

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA –CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

Studio idrologico dei corsi d'acqua minori (da Dittaino a S. Palomba, pk 0+000 ÷ 8+900)

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 09 RI ID0001 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	C. Cesali 	Dicembre 2019	F. Cabas 	Dicembre 2019	F. Spasino 	Dicembre 2019	A. Vitozzi 	Dicembre 2019

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e gestioni delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vitozzi
Ordine degli Ingegneri della provincia di Roma
N° A20783

File: RS3E50D09RIID0001002A.docx

n. Elab.: 41

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE	5
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	5
2.2	MORFOLOGIA E IDROGRAFIA	5
2.3	PERICOLOSITÀ IDRAULICA DELL'AREA DI STUDIO	6
3	DEFINIZIONE DEI BACINI E DELLE LORO CARATTERISTICHE	8
3.1	IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA E DEI BACINI	8
4	ANALISI PLUVIOMETRICA	10
4.1	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE	10
4.1.1	<i>Il modello probabilistico TCEV</i>	10
4.1.2	<i>Il modello probabilistico di Gumbel</i>	13
4.2	SCELTA DEI TEMPI DI RITORNO	15
4.3	METODO VAPI SICILIA (PIOGGE)	15
4.4	IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL	19
4.5	DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI CON DURATA INFERIORE ALL'ORA	22
5	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA	23
5.1	IL METODO CINEMATICO O RAZIONALE	23
5.2	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	23
5.3	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	26
5.4	CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO	28
5.4.1	<i>Calcolo delle portate di progetto secondo le CPP da metodologia VAPI Sicilia</i>	28
5.4.2	<i>Calcolo delle portate di progetto secondo le CPP da metodo Gumbel</i>	29
5.4.3	<i>Portate di riferimento per le verifiche idrauliche</i>	29
5.4.4	<i>Idrogrammi di piena per i corsi d'acqua afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16</i>	31
5.4.4.1	<i>Metodo di Nash</i>	31
5.4.4.2	<i>Metodologia generale del P.A.I. della Regione Siciliana</i>	32
5.4.4.3	<i>Idrogrammi di progetto di riferimento</i>	33
5.4.5	<i>Determinazione delle portate per il dimensionamento delle opere provvisionali</i>	35
	BIBLIOGRAFIA	37
	APPENDICE A - DATI DI PIOGGIA	38

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento su ortofoto della linea ferroviaria esistente e in progetto.	5
Figura 2 – Tratto “Dittaino-S.Palomba” (da pk 0+000 a pk 8+900): interferenze con le aree di pericolosità idraulica del P.A.I.	7
Figura 3 – DTM dell’area afferente alla linea ferroviaria Palermo - Catania, Tratto “Dittaino-S.Palomba” (pk 0+000 ÷ 8+900), con individuazione della rete idrografica e dei bacini (in nero).	8
Figura 4 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.	17
Figura 5 – Carta delle iso-a (a) per il territorio siciliano.	18
Figura 6 – Carta delle iso-n (b) per il territorio siciliano.	19
Figura 7 – Stazioni pluviometriche di riferimento e relativi poligoni di Thiessen (in rosso).	21
Figura 8 – Copertura uso del suolo Regione Sicilia nell’area di studio.	27
Figura 9 – Bacino ID = 8: confronto tra gli idrogrammi di piena determinati con differenti metodi di trasformazione “afflussi-deflussi”.	33
Figura 10 – Bacino ID = 8: idrogrammi di piena di progetto.	34
Figura 11 – Bacino ID = 12: idrogrammi di piena di progetto.	34
Figura 12 – Bacino ID = 16: idrogrammi di piena di progetto.	35

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Interferenze nel tratto “Dittaino-S.Palomba” (0+000÷8+900) e caratteristiche dei bacini afferenti.	9
Tabella 2 – Tempi di ritorno.	15
Tabella 3 – Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica con il metodo di Gumbel per le stazioni di riferimento (Raddusa e Valguarnera).....	20
Tabella 4 – Confronto parametri calcolati con parametri riportati nel documento della Protezione Civile.	21
Tabella 5 – Parametri delle CPP per durate inferiori all’ora (tratto “Dittaino-S.Palomba”).	22
Tabella 6 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.	24
Tabella 7 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.	25
Tabella 8 – Tempi di corrivazione determinati con le diverse formulazioni e di progetto.	26
Tabella 9 – Coefficienti di Deflusso (tratto da “La sistemazione dei bacini montani” – Ferro 2006)	27
Tabella 10 – Valori di portata al colmo secondo le CPP da metodologia VAPI.....	28
Tabella 11 – Valori di portata al colmo secondo le CPP da analisi statistica secondo Gumbel delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di riferimento.	29
Tabella 12 – Portate di progetto.....	30
Tabella 13 – Portata di cantiere per i bacini con ID = 8, 12, 16.....	36

1 PREMESSA

Il presente documento è parte della progettazione definitiva della “Tratta Dittaino – Catenanuova – Lotto 5” nell’ambito del più ampio progetto della “Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo – Catania”.

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento sui **corsi d’acqua minori** (viadotti e tombini idraulici), nonché le curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria, nel tratto che si sviluppa dalla pk 0+000 alla pk 8+900, ovvero da Dittaino a S. Palomba.

Per quanto concerne il rimanente tratto, fino alla pk 23+000, ovvero a Catenanuova, si rimanda alla relazione RS3E50D78RIID0001001A, annessa al presente progetto.

Nel dettaglio l’analisi idrologica effettuata è stata eseguita secondo le seguenti fasi:

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle principali interferenze tra la linea ferrovia in progetto e l’idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza del nuovo tracciato ferroviario e studio delle loro caratteristiche morfometriche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l’utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante due differenti modelli statistici:
 - curva probabilistica di Gumbel;
 - metodo VaPi-CNR-piogge per la regione Siciliana(Ferro, 2006).
- calcolo delle massime portate dei bacini idrografici mediante il metodo razionale;
- definizione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento generale dell'area

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

I territori comunali interessati dal tracciato sono quelli di Enna, Assoro, Agira Ramacca, Agira, Regalbuto e Catenanuova.

La tratta ferroviaria del Lotto 5 si sviluppa in destra idrografica del fiume Dittaino, da Dittaino a S. Palomba (da pk 0+000 a pk 8+900), e in sinistra idrografica del medesimo corso d'acqua, da S. Palomba a Catenanuova (da pk 8+900 a 23+000).

Le interferenze con la rete idrografica superficiale (i.e. fossi e valloni minori) sono numerose. Degne di rilievo, oltre all'attraversamento del Fiume Dittaino (alla pk 11+500 circa), sono le interferenze con i suoi diversi sia in destra che in sinistra idrografica.

In Figura 1 è rappresentato l'inquadramento geografico della linea ferroviaria di progetto.



Figura 1 - Inquadramento su ortofoto della linea ferroviaria esistente e in progetto.

2.2 Morfologia e Idrografia

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

Il reticolo fluviale locale ricade, in buona sostanza, nella porzione medio-bassa del bacino imbrifero del F. Dittaino, un importante corso d'acqua a carattere perenne che rappresenta la principale linea di deflusso idrico superficiale dell'area.

Il bacino di tale corso d'acqua si estende per circa 982 km² tra i Monti Erei e la Piana di Catania, fino alla confluenza col Fiume Simeto di cui rappresenta uno dei principali affluenti in destra idrografica. Il bacino comprende i territori provinciali di Catania ed Enna, interessando i comuni di Leonforte, Assoro, Catenanuova, Calascibetta, Enna e Centuripe.

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

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

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

In corrispondenza dei corsi d'acqua principali, e secondariamente lungo gli alvei dei loro affluenti maggiori, si rinvengono vistose scarpate fluviali e zone di erosione laterale delle sponde. Gli alvei secondari mostrano, in generale, una marcata tendenza all'approfondimento mentre, gli alvei più importanti, sono caratterizzati da zone in approfondimento e settori di prevalente deposizione. Ulteriori scarpate fluviali, ormai inattive e fortemente degradate, sono presenti in corrispondenza dei margini esterni dei terrazzi alluvionali più estesi, posti a quote variabili dal fondovalle attuale.

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

2.3 Pericolosità idraulica dell'area di studio

La pericolosità idraulica dell'area di studio è riportata nel Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del bacino idrografico del fiume Simeto il cui ultimo aggiornamento decretato è l'"Aggiornamento 2016" (DPR n.52 del 18/02/2016).

I contenuti del P.A.I. sono stati confrontati con quelli del P.G.R.A. (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni), recentemente approvato con D.P.C.M. 7 marzo 2019.

Nella Relazione del P.A.I. sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che hanno prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, hanno creato condizioni di disagio o allarme.

Dagli elaborati grafici annessi relativi alle carte di pericolosità idraulica si evince come l'infrastruttura ferroviaria di progetto sia in gran parte esterna alla perimetrazione del PAI.

Con riferimento al tratto ferroviario *Dittaino - S. Palomba* (dalla pk 0+000 alla pk 8+900), si segnala l'interferenza con le aree di pericolosità idraulica P3 del F. Dittaino dalla pk 5+750 alla pk 6+750 e con il sito di attenzione alla pk 7+150, in corrispondenza rispettivamente dei viadotti in progetto VI06 e VI07.

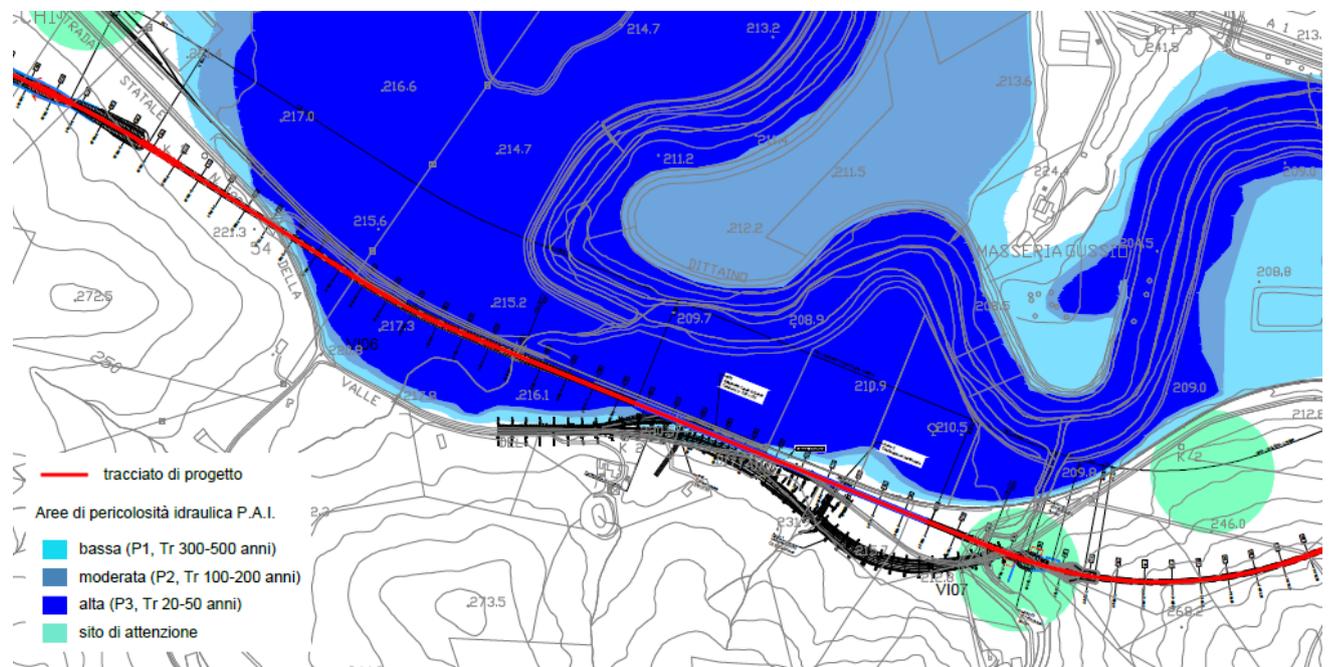


Figura 2 – Tratto “Dittaino-S.Palomba” (da pk 0+000 a pk 8+900): interferenze con le aree di pericolosità idraulica del P.A.I..

Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi RS3E50D09N4ID0002001A, RS3E50D09N4ID0002002A.

3 DEFINIZIONE DEI BACINI E DELLE LORO CARATTERISTICHE

3.1 Identificazione della rete idrografica e dei bacini

Per rappresentare l'andamento plano-altimetrico dell'area di studio è stato utilizzato il DTM (Digital Terrain Model) della Regione Sicilia (volo ATA 2007-2008, aggiornamento volo ATA 2012-2013), di risoluzione pari a 2x2 metri (fonte: http://map.sitr.regione.sicilia.it/ArcGIS/services/DTM_2m/MapServer/WCSServer/).

Sulla base del DTM, utilizzando strumenti GIS, è stata ricostruita la complessa rete idrografica dell'area di intervento e sono stati perimetrati i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto. Nella figura seguente sono riportati i bacini idrografici dei corsi d'acqua minori interferenti, nel tratto "Dittaino – S. Palomba" (pk 0+000 ÷ 8+900) (Figura 3).

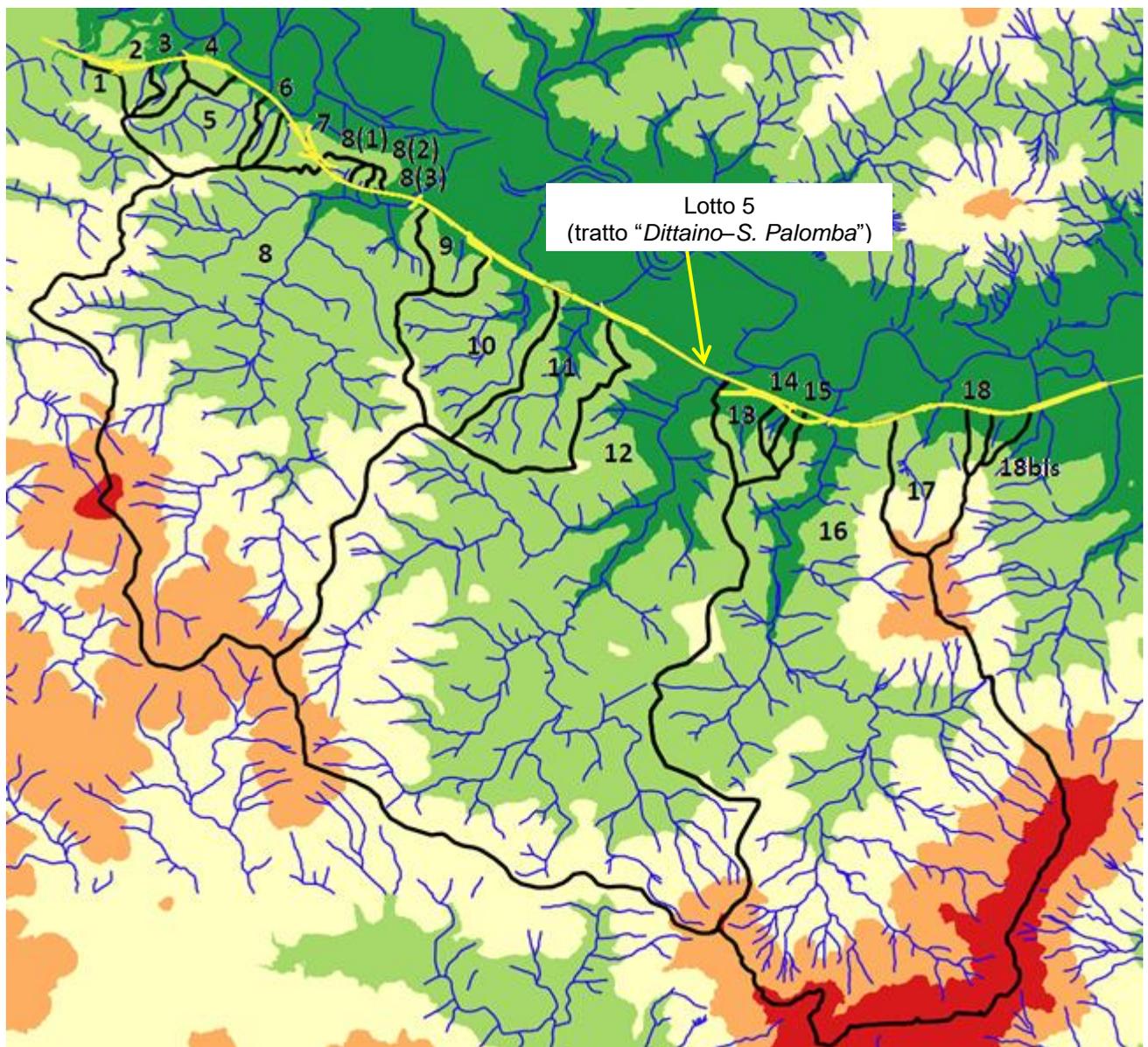


Figura 3 – DTM dell'area afferente alla linea ferroviaria Palermo - Catania, Tratto "Dittaino-S.Palomba" (pk 0+000 ÷ 8+900), con individuazione della rete idrografica e dei bacini (in nero).

Nella tabella seguente sono indicate le interferenze con la linea ferroviaria contraddistinte da un identificativo (ID), la progressiva, i bacini afferenti e le caratteristiche principali di questi ultimi ricavate dal DTM, quali la lunghezza dell'asta principale, la superficie, la quota massima del bacino la quota in corrispondenza della sezione di chiusura, la quota media, la pendenza dell'asta principale e la pendenza media del bacino. Per maggiori dettagli, si rimanda all'elaborato grafico annesso RS3E50D09C4ID0001001A.

Tabella 1 – Interferenze nel tratto “Dittaino-S.Palomba” (0+000÷8+900) e caratteristiche dei bacini afferenti.

ID	Prog.	Lasta	Sup. bacino	H _{max}	H _{min}	H _{media}	i _{asta}	i _{media,bacino}
		[km]	[km ²]	[m.s.m.m.]	[m.s.m.m.]	[m.s.m.m.]	[m/m]	[m/m]
1	0+000	-	0.02	260.23	253.50	255.10	-	0.057
2	0+400	0.35	0.10	335.70	244.90	277.10	0.20	0.21
3	0+650	0.49	0.11	334.10	243.10	272.10	0.10	0.23
4	1+000	-	0.09	298.90	243.90	262.30	-	0.16
5	1+500	1.50	0.64	354.10	244.10	287.20	0.05	0.18
6	1+650	0.49	0.11	308.90	241.80	266.30	0.07	0.12
7	1+800	0.39	0.13	294.90	241.90	268.40	0.08	0.10
8	3+100	6.77	9.47	481.20	233.20	324.90	0.03	0.17
8(1)	2+525	0.21	0.05	290.90	247.40	270.20	0.08	0.19
8(2)	2+650	0.07	0.03	288.60	248.40	266.40	0.16	0.18
8(3)	2+800	0.06	0.02	288.00	243.90	264.50	0.18	0.22
9	3+600	0.46	0.28	283.10	239.20	257.50	0.05	0.10
10	4+300	1.65	1.27	338.90	235.90	274.60	0.04	0.14
11	4+900	1.86	1.07	326.50	228.50	269.90	0.04	0.14
12	6+200	7.51	12.61	456.40	210.90	304.50	0.03	0.15
13	6+525	0.76	0.31	313.30	214.90	249.60	0.07	0.15
14	6+800	0.37	0.07	291.10	215.60	246.10	0.14	0.16
15	6+900	-	0.08	305.10	213.90	251.90	-	0.19
16	7+100	7.30	11.14	517.90	207.70	346.90	0.03	0.19
17	8+125	1.30	0.75	420.70	209.00	310.90	0.13	0.25
18	8+500	-	0.09	350.10	208.50	263.50	-	0.29
18bis	8+750	0.25	0.09	321.40	203.70	235.80	0.22	0.20

4 ANALISI PLUVIOMETRICA

4.1 Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge

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

4.1.1 Il modello probabilistico TCEV

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

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

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 $K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t)$ dove con $\mu(X_t)$ si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di

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

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

4.1.1.1 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

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

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

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

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli, di seguito decritti.

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:

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

4.1.2 Il modello probabilistico di Gumbel

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

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta y :

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

si ha la forma canonica:

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

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

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

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

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

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

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

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

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

La stima dei parametri α 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 α e u le espressioni:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Scelta dei tempi di ritorno

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI) e dalle Norme tecniche delle Costruzioni (NTC 2008). La tabella seguente sintetizza la scelta effettuata per tipologia di opere.

Tabella 2 – Tempi di ritorno.

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e relativa circolare applicativa
Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc)	<ul style="list-style-type: none"> • Piattaforma ferroviaria • TR 100 anni • Deviazioni stradali Tr=25 anni 	-
Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)	<ul style="list-style-type: none"> • linea ferroviaria Tr= 300 anni per $S > 10 \text{ km}^2$ • linea ferroviaria Tr= 200 anni per $S < 10 \text{ km}^2$ • deviazioni stradali Tr=200 anni 	Tr = 200 anni

4.3 Metodo VAPI Sicilia (piogge)

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

I° Livello di regionalizzazione

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

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

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

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione, la Sicilia è suddivisa nelle tre sottozone A, B e C della Figura 4 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:

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

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

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

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

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

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

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

con parametri stimati in accordo alle formulazioni delle diverse sottozone.

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Sottozona A} \quad b_0(t) &= 0.5391 - 0.001635 \cdot t \\ b_1(t) &= 0.0002121 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966 \end{aligned} \quad (3a)$$

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

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

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

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

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

III° Livello di regionalizzazione

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

Confrontando le medie teoriche μ con le medie campionarie m_c si è riscontrato che, per ciascuna durata, i parametri statistici Δ_1 e Θ_1 possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti e per ciascuna stazione è stato riconosciuto il seguente legame di potenza:

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



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

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

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

Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti a e n possono essere stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n rappresentati in Figura 5e Figura 6non essendo stata rilevata alcuna variabilità in funzione dell'altitudine media.

Tutti i bacini idrografici analizzati nel presente studio ricadono nella **sottozona C** rappresentata in Figura 4 e, pertanto, la curva di possibilità pluviometrica è espressa come:

$$h_{t,T_r} = \left[(0.5015 - 0.003516 \cdot t) + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(T_r) \right] \cdot a \cdot t^n \quad (6)$$

nella quale i coefficienti a e n sono stati stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n di Figura 5 e Figura 6.

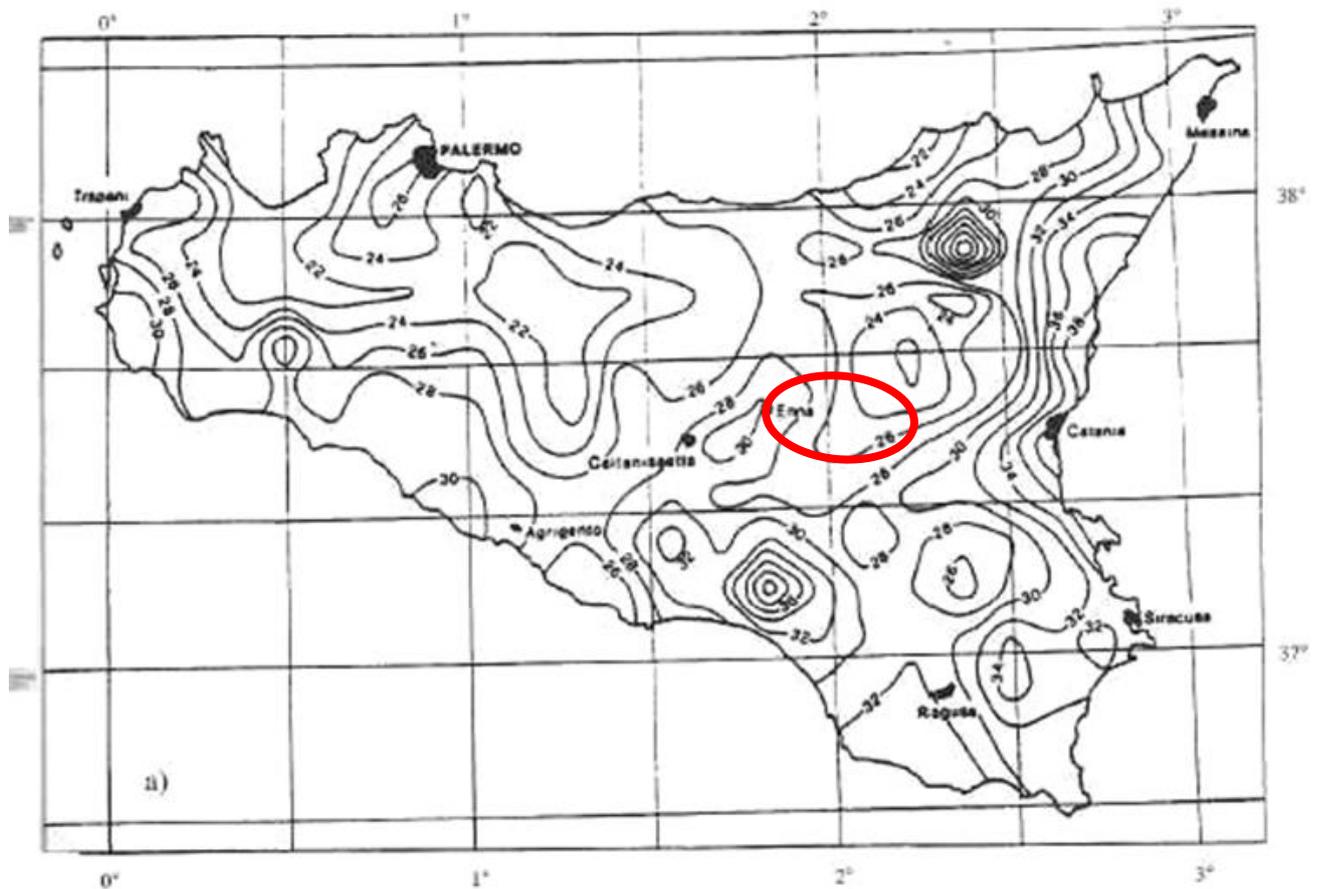


Figura 5 – Carta delle iso- a (a) per il territorio siciliano.

I valori medi di a e n per l'area di studio, da considerare per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di progetto per i bacini oggetto delle analisi riportate nella presente relazione, sono:

$$a = 25 \text{ mm/h}^n$$

$$n = 0.29$$

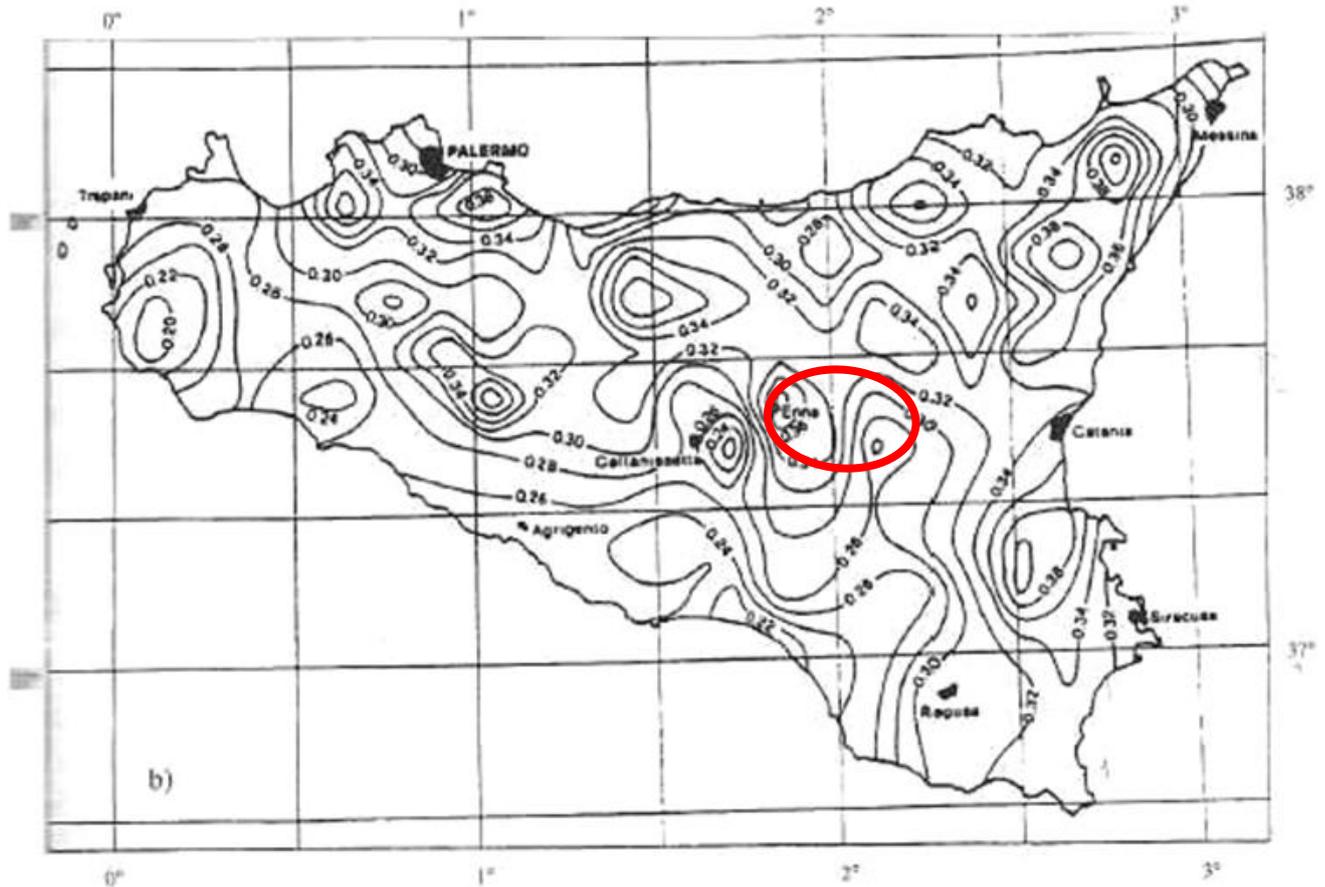


Figura 6 – Carta delle iso-n (b) per il territorio siciliano.

4.4 Il modello probabilistico di Gumbel

Si è proceduto all'identificazione delle stazioni pluviometriche di riferimento per l'area di studio e quindi alla ripartizione del territorio nelle relative zone di competenza.

Per questo scopo, è stato utilizzato il metodo geometrico dei poligoni di Thiessen (o topoiati). Secondo tale approccio, si definisce il punto di mezzeria 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.

In particolare, il volume di pioggia (V_p) caduto all'interno di un poligono di Thiessen o topoiato è uguale all'altezza di precipitazione misurata nella relativa stazione pluviometrica per l'area del poligono. Il volume di pioggia caduto sull'intero bacino sarà quindi fornito dalla somma dei prodotti di cui prima con l'avvertenza che, per quei topoiati che parzialmente ricadono fuori dalla regione in esame, si dovrà considerare solo l'area della porzione del poligono o del topoiato che appartiene al bacino:

$$V_p = \sum_{i=1}^N h_i (\Omega_i \cap S)$$

in cui i è il generico topoieta/poligono di Thiessen; N , il numero dei topoieti; h_i , l'altezza di pioggia misurata nella stazione; Ω_i è l'area del topoieta; S , la superficie del bacino.

Quindi, l'altezza di pioggia (h) ragguagliata all'area può essere dedotta come segue:

$$h = \frac{V_p}{S}$$

Le stazioni di misura di interesse per la presente analisi idrologica (bacini idrografici interferenti nel tratto "Dittaino-S.Palomba", da pk 0+000 a pk 8+900) sono risultate essere le seguenti: Valguarnera e Raddusa.

Nello specifico, i bacini con ID da 1 a 4 ricadono nel topoieta della stazione di Valguarnera; i rimanenti (quelli con ID da 5 a 19) nel topoieta della stazione di Raddusa (Figura 7).

I dati idrologici disponibili (e validati) per l'analisi pluviometrica sono quelli degli Annali Idrologici – Parte Prima; sono stati forniti dall'Autorità di Bacino della Regione Sicilia e sono riportati in Appendice A.

I dati di interesse sono i valori storici di altezza pioggia massima annuale, per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

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

- *Valguarnera* → dati disponibili nel periodo 1928÷2005
- *Raddusa* → dati disponibili nel periodo 1928÷2002

La tabella seguente contiene i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, a ed n , per i tempi di ritorno di 25, 50, 100, 200 e 300 anni.

Tabella 3 – Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica con il metodo di Gumbel per le stazioni di riferimento (Raddusa e Valguarnera).

Tr	<i>Valguarnera</i>		<i>Raddusa</i>	
	a	n	a	n
	[mm/ore ⁿ]		[mm/ore ⁿ]	
25	45.9	0.423	49.3	0.243
50	51.0	0.430	55.9	0.243
100	56.2	0.435	61.6	0.244
200	61.4	0.439	67.7	0.244
300	64.4	0.442	71.2	0.244

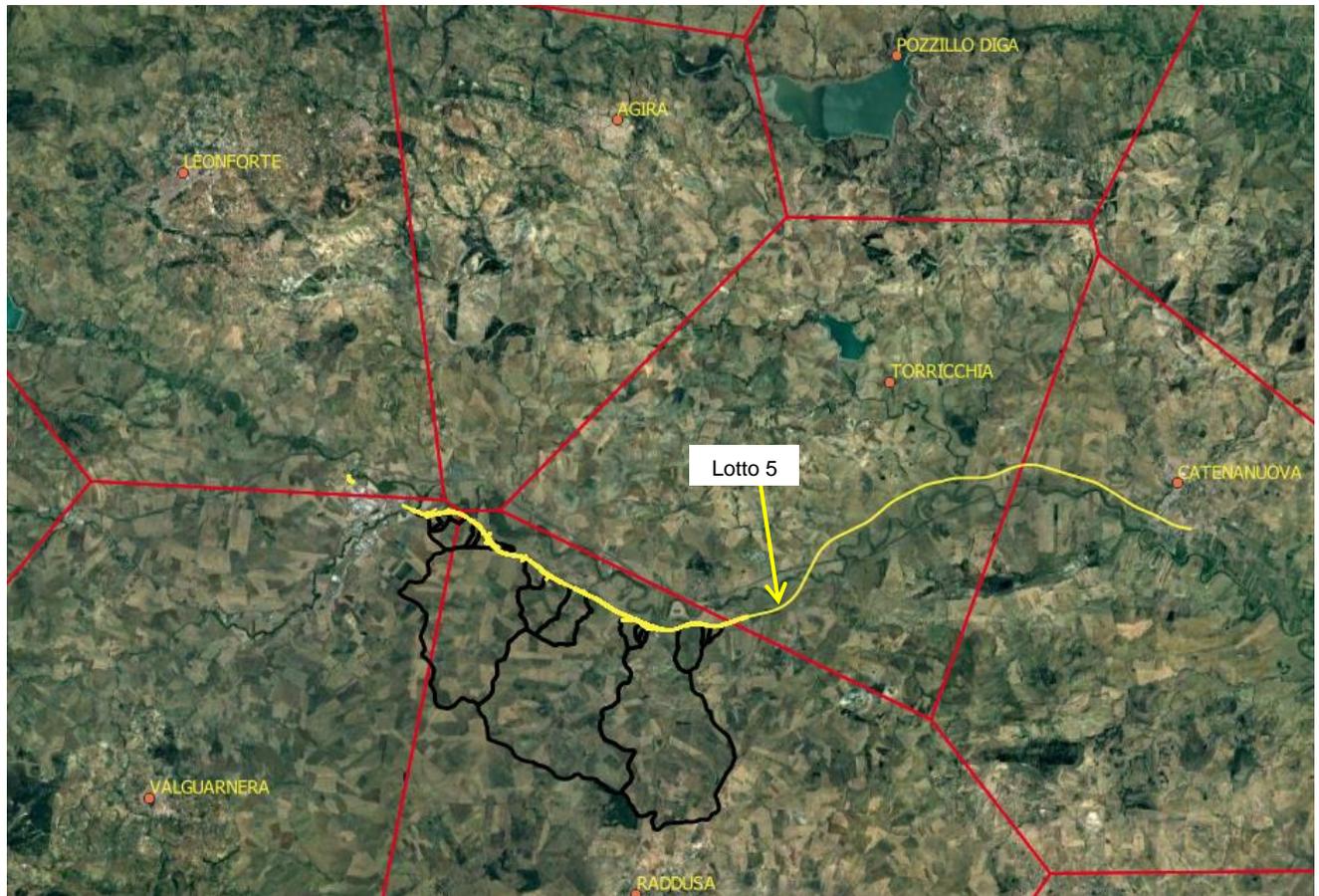


Figura 7 – Stazioni pluviometriche di riferimento e relativi poligoni di Thiessen (in rosso).

I parametri a e n ottenuti dal calcolo sono stati confrontati con quelli contenuti nel documento “Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica del territorio regionale” del Servizio Rischi Idrogeologici ed ambientali della Protezione Civile Siciliana (2010). La tabella seguente riporta per ogni stazione i valori dei parametri a e n calcolati nel presente studio e quelli riportati nel documento sopra citato, per un tempo di ritorno (a titolo di esempio) pari a 200 anni.

Tabella 4 – Confronto parametri calcolati con parametri riportati nel documento della Protezione Civile.

Stazione	a (calcolato) [mm/h ^{n}]	a (da Prot.Civile) [mm/h ^{n}]	n (calcolato)	n (da Prot.Civile)
Valguarnera	61.4	60.2	0.44	0.45
Raddusa	67.7	67.8	0.24	0.25

La tabella mostra come l’analisi statistica dei dati estratti dagli annali idrologici, condotta nella presente relazione, fornisca valori di a e di n del tutto paragonabili con quelli contenuti nel documento di riferimento della Protezione Civile.

4.5 Definizione delle altezze di pioggia per eventi con durata inferiore all'ora

Per gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora la metodologia di riferimento è quella riportata in Ferreri e Ferro (1989).

Nello specifico lo studio condotto da Ferreri e Ferro (1989) ha 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 Tr , è dipendente solo dalla durata t espressa in minuti:

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

con $f(t)$ legame funzionale espresso nella forma:

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

in cui t è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti, s è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame.

Nel caso in oggetto, per la Regione Siciliana il coefficiente s assume il valore di 0.386 (Ferreri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la seguente espressione:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left(\frac{t}{60} \right)^{0.386} \quad (9)$$

Le curve di possibilità pluviometrica derivanti da tale trattazione sono applicate nella determinazione delle portate al colmo dei corsi d'acqua minori (studiati nella presente relazione) con tempo di corrivazione inferiore all'ora, come in seguito precisato, nonché nel dimensionamento dei sistemi di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria, per i tempi di ritorno di 25 e 100 anni, in accordo alle indicazioni riportate nella precedente Tabella 2.

Nello specifico, nella tabella seguente si riportano i parametri da utilizzare per il dimensionamento del drenaggio di piattaforma nel tratto ferroviario "Dittaino-S.Palomba" (pk 0+000÷8+900), dedotti dalle CPP della metodologia VAPI (più cautelativa come dimostrato nel capitolo successivo), opportunamente rielaborate tramite la relazione (9).

Tabella 5 – Parametri delle CPP per durate inferiori all'ora (tratto "Dittaino-S.Palomba").

T_r (anni)	a	n
25	47.83	0.386
100	63.03	0.386

Per maggiori dettagli, si rimanda alle relative relazioni idrauliche di calcolo.

5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

5.1 Il metodo cinematico o razionale

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

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

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

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

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

in cui: Q = portata di piena [m^3/sec];

φ = coefficiente di deflusso;

h = pioggia netta [m];

S = area del bacino [km^2];

τ_c = tempo di corrivazione [ore].

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

5.2 Calcolo del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione, parametro "chiave" quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura. In letteratura sono disponibili differenti formulazioni per la stima di tale parametro; tra queste:

- **Giandotti (1934)**

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

con A = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km^2]; L = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua principale [km]; H_m = quota media del bacino [m s.m.m.]; H_o = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.]

- **Ventura (1905)**

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

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

- **Pasini**

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

- **Pezzoli**

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

- **Kerby**

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

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

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

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

- **Kirpich**

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

con L = estensione del percorso più lungo che deve compiere la singola particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura [km]; i = è la pendenza media del bacino; k = coefficiente di aggiustamento legato alla tipologia di terreno (assunto pari a 2).

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

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

Il tempo di corrivazione di progetto è stato assunto (in via cautelativa) pari al valore minimo ottenuto dall'applicazione delle differenti formulazioni sopra descritte.

Nel caso, tale valore risulti inferiore a 15 minuti (i.e. 0.25 ore), quest'ultimo sarà adottato come tempo di corrivazione di progetto.

Tale scelta discende dalla definizione più generale di tempo di corrivazione, inteso come somma dei tempi di accesso alla rete idrografica (o di ruscellamento) e di percorrenza lungo il reticolo idraulico.

Per il primo (i.e. tempo di accesso alla rete idrografica) si assumono comunemente valori compresi tra 5 e 10 minuti, per tenere conto dell'effetto di invaso che si ha all'inizio della precipitazione (Da Deppo et al. 1993). In presenza di bacini di ridotta estensione non si possono adottare valori inferiori, anche perché in alcuni casi non fisicamente realistici, soprattutto in termini di intensità di pioggia.

Nel caso specifico, l'adozione di un tempo di corrivazione minimo di 15 minuti corrisponde all'assumere un tempo di accesso alla rete idrografica compreso tra 5 e 10 minuti e un tempo di percorrenza lungo l'asta principale pari a L/v , con $v = 1.5$ m/s.

Nella tabella seguente sono indicati, per ognuno dei bacini interferenti nel tratto "Dittaino-S.Palomba" (pk 0+000-8+900), i rispettivi valori del tempo di corrivazione ottenuto con le differenti formulazioni considerate e di progetto.

Tabella 8 – Tempi di corrivazione determinati con le diverse formulazioni e di progetto.

ID	Pk	Tempi di corrivazione [ore]						τ_c
		Giandotti	Kerby	Pasini	Pezzoli	Ventura	Kirpich	progetto
1	0+000	-	-	-	-	0.07	-	0.25
2	0+400	0.39	0.35	0.08	0.04	0.09	0.11	0.25
3	0+650	0.48	0.48	0.13	0.09	0.09	0.13	0.25
4	1+000	-	-	-	-	0.09	-	0.25
5	1+500	1.04	0.96	0.47	0.37	0.24	0.35	0.25
6	1+650	0.52	0.52	0.15	0.10	0.12	0.17	0.25
7	1+800	0.50	0.46	0.14	0.08	0.15	0.15	0.25
8	3+100	2.93	2.22	2.58	2.22	0.95	1.14	0.95
8(1)	2+525	0.32	0.34	0.08	0.04	0.07	0.07	0.25
8(2)	2+650	0.24	0.18	0.03	0.01	0.05	0.03	0.25
8(3)	2+800	0.18	0.16	0.03	0.01	0.04	0.03	0.25
9	3+600	0.82	0.57	0.25	0.12	0.21	0.18	0.25
10	4+300	1.40	1.03	0.65	0.43	0.38	0.42	0.38
11	4+900	1.34	1.13	0.69	0.52	0.35	0.46	0.35
12	6+200	3.29	2.31	2.89	2.42	1.17	1.30	1.17
13	6+525	0.72	0.64	0.25	0.16	0.18	0.22	0.25
14	6+800	0.36	0.40	0.09	0.06	0.08	0.12	0.25
15	6+900	-	-	-	-	0.08	-	0.25
16	7+100	2.57	2.19	2.51	2.16	0.97	1.16	0.97
17	8+125	0.67	0.72	0.30	0.20	0.22	0.28	0.25
18	8+500	-	-	-	-	0.07	-	0.25
18bis	8+750	0.35	0.29	0.07	0.03	0.09	0.08	0.25

5.3 Coefficiente di deflusso

Per la determinazione del coefficiente di deflusso si è fatto riferimento alla monografia “La sistemazione dei bacini montani” di Ferro (2006). Per il caso in esame sono stati utilizzati i coefficienti indicati nella pubblicazione sopra citata e riportati in Tabella 9.

Tali coefficienti sono stati applicati alle classi dell'uso del suolo della Regione Sicilia per l'area di studio (Figura 8).

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

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

Tabella 9 – Coefficienti di Deflusso (tratto da “La sistemazione dei bacini montani” – Ferro 2006) .

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

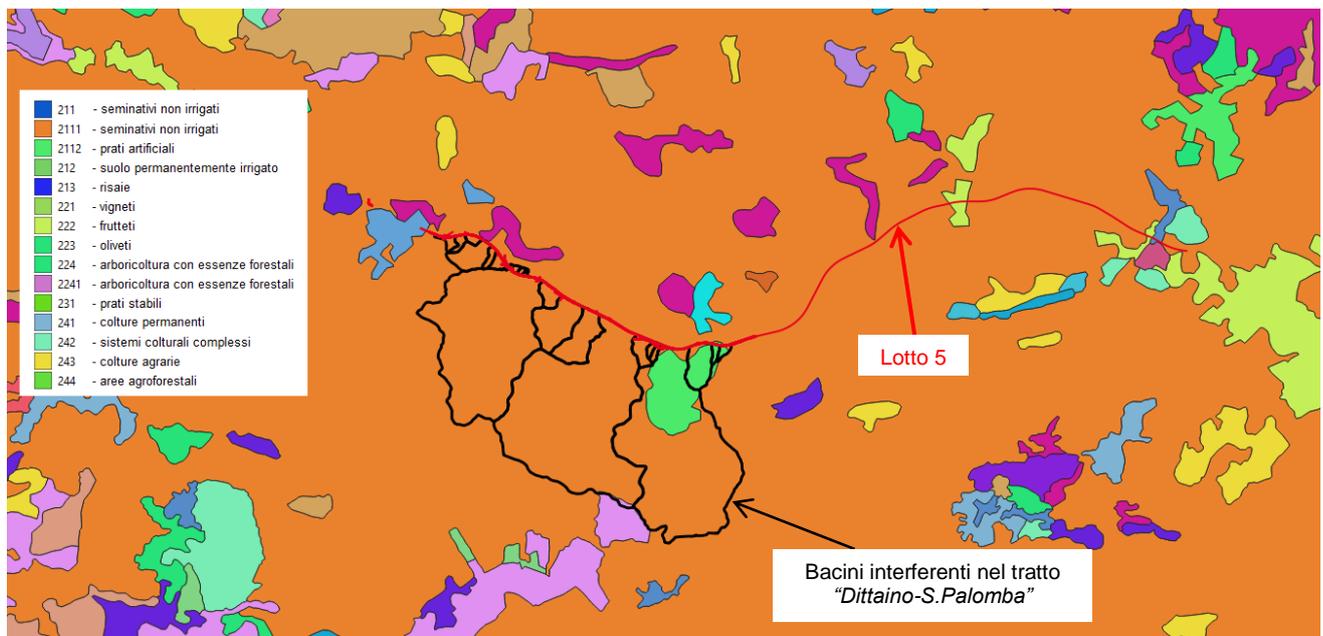


Figura 8 – Copertura uso del suolo Regione Sicilia nell'area di studio.

Dall'analisi della copertura del suolo dei bacini interferenti con la linea ferroviaria in progetto, nel tratto “Dittaino-S.Palomba” (pk 0+000 – 8+900), si evince che le “coltivazioni” costituiscono la tipologia di copertura dominante, da cui, considerando un tipo di suolo “mediamente permeabile”, un coefficiente di deflusso pari a $\varphi = 0.4$.

5.4 Calcolo delle portate di progetto

Il calcolo delle portate di progetto è stato quindi eseguito applicando il metodo razionale e i valori del tempo di corrivazione e del coefficiente di deflusso sopra determinati, considerando le curve di possibilità pluviometrica (CPP) derivanti sia dalla metodologia VAPI Sicilia sia dall'analisi statistica (tramite il metodo di Gumbel) delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di riferimento, opportunamente modificate ricorrendo alla relazione (9) introdotta nel capitolo precedente, proposta da Ferro (2006) per durate (ovvero tempi di corrivazione) inferiori all'ora.

Nello specifico, tale relazione (9) è stata applicata a tutti i bacini considerati nel presente studio, eccetto quelli indentificati con ID = 8, 12, 16, aventi tempi di corrivazione prossimi o superiori all'ora.

5.4.1 Calcolo delle portate di progetto secondo le CPP da metodologia VAPI Sicilia

Nel seguito si riportano i valori di portata al colmo, per i tempi di ritorno di 50, 100, 200, 300 anni, per ognuno dei bacini considerati, secondo le CPP derivanti dalla metodologia VAPI.

Tabella 10 – Valori di portata al colmo secondo le CPP da metodologia VAPI.

ID	Portate di progetto [mc/s] - VAPI			
	Q(Tr)	Q(Tr)	Q(Tr)	Q(Tr)
	50	100	200	300
1	0.226	0.257	0.288	0.306
2	2.306	2.623	2.940	3.125
3	2.648	3.011	3.375	3.588
4	1.239	1.410	1.580	1.679
5	9.185	10.447	11.709	12.447
6	2.360	2.685	3.009	3.199
7	2.670	3.036	3.403	3.618
8	60.495	68.805	77.114	81.975
8(1)	0.729	0.829	0.930	0.988
8(2)	0.436	0.496	0.556	0.591
8(3)	0.293	0.334	0.374	0.398
9	5.516	6.274	7.032	7.475
10	12.308	13.999	15.689	16.678
11	10.929	12.430	13.932	14.810
12	69.612	79.179	88.745	94.341
13	4.539	5.163	5.786	6.151
14	0.980	1.114	1.249	1.328
15	1.095	1.245	1.395	1.483
16	69.899	79.501	89.103	94.720
17	10.756	12.234	13.711	14.576
18	1.257	1.430	1.602	1.703
18bis	2.183	2.483	2.783	2.958

5.4.2 Calcolo delle portate di progetto secondo le CPP da metodo Gumbel

Nel seguito si riportano i valori di portata al colmo, per i tempi di ritorno di 50, 100, 200, 300 anni, per ognuno dei bacini considerati, secondo le CPP derivanti dall'analisi statistica (tramite il metodo di Gumbel) delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di riferimento (i.e. Raddusa e Valguarnera).

Tabella 11 – Valori di portata al colmo secondo le CPP da analisi statistica secondo Gumbel delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di riferimento.

ID	Portate di progetto [mc/s] - Gumbel			
	Q(Tr)	Q(Tr)	Q(Tr)	Q(Tr)
	50	100	200	300
1	0.204	0.229	0.250	0.263
2	2.081	2.339	2.555	2.680
3	2.389	2.685	2.934	3.077
4	1.118	1.257	1.373	1.440
5	9.266	10.294	11.322	11.918
6	2.381	2.645	2.909	3.063
7	2.693	2.992	3.290	3.464
8	61.176	67.962	74.747	78.687
8(1)	0.736	0.817	0.899	0.946
8(2)	0.440	0.489	0.538	0.566
8(3)	0.296	0.329	0.362	0.381
9	5.565	6.182	6.799	7.158
10	12.416	13.793	15.170	15.970
11	11.025	12.248	13.471	14.181
12	69.721	77.454	85.187	89.678
13	4.579	5.087	5.595	5.890
14	0.988	1.098	1.208	1.271
15	1.104	1.227	1.349	1.420
16	70.601	78.432	86.262	90.809
17	10.851	12.054	13.258	13.957
18	1.268	1.409	1.549	1.631
18bis	2.202	2.447	2.691	2.833

5.4.3 Portate di riferimento per le verifiche idrauliche

Le portate di riferimento da utilizzare nelle verifiche idrauliche delle opere di attraversamento sono quelle massime ottenute dall'applicazione delle CPP derivanti dalla metodologia VAPI e dal metodo di Gumbel per la determinazione delle altezze di pioggia.

Nello specifico, sono risultate più cautelative le CPP derivanti dalla metodologia VAPI Sicilia.

In conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI), nonché dalle NTC2008, il tempo di ritorno da utilizzare è $Tr = 200$ anni per i bacini con estensione inferiore a 10 km² e $Tr = 300$ anni per i bacini con estensione superiore a 10 km².

Nello specifico, per tutti i bacini considerati, il tempo di ritorno di progetto è $Tr = 200$ anni, eccetto per i bacini con ID = 8, 12, 16 per i quali il tempo di ritorno di riferimento è $Tr = 300$ anni.

Tabella 12 – Portate di progetto

ID	Portate di progetto [mc/s]			
	$Q(Tr)$	$Q(Tr)$	$Q(Tr)$	$Q(Tr)$
	50	100	200	300
1	0.226	0.257	0.288	0.306
2	2.306	2.623	2.940	3.125
3	2.648	3.011	3.375	3.588
4	1.239	1.410	1.580	1.679
5	9.266	10.447	11.709	12.447
6	2.381	2.685	3.009	3.199
7	2.693	3.036	3.403	3.618
8	61.176	68.805	77.114	81.975
8(1)	0.736	0.829	0.930	0.988
8(2)	0.440	0.496	0.556	0.591
8(3)	0.296	0.334	0.374	0.398
9	5.565	6.274	7.032	7.475
10	12.416	13.999	15.689	16.678
11	11.025	12.430	13.932	14.810
12	69.721	79.179	88.745	94.341
13	4.579	5.163	5.786	6.151
14	0.988	1.114	1.249	1.328
15	1.104	1.245	1.395	1.483
16	70.601	79.501	89.103	94.720
17	10.851	12.234	13.711	14.576
18	1.268	1.430	1.602	1.703
18bis	2.202	2.483	2.783	2.958

Per quanto concerne le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua minori afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16, si rimanda alla relazione RS3E50D09RIID0002001A; per i rimanenti corsi d'acqua minori, si rimanda invece all'elaborato RS3E50D29RIID0002001A.

Per i corsi d'acqua minori afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16, vista la maggiore estensione (rispetto agli altri corsi d'acqua) e l'interferenza delle relative opere di attraversamento in progetto con le aree di pericolosità idraulica P.A.I. del Fiume Dittaino (come osservato in precedenza), è stato sviluppato

un modello numerico (idraulico) bidimensionale, al fine di determinarne le aree potenzialmente inondabili.

Nello specifico, tali corsi d'acqua sono stati implementati nel modello 2D (in regime di moto vario) del Fiume Dittaino, come descritto in dettaglio nella sopra citata relazione idraulica (elaborato RS3E50D09RIID0002001A).

A tale scopo, per i corsi d'acqua minori afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16, si è proceduto alla determinazione degli idrogrammi di piena di progetto, per i vari tempi di ritorno considerati.

5.4.4 Idrogrammi di piena per i corsi d'acqua afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16

Per la determinazione degli idrogrammi di piena di progetto dei corsi d'acqua minori afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16, da inserire nel modello 2D del Fiume Dittaino, si è fatto riferimento ai seguenti metodi di trasformazione "afflussi-deflussi":

- metodo di Nash
- metodologia generale del P.A.I. della Regione Siciliana

Tali metodi sono stati applicati considerando le CPP derivanti dal metodo VAPI Sicilia (risultate più cautelative, come dimostrato in precedenza).

5.4.4.1 Metodo di Nash

Il modello di Nash descrive il comportamento di un bacino idrografico mediante un numero n (parametro di forma) di invasi disposti in serie ciascuno dei quali caratterizzato da una stessa costante k (parametro di scala) di invaso. La funzione che descrive l'andamento dell'idrogramma è la seguente:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{n-1} e^{-t/k}}{k (n-1)!}$$

Ricorrendo ad una astrazione matematica, il modello di Nash può essere esteso al caso in cui il numero di serbatoi disposti in serie sia un numero reale. In tal caso la funzione fattoriale $(n-1)!$ viene sostituita con la funzione Gamma $\Gamma(\alpha)$ e la funzione $U(t)$ diventa:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k \Gamma(\alpha)}$$

Il tempo di ritardo ed il tempo di picco risultano pari a:

$$t_L = \alpha k \quad t_p = (\alpha - 1)k$$

Pertanto, ai fini della determinazione della portata al colmo e del relativo idrogramma unitario adimensionale, l'applicazione del modello di Nash richiede la conoscenza dei due parametri α (parametro di forma) e k (parametro di scala) legati al tempo di ritardo.

Per la stima di questi parametri è possibile procedere con diversi metodi, sfruttando i numerosi modelli geomorfologici disponibili in letteratura (Rodriguez et al. 1979, Rosso 1984), che sfruttano le caratteristiche del reticolo idrografico opportunamente analizzato secondo varie regole di classificazione (Strahler 1952), o più semplicemente ricorrendo alle espressioni che li correlano al più noto parametro idrologico ovvero il tempo di corrivazione del bacino. Nella maggior parte dei casi, il parametro di forma n risulta compreso tra 2 e 3, mentre il valore del parametro di scala può essere valutato come $k = \tau_c/5$. Nel caso in esame, vista la conformazione bacini in esame, sono stati adottati i seguenti parametri: $n = 2$, $k = \tau_c/5$. Inoltre, si è assunto quale pioggia di progetto uno ietogramma di tipo rettangolare con durata pari al tempo di corrivazione; la depurazione delle piogge lorde è avvenuta applicando il coefficiente di deflusso sopra determinato ($\varphi = 0.4$).

5.4.4.2 Metodologia generale del P.A.I. della Regione Siciliana

Con riferimento alla “Relazione Generale” del P.A.I. – Regione Siciliana (2004), il calcolo degli idrogrammi di piena è stato effettuato con il metodo della corrivazione, applicando una curva “aree-tempi” non lineare. Tale curva “aree-tempi” può essere ricavata da strumenti GIS sulla base di un DTM di dettaglio oppure ricorrendo alla seguente formulazione, riportata in HEC-HMS (software utilizzato nell’ambito degli studi del P.A.I.):

$$\begin{cases} \frac{A(t)}{A_b} = \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & \text{per } t \leq \frac{\tau_c}{2} \\ \frac{A(t)}{A_b} = 1 - \sqrt{2} \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & \text{per } t > \frac{\tau_c}{2} \end{cases}$$

con $A(t)$ = area contribuyente del bacino al tempo t , A_b = area totale del bacino; τ_c = tempo di corrivazione. Determinata la curva “aree-tempi” (nel caso specifico, ricorrendo alla formulazione sopra introdotta), riportante in ascisse il valore del tempo di concentrazione e in ordinata il valore dell’area che contribuisce al deflusso superficiale al tempo t (per $t=\tau_c$, $A(\tau_c) = A$), l’idrogramma uscente attraverso la sezione di chiusura del bacino in esame è dato dall’integrale di convoluzione tra l’intensità di pioggia netta $p(t)$ (ottenuta, nel caso in esame, depurando la pioggia lorda sulla base del coefficiente di deflusso, $\varphi = 0.4$, sopra determinato) e la funzione idrogramma unitario istantaneo (IUH), secondo la seguente espressione:

$$u(t) = \frac{1}{A} \frac{dA(t)}{dt}$$

L’idrogramma alla sezione di chiusura è dato quindi da:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau)u(t - \tau)d\tau = p(t)u(t)$$

Tale espressione, formulata in termini discreti, assume la seguente forma:

$$Q_k = \frac{1}{A} \sum_{m=1}^k p_m \Delta A_{k-m+1}$$

con $\Delta A_n = A_n - A_{n-1}$.

Quale pioggia di progetto, la metodologia del PAI prevede l’applicazione di uno ietogramma di tipo “Chicago”, centrato, con durata critica pari al tempo di corrivazione del bacino in esame.

5.4.4.3 Idrogrammi di progetto di riferimento

Il confronto tra i risultati ottenuti implementando, tramite il software URBIS, i due metodi di trasformazione “*afflussi-deflussi*” considerati mostra che la metodologia più cautelativa (in termini di portata al colmo) è quella riportata e adottata nel P.A.I. Sicilia.

A titolo di esempio, nella figura seguente si riportano (a confronto) gli idrogrammi di piena, per $Tr = 300$ anni, relativi al bacino con ID = 8, alla sezione di chiusura collocata in corrispondenza dell'opera di attraversamento in progetto (viadotto VI03), determinati con i due metodi sopra adottati.

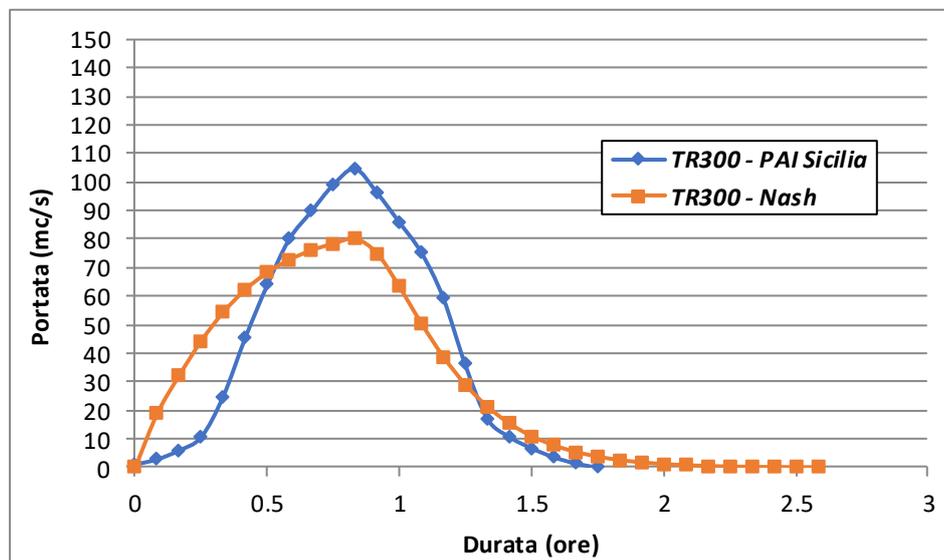


Figura 9 – Bacino ID = 8: confronto tra gli idrogrammi di piena determinati con differenti metodi di trasformazione “*afflussi-deflussi*”.

Nelle figure seguenti, si riportano quindi gli idrogrammi di piena di riferimento (da inserire nel modello numerico 2D), con le relative portate al colmo, per i differenti tempi di ritorno considerati, determinati secondo la metodologia generale del PAI Sicilia, per i tre corsi d'acqua minori afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16.

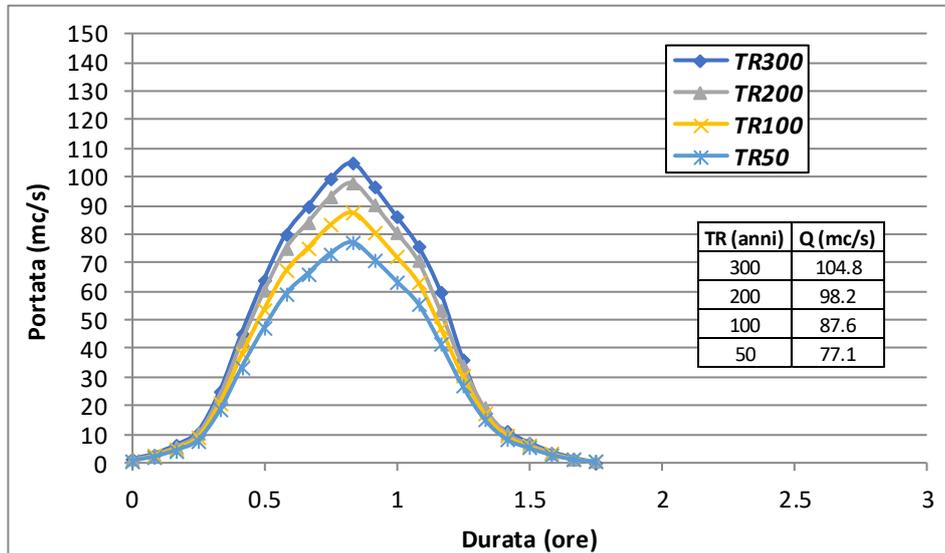


Figura 10 – Bacino ID = 8: idrogrammi di piena di progetto.

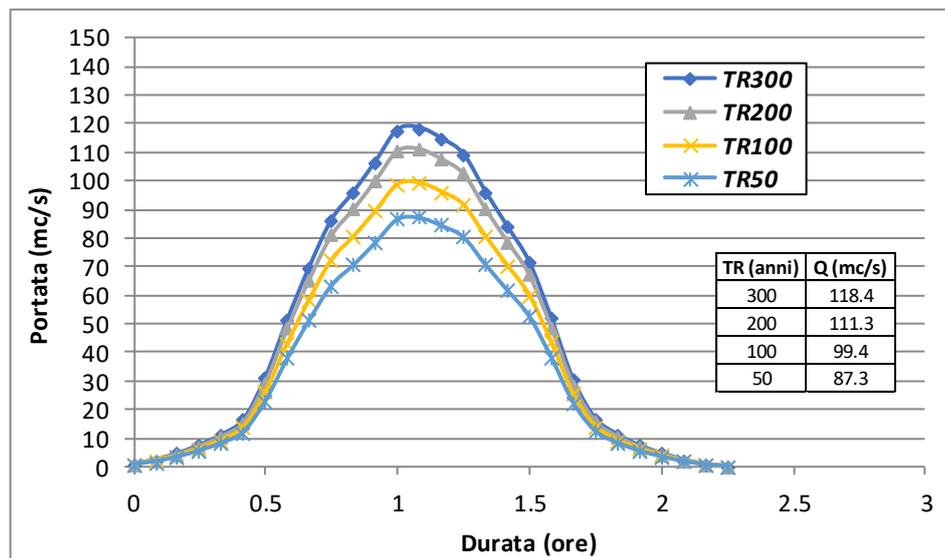


Figura 11 – Bacino ID = 12: idrogrammi di piena di progetto.

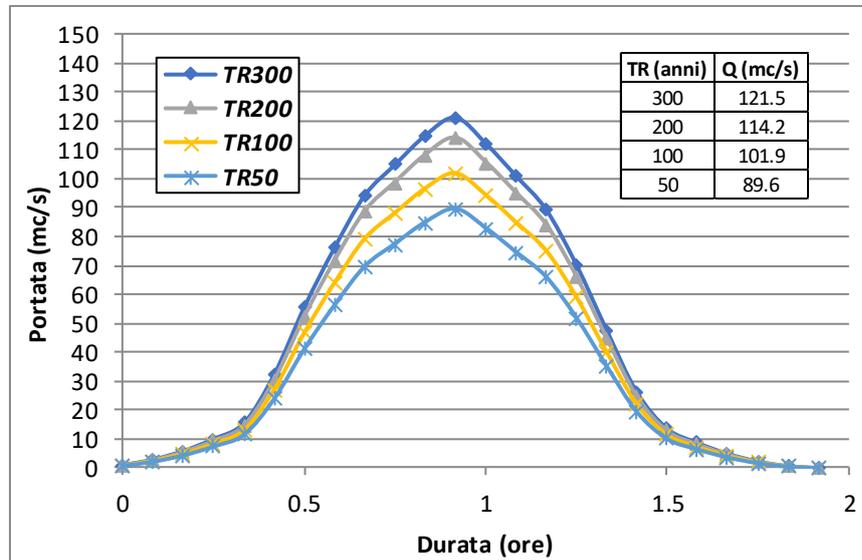


Figura 12 – Bacino ID = 16: idrogrammi di piena di progetto.

5.4.5 Determinazione delle portate per il dimensionamento delle opere provvisionali

Durante la costruzione delle opere, cioè prima che le stesse abbiano raggiunto il loro assetto definitivo, si pone il problema della definizione del periodo di ritorno al quale fare riferimento, per il dimensionamento delle eventuali opere provvisionali del periodo transitorio.

L'importanza dell'opera, la durata della sua esecuzione, l'ambiente di lavoro o i possibili impatti possono poi suggerire quale debba essere l'approfondimento necessario per valutare il grado di rischio accettabile durante la costruzione.

Con riferimento alla metodologia dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (Direttiva n.2/1999), l'assegnazione del periodo di ritorno T_r della portata di progetto per il dimensionamento di un'opera idraulica, e quindi al controllo di un definito evento limite, comporta l'assunzione di un definito grado di rischio.

La misura del rischio cui l'opera è esposta può calcolarsi definendo, prefissato T_r , la durata della vita dell'opera; o meglio, la durata della vite dell'opera: per esempio, l'opera fondamentale, prima; quelle provvisionali, poi.

Il rischio $R(N)$, se N è il numero di anni che misura la durata della vita utile dell'opera, per un definito T_r , si esprime mediante la seguente relazione:

$$R(N) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^N$$

Con riferimento ai tre corsi d'acqua afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16, il tempo di ritorno di progetto è $T_r = 300$ anni, come definito in precedenza; la durata della vita utile delle relative opere di attraversamento in progetto (i.e. viadotti VI03, VI06, VI07) è fissata in $N = 112.5$ anni, da cui un rischio o probabilità di superamento dell'evento di piena pari a $R = 0.30$.

Assunta una durata della fase transitoria pari a D (nel caso specifico, 1.5 anni), il tempo di ritorno di riferimento può calcolarsi quindi come:

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - R(N))^{1/D}} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^{N/D}}$$

da cui, per $R = 0.30$, **$T_r = 5$ anni**. Quest'ultimo rappresenta quindi il tempo di ritorno di riferimento da adottare per il calcolo delle portate di piena, durante le fasi di cantiere, sui tre corsi d'acqua afferenti ai bacini con ID = 8, 12, 16.

Nella tabella seguente, sono indicati i valori della portata con $T_r = 5$ anni per i tre corsi d'acqua suddetti, determinati con le metodologie sopra esposte (nello specifico, VAPI).

Tabella 13 – Portata di cantiere per i bacini con ID = 8, 12, 16.

ID	$Q(T_r= 5 \text{ anni})$ [mc/s]
8	41.4
12	47.5
16	48.7

Per l'eventuale valutazione delle portate di cantiere per i rimanenti corsi d'acqua minori si rimanda alla relazione idraulica annessa (elaborato RS3E50D29RIID0002001A).

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.
- Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.
- Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.
- Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.
- G. Ferreri, V. Ferro, Una espressione monomia della curva di probabilità pluviometrica, per durate inferiori all'ora, valida nel territorio siciliano. Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo, 1-2, 1989
- Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.
- Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.
- Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.
- Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977
- Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.
- Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).
- Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino Idrografico del Fiume Simeto, Area Territoriale tra il bacino del Fiume Simeto e il bacino del Fiume San Leonardo, Lago di Pergusa, Lago di Maletto – Relazione*, 2005.
- Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale*, 2004.
- Regione Siciliana, Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), *Annali Idrologici*, disponibili presso www.osservatorioacque.it.
- Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.
- VenTe Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.

APPENDICE A - DATI DI PIOGGIA

2960 - VALGUARNERA

Anno	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
	Pioggia	Data								
1928	32,0	30/01	60,2	29/01	79,2	10/12	119,2	29/01	188,6	10/01
1929	19,0	28/10	38,6	28/10	41,4	28/10	41,8	28/10	49,8	26/03
1930	39,0	18/12	89,0	18/12	112,8	18/12	180,0	18/12	200,6	18/12
1931	28,4	21/02	63,6	21/02	102,2	21/02	151,0	21/02	230,6	21/02
1932	22,6	08/11	43,6	21/11	75,0	21/11	91,0	20/11	106,0	20/11
1933	23,6	03/08	34,0	01/12	42,0	01/12	82,0	01/12	148,0	30/11
1934	32,2	26/03	40,4	26/03	48,2	26/03	53,2	17/10	59,8	17/10
1935	42,0	15/09	45,2	15/09	57,0	12/03	101,0	12/03	144,0	12/03
1939	17,0	27/09	40,0	27/09	76,0	27/09	87,4	27/09	102,0	27/09
1941	20,8	01/11	37,0	01/11	61,6	01/11	121,0	01/11	127,2	01/11
1942	26,0	08/12	46,0	17/02	63,6	08/12	78,4	08/12	123,8	23/12
1956	21,0	21/11	27,6	21/11	42,4	21/11	55,2	21/11	56,4	17/02
1957	18,8	07/11	27,8	07/11	29,6	07/11	50,2	22/01	79,2	22/01
1958	34,6	06/11	57,6	06/11	77,4	06/11	96,8	06/11	105,0	06/11
1959	28,4	19/09	41,6	19/09	43,8	13/11	56,6	12/11	80,2	12/11
1960	17,4	08/05	21,6	11/01	28,6	09/12	33,6	09/12	45,6	06/12
1961	21,2	18/06	22,6	18/06	29,6	14/01	38,0	14/01	52,2	14/01
1962	22,0	07/10	31,4	14/03	43,4	14/03	50,4	14/03	59,8	14/03
1963	28,0	16/09	36,0	10/12	47,6	10/12	61,0	10/12	82,4	10/12
1964	49,0	09/06	63,2	09/06	63,2	09/06	111,6	11/04	129,8	11/04
1968	27,4	04/11	27,6	04/11	27,6	04/11	30,8	20/01	36,6	20/01
1969	15,0	09/03	31,2	09/03	37,6	09/03	44,2	03/03	54,0	23/09

VALGUARNERA.txt

1970	28,2	16/10	41,8	16/10	52,8	16/10	67,0	16/10	67,2	16/10
1971	24,4	01/10	52,6	01/10	58,4	01/10	58,6	01/10	71,6	27/11
1972	19,6	14/12	27,6	14/12	33,6	14/12	61,4	31/12	115,8	31/12
1973	18,4	30/07	42,2	01/01	63,6	01/01	91,6	01/01	137,0	01/01
1974	19,6	25/09	20,2	23/02	26,4	23/02	31,0	23/02	47,2	05/11
1975	20,0	11/12	29,6	16/10	39,6	16/10	44,0	05/02	53,8	05/02
1976	35,4	25/10	67,0	25/10	89,2	25/10	90,4	25/10	124,2	25/10
1977	24,4	06/09	36,6	23/01	38,8	23/01	41,2	23/01	41,2	23/01
1978	40,0	20/10	44,6	20/10	63,2	20/10	64,0	20/10	64,8	20/10
1979	18,6	16/04	26,2	29/10	30,4	16/04	39,6	25/10	59,8	25/10
1980	19,6	06/03	49,8	06/03	84,2	06/03	109,2	05/03	118,6	05/03
1981	22,0	19/08	24,0	19/08	24,0	19/08	25,8	03/12	39,8	03/12
1982	26,0	14/09	31,8	28/10	38,8	28/10	50,6	28/10	71,8	28/10
1983	27,6	08/10	41,2	08/10	41,2	08/10	41,6	22/11	56,4	22/11
1985	16,8	28/10	23,8	16/01	35,8	16/01	55,4	16/01	89,6	16/01
1986	24,2	10/10	24,4	10/10	24,4	10/10	34,4	07/03	41,2	06/03
1987	51,4	23/08	76,8	30/06	82,4	30/06	82,8	30/06	83,6	30/06
1988	31,4	08/08	31,6	08/08	33,8	01/12	74,2	01/12	88,4	01/12
1989	10,8	17/08	11,6	27/11	17,6	27/11	23,6	11/04	24,2	11/04
1990	36,0	16/08	37,0	16/08	37,0	16/08	37,0	16/08	37,2	24/12
1991	32,0	12/10	45,0	12/10	68,8	12/10	103,6	12/10	119,8	12/10
1992	19,0	04/10	24,2	18/06	50,0	25/01	73,4	25/01	105,4	25/01
1993	28,4	25/10	31,0	25/10	50,4	25/11	69,4	25/11	86,4	25/11
1994	16,4	20/01	24,2	20/01	34,4	20/01	35,8	19/01	46,4	20/01
1995	15,2	31/10	24,6	24/11	39,6	24/11	56,0	24/11	63,6	24/11
1997	47,2	12/08	47,2	12/08	52,6	08/10	55,0	08/10	58,2	08/10
1999	38,8	07/09	45,6	07/09	47,8	07/09	95,2	30/11	119,0	29/11

VALGUARNERA.txt

2000	40,2	30/09	46,6	30/09	50,2	30/09	50,2	30/09	50,6	30/09
2001	10,4	19/11	13,4	19/11	15,4	20/01	29,4	19/01	31,4	19/01
2004	39,0	28/07	48,0	28/07	48,6	28/07	48,6	28/07	51,2	28/07
2005	44,2	22/10	62,6	22/10	62,6	22/10	104,4	13/12	137,0	13/12

3000 - RADDUSA

Anno	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
	Pioggia	Data								
1928	37,2	12/11	38,2	12/11	42,4	10/12	43,0	10/12	57,0	10/12
1929	27,4	12/05	27,6	12/05	35,4	20/06	35,4	20/06	35,4	20/06
1931	19,6	13/12	43,6	13/12	48,8	13/12	56,8	12/12	71,2	12/12
1936	33,0	10/05	67,0	10/05	104,0	10/05	107,4	10/05	111,0	10/05
1954	16,4	28/03	22,2	06/04	32,8	12/12	47,2	12/12	60,4	11/12
1955	35,4	13/03	45,8	13/03	48,4	13/03	52,0	13/03	56,2	12/03
1956	20,0	13/11	28,8	13/11	30,6	13/11	31,4	13/11	33,0	13/11
1957	15,2	21/11	23,8	21/11	32,4	21/11	42,4	21/11	53,0	22/01
1959	36,4	15/05	51,0	15/05	54,6	15/05	54,6	15/05	57,0	12/11
1963	6,6	18/09	8,0	27/03	13,4	27/03	16,0	27/03	19,2	27/03
1968	14,0	08/03	23,0	08/09	29,2	08/09	29,2	08/09	32,0	20/01
1970	17,4	21/09	18,2	03/01	23,4	03/01	24,8	03/01	24,8	03/01
1971	22,4	11/04	38,2	11/04	40,2	11/04	40,4	11/04	40,6	11/04
1972	10,8	14/12	16,6	14/10	36,4	30/12	45,4	31/12	88,0	30/12
1973	33,0	30/07	41,2	24/10	59,8	24/10	68,4	24/10	73,2	24/10
1974	21,0	23/02	50,6	23/02	68,8	23/02	76,0	23/02	76,0	23/02
1975	17,0	16/02	23,6	16/02	44,8	27/08	55,4	27/08	58,2	27/08
1976	31,6	26/06	39,0	26/06	45,0	06/02	69,4	06/02	82,8	06/02
1978	40,0	25/08	40,0	25/08	40,0	25/08	40,0	25/08	40,0	25/08
1980	18,4	30/03	29,6	30/03	33,0	30/03	33,0	30/03	38,8	05/03
1981	9,8	03/09	12,2	03/09	12,2	03/09	13,6	03/09	24,8	03/09
1984	16,0	19/09	23,8	28/12	31,8	28/12	41,4	28/12	51,4	28/12

RADDUSA.txt

1985	22,2	28/10	29,8	28/10	43,6	16/01	77,4	16/01	126,2	16/01
1986	23,0	10/10	34,2	07/03	40,6	07/03	41,6	07/03	48,2	06/03
1987	17,8	29/05	20,0	12/01	23,0	16/01	39,0	22/05	42,2	22/03
1988	36,4	08/08	40,0	08/08	40,0	08/08	55,8	04/03	79,0	04/03
1989	39,4	24/09	40,8	24/09	40,8	24/09	40,8	24/09	40,8	24/09
1990	56,6	01/08	56,8	01/08	56,8	01/08	56,8	01/08	71,6	01/08
1991	33,0	12/10	51,4	12/10	52,2	12/10	108,0	12/10	123,4	12/10
1992	41,8	14/10	46,2	14/10	48,0	14/10	64,4	25/01	100,0	25/01
1993	34,4	24/10	43,2	24/10	43,4	24/10	51,6	24/10	52,2	24/10
1994	13,8	09/01	20,6	09/01	24,4	20/10	32,8	20/10	32,8	20/10
1995	55,4	31/07	56,0	31/07	56,0	31/07	56,0	31/07	56,0	31/07
1996	33,4	21/07	39,2	21/07	39,2	21/07	42,0	09/12	53,2	09/12
1998	22,2	12/08	24,0	12/08	31,4	19/11	32,6	18/11	32,6	18/11
1999	41,0	03/08	30,8	07/09	36,0	29/11	46,8	29/11	72,4	29/11
2000	30,8	30/09	37,8	30/09	45,0	30/09	45,0	30/09	45,0	30/09
2001	10,0	28/02	15,4	09/02	18,2	09/02	20,8	20/12	21,0	20/12
2002	24,4	19/08	32,6	19/08	32,6	19/08	32,6	19/08	32,6	19/08