

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA NUOVA ENNA – DITTAINO (LOTTO 4b)**

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione idrologica

SCALA:

-

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

RS3V 40 D 29 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	E. Abbasciano	Gennaio 2020	C. Volpini	Gennaio 2020	F. Sparacino	Gennaio 2020	Arduini	Gennaio 2020

ITALFERR S.p.A.  
Direzione Tecnica  
Infrastrutture Centro  
Dott. Ing. Fabio Arduini  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n° 16362/2017

File: RS3V40D29RIID0001001A

n. Elab.: 43

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3	SINTESI TECNICO DESCRITTIVA.....	6
3.1	DEFINIZIONE DEI TEMPI DI RITORNO DI PROGETTO .....	6
3.2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA .....	6
3.3	MORFOLOGIA E IDROGRAFIA .....	8
3.4	IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA.....	9
	3.4.1 Individuazione della rete idrografica e dei bacini.....	10
3.5	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE.....	13
	3.5.1 Il modello probabilistico TCEV.....	13
	3.5.2 Il modello probabilistico di Gumbel.....	16
3.6	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI .....	19
	3.6.1 Metodo VAPI Sicilia piogge .....	19
	3.6.2 Il modello probabilistico di Gumbel.....	27
4	STIMA DELLE PORTATE .....	29
4.1	IL METODO DELLA CORRIVAZIONE O MODELLO CINEMATICO .....	29
4.2	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	33
4.3	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....	36
4.4	DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO .....	42
4.5	DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA (SCROSCI).....	45

## 1 **PREMESSA**

Il presente documento è parte della progettazione definitiva dell'intervento di raddoppio della linea ferroviaria Messina – Catania - Palermo, nella tratta che si sviluppa tra Enna e Dittaino. La tratta della linea ferroviaria interessata dal presente studio è compresa tra la stazione di Enna e quella di Dittaino, per uno sviluppo complessivo di circa 15 km compresa tra la progressiva km 0+000 e la km 14+935. 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 la curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma ferroviaria e stradale.

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

Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei, nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi intensi;

- Perimetrazione dei bacini idrografici e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- Redazione delle corografie dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza del nuovo tracciato ferroviario;
- 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 due differenti modelli statistici:
  - Curva probabilistica di Gumbel;
  - Metodo VaPi-CNR-pioggie per la regione Sicilia.
- Valutazione delle portate liquide dei bacini idrografici nella sezione di chiusura, mediante applicazione del metodo della corrivazione (Modello Cinematico).
- Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora (scrosci) necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma stradale e ferroviario.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione idrologica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Sono state prese in considerazione le disposizioni legislative di seguito elencate.

### NORMATIVA

- R.D. 25/07/1904, n. 523 - “Testo unico delle disposizioni di alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- R.D. 27/07/1934, n. 1265 - “Testo unico delle leggi sanitarie”;
- Circolare 07/01/1974, n. 11633 – “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto”;
- D.M. 12/12/1985 - “Normativa tecnica per le tubazioni”;
- Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;
- L.R. 15/05/1986, n. 27 – “Disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli scarichi degli insediamenti civili che non recapitano nelle pubbliche fognature e modifiche alla L.R. 18/06/1977, n. 39 e s.m.i.”.
- L. 18/05/1989, n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”;
- Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Siciliana – 2004;
- D.lgs. 03/04/ 2006, n. 152 - “Norme in materia ambientale” e s.m.i.;
- D.lgs. 16/01/2008, n. 4 - “Codice dell’Ambiente” (modificazioni ed integrazioni al D.lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);
- D.M. 16/06/2008, n. 131 – “Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici”;
- D.M. 04/04/2014 - “Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”;
- Delibera G.R. 06/08/2014. N. 231 “Direttiva 2007/60/CE. Linee di indirizzo strategico per l’elaborazione del Piano di gestione del rischio alluvioni e programma delle attività conoscitive”;
- Piano di gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.), Regione Siciliana, 2015;
- Piano di Gestione del Distretto Idrografico (P.G.D.I.) della Sicilia – 2016;

- D.M. 17/01/2018 - "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni";
- Manuale di Progettazione RFI – Edizione dicembre/2018;
- Circolare 21/01/2019, n.7 – "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018";

#### LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO

- V.T. Chow – "Open-Channel Hydraulics – McGraw-Hill – 1959;
- G. Supino – "Le reti idrauliche" - Ed. Patron - Bologna – 1965;
- D. S. Miller – "Internal Flow Systems" – BHR Group Limited – 1978;
- D. Tonini – "Elementi di idrografia ed idrologia" – Vol. 2 – Ed. Cortina – 1983;
- U.S. Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service – "Urban hydrology for small watersheds" – 1986;
- A. Lencastre – "Manuel d'hydraulique générale – Eyrolles" – 1986;
- D. Citrini, G. Nosedà – "Idraulica" – Casa Editrice Ambrosiana Milano – 1987;
- F. Arredi – "Costruzioni Idrauliche" – Utet – 1987;
- R. H. McCuen – "Hydrologic Analysis and Design" – Pearson Education – 1989;
- G. Ippolito – "Appunti di costruzioni idrauliche" – Liguori – 1993;
- M. Cannarozzo, F. D'Asaro, V. Ferro – "Valutazione delle Piene in Sicilia", C.N.R. GNDICI, Previsione e prevenzione degli eventi idrologico estremi e loro controllo – 1993;
- L. Da Deppo, C. Datei – "Fognature" – Edizioni Progetto Padova – 1997;
- S. Artina et al. – "Sistemi di Fognatura" – Centro Studi Deflussi Urbani – Hoepli – 1997;
- V. Ferro – "La sistemazione dei bacini idrografici" - McGraw-Hill – 2002;
- C. Ciaponi, S. Papiri, U. Sanfilippo, S. Todeschini – "Acque di prima Pioggia – Manuale di Progettazione" – CSDU/ Hoepli – 2014;
- VAPI – "Progetto Speciale per la Valutazione delle Piene in Italia";
- "Annali idrologici" pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN);

### 3 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

#### 3.1 Definizione dei tempi di ritorno di progetto

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione Italferr e dalle Norme tecniche delle Costruzioni NTC 2018. La tabella seguente sintetizza la scelta effettuata per tipologia di opere:

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
<b>Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc.)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Piattaforma ferroviaria</i> <i>TR 100 anni</i></li> <li>• <i>Piattaforma e deviazioni stradali</i> <i>Tr=25 anni</i></li> </ul>	
<b>Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>linea ferroviaria</i> <i>Tr= 300 anni per <math>S &gt; 10 \text{ km}^2</math></i></li> <li>• <i>linea ferroviaria</i> <i>Tr= 200 anni per <math>S &lt; 10 \text{ km}^2</math></i></li> <li>• <i>deviazioni stradali</i> <i>Tr=200 anni</i></li> </ul>	<i>Tr = 200 anni</i>

Tabella 1 – Tempi di ritorno.

#### 3.2 Inquadramento generale dell'area

L'intervento progettuale proposto ricade all'interno del bacino del Fiume Dittaino, nel versante orientale dell'Isola, sviluppandosi principalmente nei territori delle province di Catania ed Enna.

Le principali infrastrutture di trasporto sono l'autostrada A19 Palermo – Catania e la Strada Provinciale n° 7a e 7b.

I territori comunali interessati dal tracciato sono quelli di Enna, Valguarnera Caropepe, Assoro, Leonforte.

La tratta ferroviaria si sviluppa prevalentemente sulla sinistra idrografica del fiume Dittaino presentando numerose interferenze con la rete idrografica superficiale minore, oltre che con numerosi fossi (naturali ed artificiali).



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione idrologica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

### 3.3 Morfologia e Idrografia

L'area di studio, in relazione alla complessa evoluzione geologica subita, risulta fortemente influenzata dal locale assetto stratigrafico-strutturale, oltre che dai fenomeni di modellamento superficiale che l'hanno interessata durante il Quaternario e dalle importanti variazioni eustatiche succedutesi nel tempo. In particolare, nell'area di studio l'evoluzione morfologica del territorio ed i principali elementi geomorfologici rilevati sono direttamente connessi al deflusso delle acque correnti superficiali e all'azione morfo-evolutiva del Fiume Dittaino.

Il reticolo fluviale locale ricade, in buona sostanza, nella porzione medio-bassa del bacino imbrifero del F. Dittaino, un importante corso d'acqua a carattere perenne che rappresenta la principale linea di deflusso idrico superficiale dell'area. Il bacino di tale corso d'acqua si estende per circa 982 km<sup>2</sup> tra i Monti Erei e la Piana di Catania, fino alla confluenza col F. Simeto di cui rappresenta uno dei principali affluenti in destra idrografica. Il bacino comprende i territori provinciali di Catania ed Enna, interessando i comuni di Leonforte, Assoro, Catenanuova, Calascibetta, Enna e Centuripe.

Il Fiume Dittaino, la cui asta si estende per circa 110 km, nasce alle pendici orientali dei Monti Erei, nella zona centrale della Sicilia, dall'unione di diversi corsi d'acqua di minore importanza. Si sviluppa inizialmente in direzione grossomodo E-W tra gli abitati di Enna e Catenanuova, dove devia in direzione circa NW-SE fino alla confluenza col Fiume Simeto.

Ad esso si aggiungo alcuni corsi d'acqua secondari provenienti essenzialmente dai rilievi collinari posti immediatamente a Nord della piana alluvionale. Si tratta in particolare di corsi a carattere marcatamente stagionale o torrentizio, con portate estremamente variabili e fortemente condizionate dal regime delle piogge. Tali elementi presentano un andamento grossomodo ortogonale a quello dell'alveo principale e, spesso, risultano interessati da interventi di sistemazione idraulica quali briglie e argini.

Nell'intera area esaminata, le principali forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano essenzialmente dai processi deposizionali del sistema fluviale del F. Dittaino, che conferiscono a tutta l'area di studio una morfologia blandamente ondulata e leggermente degradante verso SE. I depositi alluvionali che colmano la piana presentano al loro interno vistose variazioni granulometriche e tessiturali, risultano molto spesso fortemente interdigitati tra loro.

In corrispondenza dei corsi d'acqua principali, e secondariamente lungo gli alvei dei loro affluenti maggiori, si rinvengono vistose scarpate fluviali e zone di erosione laterale delle sponde. Gli alvei secondari mostrano, in generale, una marcata tendenza all'approfondimento mentre, gli alvei più importanti, sono caratterizzati da zone in approfondimento e settori di prevalente deposizione. Ulteriori

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione idrologica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

scarpate fluviali, ormai inattive e fortemente degradate, sono presenti in corrispondenza dei margini esterni dei terrazzi alluvionali più estesi, posti a quote variabili dal fondovalle attuale.

In prossimità dell'alveo attuale del Fiume Dittaino, inoltre, sono presenti tracce degli antichi corsi fluviali, spesso caratterizzati da depositi a granulometria fine tipici di un lago di meandro o canale in fase di abbandono. Tali elementi presentano, in generale, larghezza piuttosto contenuta e sono localmente sede di zone paludose o acquitrini di scarsa importanza ed estensione.

### 3.4 Identificazione della rete idrografica

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi al fine di ricostruire la complessa rete idrografica dell'area e la suddivisione del bacino per ciascun corso d'acqua attivo o effimero presente nella porzione di terreno studiata, è stata utilizzata la Cartografia Tecnica in scala 1:10'000 della Regione Siciliana. Le informazioni contenute nella suddetta cartografia constano di curve di livello con 10 m di interasse e di diversi punti quotati distribuiti in maniera pressoché omogenea sul territorio.

È stato inoltre utilizzato un DTM (Digital Terrain Model) sufficientemente rappresentativo della zona in analisi a passo 2.0x2.0 m (Figura 3).

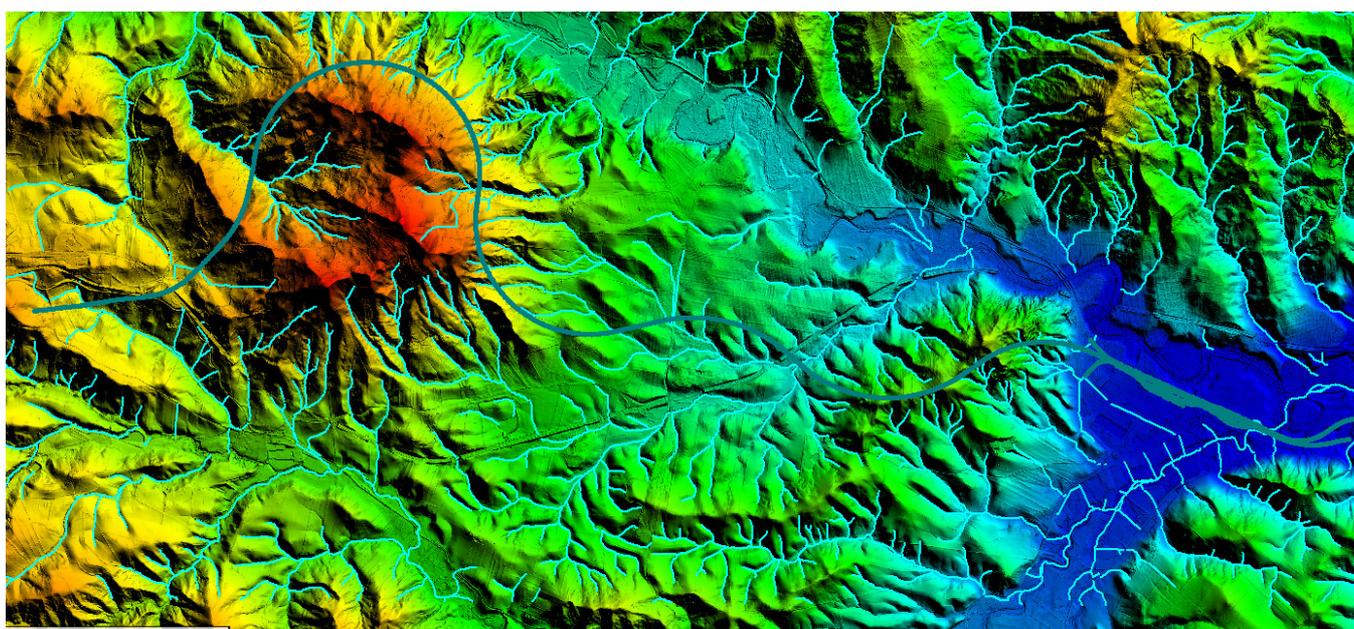


Figura 3 – DTM dell'area afferente alla linea ferroviaria Palermo - Catania, tratta Enna – Dittaino.

### 3.4.1 Individuazione della rete idrografica e dei bacini.

Il tracciato della linea ferroviaria oggetto di studio si sviluppa per lo più in zone collinari, il primo tratto è caratterizzato dalla presenza della galleria Sicani mentre il secondo tratto dalla galleria Dittaino.

I tratti non interessati dalle gallerie sono caratterizzati da una serie di viadotti per il superamento di incisioni, torrenti, valloni, scoli e rivi.

È stata identificata la rete idrografica esistente e sono stati perimetrati i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto.

Nella *Tabella 2* sono elencate le opere di attraversamento minori (ovvero quelle che sottendono un bacino con superficie minore di 10 kmq), con il relativo elenco delle WBS (work breakdown structure) dei manufatti di attraversamento di progetto.

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto
A1	0+510	IN01
A1.1	0+880	IN02
A2	1+420	IN03
A3	2+650	IN04
A3.1	NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B
A4	8+200.00	IN05
A5	8+715.00	IN06
A6	8+835.00	IN07
A7	9+045.00	IN08
A8	9+380.00	IN09
A11	NV05 0+170	NI02
A12	Lotto 5b	NI04
A12.1	NV12	NI07
A13	NV08 asse 7 0+235	NI05
A14	NV08 asse 7 0+535	NI06

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RI	ID0001 001	A	11 di 46

A16	NV06 0+142	NI03
A17	linea storica	IN11
A18	NV07 0+887	NI08
A19	NV07 0+584	NI09

*Tabella 2 – Elenco delle opere di attraversamento minori.*

Per quanto riguarda i bacini idrografici interclusi tra quelli sopra definiti per i quali non è emersa la presenza di un reticolo idrografico ben definito, la delimitazione dei bacini idrografici è stata attraverso l'analisi dei displuvi tra bacini adiacenti.

La rete ed i bacini idrografici, la cui ubicazione planimetrica è rappresentata in Figura 4, sono riportati nelle tavole delle corografie



*Figura 4 – Ricostruzione dell'idrografia della zona di studio, con la suddivisione dei bacini.*

Le caratteristiche dei bacini idrografici quali l'estensione, la lunghezza dell'asta principale, la quota massima del bacino e la quota in corrispondenza della sezione di chiusura sono invece riassunte nelle seguenti tabelle:

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	Lunghezza asta [km]	Superficie bacino [km <sup>2</sup> ]	H <sub>max</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]
A1	0+510.00	IN01	1.36	39	524.0	433.0
A1.1	0+880.00	IN02	0.15	1	494.3	450.2
A2	1+420.00	IN03	0.79	51	634.9	451.9
A3	2+650.00	IN04	1.59	181	648.2	423.1
A3.1	NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B	0.24	7	549.1	451.2
A4	8+200.00	IN05	1.61	53	542.7	328.8
A5	8+715.00	IN06	2.29	120	591.9	316.2
A6	8+835.00	IN07	0.97	48	396.6	313.4
A7	9+045.00	IN08	0.23	9	329.7	311.9
A8	9+380.00	IN09	0.13	7	330.2	309.2
A11	NV05 0+170	NI02	0.20	5	375.2	335.4
A12	Lotto 5b	NI04	0.37	12	379.5	266.1
A12.1	NV12	NI07	0.20	1	310.0	270.0
A13	NV08 asse 7 0+235	NI05	0.76	24	424.4	268.3
A14	NV08 asse 7 0+535	NI06	0.27	4	306.3	269.4
A16	NV06 0+142	NI03	1.03	51	379.6	293.6
A17	linea storica	IN11	0.30	5	476.0	454.0
A18	NV07 0+887	NI08	0.26	3	360.0	302.0
A19	NV07 0+584	NI09	0.35	8	356.0	290.0

Tabella 3 – Caratteristiche geomorfologiche dei bacini dei corsi d'acqua interferenti.

### 3.5 Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge

In questo capitolo 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.

#### 3.5.1 Il modello probabilistico TCEV

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:

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

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

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

### 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:

### I° 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  $K_{t,T_r} = X_{t,T_r} / \mu(X_t)$  risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione idrologica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

### 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:

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

#### **3.5.2 Il modello probabilistico di Gumbel**

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

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

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 Weibull:

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

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

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

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

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:

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

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.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione idrologica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

### 3.6 Analisi delle precipitazioni

#### 3.6.1 Metodo VAPI Sicilia piogge

In questo capitolo 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 5 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:

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

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

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

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

$$\text{Sottozona A } \alpha = 3.5208 \cdot t^{0.1034}$$

$$\text{Sottozona B } \alpha = 3.3536 \cdot t^{0.0945}$$

$$\text{Sottozona C } \alpha = 3.3081 \cdot t^{0.0765}$$

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

$$P(h'_t) = \exp \left[ -\lambda_1 \left( \exp \left( \frac{\mu}{\mathcal{G}_1} \right) \right)^{-h'_t} - \Lambda_* \lambda_1^{1/\Theta^*} \left( \exp \left( \frac{\mu}{\Theta^* \mathcal{G}_1} \right) \right)^{-h'_t} \right] \quad (1)$$

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:

Sottozona A  $b_0(t) = 0.5391 - 0.001635 \cdot t$   
 $b_1(t) = 0.0002121 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966$  (3a)

Sottozona B  $b_0(t) = 0.5135 - 0.002264 \cdot t$   
 $b_1(t) = 0.0001980 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508$  (3b)

Sottozona C  $b_0(t) = 0.5015 - 0.003516 \cdot t$   
 $b_1(t) = 0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101$  (3c)



Figura 5 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.

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  $Tr$ .

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione idrologica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

### 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:

$$m_c = a \cdot t^n \quad (5)$$

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 6 non essendo stato rilevato né un legame interno tra le due costanti in parola, né una variabilità in funzione dell'altitudine media.

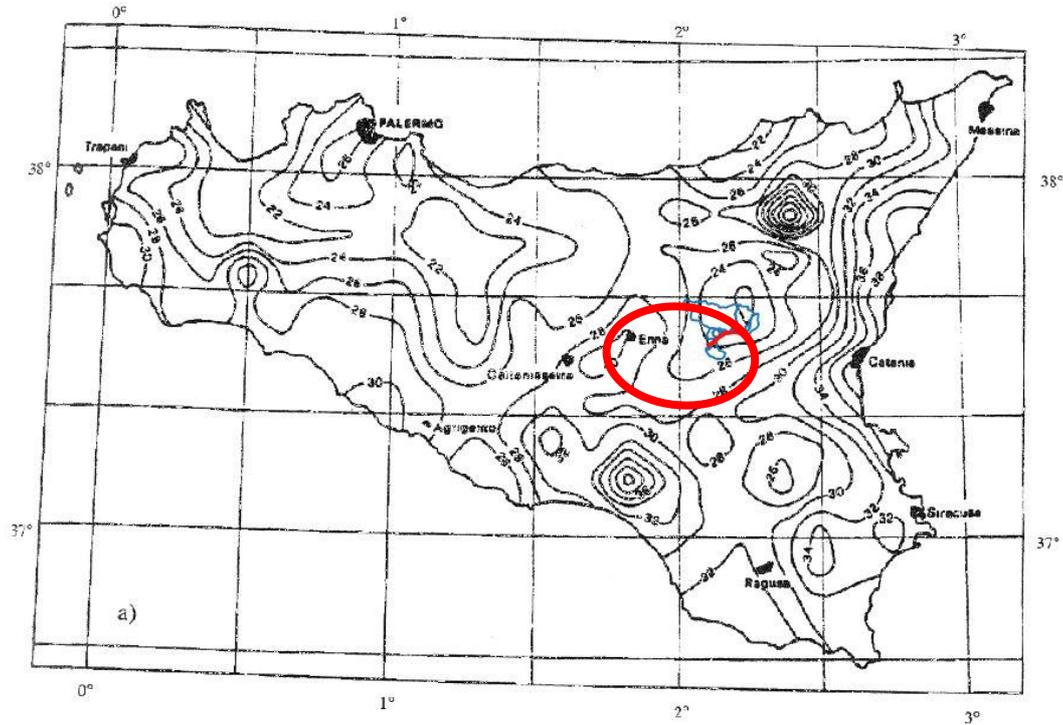


Figura 6 – Carta delle iso-a (a) per il territorio siciliano.

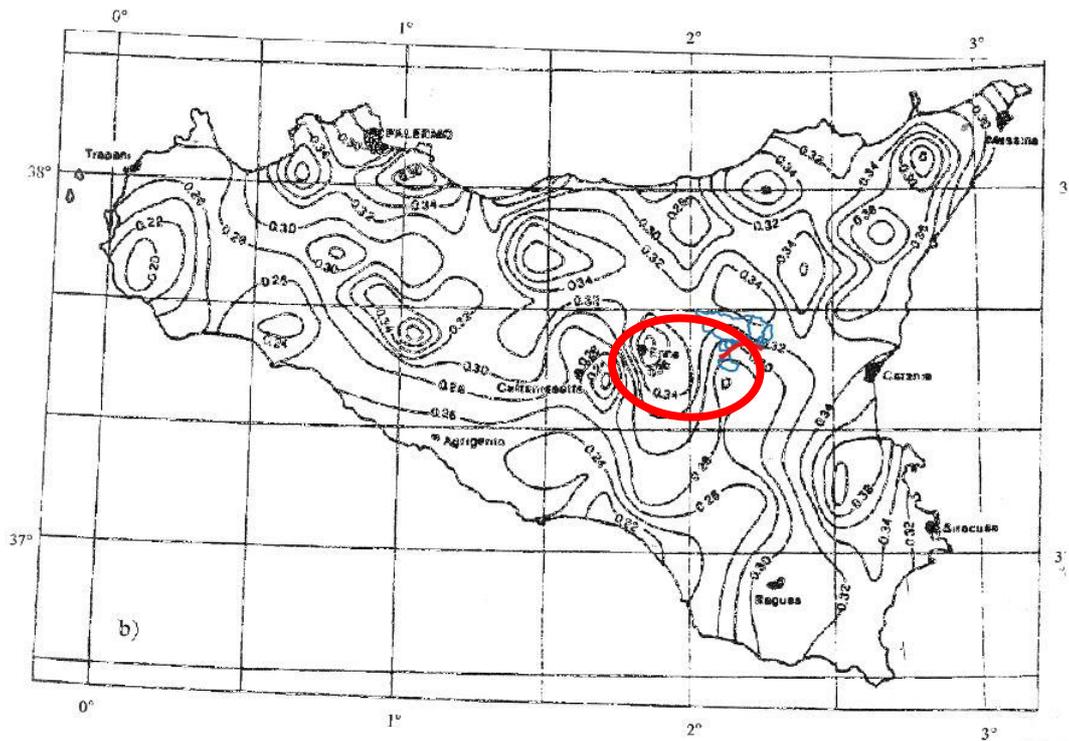


Figura 7 – Carta delle iso-n (b) per il territorio siciliano.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione idrologica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Per la determinazione delle CPP si è utilizzata la legge di distribuzione di probabilità del massimo valore EV1, meglio nota come legge di Gumbel. Nell'ipotesi che le precipitazioni seguano la legge di invarianza di scala temporale, le CPP, espresse attraverso la legge di Gumbel, si possono scrivere nella seguente forma:

$$h_{t,T_r} = K_t a t^n \quad (6)$$

in cui  $h_{t,T}$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  e tempo di ritorno  $T_r$ , mentre  $K_t$  è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno  $T_r$  e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$K_t = 1 - CVS \left\{ 0.450 + 0.7791 \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (6.1)$$

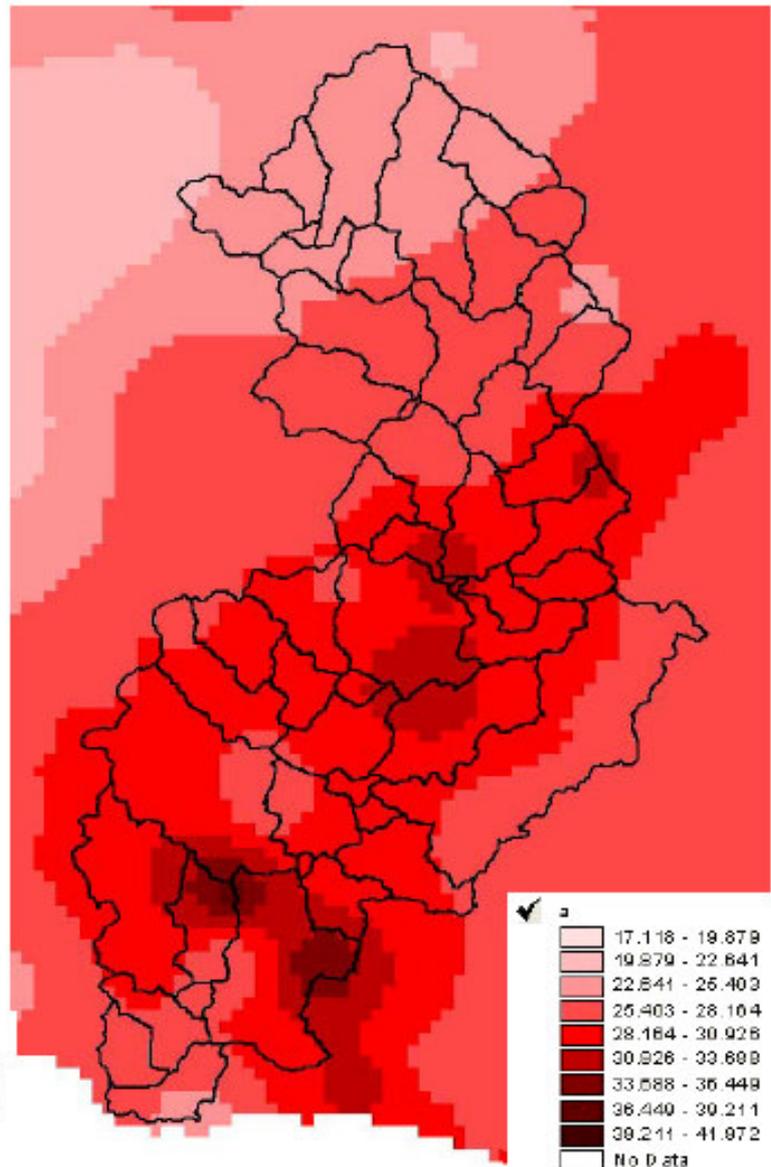
bacini idrografici analizzati nel presente studio ricadono nella sottozona C rappresentata in Figura 5 e, pertanto, la curva di possibilità pluviometrica ha la seguente espressione:

$$h_{t,T_r} = \left[ (0.5015 - 0.003516 \cdot t) + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(T_r) \right] \cdot a \cdot t^n \quad (6.2)$$

I valori di  $a$ ,  $n$  e  $CV$  sopra riportati sono stati interpolati tramite kriging (Matheron, 1971) su tutto il territorio regionale creando delle carte dei valori di  $a$ ,  $n$  e  $CV$  riportato nella carta delle iso- $a$  e delle iso- $n$  di Figura 6 e Figura 7.

Tuttavia, nel nostro caso l'intervento si trova nella zona limitrofa al bacino del fiume Imera Meridionale (vedi figure 8 e 9) dove sono disponibili dei valori interrogabili si è deciso di prendere a riferimento i valori indicizzati di  $a$ ,  $n$  e  $CV$  riferiti al bacino dell'Imera Meridionale e utilizzare tali valori prendendo il più cautelativo all'interno dell'intervallo riportato nelle seguenti immagini.

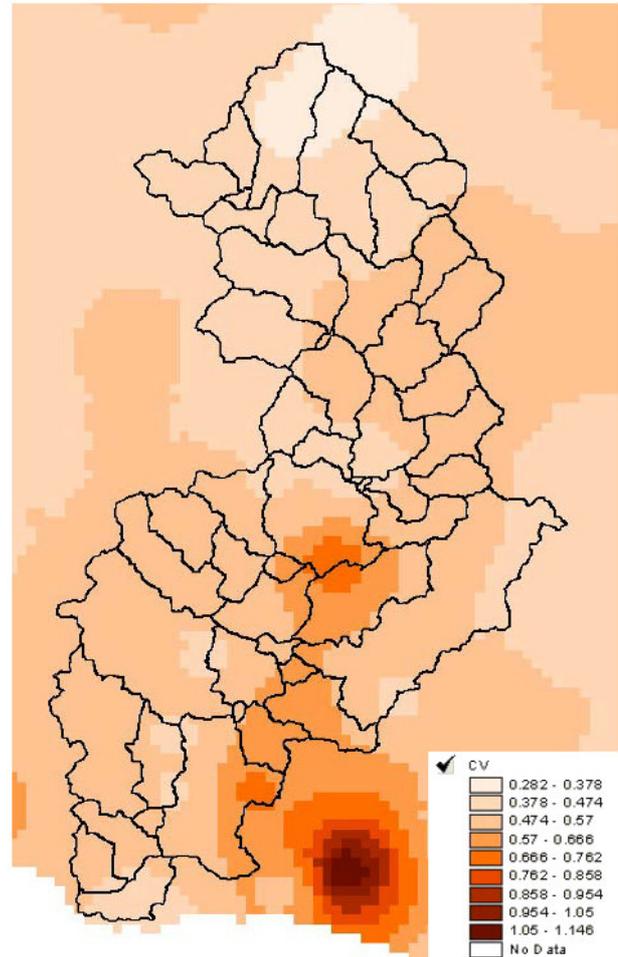
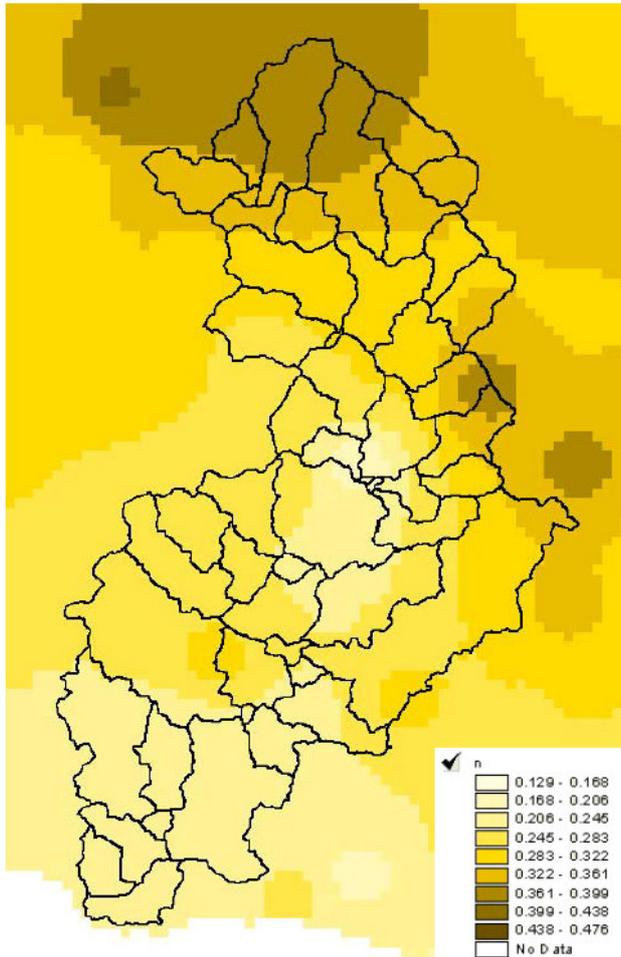
Le immagini di seguito riportate sono state estratte dal PAI della Regione Sicilia (richiamato nella Normativa di riferimento del presente progetto definitivo).



DTM relativo alla distribuzione del parametro "a" nel bacino idrografico del Fiume Imera Meridionale.

Valori di riferimento: a=28.164-30.926

Figura 8 – DTM parametro a.



Valori di riferimento:  $n=0.322-0.361$ ;  $CV=0.474-0.57$

Figura 9 – DTM parametro n.

Figura 10 – DTM parametro CV.

a	n	CV
30.926	0.322	0.57

Tabella 4 – Valori selezionati dei coefficienti a, n e CV bacini idrografici per i corsi d'acqua.

### 3.6.2 Il modello probabilistico di Gumbel

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

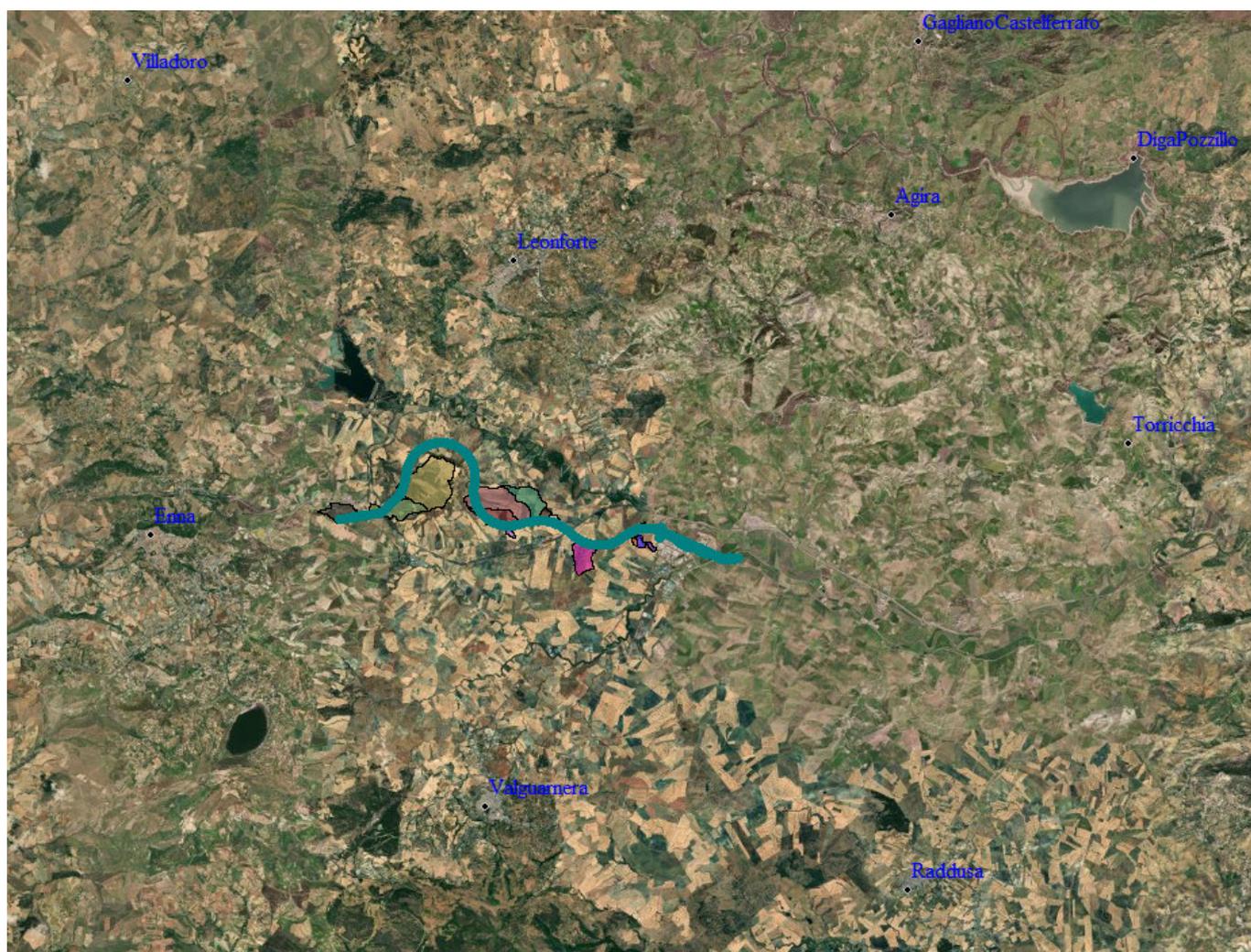


Figura 11 – Stazioni di misura vicine alla zona di studio.

Una volta identificato il bacino della rete idrografica, si è proceduto a ripartire il territorio di studio in aree di competenza relative alle stazioni vicine.

Per questo scopo, è stato utilizzato il metodo geometrico dei reticoli di Thiessen. Con questo approccio si definisce il punto di mezzo dei segmenti che collegano una stazione con quella contigua e da questo

punto si traccia la normale fino ad incontrare la normale relativa ad un'altra congiungente. L'area così delimitata è associata agli eventi che si sono verificati nella stazione posta all'interno del poligono.

A tutti i bacini individuati è stata assegnata una o più stazioni pluviometriche di riferimento.

Nel caso di bacini con più stazioni pluviometriche ricadenti al proprio interno l'altezza di pioggia complessiva è stata calcolata considerando il pluviometro che contiene l'area maggiore del bacino in esame.

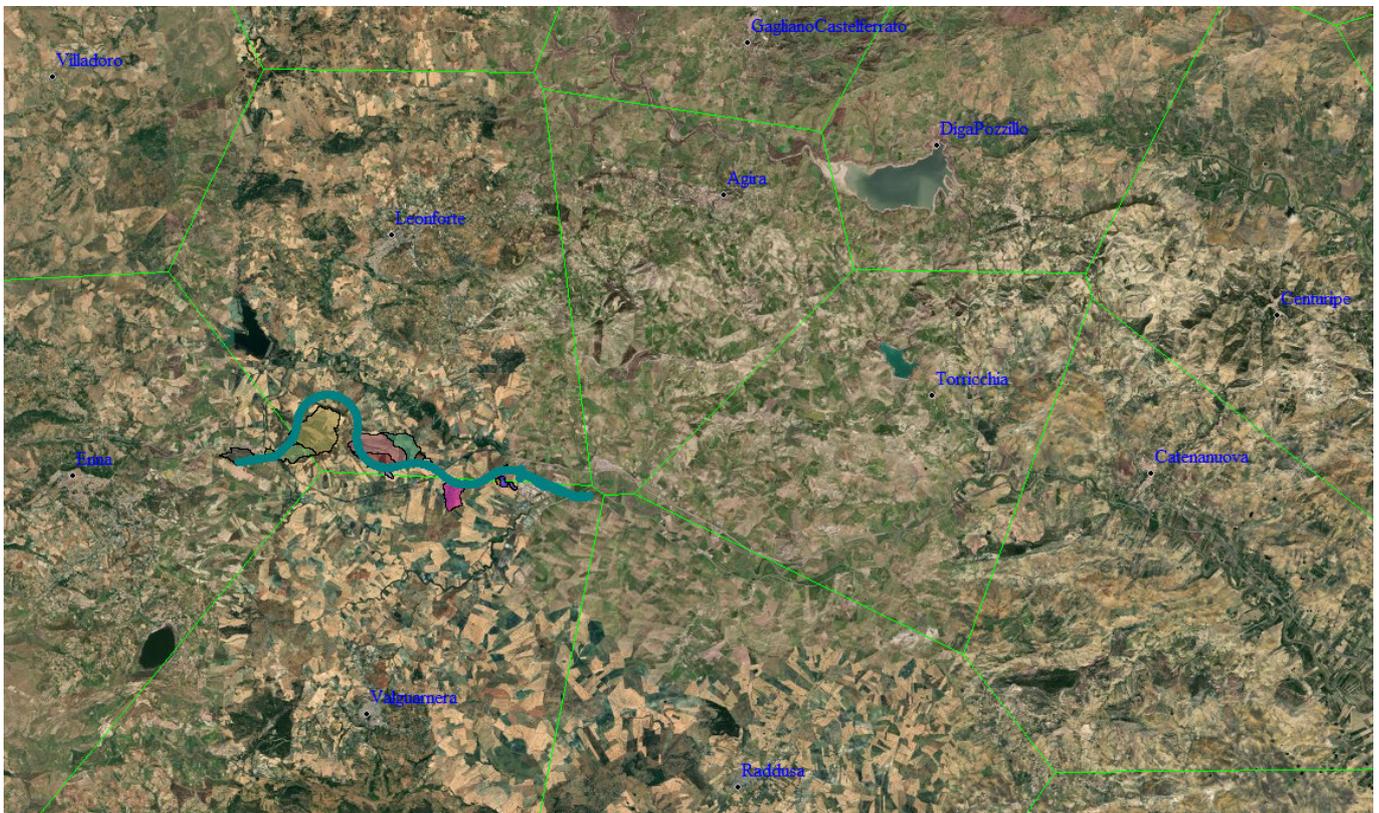


Figura 12 – Reticolo di Thiessen per le stazioni pluviometriche della zona di studio..

I dati idrologici disponibili per l'analisi pluviometrica sono stati estratti dagli Annali Idrologici dell'Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia. 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.

Di seguito si riportano le tabelle dei risultati delle analisi statistiche eseguite con il metodo di Gumbel per le stazioni di Valguarnera, Enna, Leonforte. Le tabelle contengono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica  $a$  ed  $n$  per i vari tempi di ritorno.

TR (anni)	Valguarnera		Enna		Leonforte	
	a [mm*ore-n]	n	a [mm*ore-n]	n	a [mm*ore-n]	n
25	45.9	0.423	61.1	0.421	50.8	0.401
50	50.0	0.429	68.8	0.429	57.0	0.410
100	55.1	0.444	76.4	0.434	63.1	0.416
200	60.2	0.448	84.0	0.439	69.2	0.420
300	63.2	0.454	88.6	0.445	72.8	0.426

Tabella 5 – Risultati dell'analisi delle precipitazioni con il metodo di Gumbel.

Da un confronto con i valori 200-ennali del parametro a si desume che i valori del VAPI sono più gravosi e quindi sono stati presi come valori di progetto nella valutazione delle portate di progetto.

#### 4 STIMA DELLE PORTATE

##### 4.1 Il metodo della corrivazione o modello cinematico

Il metodo della corrivazione, detto anche modello cinematico o metodo aree-tempi, considera prevalenti nel bacino i fenomeni di traslazione dell'acqua. Il bacino è schematizzato come un insieme di canali lineari e si assume come ipotesi di base che il tempo impiegato dalla precipitazione efficace per raggiungere la sezione di chiusura a partire da un generico punto del bacino è invariante e dipende soltanto dalla posizione del punto di origine.

Ne consegue che esiste un tempo di base  $T_0$ , che nel caso specifico è denominato tempo di corrivazione  $T_c$  del bacino, definito come il tempo necessario alla particella d'acqua che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Per tale modello si assume anche che si possa suddividere il bacino in un numero di linee, dette isocorrive, delimitate da linee che uniscono i punti di uguale tempo di corrivazione rispetto alla sezione di chiusura. Inoltre, per l'ipotesi di linearità e stazionarietà, è possibile considerare la portata nella sezione di chiusura in un generico istante come somma dei contributi delle diverse linee isocorrive, opportunamente traslati nel tempo per tenere conto del tempo di corrivazione di ciascuna fascia.

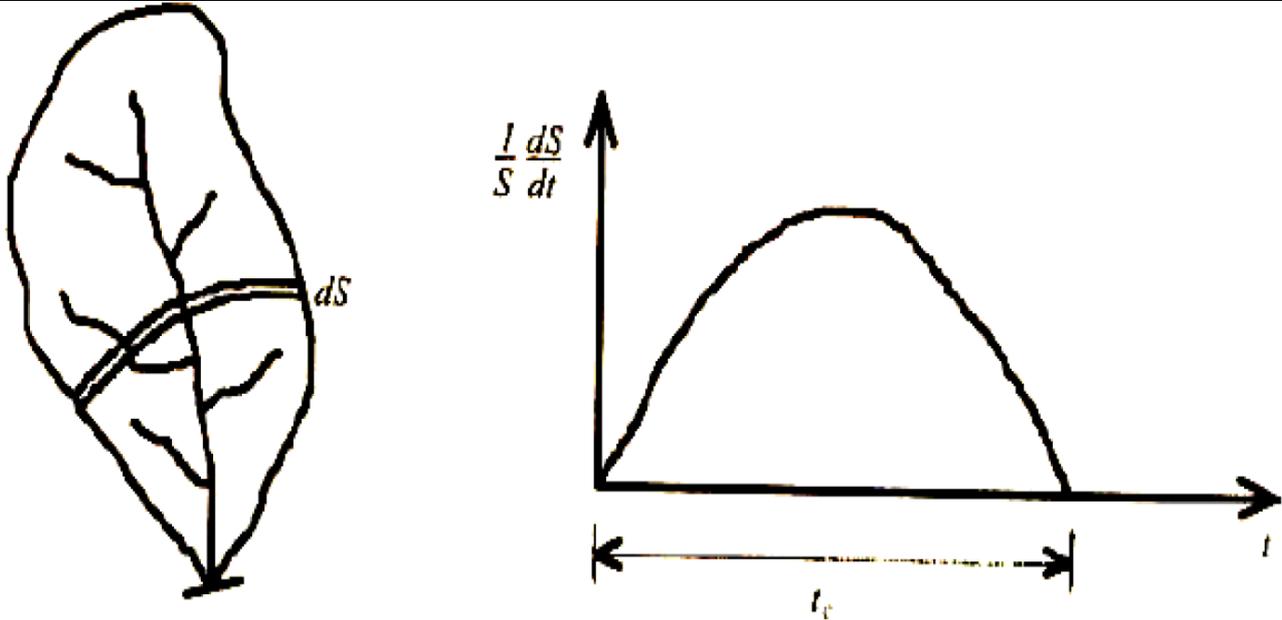


Figura 13 – Rappresentazione del bacino e del relativo IUH (CSDU)

L'IUH va dedotto dalla cosiddetta curva cumulata aree-tempi  $S = s(t)$  del bacino; essa rappresenta le aree  $S_i$  del bacino comprese tra la sezione di chiusura e la linea isocorriva relativa al generico tempo  $t$  di corrivazione. La curva  $s(t)$  è quindi una curva crescente dall'origine al punto di coordinate  $(S, T_c)$  essendo  $S$  la superficie complessiva del bacino.

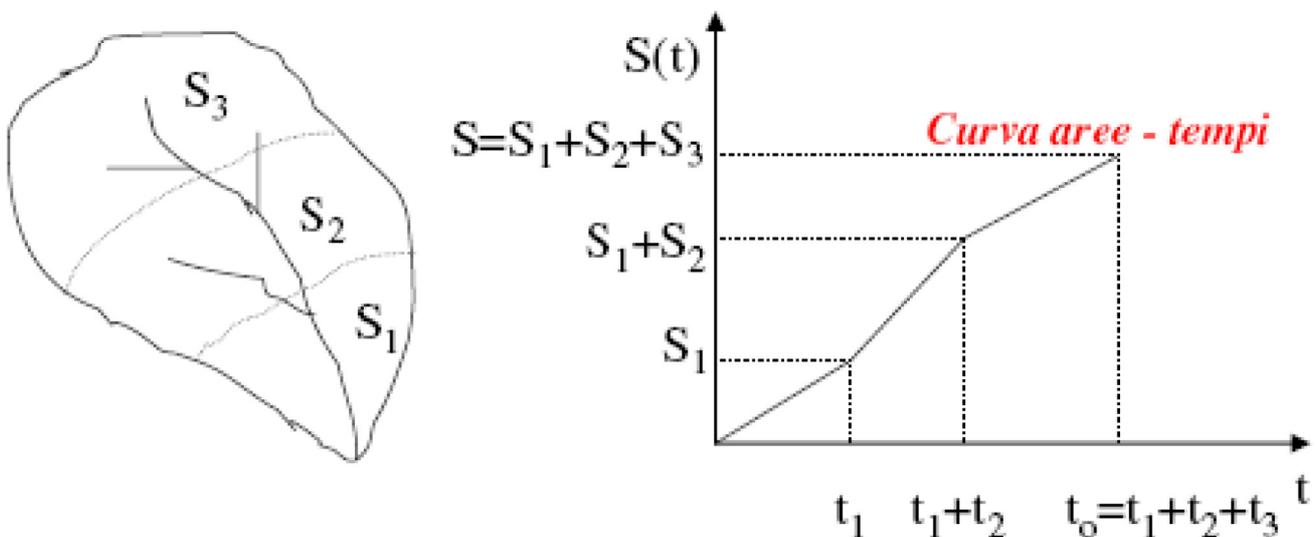


Figura 14 – Curva aree-tempi per un bacino delimitato dalla sezione di chiusura

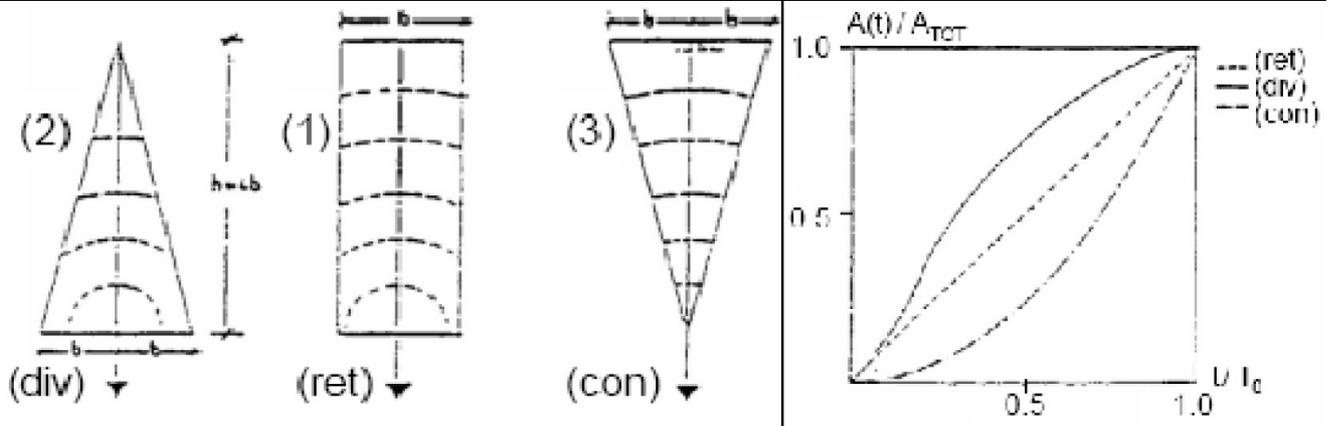


Figura 15 – Curva aree-tempi diverse per uno stesso bacino, delimitato dalla sezione di chiusura

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.

Per il calcolo delle portate di pioggia è stato utilizzato il Metodo Razionale. La formula razionale per la previsione della portata di massima piena è direttamente dedotta dal metodo cinematico:

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

in cui:

$Q$  = Portata di piena [ $m^3/s$ ];

$\varphi$  = Coefficiente di deflusso;

$h$  = Pioggia netta [m];

$S$  = Area del bacino [ $km^2$ ];

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

La formula razionale è rigorosa sotto le seguenti ipotesi:

- Intensità di precipitazione uniforme nello spazio e costante nel tempo;
- Coefficiente di deflusso costante durante l'evento e indipendente dall'intensità di precipitazione;
- Portata nulla all'istante iniziale.

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 Figura 16 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 assume la forma triangolare.

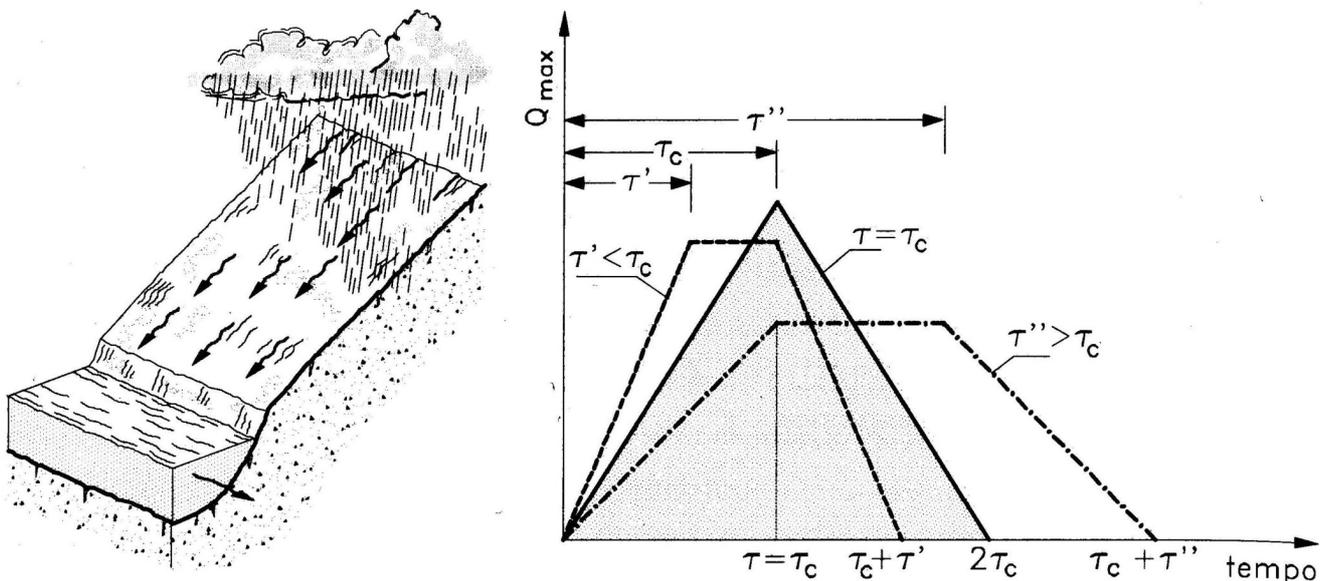


Figura 16 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

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.

## 4.2 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.

Si riportano a seguire le principali formulazioni di riferimento in letteratura, utilizzate nel presente studio idrologico per validare i parametri di progetto calcolati.

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.l.m.];

$H_0$  = quota della sezione di chiusura [m s.l.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’altra equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Ventura** (1905). La relazione ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove  $i_m$  è la pendenza media della rete di drenaggio ed  $A$  la superficie del bacino .

Un'ulteriore formulazione già ampiamente sperimentata in casi analoghi è quella di **Pasini** che ha la seguente forma:

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

All'interno del presente studio è stata utilizzata anche la formula di **Pezzoli**, sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km<sup>2</sup>

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

E' stata presa in considerazione anche la formula di **Kerby**, utilizzata frequentemente per il calcolo del tempo di corrivazione in bacini di estensione limitata. La formula di Kerby è stata sviluppata da risultati ottenuti da bacini con canalizzazioni inferiori ai 1200 ft (365 m). La relazione di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione, espresso in ore, ha la forma:

$$\tau_c = (0.342 \cdot N \cdot L \cdot i_m^{-0.5})^{0.467}$$

Con  $N$  = parametro legato al tipo di superficie (Tabella 6). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.4, valore di riferimento per le aree adibite al pascolo o prato e quindi rappresentativo degli usi del suolo prevalenti nel territorio di studio.

Description	N
Pavement	0.02
Smooth, bare packed soil	0.10
Poor grass, cultivated row crops or moderately rough bare surfaces	0.20
Pasture, average grass	0.40
Deciduous forest	0.60
Dense grass, coniferous forest, or deciduous forest with deep litter	0.80

Tabella 6 - Parametro  $N$  della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.

Infine una 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>. E' 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:

$$\tau_c = 0,0662 \cdot k \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0,77}$$

Dove:

$L$  = estensione del percorso più lungo della singola particella d'acqua fino alla sezione di chiusura [km];

$i_m$  = è la pendenza media del bacino;

$k$  = coefficiente di aggiustamento legato alla tipologia di terreno ( $k = 2$ ).

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

Tabella 7 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.

La caratterizzazione dei parametri di progetto è stata condotta tramite le relazioni fornite dagli studi condotti e pubblicati da V. Ferro, ovvero:

$$\tau_c = 0,02221 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0,8}$$

$$\tau_c = 0,675 \cdot \sqrt{A}$$

Si è proceduto calcolando il tempo di corrivazione con entrambe le formulazioni, per ogni bacino e sottobacino. Di tali valori è stata operata la media. Il valore della media è stato assunto come riferimento nel calcolo delle portate di progetto.

### 4.3 Coefficiente di deflusso

La scelta è caduta su di un modello empirico fisicamente basato che si presta ad un utilizzo con dati spazialmente distribuiti: il metodo Curve Number (CN-SCS) del Soil Conservation Center (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972).

Tale metodo assume che, in un evento di piena, il volume specifico del deflusso superficiale  $P$ , sia proporzionale a quello precipitato  $I$ , depurato dall'assorbimento iniziale  $I_a$ , in ragione del rapporto tra volume specifico infiltrato  $F$ , e un volume specifico  $S$ , che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno:

$$P = (I - I_a) F/S$$

Sostituendo ad  $F$  l'espressione ottenuta dall'equazione di continuità:

$$F = I - I_a - P$$

Si ottiene la relazione che fornisce il deflusso superficiale  $P$ :

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

Il parametro  $S$  dipende fundamentalmente dalla combinazione di due fattori: la natura geopedologica del terreno e l'uso/copertura del suolo.

L'effetto combinato di questi due fattori viene rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN ( $0 < CN < 100$ ), legato a  $S$  dalla relazione:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

La stima del parametro CN è stata effettuata tramite acquisizione, all'interno di un GIS, degli strati informativi riguardanti la geologia, la pedologia, e l'uso/copertura del suolo.

Unendo le informazioni provenienti dalla geologia e dalla pedologia si è classificato il bacino in quattro tipi idrologici di suoli, caratterizzati da permeabilità sempre minori:

A - Sabbie profonde, terriccio marnoso profondo, aggregati limosi e sabbiosi;

B - Sabbie argillose, terriccio marnoso sottile;

C - Argille sabbiose, suoli poveri di contenuti organici, ricchi di componenti argillose;

D - Suoli con tendenza al rigonfiamento, argille plastiche, suoli salini.

Il valore di CN si ottiene per incrocio fra le caratteristiche idrologiche del suolo secondo i tipi A – B – C – D e le caratteristiche di uso prevalente del suolo. Si ottiene così una carta dei valori di CN, dalla quale si può ricavare, sempre con tecniche proprie dei Sistemi Informativi Geografici, il valore medio di CN per ciascun bacino.

L'altro parametro da stimare è la che rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto, a priori, al bilancio idrico. Dati sperimentali (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972) indicano che questo parametro è sempre proporzionale a S, per cui si è stabilito di porlo pari a cS con c pari a 0,2.

I dati di uso del suolo sono stati ricavati a partire dai DEN del progetto Corine Land Cover (CLC) per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio.

Per ogni valore della carta di uso del suolo è associato un valore di CN in base all'uso del suolo:

## **Legenda del CORINE Land Cover 2000**

### **1. SUPERFICI ARTIFICIALI**

#### 1.1. Zone urbanizzate di tipo residenziale

##### 1.1.1. Zone residenziali a tessuto continuo

##### 1.1.2. Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado

#### 1.2. Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali

##### 1.2.1. Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati

##### 1.2.2. Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche

##### 1.2.3. Aree portuali

##### 1.2.4. Aeroporti

#### 1.3. Zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati

##### 1.3.1. Aree estrattive

- 1.3.2. Discariche
- 1.3.3. Cantieri
- 1.4. Zone verdi artificiali non agricole
  - 1.4.1. Aree verdi urbane
  - 1.4.2. Aree ricreative e sportive
- 2. SUPERFICI AGRICOLE UTILIZZATE
  - 2.1. Seminativi
    - 2.1.1. Seminativi in aree non irrigue
    - 2.1.2. Seminativi in aree irrigue
    - 2.1.3. Risaie
  - 2.2. Colture permanenti
    - 2.2.1. Vigneti
    - 2.2.2. Frutteti e frutti minori
    - 2.2.3. Oliveti
  - 2.3. Prati stabili (foraggiere permanenti)
    - 2.3.1. Prati stabili (foraggiere permanenti)
  - 2.4. Zone agricole eterogenee
    - 2.4.1. Colture temporanee associate a colture permanenti
    - 2.4.2. Sistemi colturali e particellari complessi
    - 2.4.3. Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
    - 2.4.4. Aree agroforestali
- 3. TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI
  - 3.1. Zone boscate
    - 3.1.1. Boschi di latifoglie
    - 3.1.2. Boschi di conifere
    - 3.1.3. Boschi misti di conifere e latifoglie
  - 3.2. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
    - 3.2.1. Aree a pascolo naturale e praterie
    - 3.2.2. Brughiere e cespuglieti
    - 3.2.3. Aree a vegetazione sclerofilla
    - 3.2.4. Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
  - 3.3. Zone aperte con vegetazione rada o assente
    - 3.3.1. Spiagge, dune e sabbie
    - 3.3.2. Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
    - 3.3.3. Aree con vegetazione rada
    - 3.3.4. Aree percorse da incendi
    - 3.3.5. Ghiacciai e nevi perenni
- 4. ZONE UMIDE
  - 4.1. Zone umide interne
    - 4.1.1. Paludi interne
    - 4.1.2. Torbiere
  - 4.2. Zone umide marittime
    - 4.2.1. Paludi salmastre
    - 4.2.2. Saline
    - 4.2.3. Zone intertidali
- 5. CORPI IDRICI
  - 5.1. Acque continentali
    - 5.1.1. Corsi d'acqua, canali e idrovie

- 5.1.2. Bacini d'acqua
- 5.2. Acque marittime
  - 5.2.1. Lagune
  - 5.2.2. Estuari
  - 5.2.3. Mari e oceani

Per un suolo di tipo C e AMC=2 si sono ricavati i seguenti valori del CN e di S:

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	CN	S (CN)
A1	0+510.00	IN01	83.00	52.0
A1.1	0+880.00	IN02	83.00	52.0
A2	1+420.00	IN03	86.33	40.2
A3	2+650.00	IN04	85.50	43.1
A3.1	NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B	85.50	43.1
A4	8+200.00	IN05	82.50	53.9
A5	8+715.00	IN06	82.50	53.9
A6	8+835.00	IN07	82.50	53.9
A7	9+045.00	IN08	78.00	71.6
A8	9+380.00	IN09	76.00	80.2
A11	NV05 0+170	NI02	83.00	52.0
A12	Lotto 5b	NI04	85.00	44.8
A12.1	NV12	NI07	80.00	63.5
A13	NV08 asse 7 0+235	NI05	86.00	41.3

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	CN	S (CN)
A14	NV08 asse 7 0+535	NI06	81.00	59.6
A16	NV06 0+142	NI03	83.00	52.0
A17	linea storica	IN11	83.00	52.0
A18	NV07 0+887	NI08	79.00	67.5
A19	NV07 0+584	NI09	80.00	63.5

Tabella 8 – Valori dei parametri CN e S di progetto.

Di seguito è riportata l'immagine con l'uso del suolo per la zona analizzata:



Figura 17 – Carta uso del suolo CLC liv.3.

Si è quindi proceduto con il ricavare il valore delle piogge lorde e nette, il rapporto tra queste ci permette di ricavare il valore del coefficiente  $\phi$  equivalente per il calcolo delle portate:

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	Piogge lorde	Piogge Nette	$\Phi$ equivalente
A1	0+510.00	IN01	72	33	0.5
A1.1	0+880.00	IN02	115	70	0.6
A2	1+420.00	IN03	69	37	0.5
A3	2+650.00	IN04	83	47	0.6
A3.1	NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B	103	65	0.6
A4	8+200.00	IN05	74	34	0.5
A5	8+715.00	IN06	82	41	0.5
A6	8+835.00	IN07	74	34	0.5
A7	9+045.00	IN08	85	35	0.4
A8	9+380.00	IN09	101	44	0.4
A11	NV05 0+170	NI02	102	58	0.6
A12	Lotto 5b	NI04	83	46	0.6
A12.1	NV12	NI07	38	7	0.2
A13	NV08 asse 7 0+235	NI05	64	32	0.5
A14	NV08 asse 7 0+535	NI06	104	56	0.5
A16	NV06 0+142	NI03	69	31	0.5
A17	linea storica	IN11	50	17	0.3
A18	NV07 0+887	NI08	44	10	0.2
A19	NV07 0+584	NI09	52	15	0.3

Tabella 9 – Riepilogo dei valori delle piogge lorde, nette e dei coefficienti di deflusso equivalenti di progetto.

#### 4.4 Definizione delle portate di progetto

Il primo passo per l'individuazione delle portate per ogni bacino consiste nella determinazione del tempo di corrivazione con le formule descritte nel paragrafo 4.1. 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 al DTM e all'analisi riportata nel capitolo 3.5. Le diverse formule presentano dei campi di applicazione differenti a seconda dell'estensione del bacino in esame. Nella presente analisi, per bacini di estensione inferiore a 10 km<sup>2</sup>, il tempo di corrivazione è stato calcolato come media dei risultati ottenuti dalle equazioni indicate negli studi di Ferro dopo un attento confronto con i risultati prodotti utilizzando le altre equazioni di letteratura.

Per la determinazione della portata liquida con il metodo cinematico è stato imposto un coefficiente di deflusso calcolato con il metodo del SCS-CN.

Solitamente i bacini dei corsi d'acqua hanno dei coefficienti di deflusso equivalenti calcolati come il rapporto tra le piogge lorde e nette compresi tra 0.4 e 0.6. Le piogge Nette sono state ricavate con il metodo del SCS-CN, come sopra esposto e confrontati con i coefficienti di letteratura. Tali coefficienti risultano in linea con quanto calcolato per i terreni poco permeabili e coltivati.

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	Coltivazioni	Pascoli	Boschi
Molto permeabile (sabbioso o ghiaioso)	0.20	0.15	0.10
Mediamente permeabile (Terreni di medio impasto, Terreni senza strati di argilla)	0.40	0.35	0.30
Poco Permeabili (Suoli argillosi, con strati di argilla in prossimità della superficie, suoli poco profondi su substrato roccioso impermeabile)	0.50	0.45	0.40

Tabella 10 – Coefficienti di Deflusso (tratto da "La sistemazione dei bacini montani"- Vito Ferro) .

La valutazione delle portate è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 [anni]. Tale 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 ai 10 km<sup>2</sup>.

I risultati ottenuti dalle curve di possibilità pluviometrica del metodo VAPI sono riportati nelle tabelle seguenti:

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	Altezza di pioggia metodo VAPI	
			t <sub>Cmedio</sub> [ore]	h 200 [mm]
A1	0+510.00	IN01	0.41	72
A1.1	0+880.00	IN02	0.10	45
A2	1+420.00	IN03	0.36	69
A3	2+650.00	IN04	0.63	83
A3.1	NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B	0.12	48
A4	8+200.00	IN05	0.45	74
A5	8+715.00	IN06	0.62	82
A6	8+835.00	IN07	0.45	74
A7	9+045.00	IN08	0.15	52
A8	9+380.00	IN09	0.12	48
A11	NV05 0+170	NI02	0.12	48
A12	Lotto 5b	NI04	0.16	53
A12.1	NV12	NI07	0.06	38
A13	NV08 asse 7 0+235	NI05	0.28	64
A14	NV08 asse 7 0+535	NI06	0.11	48
A16	NV06 0+142	NI03	0.37	69
A17	linea storica	IN11	0.13	50

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	Altezza di pioggia metodo VAPI	
			t <sub>Cmedio</sub> [ore]	h 200 [mm]
A18	NV07 0+887	NI08	0.09	44
A19	NV07 0+584	NI09	0.15	52

Tabella 11 – Metodo VAPI: altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno e tempo di corrivazione medio dei bacini dei corsi d'acqua interferenti.

Le portate di progetto nelle sezioni di chiusura di ogni bacino sono indicate nella seguente tabella:

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	t <sub>Cmedio</sub> [ore]	i [mm/h]	Φ equivalente	Q (m <sup>3</sup> /s)
A1	0+510.00	IN01	0.41	174	0.5	8.7
A1.1	0+880.00	IN02	0.25	460	0.6	0.8
A2	1+420.00	IN03	0.36	191	0.5	14.4
A3	2+650.00	IN04	0.63	131	0.6	37.1
A3.1	NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B	0.25	411	0.6	5.0
A4	8+200.00	IN05	0.45	165	0.5	11.2
A5	8+715.00	IN06	0.62	133	0.5	21.8
A6	8+835.00	IN07	0.45	165	0.5	10.1
A7	9+045.00	IN08	0.25	341	0.4	3.6
A8	9+380.00	IN09	0.25	404	0.4	3.4
A11	NV05 0+170	NI02	0.25	408	0.6	3.2
A12	Lotto 5b	NI04	0.25	332	0.6	6.1
A12.1	NV12	NI07	0.06	659	0.2	0.4

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	$t_{c,medio}$ [ore]	$i$ [mm/h]	$\Phi$ equivalente	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
A13	NV08 asse 7 0+235	NI05	0.28	225	0.5	7.3
A14	NV08 asse 7 0+535	NI06	0.25	417	0.5	2.6
A16	NV06 0+142	NI03	0.37	189	0.5	12.1
A17	linea storica	IN11	0.13	379	0.3	1.9
A18	NV07 0+887	NI08	0.09	484	0.2	0.9
A19	NV07 0+584	NI09	0.15	352	0.3	2.2

Tabella 12 – Valori delle portate di progetto nelle sezioni di chiusura dei bacini dei corsi d'acqua interferenti.

#### 4.5 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora (scrosci)

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. E' 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:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t) \quad (7)$$

avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale della (7) può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left( \frac{t}{60} \right)^s \quad (8)$$

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 0.322 (Ferrerri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la forma:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left( \frac{t}{60} \right)^{0.322} \quad (9)$$

In ragione di sicurezza si ritiene che le curve di possibilità pluviometrica da utilizzare per le opere di drenaggio di piattaforma siano quella che forniscono le altezze di pioggia maggiori, ossia quelle calcolate applicando il metodo VAPI, indicato nel PAI redatto dalla Regione Sicilia.

#### METODO VAPI

Dall'analisi della carta delle iso-*a* di Figura 6 è stato desunto un parametro *a* rappresentativo di tutta la tratta pari a 24. Fissati i tempi di ritorno  $T_r$  pari a 25 e 100 anni, i parametri della curva di possibilità pluviometrica sono pertanto pari a:

Tempo di Ritorno	Parametro <i>a</i>	Parametro <i>s</i>	Coefficiente di crescita $K_T$
T = 25 anni	$a = 30.926 \text{ [mm} \cdot \text{ore}^{-n}]$	$s = 0.322$	$K_T = 2.16$
T = 100 anni	$a = 30.926 \text{ [mm} \cdot \text{ore}^{-n}]$	$s = 0.322$	$K_T = 2.79$

Tabella 13 - Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per piogge inferiori all'ora metodo VAPI.

Utilizzando la (9), le curve di possibilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora corrispondenti ai due tempi di ritorno assegnati assumono la seguente forma:

$$h_{t,25} = a \cdot K_T \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.322} = 66.80 \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.322}$$

$$h_{t,100} = a \cdot K_T \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.322} = 86.28 \cdot \left( \frac{t}{60} \right)^{0.322}$$

Tali valori sono stati adottati per il dimensionamento e la verifica idraulica dei sistemi di drenaggio in progetto.