

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA CATANIA - SIRACUSA

### DIREZIONE TECNICA

### S.O. COORDINAMENTO DI SISTEMA E PFTE

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

### Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta

### Fase 1B

### IDROLOGIA E IDRAULICA

### STUDIO IDRAULICO ATTRAVERSAMENTI MINORI

### Relazione Idrologica

SCALA:

-

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

RS62    01    R    14    RI    ID0001    001    B

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	Pini	Novembre 2022	C.Segnini	Novembre 2022	P. Carlesimo	Novembre 2022	G. Ingrosso Settembre 2023
B	Recepimento prescrizioni AdSP	C. Segnini	Settembre 2023	M. Ventura	Settembre 2023	P. Carlesimo	Settembre 2023	ITALFERR S.p.A. COORDINAMENTO DI SISTEMA Dott. Ing. GIULIANA INGROSSO Ordine degli ingegneri di ROMA N. 20502

File: RS6201R14RIID0001001B

n. Elab.:

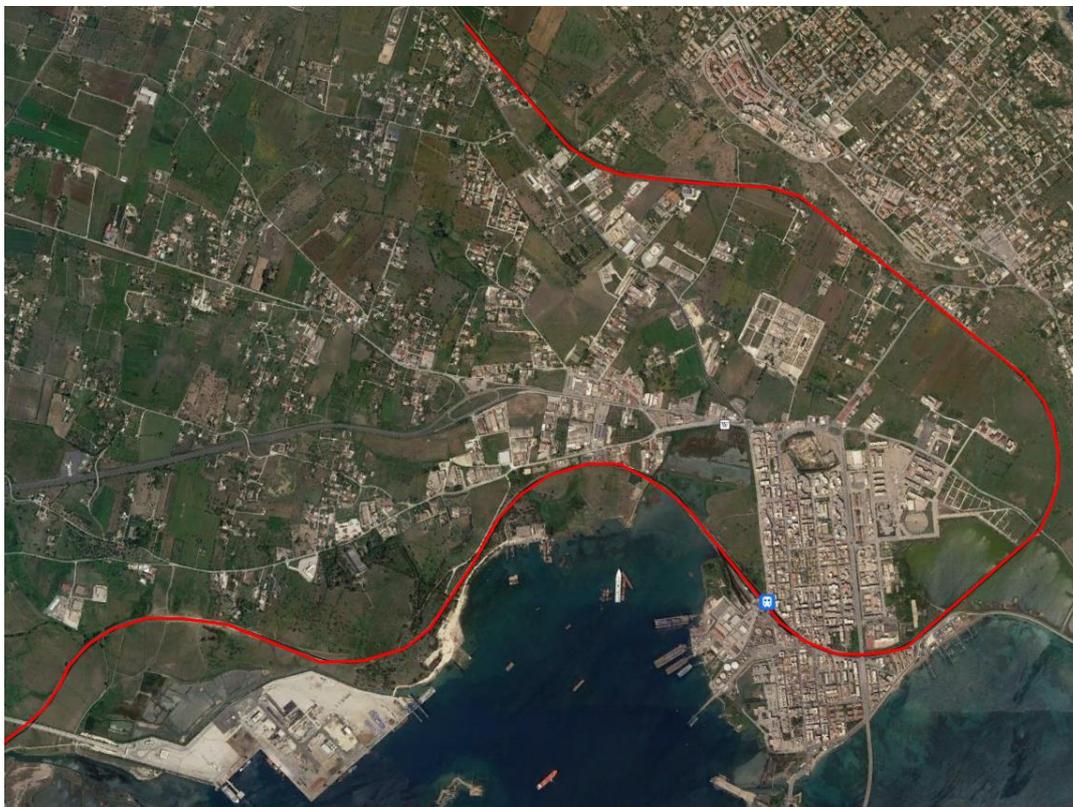
**INDICE**

1	PREMESSA.....	3
1.1	AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO .....	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
2	NORMATIVA E LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO .....	7
2.1	NORMATIVA .....	7
3	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI .....	8
3.1	METODO DI GUMBEL .....	8
3.2	METODO VA.PI. SICILIA.....	8
3.2.1	<i>Curva possibilità pluviometrica - modello probabilistico regionale TCEV .....</i>	<i>9</i>
3.2.2	<i>Elaborazioni Curve di Possibilità Pluviometrica Tr = 50, 100, 200 e 300 anni .....</i>	<i>11</i>
3.3	ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME IN SICILIA (LO CONTI, CANNAROZZO ET AL., 2007).....	12
3.4	ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME IN SICILIA (FORESTIERI, LO CONTI ET AL., 2018) .....	15
3.5	ALTEZZE DI PIOGGIA PER DURATE INFERIORI ALL'ORA .....	18
4	RISULTATI.....	19
4.1	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	21
	APPENDICE A .....	22
	IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL .....	22
	MODELLO PROBABILISTICO TCEV (VAPI) .....	23
	APPROCCIO GERARCHICO ALLA STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI.....	24
	APPENDICE B.....	27

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Porto di Augusta e ha come obiettivo l'elaborazione delle Curve di possibilità pluviometrica per la zona di interesse, a partire dai massimi annuali di pioggia della Stazione Pluviometrica di Augusta tramite il Metodo di Gumbel, per durate superiori e inferiori all'ora. Per le stesse durate, sono stati calcolati i parametri di pioggia anche tramite Metodologia VAPI e tramite gli studi esistenti di tipo regionalizzato di Lo Conti (2007, 2018); i risultati sono stati poi messi a confronto così da utilizzare quello più gravoso per il dimensionamento degli elementi in progetto.

La città di Augusta, sita in provincia di Siracusa, è attualmente attraversata dalla direttrice ferroviaria che collega tra di loro i due capoluoghi di Catania e Siracusa. L'attuale tracciato in corrispondenza dell'attraversamento del territorio comunale augustano è composto da un singolo binario con una serie di curve e controcurve che permettono l'avvicinamento della ferrovia al nucleo storico della città (Figura 1).



**Figura 1 – area di intervento**

Una volta attraversato il centro abitato, la linea ferroviaria percorre un tratto vicino il porto di Augusta che è

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

caratterizzato da tre differenti ambiti:

- Petrolifero – energetico;
- Industriale;
- Commerciale e RoRo.

Allo stato attuale i traffici si sviluppano nell'ambito petrolifero-energetico e in quello industriale.

Il collegamento ferroviario al porto di Augusta, riguarda l'ambito Commerciale, situato nella parte settentrionale e per il quale sono in corso ipotesi di sviluppo infrastrutturale da parte dell'AdSP.

L'intervento si inserisce nel progetto di ampliamento del porto commerciale di Augusta e consiste nella realizzazione di una bretella ferroviaria che collega il nuovo parco ferroviario alla rete ferroviaria nazionale. L'obiettivo è quello di rispettare gli Adempimenti previsti da Reg 1315/2013 per i porti Core, in ottica di sviluppo delle connessioni insulari e da/per il continente.

Secondo quanto previsto da RFI, il progetto sarà realizzato in due diverse fasi funzionali, una prima fase, denominata Fase 1A, che si configura secondo un layout delle opere ridotto all'interno dell'area portuale, e una seconda fase che completa lo sviluppo delle opere realizzate dalla Fase 1A al fine di raggiungere la configurazione finale definita Fase 1B.

Nell'area di Augusta è inoltre previsto anche un altro intervento denominato "Bypass di Augusta" anch'esso, come l'intervento del presente progetto, rientra nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Anche in questo caso il "Piano di Committenza" prevede lo sviluppo di ambedue gli appalti entro i limiti temporali richiesti dal suddetto PNRR.

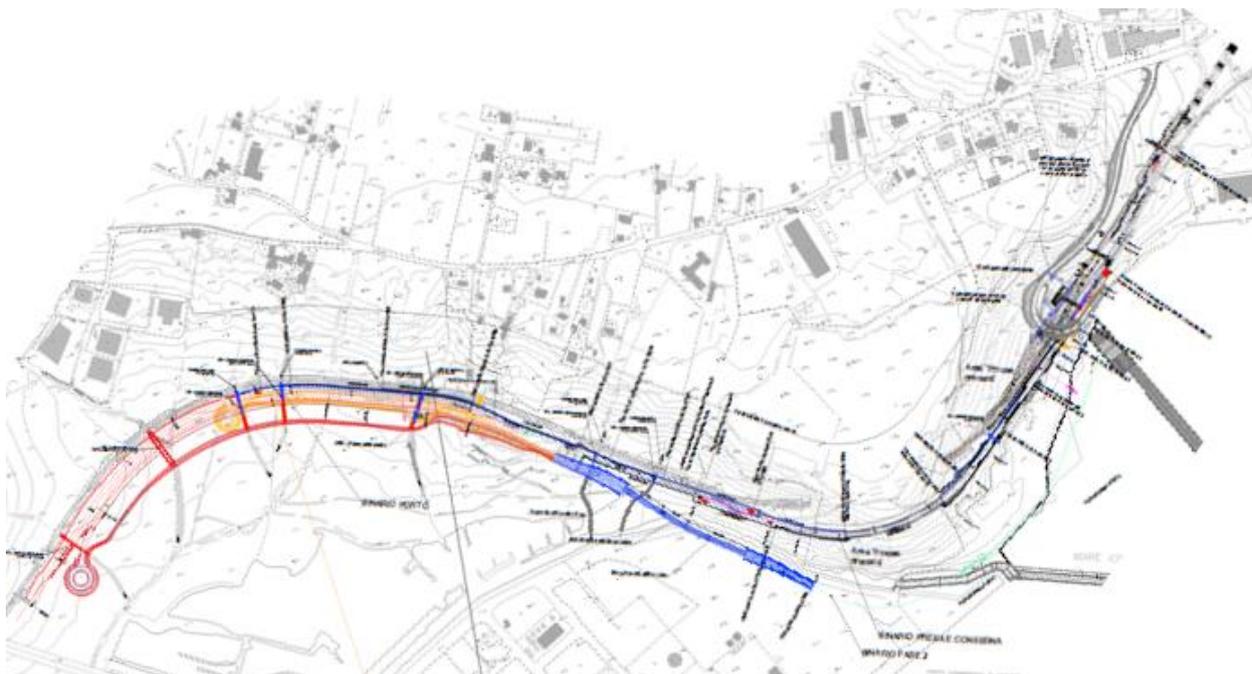
## 1.1 AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO

Con Nota del 21 giugno 2023 l'Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Orientale ha espresso "parere positivo" al PFTE del progetto condizionandolo alla seguente prescrizione: "...sia assicurata la modifica della viabilità stradale di collegamento dei binari col porto, in modo che la sede individuata oggi dal P.F.T.E. per le sole corsie stradali, possa, senza doverne successivamente modificare l'assetto, strutturale, la configurazione planoaltimetrica, i sovraccarichi, consentire il passaggio anche del binario ferroviario diretto al terminal containers. In tale secondo assetto, la viabilità, oggi prevista in due corsie da 3,5 metri l'una, oltre un tratto di marciapiede, sarà ridotta ad una sola, trattandosi di un collegamento di servizio, per lasciare spazio al binario ferroviario". Pertanto, si è provveduto ad aggiornare il progetto al fine di recepire nell'ambito della Fase 1A la suddetta richiesta come meglio illustrato nel seguito.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

Alla luce della prescrizione di cui sopra, la configurazione finale della Fase 1B (Figura 2) resta comunque inalterata fatto salvo le citate modifiche alla viabilità ed è costituita da:

- un binario di Presa e Consegna (PEC) con modulo maggiore di 600 metri elettrificato e dotato di segnalamento collegato alla linea ferroviaria e prosegue fino ad un cancello che delimita l'area di competenza RFI dall'area di competenza dell'autorità portuale
- le dotazioni tecnologiche come da standard RFI
- Successivamente al cancello un fascio di tre binari tronchi, non elettrificati e non dotati di segnalamento, di lunghezza  $\geq 600$  metri per la composizione e scomposizione dei treni e il carico scarico contenitori
- La connessione tra banchina e fascio di binari costituita da una viabilità che costeggia il fascio, con annesso piazzale dimensionato per consentire le manovre dei mezzi adibiti al carico/scarico e stoccaggio dei contenitori.



**Figura 2 – assetto finale di Progetto**

In recepimento alle richieste dell'AdSP, la Fase 1A prevede la realizzazione di:

- binario di presa e consegna fino al cancello (punto di delimitazione competenza RFI/ADSP)
- binario di carico/scarico contenitori modulo 250 m affiancato da un piazzale della medesima lunghezza
- viabilità di collegamento della banchina portuale al piazzale rivisitata per rispondere alla prescrizione della prescrizione dell'AdSP, in particolare la stessa viene ridisegnata da un punto di vista plano-altimetrico al fine di essere compatibile con la geometria di un tracciato ferroviario

nonché dimensionata da un punto di vista statico rispetto ai carichi ferroviari sensibilmente superiori rispetto a quelli stradali. Si precisa che sia nella fase 1A che nella fase 1B quest'opera avrà funzione di sola viabilità per la movimentazione dei contenitori dalla banchina al piazzale di Carico/Scarico e solo in una futura fase, non oggetto del presente progetto, potrà avere la funzione di collegamento ferroviario con la banchina portuale oltre a collegamento viario limitato a veicoli di servizio/emergenza;

- fabbricato tecnologico con annesso piazzale.
- tutte le tecnologie per la gestione movimento treno

L'intervento di completamento che porta alla configurazione finale Fase 1B, prevede le seguenti opere:

- completamento del fascio di Binari per carico/scarico contenitori e composizione/scomposizione treni (n. 3 binari modulo 600 m)
- estensione e completamento del relativo piazzale di movimentazione per l'intera lunghezza del fascio di binari.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

## 2 **NORMATIVA E LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **NORMATIVA**

- R.D. 25/07/1904, n. 523 – “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- R.D. 27/07/1934, n. 1265 – “Testo unico delle leggi sanitarie”;
- Circolare 07/01/1974, n. 11633 – “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto”;
- D.M. 12/12/1985 – “Normativa tecnica per le tubazioni”;
- Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;
- L.18/05/1989, n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”;
- D.lgs. 03/04/ 2006, n. 152 – “Norme in materia ambientale” e s.m.i.;
- D.lgs. 16/01/2008, n. 4 – “Codice dell’Ambiente” (modificazioni ed integrazioni al D.lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);
- D.M. 17/01/2018 – “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 21/01/2019, n.7 – “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018”;
- UNI 11292 14/02/2019 – “Locali Destinati ad Ospitare Gruppi di Pompaggio per Impianti Antincendio – Caratteristiche Costruttive e Funzionali”;
- Manuale di Progettazione RFI – Edizione dicembre/2022;
- D.D.G. n.102 del 23/06/2021, art.1 “Linee guida per gli standard di qualità urbana ed ambientale e per il sistema delle dotazioni territoriali”.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

### 3 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

L'analisi pluviometrica è stata svolta facendo un confronto tra le curve ottenute tramite la metodologia VA.PI. (Valutazione Piene in Italia), gli studi esistenti di tipo regionalizzato di Lo Conti (2007, 2018) e le curve derivanti dall'analisi statistica delle registrazioni di pioggia per la Stazione Pluviometrica di Augusta ubicata nelle immediate vicinanze dell'area di progetto. L'esito del confronto ha evidenziato che i risultati ottenuti dall'elaborazione statistica delle registrazioni locali di pioggia sono maggiormente cautelativi e sono dunque stati utilizzati come dato di base del progetto.

#### 3.1 METODO DI GUMBEL

Per la stazione pluviometrica di interesse sono riportate le serie storiche delle altezze massime di pioggia annue di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i valori statistici, media e deviazione standard.

Per assegnato tempo di ritorno, si è quindi calcolata con la legge di Gumbel l'altezza massima probabile, per ogni durata, e successivamente determinati, mediante regressione lineare, i parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica relative alle precipitazioni intense nella forma monomia esponenziale:

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

Nell'Appendice B sono riportati i massimi annuali registrati per la Stazione di Augusta.

#### 3.2 METODO VA.PI. 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].

La valutazione delle curve di possibilità pluviometrica (piogge intense) e la stima delle portate di piena viene condotta secondo i criteri sviluppati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del Progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) e pubblicati nel rapporto *Valutazione delle Piene in Sicilia* [Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993], a cui si rimanda per

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

ogni ulteriore approfondimento.

Nell'ambito di tale studio si è utilizzata l'informazione pluviografica e idrometrica raccolta dal Servizio Idrografico Italiano elaborando tecniche di analisi statistica a scala regionale ed applicando la legge di distribuzione a doppia componente su tre livelli successivi di regionalizzazione.

### 3.2.1 Curva possibilità pluviometrica - modello probabilistico regionale TCEV

Nel primo livello di regionalizzazione, nell'ipotesi che la Sicilia fosse una zona pluviometrica omogenea si è testata l'applicabilità della legge di distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value distribution) o legge di distribuzione a doppia componente.

Il modello probabilistico su base regionale TCEV ipotizza la serie dei massimi annuali come provenienti da due diverse popolazioni di dati legati a due differenti fenomenologie meteorologiche. I valori estremamente più elevati degli altri ma rari e una componente base o ordinaria che assume valori non elevati ma frequenti.

L'altezza di precipitazione  $h(t, T)$  di durata generica  $t$  e tempo di ritorno  $T$ , secondo tale metodo si scrive:

$$h_{t,T} = h'_{t,T} \cdot \mu$$

Con  $h'_{t,T}$ , curva di crescita, variabile dipendente dalla sottozona geografica in cui è stata divisa la Sicilia, dalla durata  $t$  e dal tempo di ritorno  $T$ , e  $\mu$  media teorica della variabile idrologica nella legge probabilistica.

#### Curva di crescita

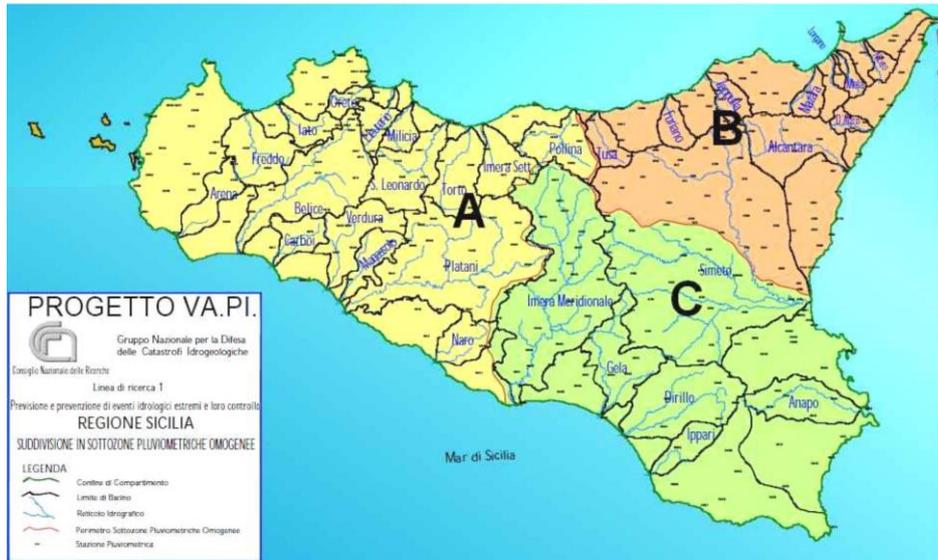
Il secondo livello di regionalizzazione suddivide il territorio siciliano in tre "sottozone omogenee" denominate A, B e C e definite rispettivamente:

- Sottozona Ovest, delimitata ad Est dallo spartiacque del F. Imera Meridionale e del F. Pollina.;
- Sottozona Nord-Est, delimitata dai bacini del F. Pollina a Ovest e del F. Salso-Simeto a Sud;
- Sottozona Sud-Est, delimitata a Nord dal bacino Salso-Simeto e ad Ovest dallo spartiacque del F. Imera Meridionale.

Per ciascuna sottozona lo studio VAPI fornisce l'espressione esplicita approssimata, valida per tempi di

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

ritorno superiori a 10 anni, della curva di crescita (cioè la legge di distribuzione della variabile adimensionale  $h' = x/\mu$ , avendo indicato con  $x$  la variabile idrologica e con  $\mu$  il valore medio teorico della legge TCEV).



**Figura 3 - Suddivisione in sottozone omogenee effettuata nell'ambito del progetto VAPI**

Per la sottozona A la curva vale:

$$h'_{t,T} = 0.5391 - 0.001635 t + (0.0002212 t^2 + 0.00117 t + 0.9966) \log T ;$$

Per la sottozona B la curva vale:

$$h'_{t,T} = 0.5135 - 0.002264 t + (0.000198 t^2 + 0.00329 t + 1.0508) \log T ;$$

Per la sottozona C la curva vale:

$$h'_{t,T} = 0.5015 - 0.003516 t + (0.000372 t^2 + 0.00102 t + 1.0101) \log T ;$$

nella quale  $t$  indica la durata di precipitazione e  $T$  il tempo di ritorno. L'espressione adottata per il progetto in esame fa riferimento alla zona C.

### **Media teorica**

Nel terzo livello di regionalizzazione, si sono confrontate le medie teoriche  $\mu$  con le medie campionarie

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

$M_c$ , riscontrando che possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti. Pertanto, è stato possibile determinare un legame tipo monomio per la media  $M_c$ , relativa alle durate di precipitazione considerate (1, 3, 6, 12 e 24 ore), secondo l'espressione:

$$\mu = M_c(t) = a t^n.$$

Si riportano di seguito i valori delle costanti  $a$  ed  $n$  per la stazione di Augusta, ricadente nella sotto-zona C secondo metodologica VAPI.

Cod.	Stazione	Bacino	a	n	zona	Provincia	Altitudine
128	Augusta	Anapo	38,9	0,297	C	Siracusa	15,00

**Figura 4 - Valori di  $a$  ed  $n$  per la stazione di Augusta**

### 3.2.2 Elaborazioni Curve di Possibilità Pluviometrica $Tr = 50, 100, 200$ e $300$ anni

L'espressione della curva di possibilità pluviometrica delle piogge di breve durata (1-3-6-12-24 ore) secondo il metodo TCEV, benché matematicamente definita assume una forma complessa diversa dalla forma canonica

$$h = a t^n.$$

Al fine di riportare le CPP in forma canonica, si sono calcolati, per assegnato tempo di ritorno, i valori delle altezze di pioggia probabili al variare della durata  $t$ .

Correlando i due campioni di dati ottenuti, su di un piano logaritmico si sono trovati i parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità pluviometrica nella forma classica, per assegnato  $Tr$ .

Le variazioni dei valori così ottenuti, da quelli originari, risultano contenuti entro un range di  $\pm 3\%$ , valore che risulta compatibile con il grado di precisione dell'indagine idrologica effettuata.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

### 3.3 ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME IN SICILIA (LO CONTI, CANNAROZZO ET AL., 2007)

Nel seguente studio, al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometriche omogenee: Z0 –Z5, Z1, Z2, Z3, Z4.

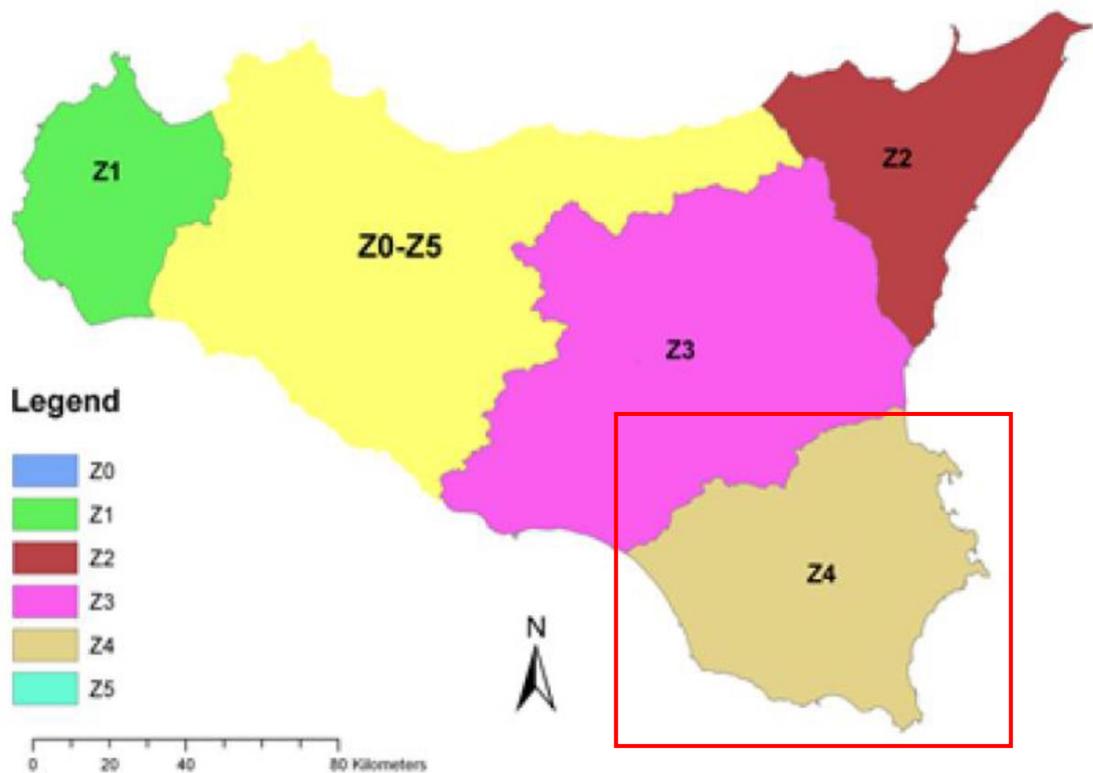


Figura 5 - Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007)

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

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  $\mu$  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.

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

Sottozona Parametro	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
<b><math>\Lambda 1</math></b>	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

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

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

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  $T$ :

$$ht,Tr = [(0.4616 + 0.4946 \times \ln(Tr))] \times m(t)$$

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	<b>COMMESSA</b> RS62	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> R14	<b>DOCUMENTO</b> RIID0001001	<b>REV.</b> B

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 e dalle mappe redatte nello studio di Lo Conti (2007).

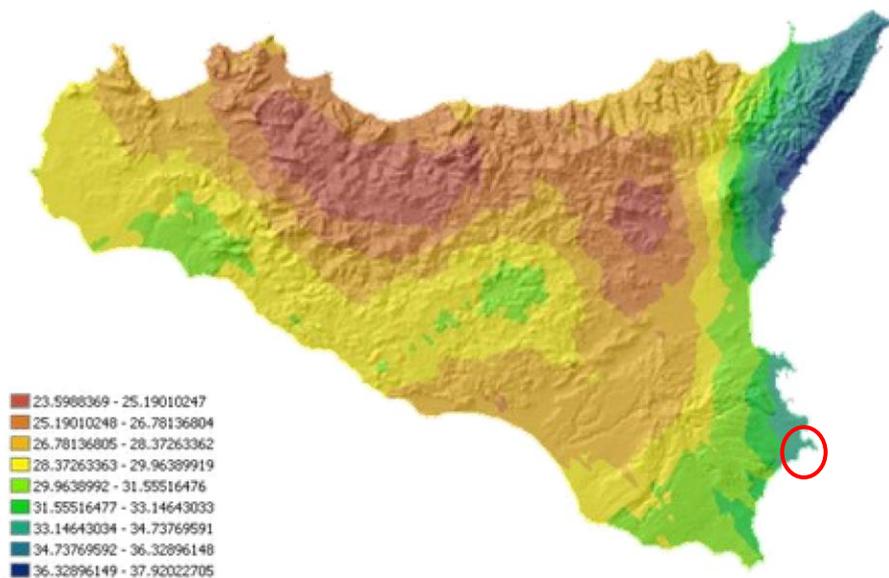


Figura 6 - Valori dei coefficienti a per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

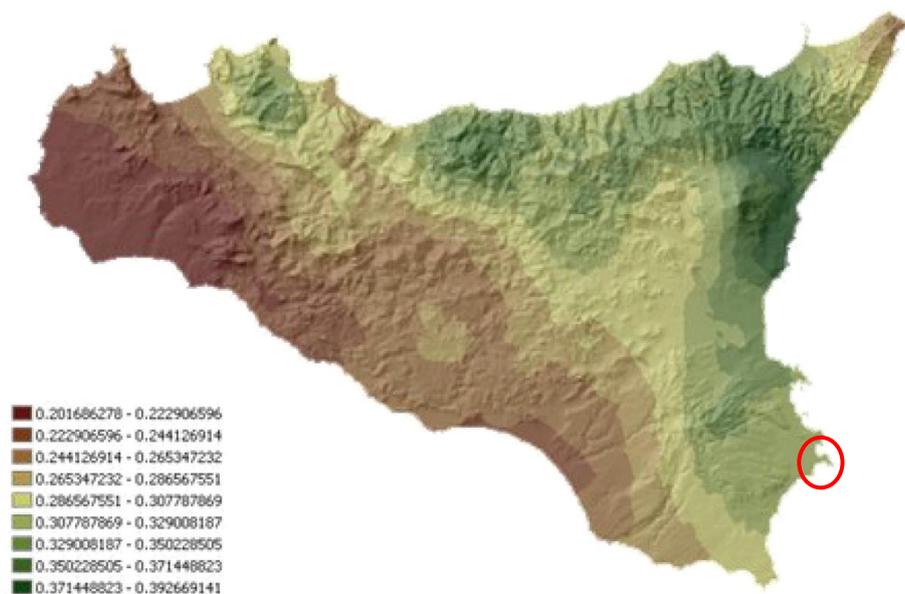


Figura 7 - Valori dei coefficienti n per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

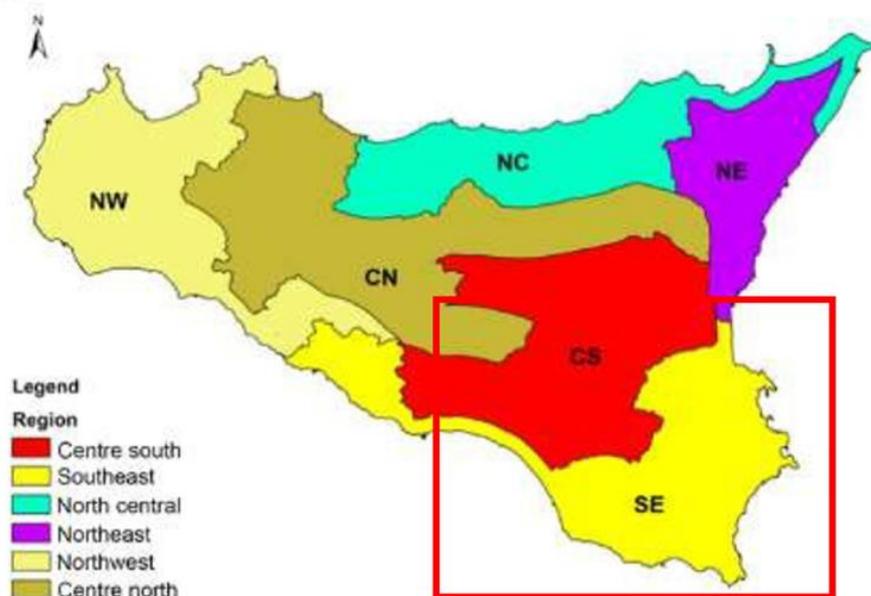
I valori utilizzati per la zona in esame sono:

a	n
33.14	0.2865

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

### 3.4 ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME IN SICILIA (FORESTIERI, LO CONTI ET AL., 2018)

Tale studio suddivide il territorio siciliano in sei “sottozone omogenee” denominate SE, NC, NE, NW, CN e CS:



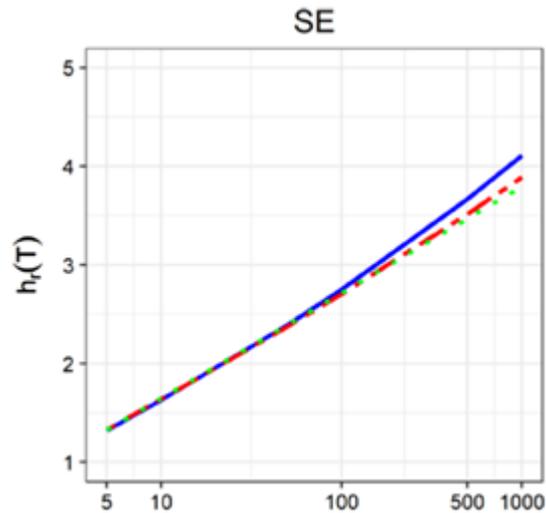
**Figura 8 - Sottozone omogenee per la regione Sicilia (Forestieri, Lo Conti et al., 2018)**

Il progetto in esame ricade nella sottozona omogenea SE.

L'altezza di precipitazione  $h(t, T)$  di durata generica  $t$  e tempo di ritorno  $T$ , secondo tale metodo si scrive:

$$h_{t,T} = h'_{t,T} \cdot \mu$$

Con  $h'_{t,T}$ , curva di crescita (ricavata graficamente), variabile dipendente dalla sottozona geografica in cui è stata divisa la Sicilia, dalla durata  $t$  e dal tempo di ritorno  $T$ , e  $\mu$  media teorica della variabile idrologica nella legge probabilistica.



**Figura 9 – Curva di crescita in funzione del tempo di ritorno**

Individuata la zona, si sono confrontate le medie teoriche  $\mu$  con le medie campionarie  $M_c$ , riscontrando che possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti. Pertanto, è stato possibile determinare un legame tipo monomio per la media  $M_c$ , relativa alle durate di precipitazione considerate (1, 3, 6, 12 e 24 ore), secondo l'espressione:

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

Dove i parametri  $a$  e  $n$  sono dipendenti dalla zona e sono stati ricavati approssimativamente tramite le seguenti mappe:

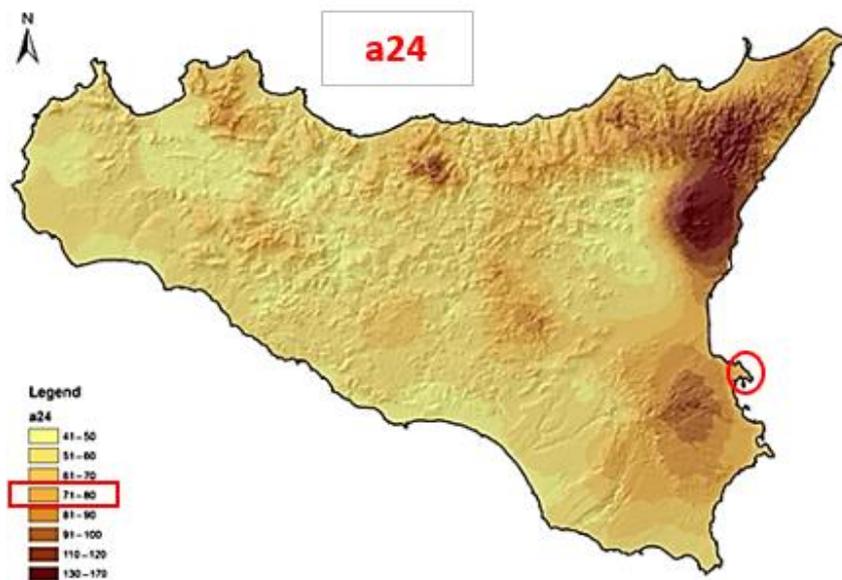


Figura 10 – Valori dei coefficienti  $a$  per il territorio siciliano (Forestieri, Lo Conti et al., 2018)

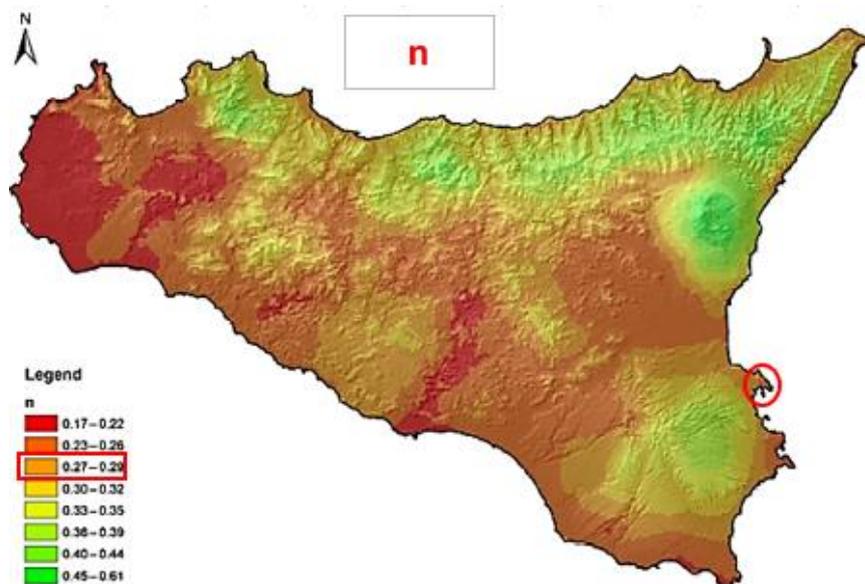


Figura 11 – Mappatura del parametro  $n$  in funzione della zona

I valori utilizzati per la zona in esame sono:

<b>a24</b>	<b>n</b>
75.5	0.28

### 3.5 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.

È 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.

## 4 RISULTATI

Si riportano di seguito i parametri delle curve di possibilità pluviometriche della Stazione di Augusta, elaborati con il metodo di Gumbel, con il Metodo VAPI e con gli studi riportati del 2007 e del 2018, per durate superiori e inferiori all'ora.

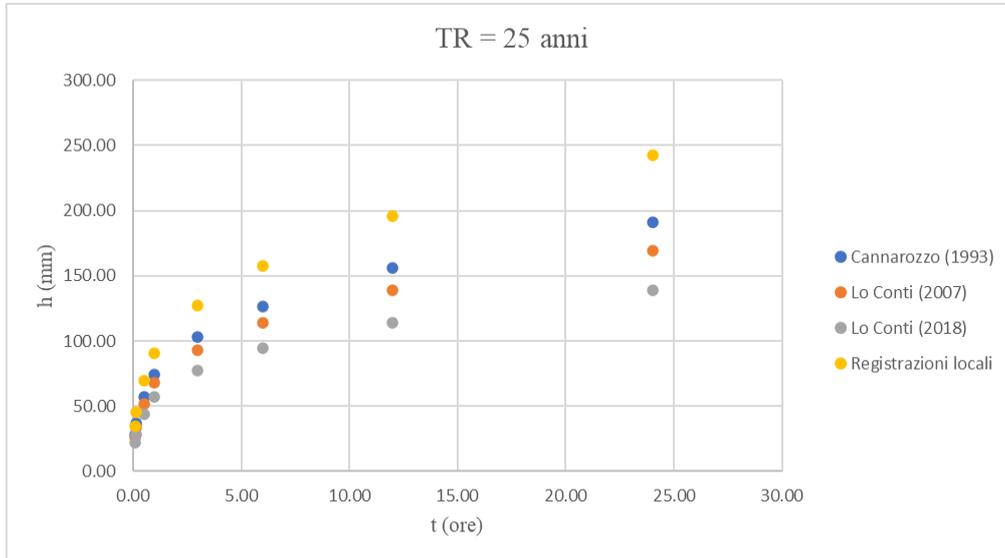
**Tabella 3 - Sintesi dei parametri di pioggia per durate superiori all'ora**

TR	VAPI - Cannarozzo (1993)		Lo Conti (2007)		Lo Conti (2018)		Elaborazione delle registrazioni locali	
	a	n	a	n	a	n	a	n
anni	mm/hn	-	mm/hn	-	mm/hn	-	mm/hn	-
25	74.38	0.298	68.06	0.287	54.89	0.28	90.66	0.310
30	77.49	0.298	71.05	0.287	57.06	0.28	90.02	0.313
50	86.22	0.298	79.42	0.287	66.98	0.28	103.38	0.316
100	98.07	0.298	90.78	0.287	85.27	0.28	115.99	0.320
200	109.91	0.298	102.14	0.287	93.03	0.28	128.56	0.323

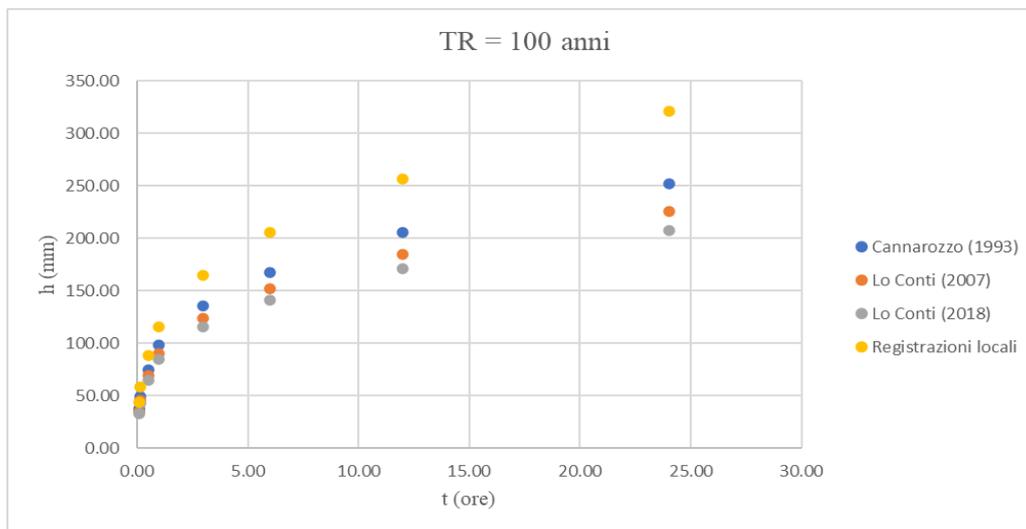
**Tabella 4 - Sintesi dei parametri di pioggia per durate inferiori all'ora**

TR	VAPI - Cannarozzo (1993)		Lo Conti (2007)		Lo Conti (2018)		Elaborazione delle registrazioni locali	
	a	n	a	n	a	n	a	n
anni	mm/hn	-	mm/hn	-	mm/hn	-	mm/hn	-
25	74.38	0.386	68.06	0.386	54.89	0.386	90.66	0.386
30	77.49	0.386	71.05	0.386	57.06	0.386	90.02	0.386
50	86.22	0.386	79.42	0.386	66.98	0.386	103.38	0.386
100	98.07	0.386	90.78	0.386	85.27	0.386	115.99	0.386
200	109.91	0.386	102.14	0.386	93.03	0.386	128.56	0.386

Ai fini del presente studio idrologico, a favore di sicurezza, sono state adottate le curve di possibilità pluviometrica ottenute tramite elaborazione delle registrazioni locali, in quanto restituiscono valori maggiori rispetto a quelli ottenuti tramite l'applicazione della metodologia VAPI.



**Figura 12 - Altezze di pioggia calcolate tramite diversi approcci per TR = 25 anni**



**Figura 13 - Altezze di pioggia calcolate tramite diversi approcci per TR = 100 anni**

#### 4.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Le curve di possibilità pluviometrica ottenute tramite elaborazione delle registrazioni locali sono quelle più cautelative. Di seguito si riporta la sintesi dei risultati ottenuti.

TR	Elaborazione delle registrazioni locali			
	d > 1 ora		d < 1 ora	
	a	n	a	n
-	mm/hn	-	mm/hn	-
25	90.66	0.310	90.66	0.386
30	90.02	0.313	90.02	0.386
50	103.38	0.316	103.38	0.386
100	115.99	0.320	115.99	0.386
200	128.56	0.323	128.56	0.386

Tabella 5 - Curve di possibilità pluviometrica - Elaborazione delle registrazioni locali

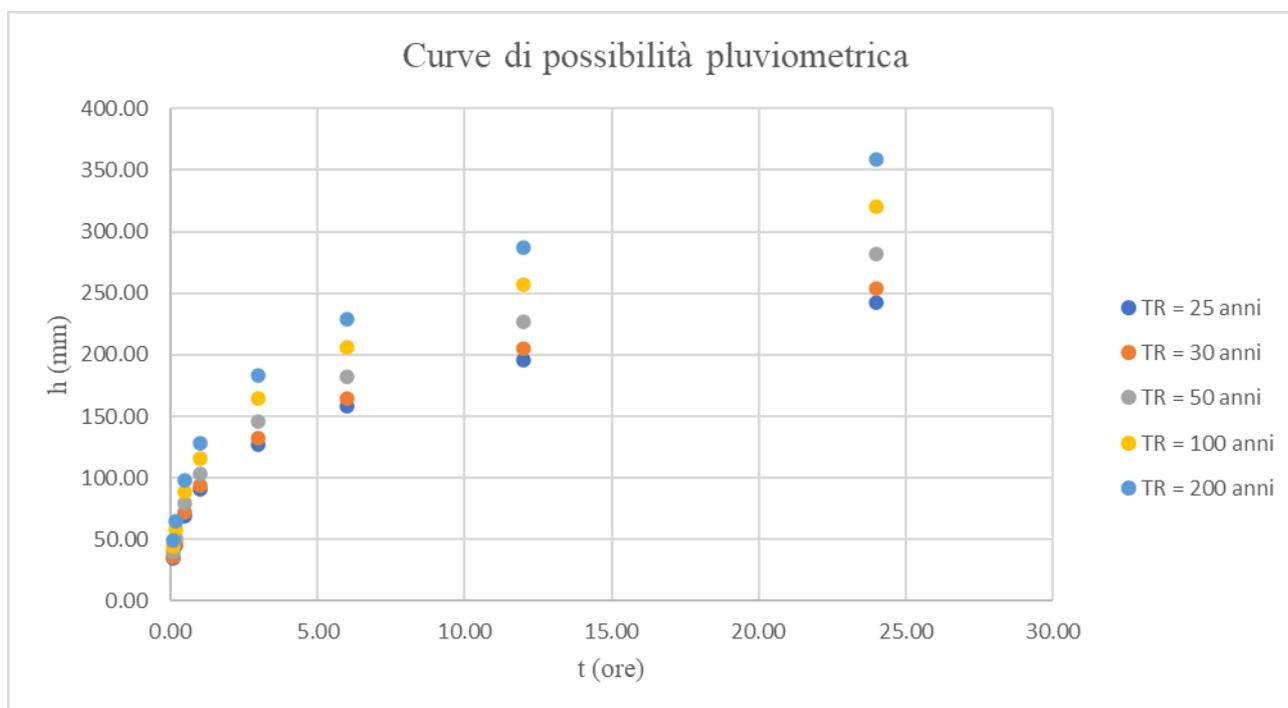


Figura 14 – Altezze di pioggia - Elaborazione delle registrazioni locali

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>PORTO DI AUGUSTA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RIID0001001	REV. B

## APPENDICE A

### IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL

Il primo metodo che verrà utilizzato per l'analisi dei dati di precipitazione è quello di Gumbel, il quale prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta y:

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

si ha la forma canonica:

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

I parametri  $\alpha$  e  $u$  sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Elaborando e ricavando i valori di media e varianza di ogni serie di dati riferiti ad una durata (1, 3, 6, 12, 24 ore di durata) si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

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

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

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

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

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

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

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

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

Otteniamo quindi per  $\alpha$  e  $u$  le espressioni:

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

Avendo posto  $S_h$  la deviazione standard e  $m_h$  la media del campione di dati.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## MODELLO PROBABILISTICO TCEV (VAPI)

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

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

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

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

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

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

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

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:

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

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  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  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee 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  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di

asimmetria teorico dipende da  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

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

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

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

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti.

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

#### I° Livello di regionalizzazione:

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

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

#### II° Livello di regionalizzazione

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

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

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

#### III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse. Infatti la



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RIID0001001	B	26 di 28

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:

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



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

PORTO DI AUGUSTA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RIID0001001	B	27 di 28

## APPENDICE B

### ALTEZZE DI PIOGGIA ANNUALI MASSIME

#### RELATIVE A 1,3,6,12,24 ORE

Dati Ufficiali rilevati dagli annali idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico  
Stazione Pluviom

del Ministero dei LL.PP.

**AUGUSTA**

Ba ANAPO

Provi **SIRACUSA**

Altitud **15,00**

(m.s.m.)

ANNO	INTERVALLO DI ORE				
	1 [mm]	3 [mm]	6 [mm]	12 [mm]	24 [mm]
1951	38,00	75,40	107,60	203,40	280,40
1952	40,00	78,00	83,20	83,40	83,40
1953	82,80	84,60	91,60	102,40	158,20
1954	28,80	50,40	61,20	82,80	95,80
1956	37,60	42,80	46,00	46,00	60,20
1957	61,00	65,80	66,60	66,60	95,80
1958	18,60	27,60	29,40	32,00	36,20
1959	43,20	44,80	66,20	70,40	93,20
1960	26,40	36,00	48,00	59,40	64,60
1961	16,00	22,80	29,80	35,40	40,60
1962	23,20	54,00	65,40	71,20	71,20
1963	67,20	68,00	68,00	71,20	71,40
1964	25,20	47,20	53,40	75,20	88,20
1965	43,80	67,00	83,20	118,80	133,80
1966	38,40	47,20	61,60	62,00	68,60
1967	14,20	14,40	17,40	20,40	38,20
1968	19,60	34,20	36,40	42,00	60,60
1969	33,20	54,40	74,00	114,20	197,40
1970	66,60	188,60	292,60	297,00	299,80
1971	44,60	50,80	64,60	73,20	80,00
1972	17,40	26,80	35,20	52,20	53,80
1974	20,00	21,00	21,40	25,00	29,00

**RELAZIONE IDROLOGICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RIID0001001	B	28 di 28

1975	59,40	103,20	121,00	136,60	138,40
1976	38,00	52,60	54,20	56,00	56,40
1977	40,60	53,60	53,80	67,80	77,40
1978	26,40	38,20	58,20	73,40	76,00
1979	38,60	41,60	43,20	67,00	86,20
1981	43,00	73,40	83,40	84,00	87,40
1983	38,20	45,60	53,80	56,00	72,60
1985	100,00	192,00	261,00	265,40	321,60
1986	31,80	49,60	60,40	82,60	104,40
1989	16,80	23,20	30,60	38,00	44,20
1990	43,80	43,80	53,20	59,00	71,60
1991	55,00	62,40	63,80	63,80	64,00
1993	31,40	32,00	38,40	61,00	93,40
1994	32,00	42,20	44,80	53,00	53,00
1996	45,80	52,40	71,40	78,40	79,80
2003	63,00	92,00	94,20	122,20	138,80
2008	24,80	28,00	48,00	58,80	59,00
2009	36,40	39,40	66,00	67,80	67,80
2010	98,40	99,00	100,40	101,40	101,40
2011	49,00	53,60	66,60	67,20	94,20
2014	41,60	43,40	49,80	58,80	63,20
2015	90,00	127,00	130,00	130,60	148,60
2016	39,60	75,80	89,40	91,80	141,20
Media	41,99	59,24	71,96	83,22	98,69
Massimo	100,00	192,00	292,60	297,00	321,60
Minimo	14,20	14,40	17,40	20,40	29,00
Scarto	20,79	36,46	50,51	53,62	64,14

Anni di  
osservazione n: 45

Visionati gli annali dal 1916 al 2016.

I dati riportati sono quelli presenti nelle pubblicazioni originali.