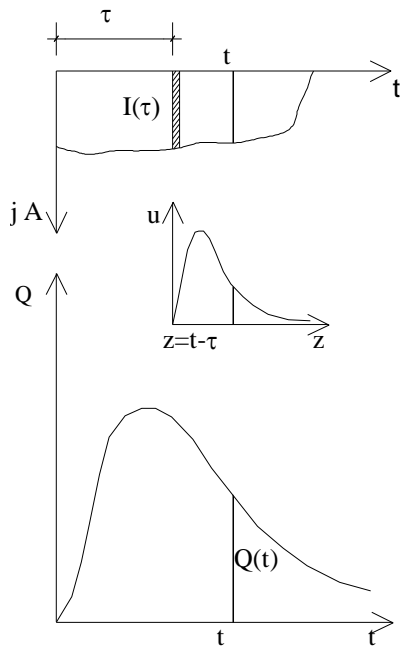
2.4.3.1 Descrizione teorica del modello

Dato uno ietogramma efficace qualsiasi è possibile per ogni parte del bacino (permeabile ed impermeabile) determinare per convoluzione l'idrogramma dei deflussi superficiali corrispondenti per poi sommarli ed ottenere quindi l'idrogramma di piena della totalità del bacino.

La precipitazione elementare avente un volume:

$$dV = I(\tau) dt$$

genera un idrogramma che si ottiene da quello dell'idrogramma unitario (generato da una precipitazione netta di volume unitario) moltiplicando le ordinate per dV .



L'ordinata dell'idrogramma al tempo t sarà data dalla somma dei contributi delle precipitazioni elementari di durata $d\tau$ compresa tra 0 e t , ovvero dal seguente integrale denominato integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t u(t-\tau) \cdot I(\tau) \cdot d\tau$$

Per la determinazione dell'idrogramma unitario, si ricorre alla schematizzazione separata degli apporti provenienti dalle aree permeabili ed impermeabili del bacino che vengono schematizzate mediante due serbatoi lineari aventi cioè la seguente relazione tra portata uscente e volume invasato:

$$V = K \cdot Q$$

Si consideri l'equazione di continuità dei serbatoi:

$$I(t) - Q(t) = \frac{dV}{dt} = K \cdot \frac{dQ}{dt}$$

moltiplicando entrambi i membri per $e^{\frac{t}{k}}$ si ottiene:

$$e^{\frac{t}{k}} \cdot I(t) = e^{\frac{t}{k}} \cdot Q(t) + e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \left[e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t) \right]$$

e quindi integrando tra 0 e t si ottiene:

$$\int_0^t e^{\frac{t}{k}} \cdot I(\tau) \cdot d\tau = \int_0^t \frac{d}{dt} \left[e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t) \right] \cdot dt = e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t)$$

Si ottiene perciò:

$$Q(t) = \int_0^t \frac{e^{-\frac{t-\tau}{k}}}{K} \cdot I(\tau) \cdot d\tau$$

che confrontata con l'integrale di convoluzione fornisce:

$$u(t) = \frac{e^{-\frac{t}{K}}}{K}$$

2.4.4 La precipitazione netta

Per la stima della infiltrazione della precipitazione al suolo e quindi della pioggia netta efficace alla formazione dei deflussi, si è fatto riferimento al metodo CN.

Il metodo CN stima la precipitazione netta come funzione della precipitazione cumulata antecedente, copertura ed uso del suolo e condizioni iniziali di umidità del suolo.

La relazione fondamentale è la seguente:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

dove P_{net} è la precipitazione netta cumulata al tempo t , P è la precipitazione totale cumulata allo stesso tempo, I_a è la cosiddetta perdita iniziale, S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione.

Questa relazione è valida solo per P maggiore o uguale ad I_a , mentre nel caso in cui l'altezza totale cumulata di precipitazione risulti inferiore ad I_a si ha $P_{net} = 0$ e pertanto il deflusso è nullo.

Anche in questo caso, in realtà con l'introduzione di I_a si vuol tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale.

I due parametri S ed I_a si dovranno determinare mediante operazioni di taratura del modello. Dall'analisi di risultati ottenuti dall'SCS in numerosi bacini sperimentali, l'SCS ha proposto la relazione empirica che lega I_a ad S :

$$I_a = 0.2 S$$

E quindi la precipitazione netta cumulata assume il valore:

$$P_{net} = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

I valori incrementali di precipitazione netta (al fine di ricostruire il pluviogramma della precipitazione netta) possono essere calcolati sulla base delle differenze tra i valori cumulati forniti dalla precedente relazione.

Il massimo volume di ritenzione S è evidentemente una caratteristica del bacino o di sue aliquote quando si lavori, ad esempio, parzializzando il bacino attraverso una griglia di elementi superficiali.

Il valore di S è normalmente attribuito attraverso l'uso di un parametro intermedio, il Curve Number (CN), secondo le relazioni:

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

Il parametro CN è un numero adimensionale e varia da 100 (per corpi idrici) a circa 30 per suoli permeabili con elevati tassi di infiltrazione.

CN è quindi essenzialmente legato alla natura del suolo, al tipo di copertura vegetale ed alle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione.

Per quanto riguarda la natura del suolo, SCS ha classificato i tipi di suolo in quattro gruppi:

- Gruppo A: suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, ghiaie profonde molto permeabili. Capacità di infiltrazione molto elevata.

- Gruppo B: suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A e con maggiore aliquota di argilla e limo. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizione di saturazione.

- Gruppo C: suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e collodi. Scarsa capacità di infiltrazione.

- Gruppo D: suoli con potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Nella Tabella seguente sono riportati, per tali gruppi di suoli, i valori del parametro CN anche con riferimento alla copertura del suolo, derivante dal suo uso.

Uso del suolo	A	B	C	D
Terreno a riposo	77	86	91	94
Coltivazione a filari	70	80	85	90
Frumento, Mais, Riso, Orzo	63	75	83	87
Legumi	58	72	81	85
Pascoli	49	69	79	84
Boschi	36	60	73	79
Strada sterrata	72	82	87	89
Strada rivestita	74	84	90	92

Grafico 5 : Valori di CN per diversi usi del suolo e diversi tipi di suolo.

Per i bacini in esame, di tipo roccioso e boscato, si assume un valore medio di $CN = 78$.

2.5 APPLICAZIONE DEL MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Si riporta di seguito per i corsi d'acqua in esame i valori delle portate di piena e gli idrogrammi determinati con i metodi precedentemente esposti.

BACINO	Q_{max} mc/s
GUIDARI	31.59
FAROTA	10.45
CANNETO	15.11
PALUMARA	5.80

Tabella 1 : Picchi di piena dei bacini indagati.

2.5.1 Torrente Guidari

N.RO	1	2	3	4	5	6
SUPERFICIE	9.14	18.78	3.35	4.15	1.57	2.19
Q _{max}	5.62	10.98	2.06	2.55	0.97	1.35
u _{max}	614	585	614	615	616	615

N.RO	7	8	9	10	11 (50%)	URBANO
SUPERFICIE	2.62	2.82	2.06	1.74	1.61	7.37
Q _{max}	1.61	1.73	1.27	1.07	0.99	1.98
u _{max}	615	614	615	616	615	269

Tabella 2 : Valori al colmo e coefficienti udometrici dei sottobacini stimati per il torrente Guidari.

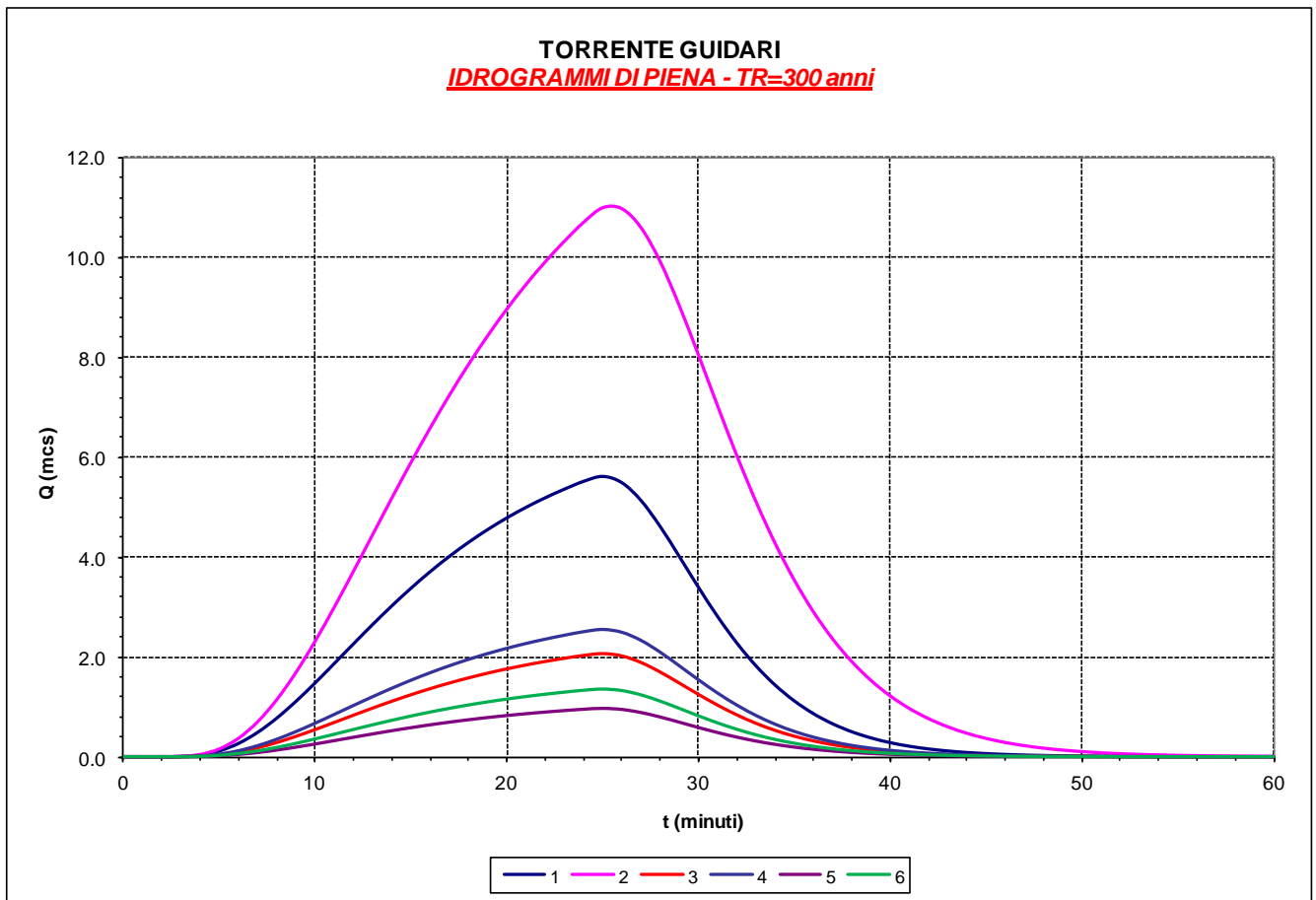


Grafico 6 : Idrogrammi di piena dei sottobacini del Torrente Guidari.

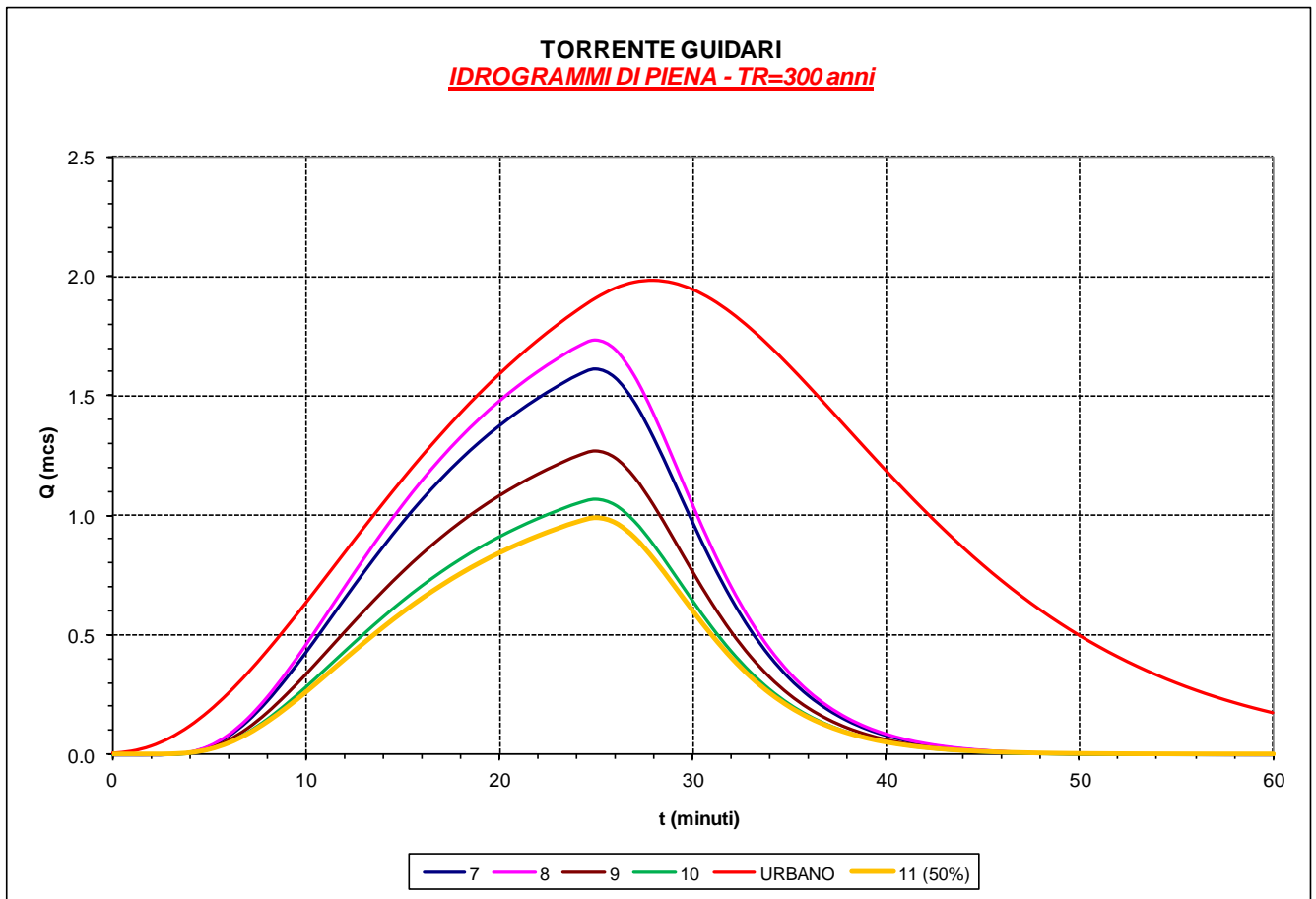


Grafico 7 : Idrogrammi di piena dei sottobacini del Torrente Guidari.

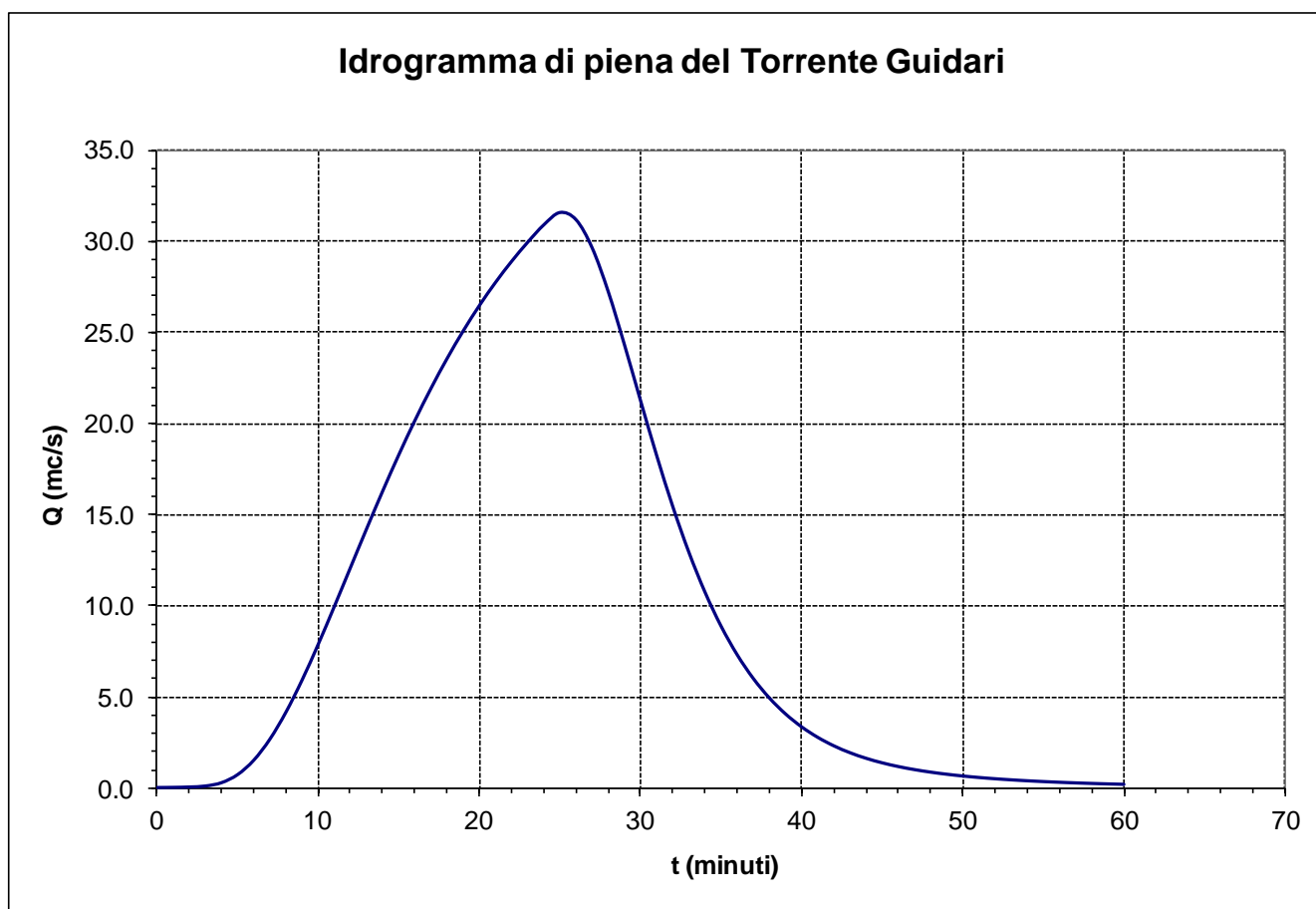


Grafico 8 : Idrogramma di piena del Torrente Guidari.

2.5.2 Torrente Farota

N.RO	F1	F2	F3	F4	F5	F_URBANO	11 (50%)
SUPERFICIE	6.44	1.20	0.48	1.32	0.85	2.90	1.61
Qmax	4.73	1.18	0.47	1.30	0.84	1.90	0.99
umax	734	998	988	986	990	656	615

Tabella 3 : Valori al colmo e coefficienti udometrici dei sottobacini stimati per il torrente Farota.

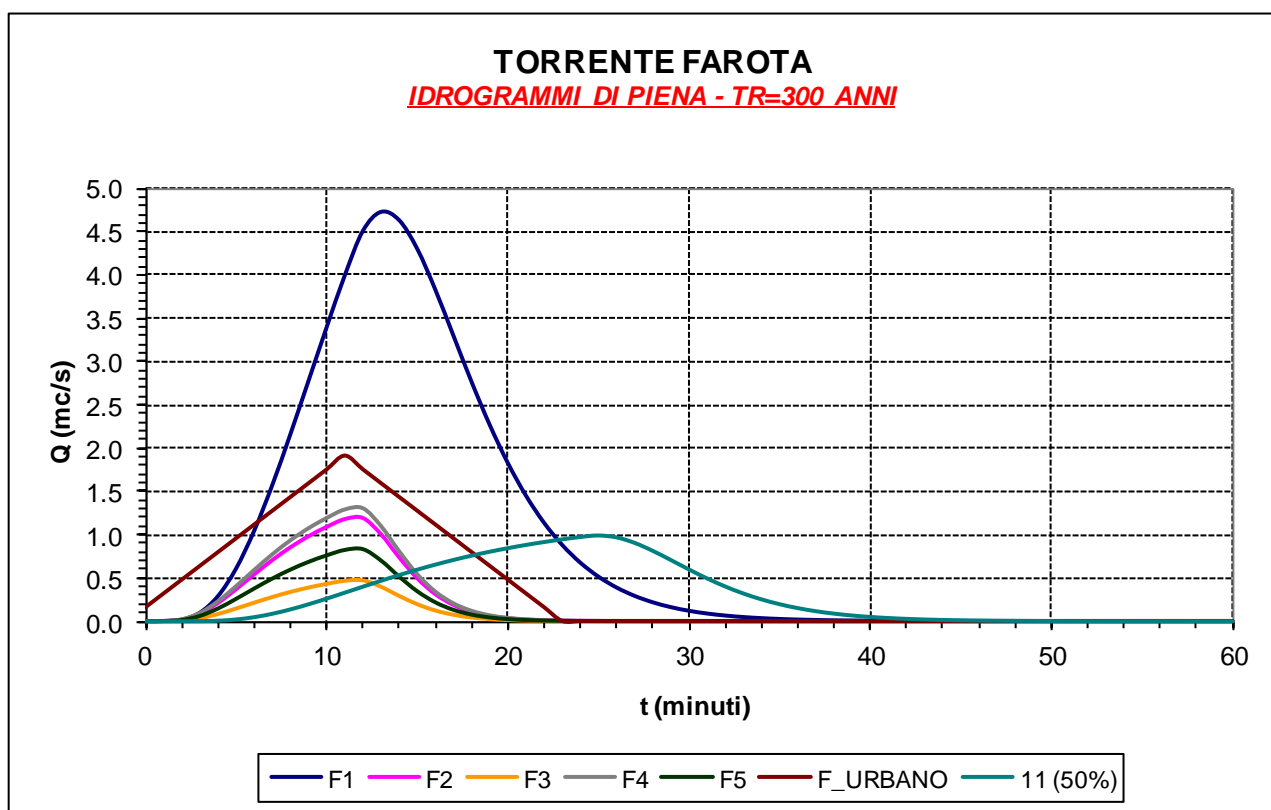


Grafico 9 : Idrogrammi di piena dei sottobacini del Torrente Farota.

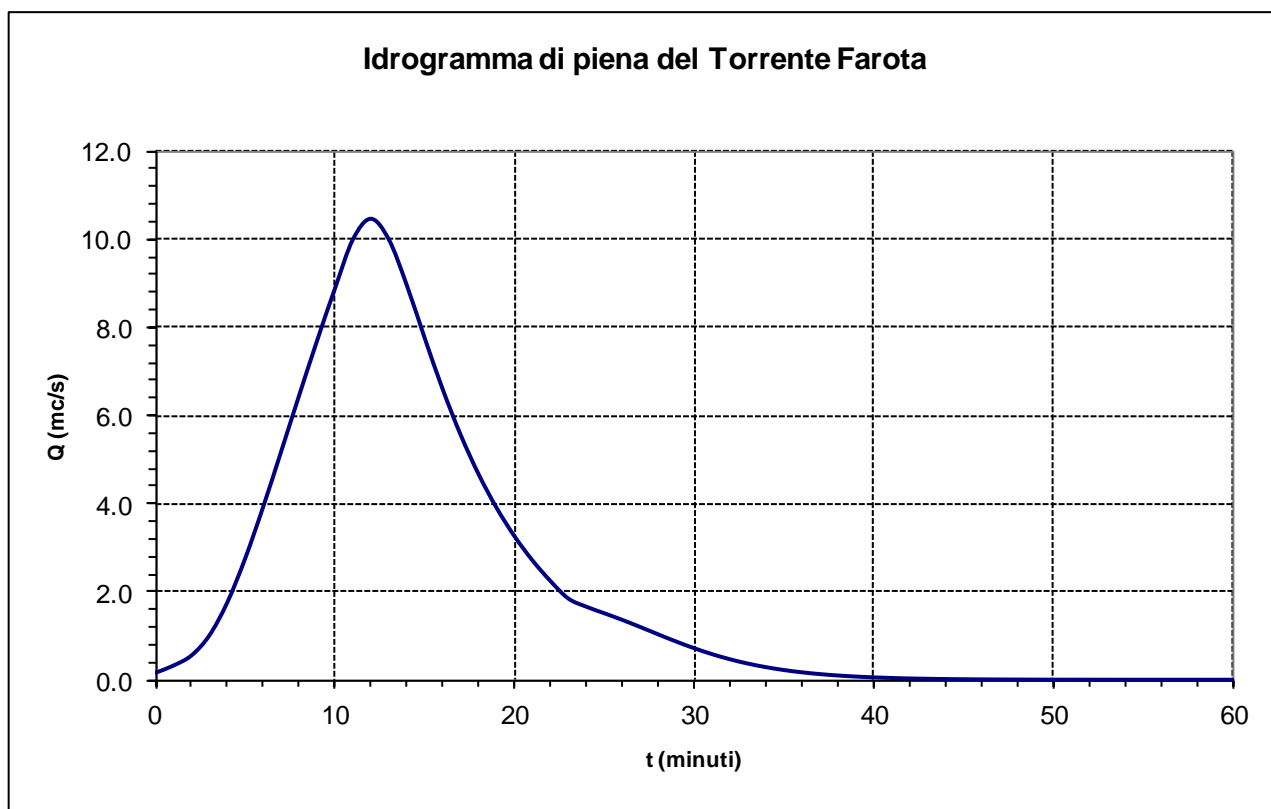


Grafico 10 : Idrogramma di piena del Torrente Farota.

2.5.3 Torrente Canneto

N.RO	C1	C2	C3	C4	C5	C_URBANO
SUPERFICIE	12.81	1.23	1.19	1.26	1.25	4.21
Qmax	8.74	0.96	0.93	0.99	0.98	2.79
umax	682	783	784	782	784	662

Tabella 4 : Valori al colmo e coefficienti udometrici dei sottobacini stimati per il torrente Canneto.

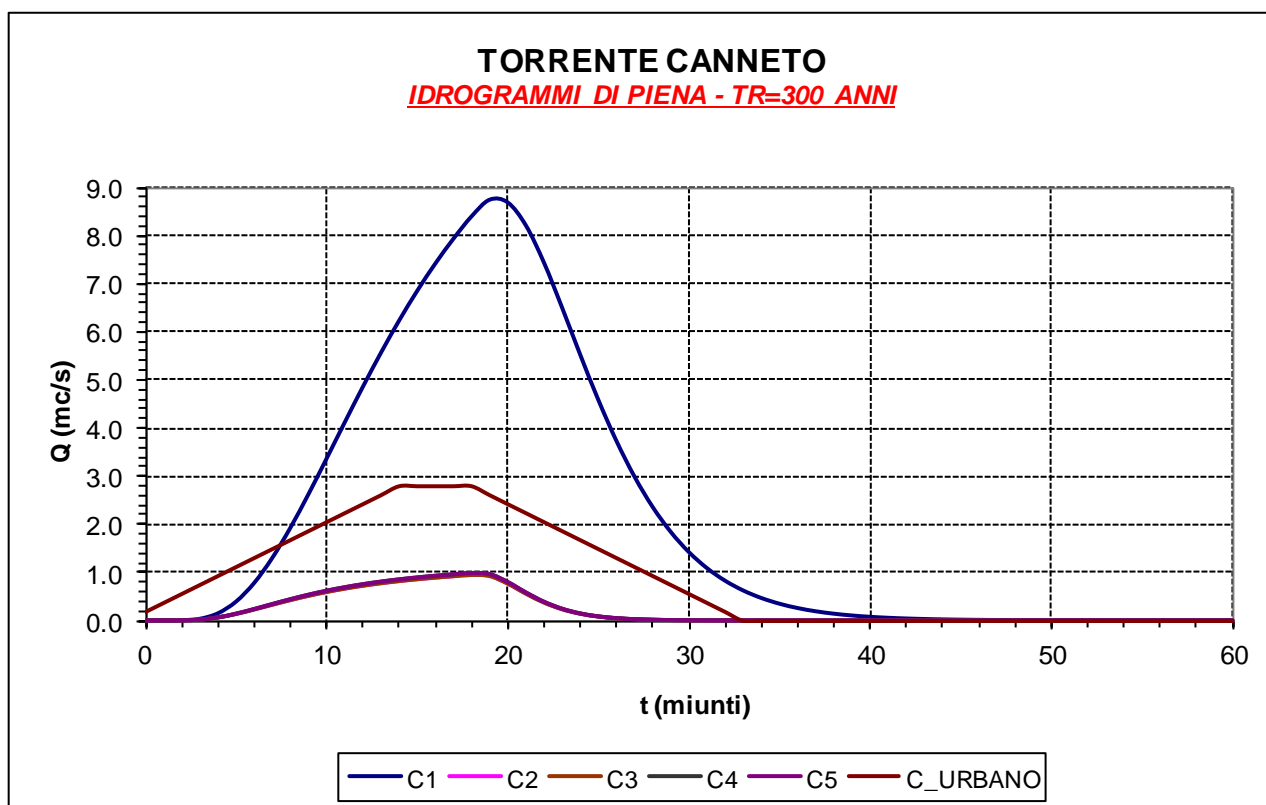


Grafico 11 : Idrogrammi di piena dei sottobacini del Torrente Canneto.

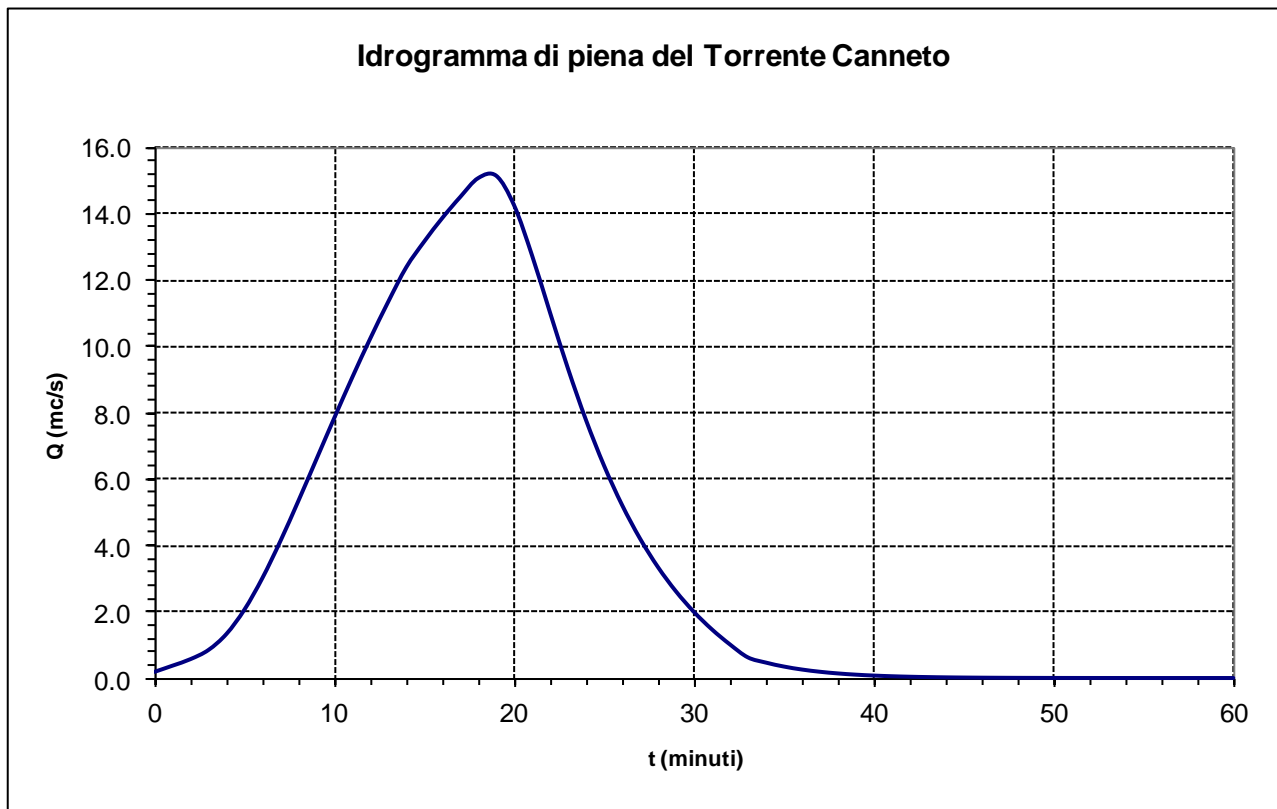


Grafico 12 : Idrogramma di piena del Torrente Canneto.

2.5.4 Torrente Palumara

<i>N.RO</i>	<i>P1</i>	<i>P_URBANO</i>
SUPERFICIE	6,70	3,6
Qmax	4,19	2.12
umax	612	904

Tabella 5 : Valori al colmo e coefficienti udometrici dei sottobacini stimati per il torrente Palumara

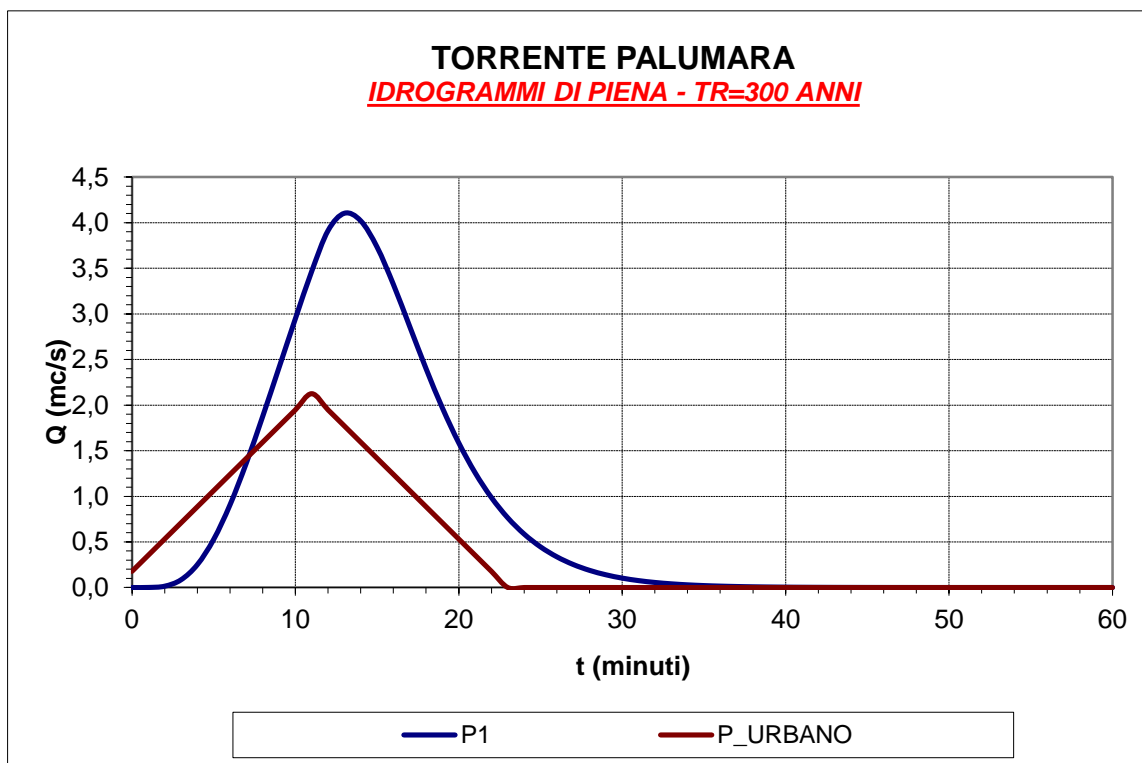


Grafico 13 : Idrogrammi di piena dei sottobacini del Torrente Palumara

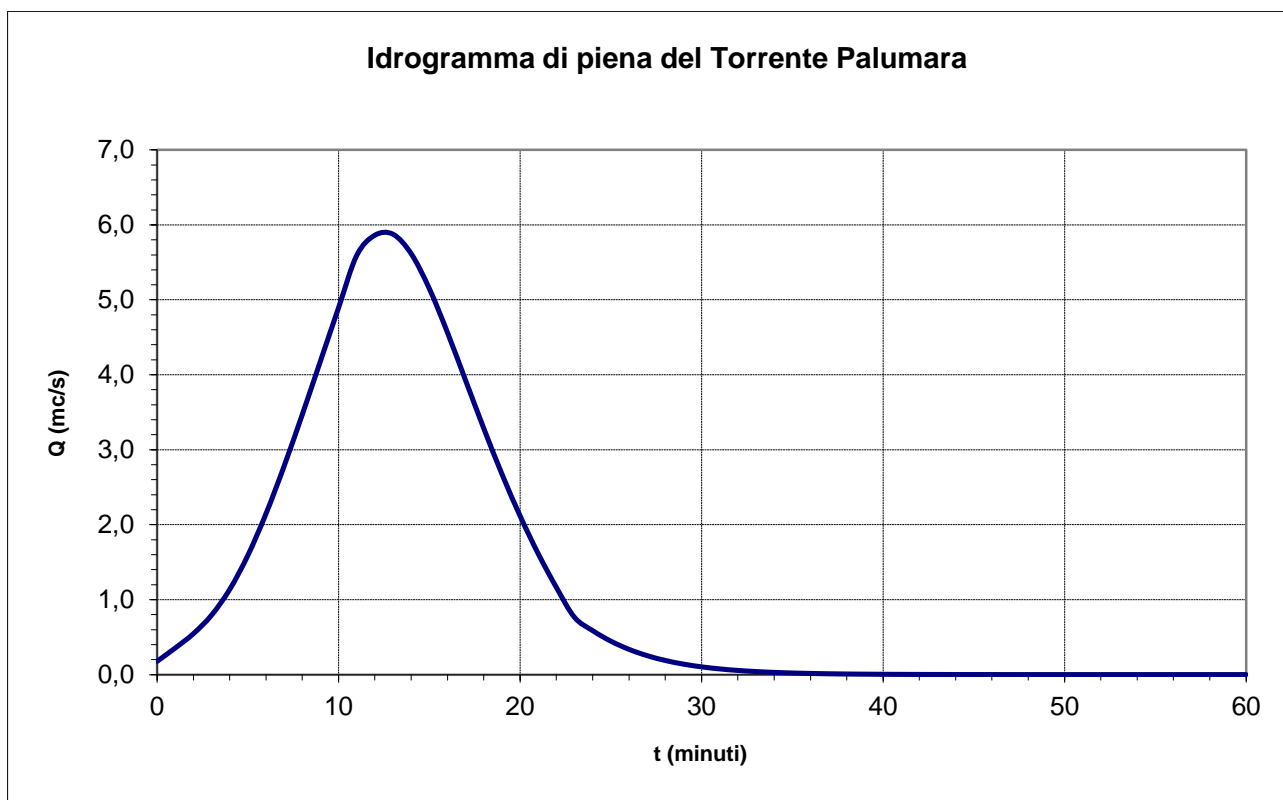


Grafico 14 : Idrogramma di piena del Torrente Palumara

2.6 DEFINIZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO PER LA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI SMALTIMENTO E TRATTAMENTO DELLE ACQUE METEORICHE DALLA PIATTAFORMA PORTUALE

Gli ietogrammi di progetto assunti per il dimensionamento delle opere sono:

Tempo di ritorno 20 anni:

- Durata della precipitazione 15 minuti
- Curva di possibilità pluviometrica: $h = 93,14 t^{0,236}$
- Altezza di pioggia: 67,15 mm
- Intensità di precipitazione: 268 mm/ora

Tempo di ritorno 50 anni:

- Durata della precipitazione 15 minuti
- Curva di possibilità pluviometrica: $h = 112,95,14 t^{0,232}$
- Altezza di pioggia: 81,89 mm
- Intensità di precipitazione: 327,5 mm/ora

3 QUANTIFICAZIONE DEL VOLUME DI TRASPORTO SOLIDO

3.1 ANALISI CON METODI EMPIRICI – RISULTATI DEL PROGETTO PRELIMINARE

Nel progetto preliminare veniva eseguita una stima della produzione media annua dei sedimenti per i bacini idrografici insistenti sulla nuova piattaforma di progetto mediante modelli semplificati di carattere empirico basati sulle caratteristiche geomorfologiche dei bacini.

Il metodo utilizzato è quello proposto da Williams e Berndt e porta ai seguenti risultati:

Bacino	Produzione specifica di sedimenti (t/ha/anno)	Produzione annua di sedimenti (mc/anno)
Canneto	18.2	131.2
Farota	25.4	126.1
Guidari	17.7	353.3
Larderia	53.5	16046.2

Tabella 6: produzione di sedimenti

Si tralascia in questa sede tutta la trattazione già riportata per esteso nei documenti di gara.

3.2 I DATI DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE

Nel Piano Regolatore Portuale di Messina vengono forniti i seguenti valori medi annui di trasporto solido:

Bacino	Produzione annua di sedimenti (mc/anno)
Canneto	680
Farota	530
Guidari	920
Plumara	370
Larderia	790

Tabella 7: produzione da piano regolatore

3.3 VERIFICHE IN SITO

Dai sopralluoghi eseguiti in sito si è potuto constatare quanto segue:

- Di fronte ad eventi pluviometrici particolarmente intensi si ha il verificarsi di un notevole trasporto solido dovuto a fenomeni di dilavamento dei versanti.
- In particolare nell'evento del 10.03.2010, con 100 mm di precipitazione (evento paragonabile a quelli di progetto), da rilievi eseguiti in sito si sono potuti stimare i seguenti volumi prodotti dai versanti dei bacini e trasportati verso valle:
 - Farota: circa 1000 mc di materiale ghiaioso/sabbioso con massi anche di notevoli dimensioni (fino a 1 mc) derivanti dalla nicchia di frana in sinistra orografica
 - Canneto: ingente trasporto solido di materiale prevalentemente sabbioso con ostruzione dei tombinamenti autostradali e stradali
 - Guidati: trasporto solido di materiale prevalentemente ghiaioso. La maggior parte del materiale sedimentato deriva dal dilavamento delle pendici della discarica di inerti presente nella parte superiore del bacino e della pista in sterrato realizzata all'interno dell'alveo torrentizio. Il volume può essere quantificabile in circa 1500 mc.

3.4 CONCLUSIONI

I dati relativi al trasporto solido si discostano notevolmente tra loro.

L'applicazione di modelli e formulazioni analitiche sono difficilmente applicabili in quanto la maggior parte dei sedimenti deriva da fenomeni di dilavamento dei versanti ma soprattutto dalla

rimozione delle piste artificiali realizzate in alveo e dal dilavamento dei rilevati della discarica di inerti sul bacino di monte del Guidari.

A favore della sicurezza si assumono per il dimensionamento i seguenti valori:

Bacino	Produzione annua di sedimenti (mc/anno)	Produzione di sedimenti a seguito di precipitazioni intense (mc)
Canneto	680	1200
Farota	530	1000
Guidari	920	1500
Plumara	370	700

Tabella 8: valori di dimensionamento