

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

METROFERROVIA DI RAGUSA.

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

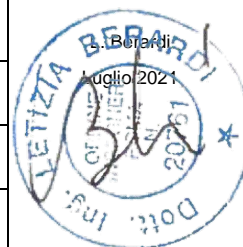
SCALA:

-

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

RS3Y 1B D 10 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Eusepi	Luglio 2021	I. Marchese	Luglio 2021	S. Vanfiori	Luglio 2021	Berardi Luglio 2021



File: RS3Y1BD10RIID0001001A.doc

n. Elab.:



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 10 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 2 di 23
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	-------------------

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	INTRODUZIONE.....	5
3.	IDROLOGIA	6
3.1.	MODELLI PROBABILISTICI PER LE ANALISI STATISTICHE.....	6
3.1.1.	IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV	6
3.1.2.	IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL	9
3.2.	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI.....	10
3.2.1.	METODO VAPI SICILIA	10
3.2.2.	STIMA DEI PARAMETRI IDROLOGICI.....	19
4.	SINTESI DEI RISULTATI.....	21
4.1.	ALTEZZE DI PIOGGIA PER DURATE INFERIORI ALL'ORA	23



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3Y 1B D 10 RI ID 00 01 001 A 3 di 23

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.....</i>	11
<i>Figura 2 - Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).</i>	12
<i>Figura 3 - Carte iso-a dell'Autorità di Bacino (2004).....</i>	17
<i>Figura 4 - Carte iso-n dell'Autorità di Bacino (2004).....</i>	17
<i>Figura 5 - Valori dei coefficienti a per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)</i>	18
<i>Figura 6 - Valori dei coefficienti n per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)</i>	18
<i>Figura 7 - Confronto curva di probabilità pluviometrica $\mu(t)$</i>	21
<i>Figura 8 - Confronto curva di probabilità pluviometrica T=25 anni.....</i>	22
<i>Figura 9 - Confronto curva di probabilità pluviometrica T=100 anni.....</i>	22

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1– Valore del parametro $\Lambda 1$ per ogni sottozona - regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).</i>	13
<i>Tabella 2– Valori, regione Sicilia, dei coeff. a e b per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).</i>	13
<i>Tabella 3– Valori dei parametri a ed n per le stazioni pluviografiche siciliane (Cannarozzo et ali, 1993).</i>	16
<i>Tabella 4– Valori a ed n (Cannarozzo et ali, 1993) per la stazione di Ragusa</i>	19
<i>Tabella 5– Valori a ed n (AdB 2004)</i>	19
<i>Tabella 6 - Valori a ed n (Lo Conti et al, 2007).....</i>	19
<i>Tabella 7 – Dati di pioggia disponibili per la stazione di Ragusa</i>	20
<i>Tabella 8 – Approccio di Gumbel – Risultati elaborazione.....</i>	20
<i>Tabella 9 – Coefficienti di crescita stimati - K_T</i>	21



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
RS3Y

LOTTO
1B

CODIFICA
D 10 RI

DOCUMENTO
ID 00 01 001

REV.
A

FOGLIO
4 di 23

1. PREMESSA

Il 23 Gennaio 2017 è stato siglato un Protocollo d'Intesa tra RFI, Regione Sicilia e Comune di Ragusa con il quale è stato istituito un gruppo di lavoro congiunto finalizzato alla realizzazione della "Metropolitana di superficie" nel territorio del comune di Ragusa, con la previsione della realizzazione di nuovi impianti per il servizio ferroviario passeggeri e l'adeguamento di impianti esistenti.

In data 15 Gennaio 2018 è stata sottoscritta la convenzione tra il Comune di Ragusa e la Presidenza del Consiglio dei Ministri per la realizzazione dell'intervento "Riqualificazione della periferia storica di Ragusa: ripristinare accessibilità e connessione con la città moderna attraverso la Ferrovia Urbana".

In particolare, la realizzazione degli interventi proposti è finalizzata al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Maggiore competitività del trasporto ferroviario rispetto al trasporto collettivo su gomma;
- Maggiore accessibilità al sistema ferroviario;
- Sviluppo del servizio metropolitano nella zona urbana di Ragusa.

Le fermate della nuova linea "Metroferrovia" sono state concepite come un sistema omogeneo che si sviluppa sul territorio comunale.

In tutti gli interventi di fermata lungo la linea si è previsto di far interagire l'infrastruttura ferroviaria con l'area urbana, su cui si attesta, per creare aree di interesse per la comunità, come piccole piazze.

In tale intervento, è prevista la realizzazione della nuova stazione Cisternazzi/Ospedale.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
RS3Y

LOTTO
1B

CODIFICA
D 10 RI

DOCUMENTO
ID 00 01 001

REV.
A

FOGLIO
5 di 23

2. INTRODUZIONE

La presente relazione riporta lo studio idrologico teso alla stima della curva di probabilità pluviometrica per il dimensionamento del sistema di drenaggio ferroviario per gli interventi previsti in progetto.

Lo studio idrologico è stato svolto con riferimento sia alla metodologia VAPI della Regione Sicilia, sia operando elaborazioni statistiche sulle piogge registrate dalla stazione di Ragusa fino all'anno 2012.

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA					
	P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA					
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI						
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 10 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 6 di 23

3. IDROLOGIA

Lo studio idrologico condotto per il presente progetto ha preso in considerazione:

- i risultati del Progetto VAPI Sicilia per la stima delle precipitazioni di assegnato tempo di ritorno per il territorio insulare contenuti nel Rapporto Regionale pubblicato *Valutazione delle Piene in Sicilia* [Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993], a cui si rimanda per i dettagli, e le risultanze introdotte da Lo Conti et al (2007);
- Elaborazione statistica dei dati di pioggia registrati dalla stazione di Ragusa per le durate 1,3,6,12 e 24 ore dal 1931 al 2012.

I parametri pluviometrici assunti a base del progetto della rete di drenaggio delle acque di piattaforma stradale e ferroviaria sono il risultato del confronto tra i metodi succitati, avendo avuto cura di selezionare i parametri più gravosi e quindi più cautelativi per il dimensionamento delle opere in progetto.

3.1. Modelli probabilistici per le analisi statistiche

Si riportano di seguito i richiami fondamentali teorici relativamente all'analisi probabilistica degli eventi estremi idrologici. Vengono descritte brevemente le due leggi teoriche utilizzate in questo studio (TCEV e Gumbel).

3.1.1. 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, Λ_1 , Θ_1 , Λ_2 e Θ_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 Λ_1 e Λ_2 esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri Θ_1 e Θ_2 esprimono invece la media di tali eventi.

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

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



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3Y 1B D 10 RI ID 00 01 001 A 7 di 23

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:

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

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$ dove con $\mu(X_t)$ è stato 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 Λ_* , Θ_* , Λ_1 e Θ_1 , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee e rappresenta uno strumento attraverso il quale, a partire da $K_{t,Tr}$, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ($\mu(X_t)$) per avere la distribuzione di probabilità finale.

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

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 Λ_* , Θ_* e Λ_1 ed è quindi indipendente da Θ_1 , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ_* e Θ_* ed è quindi indipendente da Λ_1 e Θ_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

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



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
RS3Y

LOTTO
1B

CODIFICA
D 10 RI

DOCUMENTO
ID 00 01 001

REV.
A

FOGLIO
8 di 23

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.

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 Λ^* e Θ^* del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a Λ e Θ , 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 Λ e Θ 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 Λ e Θ 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 Λ_1 , nella sottozona omogenea, oltre che di Λ e Θ . Il valore di Λ_1 relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a Λ_1 la variabile $K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t)$ risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

III° Livello di regionalizzazione

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

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

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



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
RS3Y

LOTTO
1B

CODIFICA
D 10 RI

DOCUMENTO
ID 00 01 001

REV.
A

FOGLIO
9 di 23

3.1.2. Il modello probabilistico di Gumbel

L'espressione della probabilità cumulata della legge di Gumbel è

$$F(x) = \exp(-\exp(\alpha(x-\varepsilon)))$$

con α ed ε parametri della distribuzione, che vengono, di norma, stimati attraverso il metodo dei momenti:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$\varepsilon = \mu - 0.450 \sigma$$

dove μ e σ sono rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dei dati.

Un diverso metodo di stima dei parametri è basato sulla massimizzazione della funzione di verosimiglianza della distribuzione (metodo della massima verosimiglianza). Le differenze tra i due metodi si apprezzano in particolare quando il grado d'adattamento della distribuzione ai dati è basso. Infatti, il metodo dei momenti tende a privilegiare i valori di entità più elevata, che hanno forte influenza in particolare sul momento del secondo ordine. Il metodo della massima verosimiglianza fornisce invece una curva che rispetta maggiormente i pesi rappresentati dalle frequenze cumulate, per cui non si lascia influenzare molto da singoli valori molto elevati.

Per riportare opportunamente i valori di x corrispondenti ad una fissata probabilità F (o periodo di ritorno T) si può invertire la legge $F(x)$ ottenendo

$$x_T = \varepsilon \left\{ 1 - (\alpha\varepsilon)^{-1} \ln \ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \right\}$$

in quanto vale $T=1/(1-F)$.

Stimando i parametri con il metodo dei momenti è possibile esprimere direttamente x_T in funzione di media e scarto, attraverso l'espressione:


$$x_T = \mu \left\{ 1 - C_{v_x} \left[0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

dove C_{v_x} rappresenta il coefficiente di variazione dei dati.

L'espressione della legge di Gumbel può essere quindi rappresentata attraverso il prodotto della media per una quantità che rappresenta la crescita della media stessa in funzione del periodo di ritorno, quantità che è chiamata fattore di crescita con il periodo di ritorno (K_T), e che consente di rappresentare la relazione di frequenza delle precipitazioni secondo il prodotto:

$$x_T = \mu K_T$$

Questa rappresentazione risulta particolarmente utile nella determinazione su base regionale delle leggi di frequenza, in quanto molto spesso K_T risulta essere costante in ampie regioni.

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA					
	P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA					
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI						
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 10 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 10 di 23

Questa metodologia è la medesima utilizzata per gli studi idrologici propedeutici alla stesura del piano di assetto idrogeologico della Regione Sicilia (2004).

3.2. Analisi delle precipitazioni

3.2.1. Metodo VAPI Sicilia

In questo capitolo si illustreranno 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, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, *Valutazione delle Piene in Sicilia* [Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993], a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento. Si riportano inoltre le risultanze introdotte da Lo Conti et al. (2007)

I° Livello di regionalizzazione (Cannarozzo, 1993)

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 Λ^* e Θ^* dalla durata t :

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

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

II° Livello di regionalizzazione (Cannarozzo, 1993)

Al secondo livello di regionalizzazione, la Sicilia è suddivisa nelle tre sottozone A, B e C della Figura 1 e a ciascuna di esse è stato attribuito, per una prefissata durata, un valore costante del parametro λ_1 , indicato con il simbolo Λ_1 , che risulta dipendente dalla durata:

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

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

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

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

$$P(h'_t) = \exp \left[-\lambda_1 \left(\exp \left(\frac{\mu}{\vartheta_1} \right) \right)^{-h'_t} - \Lambda^* \lambda_1^{1/\Theta^*} \left(\exp \left(\frac{\mu}{\Theta^* \vartheta_1} \right) \right)^{-h'_t} \right]$$

con parametri stimati in accordo alle formulazioni delle diverse sottozone.

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

$$h'_{t,T_r} = b_0 + b_1 \cdot \log(T_r) \quad (1)$$

essendo h'_{t,T_r} i valori di h'_t di assegnato tempo di ritorno T_r . I coefficienti b_0 e b_1 sono dipendenti dalla durata secondo le seguenti relazioni:

Sottozona A

$$b_0(t) = 0.5391 - 0.001635 \cdot t$$

$$b_1(t) = 0.0002121 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966 \quad (2a)$$

Sottozona B

$$b_0(t) = 0.5135 - 0.002264 \cdot t$$

$$b_1(t) = 0.0001980 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508 \quad (2b)$$

Sottozona C


$$b_0(t) = 0.5015 - 0.003516 \cdot t$$

$$b_1(t) = 0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101 \quad (2c)$$



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

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica si otterrà moltiplicando la precedente relazione (1) con i coefficienti determinanti per ciascuna sottozona mediante le (2), per la legge di variazione della media della legge TCEV con la durata, ovvero:

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA					
	P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA					
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI						
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 10 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 12 di 23

$$h_{t,Tr} = h'_{t,Tr} \cdot \mu(t) \quad (3)$$

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

Le opere in progetto ricadono nella sottozona pluviometrica C. La curva di probabilità pluviometrica, con riferimento al progetto VAPI Sicilia 1993 assume pertanto l'espressione in funzione della durata t e del tempo di ritorno T :

$$h_{t,Tr} = [(0.5015 - 0.003516 \cdot t) + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t) + 1.0101] \cdot \text{Log}(Tr) \cdot \mu(t) \quad (4)$$

I° Livello di regionalizzazione (Lo Conti, 2007)

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico Gt delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per la regione Sicilia. La Sicilia si può pertanto ritenere una zona pluviometrica omogenea ed i valori dei parametri $\Theta^* = 2.24$ e $\Lambda^* = 0.71$ sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

II° Livello di regionalizzazione (Lo Conti, 2007)

Il secondo livello di regionalizzazione riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometriche omogenee: Z0 – Z5, Z1, Z2, Z3, Z4 (fig. 2).

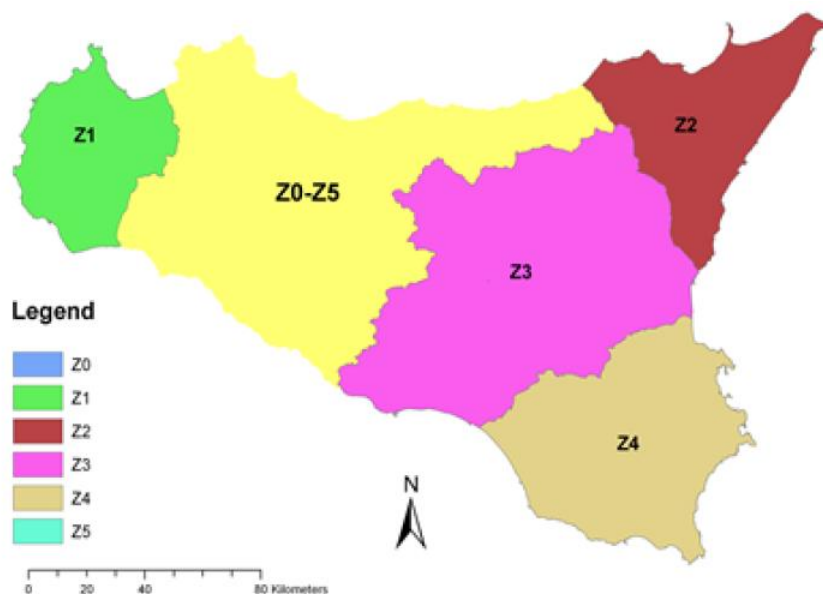



Figura 2 - Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D 10 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro $\lambda 1$ (parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo $\Lambda 1$ (tabella 4.1), che risulta indipendente dalla durata. Le sottozone Z0 e Z5, possono anche essere “unite” e considerate come una sottozona unica, visti i valori pressoché identici del parametro $\Lambda 1$.

In ogni sottozona la variabile adimensionale $h'_{t,Tr} = ht/\mu$ (valore dell'altezza di pioggia di fissata durata t e tempo di ritorno T rapportata alla media μ della legge TCEV) assume la seguente espressione:

$$h'_{t,Tr} = a \cdot \ln(T) + b$$

In tale relazione i coefficienti a e b sono stati tarati in funzione della particolare sottozona.

Sottozona	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Parametro						
$\Lambda 1$	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Tabella 1– Valore del parametro $\Lambda 1$ per ogni sottozona - regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

Sottozona	Z0 -Z5	Z1	Z2	Z3	Z4
Parametro					
a	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
b	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 2– Valori, regione Sicilia, dei coeff. a e b per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

Le opere in progetto ricadono nella sottozona pluviometrica Z4. La curva di probabilità pluviometrica, con riferimento al progetto VAPI Sicilia 1993 assume pertanto l'espressione in funzione della durata t e del tempo di ritorno T :

$$h_{t,Tr} = [0.4616 + 0.4946 \cdot \ln(Tr)] \cdot \mu(t) \quad (5)$$

III° Livello di regionalizzazione

Quest'ultima fase dell'indagine pluviografica aveva come obiettivo quello di individuare un criterio regionale per la stima di μ nei siti privi di stazioni di misura o con un numero modesto di anni di osservazione, così da rendere applicabile la (3) in qualsiasi punto della regione.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
RS3Y

LOTTO
1B

CODIFICA
D 10 RI

DOCUMENTO
ID 00 01 001

REV.
A

FOGLIO
14 di 23

Confrontando le medie teoriche μ con le medie campionarie m_c si è riscontrato che, per ciascuna durata, i parametri statistici Λ_1 e Θ_1 possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti e per ciascuna stazione è stato riconosciuto il seguente legame di potenza:

$$\mu(t)=a \cdot t^n \quad (6)$$

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] nella tabella a seguire.

Cod.	Stazione	Bacini di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Nicoletto	35,9	0,3391
2	Milazzo	tra Muto e Mela	30,3	0,2208
3	Castroreale	Longano	27,4	0,4470
4	Montalbaro Elicona	Mazzarrà	26,2	0,4255
5	Tindari	tra Mazzarrà e Timeto	26,5	0,2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28,5	0,3369
7	Capo d'Orlando	tra Naso e Zappulla	20,5	0,2934
8	Torturici	Zappulla	28,4	0,3347
9	Alcara Li Fusi	Rosmarino	23,2	0,3970
10	Sanfratello	Inganno	21,5	0,3723
11	S. Stefano di Camastra	S. Stefano	26,7	0,2560
12	Castelbuono	Pollina	25,5	0,3451
13	Isnello	Pollina	25,0	0,4109
14	Cefalù	Pollina	27,3	0,2827
15	Collesano	Roccella	28,1	0,3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20,4	0,4252
17	Gioia (fattoria)	Torto	20,5	0,3147
18	Termini Imerese	tra Torto e S. Leonardo	30,5	0,2635
19	Imbraca	S. Leonardo	22,6	0,3567
20	Vicari	S. Leonardo	22,5	0,3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22,9	0,2244
22	Mezzoluso	S. Leonardo	20,6	0,3415
23	Sambuchi	S. Leonardo	19,5	0,3172
24	Caccamo	S. Leonardo	22,0	0,3414
25	Ciminna	S. Leonardo	20,8	0,3529
26	Monumentale	S. Leonardo	29,3	0,2608
27	Turdiepi (fattoria)	Eleuterio	21,6	0,3511
28	Lupo	Eleuterio	24,9	0,2819
29	Ficuzza	Eleuterio	22,2	0,3068
30	Ficuzza bosco	Eleuterio	24,1	0,3792
31	Marineo	Eleuterio	27,4	0,2979
32	Risalimi	Eleuterio	24,9	0,3272
33	Misilmeri	Eleuterio	21,0	0,3054
34	Piozzo	Oreto	27,4	0,4032
35	Altofonte	Oreto	25,0	0,3567
36	Romilello	tra Oreto e Giancaldara	30,1	0,2972
37	S. Martino delle Scale	tra Oreto e Giancaldara	28,2	0,3327
38	Monte Pellegrino	tra Oreto e Giancaldara	29,5	0,2733
39	Partinico	tra Oreto e Giancaldara	21,2	0,3120
40	Palermo Ist. Zoot.	tra Oreto e Giancaldara	25,1	0,2928
41	Palermo Serv. Idr.	tra Oreto e Giancaldara	28,7	0,3143
42	Palermo Oss. Astr.	tra Oreto e Giancaldara	22,2	0,2687
43	Palermo Ist. Cast.	tra Oreto e Giancaldara	23,2	0,3119
44	Isola delle Femmine	tra Oreto e Giancaldara	21,7	0,2968
45	Ginestra	Giancaldara	27,9	0,3874
46	S. Giuseppe Jato	Giancaldara	25,3	0,2836
47	Fellamonica	Giancaldara	26,9	0,3149
48	Calatafimi	S. Bartolomeo	21,1	0,3158
49	Specchia	tra S. Bartolomeo e Birgi	22,0	0,2230
50	Lentina	tra S. Bartolomeo e Birgi	29,7	0,2693
51	S. Andrea di Bonagia	tra S. Bartolomeo e Birgi	29,4	0,2605
52	Trapani	tra S. Bartolomeo e Birgi	24,9	0,2837
53	Castellamare del Golfo	tra S. Bartolomeo e Birgi	20,3	0,2634
54	Capo S. Vito	tra S. Bartolomeo e Birgi	17,6	0,2804
55	Fastaia	Birgi	21,3	0,2548
56	La China	Birgi	27,8	0,2079
57	S. Giorgio	Birgi	20,2	0,2489
58	Borgo Fazio	Birgi	23,6	0,2145

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
59	Birgi Nuovo	Birgi	29,1	0,2398
60	Ciaulo	Mazaro	33,4	0,1463
61	Marsala	Mazaro	30,4	0,2325
62	Mazzara del Vallo	tra Mazaro e Arena	29,5	0,2421
63	Partanna	Modione	26,7	0,2927
64	Castelvetrano	Modione	24,7	0,2596
65	Piana degli Albanesi	Belice	21,7	0,4126
66	Casa Dingoli	Belice	25,7	0,4020
67	S. Cristina Gela	Belice	24,5	0,3835
68	Piana dei Greci M.	Belice	22,4	0,3940
69	Piana dei Greci P.	Belice	24,4	0,4368
70	Tagliavia	Belice	23,8	0,1873
71	Corleone	Belice	20,8	0,2980
72	Roccamena	Belice	19,6	0,2938
73	Gibellina	Belice	21,8	0,2584
74	Montevago	Belice	34,6	0,2441
75	S. Margherita Belice	Belice	25,5	0,2296
76	Sciacca	tra Carboi e Verdura	28,3	0,2694
77	Caltabellotta	tra Carboi e Verdura	30,4	0,2777
78	Arancio	Carboi	26,4	0,2115
79	Piano del Leone	Verdura	25,2	0,3369
80	Palazzo Adriano	Verdura	26,9	0,3616
81	Chiusa Sclafani	Verdura	28,8	0,3318
82	Burgio	Verdura	29,5	0,2667
83	S. Stefano di Quisquina	Magazzolo	27,6	0,4230
84	Bivona	Magazzolo	25,8	0,3218
85	Lercara Friddi	Platani	20,6	0,3083
86	Le Piane	Platani	27,3	0,3046
87	Carcaciotto	Platani	29,0	0,2347
88	Platani (diga)	Platani	24,5	0,3403
89	Castrovo di Sicilia	Platani	23,5	0,3708
90	Casteltermini	Platani	22,0	0,3118
91	S. Caterina Villamosa	Platani	25,6	0,2518
92	Valledolmo	Platani	24,6	0,2955
93	Marianopoli	Platani	28,9	0,3359
94	Mussomeli	Platani	19,2	0,3154
95	S. Biagio Platani	Platani	28,7	0,2808
96	Agrigento	S. Leone	30,3	0,2485
97	Palma di Montechiaro	Palma	23,7	0,2465
98	Petralia Sottana	Imera Meridionale	23,6	0,3674
99	Capodarso	Imera Meridionale	32,2	0,1771
100	Enna	Imera Meridionale	30,6	0,4012
101	Villadoro	Imera Meridionale	25,9	0,3146
102	Villarosa	Imera Meridionale	26,6	0,2875
103	Caltanissetta (G. Civile)	Imera Meridionale	28,1	0,2588
104	Pietraperzia	Imera Meridionale	33,4	0,2100
105	Sommatino	Imera Meridionale	26,2	0,3021
106	Riesi	Imera Meridionale	28,4	0,2395
107	Havanusa	Imera Meridionale	36,0	0,2050
108	Mangiaricotta	Imera Meridionale	25,4	0,2356
109	Deliella	Imera Meridionale	36,5	0,2210
110	Desusino	Imera Meridionale	31,9	0,2573
111	Mazzarino	Imera Meridionale	25,9	0,3054
112	Comunelli (diga)	Comunelli	30,1	0,1985
113	Gela	tra Comunelli e Gela	29,8	0,1845
114	Piazza Armerina	Gela	27,7	0,3346
115	Diga Disueri	Gela	15,9	0,3217
116	Monterosso	Acate	27,1	0,2715
117	Licodia Eubea	Acate	28,6	0,2411
118	Vizzini	Acate	21,0	0,2983

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
119	Vittoria	Ippari	29,9	0,2345
120	Ragusa	Irminio	28,0	0,3213
121	Modica	Scicli	25,2	0,3232
122	Castelluccio	Tellaro	38,7	0,2956
123	Noto	Noto	32,5	0,3423
124	Melilli	Anapo	30,8	0,3305
125	Palazzolo Acreide	Anapo	27,6	0,3587
126	Pres. S. Nicola	Anapo	29,7	0,4174
127	Siracusa	Anapo	32,3	0,2909
128	Augusta	Anapo	38,9	0,2975
129	Carlentini	Lentini	27,2	0,4573
130	Lentini città	Lentini	32,4	0,3698
131	Lentini bonifica	Lentini	38,3	0,3644
132	Maniaca	Simeto	17,6	0,2845
133	Buffali	Simeto	27,1	0,3123
134	Cesarò	Simeto	27,3	0,2578
135	Troina	Simeto	25,9	0,3697
136	Ancipa	Simeto	27,3	0,3390
137	Maletto	Simeto	25,6	0,2288
138	Bronte	Simeto	22,1	0,2777
139	Borgonuovo	Simeto	24,4	0,2854
140	Nicosia	Simeto	28,0	0,3676
141	Capizzi	Simeto	33,2	0,2511
142	Cerami	Simeto	28,2	0,2699
143	Salamone	Simeto	25,0	0,2680
144	Gagliano Castelferrato	Simeto	22,4	0,3448
145	Agira	Simeto	24,8	0,3448

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
146	Ragalina	Simeto	22,0	0,3930
147	Centuripe	Simeto	20,8	0,4075
148	Adrano	Simeto	27,2	0,2734
149	Paternò	Simeto	25,3	0,2975
150	Simeto	Simeto	32,7	0,3312
151	Leonforte	Simeto	31,1	0,2990
152	Valguarnera	Simeto	25,9	0,4093
153	Torricchia	Simeto	19,7	0,2941
154	Raddusa	Simeto	24,8	0,2522
155	Caltagirone	Simeto	25,0	0,2679
156	Mineo	Simeto	30,2	0,3149
157	Ramacca	Simeto	31,0	0,2769
158	Zafferana Enea	Simeto	37,4	0,4879
159	Linguaglossa	Simeto	35,1	0,4473
160	Viagrande	Simeto	39,1	0,3516
161	Piedimonte Etneo	Simeto	35,8	0,3554
162	Acireale	Simeto	41,5	0,3455
163	Catania (G. Civile)	Simeto	32,3	0,3266
164	Catania Osservatorio	Simeto	43,3	0,3536
165	Randazzo	Simeto	27,8	0,3752
166	Francavilla di Sicilia	Alcantara	41,0	0,4229
167	Alcantara	Alcantara	33,0	0,3216
168	Taormina	Alcantara	40,9	0,2990
169	Camaro	Fiumedinisi	38,5	0,3030
170	Messina	Fiumedinisi	33,8	0,2598
171	Ganzirri	Fiumedinisi	34,4	0,2121
172	Aliterme	Fiumedinisi	32,7	0,2764

Tabella 3 – Valori dei parametri a ed n per le stazioni pluviografiche siciliane (Cannarozzo et alii, 1993).

In assenza di dati specifici per la zona in esame è possibile stimare i valori analizzando le mappe allegato allo studio redatto nella definizione del PAI (figg. 3, 4) e dalle mappe redatte nello studio di Lo Conti (2007) (figg. 5, 6).

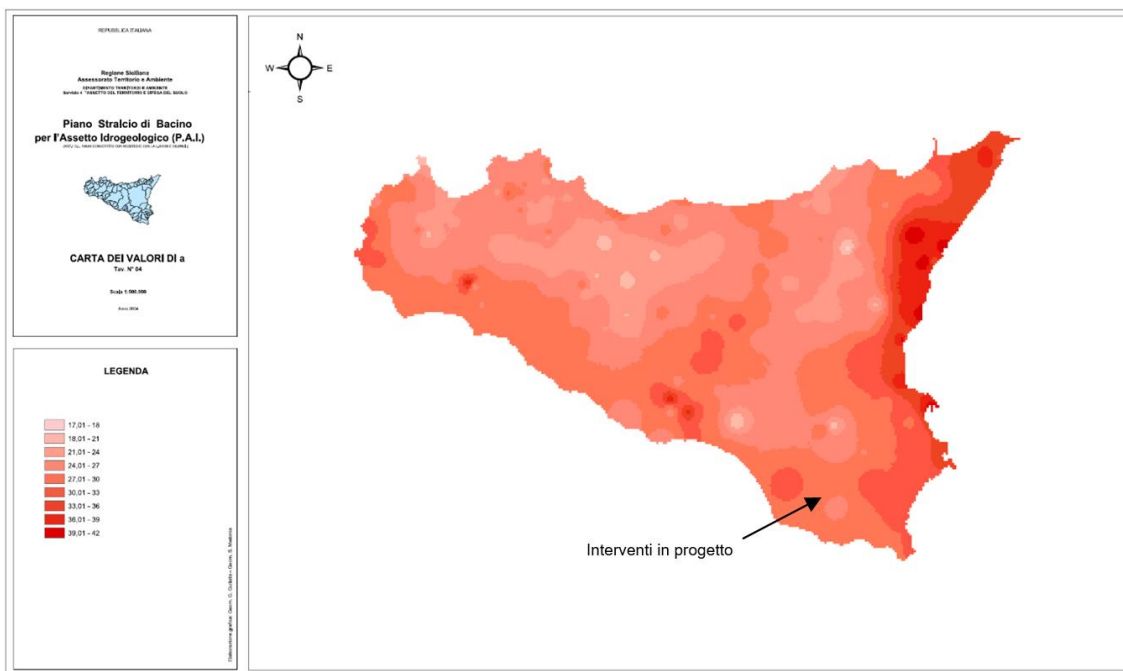


Figura 3 - Carte iso-a dell'Autorità di Bacino (2004)

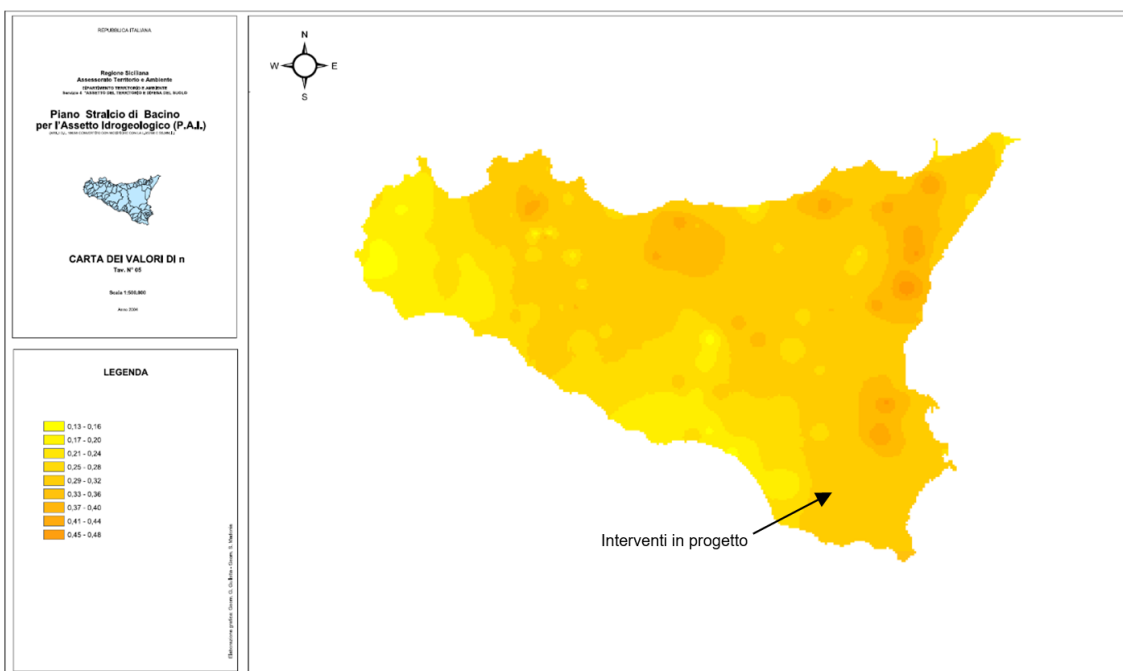


Figura 4 - Carte iso-n dell'Autorità di Bacino (2004)

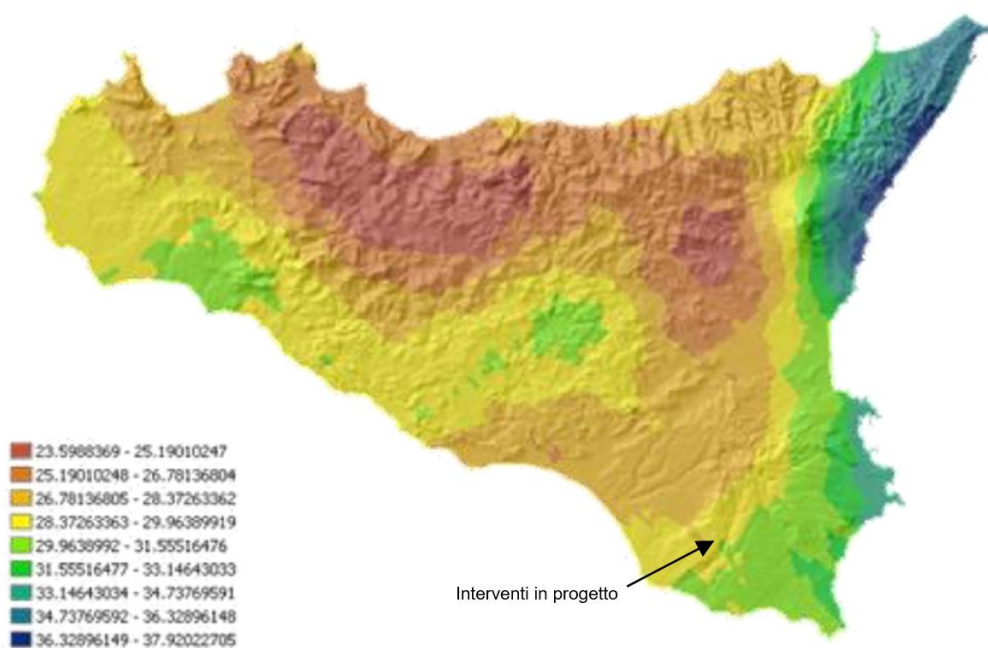


Figura 5 - Valori dei coefficienti *a* per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

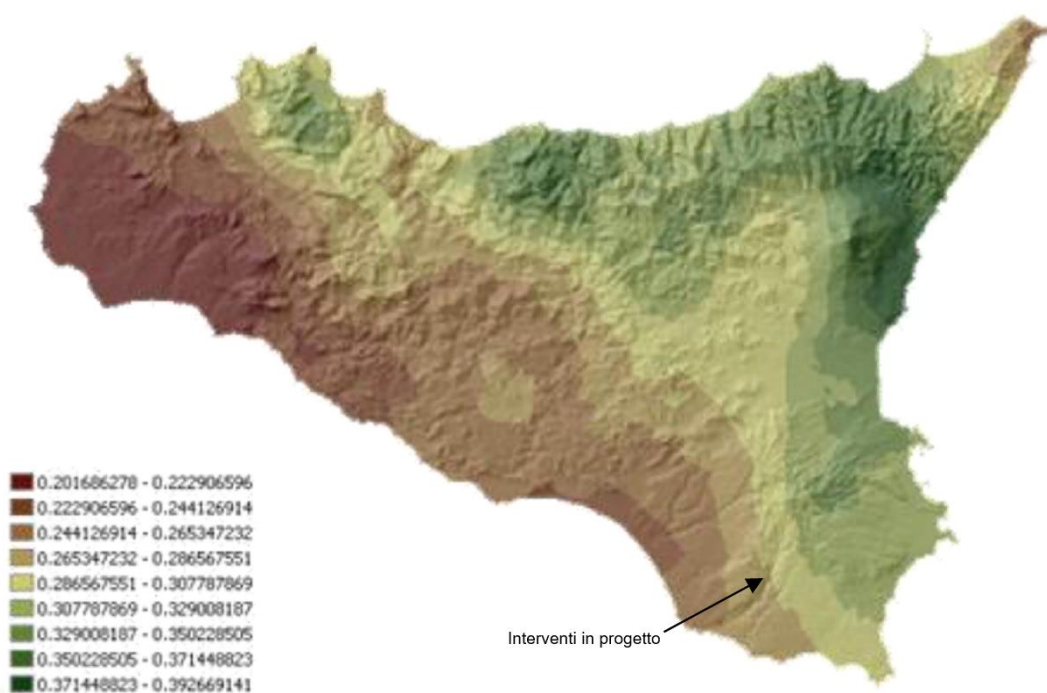


Figura 6 - Valori dei coefficienti *n* per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

3.2.2. Stima dei parametri idrologici

Si riportano a seguire i parametri estratti dalle tabelle e dalle figure riportate al precedente paragrafo.

Cannarozzo (1993)	a (mm/h)	n
Ragusa	28.0	0.3213

Tabella 4– Valori a ed n (Cannarozzo et al, 1993) per la stazione di Ragusa

Carte iso-a e iso-n AdB (2004)	a (mm/h)	n
Ragusa	28.0	0.32

Tabella 5 – Valori a ed n (AdB 2004)

Carte iso-a e iso-n Lo Conti (2007)	a (mm/h)	n
Ragusa	29.96	0.286

Tabella 6 - Valori a ed n (Lo Conti et al, 2007)

Nelle tabelle seguenti (tab. 7 e 8) si riportano i dati della stazione di Ragusa (per durate 1, 3, 6, 12, 24 ore dal 1931 al 2012), ed i risultati dell'elaborazione effettuata con l'approccio di Gumbel.

4. SINTESI DEI RISULTATI

Nella figura 7 sono confrontate le curve di probabilità pluviometriche $\mu(t)$ elaborate dalle osservazioni disponibili e dai dati ottenuti dal VAPI.

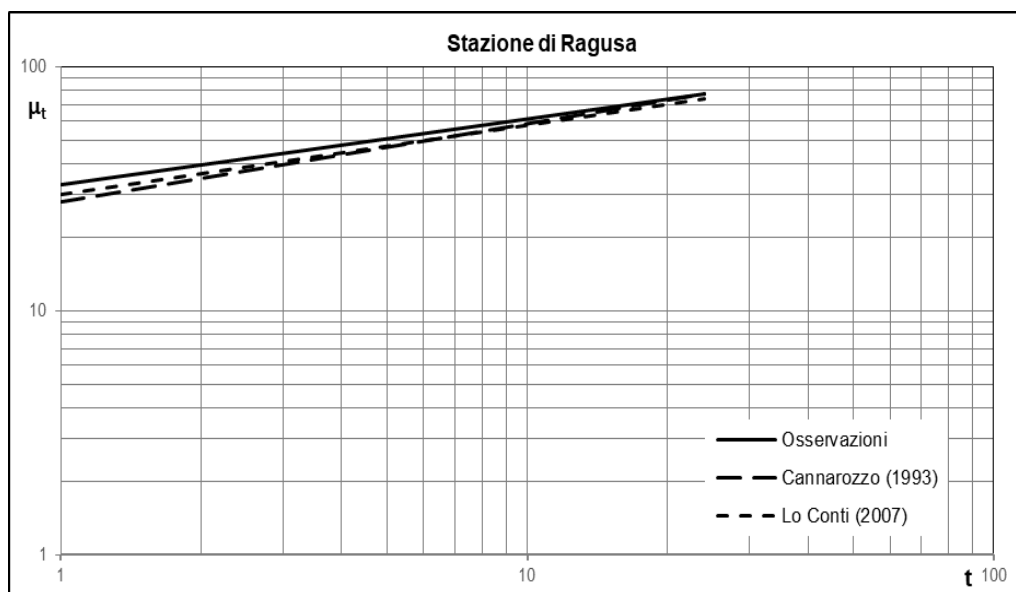


Figura 7 - Confronto curva di probabilità pluviometrica $\mu(t)$

Nel grafico di figura 8 e 9 si riportano le curve di probabilità pluviometrica con fissato tempo di ritorno pari a 25 anni e 100 anni ottenute utilizzando l'approccio del VAPI (1993 e 2007) e quelle elaborate con l'approccio di Gumbel sui dati di pioggia disponibili. Dal confronto si evince che la curva ottenuta dall'elaborazione dei dati di pioggia disponibili risulta più gravosa e quindi più cautelativa per il dimensionamento delle opere in progetto.

Metodologia	Tr=25	Tr=100
K_T (Vapi 1993)	Variabile da 2.11 a 2.33 per t=1h e 24h	Variabile da 3.02 a 3.33 per t=1h e 24h
K_T (Vapi 2007)	2.053	2.74
K_T (Gumbel)	2.41	3.16

Tabella 9 – Coefficienti di crescita stimati - K_T



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
RS3Y

LOTTO
1B

CODIFICA
D 10 RI

DOCUMENTO
ID 00 01 001

REV.
A

FOGLIO
22 di 23

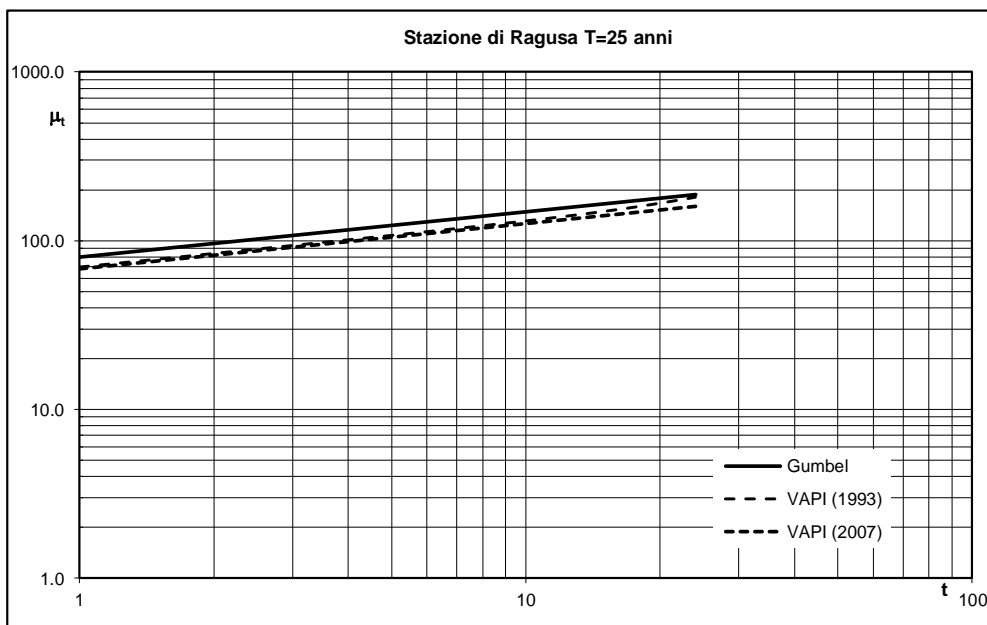


Figura 8 - Confronto curva di probabilità pluviometrica T=25 anni

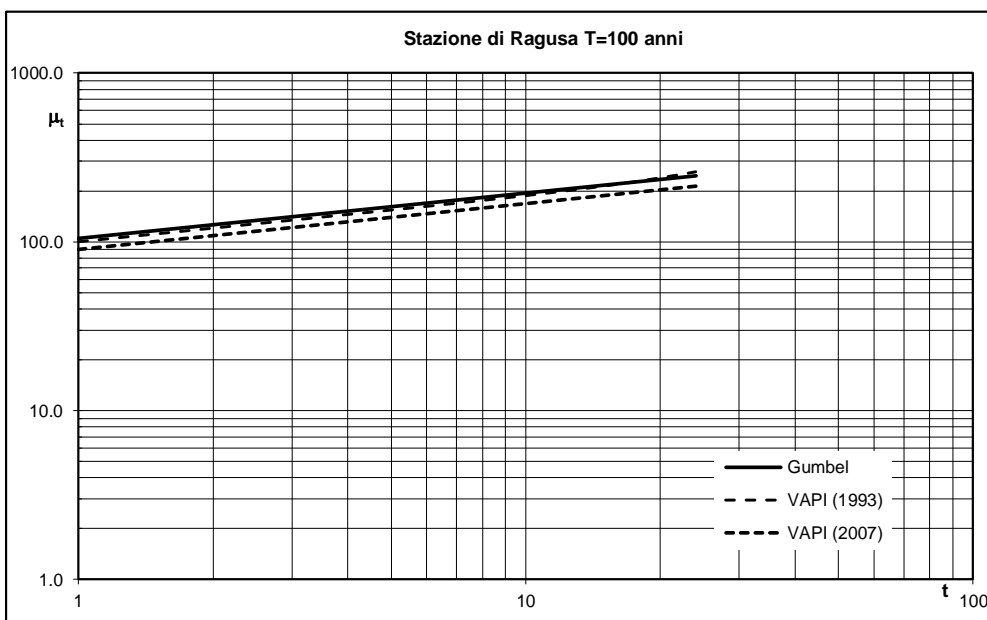


Figura 9 - Confronto curva di probabilità pluviometrica T=100 anni



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA

LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
RS3Y

LOTTO
1B

CODIFICA
D 10 RI

DOCUMENTO
ID 00 01 001

REV.
A

FOGLIO
23 di 23

4.1. Altezze di pioggia per durate inferiori all'ora

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiori all'ora, eventi brevi, seguono dinamiche meteorologiche diverse dagli eventi per durate maggiori dell'ora. Dal punto di vista tecnico è necessario stimare la curva di probabilità pluviometrica per durate inferiori all'ora ai fini della verifica e dimensionamento del sistema di drenaggio stradale e ferroviario.

E' stato dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia h , con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia h di durata pari a 60 minuti sia dipendente solo dalla durata t espresso in minuti per fissato tempo di ritorno:

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

Avendo indicato con f un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato il legame funzionale precedente esprimibile attraverso la 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 ed 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 (Ferro e Bagarello, Rainfall depth-duration relationship for South Italy, 1996) il coefficiente assume il valore di 0.386.

L'equazione pertanto assume l'espressione:

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

Ossia fissato un tempo di ritorno T :

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

con t in minuti.