

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA  
S.O. OPERE CIVILI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2  
Nuova Viabilità NV02**

**IDROLOGIA E IDRAULICA  
Relazione idrologica**

SCALA:

-

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

RS90 00 Y 09 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Autore	Data
A	Emissione Esecutiva	A. Cappelli	12.06.2023	A. Cappelli	12.06.2023	A. Barreca	12.06.2023	Ugo Vittozzi	Ugo Vittozzi	12.06.2023

Ordine n. 420783  
Ugo Vittozzi  
Ingegnere  
Provincia di Roma

ITALFERR S.p.A.  
Dipartimento di Gestione delle varianti  
Ugo Vittozzi  
12.06.2023



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE</b> .....	<b>6</b>
2.1	<b>AMBITO DI STUDIO</b> .....	6
2.2	<b>MORFOLOGIA E IDROGRAFIA</b> .....	7
<b>3</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI</b> .....	<b>8</b>
3.1	IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA SECONDARIA E DEI BACINI .....	8
3.2	BACINO DEL FIUME TORTO .....	9
<b>4</b>	<b>ANALISI PLUVIOMETRICA</b> .....	<b>11</b>
4.1	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE .....	11
4.1.1	Il modello probabilistico TCEV .....	11
4.1.1.1	<i>Formulazione generale</i> .....	11
4.1.1.2	<i>Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri</i> .....	12
4.1.2	Il modello probabilistico di Gumbel .....	13
4.2	METODO VAPI SICILIA PIOGGE .....	15
4.2.1	Generalità.....	15
4.2.2	Valori adottati per l'ambito di studio .....	18
4.2.3	Studi di aggiornamento del metodo VAPI Sicilia .....	19
4.3	DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI CON DURATA INFERIORE ALL'ORA .....	23
4.4	SCELTA DEI TEMPI DI RITORNO.....	24
4.5	APPLICAZIONE ALL'AMBITO DI STUDIO.....	24
4.5.1	Scelta dei parametri di pioggia di progetto.....	24
4.5.1.1	<i>Bacini minori</i> .....	24
4.5.1.2	<i>Sottobacini del Fiume Torto</i> .....	26
<b>5</b>	<b>DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA</b> .....	<b>29</b>
5.1	IL METODO CINEMATICO O RAZIONALE .....	29
5.2	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO.....	30
5.3	METODO SCS – CURVE NUMBER (CN).....	31
5.4	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	34
5.5	CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO .....	35
5.5.1	Scelta del tempo di corrivazione.....	35
5.5.2	Calcolo delle portate di progetto .....	36
5.5.3	Portate di riferimento per le verifiche idrauliche .....	37

5.6	IDROGRAMMI DI PIENA DEL FIUME TORTO .....	38
	<b>APPENDICE A – DATI DI PIOGGIA .....</b>	<b>43</b>
	<b>APPENDICE B – CODICI USO DEL SUOLO.....</b>	<b>44</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1 – Inquadramento geografico del bacino del Fiume Torto.....	6
Figura 3-1 – DTM dell’area di studio con individuazione della rete idrografica (blu) e dei sottobacini (in nero) .	8
Figura 3-2: sottobacini di interesse del Fiume Torto.....	9
Figura 4-1 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.....	17
Figura 4-2 – Carta delle iso-a (a) per il territorio siciliano. ....	18
Figura 4-3 – Carta delle iso-n (b) per il territorio siciliano. ....	19
Figura 4-4: Sottozone omogenee secondo il metodo “VAPI 2018” .....	21
Figura 4-5: curve di crescita per le sottozone omogenee secondo il metodo “VAPI 2018”.....	21
Figura 4-6: distribuzione del parametro a24 secondo il metodo “VAPI 2018” .....	22
Figura 4-7: distribuzione del parametro n secondo il metodo “VAPI 2018” .....	22
Figura 4-8 – Reticolo di Thiessen (in blu) per le stazioni pluviometriche della zona di studio. ....	25
Figura 4-9: intersezione dei poligoni di Thiessen con i sottobacini di interesse del Fiume Torto.....	27
Figura 5-1 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione. ....	29
Figura 5-2 – Copertura uso del suolo Regione Sicilia nell’area di studio (legenda in Appendice B). ....	31
Figura 5-3 - Idrogramma di piena Tr50 anni per il Fiume Torto a monte della confluenza con il Vallone Torre del Principe .....	38
Figura 5-4 -Idrogrammi di piena Tr50 anni per i contributi del Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe.....	39
Figura 5-5 - Idrogramma di piena Tr100 anni per il Fiume Torto a monte della confluenza con il Vallone Torre del Principe .....	39
Figura 5-6 -Idrogrammi di piena Tr100 anni per i contributi del Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe.....	40
Figura 5-7 - Idrogramma di piena Tr300 anni per il Fiume Torto a monte della confluenza con il Vallone Torre del Principe .....	40
Figura 5-8 -Idrogrammi di piena Tr300 anni per i contributi del Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe.....	41

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3-1 – caratteristiche morfometriche del bacino idrografico dell’asta di interesse .....	8
Tabella 3-2: caratteristiche morfometriche dei sottobacini del Fiume Torto .....	10
Tabella 4-1 – Coefficienti “a” ed “n” per il bacino idrografico dell’asta interferita dalla nuova NV02. ....	19
Tabella 4-2: Coefficienti “a” ed “n” per i sottobacini di interesse del Fiume Torto .....	19

Tabella 4-3 – Tempi di ritorno. ....	24
Tabella 4-4 – Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica con il metodo di Gumbel. ....	26
Tabella 4-5 – Confronto per Tr 200 anni tra parametri calcolati e parametri riportati nel documento della Protezione Civile. ....	26
Tabella 4-6: Parametri di pioggia per i sottobacini del Fiume Torto (metodo dei topoieti con Gumbel sui dati di pioggia aggiornati al 2017). ....	28
Tabella 4-7: Parametri di pioggia per i sottobacini del Fiume Torto in base alla metodologia VAPI. ....	28
Tabella 5-1 – Coefficienti di Deflusso. ....	30
Tabella 5-2 – Classificazione del terreno in base alle caratteristiche idrogeologiche. ....	32
Tabella 5-3 – Categorie di umidità del suolo (in inch=2.54 cm). ....	32
Tabella 5-4 – Valori del CN in condizioni di umidità di tipo II per i diversi tipi di suolo (da A D aumenta il deflusso superficiale) al variare della destinazione d’uso. ....	32
Tabella 5-5 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione. ....	35
Tabella 5-6 – Tempi di corrivazione determinati con le diverse formulazioni. ....	35
Tabella 5-7: Tempi di corrivazione per i sottobacini di interesse del Fiume Torto. ....	36
Tabella 5-8 – Coefficienti di deflusso. ....	36
Tabella 5-9 – Curve Number in condizioni di tipo III. ....	37
Tabella 5-10 – Portate ottenute per Tr 200 anni. ....	37
Tabella 5-11 – Portate di progetto. ....	37
Tabella 5-12 – Confronto dei coefficienti di deflusso. ....	38

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento è parte della progettazione definitiva della “Tratta Fiume Torto – Lercara diramazione” nell’ambito del più ampio progetto della “Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo – Catania” e si riferisce in particolare alla progettazione di una nuova viabilità (così detta Nuova viabilità NV02) la cui genesi deriva dal decorso dell’iter autorizzativo, descritto nella Relazione generale RS90.0.0.Y.05.RG.MD.00.0.0.001.A.

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento e le curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria.

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

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle interferenze tra le opere in progetto e l’idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza delle nuove opere e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l’utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante:
  - curva probabilistica di Gumbel;
  - metodo VaPi-CNR-piogge per la regione Sicilia (codificato in “La sistemazione dei bacini idrografici” - Seconda edizione- Vito Ferro 2006);
- definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all’ora necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria;
- calcolo delle massime portate dei bacini idrografici mediante il metodo razionale, applicato alle piogge nette determinate sia con l’applicazione del coefficiente di deflusso che con il metodo SCS;
- determinazione degli idrogrammi di piena del Fiume Torto alle sezioni di interesse per lo studio idraulico bidimensionale, applicando la metodologia di riferimento del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana, adottando i dati di pioggia più cautelativi tra quelli delle stazioni pluviometriche aggiornate e del VaPi.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 AMBITO DI STUDIO

L'intervento progettuale in oggetto ricade all'interno del bacino del Fiume Torto, nel versante centrale dell'Isola, sviluppandosi nel territorio della provincia di Palermo.

La nuova viabilità NV02 si trova nella valle del Fiume Torto, il cui bacino idrografico presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani. I contrasti morfologici sono maggiormente presenti nei versanti del tratto che attraversa la catena costiera siciliana, a partire dalla stretta morfologica posta subito a valle della stazione ferroviaria di Montemaggiore Belsito e fino all'ultimo tratto del corso del F. Torto, quando questo attraversa la Piana costiera di Bonfornello. A monte prevalgono i paesaggi collinari, generalmente omogenei, se si eccettuano le alture arenarie descritte precedentemente, dove i tratti terminali del reticolo idrografico presentano pendenze elevate.

Il tracciato della nuova viabilità NV02 si sviluppa nella porzione terminale del bacino del Fiume Torto, in quella che viene definita la vera e propria valle del Torto. La figura seguente mostra l'inquadramento geografico del bacino del F. Torto con l'indicazione della nuova viabilità.

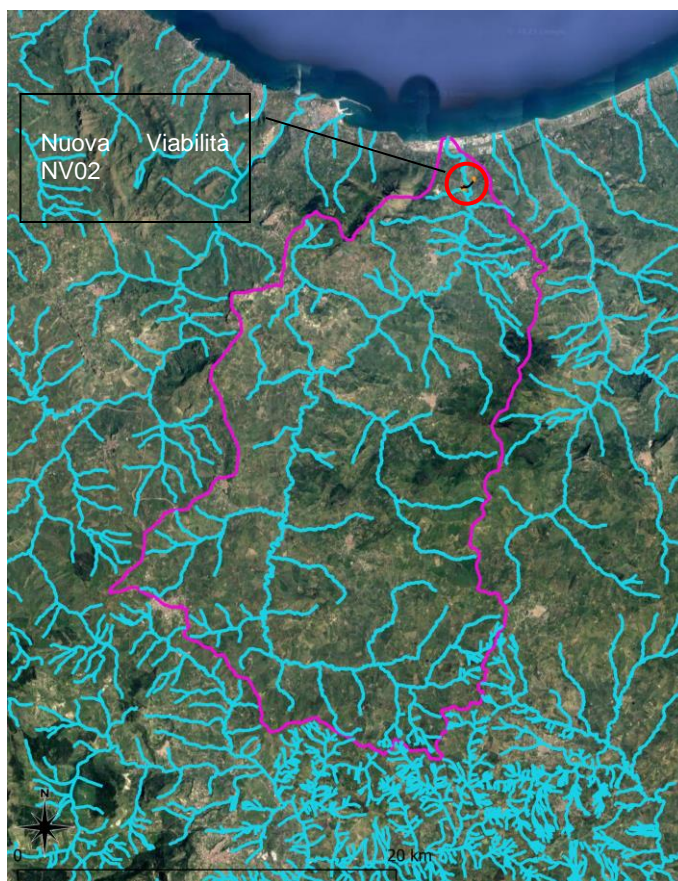


Figura 2-1 – Inquadramento geografico del bacino del Fiume Torto.



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA          RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE          Nuova Viabilità NV02          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 7 di 47

## 2.2 MORFOLOGIA E IDROGRAFIA

Il reticolo fluviale locale ricade nel bacino imbrifero del F. Torto, un importante corso d'acqua che rappresenta la principale linea di deflusso idrico superficiale dell'area.

Il bacino di tale corso d'acqua si estende per circa 423 km<sup>2</sup>. Il bacino idrografico del Fiume Torto presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani.

Tra gli elementi che determinano l'andamento dell'asta principale e dei suoi affluenti principali si ricordano: la dorsale di Monte Roccelito (destra orografica, 1145 m s.l.m.) e la sua prosecuzione ad ovest con P.zo Bosco; la dorsale nord-sud denominata La Montagna che a partire dall'abitato di Roccapalumba e fino al nucleo abitato di Sambuchi, delimita ad ovest il bacino idrografico; le alture arenarie di P.zo Fico, P.zo Conca, M. Castellazzo, M. Rigiura, La Montagna (Alia) e Serra Tignino che caratterizzano la porzione centrale in destra idrografica.

I contrasti morfologici sono maggiormente presenti nei versanti del tratto che attraversa la catena costiera siciliana, a partire dalla stretta morfologica posta subito a valle della stazione ferroviaria di Montemaggiore Belsito e fino all'ultimo tratto del corso del F. Torto, quando questo attraversa la Piana costiera di Bonfornello. A monte prevalgono i paesaggi collinari, generalmente omogenei, se si eccettuano le alture arenarie descritte precedentemente, dove i tratti terminali del reticolo idrografico presentano pendenze elevate.

L'asta principale del fiume, lungo complessivamente circa 57 km, nel tratto di monte, si sviluppa in direzione est-ovest, parallelamente allo spartiacque meridionale. In questo primo tronco gli affluenti principali sono: il T. Gian Jacopo ed il V.ne Guccia. Nella zona centrale, fino alla confluenza in sinistra del T. Lisca, il corso d'acqua raccoglie i deflussi del F. S. Filippo e del V.ne Raffo, in sponda sinistra.

A valle della confluenza con il T. Lisca, che costituisce il maggiore affluente del F. Torto, il corso d'acqua prosegue fino alla foce raccogliendo i deflussi del V.ne Finantelli e Scarcella, in sponda sinistra, e il Fosso Zimma ed il V.ne Baglio, in sponda destra.

Il Fiume Torto ha un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra, con valore della portata praticamente uguale a zero. In 7 anni di osservazione della stazione idrometrica di località Bivio Cerda, si è registrato un numero massimo di 158 giorni consecutivi a portata nulla, mentre nel 50% degli anni si è raggiunto un numero di 118 giorni.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua secondari, anche questi presentano carattere torrentizio e sono soggetti a lunghi periodi di magra; inoltre in alcuni casi non è presente una inalveazione chiaramente incisa.

### 3 CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

#### 3.1 IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA SECONDARIA E DEI BACINI

Per rappresentare l'andamento piano altimetrico della zona di analisi è stato utilizzato il DTM della Regione Sicilia (volo ATA 2007-2008), di risoluzione pari a 2 m.

Sulla base del DTM, utilizzando i moduli del *toolbox* "Hydrology" di ArcGIS, è stata ricostruita la rete idrografica dell'area di intervento e sono stati perimetrati i bacini sottesi dai corsi d'acqua presenti nell'ambito di studio (Figura 3-1).

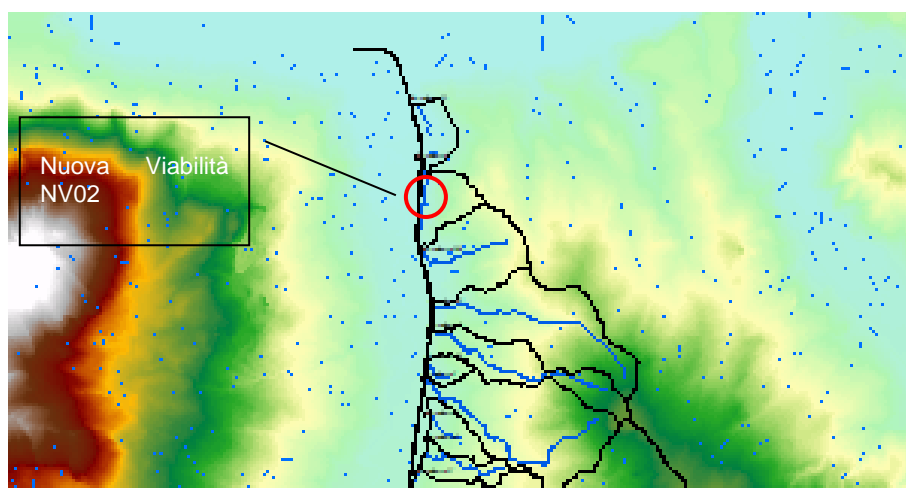


Figura 3-1 – DTM dell'area di studio con individuazione della rete idrografica (blu) e dei sottobacini (in nero).

Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche principali del bacino di interesse per l'asta idrografica interessata dalla nuova NV02, ricavate dal DTM, quali la lunghezza dell'asta principale, la superficie, la quota massima del bacino la quota in corrispondenza della sezione di chiusura, la quota media, la pendenza dell'asta principale e la pendenza media del bacino.

Tabella 3-1 – caratteristiche morfometriche del bacino idrografico dell'asta di interesse

ID	Caratteristiche del bacino							
	Sottobacino afferente	L. asta	Sup. bacino	Hmax	H0 (sez. chiusura)	H media bacino	i asta	i media bacino
		[km]	[km <sup>2</sup> ]	[m.s.m.m.]	[m.s.m.m.]	[m.s.m.m.]		
2		0.85	0.37	152.00	17.00	61.65	0.16	0.23

### 3.2 BACINO DEL FIUME TORTO

Le caratteristiche morfometriche del bacino del Fiume Torto, ricavate in corrispondenza delle sezioni di interesse per lo studio idraulico bidimensionale, sono riportate nella Tabella 3-2, mentre la seguente Figura 3-2 mostra i corrispondenti sottobacini.

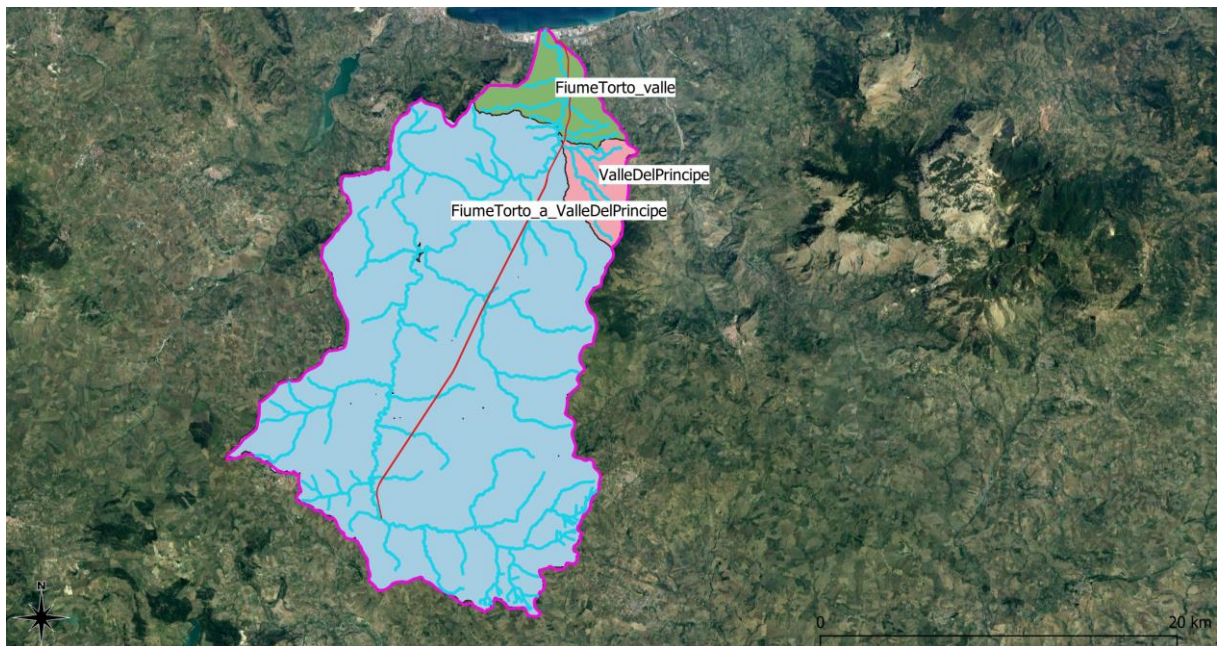


Figura 3-2: sottobacini di interesse del Fiume Torto

Tabella 3-2: caratteristiche morfometriche dei sottobacini del Fiume Torto

ID	Nome sottobacino	Caratteristiche del bacino				
		L. asta [km]	Sup. bacino [km <sup>2</sup> ]	Hmax [m.s.m.m.]	H0 (sez. chiusura) [m.s.m.m.]	H media bacino [m.s.m.m.]
FiumeTorto_01	Fiume Torto alla confluenza con il Vallone Torre del Principe	53,81	380,84	1259,36	52	495,9
ValleDelPrincipe	Vallone Torre del Principe	8,12	16,78	789,13	57,9	352,59
FiumeTorto_02	Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe	9,02	23,81	1160	0	40

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE</b> Nuova Viabilità NV02 <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

## 4 ANALISI PLUVIOMETRICA

### 4.1 MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE

In questo paragrafo vengono esposti i richiami fondamentali teorici relativamente all'analisi probabilistica degli estremi idrologici. Vengono descritte brevemente le leggi teoriche utilizzate in questo studio (TCEV e GUMBEL) con indicazioni sulle modalità di stima dei parametri.

#### 4.1.1 Il modello probabilistico TCEV

##### 4.1.1.1 Formulazione generale

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

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

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_2}\right)\right\}$$

La funzione ha quattro parametri,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\Theta_2$ . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  esprimono invece la media di tali eventi.

Spesso è utile fare riferimento, anziché alla  $X$ , alla variabile standardizzata

$$Y = \frac{X}{\Theta_1} - \ln \Lambda_1,$$

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

$$F_Y(y) = \exp\left\{-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{\Theta_*}\right)\right\}$$

nella quale risulta:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$$

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,T}$  è la

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA          RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE          Nuova Viabilità NV02          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 12 di 47

cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ( $\mu(X_i)$ ) per avere, a partire dalla  $K_{t,Tr}$ , la distribuzione di probabilità finale.

$$X_{t,Tr} = \mu(X_i) K_{t,Tr}$$

#### 4.1.1.2 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

Si sono già evidenziate le relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV. Su queste relazioni si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni

$$C_A = \sqrt{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3}{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}} \quad C_V = \frac{N}{\sqrt{N-1}} \cdot \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli:

#### 1° Livello di regionalizzazione:

Si assume che il coefficiente di asimmetria  $C_A$  sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , risulta unica la funzione di probabilità cumulata della variabile standardizzata  $Y$ , in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

### II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a  $\Lambda$ . e  $\Theta$ . possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione  $C_V$  risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Lambda$ . e  $\Theta$ .. Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,Tr}=X_{t,Tr}/\mu(X_t)$  risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

### III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse. Infatti la variabilità della pioggia indice  $\mu(X_t)$  con le caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche è tale che l'ipotesi basata sulla ricerca di aree con  $\mu(X_t)$  costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la curva di probabilità pluviometrica:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

#### **4.1.2 Il modello probabilistico di Gumbel**

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

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta  $y$ :

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

si ha la forma canonica:

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

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

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

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

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

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

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

Con questa assunzione, la variabile ridotta  $y$  dipende solamente da  $h$  con la relazione lineare:

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

La stima dei parametri  $\alpha$  e  $u$  si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Otteniamo quindi per  $\alpha$  e  $u$  le espressioni:

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

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

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

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

Grazie al metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione  $h(T_r, \tau)$  che fornisce il valore di  $h$  in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

A questo scopo, si assegna alla funzione  $h(T_r, \tau)$  la seguente forma:



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

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

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

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

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

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

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

## 4.2 METODO VAPI SICILIA PIOGGE

### 4.2.1 Generalità

In questo paragrafo si illustrano i risultati del Progetto VAPI Sicilia per la stima delle precipitazioni di assegnato tempo di ritorno per il territorio insulare. Questa sintesi è stata articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, riportate nella monografia "La sistemazione dei bacini idrografici", [Seconda edizione- Vito Ferro 2006], a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento.

#### I° Livello di regionalizzazione

L'applicazione della TCEV effettuata facendo ricorso ai massimi annuali delle altezze di pioggia di fissata durata misurati in stazioni localizzate nel territorio siciliano hanno evidenziato, al primo livello di regionalizzazione, la seguente dipendenza dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  dalla durata  $t$ :

$$\Theta^* = 1.95 + 0.0284 \cdot t$$

$$\Lambda^* = 0.175 \cdot t^{0.301}$$

#### II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione, la Sicilia è suddivisa nelle tre sottozone A, B e C della Figura 4-1 e a ciascuna di esse è stato attribuito, per una prefissata durata, un valore costante del parametro  $\lambda_1$ , indicato con il simbolo  $\Lambda_1$ , che risulta dipendente dalla durata:

$$\text{Sottozona A} \quad \Lambda_1 = 14.55 \cdot t^{0.2419}$$

$$\text{Sottozona B} \quad \Lambda_1 = 12.40 \cdot t^{0.1802}$$

$$\text{Sottozona C} \quad \Lambda_1 = 11.96 \cdot t^{0.0960}$$

In ciascuna sottozona il parametro risulta anch'esso dipendente dalla durata:

$$\begin{aligned} \text{Sottozona A} & \quad \alpha = 3.5208 \cdot t^{0.1034} \\ \text{Sottozona B} & \quad \alpha = 3.3536 \cdot t^{0.0945} \\ \text{Sottozona C} & \quad \alpha = 3.3081 \cdot t^{0.0765} \end{aligned}$$

Pertanto  $h'_t$  risulta in ciascuna sottozona identicamente distribuita secondo la:

$$P(h'_t) = \exp \left[ -\lambda_1 \left( \exp \left( \frac{\mu}{g_1} \right) \right)^{-h'_t} - \Lambda_* \lambda_1^{1/\Theta^*} \left( \exp \left( \frac{\mu}{\Theta^* g_1} \right) \right)^{-h'_t} \right] \quad (1)$$

con parametri stimati in accordo alle formulazioni delle diverse sottozone.

In ciascuna sottozona, per valori del tempo di ritorno  $Tr \geq 10$  anni, la funzione inversa della  $P(h'_t)$  assume la seguente espressione:

$$h'_{t,Tr} = b_0 + b_1 \cdot \log(Tr) \quad (2)$$

Essendo  $h'_{t,Tr}$  i valori di  $h'_t$  di assegnato tempo di ritorno  $Tr$  e in cui i coefficienti  $b_0$  e  $b_1$  sono dipendenti dalla durata secondo le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \text{Sottozona A} \quad b_0(t) &= 0.5391 - 0.001635 \cdot t \\ b_1(t) &= 0.0002212 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966 \end{aligned} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} \text{Sottozona B} \quad b_0(t) &= 0.5135 - 0.002264 \cdot t \\ b_1(t) &= 0.0001980 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508 \end{aligned} \quad (3b)$$

$$\begin{aligned} \text{Sottozona C} \quad b_0(t) &= 0.5015 - 0.003516 \cdot t \\ b_1(t) &= 0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101 \end{aligned} \quad (3c)$$

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica si ottiene moltiplicando la precedente relazione (2) con i coefficienti determinati per ciascuna sottozona mediante le (3), per la legge di variazione della media della legge TCEV con la durata, ovvero:

$$h_{t,Tr} = h'_{t,Tr} \cdot \mu(t) \quad (4)$$

In cui  $h_{t,Tr}$  è l'altezza di pioggia di assegnata durata  $t$  e prefissato tempo di ritorno  $Tr$ .

### III° Livello di regionalizzazione

Quest'ultima fase dell'indagine pluviografica aveva come obiettivo quello di individuare un criterio regionale per la stima di  $\mu$  nei siti privi di stazioni di misura o con un numero modesto di anni di osservazione, così da rendere applicabile la (4) in qualsiasi punto della regione.

Confrontando le medie teoriche  $\mu$  con le medie campionarie  $m_c$  si è riscontrato che, per ciascuna durata, i parametri statistici  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$  possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti e per ciascuna stazione è stato riconosciuto il seguente legame di potenza:

$$m_c = a \cdot t^n \tag{5}$$

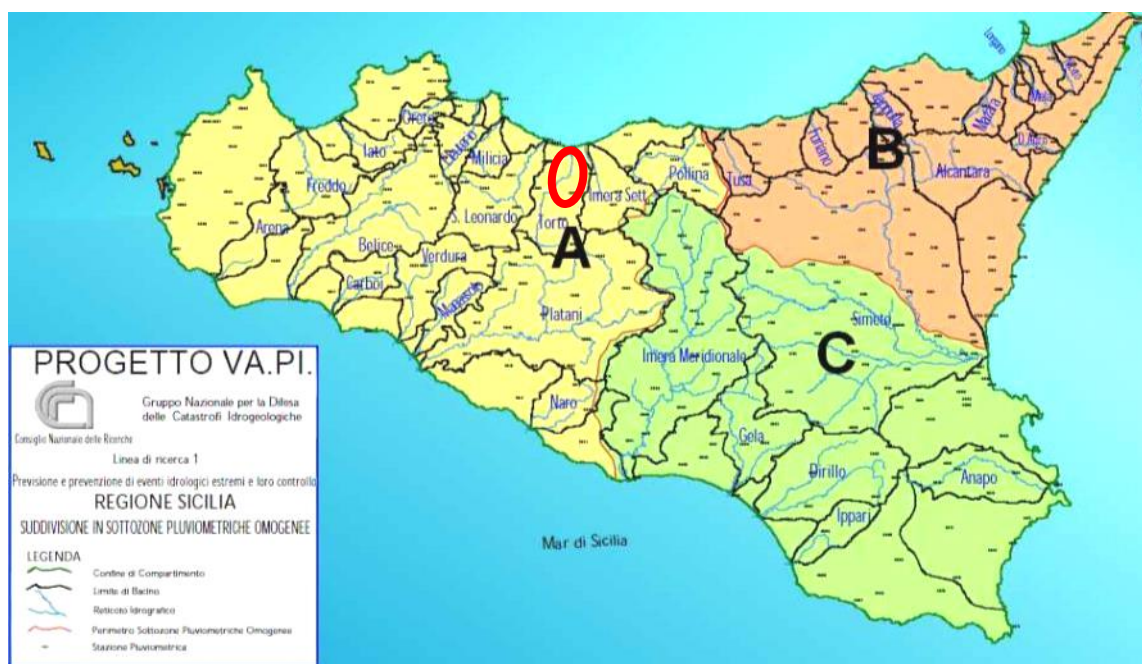


Figura 4-1 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.

In questo modo è consentito, peraltro, di svincolare il terzo livello di regionalizzazione dalla procedura gerarchica, essendo l'aggiornamento della media campionaria indipendente dalle fasi precedenti.

Questo legame di tipo monomio è stato riconosciuto nelle 172 stazioni pluviografiche siciliane relativamente alle 5 durate di pioggia. Questo risultato consente di definire la curva di possibilità pluviometrica, piuttosto che ricorrendo ai cinque valori della media ( $m_t$  per  $t=1, 3, 6, 12$  e  $24$  ore), con i soli due parametri  $a$  ed  $n$ . Tali parametri sono riportati per ciascuna stazione pluviografica [Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993]

Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti  $a$  e  $n$  possono essere stimati sulla base della carta delle iso- $a$  e delle iso- $n$  rappresentati in Figura 4-2 e Figura 4-3 non essendo stato rilevato né un legame interno tra le due costanti in parola, né una variabilità in funzione dell'altitudine media.

#### 4.2.2 Valori adottati per l'ambito di studio

Tutti i bacini idrografici analizzati nel presente studio ricadono nella sottozona A rappresentata in Figura 4-1 e, pertanto, la curva di possibilità pluviometrica ha la seguente espressione:

$$h'_{t,Tr} = [0.5391 - 0.001635t + (0.0002212t^2 + 0.00117t + 0.9966)\log(Tr)] \cdot a \cdot t^n \quad (6)$$

nella quale i coefficienti  $a$  e  $n$  sono stati stimati sulla base della carta delle iso- $a$  e delle iso- $n$  di Figura 4-2 e Figura 4-3 e sono riportati in Tabella 4-1.

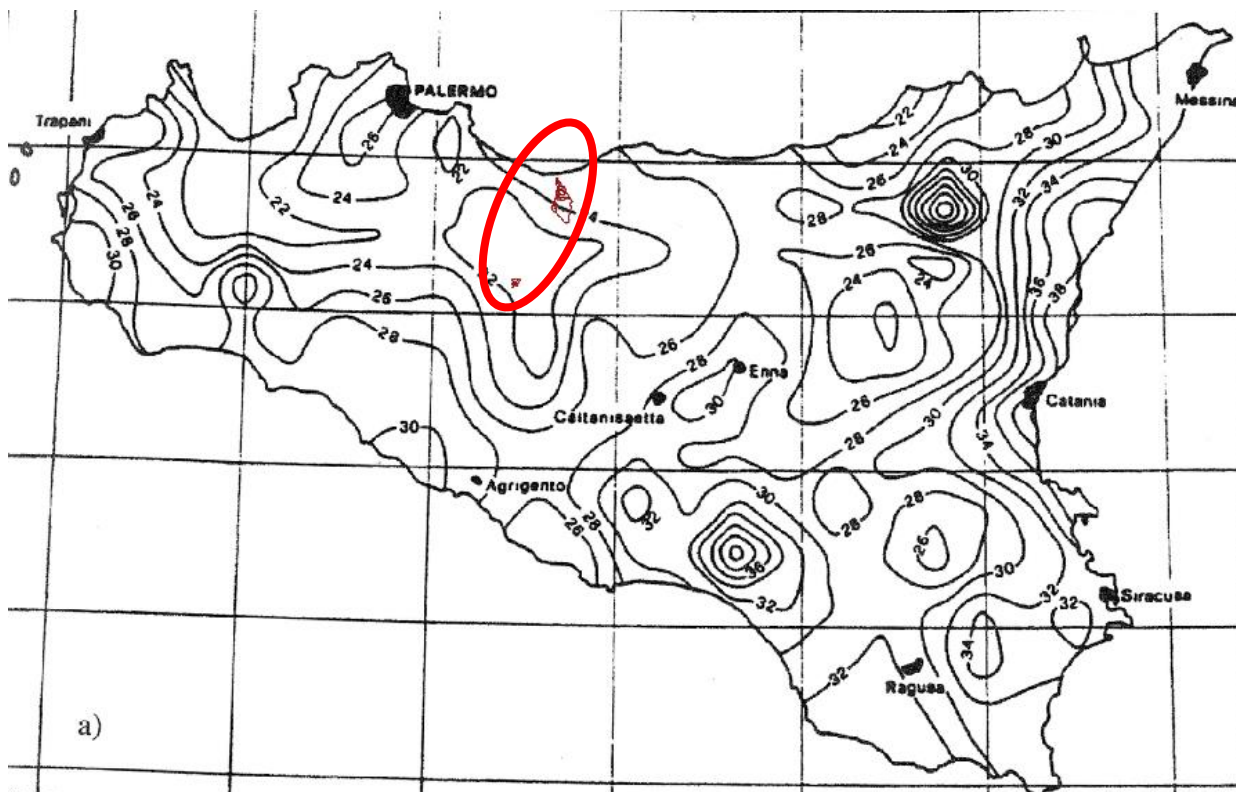


Figura 4-2 – Carta delle iso- $a$  (a) per il territorio siciliano.



Figura 4-3 – Carta delle iso-n (b) per il territorio siciliano.

Tabella 4-1 – Coefficienti “a” ed “n” per il bacino idrografico dell’asta interferita dalla nuova NV02.

ID Sottobacino afferente	VAPI Sicilia	
	a [mm/ore <sup>n</sup> ]	n
2	26	0.29

Tabella 4-2: Coefficienti “a” ed “n” per i sottobacini di interesse del Fiume Torto

ID Sottobacino	VAPI Sicilia	
	a [mm/ore <sup>n</sup> ]	n
FiumeTorto_01	22	0,32
ValleDelPrincipe	24	0,34
FiumeTorto_02	24	0,34

### 4.2.3 Studi di aggiornamento del metodo VAPI Sicilia

Il metodo VAPI, come detto, si basa essenzialmente sulla regionalizzazione dei parametri statistici delle leggi di distribuzione in funzione di criteri di omogeneità, similitudine, ecc., che dipendono dalla quantità e qualità

dei dati misurati. Negli ultimi venti anni sono stati sviluppati due importanti studi di aggiornamento del metodo VAPI per la Regione Siciliana, a partire proprio dalle nuove misure degli eventi di pioggia registrati: lo studio di *Lo Conti et al* del 2007 e le analisi di *Forestieri et al* del 2018. Entrambi i lavori citati, pur proponendo una revisione delle sottozone idrologicamente omogenee, non sono stati ufficialmente recepiti dagli strumenti di pianificazione, tuttavia per il presente lavoro si è operato un confronto con i risultati ottenibili dal metodo aggiornato e si è potuto constatare che, per l'ambito di studio di interesse in questa sede, non si hanno altezze di pioggia maggiori di quelle fornite dal metodo VAPI "storico". Di seguito si riportano in sintesi le analisi svolte.

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica è sempre data da

$$h_{t,Tr} = h'_{t,Tr} \cdot \mu(t)$$

dove:

- $h_{t,Tr}$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$
- $h'_{t,Tr}$  è la cosiddetta curva di crescita
- $\mu(t)$  è l'altezza di pioggia media, dipendente dai parametri regionali

L'altezza di pioggia media è espressa dalla seguente relazione (dove  $\mu$  è  $m$  e  $t$  è  $d$ )

$$m(d) = a_{24} \left( \frac{d}{24} \right)^n$$

I parametri  $a_{24}$  ed  $n$  sono spazializzati secondo le mappe riportate nelle figure seguenti. Per l'ambito di studio di interesse in questa sede si ottiene:

$$a_{24} = 48 \text{ mm/h}^n$$

$$n = 0,34$$

Per una durata di pioggia oraria, ad esempio, si ha:

$$m(d) = 48 \times (1/24)^{0,34} = 16,3 \text{ mm}$$

La curva di crescita per la sottozona di interesse (crf. Figura 4-5) dà un valore di  $h'_{t,Tr}$  pari a circa 3 per  $Tr$  300 anni, di conseguenza si ricava:

$$h_{t,300} = 16,3 \times 3 = 48,88 \text{ mm}$$

Tale valore risulta leggermente inferiore a quelli adottati per le analisi condotte in questa sede, come mostrato nei successivi capitoli.

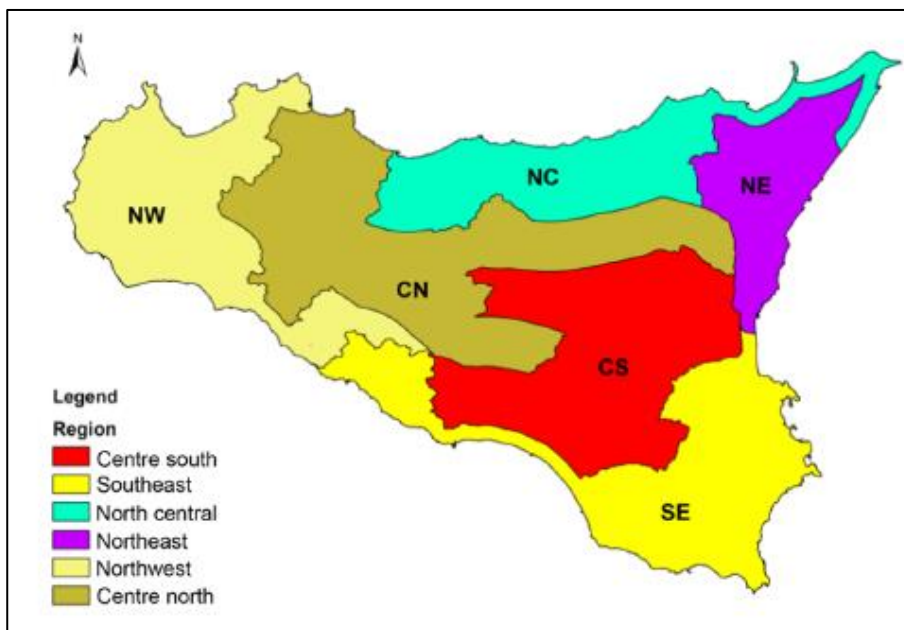


Figura 4-4: Sottozone omogenee secondo il metodo "VAPI 2018"

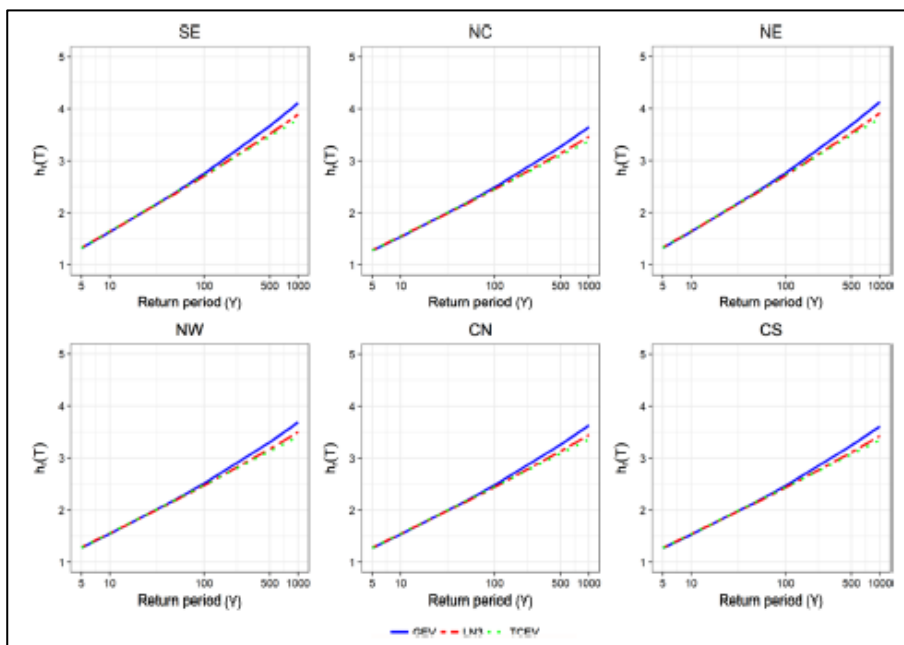


Figura 4-5: curve di crescita per le sottozone omogenee secondo il metodo "VAPI 2018"

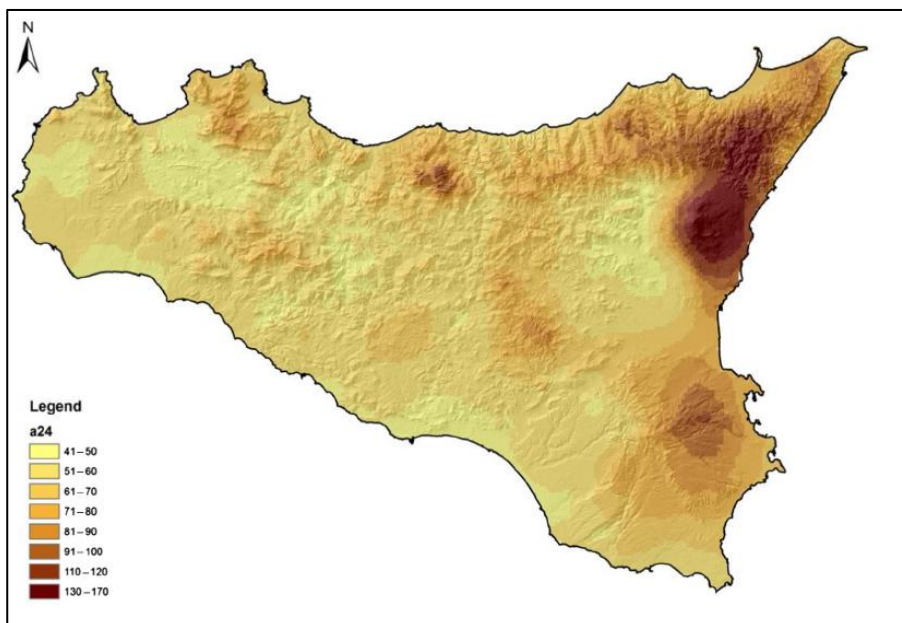


Figura 4-6: distribuzione del parametro a24 secondo il metodo "VAPI 2018"

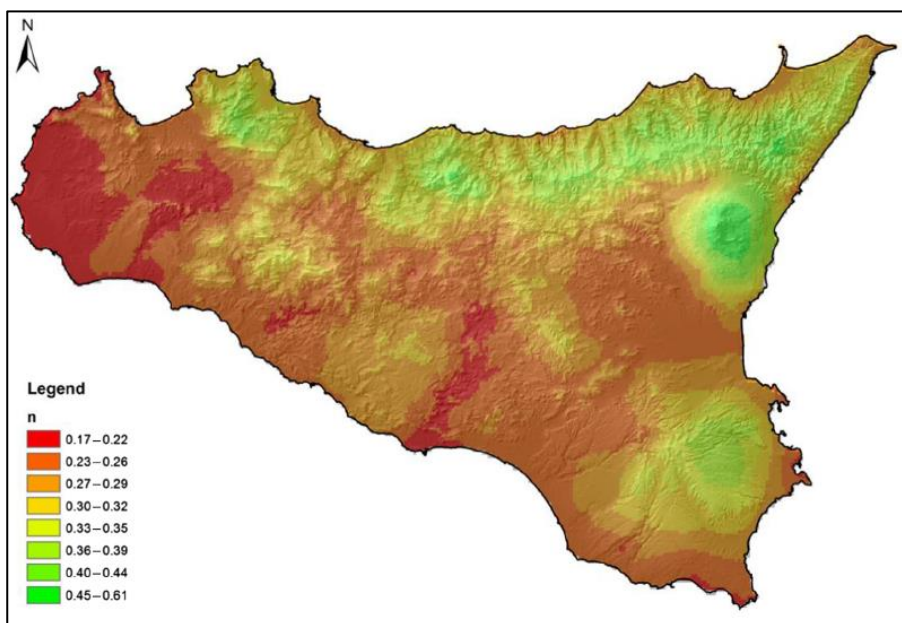



Figura 4-7: distribuzione del parametro n secondo il metodo "VAPI 2018"



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>RELAZIONE IDROLOGICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS90</td> <td>00 Y 09</td> <td>RI</td> <td>ID0001 001</td> <td>A</td> <td>23 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS90	00 Y 09	RI	ID0001 001	A	23 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS90	00 Y 09	RI	ID0001 001	A	23 di 47								

### 4.3 DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI CON DURATA INFERIORE ALL'ORA

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora vengono denominati eventi brevi; gli eventi brevi e quelli lunghi, precedentemente esposti, seguono differenti dinamiche meteorologiche e non possono essere trattati in egual modo. È stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h$ , con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h$  di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno  $T$ , è dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t) \quad (15)$$

avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale della (15) può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left( \frac{t}{60} \right)^s \quad (16)$$

In cui  $t$  è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti,  $s$  è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame. Nel caso in oggetto, per la Sicilia il coefficiente assume il valore di 0.386 (Ferreri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la forma:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left( \frac{t}{60} \right)^{0.386} \quad (17)$$

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA          RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE          Nuova Viabilità NV02          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

#### 4.4 SCELTA DEI TEMPI DI RITORNO

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle opere di attraversamento è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme tecniche delle Costruzioni (NTC 2018).

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

Tabella 4-3 – Tempi di ritorno.

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deviazioni stradali <i>Tr=25 anni</i></li> </ul>	-
Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)	<ul style="list-style-type: none"> <li>deviazioni stradali <i>Tr=200 anni</i></li> </ul>	<i>Tr = 200 anni</i>

#### 4.5 APPLICAZIONE ALL'AMBITO DI STUDIO

##### 4.5.1 Scelta dei parametri di pioggia di progetto

###### 4.5.1.1 Bacini minori

Per identificare le stazioni pluviometriche di riferimento per il calcolo delle portate di progetto sono state prese in considerazione le stazioni di misura presenti nella zona di studio e si è, quindi, proceduto a ripartire il territorio di studio con il metodo geometrico dei reticoli di Thiessen. Con questo approccio si definisce il punto di mezzo dei segmenti che collegano una stazione con quella contigua e da questo punto si traccia la normale fino ad incontrare la normale relativa ad un'altra congiungente. L'area così delimitata è associata agli eventi che si sono verificati nella stazione posta all'interno del poligono.

Per l'ambito di studio della nuova NV02 la stazione pluviometrica di riferimento risulta essere quella di "Bivio Cerda", come esemplificato in Figura 4-8.

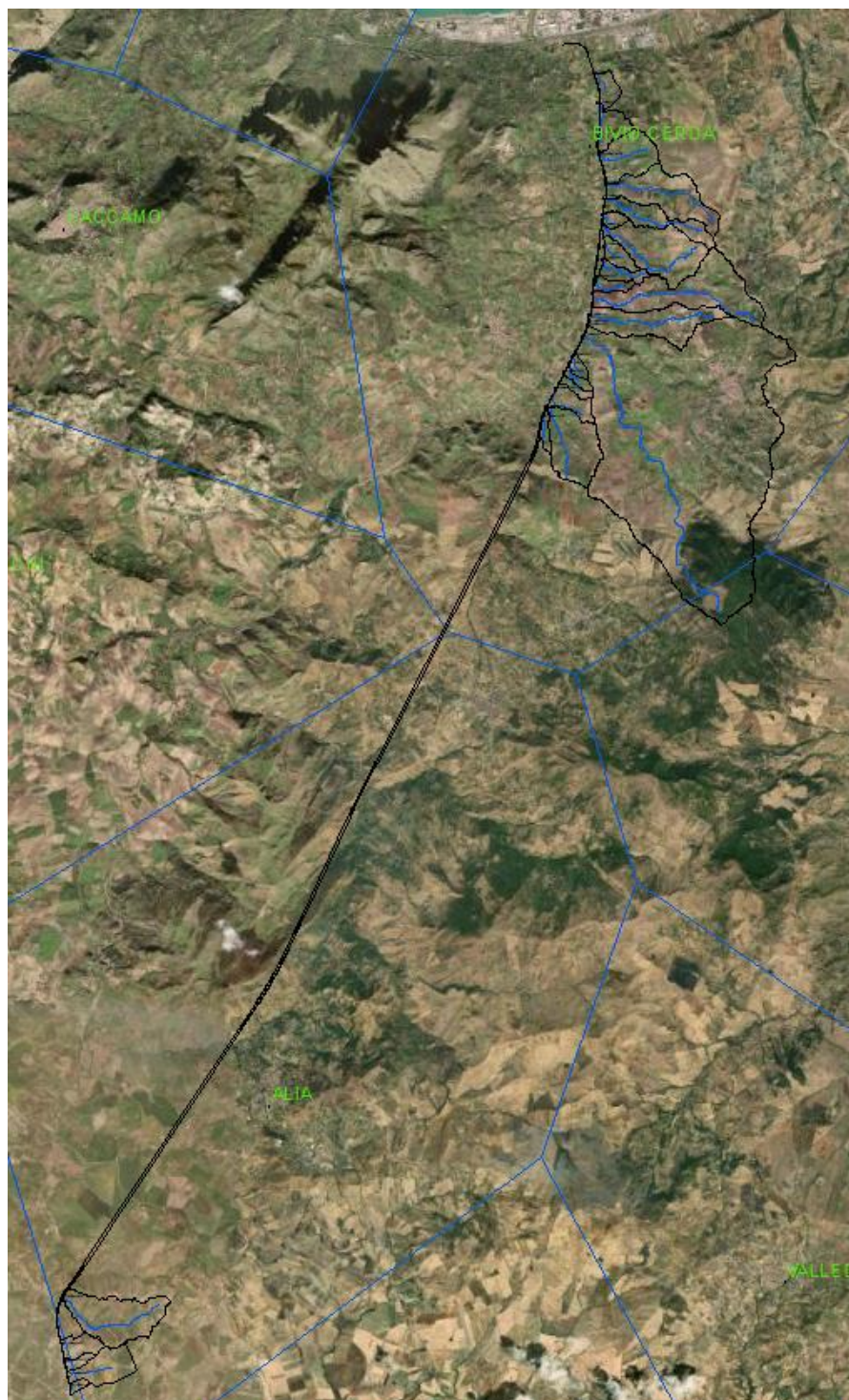


Figura 4-8 – Reticolo di Thiessen (in blu) per le stazioni pluviometriche della zona di studio.

I dati idrologici disponibili per l'analisi pluviometrica sono quelli degli Annali Idrologici; sono stati forniti dall'Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia e sono riportati in Appendice A. I dati di interesse sono i valori storici del massimo annuo giornaliero della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

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

- Bivio Cerda ---> dati disponibili nel periodo 1976-2015

La Tabella 4-4 contiene i parametri delle curve di possibilità pluviometrica  $a$  ed  $n$  per i tempi di ritorno di 5, 10, 25, 100, 200 e 300 anni.

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

Tr	Bivio Cerda	
	$a$ [mm/ore <sup>n</sup> ]	$n$
5	37.10	0.227
10	43.65	0.222
25	51.93	0.218
100	64.15	0.214
200	70.22	0.212
300	73.76	0.212

I parametri  $a$  e  $n$  ottenuti dal calcolo sono stati confrontati con quelli contenuti nel documento “*Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica del territorio regionale*” del Servizio Rischi Idrogeologici ed ambientali della Protezione Civile Siciliana e con quelli riferibili alla procedure VA.PI. Piogge. Per i bacini minori risultano più cautelativi i parametri dell’analisi locale, come discusso di seguito.

La tabella seguente riporta per le stazioni considerate i valori dei parametri  $a$  e  $n$  calcolati e quelli riportati nel documento summenzionato per un tempo di ritorno pari a 200 anni. La tabella mostra come l’analisi statistica condotta a partire dai dati estratti dagli annali idrologici esaminati conduca alla stima valori di  $a$  e di  $n$  che si differenziano da quelli contenuti nel documento della Protezione Civile sopradetto. Va evidenziato che le elaborazioni della Protezione Civile riguardano i dati registrati fino all’anno 2002, mentre le analisi effettuate nel presente studio si estendono all’anno 2015 per la stazione di Bivio Cerda.

Tabella 4-5 – Confronto per Tr 200 anni tra parametri calcolati e parametri riportati nel documento della Protezione Civile.

Stazione	$a$ calcolato	$a$ Protezione Civile	$n$ calcolato	$n$ Protezione Civile
Bivio Cerda	70.22	69.30	0.212	0.120

#### 4.5.1.2 Sottobacini del Fiume Torto

I sottobacini di interesse del Fiume Torto comprendono i poligoni di Thiessen delle stazioni pluviometriche elencate nella Tabella 4-6, che riporta per ognuna di esse l’area del rispettivo poligono di influenza. La Figura 4-9 mostra l’intersezione dei topoi con i sottobacini. In questo modo è possibile calcolare l’altezza di pioggia complessiva come media pesata delle altezze di pioggia delle singole stazioni, in base all’area di influenza del rispettivo poligono di Thiessen ricadente nel bacino.

La Tabella 4-7 riporta i valori dei parametri  $a$  e  $n$  da adottare utilizzando la metodologia VAPI (cfr. paragrafo 4.2.2): i valori sono stati calcolati a partire da quelli della Tabella 4-2, moltiplicati per il coefficiente di crescita  $KT$  che, ricordiamo, dipende anche dal tempo di corrivazione del bacino, che è riportato nel successivo paragrafo 5.5.1.

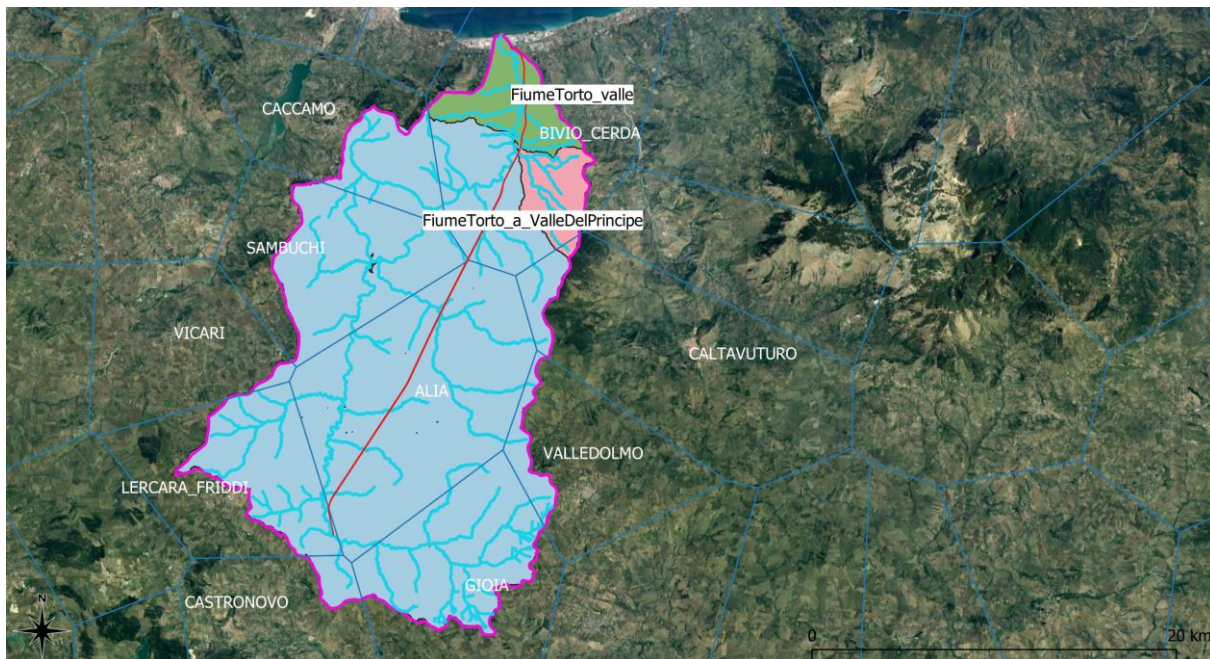


Figura 4-9: intersezione dei poligoni di Thiessen con i sottobacini di interesse del Fiume Torto

Tabella 4-6: Parametri di pioggia per i sottobacini del Fiume Torto (metodo dei topoietai con Gumbel sui dati di pioggia aggiornati al 2017)

<b>Sottobacino:</b>				
<b>Fiume Torto alla confluenza con il Vallone Torre del Principe</b>				
Stazione	Area poligono Thiessen ritagliato sui bacini (kmq)	peso %	$a_{TR300}$	$n_{TR300}$
Alia	133.23	35.0%	62.58	0.29
Lercara_Friddi	42.95	11.3%	59.62	0.22
Gioia	58.93	15.5%	51.31	0.40
Castronovo	5.53	1.5%	69.95	0.32
Valledolmo	8.52	2.2%	64.43	0.28
Sambuchi	59.44	15.6%	55.63	0.32
Bivio Cerda	36.24	9.5%	70.22	0.21
Caltavuturo	8.31	2.2%	47.80	0.46
Caccamo	25.78	6.8%	66.69	0.31
Vicari	1.92	0.5%	66.69	0.31
<b>Totale Bacino</b>	<b>380.84</b>	<b>media pesata</b>	<b>60.3</b>	<b>0.303</b>
<b>Sottobacino:</b>				
<b>Vallone Torre del Principe</b>				
Bivio Cerda	16.78	100%	70.22	0.21
<b>Sottobacino:</b>				
<b>Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe</b>				
Bivio Cerda	23.81	100%	70.22	0.21

Tabella 4-7: Parametri di pioggia per i sottobacini del Fiume Torto in base alla metodologia VAPI

ID Sottobacino	VAPI Sicilia	
	$a_{TR300}$ [mm/ore <sup>n</sup> ]	$n_{TR300}$
FiumeTorto_01	67,46	0,32
ValleDelPrincipe	72,25	0,34
FiumeTorto_02	72,40	0,34

## 5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

### 5.1 IL METODO CINEMATICO O RAZIONALE

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

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

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

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

$$Q = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui:  $Q$  = portata di piena [ $\text{m}^3/\text{sec}$ ];

$\varphi$  = coefficiente di deflusso;

$h$  = pioggia [m];

$S$  = area del bacino [ $\text{km}^2$ ];

$\tau_c$  = tempo di corrivazione [ore].

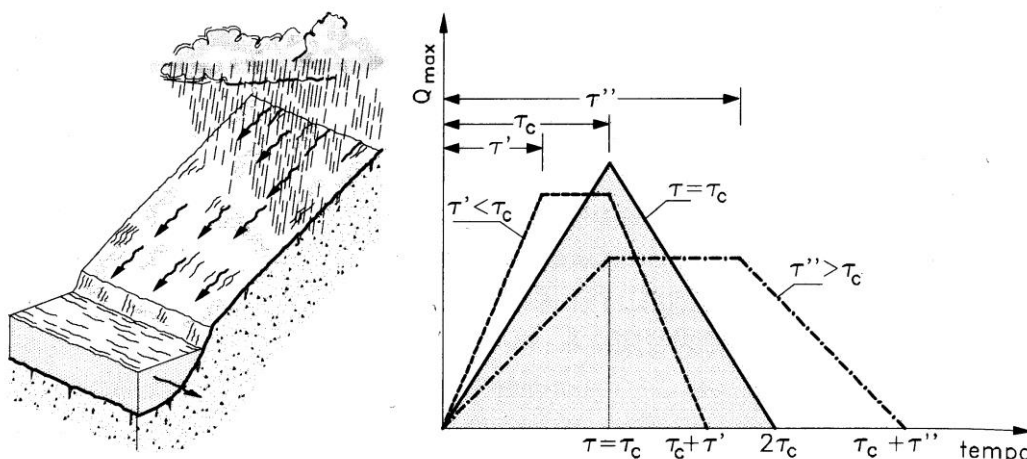


Figura 5-1 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

Il valore di  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione  $\tau_c$ : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo  $\tau_c$  solo una parte del bacino  $S$  contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA          RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE          Nuova Viabilità NV02          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 30 di 47

Figura 5-1 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

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

## 5.2 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

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

In particolare, in considerazione anche delle caratteristiche geologiche dei bacini in esame (suoli impermeabili o mediamente permeabili), sono stati utilizzati i coefficienti per le diverse classi di uso del suolo presenti (Figura 5-2) riportati in Tabella 5-1.

Detto  $\varphi_i$  il coefficiente di deflusso relativo alla superficie  $S_i$ , il valore medio del coefficiente relativo ad aree caratterizzate da differenti valori di  $\varphi$  si ottiene con una media ponderata:

$$\varphi = \frac{\sum \varphi_i S_i}{\sum S_i}$$

Tabella 5-1 – Coefficienti di Deflusso.

USO DEL SUOLO	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO
Urbanizzato	0.70
Seminativi	0.40
Legnose	0.40
Macchia e cespuglio	0.30
Sistemi colturali complessi	0.40
Bosco	0.30



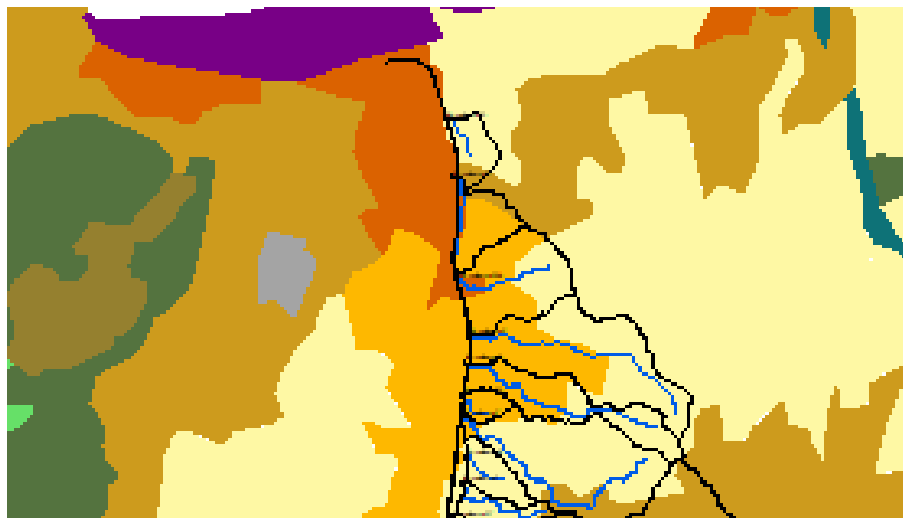


Figura 5-2 – Copertura uso del suolo Regione Sicilia nell'area di studio (legenda in Appendice B).

### 5.3 METODO SCS – CURVE NUMBER (CN)

La pioggia effettiva,  $P_e$ , può essere stimata oltre che tramite il coefficiente di deflusso  $\phi$  di cui al paragrafo precedente, anche col metodo SCS (Soil Conservation Service, 1972). Il concetto che sta alla base di tale metodo è riassunto nella seguente espressione:

$$\frac{V_i}{S} = \frac{P_e}{P - V_0} \quad (7)$$

in cui:

- $V_0$ : volume richiesto per saturare il terreno;
- $V_i$ : volume che si infila dal raggiungimento della saturazione fino all'istante considerato;
- $S$ : volume massimo che può infiltrarsi;
- $P_e$ : volume d'acqua che contribuisce al deflusso superficiale;
- $P$ : volume di precipitazione totale.

Introducendo l'equazione di continuità:

$$P = P_e + V_0 + V_i \quad (8)$$

e inserendola nella (7), si ottiene:

$$P_e = \frac{(P - V_0)^2}{P - V_0 + S} \quad (9)$$

in cui  $V_0$  rappresenta le condizioni del bacino all'inizio dell'evento ed è identificato considerando l'altezza di precipitazione nei cinque giorni precedenti classificando lo stato del bacino come inizialmente secco (condizione I), mediamente umido (condizione II) o saturo (condizione III). Nelle applicazioni, spesso, si fa riferimento alla condizione II per cui si ha:

$$V_0 = 0.2 S; \quad (10)$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> <b>RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE</b> Nuova Viabilità NV02 <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

di conseguenza la (9) diventa:

$$P_e = \frac{(P-0.2 S)^2}{P+0.8 S} \quad (11)$$

e ne consegue che il volume di precipitazione efficace  $P_e$  dipende unicamente dalla massima capacità di infiltrazione  $S$  la quale si calcola nel seguente modo:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254. \quad (12)$$

CN è un parametro adimensionale chiamato Curve Number che dipende dalle caratteristiche geopedologiche del bacino, dalla destinazione d'uso del suolo e dalle condizioni iniziali di umidità. In base alle condizioni iniziali di umidità vengono distinti tre tipi di condizioni (I, II e III) mentre le caratteristiche idrogeologiche dei terreni sono specificate suddividendo i terreni in quattro gruppi (A, B, C e D) in dipendenza dalla loro capacità di infiltrazione. In Tabella 5-2 è riportata la classificazione del terreno in base alla sua risposta idrologica, in Tabella 5-3 sono riportate le categorie di umidità I, II e III e in Tabella 5-4 sono riportati i valori di CN nel caso di condizione di umidità di tipo II.

Tabella 5-2 – Classificazione del terreno in base alle caratteristiche idrogeologiche.

Gruppo di suolo	Caratteristiche
A	Capacità di infiltrazione: >7.5 cm/h - Ghiaie e sabbie ben drenate
B	Capacità di infiltrazione: 3.8-7.5 cm/h - Sabbie da moderatamente a ben drenate
C	Capacità di infiltrazione: 0.13-3.8 cm/h - Terreno fine con strato impermeabile
D	Capacità di infiltrazione: <0.13 cm/h - Argille

Tabella 5-3 – Categorie di umidità del suolo (in inch=2.54 cm).

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

Tabella 5-4 – Valori del CN in condizioni di umidità di tipo II per i diversi tipi di suolo (da A a D aumenta il deflusso superficiale) al variare della destinazione d'uso.

<i>Tipo di copertura</i>	<i>Tipo di suolo</i>			
	A	B	C	D
Terreno coltivato senza interventi di conservazione con interventi di conservazione	72 62	81 71	88 78	91 81
Terreno da pascolo cattive condizioni buone condizioni	68 39	79 61	86 74	89 80
Praterie buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie sottobosco e copertura buoni	45 25	66 55	77 70	83 77
Spazi aperti, prati rasati, parchi buone condizioni, con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	39 49	61 69	74 79	80 84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali impermeabilità media 65% impermeabilità media 38% impermeabilità media 30% impermeabilità media 25% impermeabilità media 20%	77 61 57 54 51	85 75 72 70 68	90 83 81 80 79	92 87 86 85 84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade pavimentate, con cordoli e fognature inghiaiate o selciate con buche in terra battuta (non asfaltate)	98 76 72	98 85 82	98 89 87	98 91 89

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

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}; \quad (13)$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}. \quad (14)$$

### **Pioggia effettiva – portata diretta**

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

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

$$Q = \frac{V}{\tau_c} = \frac{P_e A}{\tau_c}$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO												
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS90</td> <td>00 Y 09</td> <td>RI</td> <td>ID0001 001</td> <td>A</td> <td>34 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS90	00 Y 09	RI	ID0001 001	A	34 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS90	00 Y 09	RI	ID0001 001	A	34 di 47								

in cui:  $P_e$ : altezza di pioggia efficace;

A: area del bacino;

$\tau_c$ : tempo di corrivazione.

#### 5.4 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

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

Una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo è la formula di **Giandotti** (1934) che tiene conto della morfologia del bacino:

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

con

A = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km<sup>2</sup>];

L = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua principale [km];

$H_m$  = quota media del bacino [m s.m.m.];

$H_0$  = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.].

La formula di Giandotti ha il pregio, rispetto ad altre relazioni, di comprendere nei parametri utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione diverse caratteristiche dei bacini analizzati. Questo garantisce una ricostruzione dei tempi di corrivazione basata sui principali parametri dei medesimi.

Un'equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Kirpich**. Questa è stata ricavata da dati rilevati in sette bacini agricoli del Tennessee (USA). Questi bacini avevano tutti una canalizzazione ben definita e pendenza tra 0.03 e 0.1 m/m (dal 3 al 10%) e aree da 0.04 a 0.5 km<sup>2</sup>. È utilizzata ampiamente per bacini urbani, sia per il deflusso delle aree scolanti che per il deflusso nei canali, oltre che per bacini rurali fino a 0.8 km<sup>2</sup>. La formula di Kirpich ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0.0662 \cdot k \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.77}$$

dove

L = estensione del percorso più lungo che deve compiere la singola particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura [km];

i = è la pendenza media del bacino

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA          RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE          Nuova Viabilità NV02          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

$k$ = coefficiente di aggiustamento legato alla tipologia di terreno.

Tabella 5-5 - Parametro  $K$  della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.

Ground Cover	Kirpich Adjustment Factor, $k$ (Chow et al., 1988; Chin, 2000)
General overland flow and natural grass channels	2
Overland flow on bare soil or roadside ditches	1
Overland flow on concrete or asphalt surfaces	0.4

Nella presente analisi è stato applicato un coefficiente  $k$  pari a 2.

## 5.5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

### 5.5.1 Scelta del tempo di corrivazione

Il primo passo per l'individuazione delle portate per ogni bacino consiste nella determinazione del tempo di corrivazione con le formule descritte nel paragrafo 5.4. I dati necessari per il calcolo dei tempi, ossia superficie, lunghezza dell'asta, altitudine massima, altitudine alla sezione di chiusura e pendenza media sono stati determinati grazie alla ricostruzione del DTM e all'analisi riportata nel capitolo 3.

Per questo studio sono state utilizzate le formulazioni di Giandotti e di Kirpich con i seguenti campi di applicabilità:

- per bacini di estensione inferiore a 1 km<sup>2</sup>, il tempo di corrivazione corrisponde a quello calcolato con Kirpich;
- per estensioni comprese tra 1 e 75 km<sup>2</sup>, il tempo di corrivazione corrisponde ad una media pesata dei tempi calcolati con Giandotti e Kirpich; tale media si calcola come segue:

$$\tau_c = \tau_c(\text{Giandotti}) \cdot \frac{\text{Area}_{\text{bacino}} - 1}{74} + \tau_c(\text{Kirpich}) \cdot \frac{75 - \text{Area}_{\text{bacino}}}{74}$$

- qualora dalle formulazioni precedenti risulti un tempo di corrivazione inferiore a 15 minuti, si assume comunque  $\tau_{c \text{ min}}=15$  minuti.

Nella seguente Tabella 5-6 sono riportati i valori dei tempi di corrivazione di progetto determinati come sopra descritto.

Tabella 5-6 – Tempi di corrivazione determinati con le diverse formulazioni.

ID Sottobacino	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Tempo di corrivazione $\tau_c$ [ore]		
		Giandotti	Kirpich	progetto
2	0.37	0.70	0.21	0.25

Tabella 5-7: Tempi di corrivazione per i sottobacini di interesse del Fiume Torto

ID	Caratteristiche del bacino					Tempo di corrivazione tc [ore]
	L. asta [km]	Sup. bacino [km <sup>2</sup> ]	Hmax [m.s.m.m.]	H0 (sez. chiusura) [m.s.m.m.]	H media bacino [m.s.m.m.]	
FiumeTorto_01	53,81	380,84	1259,36	52	495,9	9,42
ValleDelPrincipe	8,12	16,78	789,13	57,9	352,59	1,37
FiumeTorto_02	9,02	23,81	1160	0	40	3,10

### 5.5.2 Calcolo delle portate di progetto

La valutazione delle portate di progetto è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 e 300 anni. Il primo valore rappresenta il tempo di ritorno di progetto previsto dalle Norme Tecniche delle Costruzioni e dal manuale di progettazione ferroviario per i bacini con estensione inferiore a 10 km<sup>2</sup>. Il secondo valore rappresenta, invece, il tempo di ritorno previsto dal manuale di progettazione ferroviario per la verifica di opere di attraversamento che sottendono bacini superiori ai 10 km<sup>2</sup>.

Per il calcolo delle portate sono stati applicati il metodo cinematico e il metodo SCS, utilizzando le altezze di precipitazione che derivano sia da Gumbel sia dal metodo VAPI. Per la scelta della portata di progetto, come sarà discusso nel paragrafo 5.5.3, si sono utilizzati i valori calcolati con il metodo SCS in quanto tale metodo ha fornito valori di portata maggiori.

Per quanto riguarda il metodo cinematico, a partire dalla carta dell'uso del suolo (Figura 5-2) si sono ricavati i valori dei coefficienti di deflusso di ciascun sottobacino; tali valori sono riportati in (Tabella 5-8).

In merito al metodo SCS, in linea con quanto riportato nel PAI, ci si è posti nelle condizioni di tipo di suolo C e, cautelativamente, il Curve Number utilizzato è quello calcolato nelle ipotesi di umidità del terreno di tipo III; tale valore si determina con la procedura esposta al paragrafo 5.3 a partire dal CN nell'ipotesi di umidità del suolo di tipo II, CN(II), a sua volta determinato utilizzando la carta di uso del suolo. In Tabella 5-9 sono riportati i valori di CN(III) per ciascun sottobacino.

Tabella 5-8 – Coefficienti di deflusso.

ID Sottobacino	$\varphi$
2	0.40

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA          RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE          Nuova Viabilità NV02          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Tabella 5-9 – Curve Number in condizioni di tipo III.

ID Sottobacino	CN(III)
2	88.82
FiumeTorto_01	85
ValleDelPrincipe(*)	87.45
FiumeTorto_02	88.31

Dalla carta di uso del suolo e, conseguentemente, dai valori ottenuti dei coefficienti di deflusso e dei Curve Number, si può osservare come l'area di studio sia caratterizzata da terreni destinati principalmente ad un uso seminativo.

Le prossime tabelle riportano i valori di portata ottenuti con i metodi descritti.

Tabella 5-10 – Portate ottenute per Tr 200 anni.

ID Sottobacino	Superficie [km <sup>2</sup> ]	τc [ore]	Q max [m <sup>3</sup> /s]-TR200			
			Metodo cinematico		Metodo SCS	
			con h di Gumbel	con h VAPI	partendo da h di Gumbel	partendo da h VAPI
2	0.37	0.25	6.81	7.14	7.48	8.13

### 5.5.3 Portate di riferimento per le verifiche idrauliche

Le portate di riferimento da utilizzare nelle verifiche idrauliche delle opere di attraversamento sono quelle massime ottenute dall'applicazione dei metodi esposti e corrispondono alla portata calcolata con il metodo SCS.

Tabella 5-11 – Portate di progetto.

ID Sottobacino	Tr	Q progetto [m <sup>3</sup> /s]
2	200	8.13

Infine, si è fatto un confronto tra il coefficiente di deflusso utilizzato per calcolare la portata con il metodo cinematico ed il coefficiente di deflusso equivalente che si dovrebbe utilizzare, con lo stesso metodo, per ottenere la portata di progetto determinata con il metodo SCS. La seguente tabella mostra come il metodo SCS sia più cautelativo del metodo cinematico e, allo stesso tempo, data la somiglianza tra i coefficienti di deflusso, come in entrambi i casi rimanga rispettata la destinazione d'uso del suolo.

Tabella 5-12 – Confronto dei coefficienti di deflusso.

ID Sottobacino	$\varphi$	$\varphi$ equivalente
2	0.40	0.46

## 5.6 IDROGRAMMI DI PIENA DEL FIUME TORTO

La metodologia per la determinazione degli idrogrammi di piena, riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia, suggerisce di adottare un idrogramma di tipo *Chicago* con durata di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino. I parametri di pioggia adottati sono quelli del VaPi, in quanto risultano più cautelativi di quelli dell'analisi statistica delle stazioni pluviometriche, come riportato nel precedente paragrafo 4.5.1.2.

La trasformazione afflussi-deflussi adottata è quella basata sul metodo del Curve Number e per la convoluzione, nell'applicazione in esame, si è scelto un idrogramma unitario del tipo SCS. I contributi dei sottobacini studiati (cfr. paragrafo 04.5.1.2) sono stati calcolati ognuno indipendentemente dall'altro, con un evento di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione dei sottobacini stessi. Le seguenti figure mostrano gli idrogrammi ottenuti.

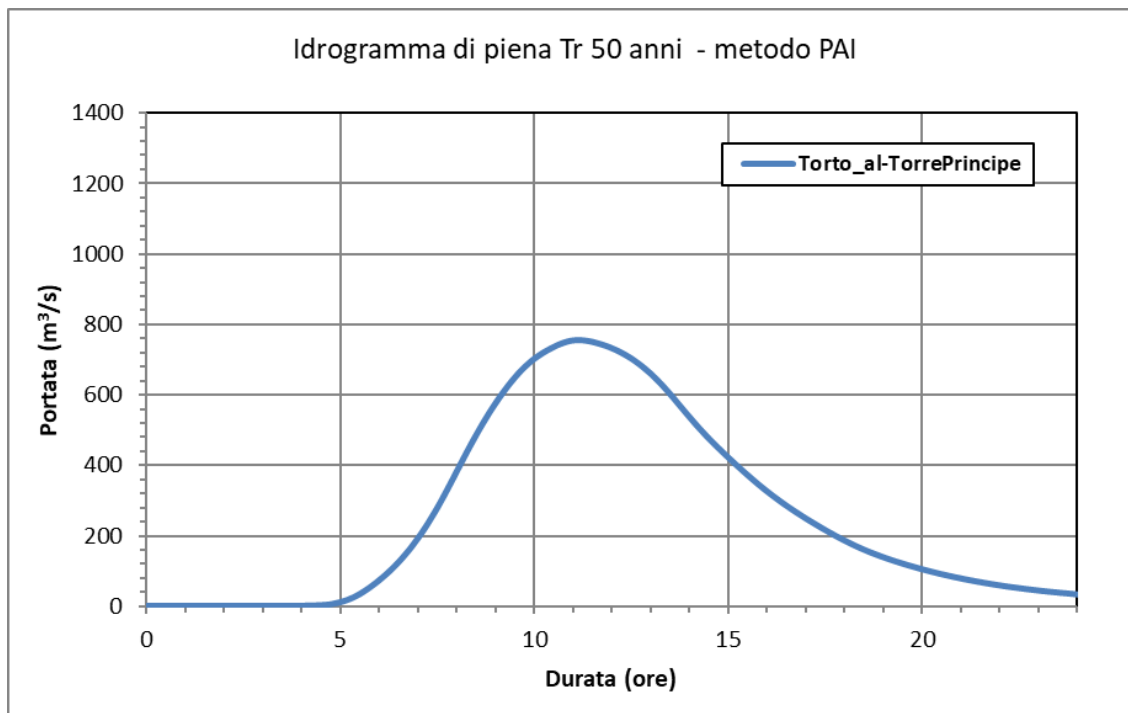


Figura 5-3 - Idrogramma di piena Tr50 anni per il Fiume Torto a monte della confluenza con il Vallone Torre del Principe



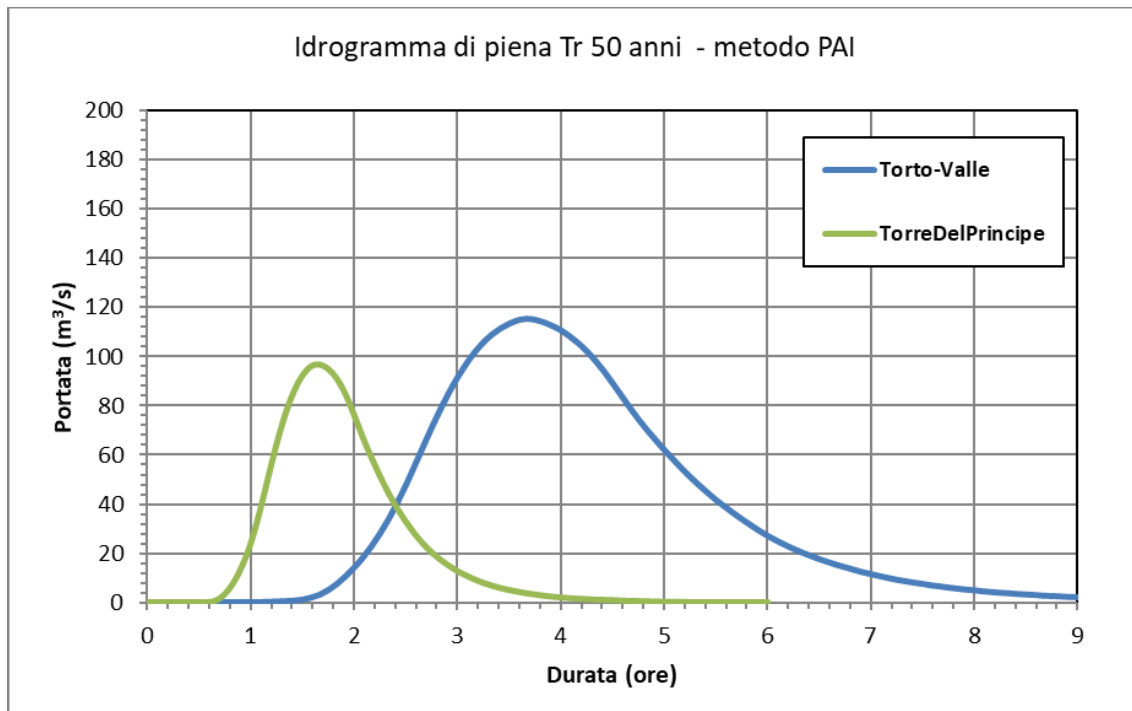


Figura 5-4 - Idrogrammi di piena Tr50 anni per i contributi del Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe

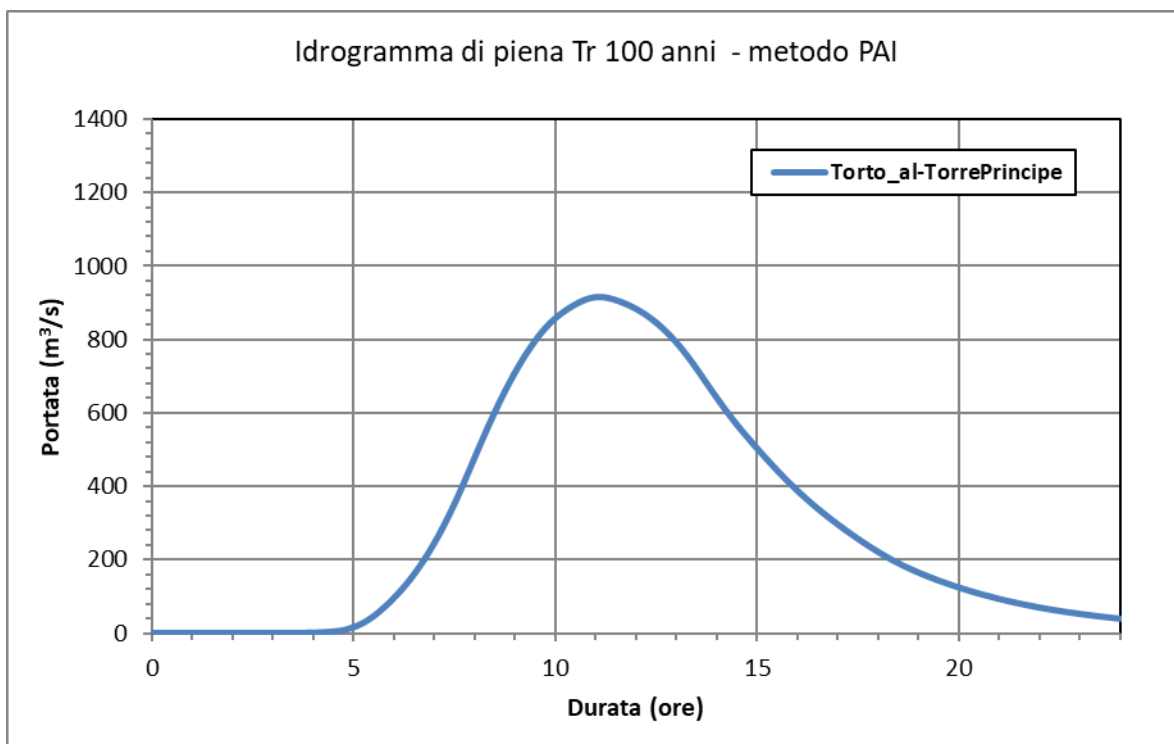


Figura 5-5 - Idrogramma di piena Tr100 anni per il Fiume Torto a monte della confluenza con il Vallone Torre del Principe

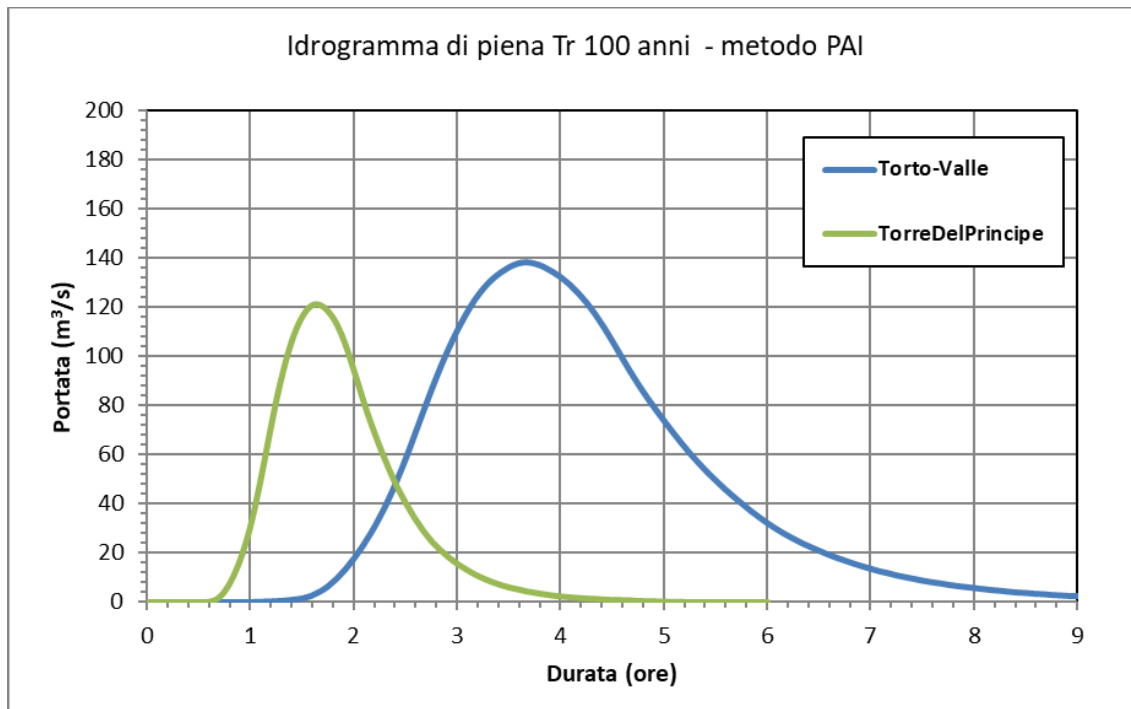


Figura 5-6 -Idrogrammi di piena Tr100 anni per i contributi del Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe

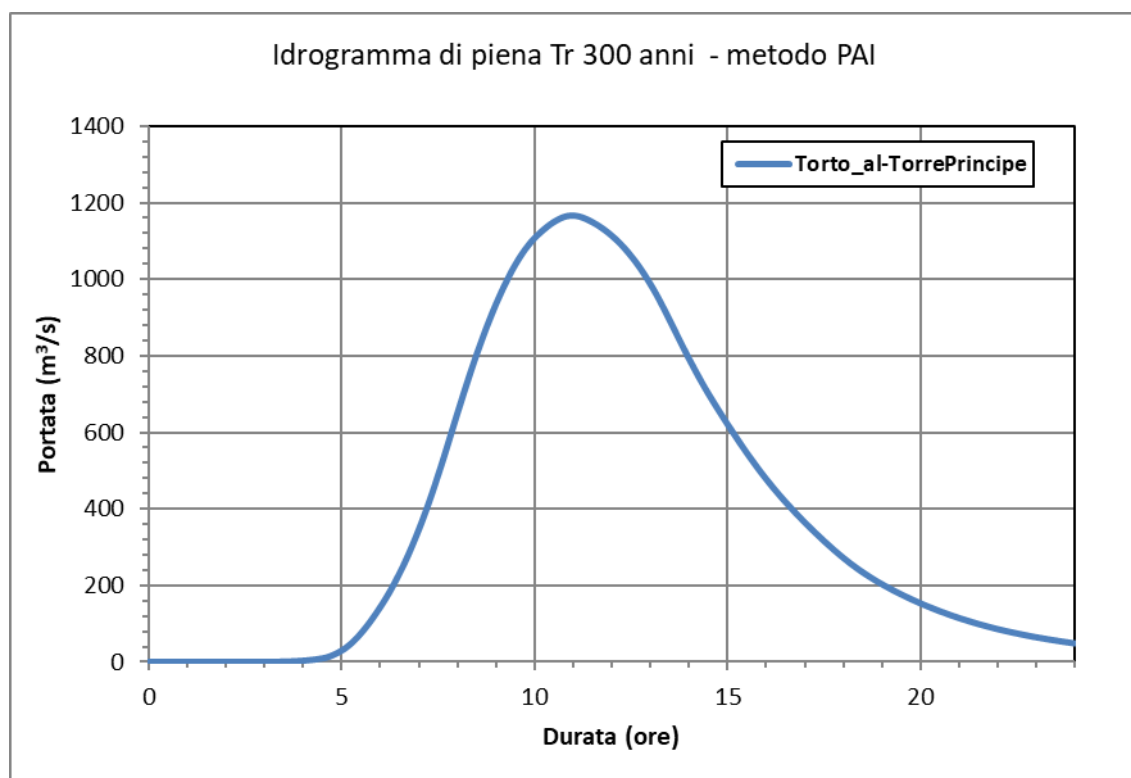


Figura 5-7 - Idrogramma di piena Tr300 anni per il Fiume Torto a monte della confluenza con il Vallone Torre del Principe

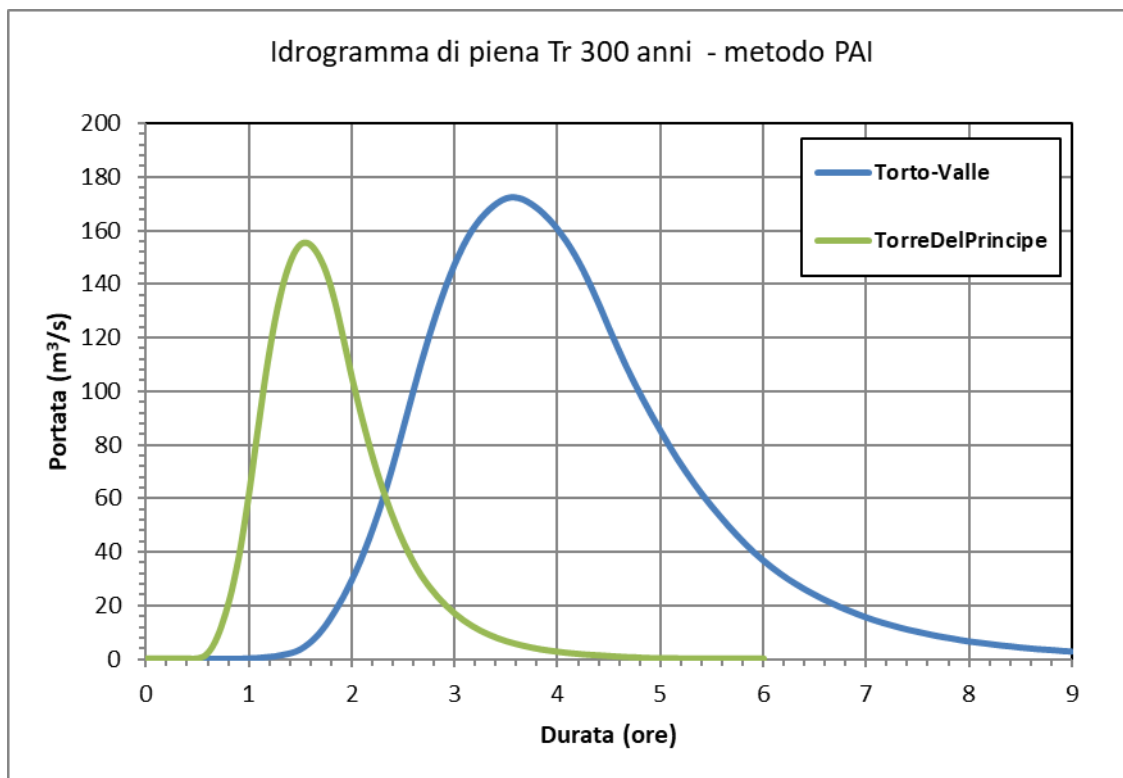


Figura 5-8 -Idrogrammi di piena Tr300 anni per i contributi del Fiume Torto a valle della confluenza con il Vallone Torre del Principe

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA          RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE          Nuova Viabilità NV02          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 42 di 47

## BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

G. Ferreri, V. Ferro, Una espressione monomia della curva di probabilità pluviometrica, per durate inferiori all'ora, valida nel territorio siciliano. Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo, 1-2, 1989

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino Idrografico del Fiume Simeto, Area Territoriale tra il bacino del Fiume Simeto e il bacino del Fiume San Leonardo, Lago di Pergusa, Lago di Maletto – Relazione*, 2005.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale*, 2004.

Regione Siciliana, Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), *Annali Idrologici*, disponibili presso [www.osservatorioacque.it](http://www.osservatorioacque.it).

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
Nuova Viabilità NV02  
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 09	RI	ID0001 001	A	43 di 47

## APPENDICE A – DATI DI PIOGGIA



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
Nuova Viabilità NV02  
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 09	RI	ID0001 001	A	44 di 47

## APPENDICE B – CODICI USO DEL SUOLO

CLASSI DI USO DEL SUOLO / LAND USE CLASSES				
1° livello 1st level	2° livello 2nd level	3° livello 3rd level		
1 Territori modellati artificialmente Artificial surfaces	11 Zone urbanizzate Urban areas	111	Tessuto denso (● nuclei di estensione inferiore a 25 ha) Continuous urban fabric (● settlements smaller than 25 ha)	
		112	Tessuto rado Discontinuous urban fabric	
	12 Zone produttive e infrastrutture Industrial and infrastructural areas	121	121	Aree industriali (■ aree di estensione inferiore a 25 ha) Industrial areas (■ areas smaller than 25 ha)
			122	Infrastrutture generiche General infrastructures
			123	Aree portuali Port areas
			124	Aeroporti Airports
	13 Zone in trasformazione Transitional areas	131	131	Aree in costruzione, escavazioni, suoli rimaneggiati Construction sites, excavations, earthworks
			132	Discariche Dumps
			133	Aree estrattive (▲ cave di estensione inferiore a 25 ha) Extractive areas (▲ quarries smaller than 25 ha)
	14 Zone verdi urbane e zone archeologiche Green urban areas and archaeological areas	141	141	Aree verdi urbane, sportive e ricreative Urban parks, sport and leisure areas
			142	Aree archeologiche (▲ aree di estensione inferiore a 25 ha) Archaeological areas (▲ areas smaller than 25 ha)
	2 Territori agricoli Agricultural areas	21 Seminativo Arable land	211	Seminativo semplice, irriguo, arborato; foraggere; colture orticole Arable land irrigated and not, locally with tree crops: fodder; horticulture
			212	Colture in serra e sotto tunnel Green houses and cultivations under plastic
		22 Legnose agrarie Permanent crops	221	221
222				Vigneto Vineyards
223				Oliveto Olive groves
224				Mandorleto Almond groves
225				Frutteto (f: ficodindieto, k: carrubeto, n: nocciolo, t: pistacchieto) Orchards (f: prickly pear, k: carob, n: hazel, t: pistachio)
226				Legnose agrarie miste Mixed groves
23 Zone agricole eterogenee Heterogeneous agricultural areas		231	231	Associazioni di olivo con altre legnose Associations of olive and other groves
			232	Sistemi colturali e particellari complessi Complex cultivation patterns
			233	Seminativo associato a vigneto Associations of annual crops and vineyards
3 Territori boscati e ambienti semi-naturali Forest and semi-natural areas	31 Boschi Forests	311	Latifoglie Broad-leaved	
		312	Conifere Coniferous	
		313	Bosco misto Mixed forest	
		314	Aree parzialmente boscate o bosco degradato Partially wooded land or degraded forest	
	32 Aree a vegetazione arbustiva e/o erbacea Shrub and/or herbaceous vegetation associations	321	321	Macchia e cespuglieto Shrubland
			322	Pascolo Grassland
			323	Incolto, incolto roccioso Sparsely vegetated areas
	33 Zone aperte con vegetazione rada o assente Open spaces with little or no vegetation	331	331	Aree in erosione, calanchi, rocce Erosion scars, badlands, rock outcrops
			332	Alvei fluviali River beds
			333	Spagge Beaches
4 Zone umide Wetlands	41 Zone umide interne Inland wetlands	411	Pantani interni Inland marshes	
	42 Zone umide costiere Maritime wetlands	421	Pantani Coastal marshes	
		422	Saline Salines	
5 Corpi idrici Water bodies	51 Acque continentali Inland waters	511	Laghi naturali e naturali ampliati Natural lakes, enlarged natural lakes	
		512	Laghi artificiali Reservoirs	
	52 Acque marittime e acque di transizione Marine and transitional waters	521	Lagune Lagoons	
		522	Laghi costieri Coastal lakes	

Indicatori di presenze significative non isolabili all'interno di altre classi / Indicators of significant, but not dissociable, occurrences within other classes

a: agrumi citrus    c: ortaggi vegetables    f: ficodindia prickly pear    k: carrubo carob    m: mandorlo almond    o: olivo olive    p: palma nana dwarf palm    s: serre o tendoni green houses    v: vite vine