

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUME TORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1 + 2

VIABILITA'

INQUADRAMENTO GENERALE

Relazione idrologica

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS3Z	00	D	26	RI	NV0000	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. INTEGRA	Gennaio 2020	M. VENTURA	Gennaio 2020	A. BARILECA	Gennaio 2020	F. SACCHI Gennaio 2020

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Doc. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia  
di Siracusa n. 2017/Sir-A

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	4
2.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	4
2.2 BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME TORTO .....	4
3. PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	5
4. ANALISI PLUVIOMETRICA.....	11
4.1 GENERALITÀ .....	11
4.2 PROGETTO VAPI.....	12
4.2.1 <i>Modello probabilistico TCEV</i> .....	12
4.2.1 <i>Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica metodo VAPI</i> .....	17
4.3 ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI .....	18
4.3.1 <i>Analisi delle precipitazioni</i> .....	20
4.4 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA _ELABORAZIONI DRPC-SERVIZIO RIA .....	23
4.5 SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	24
4.6 DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA.....	24
5. STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO .....	26
5.1 PREMESSA .....	26
5.2 METODO RAZIONALE.....	26
5.3 INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI.....	27
5.4 TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	30
5.5 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....	33

## 1. PREMESSA

La presente relazione definisce i tratti fondamentali della idrologia del territorio relativa al nuovo collegamento Palermo-Catania, raddoppio tratta Fiume Torto - Lercara Diramazione, appartenente alla Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

Lo scopo del presente documento è la caratterizzazione pluviometrica della zona interessata dall'area di progetto; a seguito della definizione dei parametri di pioggia che descrivono le curve di possibilità pluviometrica (CPP) sarà possibile stimare le portate di progetto tramite le quali si dimensioneranno e verificheranno sia gli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio stradale, interna ed esterna, sia le opere di risoluzione delle interferenze del reticolo idraulico naturale esistente con il tracciato di progetto.

## 2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

### 2.1 Descrizione del tracciato in relazione all'idrografia superficiale

L'infrastruttura stradale in progetto sviluppa lungo la direttrice Palermo-Catania andando a costituire il nuovo collegamento tra Roccapalumba e Lercara. Nel suo percorso viene interferita da una serie di corsi d'acqua con bacini idrografici di piccola estensione a carattere prevalentemente torrentizio.

Il principale bacino idrografico interessato dall'infrastruttura in studio è quello del fiume Torto che viene attraversato nella parte finale del tracciato mediante un viadotto su cinque campate (quattro di luce 49.80 m ed una di 24 m) di lunghezza pari a 223.20 m.

### 2.2 Bacino idrografico del Fiume Torto

Il bacino idrografico del F. Torto ricade nel versante settentrionale della Sicilia e si estende, per circa 420 km<sup>2</sup>, da contrada Regalmici, appartenente al territorio di Castronovo di Sicilia, sino al Mar Tirreno, in contrada Canne Masche, nel territorio di Termini Imerese. Esso si inserisce tra il bacino del F. Imera Settentrionale e l'area territoriale di Termini Imerese ad est, il bacino del F. S. Leonardo ad ovest e il bacino del F. Platani a sud e ricade nei territori della provincia di Palermo e Caltanissetta.

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.

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 presenta un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra, con valore della portata praticamente uguale a zero.

### 3. PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico dell'area interessata dall'infrastruttura in progetto è regolamentato dal "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (di seguito P.A.I.), redatto dall'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000.

Esso ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Il P.A.I. ha sostanzialmente tre funzioni:

- la funzione conoscitiva, che comprende lo studio dell'ambiente fisico e del sistema antropico, nonché della ricognizione delle previsioni degli strumenti urbanistici e dei vincoli idrogeologici e paesaggistici;
- la funzione normativa e prescrittiva, destinata alle attività connesse alla tutela del territorio e delle acque fino alla valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico e alla conseguente attività di vincolo in regime sia straordinario che ordinario;
- la funzione programmatica, che fornisce le possibili metodologie d'intervento finalizzate alla mitigazione del rischio, determina l'impegno finanziario occorrente e la distribuzione temporale degli interventi.

Il riferimento territoriale del P.A.I. è la Regione Sicilia che costituisce un unico bacino di rilievo regionale. La Sicilia, estesa complessivamente 25.707 km<sup>2</sup>, è stata suddivisa in 102 bacini idrografici e aree territoriali intermedie, oltre alle isole minori. Per ogni bacino idrografico è stato realizzato un piano stralcio. I piani sono pubblicati singolarmente, nel caso dei bacini idrografici di maggiore estensione e le isole minori, o raggruppando i bacini idrografici meno estesi e le aree territoriali intermedie.

Nell'ambito delle attività svolte per la redazione del P.A.I., lo studio idraulico è stato finalizzato sia alla valutazione delle capacità di convogliamento dei diversi tratti d'alveo nelle loro condizioni attuali, sia all'individuazione dell'estensione delle aree di allagamento, nei tratti soggetti ad esondazione.

Necessaria è stata la costruzione di un quadro conoscitivo di base dell'ambiente fisico oggetto di studio; pertanto, oltre alla definizione del reticolo idrografico, dei limiti del bacino principale e dei sottobacini, è stata effettuata una prima caratterizzazione delle aste fluviali. Parallelamente a tale attività, sono stati acquisiti tutti

gli elementi conoscitivi utili all'individuazione delle aree potenzialmente inondabili attraverso informazioni storiche e analisi di tipo territoriale.

Si è proceduto, così, allo studio idrologico dei vari bacini e sono state stimate le massime portate relative alle sezioni di interesse del corso d'acqua (in dipendenza delle aree potenzialmente inondabili prima individuate) e la probabilità associata che tali portate vengano raggiunte o superate.

Nella fase successiva, attraverso lo studio idraulico, sono state determinate, in ogni sezione scelta, i livelli idrici associati agli eventi di piena precedentemente definiti e, conseguentemente, sono state perimetrare le aree inondabili.

Infine, sono stati valutati la pericolosità ed il rischio. Si sottolinea che, nella metodologia adottata per determinare il rischio per inondazione, poiché la valutazione quantitativa del danno richiede, oltre ad una conoscenza dettagliata degli elementi esposti al rischio sul territorio, anche la stima della vulnerabilità, valutabile tramite analisi territoriali, sociali ed economiche da svolgersi ad un livello di dettaglio che trascende le scale proprie della pianificazione di bacino, nell'ambito del P.A.I. il rischio è stato valutato considerando soltanto due fattori. In particolare si è tenuto conto del valore degli elementi a rischio presenti nell'area in esame (E) e della pericolosità idraulica (P).

$$R = P \times E$$

Classe di pericolosità	
P4	Aree a pericolosità molto elevata
P3	Aree a pericolosità elevata
P2	Aree a pericolosità moderata
P1	Aree a pericolosità bassa

*Classi di pericolosità idraulica*

Classe	Descrizione
<b>E1</b>	Case sparse - Impianti sportivi e ricreativi - Cimiteri - Insediamenti agricoli a bassa tecnologia - Insediamenti zootecnici.
<b>E2</b>	Reti e infrastrutture tecnologiche di secondaria importanza e/o a servizio di ambiti territoriali ristretti (acquedotti, fognature, reti elettriche, telefoniche, depuratori,...) - Viabilità secondaria (strade provinciali e comunali che non rappresentino vie di fuga) - Insediamenti agricoli ad alta tecnologia - Aree naturali protette, aree sottoposte a vincolo ai sensi del D. L.vo 490/99.
<b>E3</b>	Nuclei abitati - Ferrovie - Viabilità primaria e vie di fuga - Aree di protezione civile (attesa, ricovero e ammassamento) - Reti e infrastrutture tecnologiche di primaria importanza (reti elettriche e gasdotti) - Beni culturali, architettonici e archeologici sottoposti a vincolo - Insediamenti industriali e artigianali - Impianti D.P.R. 175/88.
<b>E4</b>	Centri abitati - Edifici pubblici di rilevante importanza (es. scuole, chiese, ospedali, ecc.).

*Elementi a rischio*

<b>R1</b>	<b>RISCHIO MODERATO:</b> per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.
<b>R2</b>	<b>RISCHIO MEDIO:</b> per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
<b>R3</b>	<b>RISCHIO ELEVATO:</b> per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
<b>R4</b>	<b>RISCHIO MOLTO ELEVATO:</b> per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

*Classi di rischio*

Gli studi suddetti, condotti per i tempi di ritorno  $Tr = 50, 100$  e  $300$  anni, si possono pertanto articolare nelle seguenti fasi fondamentali:

- individuazione e caratterizzazione dell'ambiente fisico oggetto di studio;
- analisi storico-inventariale (raccolta dati) e analisi territoriale;
- studio idrologico;

- studio idraulico;
- perimetrazione delle aree a diversa pericolosità di inondazione e valutazione del rischio idraulico.

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio. Essa è stata valutata in maniera differente a seconda delle informazioni disponibili e dell'affidabilità della ricostruzione delle aree inondabili.

Nel caso in cui la scala della cartografia disponibile e le connesse sezioni trasversali della valle fluviale non consentissero di ottenere un'affidabile distribuzione spaziale delle altezze idriche all'interno dell'area inondata (ottenuta peraltro utilizzando modelli monodimensionali, oppure bidimensionali semplificati), si è fatto riferimento ad una metodologia, cosiddetta "semplificata", che valuta la pericolosità soltanto in funzione del tempo di ritorno (vedi tabella seguente).

<b>T</b>	<b>P</b>
<b>50</b>	P3
<b>100</b>	P2
<b>300</b>	P1

*Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia semplificata*

Le classi di rischio sono dunque determinate dalla sovrapposizione della carta della pericolosità con gli elementi a rischio risultanti dalle informazioni derivate dalla CTR in scala 1:10.000 e dalle ortofotocarte alla medesima scala. Mediante l'incrocio del dato relativo all'elemento con quello della classe di pericolosità, si può pertanto risalire agevolmente al grado di rischio (tabella seguente).

<b>Rischio</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
<b>P1</b>	R1	R1	R2	R3
<b>P2</b>	R1	R2	R3	R4
<b>P3</b>	R2	R2	R4	R4

*Valutazione del rischio idraulico secondo la metodologia semplificata.*

Nel caso in cui, invece, i risultati della modellazione idraulica fossero supportati da elementi conoscitivi di dettaglio (cartografia 1:2000 e/o sezioni trasversali rilevate in loco), atti a consentire una notevole affidabilità relativa al calcolo della distribuzione spaziale delle grandezze idrauliche (ottenute tramite l'uso di modelli mono/bidimensionali o quasi-bidimensionali), si è fatto ricorso ad una metodologia "completa" che valuta la



pericolosità incrociando le informazioni relative al tempo di ritorno con quelle relative alla distribuzione spaziale delle altezze idriche.

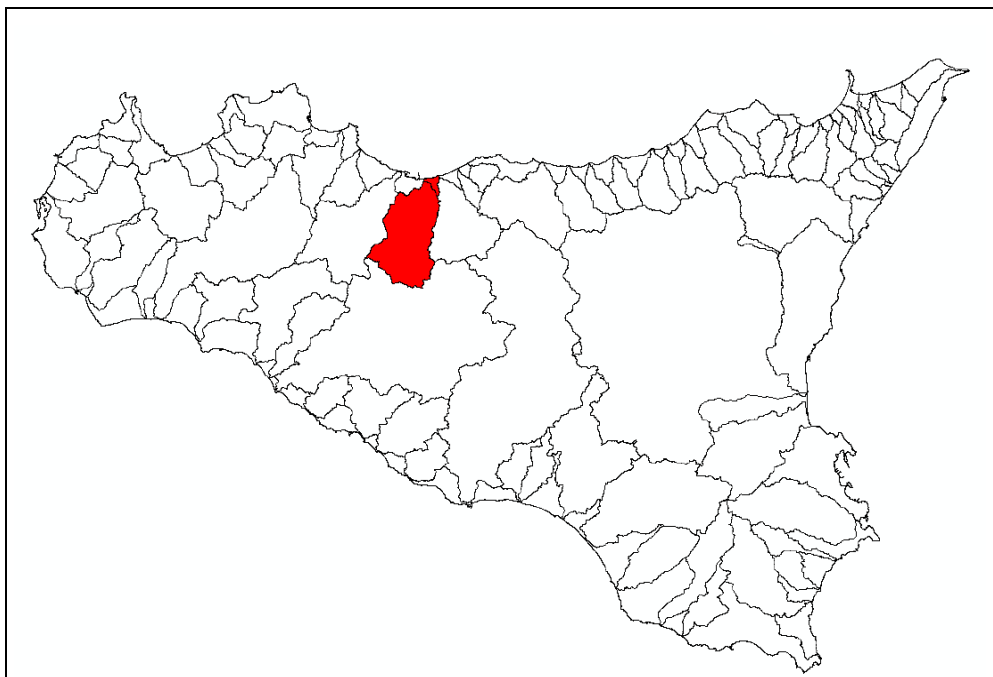
Battente Idraulico	Tempo di Ritorno		
	50	100	300
H<0.3 m	P1	P1	P1
0.3<H<1 m	P2	P2	P2
1<H<2 m	P4	P3	P2
H>2 m	P4	P4	P3

*Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia completa.*

Rischio	E1	E2	E3	E4
P1	R1	R1	R2	R2
P2	R1	R2	R3	R3
P3	R2	R2	R3	R4
P4	R2	R3	R4	R4

*Valutazione del rischio idraulico secondo la metodologia completa.*

I piani di riferimento per il tracciato in progetto sono relativi al Bacino Idrografico del Fiume Torto (080) – Giugno 2004.



*P.A.I. Sicilia – bacini idrografici di interesse per l'infrastruttura in progetto*

Dall'analisi degli elaborati cartografici relativi alla definizione delle aree di Pericolosità e Rischio Idraulico (Bacino idrografico del Fiume Torto (031) - Area Territoriale tra il bacino del Fiume Torto ed il Bacino del Fiume Imera Settentrionale (031 A) Area Territoriale tra il bacino del Fiume S Leonardo e il bacino del Fiume Torto (032) risulta che l'infrastruttura in progetto non interessa alcuna delle due aree specifiche.

## 4. ANALISI PLUVIOMETRICA

### 4.1 Generalità

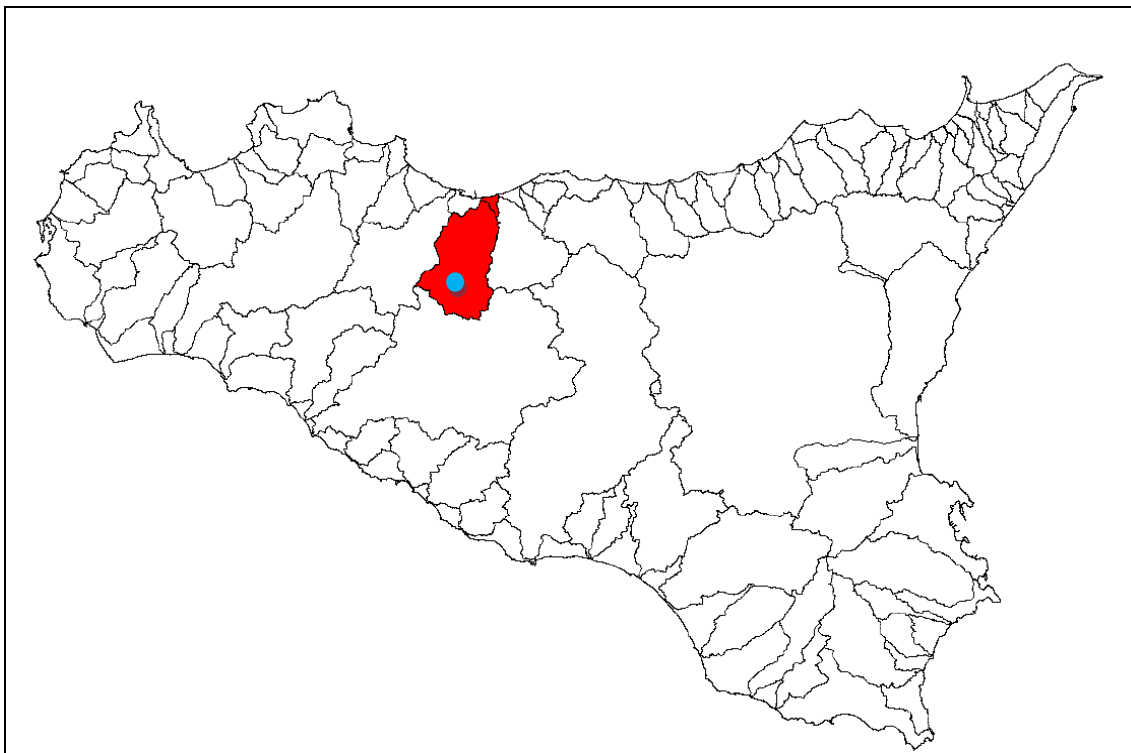
Lo studio delle piogge avviene utilizzando metodologie statistiche, basate su misure delle altezze di precipitazione realmente osservate.

La rappresentazione di un evento pluviometrico di una certa durata  $\tau$ , viene effettuata mediante una curva, detta curva segnalatrice di possibilità pluviometrica o climatica, caratterizzata generalmente dalla seguente espressione:

$$h = at^n \quad \text{Eq. 4.1}$$

nella quale  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione caduta nell'intervallo di tempo  $t$ ;  $a$  ed  $n$  sono dei coefficienti determinati statisticamente.

L'area di progetto ricade all'interno del bacino idrografico del Fiume Torto di seguito individuati rispettivamente in blu e in rosso, con riferimento all'isola della Sicilia.



*Ubicazione del tracciato di progetto*

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) associate ai diversi tempi di ritorno  $T_r$ , nella presente applicazione si analizzano e si confrontano i risultati di tre diversi studi.

1. Progetto VAPI Sicilia, riportati nella pubblicazione: *“La valutazione delle piene in Sicilia”*
2. Analisi statistica tramite il modello probabilistico di Gumbel dei dati osservati ai pluviografi dagli Annali Idrologici forniti dall’Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia la cui area di influenza interessa il tracciato di progetto
3. Curve di possibilità pluviometrica presenti nel documento *“Parametri  $a$  ed  $n$  delle curve di possibilità pluviometrica del territorio regionale”* del Servizio Rischi Idrogeologici ed ambientali della Protezione Civile Siciliana.

## 4.2 Progetto VAPI

Il progetto VAPI esegue l’analisi delle serie storiche delle piogge registrate in tutte le stazioni di misura della regione Sicilia, basandosi sul modello probabilistico TCEV descritto al paragrafo seguente, e fornisce delle mappe che permettono di determinare agevolmente i parametri delle elaborazioni statistiche.

### 4.2.1 Modello probabilistico TCEV

La funzione di probabilità per la variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell’altezza di pioggia di durata oraria proposta dal metodo TCEV ha la seguente forma:

$$F(h_t) = e^{-\Lambda_1 \varepsilon^{-\frac{h_t}{\Theta_1}} - \Lambda_2 \varepsilon^{-\frac{h_t}{\Theta_2}}} \quad \text{Eq. 4.2}$$

e dipende dunque da quattro parametri che sono rispettivamente:  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$ ,  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$ .

Tuttavia ponendo  $\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1}$   $\Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$  essa diviene

$$F(h_t) = e^{-\Lambda_1 \varepsilon^{-\frac{h_t}{\Theta_1}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} \varepsilon^{-\frac{h_t}{\Theta_* \cdot \Theta_1}}} \quad \text{Eq. 4.3}$$

ed i parametri da stimare sono  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

Si osserva che la media della distribuzione può essere così calcolata:

$$\mu_{h_t} = \left[ \ln \Lambda_1 + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_1^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta_*}\right) \right] \Theta_1 = \eta \cdot \Theta_1 \quad \text{Eq. 4.4}$$

dove  $\Theta_1$  dipende dai primi tre parametri.

Se si indica con  $k$  il rapporto adimensionale tra la variabile aleatoria  $h_t$  e la sua media ( $k = \frac{h_t}{\mu_{h_t}}$ ) allora

l'espressione della funzione di probabilità diviene:

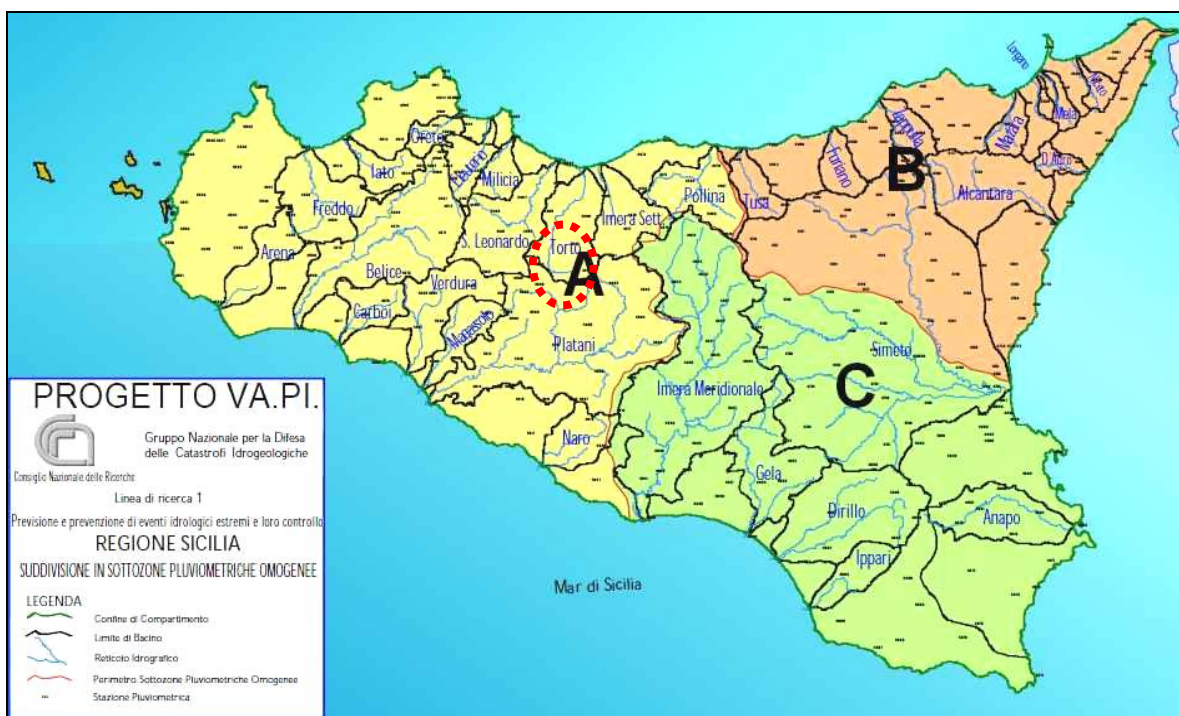
$$F(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta k - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\frac{\eta k}{\Theta_*}}} \quad \text{Eq. 4.5}$$

ed i parametri da determinare sono  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\mu_{h_t}$ .

La funzione si presta ad essere specificata nei suoi parametri a diversi livelli di omogeneità regionale utilizzando contemporaneamente più serie storiche.

Il VAPI ha analizzato i dati della rete pluviografica siciliana gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Palermo. Essa, al 1981, risultava composta da 172 stazioni di misura con almeno 10 anni di osservazione, con una densità media di una stazione per 150 km<sup>2</sup>.

Ciò ha permesso di stimare i parametri secondo vari livelli di regionalizzazione. I parametri  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , da cui dipende il coefficiente di simmetria della curva possono essere ritenuti costanti su tutta la Sicilia (regione omogenea), mentre il parametro  $\Lambda_1$  è stato stimato costante entro tre zone omogenee (A, B, C – Figura seguente) che corrispondono sommariamente ai tre “corni” della Sicilia.



Regione Sicilia: mappa della suddivisione sottozone pluviometriche omogenee, con indicata l'area di studio.

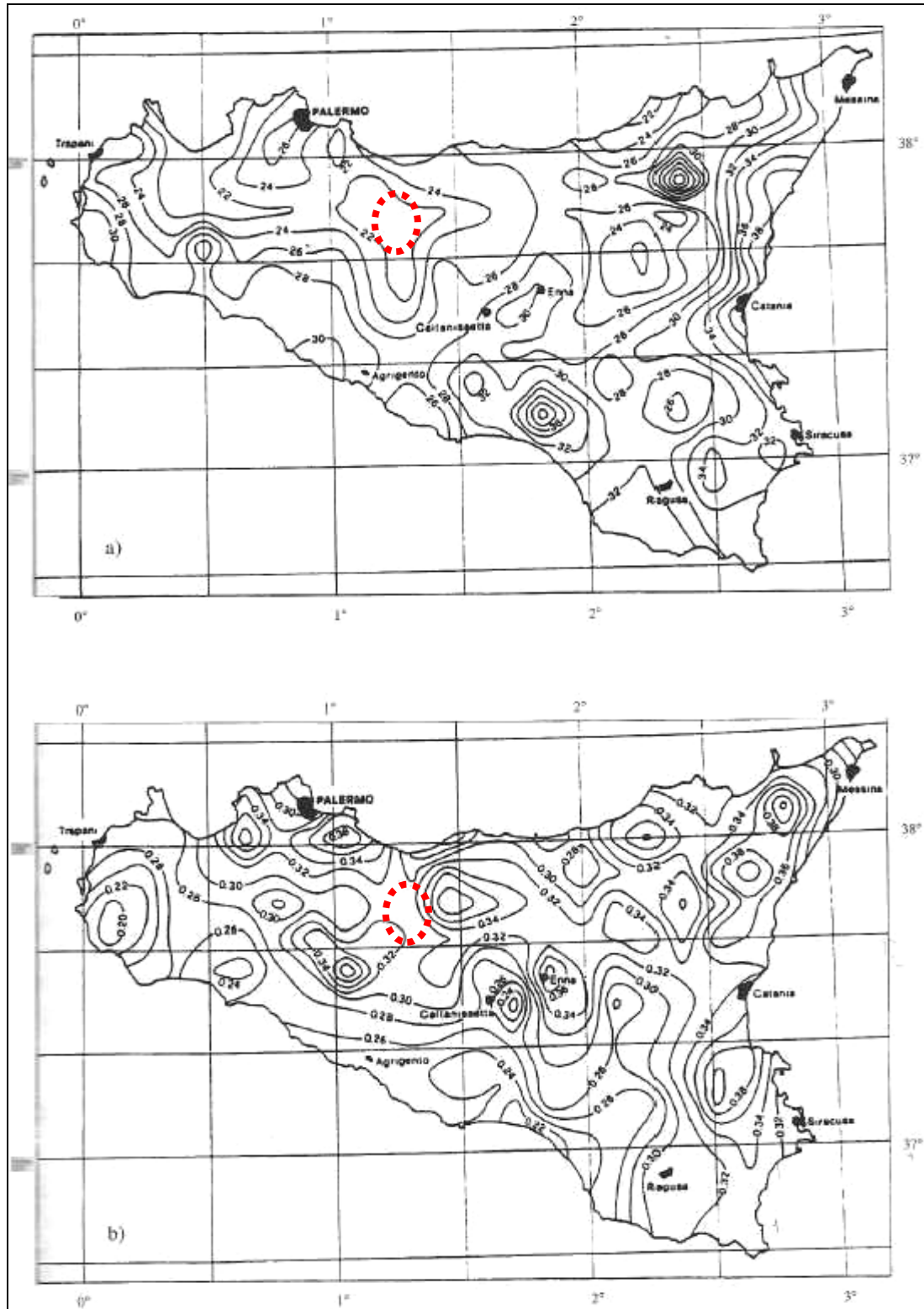
Per piogge di durata giornaliera i valori calcolati dal VAPI sono:

Sottozona	$\Lambda_*$	$\Theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta(\Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_1)$
A			12	4.001
B	0.455	2.632	16	4.288
C			23	4.651

Per piogge di durata oraria, invece, si osserva che i parametri hanno una certa dipendenza dalla durata,  $t$ , secondo le seguenti leggi:

Sottozona	$\Lambda_*$	$\Theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta(\Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_1)$
A			$14.55 t^{0.2419}$	Da calcolare per ogni caso.
B	$0.175 t^{0.301}$	$1.95+0.0284 t$	$12.40 t^{0.1802}$	
C			$11.96 t^{0.0960}$	

L'ultimo parametro che definisce compiutamente la funzione di probabilità TCEV è  $\mu_{ht}$ . Esso può essere stimato come media aritmetica della serie storica di pari durata  $t$  della stazione di misura più vicina. Tuttavia il VAPI fornisce una tavola della Sicilia con le linee di iso- $a$  ossia dei valori medi per piogge della durata  $t=1$  ora (vedi figura seguente).



*Carta delle iso-a (sopra) e delle iso-n (sotto) per il territorio siciliano.*

Per le altre durate il valore medio è direttamente calcolato tramite la relazione:

$$\mu_{h_t} = at^n \quad \text{Eq. 4.6}$$

che segue dall'aver applicato l'operatore di media alla formula dell'equazione di possibilità pluviometrica.

Anche i valori di  $n$  sono forniti dal VAPI per tutto il territorio siciliano (figura precedente).

Una volta nota la distribuzione di probabilità della variabile aleatoria  $h_t$  (ovvero  $k$ ) il problema tipico è quello di conoscere il valore della variabile, assegnato il tempo di ritorno ( $Tr$ ) dell'evento.

Il tempo di ritorno  $Tr$  è legato alla probabilità cumulata di non superamento secondo la relazione:

$$T_r = \frac{1}{1-F(k)} \quad \text{Eq. 4.7}$$

tuttavia non è possibile esplicitare analiticamente  $k$ , se non in forma approssimata.

Il VAPI, tenuto conto della dipendenza dei parametri da  $t$ , suggerisce le seguenti approssimazioni per  $k(Tr)$ :

Zona	$K_T(t, Tr)$ per piogge orarie
A	$0.5391 - 0.001635 \cdot t + (0.0002212 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966) \cdot \log(Tr)$
B	$0.5135 - 0.002264 \cdot t + (0.0000198 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508) \cdot \log(Tr)$
C	$0.5015 - 0.003516 \cdot t + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(Tr)$

*Espressioni per il calcolo di  $K_t$  per le sottozone pluviometriche omogenee in cui è divisa la Sicilia.*

$k(Tr)$  è spesso indicato come  $K_T$  e viene chiamato fattore di crescita, perché esprime il rapporto tra un valore indice della variabile precipitazione, in questo caso la media, ed il valore effettivo crescente con il tempo di ritorno.

Le espressioni indicate in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per  $K_T(t, Tr)$  valgono solo per  $t > 1$  ora.

Osservando che i bacini interessati dal progetto appartengono tutti alla sottozona omogenea A, si possono definire le curve di possibilità pluviometrica secondo le seguenti leggi.

Per  $t \geq 1$  ora:

$$h_t = K_T \cdot \mu_{h_t} = (0.5391 - 0.001635 \cdot t + (0.0002212 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966) \cdot \log(Tr)) \cdot a \cdot t^n \quad \text{Eq. 4.8}$$



dove  $n$  e  $a$  sono ricavabili per ogni bacino tramite le tavole fornite dal VAPI e riportate nelle figure precedenti.

Per  $t < 1$  ora:

$$h_t = 0.208 \cdot h_{60,Tr} \cdot t^{0.386} \quad \text{Eq. 4.9}$$

in cui le durate sono espresse in minuti. Anche questa relazione è suggerita dal VAPI.

L'area interessata dal presente studio ricade in una zona entro cui i valori di  $a$  e  $n$  possono essere considerati costanti. I valori assunti sono riportati di seguito.

<b>a</b> [mm/ore <sup>n</sup> ]	<b>n</b>
22.0	0.32

*Valori di  $a$  e  $n$  per la zone di studio*

#### **4.2.1 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica metodo VAPI**

Fissato il tempo di ritorno,  $Tr$ , tramite l'equazione 2.8 sono state determinate le altezze di pioggia di diversa durata, variabile da 1 a 24 ore. Per interpolazione esponenziale dei valori così ottenuti, sono stati determinati i valori dei parametri della curva di possibilità pluviometrica per le piogge orarie nella forma di eq. 4.1 per diversi tempi di ritorno (30, 100, 200 e 300 anni).

Per distinguerli dai parametri utilizzati nell'eq. 4.6, tali parametri sono stati indicati come  $a'$  ed  $n'$ .

I risultati ottenuti sono riportati nel quadro seguente:

<b>Tr</b> [anni]	<b>Kt</b>	<b>a'</b> [mm/ore <sup>n'</sup> ]	<b>n'</b>
25	1.93	42.50	0.32
50	2.23	49.10	0.32
100	2.53	55.71	0.32
200	2.83	62.31	0.32
300	3.01	66.18	0.32

*Valori dei parametri della CPP per le zone di intervento  $t \geq 1$  ora.*

Per durate  $t < 1$  ora, si può utilizzare l'equazione 4.8. Nella presente applicazione si sono, tuttavia, utilizzati, a favore di sicurezza (altezze di precipitazione maggiori), i parametri delle piogge orarie anche per i sottobacini che presentano tempi critici inferiori all'ora.

### 4.3 Analisi statistica dei dati pluviometrici

Le curve di caso critico, pur fornendo alcune informazioni sul carattere degli eventi pluviometrici, non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento registrato con il valore della sua frequenza probabile: cioè non consentono di valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi. L'analisi statistica degli eventi osservati consente invece di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno  $T_r$ , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato. Il metodo utilizzato per l'analisi statistica dei dati di pluviometrici è il cosiddetto metodo 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:

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

Introducendo la variabile ridotta

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

Si ha la forma canonica

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

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

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

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 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:

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

e

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

$$y_i = - \ln [-\ln(1/N+1)]$$

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

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

La stima dei parametri  $\alpha$  e  $u$  si ottiene applicando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria della distribuzione della popolazione.

Si ottengono quindi per  $\alpha$  e  $u$  le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_u}$$

$$u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Introducendo il concetto di Tempo di Ritorno  $T_r$  cioè il tempo che mediamente trascorre tra l'accadimento 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:

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

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

Grazie all'espressione del metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione che fornisce il valore di h in funzione di Tr per un prefissata precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che per un dato tempo di ritorno fornisca l'altezza di precipitazione i funzione della durata.

A questo scopo si assegna alla funzione h (Tr,τ) la seguente forma:

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

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

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

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

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 maggiori di incertezze rispetto a quella del tempo di pioggia:

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

#### 4.3.1 Analisi delle precipitazioni

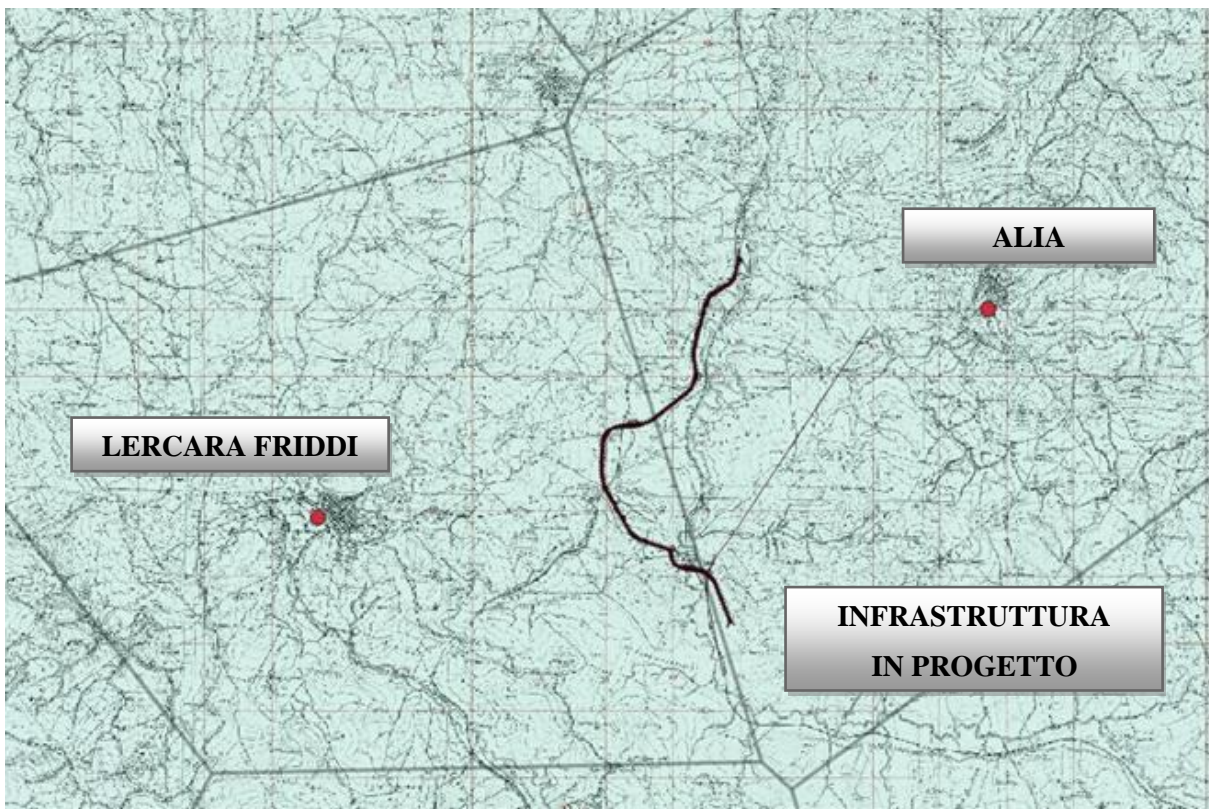
Per sviluppare l'analisi statistica sopra descritta sono stati considerati i dati di pioggia registrati nelle stazioni pluviometriche più vicine al tratto stradale di progetto. Le stazioni più vicine all'area di interesse sono quelle di Alia e di Lercara Friddi di cui si riportano di seguito, in forma tabellare le caratteristiche,

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)	Latitudine Gauss Boaga	Longitudine Gauss Boaga
ALIA	37	1972-2017	658	37°46'33" N	13°42'49" E
LERCARA FRIDDI	45	1958-2009	693	37°44'48" N	13°36'00" E

Si è quindi, 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 sono state assegnate una o più stazioni pluviometriche di riferimento secondo la metodologia sopra descritta, esemplificata in figura seguente.



*Reticolo di Thiessen per le stazioni pluviometriche della zona di studio.*

Nel caso di bacini con più stazioni pluviometriche ricadenti al proprio interno l'altezza di pioggia complessiva è stata calcolata come media pesata delle altezze di pioggia delle singole stazioni.

I dati idrologici disponibili per l'analisi pluviometrica sono quelli degli Annali Idrologici forniti dall'Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia.

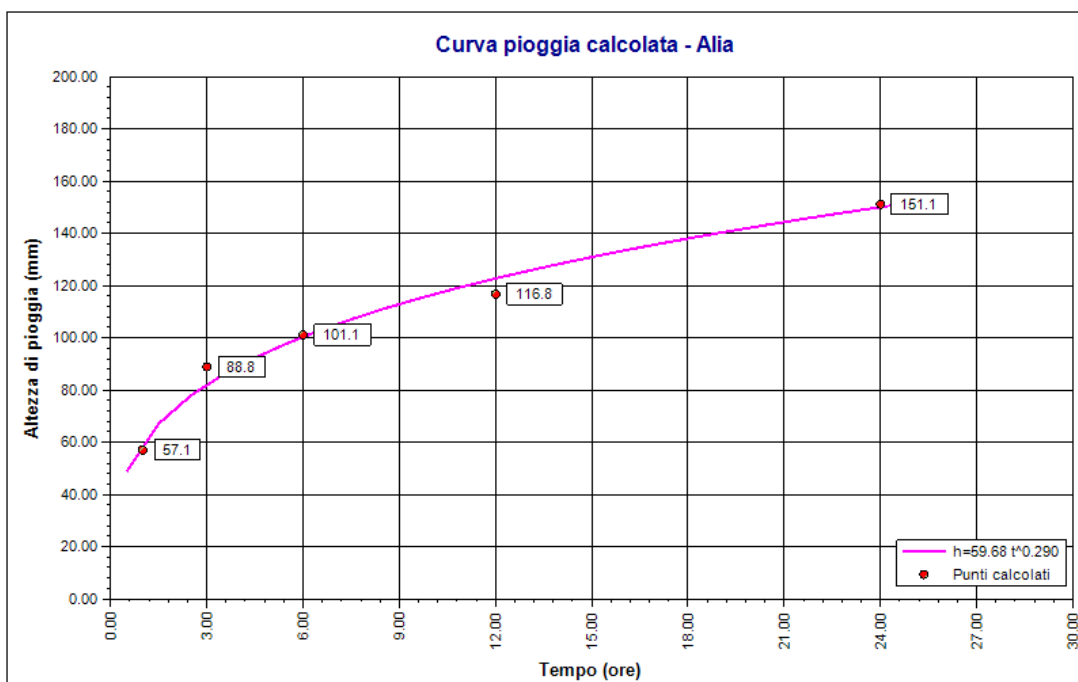
I dati di interesse sono i valori storici del massimo annuo giornaliero della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Tutti i sottobacini estratti cadono nel poligono di Thiessen che si riferisce alla stazione di Alia a parte i sottobacini 12 e 13, per i quali si deve fare riferimento alla stazione di Lercara Friddi.

Si riportano di seguito sotto forma tabellare i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di riferimento Alia e Lercara Friddi per diversi tempi di ritorno. In particolare si riporta la rappresentazione grafica delle curve di possibilità pluviometrica delle due stazioni per un tempo di ritorno duecentennale.

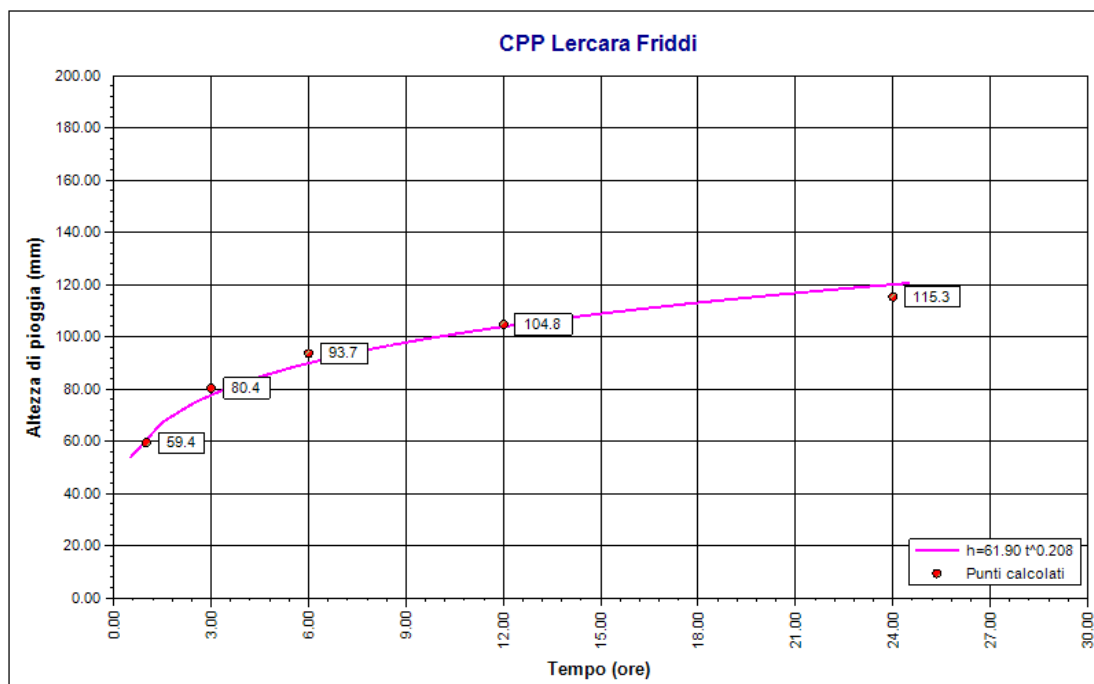
**ALIA**

Tr (anni)	25	50	100	200
<b>a</b>	43.27	48.78	54.24	<b>59.70</b>
<b>n</b>	0.291	0.290	0.290	<b>0.290</b>



**LERCARA FRIDDI**

Tr (anni)	25	50	100	200
<b>a</b>	44.18	50.12	56.02	<b>61.9</b>
<b>n</b>	0.228	0.220	0.214	<b>0.208</b>



**4.4 Curve di possibilità pluviometrica \_Elaborazioni DRPC**

Il Dipartimento Regionale della Protezione Civile- DRPC ha stimato, utilizzando l'informazione appresentata dagli annali idrologici della regione Sicilia sezione B Pluviometria dal 1924 al 2002, i parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni pluviometriche territorio regionale.

Si riportano di seguito in forma tabellare per il caso di studio i valori di a e n ottenuti per le stazioni pluviometriche di Alia e Lercara Friddi:

**ALIA**

Tr (anni)	50	100	200
a	38.7	42.4	<b>46</b>
n	0.32	0.32	<b>0.32</b>

**LERCARA FRIDDI**

Tr (anni)	50	100	200
a	47.2	52.8	<b>58.4</b>
n	0.22	0.22	<b>0.21</b>

#### **4.5 Scelta delle curve di possibilità pluviometrica**

A conclusione delle analisi precedentemente descritte, sono stati messi a confronto i risultati delle elaborazioni delle diverse metodologie di calcolo, quindi sono stati considerati quelli ottenuti dalle seguenti fonti:

1. Metodo VAPI
2. Applicazione del metodo di Gumbel ai dati ricavati dagli Annali Idrologici della Regione Sicilia;
3. Dipartimento Regionale della Protezione Civile

A favore di sicurezza vengono adottate nel prosieguo del presente studio i valori delle CPP ricavati attraverso l'applicazione del metodo di Gumbel.

La scelta è dipesa dal fatto che utilizzano le altre metodologie si basano su campioni di dati registrati sino al 1981 per il metodo VAPI e fino al 2002 per il DPRG. Gli annali idrologici a disposizione arrivano a dati misurati nel 2019 per cui data la maggior qualità e numerosità delle misurazioni si è optato per l'utilizzo delle CPP ricavate tramite la regolarizzazione statistica degli eventi tramite Gumbel.

#### **4.6 Definizione delle altezze di pioggia per eventi di 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. 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:

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

Avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale può essere espresso nella semplice forma:

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

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:

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

## 5. STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

### 5.1 Premessa

Scopo del presente capitolo è la definizione, per ciascun corpo idrico interferito, delle portate di piena corrispondenti a tempo di ritorno pari a TR 200 anni, ad eccezione del Fiume Torto per la cui valutazione si rimanda all'elaborato Relazione Idrologica - Studio Bidimensionale Fiume Torto (RS3Z00D26RINV0000002A). Tale operazione sarà condotta grazie all'utilizzo del metodo razionale.

### 5.2 Metodo razionale

Alla base della procedura vi sono le seguenti assunzioni:

- la massima piena avviene per precipitazioni meteoriche con durata pari al tempo di corrivazione del bacino;
- il picco di piena ha il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione delle piene ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avviene senza la formazione di invasi significativi; nel caso si formino invasi significativi il colmo di piena calcolato con questa metodologia sarà sovrastimato.

La portata al colmo di piena è espressa dalla formula:

$$Q = \frac{chS}{3,6t_c} (m^3 / s)$$

dove:

- c = coefficiente di deflusso del bacino;
- h = altezza massima di pioggia per una durata pari al tempo di corrivazione (mm);
- S = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- tc = tempo di corrivazione del bacino (ore).

La procedura si articola nei seguenti passi:

- delimitazione del bacino idrografico di interesse su una base cartografica in opportuna scala;

- definizione dei parametri morfologici e fisiografici (superficie del bacino sotteso, lunghezza e pendenza dell'asta principale, quota massima (Hmax) minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino, copertura vegetale, uso del suolo;
- definizione dei tempi di corrivazione in base a diverse formule teorico-sperimentali e attribuzione dei valori di riferimento;
- definizione della curva segnalatrice di probabilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno (vedi cap. 4);
- analisi dei dati di copertura e vegetazione per la valutazione del coefficiente di deflusso;
- calcolo della portata di massima piena per un tempo di ritorno duecentennale.

### **5.3 Individuazione e caratterizzazione dei bacini idrografici**

Per la determinazione delle portate di progetto sono stati inizialmente individuati i bacini afferenti alla nuova infrastruttura di progetto in corrispondenza dei punti di intersezione tra quest'ultima ed i corsi d'acqua ad essa interferenti. Si veda elaborato *RS3Z00D26C5NV003001A "Corografia dei bacini idrografici"* per i bacini interferenti la viabilità NV20 e NV21 ed elaborato *RS3Z00D26C5CS0000002A "Corografia dei bacini idrografici"* per i bacini interferenti le viabilità NV23 e NV24 (sono i bacini interferenti la linea ferroviaria).

I dati utilizzati per la definizione dei sottobacini e delle loro caratteristiche vengono di seguito elencati:

- modello digitale del terreno con risoluzione 2.00m x 2.00m disponibile nel SITR Sistema Informativo territoriale Regionale della Regione Sicilia;
- carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- carta dell'uso del Suolo (Corinne Land Cover) in formato vettoriale (shapefile).

Per tutti i bacini oggetto del presente studio sono state determinate, attraverso l'uso di un software Gis Open Source (QGIS), in grado di processare dati territoriali ed eseguirne analisi di tipo spaziale, le distribuzioni rispetto alle superfici dei bacini stessi delle principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche utili o necessarie allo studio idrologico oggetto del presente elaborato.

In particolare sono state determinate e riportate in forma tabellare:

- area del bacino idrografico;
- lunghezza dell'asta idrografica principale;
- quota della sezione di chiusura e la quota massima del bacino;
- pendenza dell'asta idrografica principale;
- pendenza media del bacino idrografico

**Intervento NV20**

Bacino	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>med</sub> (m)	p%
NV20-1	0+045	0.044	255	450.8	359.3	396.2	36%
NV20-2	0+153	0.020	200	420.0	362.0	391.0	29%
NV20-3	0+292	0.076	280	450.9	362.5	398.9	32%
NV20-4	0+584	0.010	92	386.2	368.9	379.2	19%
NV20-4a	0+672	0.011	120	411.0	370.0	390.0	34%
NV20-5	0+703	1.082	1890	629.9	368.4	478.7	14%
NV20-6	0+881	0.145	589	570.7	366.9	451.5	35%
NV20-7	1+054	0.173	606	576.6	370.2	459.1	34%
NV20-8	1+185	0.018	100	405.0	379.0	393.0	26%
NV20-9	1+535	0.454	1063	576.7	371.2	457.9	19%
NV20-10	1+721	0.031	205	435.0	375.0	417.6	29%
NV20-11	1+831	0.052	344	454.5	377.0	417.6	23%
NV20-12	2+020	2.854	3335	744.5	374.1	505.2	11%
NV20-13	2+738	0.217	838	557.0	405.6	442.0	18%
NV20-14	3+250	0.466	1265	677.3	430.9	537.8	19%
NV20-15	3+865	0.478	1372	746.8	488.7	586.8	19%
NV20-16	4+119	0.066	205	580.6	495.4	525.2	42%
NV20-17	4+302	0.021	155	540.0	494.0	525.2	30%
NV20-18	4+404	0.058	185	580.6	494.0	525.2	47%
NV20-19	4+729	0.032	150	525.7	477.0	497.7	32%
NV20-20	4+918	0.031	245	525.8	458.0	492.7	28%
NV20-21	5+030	0.030	250	525.8	458.0	492.7	27%
NV20-22	5+298	0.105	287	517.9	439.7	478.0	27%
NV20-23	5+495	0.061	268	514.0	426.4	464.4	33%
NV20-24	5+774	0.130	475	516.3	416.0	463.7	21%
NV20-25	5+898	0.035	100	473.5	414.3	436.0	59%

**RELAZIONE IDROLOGICA**

COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO RINV0000001	REV. A	FOGLIO 29 di 39
------------------	-------------	-------------------	--------------------------	-----------	--------------------

**Intervento NV21**

Bacino	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>med</sub> (m)	p%
NV21-1	0+820	0.016	100	460.0	419.0	436.0	41%
NV21-2	1+035	0.065	100	480.0	424.0	436.0	56%

**Intervento NV22**

Bacino	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>med</sub> (m)	p%
NV22-1+2	0+360	0.250	506	490	414	452.0	15%

**Intervento NV23**

Bacino	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>med</sub> (m)	p%
NV23A-3	0+817	0.025	120	431.0	410.0	420.5	18%
NV23A-2	0+610	0.131	420	480.0	403.0	441.5	18%
NV23A-1	0+269	0.059	250	460.0	401.0	436.0	24%

**Intervento NV23C**

Bacino	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>med</sub> (m)	p%
NV23C-1	0+008	0.005	100	424.0	407.0	436.0	17%

**Intervento NV24**

Bacino	Pk (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>med</sub> (m)	p%
NV24-1	0+091	0.205	580	551.2	411.0	481.1	24%

#### 5.4 Tempo di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione, in funzione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini, è eseguita:

- per bacini con estensione areale superiore ai 75 km<sup>2</sup> – ricorrendo all'uso della formula di Giandotti

$$t_{cG} = (4\sqrt{A} + 1,5L)/(0,8\sqrt{(\Delta H)})$$

dove:

$A$  = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [kmq];

$L$  = lunghezza dell'asta principale [km];

$\Delta H$  = dislivello medio del bacino imbrifero [m].

- per bacini con estensione areale  $A$  tra  $1 < A < 75$  km<sup>2</sup> – calcolo dei tempi di corrivazione mediante la seguente formula

$$t_c = t_{cG} \frac{(A - 1)}{74} + t_{cK} \frac{(75 - A)}{74}$$

dove:

$A$  = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km<sup>2</sup>];

$t_{cG}$  = tempo di corrivazione stimato con la formula di Giandotti [ore];

$t_{cK}$  = tempo di corrivazione stimato con la formula di Kirpich [ore].

- per bacini con estensione areale  $A$  minore ad 1 km<sup>2</sup> – calcolo dei tempi di corrivazione mediante la formule di Kirpich

$$t_{cK} = 0,95 \cdot (L)^{1,155} \cdot S^{-0,385}$$

dove:

$L$  = lunghezza dell'asta principale [m];

$S$  = pendenza media del bacino .

Nel caso particolare in cui il tempo di corrivazione del bacino idrografico in studio risulti inferiore ai 15 minuti si è assunto un  $T_c$  di progetto pari a 15 min ovvero 0.25 ore.

**Intervento NV20**

<b>Bacino</b>	<b>Pk (Km)</b>	<b>T<sub>c</sub> (ore)</b>	<b>T<sub>c</sub> progetto (ore)</b>
NV20-1	0+045	0.034	0.250
NV20-2	0+153	0.031	0.250
NV20-3	0+292	0.039	0.250
NV20-4	0+584	0.020	0.250
NV20-4a	0+672	0.020	0.250
NV20-5	0+703	0.233	0.250
NV20-6	0+881	0.067	0.250
NV20-7	1+054	0.068	0.250
NV20-8	1+185	0.019	0.250
NV20-9	1+535	0.131	0.250
NV20-10	1+721	0.031	0.250
NV20-11	1+831	0.052	0.250
NV20-12	2+020	0.414	0.414
NV20-13	2+738	0.112	0.250
NV20-14	3+250	0.150	0.250
NV20-15	3+865	0.161	0.250
NV20-16	4+119	0.028	0.250
NV20-17	4+302	0.025	0.250
NV20-18	4+404	0.024	0.250
NV20-19	4+729	0.024	0.250
NV20-20	4+918	0.037	0.250
NV20-21	5+030	0.038	0.250
NV20-22	5+298	0.042	0.250
NV20-23	5+495	0.037	0.250
NV20-24	5+774	0.068	0.250
NV20-25	5+898	0.014	0.250

**Intervento NV 21**

<b>Bacino</b>	<b>Pk (Km)</b>	<b>T<sub>c</sub> (ore)</b>	<b>T<sub>c</sub> progetto (ore)</b>
NV21-1	0+820	0.016	0.250
NV21-2	1+035	0.014	0.250

**Intervento NV 22**

<b>Bacino</b>	<b>Pk (Km)</b>	<b>T<sub>c</sub> (ore)</b>	<b>T<sub>c</sub> progetto (ore)</b>
NV22-1+2	0+360	0.082	0.250

**Intervento NV 23A**

<b>Bacino</b>	<b>Pk (Km)</b>	<b>T<sub>c</sub> (ore)</b>	<b>T<sub>c</sub> progetto (ore)</b>
NV23A-3	0+817	0.025	0.250
NV23A-2	0+610	0.066	0.250
NV23A-1	0+269	0.040	0.250

**Intervento NV 23C**

<b>Bacino</b>	<b>Pk (Km)</b>	<b>T<sub>c</sub> (ore)</b>	<b>T<sub>c</sub> progetto (ore)</b>
NV23C-1	0+008	0.022	0.250

**Intervento NV 24**

<b>Bacino</b>	<b>Pk (Km)</b>	<b>T<sub>c</sub> (ore)</b>	<b>T<sub>c</sub> progetto (ore)</b>
NV24-1	0+091	0.076	0.250



## 5.5 Coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso relativo a ciascun bacino idrografico di interesse è stimato mediante il metodo del Curve Number, proposto dal Soil Conservation Service (1972), il quale si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

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

nella quale  $S$  è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed  $I_a$  è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro  $S$  corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha  $P > I_a$ ; fino all'istante in cui non si ha  $P < I_a$  il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale  $I_a$  si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di  $I_a$  si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S \text{ [mm]}$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di  $S$  può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

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

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico. Il Soil Conservation Service (SCS) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- Gruppo A – Scarsa potenzialità di deflusso: comprende forti spessori di sabbia con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili.

- Gruppo B – Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Gruppo C – Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Gruppo D – Potenzialità di deflusso molto elevata: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<b>Terreno coltivato</b>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<b>Terreno a pascolo</b>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<b>Terreni boscosi o forestati</b>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<b>Spazi aperti, prati rasati, parchi</b>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<b>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</b>	89	92	94	95
<b>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</b>	81	88	91	93
<b>Aree residenziali</b>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<b>Parcheggi, tetti, autostrade</b>	98	98	98	98
<b>Strade</b>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

Valori del "Curve Number" CN per i diversi tipi di suolo in funzione dell'uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II)

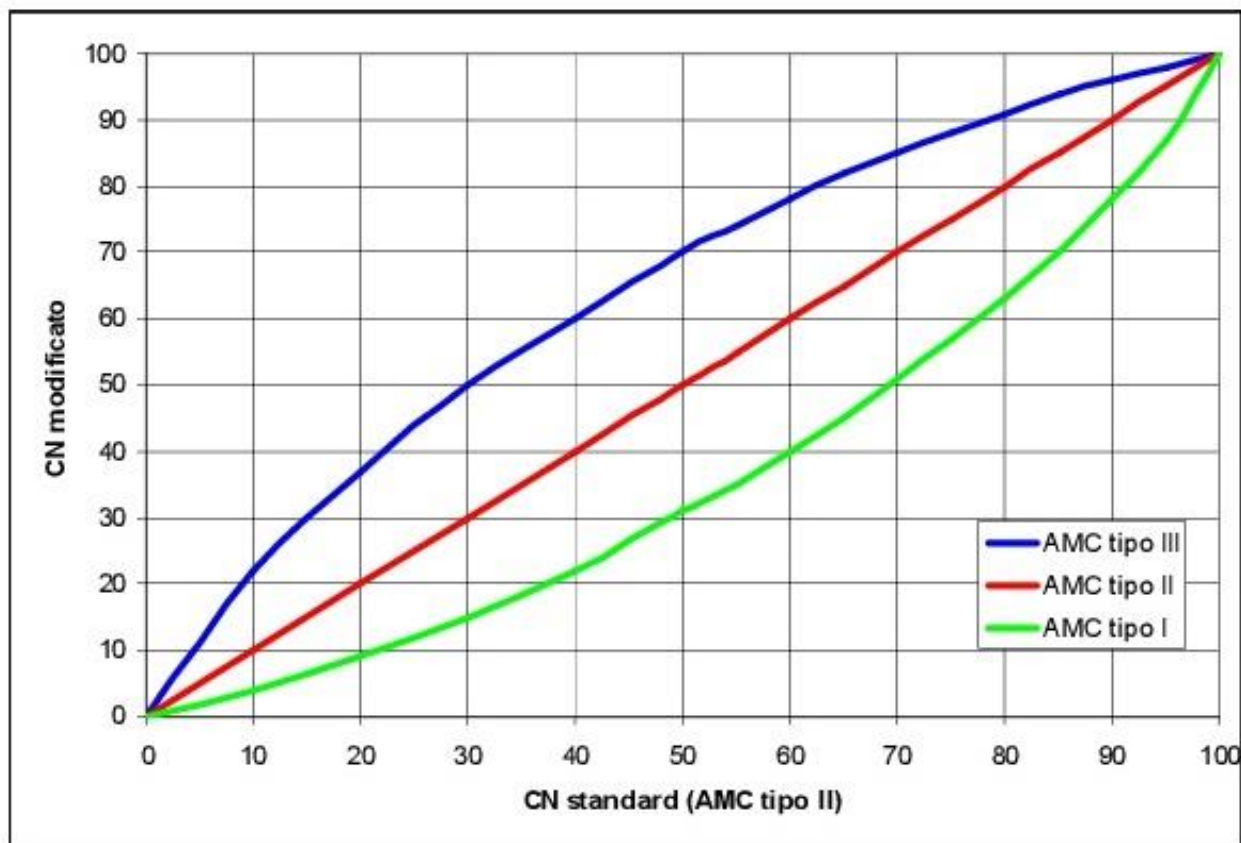
I valori del CN riportati nella tabella precedente si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema, ovvero dallo stato di imbibimento del bacino, si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, dato dall'altezza totale di pioggia caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena,  $API_5$ . A seconda del valore di  $API_5$ , vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

*Definizione della classe di umidità in base al parametro  $API_5$*

Noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, per passare a condizioni di umidità iniziale asciutte (classe AMC I) o umide (classe AMC III), si utilizzano le curve riportate di seguito.



*Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento*

Tali curve possono essere interpolate mediante le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2 \, CN(II)}{10 - 0.058 \, CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \, CN(II)}{10 + 0.13 \, CN(II)}$$

Nel caso di terreni variegati possono essere identificate alcune categorie fondamentali per definire un valore globale del CN, pesato in ragione dell'estensione delle sottozone con le quali si è suddiviso il bacino.

Una volta calcolata la pioggia netta (efficace)  $P_{net}$ , il coefficiente di deflusso è pari a:

$$c = \frac{P_{net}}{P}$$

Nel caso in esame, al fine di definire il CN per le varie porzioni dei bacini in studio, sono stati analizzati i seguenti documenti:

- “Corinne Land Cover” anno 2008 Shapefile fornito dal S.I.T.R. della Regione Sicilia – Assessorato Territorio ed Ambiente;
- Foto satellitari, al fine di valutare eventuali variazioni significative rispetto a quanto riportato nelle suddette carte;
- Pubblicazione Scientifica : Runoff Curve Number method in Sicily: CN Determination and Analysis of the initial abstraction ratio-F.D’asaro-G. Grillone\_Università di Palermo 2010;
- Pubblicazione Scientifica : Curve Number: Empirical evaluation and Comparison with Curve Number Handbook Tables in Sicily -F.D’asaro-G. Grillone-R.H.Hawkins\_ASCE 2014.

Per tutti i bacini in studio si è supposta, in sicurezza, una condizione iniziale “media” corrispondente a valori di CN (II) e sulla base di quanto affermato dalla studio di D’Asaro-Grillone-Hawkins circa la determinazione e l’analisi delle perdite iniziali  $I_a$  nel territorio Siciliano, citato in precedenza, si è ritenuto opportuno assumere per  $I_a$  un valore pari a 0.05 S.

Si riportano nelle tabelle seguenti i risultati delle elaborazioni; nell’ultima colonna si indicano le portate ricavate per ogni attraversamento tramite la quale si dimensiona e verifica l’opera di progetto associata.

### Intervento NV20

Bacino	Pk (Km)	CN II	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\varphi$	$Q_{TR200}$ (m <sup>3</sup> /s)
NV20-1	0+045	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.67
NV20-2	0+153	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.30
NV20-3	0+292	80.62	45.66	61.06	3.05	17.51	0.38	1.14
NV20-4	0+584	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.15
NV20-4a	0.672	81.00	45.66	59.98	2.98	17.81	0.39	0.17
NV20-5	0+703	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	16.39
NV20-6	0+881	81.63	45.66	57.16	2.86	18.33	0.40	2.25
NV20-7	1+054	81.10	45.66	59.19	2.96	17.89	0.39	2.64
NV20-8	1+185	80.91	45.66	59.93	3.00	17.74	0.39	0.27

**RELAZIONE IDROLOGICA**

COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO RINV0000001	REV. A	FOGLIO 38 di 39
------------------	-------------	-------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Bacino	Pk (Km)	CN II	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\varphi$	Q <sub>TR200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
NV20-9	1+535	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	6.88
NV20-10	1+721	80.91	45.66	59.93	3.00	17.74	0.39	0.46
NV20-11	1+831	80.91	45.66	59.93	3.00	17.74	0.39	0.78
NV20-12	2+020	80.97	56.89	59.70	2.98	25.58	0.45	37.48
NV20-13	2+738	81.00	46.97	59.58	2.98	18.69	0.40	3.44
NV20-14	3+250	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	7.05
NV20-15	3+865	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	7.24
NV20-16	4+119	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.99
NV20-17	4+302	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.32
NV20-18	4+404	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.88
NV20-19	4+729	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.49
NV20-20	4+918	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.47
NV20-21	5+030	80.62	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.46
NV20-22	5+298	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	1.59
NV20-23	5+495	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.92
NV20-24	5+774	81.63	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	1.96
NV20-25	5+898	81.10	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.52

**Intervento NV21**

Bacino	Pk (Km)	CN II	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\varphi$	Q <sub>TR200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
NV21-1	0+820	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.24
NV21-2	1+035	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.98

**Intervento NV22**

Bacino	Pk (Km)	CN II	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\varphi$	Q <sub>TR200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
NV22-1+2	0+360	81.00	45.91	59.58	2.98	17.98	0.39	3.82

**RELAZIONE IDROLOGICA**

COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO RINV0000001	REV. A	FOGLIO 39 di 39
------------------	-------------	-------------------	--------------------------	-----------	--------------------

**Intervento NV23A**

Bacino	Pk (Km)	CN II	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\phi$	Q <sub>TR200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
NV23A-3	0+817	81.00	46.23	59.58	2.98	18.19	0.39	0.39
NV23A-2	0+610	81.00	45.82	59.58	2.98	17.92	0.39	1.99
NV23A-1	0+269	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.42

**Intervento NV23C**

Bacino	Pk (Km)	CN II	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\phi$	Q <sub>TR200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
NV23C-1	0+008	81.00	45.66	59.58	2.98	17.81	0.39	0.08

**Intervento NV24**

Bacino	Pk (Km)	CN II	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\phi$	Q <sub>TR200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
NV24-1	0+091	81.00	45.96	59.58	2.98	18.01	0.39	3.13