

ITINERARIO RAGUSA-CATANIA

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte" con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 4 - Dallo svincolo n. 8 "Francofonte" (compreso) allo svincolo della "Ragusana"(escluso)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PA898**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini

Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia n° A1373

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N.Granieri
Dott. Ing. F.Durastanti
Dott. Ing. V.Truffini
Dott. Arch. A.Bracchini
Dott. Ing. L.Nani

Dott. Ing. M.Abram
Dott. Ing. F.Pambianco
Dott. Ing. M.Briganti Botta
Dott. Ing. L.Gagliardini
Dott. Geol. G.Cerquiglini

MANDANTI:



Dott. Ing. G.Guiducci
Dott. Ing. A.Signorelli
Dott. Ing. E.Moscatelli
Dott. Ing. A.Bela

Dott. Ing. G.Lucibello
Dott. Arch. G.Guastella
Dott. Geol. M.Leonardi
Dott. Ing. G.Parente



Dott. Arch. E.A.E.Crimi
Dott. Ing. M.Panfilì
Dott. Arch. P.Ghirelli
Dott. Ing. D.Pelle

Dott. Ing. L.Ragnacci
Dott. Arch. A.Strati
Archeol. M.G.Liseno



Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. C.Consorti

Dott. Ing. F.Aloe
Dott. Ing. A.Salvemini



Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. F.Macchioni

Dott. Ing. G.Verini Supplizi
Dott. Ing. V.Piunno
Geom. C.Sugaroni



Dott. Ing. P.Agnello



IL RESPONSABILE DI PROGETTO:

INGEGNERE

Vladimiro

ROTISCIANI

civile ed ambientale
industriale
dell'informazione
A 376
Provincia di TERNI

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE			REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T04ID00IDRRE01A				
L0408Z	E	2101	CODICE ELAB. T04ID00IDRRE01			A	-
A	Emissione		Giugno 2021	F.Macchioni	V. Rotisciani	N.Granieri	
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	4
2.1	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE	4
2.2	BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO.....	4
3	PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO	6
4	STIMA DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA	18
4.1	PREMESSA	18
4.2	PROCEDURA VA.PI.	19
4.2.1	Metodologia di calcolo	19
4.2.2	Stima delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora.....	24
4.3	PROCEDURA P.A.I. REGIONE SICILIA	27
4.3.1	Metodologia di calcolo	27
4.3.2	Stima delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora.....	32
4.4	ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI	35
4.5	CONFRONTO TRA VAPI, PAI E GUMBEL.....	38
4.6	SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI PROGETTO	42
4.6.1	Reticolo idrografico.....	42
4.6.2	Sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante	45
5	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO	48
5.1	PREMESSA	48
5.2	METODO RAZIONALE	48
5.2.1	Metodologia di calcolo	48
5.2.2	Tempo di corrivazione	49
5.2.3	Altezza di pioggia e coefficiente di riduzione areale	52
5.2.4	Coefficiente di deflusso	54
5.2.5	Risultati delle elaborazioni.....	59
5.3	PROCEDURA VA.PI.	61
5.3.1	Metodologia di calcolo	61
5.3.2	Risultati delle elaborazioni.....	62
5.4	DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO	62

1 PREMESSA

Scopo della presente relazione è quello di fornire l'inquadramento idrologico del territorio interessato dal progetto di "ammodernamento a n° 4 corsie della S.S. 514 "di Chiaramonte" e della S.S. 194 Ragusana dallo svincolo con la S.S. 115 allo svincolo con la S.S. 114", nonché di definire le caratteristiche del reticolo idrografico interferito dalle opere in studio.

In particolare lo studio è finalizzato alla definizione delle curve di possibilità pluviometrica mediante differenti metodologie ed alla stima delle portate al colmo di eventi di piena, in corrispondenza delle sezioni di attraversamento ed, in generale, di interferenza con il reticolo idrografico.

2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

2.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Nell'ambito del Collegamento stradale tra la S.S. n.514 Chiramonte e la S.S. n. 514 Ragusana, il Lotto 4 oggetto del presente studio, risulta interferito da una serie di corsi d'acqua con bacini idrografici di piccola estensione a carattere prevalentemente torrentizio e bacini più estesi

Il principale bacino idrografico interessato dall'infrastruttura in studio è quello del fiume San Leonardo. Si riportano di seguito in formato tabellare i principali corpi idrici interferiti

Corso d'acqua	Progressiva di attraversamento
	(km)
Fiume Costanzo	5+940
Fiume Barbaianni	6+580
Torrente Margi	9+025
Fiume Zena	1+250
Fiume Reina	3+000
Fiume San Leonardo	6+400

2.2 BACINO DEL FIUME SAN LEONARDO

Il bacino idrografico del fiume San Leonardo ricade nel versante orientale della Sicilia e si estende per circa 500 Km² dai centri abitati di Vizzini e Buccheri sino al mare Ionio, presso il Villaggio San Leonardo, al confine tra i territori di Augusta e Carlentini. Esso si inserisce tra il bacino del fiume Anapo a Sud, il bacino del fiume Acate a Sud-Ovest, il bacino del fiume Monaci ad Ovest ed il bacino del fiume Gornalunga a Nord, estendendosi quasi totalmente nella provincia di Siracusa, tranne una piccola porzione ad occidente che ricade in provincia di Catania.

L'idrografia è rappresentata da una serie di corsi d'acqua che presentano un regime tipicamente torrentizio, con deflussi superficiali solamente nella stagione invernale, in occasione di precipitazioni intense e di una certa durata, che invece si presentano completamente asciutti nel periodo estivo, per la scarsa piovosità e l'alta temperatura che favorisce l'evaporazione.

Il Fiume San Leonardo si forma nei pressi del colle Tereo a pochi chilometri da Buccheri incassandosi subito in una profonda e stretta gola. L'asta del corso d'acqua principale, che si estende per circa 50 Km, nel suo tratto finale, prima di sfociare nel Mare Ionio, presenta un andamento di tipo meandriforme.

Il Fiume San Leonardo riceve le acque di diversi affluenti tra cui:

- il Fiume Reina, che nasce presso Poggio Conventazzo in territorio di Vizzini con il nome di torrente Risicone e confluisce in destra presso Case del Biviere in territorio di Lentini;
- il Fiume Ippolito, che nasce presso il centro abitato di Militello in Val di Catania e confluisce in sinistra presso Case Conte in territorio di Lentini.

La parte terminale del fiume San Leonardo è stata oggetto di interventi di arginatura che, tra l'altro, hanno bonificato le terre occupate dal pantano Gelsari, sia in destra che in sinistra d'alveo. Qui sono stati realizzati dei canali di bonifica che convogliano le acque raccolte a due impianti idrovori che le recapitano nel fiume.

3 PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

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

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

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

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

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

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

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

RELAZIONE IDROLOGICA

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

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

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

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

$$R = P \times E$$

Tabella 3.1: Classi di pericolosità idraulica

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

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 3.2: Elementi a rischio

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

Tabella 3.3: Classi di rischio

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

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

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

RELAZIONE IDROLOGICA

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

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

Nel caso in cui la scala della cartografia disponibile e le connesse sezioni trasversali della valle fluviale non consentissero di ottenere un'affidabile distribuzione spaziale delle altezze idriche all'interno dell'area inondata (ottenuta peraltro utilizzando modelli monodimensionali, oppure bidimensionali semplificati), si è fatto riferimento ad una metodologia, cosiddetta "semplificata", che valuta la pericolosità soltanto in funzione del tempo di ritorno (vedi Tabella 3.4).

Tabella 3.4: Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia semplificata

T	P
50	P3
100	P2
300	P1

Le classi di rischio sono dunque determinate dalla sovrapposizione della carta della pericolosità con gli elementi a rischio risultanti dalle informazioni derivate dalla CTR in scala 1:10.000 e dalle ortofotocarte alla medesima scala. Mediante l'incrocio del dato relativo all'elemento con quello della classe di pericolosità, si può pertanto risalire agevolmente al grado di rischio (Tabella 3.5).

Tabella 3.5: Valutazione del rischio idraulico secondo la metodologia semplificata.

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

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

RELAZIONE IDROLOGICA

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

Tabella 3.6: Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia completa.

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

Tabella 3.7: Valutazione del rischio idraulico secondo la metodologia completa.

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

I piani di riferimento per il tracciato in progetto sono relativi a:

- Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (SR) (093) – Maggio 2004.

Figura 3.1: P.A.I. Sicilia – bacini idrografici di interesse per l'infrastruttura in progetto



In particolare, il tracciato è ricompreso nelle seguenti cartografie di pericolosità e rischio idraulico alla scala 1:10.000.

- Bacino idrografico del Fiume San Leonardo (CT-SR):
 - SS_P-IDR_641050-07 - Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n°07;
 - SS_R-IDR_641050-07 - Carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione n°07;
 - SS_P-IDR_640120-11 - Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n°11;
 - SS_P-IDR_640150-15 - Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n°15.

RELAZIONE IDROLOGICA

Si riportano di seguito le suddette carte in cui è stato sovrapposto il tracciato in progetto; è evidente come l'infrastruttura non interessi né aree a pericolosità idraulica né a rischio.

Nell'ambito del progetto definitivo, era stata verificata, attraverso contatti con i tecnici del "Servizio III - Assetto del territorio e difesa del suolo" dell'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia (il quale svolge le funzioni dell'Autorità di Bacino non ancora istituita), l'assenza di ulteriori zone di attenzione idraulica eventualmente individuate dallo stesso Servizio in studi non ancora pubblicati.

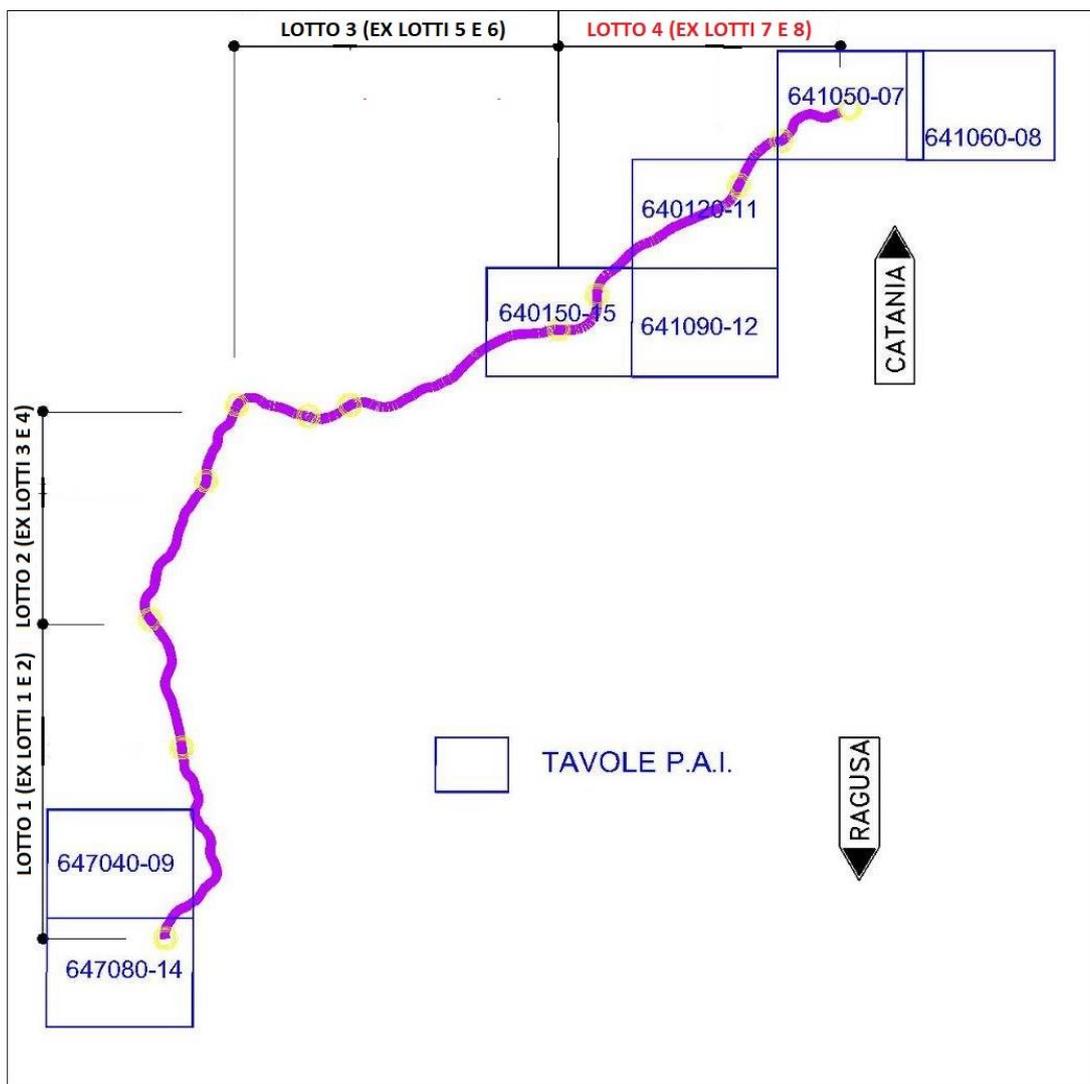


Figura 3.2: key-plan "Carte della pericolosità e del rischio idraulico - P.A.I." con sovrapposizione del tracciato in progetto

RELAZIONE IDROLOGICA

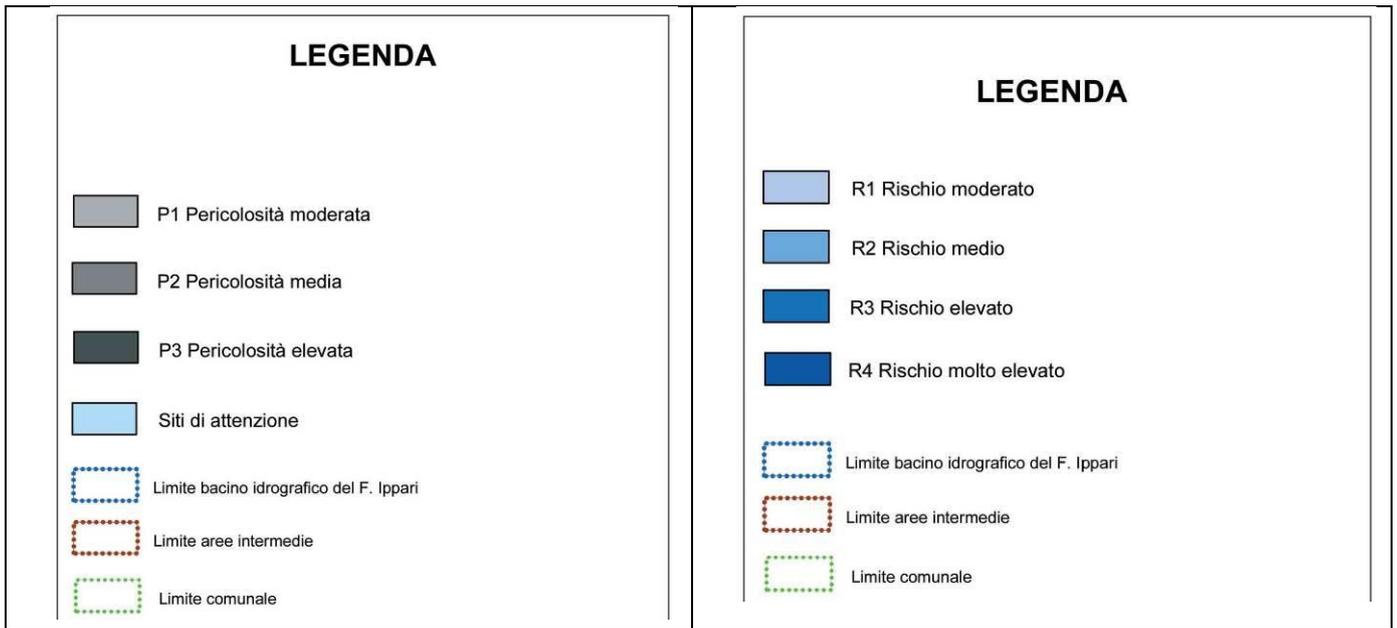


Figura 3.3: Legende "Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione" e "Carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione" - Bacino idrografico del Fiume Ippari (080) ed aree comprese tra il bacino del F.Acate-Dirillo (079) e il bacino del F. Irmino (081)

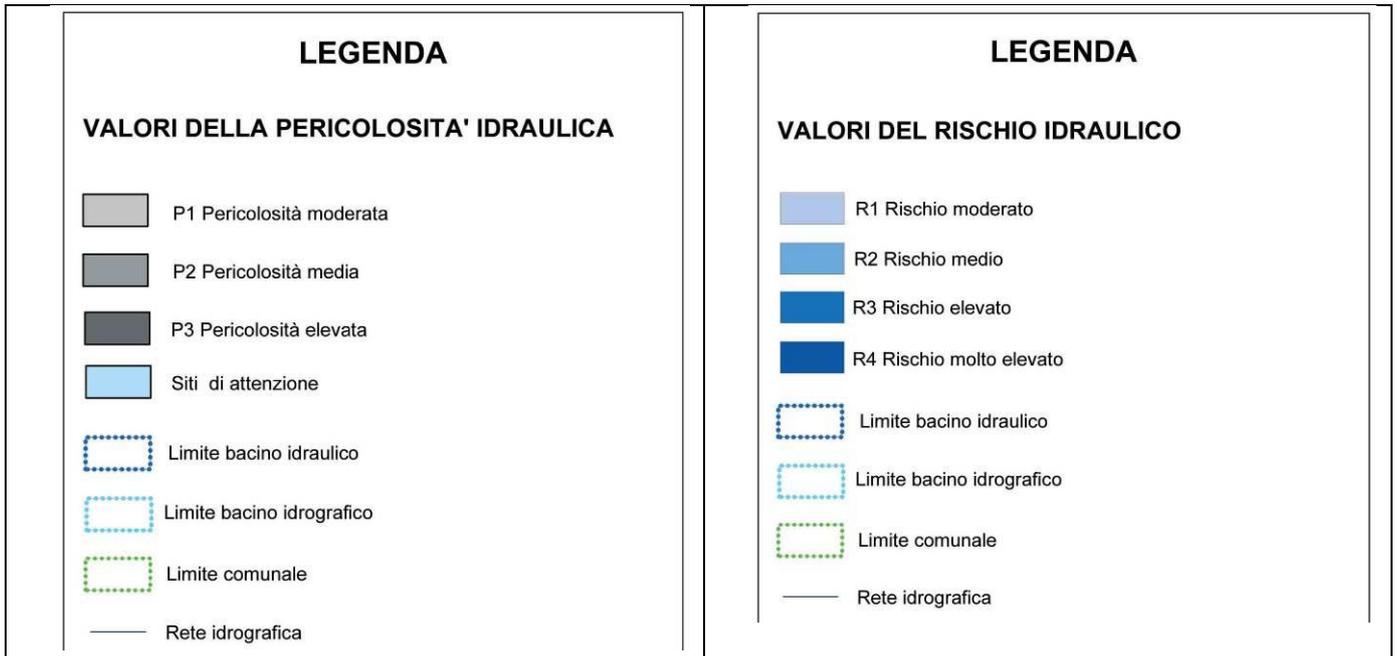


Figura 3.4: Legende "Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione" e "Carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione" - Bacino idrografico del Fiume San Leonardo (CT-SR)

RELAZIONE IDROLOGICA

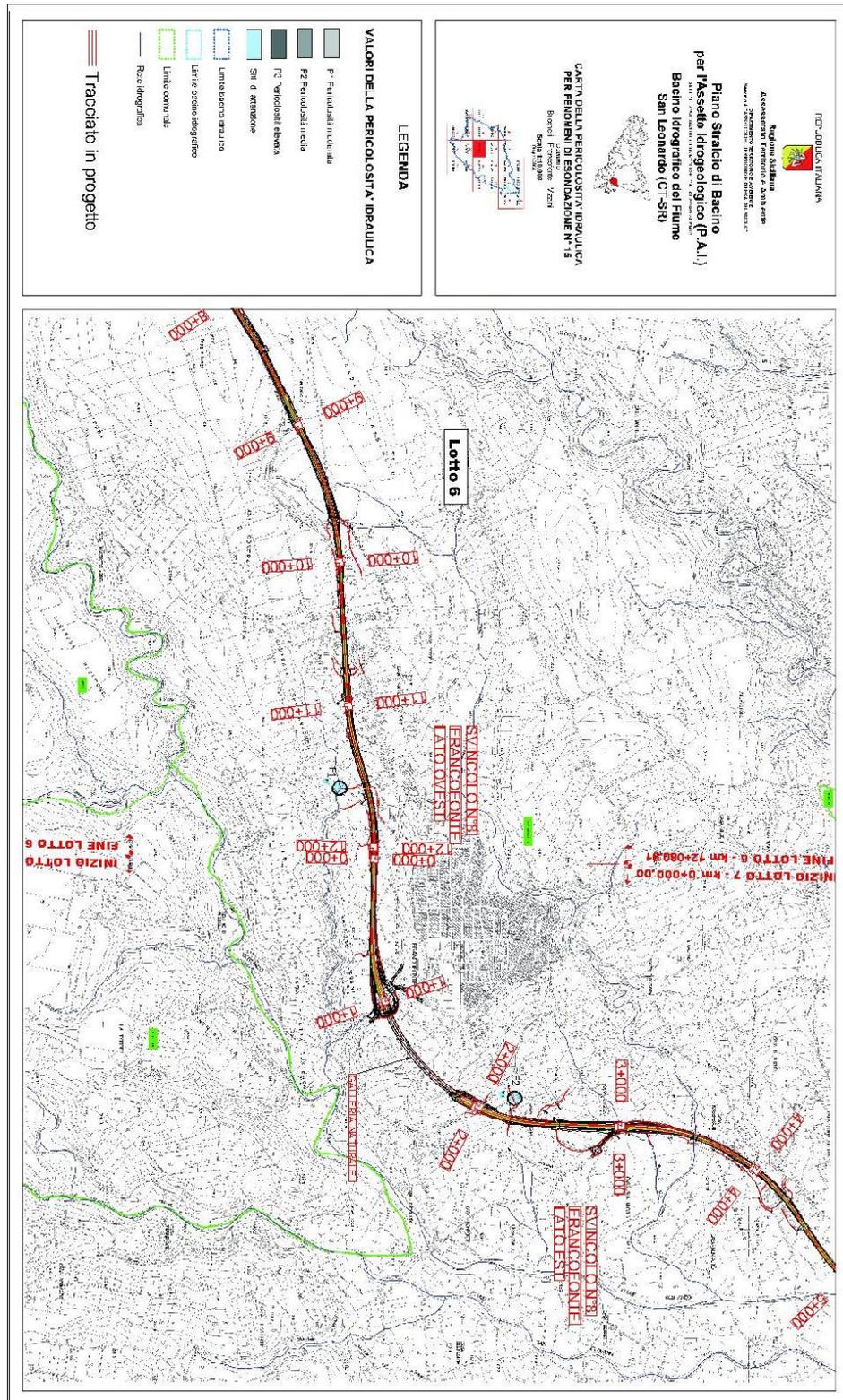


Figura 3.5: SS_P-IDR_640150-15 - Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n°15 con sovrapposizione del tracciato in progetto

RELAZIONE IDROLOGICA

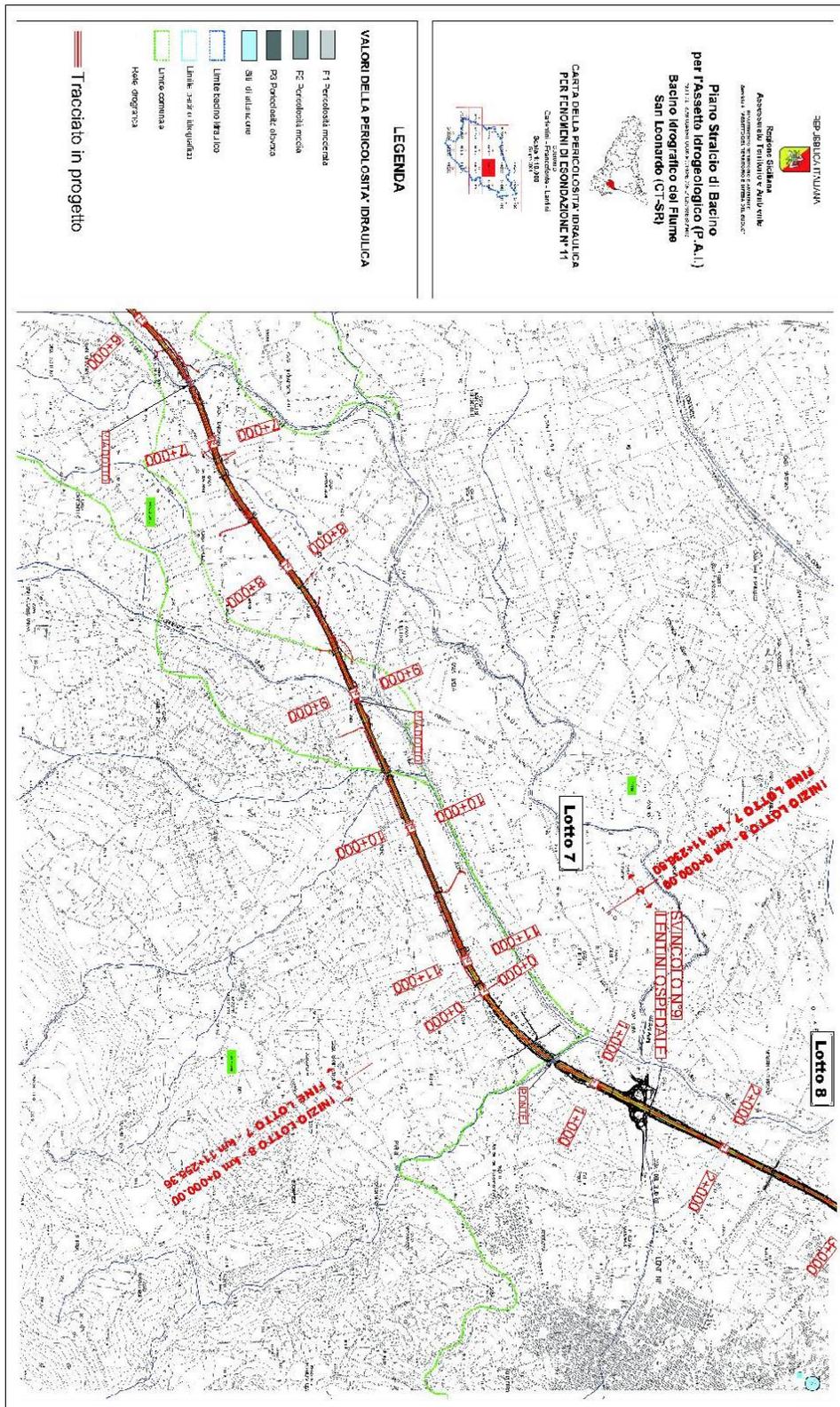


Figura 3.6: SS_P-IDR_640120-11 - Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n°11 - sovrapposizione tracciato in progetto

RELAZIONE IDROLOGICA

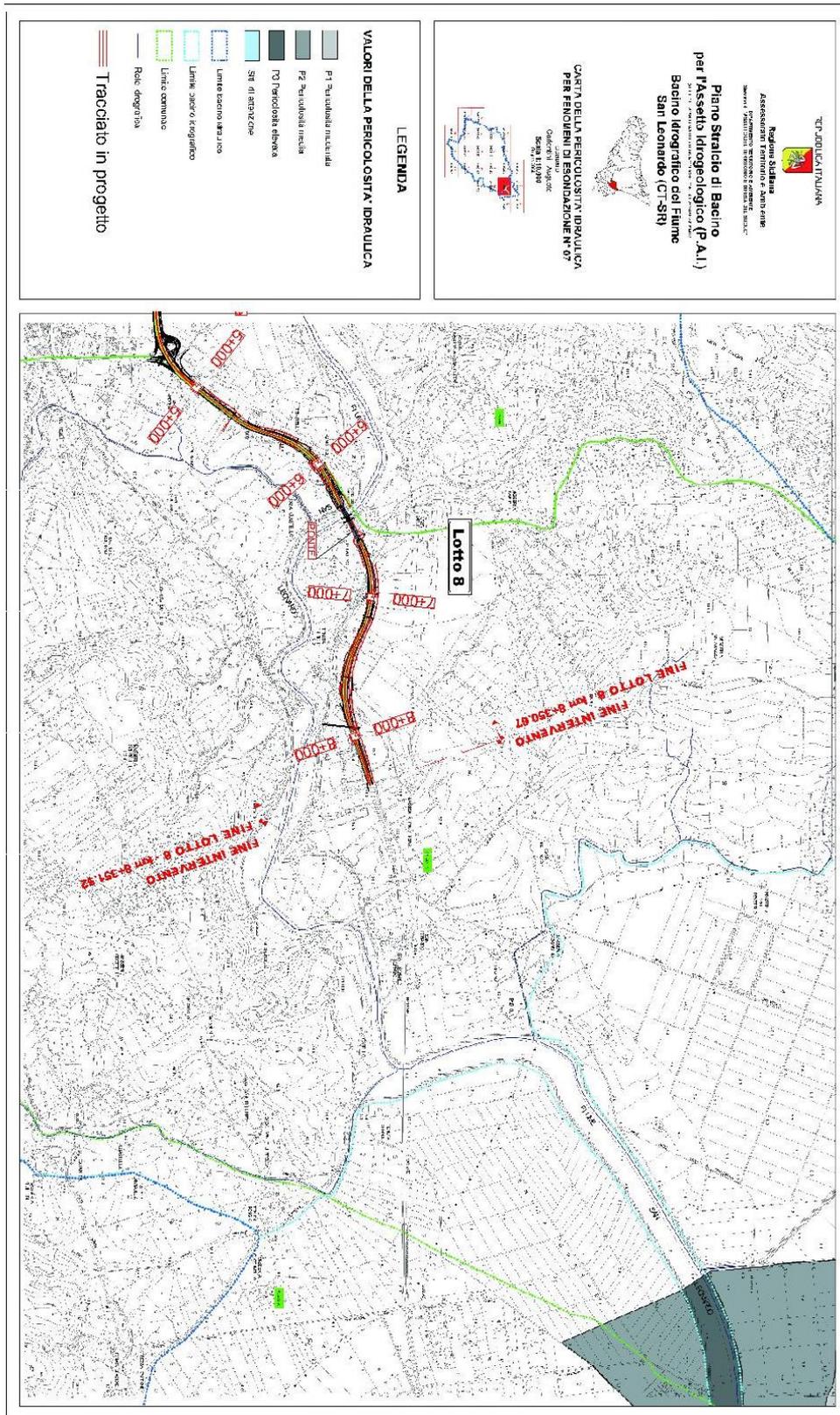


Figura 3.7: SS_P-IDR_641050-07 - Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n°07 - sovrapposizione tracciato in progetto

RELAZIONE IDROLOGICA

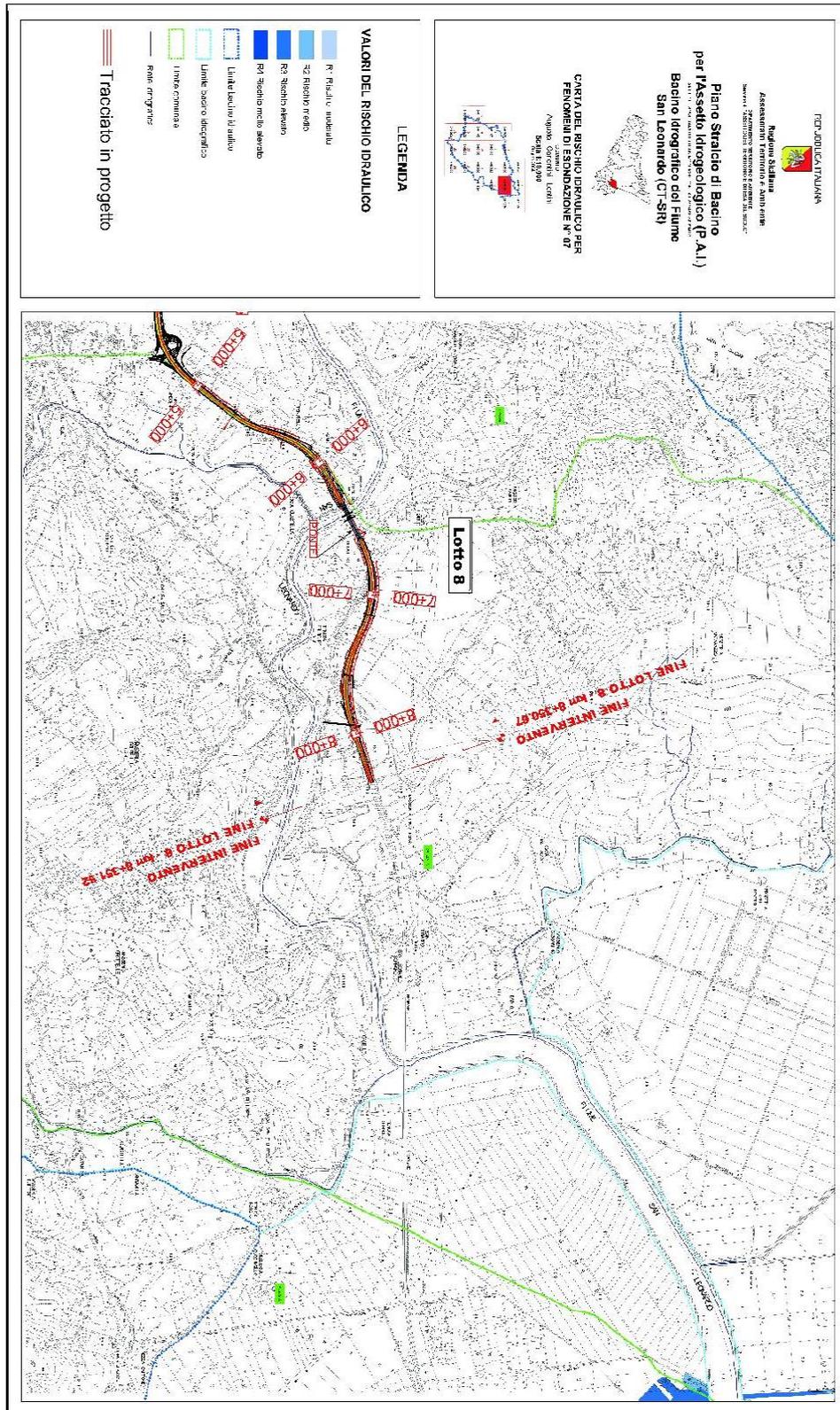


Figura 3.8: SS_R-IDR_641050-07 - Carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione n°07 - sovrapposizione tracciato in progetto

4 STIMA DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

4.1 PREMESSA

La definizione delle curve di possibilità pluviometrica relative al territorio di interesse per l'infrastruttura in progetto è eseguita attraverso due distinte procedure:

- la prima è derivata dal progetto VA.PI. sulla Valutazione delle Piene in Italia, sviluppato dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche; esso ha per obiettivo la regionalizzazione delle piogge intense su tutto il territorio nazionale secondo criteri omogenei. In particolare è stato preso a riferimento lo studio condotto nella Regione Sicilia (Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V. "Valutazione delle piene in Sicilia" CNR-GNDICI, Palermo, 1993);
- la seconda è stata sviluppata dall'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia nell'ambito della redazione del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico delle Regione Siciliana" (2004).

Nei successivi paragrafi sono riportati gli elementi utili alla definizione delle curve di possibilità climatica secondo ciascuno dei metodi adottati, i quali utilizzano relazioni monomie a due parametri del tipo:

$$h = a d^n$$

- con h = altezza di precipitazione;
 d = durata;
 a, n = parametri caratteristici della curva.

Tali relazioni presentano l'inconveniente di fornire valori di intensità di pioggia tendenti all'infinito per le basse durate. A questa incongruenza si è ovviato considerando per a valori diversi per i vari campi di applicazione: un valore per l'intervallo 1-24 ore e un altro, maggiore, per durate inferiori all'ora.

Nella stima delle portate utili alle verifiche di compatibilità idraulica ed al dimensionamento della rete di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante, a favore di sicurezza, è stata assunta quale curva di caso critico di progetto quella derivante dall'applicazione di ciascuna metodologia a cui corrispondono le maggiori altezze di pioggia.

4.2 PROCEDURA VA.PI.

4.2.1 _ Metodologia di calcolo

In base alla procedura VA.PI., il "processo" dei massimi annuali delle piogge giornaliere (valore cumulato di precipitazione tra le ore 9 antimeridiane del giorno di registrazione e la stessa ora del giorno precedente) e delle piogge di breve durata e forte intensità è schematizzato con il modello probabilistico TCEV (Two-Component Extreme Value). Tale modello ipotizza che i massimi annuali provengano da una miscela di due popolazioni di eventi: una per così dire "ordinaria" (in seguito indicata con il pedice b) e l'altra "straordinaria", rappresentata dai valori campionari più elevati (in seguito indicata col pedice s). Questa ipotesi si basa sul fatto che nelle serie storiche dei massimi annuali delle piogge esistono valori nettamente superiori agli altri (outliers), tali da non sembrare appartenenti alla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La TCEV si rappresenta con una funzione di probabilità cumulata del tipo:

$$P(h_d) = e^{-e^{-\alpha_{b,d}(h_d - \varepsilon_{b,d})} - e^{-\alpha_{s,d}(h_d - \varepsilon_{s,d})}}$$

equivalendo formalmente al prodotto di due funzioni di distribuzione cumulata di Gumbel.

La funzione di probabilità cumulata è esprimibile in un'altra forma effettuando la seguente trasformazione di variabili:

$$\alpha_{b,d} = \frac{1}{\Theta_{b,d}} \quad \alpha_{s,d} = \frac{1}{\Theta_{s,d}} \quad \varepsilon_{b,d} = \Theta_{b,d} \ln \Lambda_b \quad \varepsilon_{s,d} = \Theta_{s,d} \ln \Lambda_s$$

e:

$$\Theta^* = \frac{\Theta_{s,d}}{\Theta_{b,d}} \quad \Lambda^* = \frac{\Lambda_s}{\Lambda_b^{1/\Theta^*}}$$

In questo caso, in modo del tutto equivalente, l'espressione precedente si scrive:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_b e^{\left(\frac{h_d}{\Theta_{b,d}}\right) - \Lambda^* \Lambda_b^{1/\Theta^*} e^{\left(\frac{h_d}{\Theta^* \Theta_{b,d}}\right)}}$$

e i quattro parametri che caratterizzano il modello diventano $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,d}$.

Si può dimostrare che:

- il coefficiente di asimmetria $\xi(h_d)$ dipende soltanto dai parametri $\Theta^* e \Lambda^*$;

- il coefficiente di variazione $\gamma(h_d)$ dipende dai parametri $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*$;
- la media dipende da tutti e quattro i parametri $\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,d}$:

$$\mu_{h_d} = \left[\ln \Lambda_b + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right] \cdot \Theta_{b,d} = \beta \cdot \Theta_{b,d}$$

Grazie a tale formulazione della media, la distribuzione di probabilità può essere espressa come segue:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_b e^{-\beta \left(\frac{h_d}{\mu_{h_d}}\right)}} \cdot \Lambda_b^{-1/\Theta^*} e^{-\left(\frac{\beta}{\Theta^*} \frac{h_d}{\mu_{h_d}}\right)}$$

Introducendo il coefficiente di crescita:

$$K = \frac{h_d}{\mu_{h_d}}$$

si ottiene

$$P(K) = e^{-\Lambda_b e^{-\beta K}} \cdot \Lambda_b^{-1/\Theta^*} e^{-\left(\frac{\beta}{\Theta^*} K\right)}$$

che in forma implicita fornisce la curva di crescita $K(T)$ della variabile h_d , dove T è il tempo di ritorno di h_d :

$$T = \frac{1}{1 - P(K)}$$

Da quanto detto precedentemente, i parametri della TCEV sono quattro ($\Lambda^*, \Lambda_b, \Theta^*, \Theta_{b,d}$) per cui è elevata l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche in genere disponibili la cui dimensione campionaria è spesso limitata.

Per ridurre l'incertezza si utilizzano tecniche di analisi regionale che consentono di stimare almeno alcuni dei parametri sulla base di tutte le serie storiche ricadenti all'interno di vaste aree indicate come zone e sottozone omogenee.

La procedura VA.PI. considera tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al 1° livello, regioni omogenee rispetto ai due parametri di forma Λ^*, Θ^* , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria $\xi(h_d)$;

- al 2° livello, zone omogenee anche rispetto al parametro di scala Λ_b (e quindi a Θ e a $K(T)$), da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione $\gamma(h_d)$;
- al 3° livello, sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro $\Theta_{b,d}$, e quindi della media μ_{h_d} , da alcune grandezze geografiche locali (quota, distanza dal mare, orientamento dei versanti). Tra queste viene normalmente scelta la quota geodetica H facendo ricorso a relazioni del tipo:

$$\ln \mu_{h_d} = aH + b \quad H_1 \leq H \leq H_2$$

con H_1, H_2 i limiti di quota entro i quali ricade il campo di validità.

Nello studio preso a riferimento, al 1° livello di regionalizzazione, è stata identificata una dipendenza unica per tutta la regione dei parametri di forma Λ^*, Θ^* dalla durata d :

$$\Theta^*(d) = 1,95 + 0,0284 d$$

$$\Lambda^*(d) = 0,175 d^{0,301}$$

Al 2° livello, è stata effettuata una suddivisione dell'isola in 3 sottozone omogenee, in cui il parametro di scala Λ_b varia con la durata d secondo le seguenti espressioni:

SZO A: $\Lambda_b = 14,55d^{0,2419}$

SZO B: $\Lambda_b = 12,40d^{0,1802}$

SZO C: $\Lambda_b = 11,96d^{0,0960}$

La curva di crescita $K_T(d)$, valida per $T \geq 10$ anni, assume la seguente espressione approssimata:

SZO A: $K_T(d) = 0,5391 - 0,001635 d + (0,0002212 d^2 + 0,00117 d + 0,9966) \log T$

SZO B: $K_T(d) = 0,5135 - 0,002264 d + (0,0001980 d^2 + 0,00329 d + 1,0508) \log T$

SZO C: $K_T(d) = 0,5015 - 0,003516 d + (0,0003720 d^2 + 0,00102 d + 1,0101) \log T$

Come evidente dalla figura sottostante, l'infrastruttura in progetto ricade all'interno della SZO C.

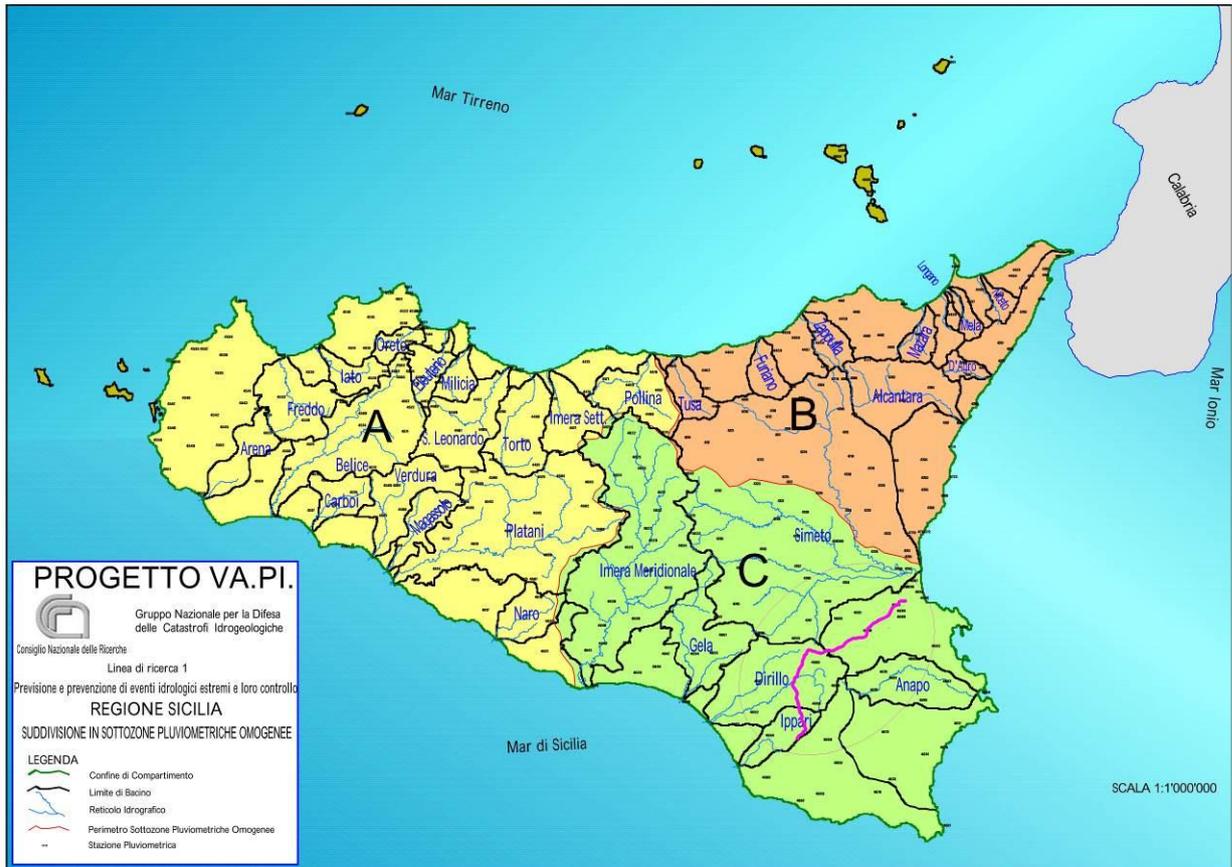


Figura 4.1: progetto VA.PI. – 2° livello di regionalizzazione - suddivisione in sottozone omogenee (in magenta è evidenziata l'infrastruttura in progetto)

Al 3° livello di regionalizzazione, per il calcolo della precipitazione indice μ_{h_d} sono state definite le seguenti relazioni, distinte per durate di pioggia superiori o inferiori ad 1 ora:

- per $d \geq 1$ ora $\mu_{h_d} = \mu_{h_1} \cdot d^n$ in cui d è espressa in ore

I parametri a ed n sono stati valutati nelle 155 stazioni di misura pluviografiche mediante regressione ai minimi quadrati in campo logaritmico. Per la loro stima sono fornite delle mappe isoparametriche (vedi Figura 4.2 e Figura 4.3)

- per $d < 1$ ora $\mu_{h_d} = 0,208\mu_{h_1} \cdot d^{0,386}$ in cui d è espressa in minuti

Tale espressione è stata ricavata analizzando i dati forniti nella Tab. V degli Annali Idrologici, relativi alle precipitazioni di breve durata e notevole intensità, che costituiscono un complesso di 191 stazioni con 354 dati.

RELAZIONE IDROLOGICA

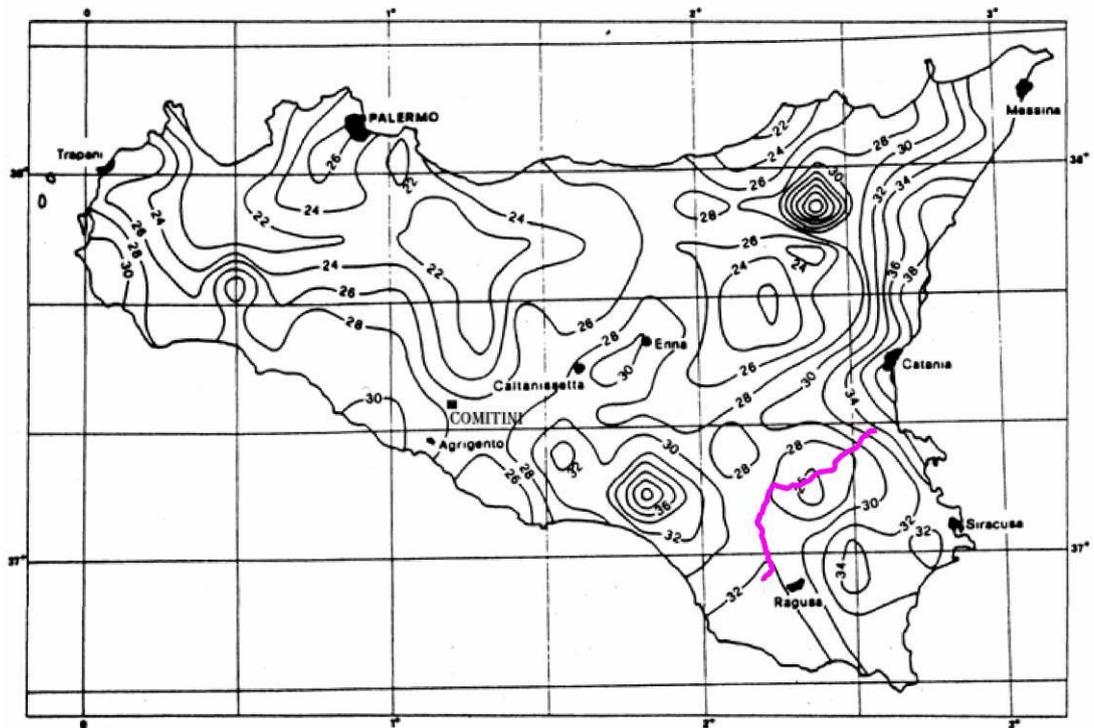


Figura 4.2: progetto VA.PI. – 3° livello di regionalizzazione – mappe isoparametriche “ μ_m ” (in magenta è evidenziata l’infrastruttura in progetto)

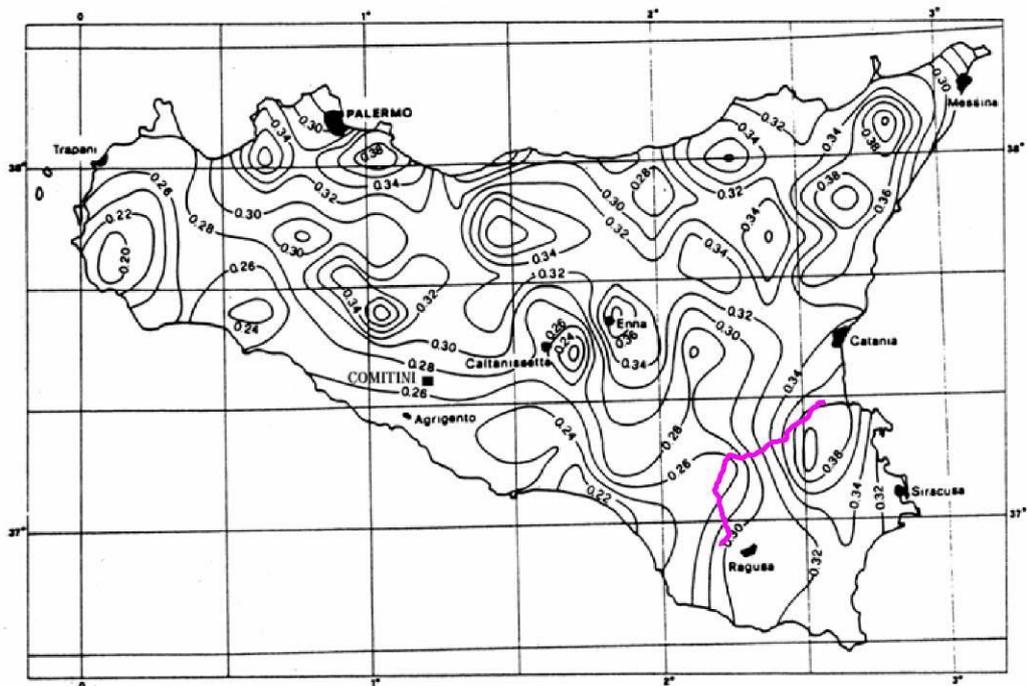


Figura 4.3: progetto VA.PI. – 3° livello di regionalizzazione – mappe isoparametriche "n" (in magenta è evidenziata l'infrastruttura in progetto)

Il calcolo delle altezze di pioggia viene effettuato, dunque, mediante la relazione:

$$h(T, d) = K_T(d) \cdot \mu_{h_d}$$

4.2.2 Stima delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora

Per il dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante, in ragione dei modesti tempi di corrivazione (sempre inferiori ad 1 ora) risultano di interesse le curve di possibilità pluviometrica relative a brevi durate ($d < 1$ ora).

Per tale motivo è stato discretizzato il tracciato in 4 tratti all'interno delle quali non si presentano significative variazioni del parametro " μ_{h_1} "; il valore di n risulta costante per l'intero tracciato e pari a 0.386.

Il fattore di crescita $K(T, d)$ è stato assunto costante rispetto alla durata d, considerando, in sicurezza, il valore corrispondente a $d=10$ minuti.

Per ciascuna tratta sono state definite le curve di possibilità pluviometrica corrispondenti a tempo di ritorno pari a 25, 50 e 100 anni.

Tabella 4.1 - metodologia VA.PI. – curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante

Tratto	Progr. Iniz.	Progr. Fin.	μ_{h_1}	K(25)	K(50)	K(100)	a(25)	a(50)	a(100)	n (d ≤ 1 ora)
	(km)	(km)	(mm)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	
1	L.4 - 0+000	L.4 - 8+060	28	1.913	2.217	2.521	53.57	62.09	70.60	0.386
2	L.4 - 8+060	L.4 - 0+800	30	1.913	2.217	2.521	57.40	66.52	75.64	0.386
3	L.4 - 0+800	L.4 - 4+200	32	1.913	2.217	2.521	61.22	70.96	80.69	0.386
4	L.4 - 4+200	L.4 - 8+356	34	1.913	2.217	2.521	65.05	75.39	85.73	0.386

RELAZIONE IDROLOGICA

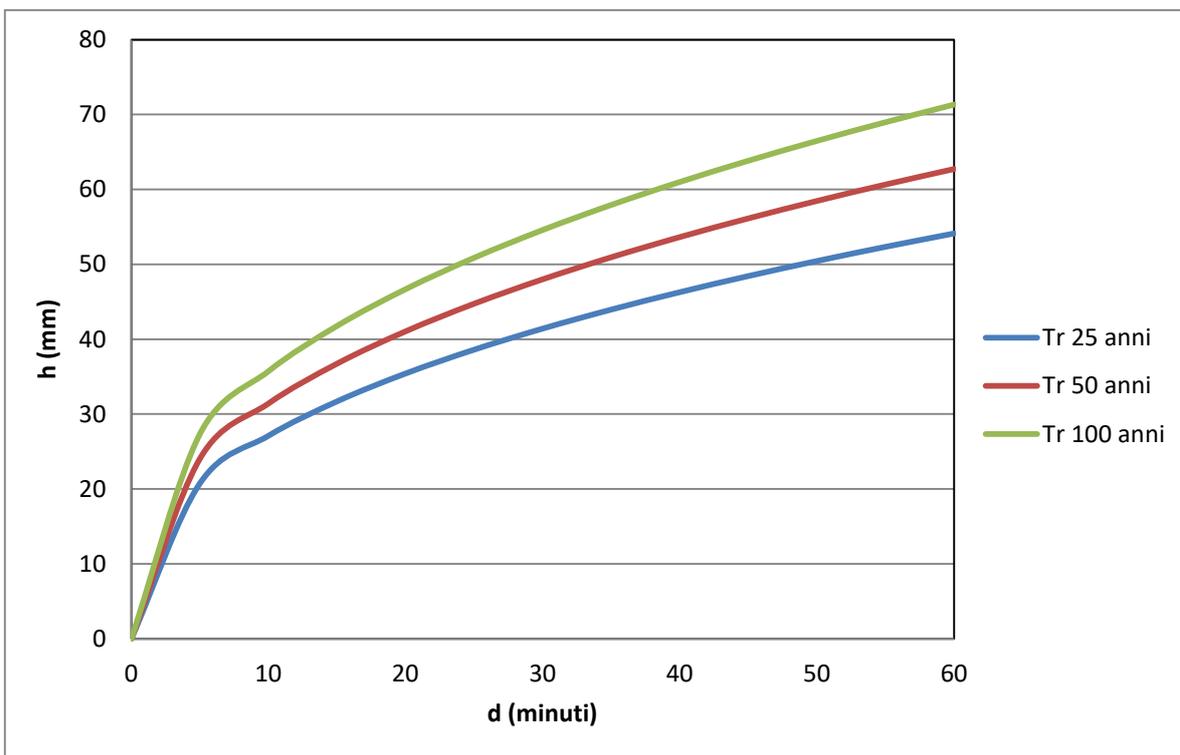


Figura 4.4 – Tratto 1 - curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

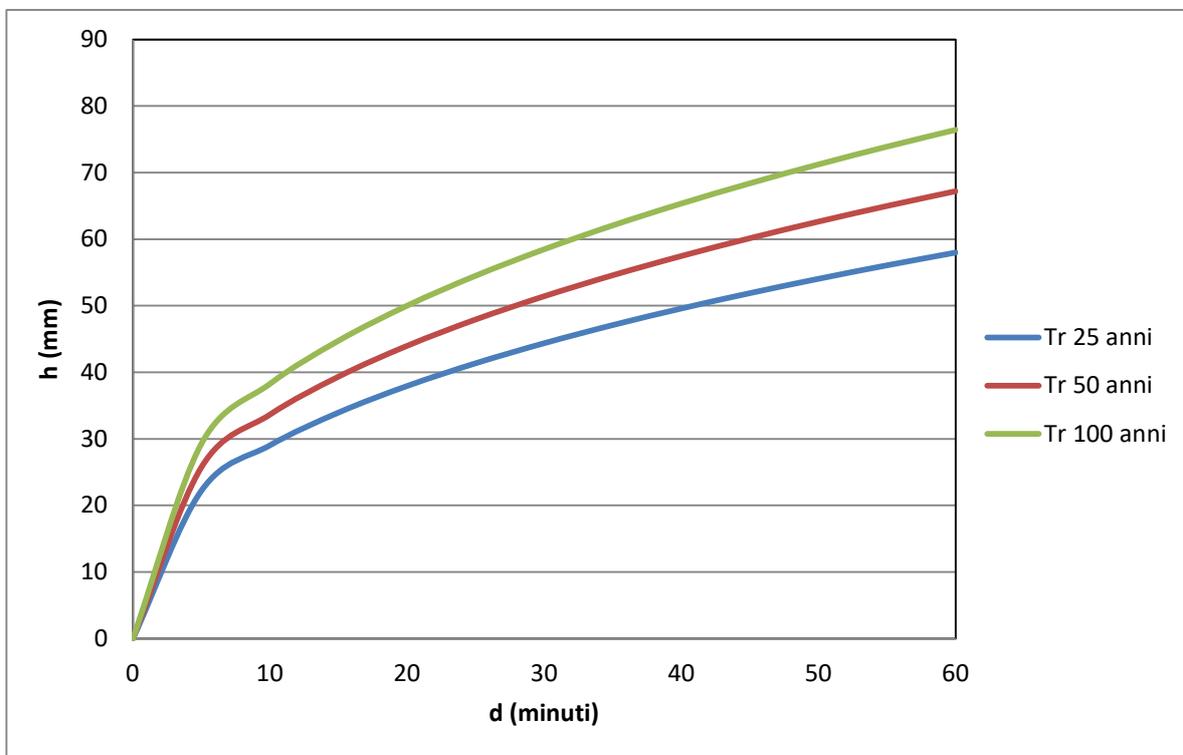


Figura 4.5 - Tratto 2 - curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

RELAZIONE IDROLOGICA

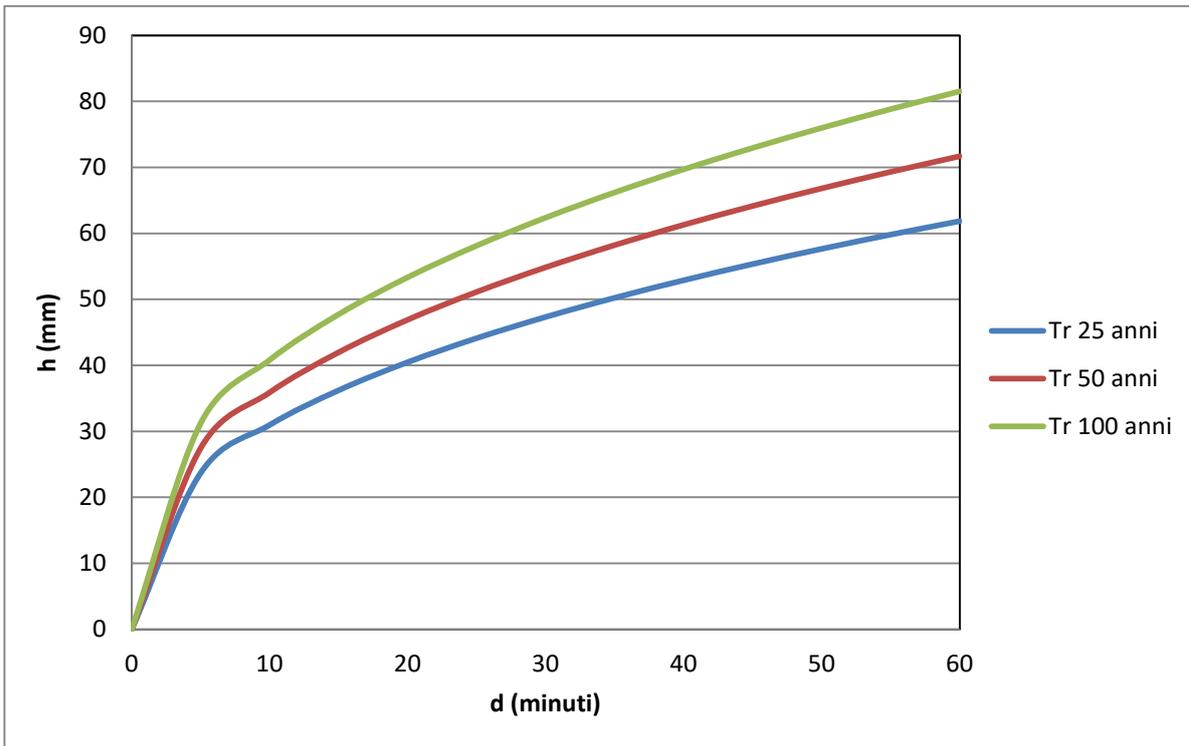


Figura 4.6 - Tratto 3 - curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

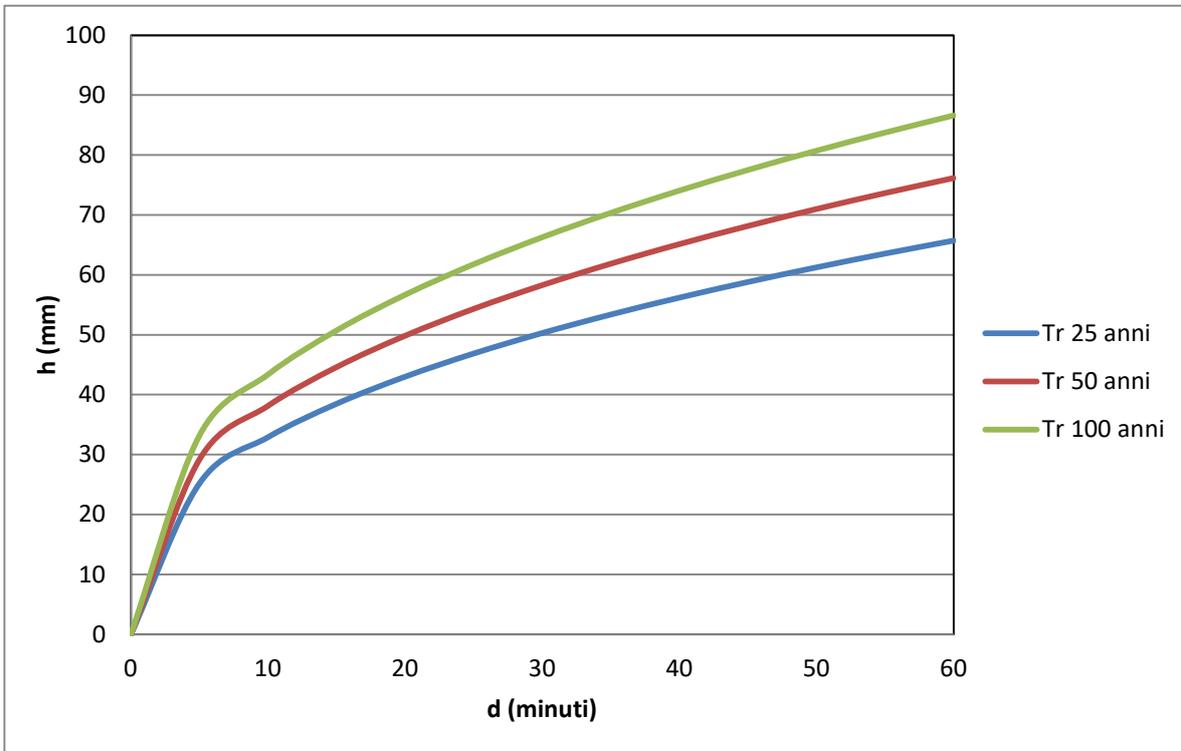


Figura 4.7 - Tratto 4 - curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

4.3 PROCEDURA P.A.I. REGIONE SICILIA

4.3.1 Metodologia di calcolo

Nell'ambito dell'analisi idraulica per la valutazione del rischio per inondazione, l'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia ha condotto uno studio idrologico sull'intera regione definendo una metodologia di calcolo delle curve di possibilità pluviometrica (si veda il capitolo 7 della "Relazione generale" del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico delle Regione Siciliana").

Per la loro costruzione, si è fatto riferimento alle stazioni pluviografiche ricadenti nel territorio regionale siciliano ed aventi almeno dieci anni di funzionamento anche non consecutivo.

Per ciascuna di queste stazioni si è proceduto alla raccolta delle altezze di pioggia massime annuali per assegnate durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore dalla parte I degli Annali del Servizio Idrografico della Regione Siciliana relativi al periodo 1929-1998. Per ciascuna stazione e per ogni durata si è provveduto al calcolo della media e dello scarto quadratico medio. Inoltre, sempre per ogni stazione, si è calcolato il valore dei coefficienti μ_{h_d} ed n della relazione:

$$\mu_{h_d} = \mu_{h_1} \cdot d^n$$

dove μ_{h_d} è la media della precipitazione osservata per una durata di d ore. Infine si è anche calcolato il coefficiente di variazione rappresentativo della stazione (CVS), nell'ipotesi di invarianza di scala delle distribuzioni di probabilità delle altezze di pioggia relative alle diverse durate utilizzando la seguente formula:

$$CVS = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{tot}} \frac{1}{N_{tot} - 1} (1 - w_i)^2}$$

dove N_{tot} è pari al prodotto della numerosità campionaria per il numero di durate osservate (di solito pari a 5) e w_i è l'altezza di pioggia adimensionalizzata rispetto alla media della durata corrispondente.

L'ipotesi di invarianza di scala per le precipitazioni estreme esprime il concetto che le distribuzioni di probabilità delle altezze di pioggia di due diverse durate coincidono a meno di un fattore di scala pari al rapporto tra le due durate elevato ad n . Studi condotti da Supino e da Rosso e Burlando hanno dimostrato, sulla base della verifica condotta su una lunga serie di eventi storici, che i nubifragi sono caratterizzati da questa proprietà, che risulta sostanzialmente ancora verificata qualora si prendano in esame i casi critici, vale a dire i massimi relativi delle osservazioni sperimentali di pioggia ottenuti da eventi anche diversi.

Per la determinazione delle CPP si è utilizzata la legge di distribuzione di probabilità del massimo valore EV1, meglio nota come legge di Gumbel. Nell'ipotesi che le precipitazioni seguano la legge di invarianza

di scala temporale, le CPP, espresse attraverso la legge di Gumbel, si possono scrivere nella seguente forma:

$$h_{d,T} = K_T \mu_{h_1} \cdot d^n$$

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

$$K_T = 1 - CVS \left\{ 0.450 + 0.779 \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

I valori di μ_{h1} , n e CV sopra riportati sono stati interpolati tramite kriging su tutto il territorio regionale creando delle carte dei valori di μ_{h1} , n e CV (vedi

Figura 4.8,

Figura 4.9,

Figura 4.10).

Poiché, come detto, la metodologia di calcolo messa a punto nel P.A.I trae origine da dati di altezze di pioggia di durata non inferiori ad 1 ora, non risulta corretto estrapolare le curve di possibilità pluviometrica sopra definite per durate brevi.

In analogia a quanto previsto dalla metodologia VA.PI., dunque, sarà utilizzata la seguente espressione per il calcolo delle piogge di durata inferiore ad 1 ora

$$h_{d,T} = K_T 0,208 \mu_{h_1} \cdot d^{0,386} \text{ in cui } d \text{ è espressa in minuti}$$

RELAZIONE IDROLOGICA

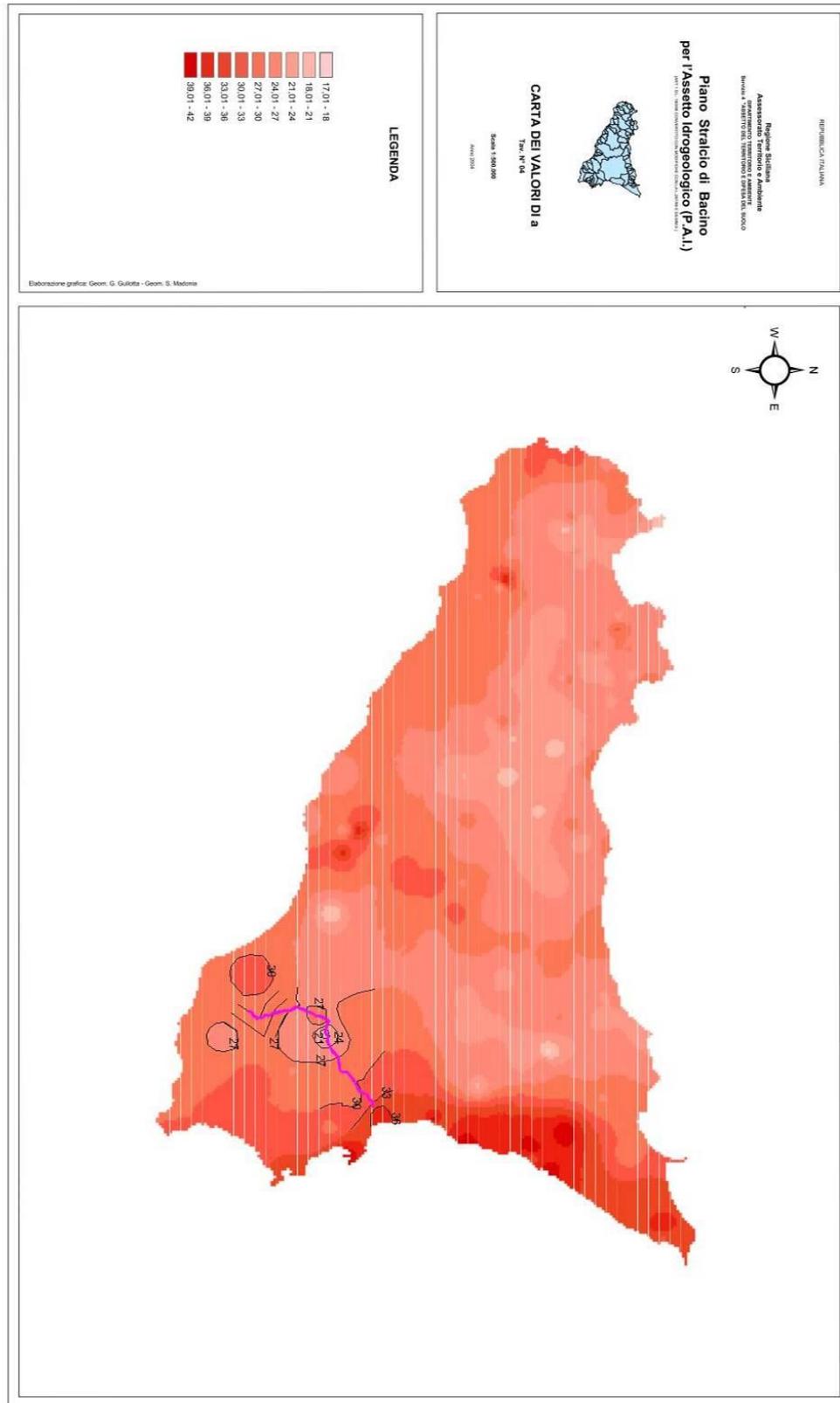


Figura 4.8: PAI Sicilia – "Carta dei valori di μ_{m1} " con sovrapposizione del tracciato in progetto

RELAZIONE IDROLOGICA

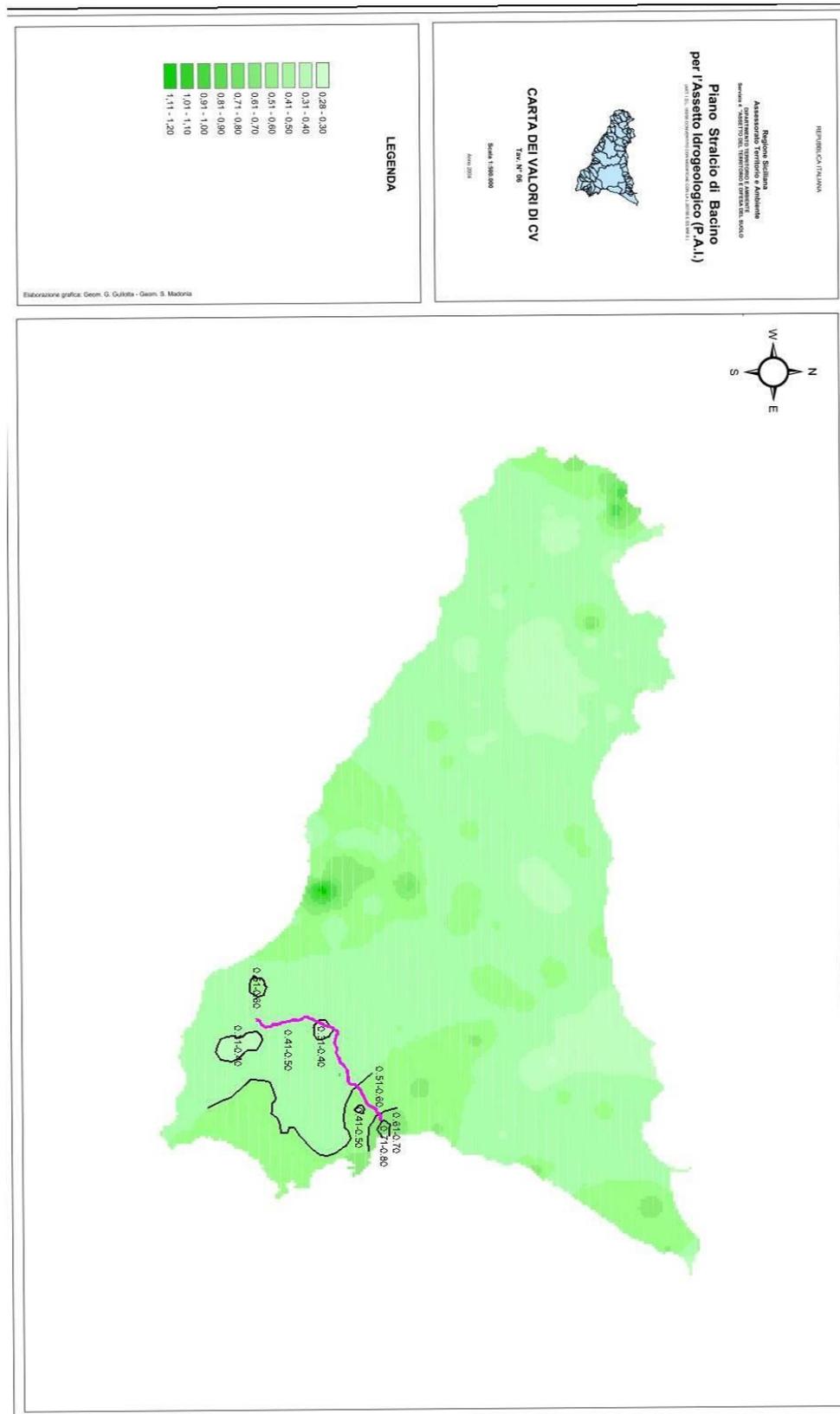


Figura 4.10: PAI Sicilia – “Carta dei valori del CV” con sovrapposizione del tracciato in progetto

4.3.2 Stima delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora

Per il dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante, in ragione dei modesti tempi di corrivazione (sempre inferiori ad 1 ora) risultano di interesse le curve di possibilità pluviometrica relative a brevi durate ($d < 1$ ora).

Per tale motivo è stato discretizzato il tracciato del lotto 4 in 4 tratti all'interno dei quali non si presentano significative variazioni dei parametri " μ_{h1} " e "CV"; il valore di n risulta costante per l'intero tracciato e pari a 0.386.

Per ciascuna tratta sono state definite le curve di possibilità pluviometrica corrispondenti a tempo di ritorno pari a 25, 50 e 100 anni.

Tabella 4.2 - metodologia P.A.I. – curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante

Tratto	Progr. Iniz.	Progr. Fin.	μ_{h1}	CV	K(25)	K(50)	K(100)	a(25)	a(50)	a(100)	n ($d \leq 1$ ora)
	(km)	(km)	(mm)		(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	
1	L.4 - 0+000	L.4 - 4+760	28	0.50	2.021	2.295	2.567	56.58	64.25	71.87	0.386
2	L.4 - 4+760	L.4 - 0+400	29	0.55	2.123	2.424	2.723	61.56	70.30	78.98	0.386
3	L.4 - 0+400	L.4 - 6+600	32	0.55	2.123	2.424	2.723	67.93	77.58	87.15	0.386
4	L.4 - 6+600	L.4 - 8+356	34	0.65	2.327	2.683	3.037	79.12	91.23	103.25	0.386

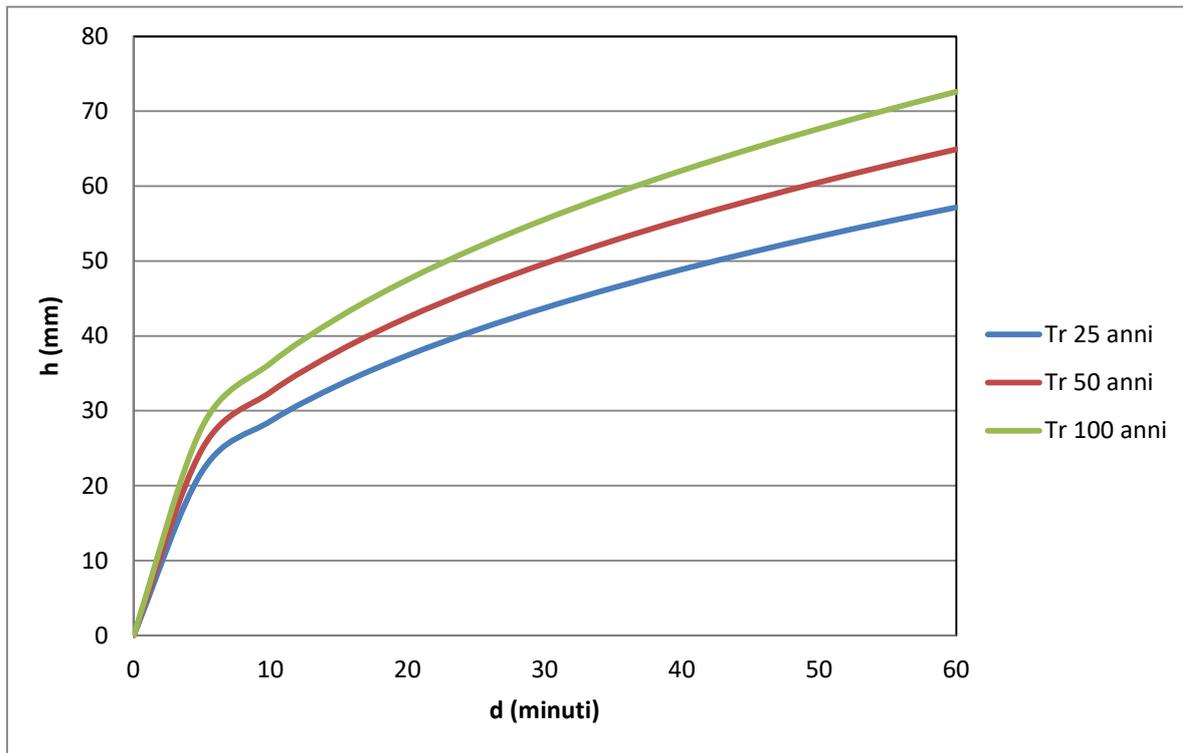


Figura 4.11 - Tratto 1 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

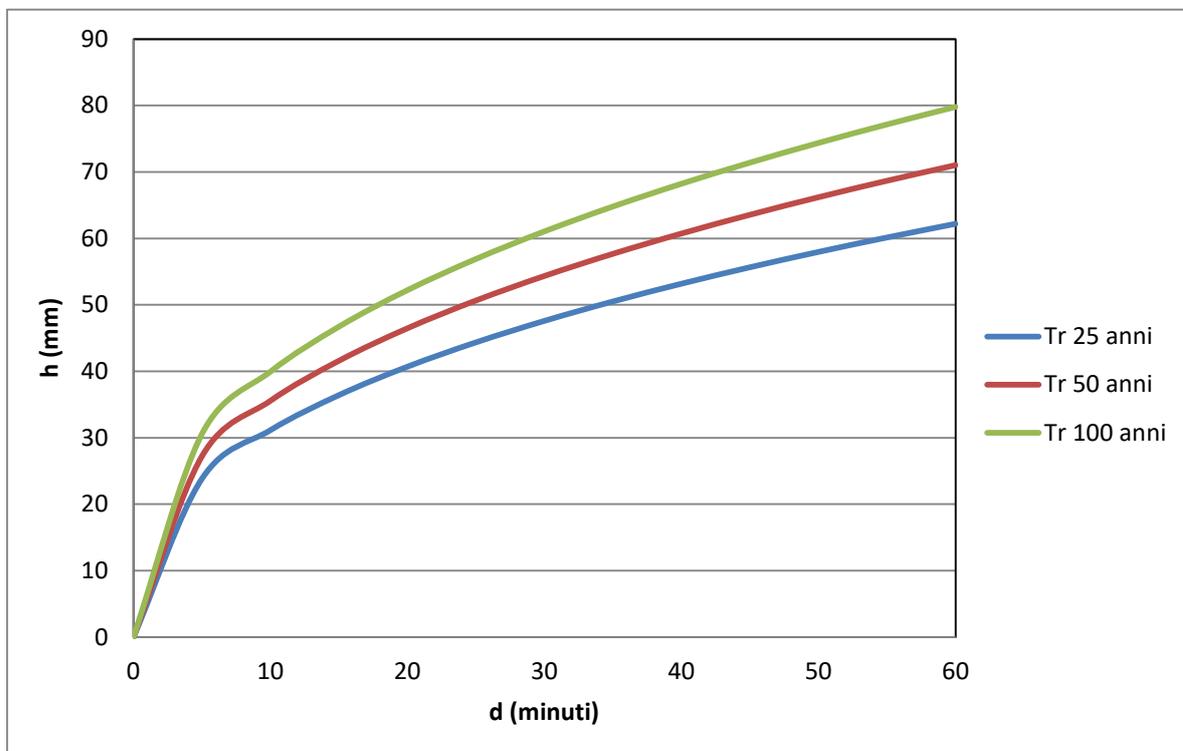


Figura 4.12 - Tratto 2 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

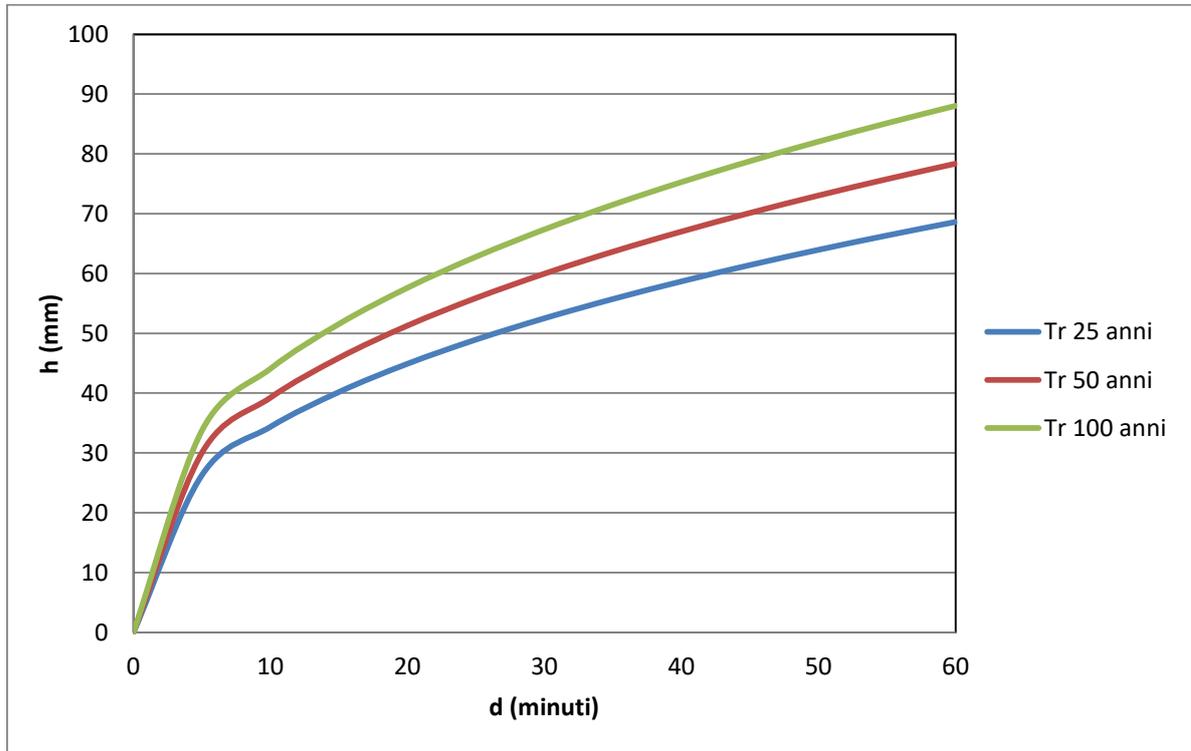


Figura 4.13 - Tratto 3 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

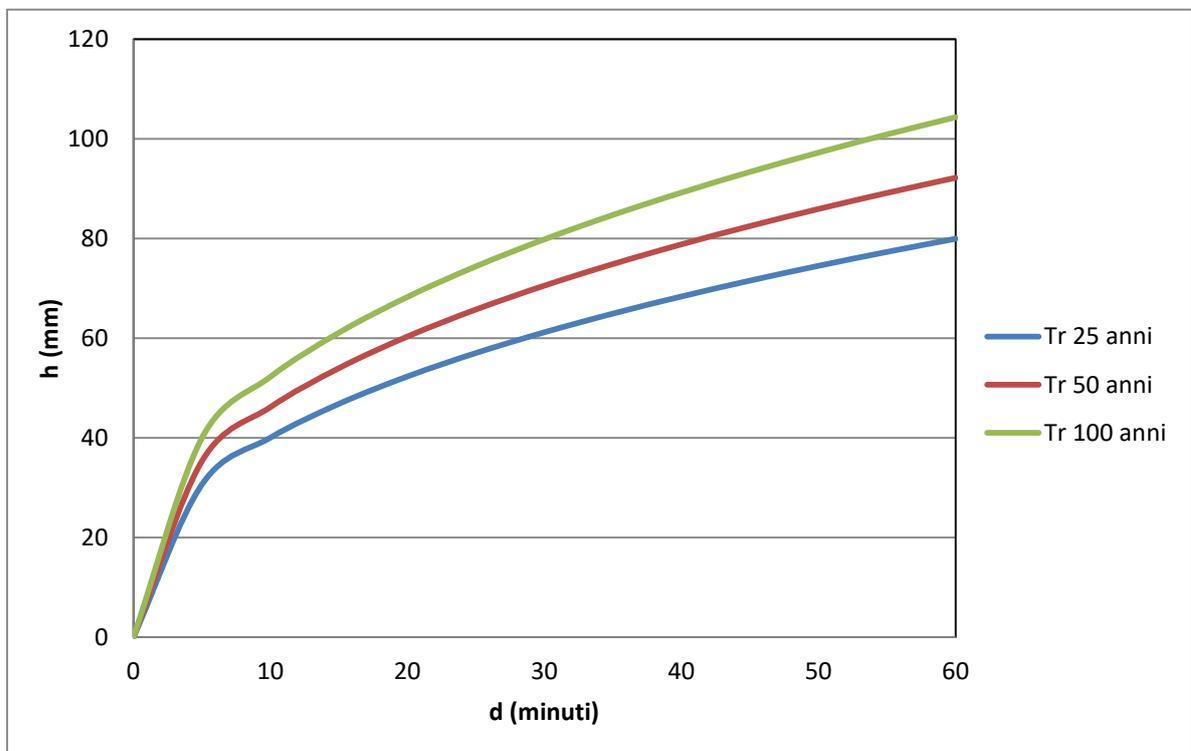


Figura 4.14 - Tratto 4 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

4.4 ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI

L'analisi statistica degli eventi osservati permette di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno T_r , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato. Il metodo utilizzato per l'analisi statistica dei dati di pluviometrici è la distribuzione di Gumbel, espressa dalla legge seguente:

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha(h-\beta)}} \quad (1)$$

Dove:

$$\alpha = 1,283/\sigma$$

$$\beta = M-0,577/\sigma$$

sono i parametri caratteristici della distribuzione valutati con il metodo dei momenti a partire dalla media M e dallo scarto quadratico medio σ del campione. Fissato il tempo di ritorno T dell'evento meteorico, legato alla probabilità di non superamento P dall'espressione

$$P = 1 - \frac{1}{T} \quad (2)$$

si determinano, una volta calcolati i parametri α e β per ciascun campione di durata caratteristica, i corrispondenti quantili h , mediante esplicitazione della (1). Per ciascun tempo di ritorno, le altezze massime di pioggia di fissata durata vengono interpolate con la legge caratteristica delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica

$$h = a \cdot d^n \quad (3)$$

con a ed n parametri di forma caratteristici delle suddette curve. Il dettaglio delle elaborazioni statistiche sopra descritte viene di seguito riportato per il pluviometro di Lentini Città (59 anni di registrazioni nel periodo 1939-2016), la cui superficie di influenza, valutata attraverso il metodo dei topoi, ricopre la quasi totalità dei bacini ricadenti nel Lotto 4.

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 4.3 - altezze di pioggia per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 anni

Tempi di ritorno (anni)	Altezza di pioggia (mm)				
	1	3	6	12	24
10	49.05	75.59	99.30	130.45	171.37
25	58.79	91.49	120.93	159.84	211.28
50	66.02	103.27	136.96	181.64	240.88
100	73.19	114.97	152.87	203.27	270.29
200	80.33	126.60	168.70	224.78	299.51
300	84.50	133.41	177.96	237.40	316.67
500	89.75	141.97	189.60	253.22	338.18

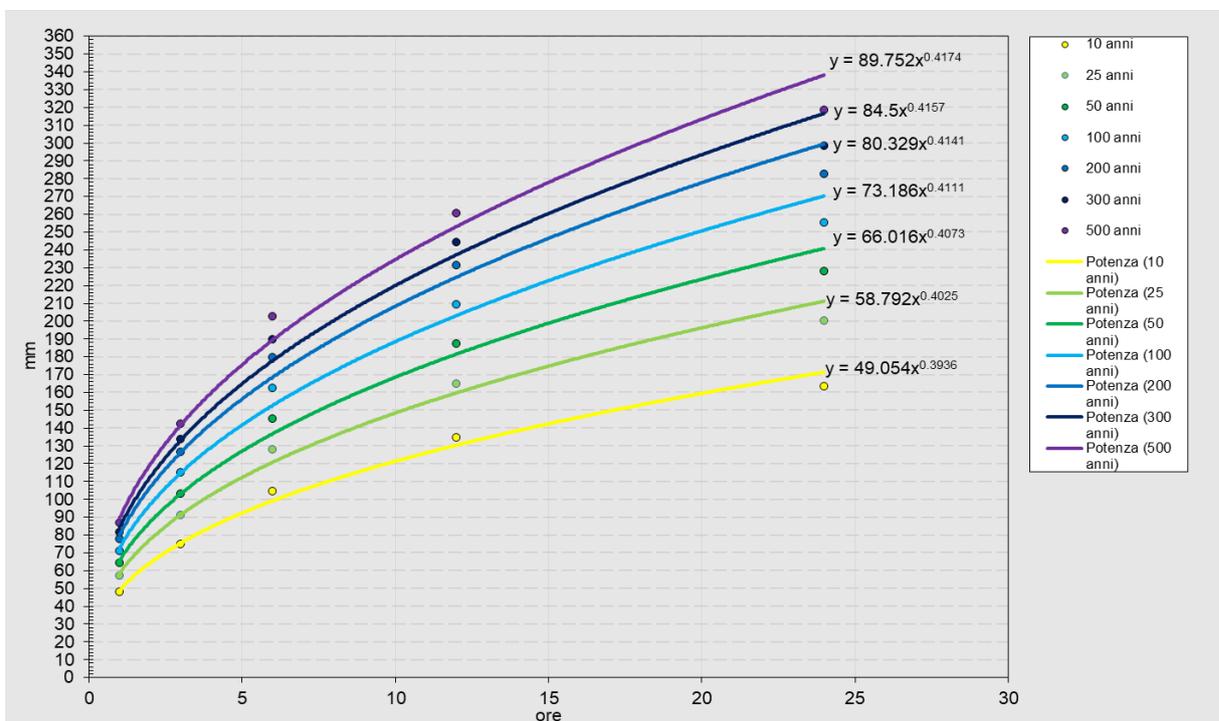


Figura 4.15 - LSP per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 anni

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 4.4 - Parametri a ed n relativi alle LSPP per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 anni

Tempi di ritorno (anni)	$h = a \cdot t^n$	
	a(T)	n
10	49.054	0.3936
25	58.792	0.4025
50	66.016	0.4073
100	73.186	0.4111
200	80.329	0.4141
300	84.500	0.4157
500	89.752	0.4174

La stazione pluviometrica analizzata non permette di effettuare un'analisi statistica significativa delle misure di pioggia di durata inferiore all'ora in quanto i campioni disponibili desunti dagli Annali Idrologici risultano in tal senso scarsamente numerosi.

E' stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia h, con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia h di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno T, è dipendente solo dalla durata t espressa in minuti:

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

Avendo indicato con f un simbolo funzionale. Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale può essere espresso nella semplice forma:

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

In cui t è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti, s è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame. Nel caso in oggetto, per la Sicilia il coefficiente assume il valore di 0.345 (Ferreri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la forma:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \left(\frac{t}{60}\right)^{0.345}$$

A partire dalla massima pioggia di durata oraria, si ricavano le corrispondenti altezze di pioggia di durata pari a frazioni di ora:

Tabella 4.5 - altezze di pioggia di durata inferiore all'ora per $T_r = 10, 25, 50, 100, 200, 300, 500$ anni

t (minuti)	h(10) mm	h(25) mm	h(50) mm	h(100) mm	h(200) mm	h(300) mm	h(500) mm
5	20.81	24.95	28.01	31.05	34.08	35.85	38.08
10	26.44	31.69	35.58	39.44	43.29	45.54	48.37
20	33.58	40.24	45.19	50.10	54.99	57.84	61.44
30	38.62	46.29	51.97	57.62	63.24	66.53	70.66
40	42.65	51.12	57.40	63.63	69.84	73.47	78.04
50	46.06	55.21	61.99	68.72	75.43	79.35	84.28
60	49.05	58.792	66.016	73.186	80.329	84.500	89.752

4.5 CONFRONTO TRA VAPI, PAI E GUMBEL

La valutazione dell'altezza di pioggia di progetto viene effettuata confrontando le diverse metodologie di calcolo delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e scegliendo, a favore di sicurezza, la maggiore.

Per la valutazione dei parametri relativi alle metodologie VAPI e PAI, che fanno riferimento alle mappe regionali, si considera la posizione del pluviometro di Vizzini. Il confronto viene effettuato per diversi tempi di ritorno e durate 1,3,6,12,24 ore e 10,20,30,40,50 minuti.

Si ricorda che nelle metodologie VAPI e PAI, per durate inferiori all'ora, le altezze massime di pioggia di fissata durata vengono interpolate con la seguente legge:

$$h(T, d) = K_T(d) \cdot \mu_{h_d}$$

con

$$\mu_{h_d} = 0,208 \mu_{h_1} \cdot d^{0,386}$$

Con d espresso in minuti.

Piogge di durata superiore all'ora

I parametri utilizzati individuati nelle mappe isoparametriche (VAPI) e nella mappe PAI in corrispondenza del pluviometro di Vizzini sono di seguito riassunti:

RELAZIONE IDROLOGICA

μ_{h1}	30	μ_{h1}	30
n	0.36	n	0.37
		CV	0.5

Si riportano i risultati delle elaborazioni secondo le metodologie descritte in precedenza

Tabella 4.6 - Altezze di pioggia di durata superiore all'ora per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 anni – Metodo di Gumbel

GUMBEL						
Tempi di ritorno (anni)	Altezza di pioggia (mm)					
	1	3	6	12	24	
10	49.05	75.59	99.30	130.45	171.37	
25	58.79	91.49	120.93	159.84	211.28	
50	66.02	103.27	136.96	181.64	240.88	
100	73.19	114.97	152.87	203.27	270.29	
200	80.33	126.60	168.70	224.78	299.51	
300	84.50	133.41	177.96	237.40	316.67	
500	89.75	141.97	189.60	253.22	338.18	

Tabella 4.7 - Altezze di pioggia di durata superiore all'ora per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 anni – Metodo VAPI

VAPI						
Tempi di ritorno (anni)	Altezza di pioggia (mm)					
	1	3	6	12	24	
10	45.28	67.25	86.31	110.78	142.18	
25	57.36	85.19	109.33	140.32	180.09	
50	66.49	98.75	126.74	162.66	208.77	
100	75.63	112.32	144.15	185.01	237.45	
200	84.76	125.88	161.56	207.36	266.13	
300	90.11	133.82	171.75	220.43	282.90	
500	96.84	143.82	184.58	236.90	304.04	

Tabella 4.8 - Altezze di pioggia di durata superiore all'ora per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 anni – Metodo PAI.

PAI	Altezza di pioggia (mm)					
	1	3	6	12	24	
10	49.55	74.39	96.14	124.25	160.58	
25	60.62	91.03	117.64	152.04	196.48	
50	68.84	103.37	133.59	172.65	223.12	
100	77.00	115.62	149.42	193.11	249.57	
200	85.13	127.83	165.20	213.49	275.91	
300	89.88	134.96	174.41	225.40	291.30	
500	95.86	143.93	186.01	240.39	310.67	

Le altezze di pioggia ricavate con la procedura PAI risultano più cautelative rispetto a quelle individuate con l'analisi statistica di Gumbel e VAPI nell'intervallo di tempo che vede come limite superiore il tempo di corrivazione maggiore (Bacino del San Leonardo). Per tale motivo saranno adottate per il calcolo delle portate di progetto di tale Lotto le altezze di pioggia ricavate con la procedura PAI.

A titolo di esempio si riporta il confronto tra le tre metodologie per un tempo di ritorno pari a 200 anni:

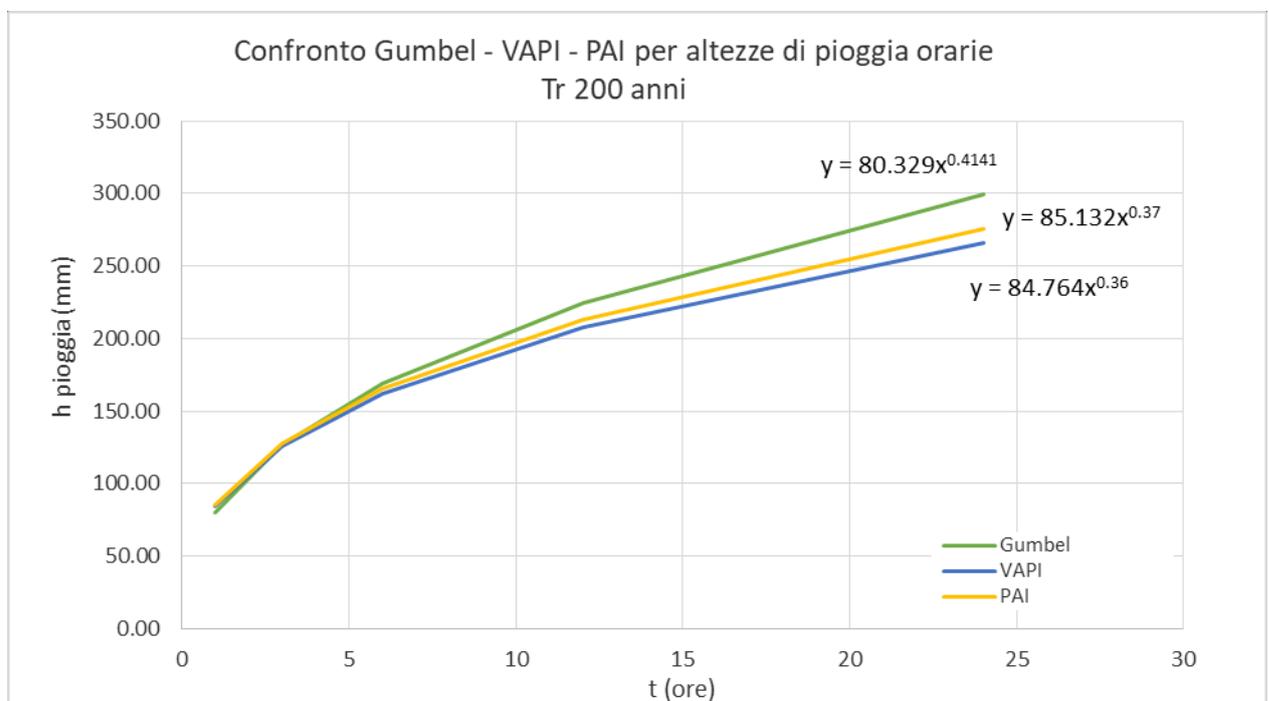


Figura 4.16 - confronto tra le LSPP per Tr 200 anni – piogge orarie.

Piogge di durata inferiore all'ora

I parametri utilizzati individuati nelle mappe isoparametriche (VAPI) e nella mappe PAI in corrispondenza del pluviometro di Vizzini sono di seguito riassunti:

μ_{h1}	30	μ_{h1}	30
n	0.36	n	0.37
		CV	0.5

Si riportano i risultati delle elaborazioni secondo le metodologie descritte in precedenza

Tabella 4.9 - Altezze di pioggia di durata inferiore all'ora per $T_r=10, 25, 50, 100, 200, 300, 500$ anni – Metodo di Gumbel

GUMBEL							
t (minuti)	h(10) mm	h(25) mm	h(50) mm	h(100) mm	h(200) mm	h(300) mm	h(500) mm
5	20.81	24.95	28.01	31.05	34.08	35.85	38.08
10	26.44	31.69	35.58	39.44	43.29	45.54	48.37
20	33.58	40.24	45.19	50.10	54.99	57.84	61.44
30	38.62	46.29	51.97	57.62	63.24	66.53	70.66
40	42.65	51.12	57.40	63.63	69.84	73.47	78.04
50	46.06	55.21	61.99	68.72	75.43	79.35	84.28
60	49.05	58.792	66.016	73.186	80.329	84.500	89.752

Tabella 4.10 - Altezze di pioggia di durata inferiore all'ora per $T_r=10, 25, 50, 100, 200, 300, 500$ anni – Metodo VAPI

VAPI							
t (minuti)	h(10) mm	h(25) mm	h(50) mm	h(100) mm	h(200) mm	h(300) mm	h(500) mm
5	17.53	22.21	25.74	29.28	32.82	34.88	60.85
10	22.91	29.02	33.64	38.26	42.88	45.59	67.46
20	29.94	37.92	43.96	50.00	56.04	59.57	74.80
30	35.01	44.34	51.41	58.47	65.53	69.66	79.46
40	39.12	49.55	57.44	65.34	73.23	77.84	82.94
50	42.64	54.01	62.61	71.21	79.81	84.84	85.75
60	45.28	57.360	66.494	75.629	84.764	90.107	96.839

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 4.11 - Altezze di pioggia di durata inferiore all'ora per $T_r = 10, 25, 50, 100, 200, 300, 500$ anni – Metodo PAI.

PAI							
t (minuti)	h(10) mm	h(25) mm	h(50) mm	h(100) mm	h(200) mm	h(300) mm	h(500) mm
5	19.18	23.47	26.65	29.81	32.96	34.80	37.11
10	25.07	30.67	34.83	38.96	43.07	45.47	48.49
20	32.75	40.08	45.51	50.91	56.28	59.42	63.37
30	38.30	46.87	53.22	59.53	65.81	69.49	74.11
40	42.80	52.37	59.47	66.52	73.54	77.65	82.81
50	46.65	57.08	64.82	72.51	80.16	84.63	90.26
60	49.546	60.625	68.844	77.003	85.132	89.879	95.856

Dall'analisi dei risultati si osserva che per minori durate e minor tempo di ritorno risultano più cautelativi i valori ottenuti statisticamente con la Gumbel mentre per durate e tempi di ritorno maggiori sono più cautelativi i valori di pioggia ottenuti con gli altri due metodi.

Tuttavia, al fine di uniformare le analisi, si sono considerati i valori maggiori tra le procedure VAPI e PAI e confrontati con i valori ottenuti dalla Gumbel.

Il confronto ha rilevato che su un totale di 98 valori soltanto per 14 (14.3%) la distribuzione di Gumbel risulta essere più cautelativa; per tutti gli altri (85.7%) risultano più cautelative o la procedura VAPI o quella PAI.

Per i motivi suddetti le altezze di pioggia ricavate con la procedura VAPI e PAI saranno adottate per il calcolo delle portate di progetto.

A titolo di esempio si riporta il confronto tra le tre metodologie per un tempo di ritorno pari a 200 anni:

4.6 SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI PROGETTO

4.6.1 _ Reticolo idrografico

A conclusione delle analisi precedentemente descritte, sono stati messi a confronto i risultati delle elaborazioni delle diverse metodologie di calcolo; a favore di sicurezza si assume quale altezza di pioggia di progetto la maggiore.

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 4.12 – Lotto 4 (ex 7) – altezze di pioggia di progetto per Tr = 10, 25, 50, 100, 200, 500 anni

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	h(10)	h(25)	h(50)	h(100)	h(200)	h(500)
		(km)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	2+261	30.841	37.568	42.558	47.511	52.447	59.052
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	3+056	25.732	31.344	35.508	39.641	43.759	49.27
Torrente Canale	4 (ex 7)	3+545	52.771	64.281	73.412	83.512	93.613	106.966
Fiume Costanzo	4 (ex 7)	5+940	61.11	77.548	89.982	102.417	114.851	131.289
Fiume Barbaianni	4 (ex 7)	6+580	68.939	86.06	99.883	113.706	127.529	145.802
Fosso Eremiti	4 (ex 7)	7+236	54.458	66.636	75.671	84.638	93.573	106.65
Torrente Margi	4 (ex 7)	9+025	70.268	89.161	103.453	117.745	132.037	150.93
Fosso Contrada Canneddazza	4 (ex 7)	9+615	53.637	66.057	75.271	84.417	93.529	105.551
Fosso Casa S. Antonio	4 (ex 7)	11+194	40.441	50.012	57.112	64.159	71.181	80.444

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 4.13 -:Lotto 4 (ex 8) – altezze di pioggia di progetto per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 500 anni

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	h(10)	h(25)	h(50)	h(100)	h(200)	h(500)
		(km)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Fosso Buonafede	4 (ex 8)	0+680	49.665	60.635	68.773	76.852	85.838	98.068
Fosso S.N.	4 (ex 8)	1+138	23.605	29.308	33.538	37.738	41.922	47.442
Fiume Zena	4 (ex 8)	1+250	76.104	95.871	111.273	126.675	142.076	162.436
Canale Lentini	4 (ex 8)	1+428	55.384	68.764	78.69	88.543	98.359	111.311
Fosso S.N.	4 (ex 8)	2+368	51.986	64.67	74.08	83.421	92.727	105.005
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	2+617	34.025	42.327	48.485	54.599	60.69	68.726
Fiume Reina	4 (ex 8)	3+000	83.397	106.078	123.236	140.394	157.552	180.233
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	3+393	52.77	65.646	75.198	84.68	94.127	106.59
Fosso SP67	4 (ex 8)	3+531	46.17	57.435	65.793	74.088	82.354	93.258
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	6+400	93.111	118.684	138.029	157.374	176.719	202.292
Fosso Casa Sabuci	4 (ex 8)	7+152	35.317	44.718	51.829	58.941	66.053	75.454
Scolo area agricola	4 (ex 8)	7+477	36.065	45.035	51.69	58.295	64.876	73.559
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	7+550	93.853	119.651	139.167	158.683	178.198	203.997
Fosso Masseria Privitera	4 (ex 8)	7+937	62.895	78.538	90.143	101.662	113.14	128.282

4.6.2 ___ Sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante

Dalle analisi precedentemente descritte emerge che le curve di possibilità pluviometrica derivanti dall'applicazione della metodologia P.A.I. risultano maggiormente cautelative per il Lotto in esame.

Tabella 4.14: curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante

Tratto	Progr. Iniz.	Progr. Fin.	a(25)	a(50)	a(100)	n (d ≤ 1 ora)
	(km)	(km)	(mm)	(mm)	(mm)	
1	L.4 - 0+000	L.4 - 4+760	56.58	64.25	71.87	0.386
2	L.4 - 4+760	L.4 - 0+400	61.56	70.30	78.98	0.386
3	L.4 - 0+400	L.4 - 6+600	67.93	77.58	87.15	0.386
4	L.4 - 6+600	L.4 - 8+356	79.12	91.23	103.25	0.386

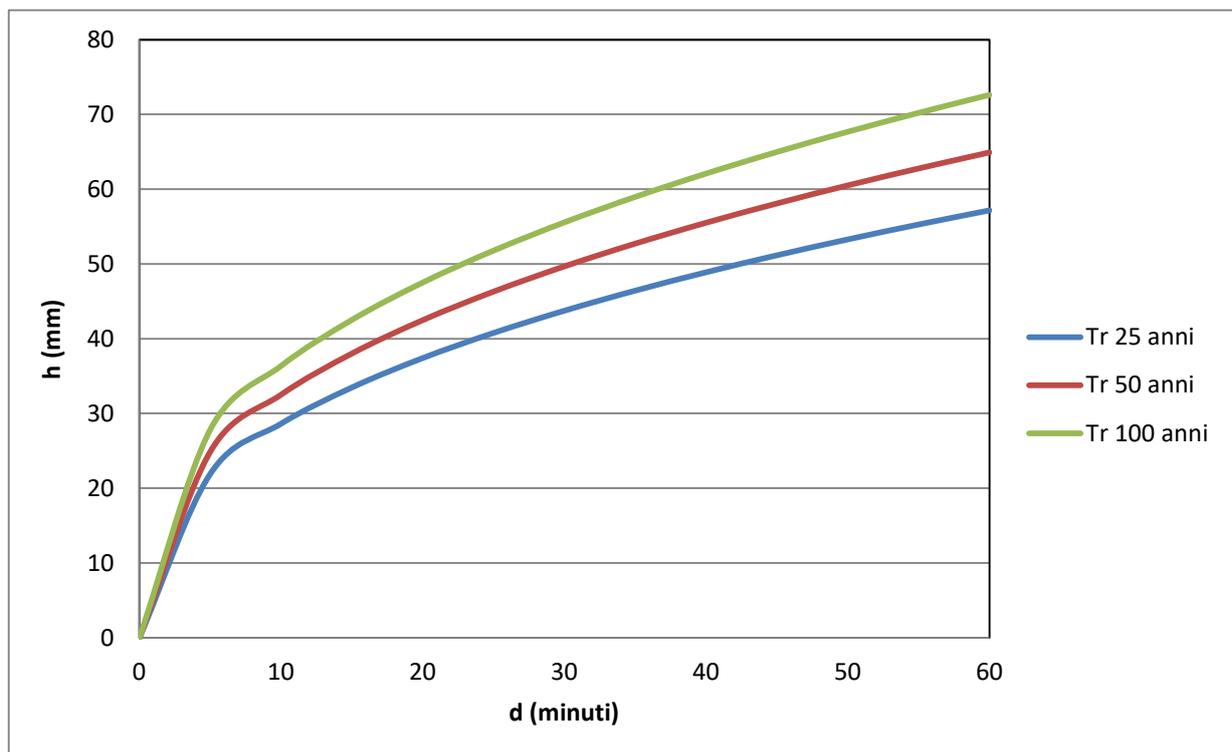


Figura 4.17 - Tratto 1 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

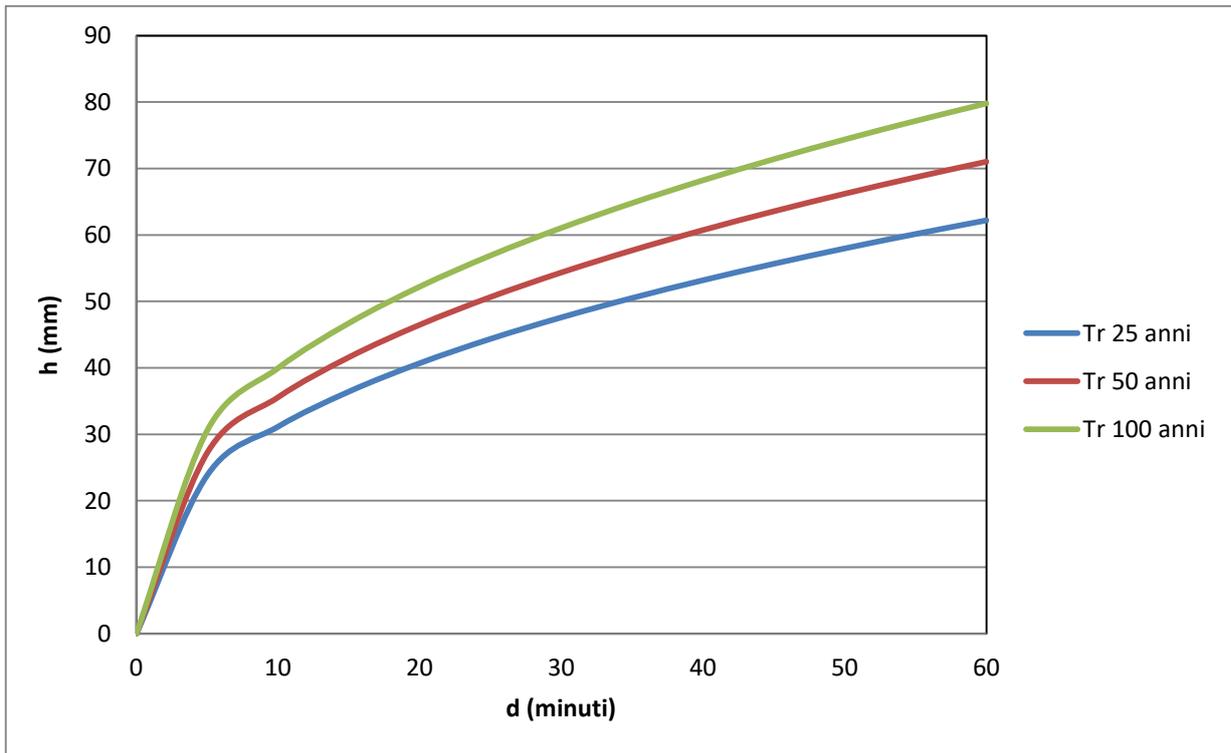


Figura 4.18 -Tratto 2 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

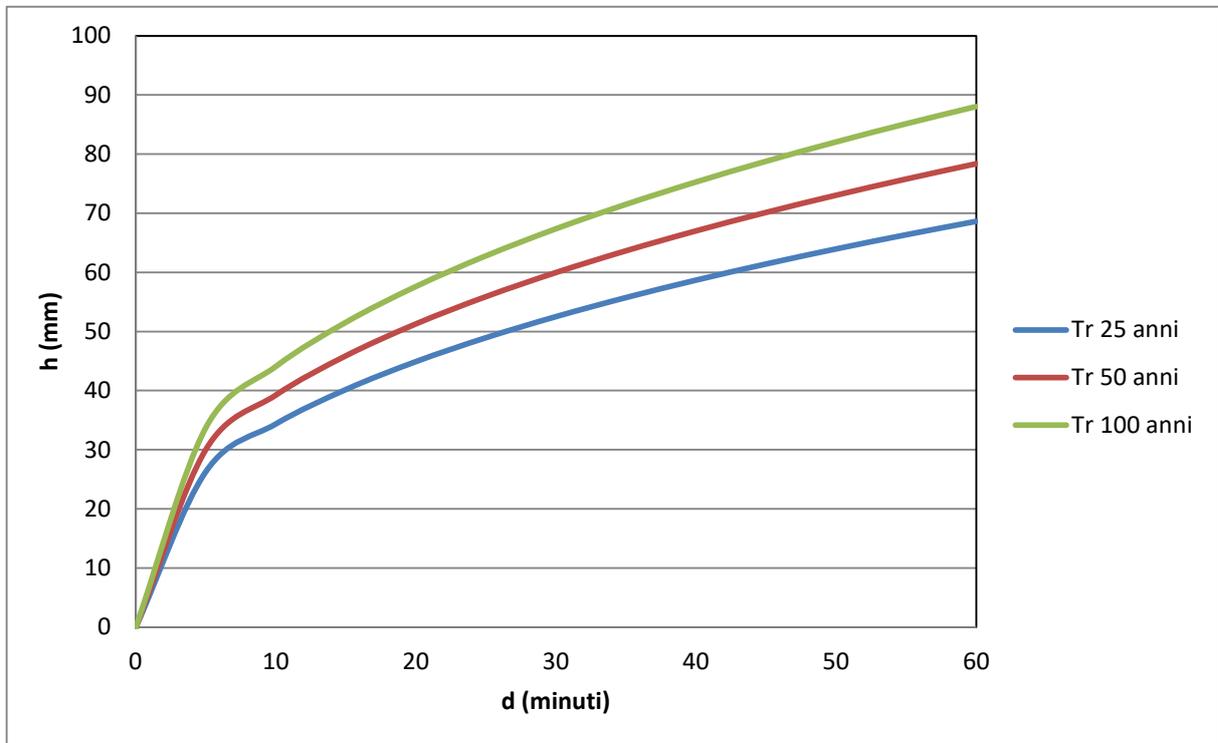


Figura 4.19 - Tratto 3 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

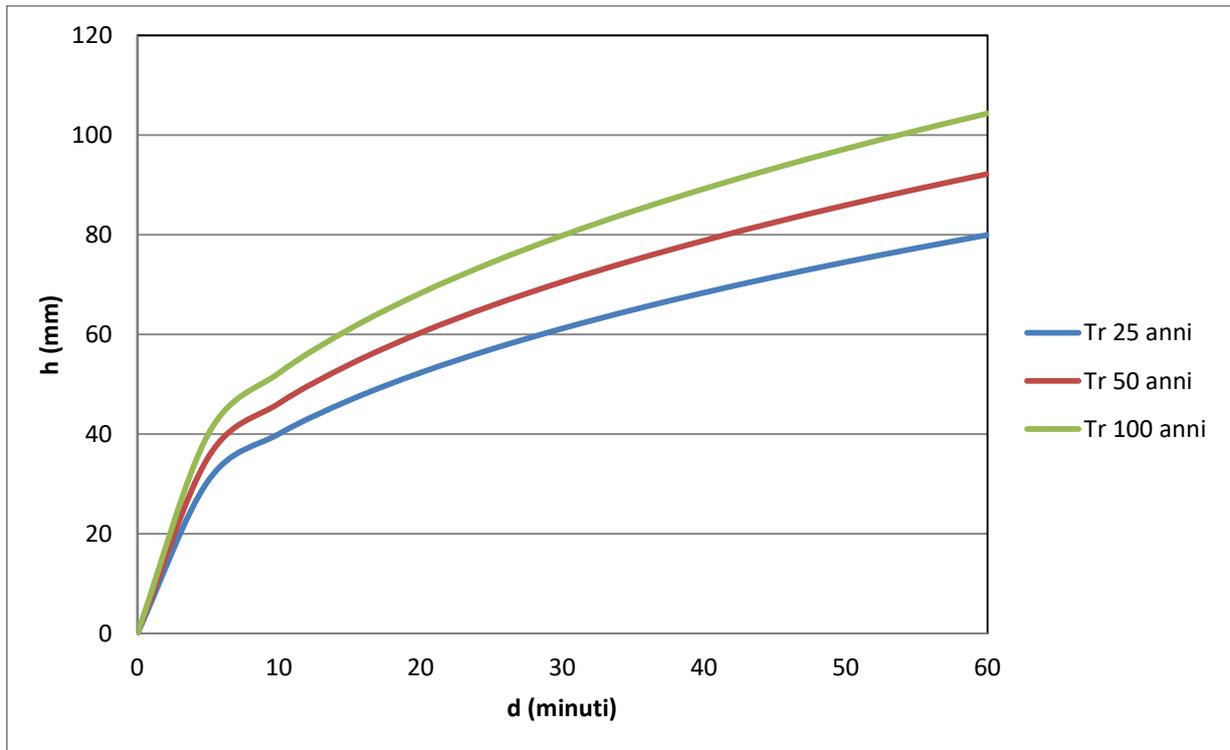


Figura 4.20 - Tratto 4 – curve di possibilità pluviometrica per Tr = 25, 50, 100 anni

5 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

5.1 PREMESSA

Scopo del presente capitolo è la definizione, per ciascun corso d'acqua interferito, delle portate di piena corrispondenti a tempo di ritorno pari a 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anni.

Tale operazione sarà condotta grazie all'utilizzo del metodo razionale.

Nel caso dei corsi d'acqua caratterizzati da bacini di elevata estensione (maggiore di 20 km²), i valori così ottenuti sono confrontati con quelli derivanti dall'applicazione della metodologia VA.PI. sviluppata dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V. "Valutazione delle piene in Sicilia" CNR-GNDCI, Palermo, 1993), la quale, come meglio descritto nel par.5.3.1, si basa su dati di portata misurati da stazioni idrometrografiche di importanti corsi d'acqua e, quindi, a rigore non risulta applicabile per bacini di ridotte dimensioni. Si assume quale portata di progetto il valore maggiore derivante dall'applicazione delle due metodologie.

5.2 METODO RAZIONALE

5.2.1 __ Metodologia di calcolo

Alla base della procedura vi sono le seguenti assunzioni:

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

La portata al colmo di piena è espressa dalla formula:

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

dove:

c = coefficiente di deflusso del bacino;

h = altezza massima di pioggia per una durata pari al tempo di corrivazione (mm);

- S = superficie del bacino (km²);
t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

La procedura si articola nei seguenti passi:

- delimitazione del bacino idrografico di interesse su una base cartografica in opportuna scala;
- definizione dei parametri morfologici e fisiografici (superficie del bacino sotteso, lunghezza e pendenza dell'asta principale, quota massima (H_{max}) minima (H_{min}) e media (H_{med}) del bacino, copertura vegetale, uso del suolo);
- definizione dei tempi di corrivazione in base a diverse formule teorico-sperimentali e attribuzione dei valori di riferimento;
- definizione della curva segnalatrice di probabilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno (vedi cap. 4);
- analisi dei dati di copertura e vegetazione per la valutazione del coefficiente di deflusso;
- calcolo della portata di massima piena per diversi tempi di ritorno.

5.2.2 _ Tempo di corrivazione

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

- per bacini con estensione areale superiore ai 20 km² – calcolo della media tra i valori derivanti dalla formula di Giandotti e quelli derivanti dalla relazione definita per i corsi d'acqua della regione Sicilia nell'ambito degli studi del Progetto VA.PI.

- Giandotti

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

- VA.PI.

$$t_c = 0,35\sqrt{A}$$

dove:

- A = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [kmq];
L = lunghezza dell'asta principale [km];

\bar{H} = dislivello medio del bacino imbrifero [m];

- per bacini con estensione areale inferiore ai 20 kmq – calcolo dei tempi di corrivazione mediante le seguenti formule

- Pezzoli

$$t_c = 0,055 L / \sqrt{i}$$

- Kirpich

$$t_c = 0,066 2 \frac{L^{0,77}}{i^{0,385}}$$

- Ventura

$$t_c = 0,127 \sqrt{A/i}$$

- Viparelli

$$t_c = \frac{L}{v \cdot 3,6}$$

dove:

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

L = lunghezza dell'asta principale [km];

i = pendenza media dell'asta principale [m/m];

v = velocità della corrente [m/m]; si assume pari a 1,5 m/s.

Al fine di effettuare una valutazione più "robusta", non prendendo in considerazione eventuali outlier, il tempo di corrivazione di progetto è calcolato come la media dei valori contenuti nell'intervallo $(\mu - \sigma; \mu + \sigma)$, dove μ è il valore medio dei risultati ottenuti dalle 4 espressioni sopra riportate e σ lo scarto quadratico medio.

E' stato assunto quale limite inferiore il valore di 5 minuti, essendo tempi inferiori non rappresentativi della realtà dei fenomeni fisici in esame, in considerazione della presenza di capacità di accumulo e trattenimento naturali degli afflussi.

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni.

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 5.1: bacini con estensione areale superiore ai 20 km² – calcolo del tempo di corrivazione

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	A	L	Hsez	Hmed	Giandotti	VA.PI.	Media
		(km)	(kmq)	(km)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(ore)	(ore)	(ore)
Fiume Costanzo	4 (ex 7)	5+940	70.623	22.965	53.5	420	4.44	2.94	3.69
Fiume Barbaianni	4 (ex 7)	6+580	106.052	23.639	50	420	4.98	3.6	4.29
Torrente Margi	4 (ex 7)	9+025	64.435	20.155	28	350	4.34	2.81	3.58
Fiume Zena	4 (ex 8)	1+250	92.53	23.497	13.2	310	5.35	3.37	4.36
Fiume Reina	4 (ex 8)	3+000	229.891	34.157	11.1	330	7.83	5.31	6.57
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	6+400	406.3	41.795	3.85	290	10.59	7.05	8.82
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	7+550	420.452	43.713	0.2	290	10.84	7.18	9.01

Tabella 5.2: bacini con estensione areale inferiore ai 20 km² – Lotto 4 (ex 7) - calcolo del tempo di corrivazione

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	A	L	i	Pezzoli	Kirpich	Ventura	Viparelli	Tc (Media no outlier)	
		(km)	(kmq)	(km)	(m/m)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(minuti)
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	2+261	0.572	1.9	0.079	0.37	0.29	0.34	0.35	0.36	21.32
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	3+056	0.278	1.477	0.106	0.25	0.21	0.21	0.27	0.22	13.34
Torrente Canale	4 (ex 7)	3+545	8.249	8.788	0.036	2.54	1.27	1.92	1.63	1.77	106.35
Fosso Eremiti	4 (ex 7)	7+236	5.063	9.799	0.034	2.91	1.41	1.55	1.81	1.59	95.33
Fosso Contrada Canneddazza	4 (ex 7)	9+615	11.828	6.392	0.064	1.39	0.8	1.73	1.18	1.29	77.15
Fosso Casa S. Antonio	4 (ex 7)	11+194	2.378	2.759	0.069	0.58	0.4	0.75	0.51	0.54	32.63

Tabella 5.3: bacini con estensione areale inferiore ai 20 km² – Lotto 4 (ex 8) - calcolo del tempo di corrivazione

Lotto	Progr. (km)	A (kmq)	L (km)	i (m/m)	Pezzoli (ore)	Kirpich (ore)	Ventura (ore)	Viparelli (ore)	Tc (Media no outlier)	
									(ore)	(minuti)
4 (ex 8)	0+680	4.203	6.011	0.078	1.19	0.7	0.94	1.11	1.08	64.7
4 (ex 8)	1+138	0.297	0.593	0.061	0.13	0.13	0.28	0.11	0.12	7.45
4 (ex 8)	1+428	6.18	6.174	0.069	1.3	0.75	1.21	1.14	1.22	72.91
4 (ex 8)	2+368	2.984	3.983	0.05	0.98	0.61	0.99	0.74	0.9	54.11
4 (ex 8)	2+617	0.073	0.42	0.005	0.32	0.26	0.48	0.08	0.29	17.3
4 (ex 8)	3+393	0.417	1.205	0.003	1.12	0.68	1.39	0.22	0.9	53.93
4 (ex 8)	3+531	0.702	1.67	0.014	0.77	0.5	0.89	0.31	0.64	38.15
4 (ex 8)	7+152	0.84	1.42	0.023	0.52	0.37	0.77	0.26	0.38	23.01
4 (ex 8)	7+477	0.39	0.729	0.013	0.35	0.28	0.7	0.14	0.25	15.24
4 (ex 8)	7+937	2.835	4.854	0.027	1.62	0.89	1.3	0.9	1.03	61.78

5.2.3 __ Altezza di pioggia e coefficiente di riduzione areale

E' comune esperienza che le piogge di elevata intensità si concentrino in aree piccole, e che, a parità di durata e a parità di tempo di ritorno, l'altezza di precipitazione decresca al crescere dell'area.

Al fine di tenere conto di tale fenomeno, per i bacini di estensione superiore ad 1 kmq, l'altezza di pioggia di progetto è stata calcolata moltiplicando le altezze di pioggia puntuali (vedi Cap. 4) per il coefficiente di riduzione areale definito dalla seguente relazione (U.S. Weather Bureau -Eagleson 1978):

$$ARF = 1 - e^{(-1.1 \cdot t^{0.25})} + e^{(-1.1 \cdot t^{0.25} - 0.00386 \cdot A)}$$

dove t = durata di pioggia [ore];

A = area del bacino [kmq].

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 5.4: Lotto 4 (ex 7) - calcolo delle altezze di pioggia ragguagliate

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	A	t	ARF	hr(10)	hr(25)	hr(50)	hr(100)	hr(200)	hr(500)
		(km)	(kmq)	(ore)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	2+261	0.572	0.36		30.841	37.568	42.558	47.511	52.447	59.052
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	3+056	0.278	0.22		25.732	31.344	35.508	39.641	43.759	49.27
Torrente Canale	4 (ex 7)	3+545	8.249	1.77	0.991	52.306	63.715	72.765	82.777	92.789	106.024
Fiume Costanzo	4 (ex 7)	5+940	70.623	3.69	0.948	57.937	73.52	85.309	97.098	108.887	124.471
Fiume Barbaianni	4 (ex 7)	6+580	106.052	4.29	0.931	64.185	80.125	92.995	105.865	118.734	135.747
Fosso Eremiti	4 (ex 7)	7+236	5.063	1.59	0.994	54.152	66.261	75.245	84.162	93.046	106.05
Torrente Margi	4 (ex 7)	9+025	64.435	3.58	0.951	66.859	84.836	98.434	112.033	125.632	143.608
Fosso Contrada Canneddazza	4 (ex 7)	9+615	11.828	1.29	0.955	51.243	63.109	71.912	80.649	89.355	100.841
Fosso Casa S. Antonio	4 (ex 7)	11+194	2.378	0.54	0.996	40.298	49.834	56.909	63.931	70.928	80.158

Tabella 5.5: Lotto 4 (ex 8) - calcolo delle altezze di pioggia ragguagliate

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	A	t	ARF	hr(10)	hr(25)	hr(50)	hr(100)	hr(200)	hr(500)
		(km)	(kmq)	(ore)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Fosso Buonafede	4 (ex 8)	0+680	4.203	1.08	0.995	49.404	60.317	68.413	76.449	85.388	97.554
Fosso S.N.	4 (ex 8)	1+138	0.297	0.12		23.605	29.308	33.538	37.738	41.922	47.442
Fiume Zena	4 (ex 8)	1+250	92.53	4.36	0.939	71.44	89.995	104.453	118.911	133.369	152.481
Canale Lentini	4 (ex 8)	1+428	6.18	1.22	0.993	54.973	68.253	78.105	87.885	97.629	110.484
Fosso S.N.	4 (ex 8)	2+368	2.984	0.9	0.996	51.782	64.417	73.79	83.094	92.364	104.594
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	2+617	0.073	0.29		34.025	42.327	48.485	54.599	60.69	68.726
Fiume Reina	4 (ex 8)	3+000	229.891	6.57	0.899	74.965	95.353	110.777	126.2	141.623	162.011
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	3+393	0.417	0.9		52.77	65.646	75.198	84.68	94.127	106.59
Fosso SP67	4 (ex 8)	3+531	0.702	0.64		46.17	57.435	65.793	74.088	82.354	93.258
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	6+400	406.3	8.82	0.881	82.04	104.573	121.617	138.662	155.707	178.24
Fosso Casa Sabuci	4 (ex 8)	7+152	0.84	0.38		35.317	44.718	51.829	58.941	66.053	75.454
Scolo area agricola	4 (ex 8)	7+477	0.39	0.25		36.065	45.035	51.69	58.295	64.876	73.559
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	7+550	420.452	9.01	0.881	82.649	105.367	122.553	139.739	156.925	179.643
Fosso Masseria Privitera	4 (ex 8)	7+937	2.835	1.03	0.996	62.669	78.256	89.819	101.297	112.733	127.821

5.2.4 ___ Coefficiente di deflusso

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

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

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

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

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

che risulta verificata in buona approssimazione.

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

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

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

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

RELAZIONE IDROLOGICA

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

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

Tabella 5.6: metodo SCS-CN; valori del "Curve Number" CN per i diversi tipi di suolo in funzione dell'uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II)

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

I valori del CN riportati nella Tabella 5.6 si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

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

Tabella 5.7: definizione della classe di umidità in base al parametro API_5

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

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

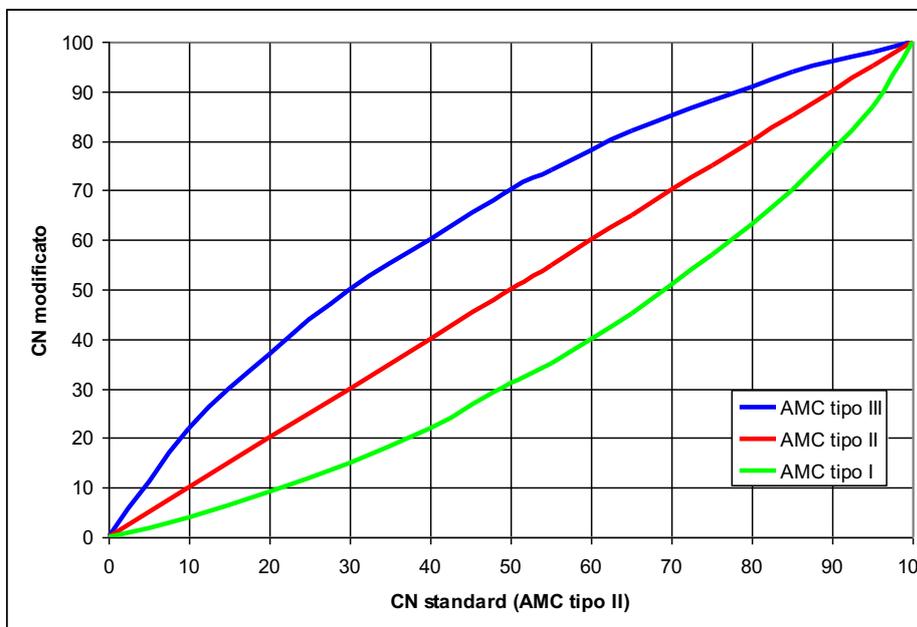


Figura 5.1: curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento

Tali curve possono essere interpolate mediante le seguenti relazioni:

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

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

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

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

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

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

- "Carta dei suoli della Regione Siciliana" edizione 1994. Scala 1:250.000 fornita dal S.I.T.R. della Regione Sicilia – Assessorato Territorio ed Ambiente;
- "Carta dell'uso del suolo" – "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" a cura dell'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia (2004-2005)
- Foto satellitari anni 2010 – 2012, al fine di valutare eventuali variazioni significative rispetto a quanto riportato nelle suddette carte;
- "Carta litologica" – "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" a cura dell'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia (2004-2005)

E' da evidenziare come, a favore di sicurezza, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- a tutti i terreni coltivati sono stati assegnati i valori di CN corrispondenti a "Terreno coltivato in assenza di pratiche di conservazione del suolo";
- a tutti gli spazi verdi e terreni a pascolo sono stati assegnati i valori di CN corrispondenti a "Terreno a pascolo in cattive condizioni";
- a tutte le aree boscate sono stati assegnati i valori di CN corrispondenti a "Terreni boscosi o forestati in presenza di copertura rada e senza sottobosco";

RELAZIONE IDROLOGICA

- a tutti i centri abitati o industriali sono stati assegnati i valori di CN corrispondenti a "Distretti industriali (area impermeabile 72%)".

Per tutti i bacini di dimensioni ridotte (superficie inferiore a 3 km²) si è supposta, in sicurezza, una condizione iniziale "umida" cosicché i valori di CN (II) sono stati convertiti in CN (III).

In ragione delle caratteristiche climatiche della Sicilia e del carattere torrentizio dei corsi d'acqua in studio, si è ritenuto che tale assunzione sarebbe risultata eccessivamente cautelativa nel caso dei corsi d'acqua maggiori. Il CN utile alla definizione del coefficiente di deflusso è stato calcolato, in questi casi, come media tra il valore corrispondente a condizioni di imbibimento medie (CN(II)) e quello corrispondente a condizioni di imbibimento "umide" (CN(III)).

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni

Tabella 5.8: Lotto 4 (ex 7) – calcolo del coefficiente di deflusso

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	CN(II)	CN(III)	CNbacino	F(10)	F(25)	F(50)	F(100)	F(200)	F(500)
		(km)									
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	2+261	84.08	92.47	92.47	0.488	0.55	0.587	0.618	0.645	0.676
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	3+056	90.26	95.57	95.57	0.604	0.658	0.689	0.715	0.737	0.761
Torrente Canale	4 (ex 7)	3+545	73.64	86.66	80.15	0.294	0.36	0.404	0.447	0.485	0.527
Fiume Costanzo	4 (ex 7)	5+940	66.9	82.46	74.68	0.226	0.303	0.352	0.396	0.434	0.478
Fiume Barbaianni	4 (ex 7)	6+580	66.08	81.92	74	0.247	0.319	0.369	0.413	0.451	0.494
Fosso Eremiti	4 (ex 7)	7+236	73.02	86.29	79.65	0.295	0.363	0.405	0.442	0.475	0.517
Torrente Margi	4 (ex 7)	9+025	70.16	84.54	77.35	0.32	0.4	0.449	0.491	0.527	0.568
Fosso Contrada Canneddazza	4 (ex 7)	9+615	75.6	87.81	81.71	0.321	0.391	0.434	0.472	0.505	0.542
Fosso Casa S. Antonio	4 (ex 7)	11+194	75.74	87.89	87.89	0.403	0.473	0.516	0.552	0.583	0.617

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 5.9: Lotto 4 (ex 8) – calcolo del coefficiente di deflusso

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	CN(II)	CN(III)	CNbacino	F(10)	F(25)	F(50)	F(100)	F(200)	F(500)
		(km)									
Fosso Buonafede	4 (ex 8)	0+680	73.39	86.51	79.95	0.271	0.337	0.38	0.417	0.453	0.497
Fosso S.N.	4 (ex 8)	1+138	72	85.67	85.67	0.168	0.234	0.277	0.316	0.351	0.393
Fiume Zena	4 (ex 8)	1+250	71.25	85.22	78.23	0.359	0.436	0.485	0.526	0.561	0.601
Canale Lentini	4 (ex 8)	1+428	76.87	88.55	82.71	0.367	0.439	0.484	0.521	0.553	0.59
Fosso S.N.	4 (ex 8)	2+368	85.66	93.28	89.47	0.535	0.6	0.638	0.669	0.695	0.724
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	2+617	87.46	94.19	90.83	0.45	0.52	0.562	0.597	0.626	0.659
Fiume Reina	4 (ex 8)	3+000	70.12	84.52	77.32	0.358	0.438	0.487	0.528	0.563	0.603
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	3+393	87.46	94.19	94.19	0.715	0.762	0.787	0.808	0.825	0.843
Fosso SP67	4 (ex 8)	3+531	87.46	94.19	94.19	0.683	0.734	0.762	0.785	0.803	0.823
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	6+400	67.13	82.61	74.87	0.343	0.424	0.474	0.516	0.551	0.591
Fosso Casa Sabuci	4 (ex 8)	7+152	77	88.62	88.62	0.382	0.461	0.508	0.548	0.582	0.62
Scolo area agricola	4 (ex 8)	7+477	80.44	90.54	90.54	0.458	0.529	0.571	0.605	0.635	0.668
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	7+550	67.33	82.74	75.04	0.348	0.429	0.479	0.521	0.556	0.596
Fosso Masseria Privitera	4 (ex 8)	7+937	66.72	82.34	82.34	0.403	0.476	0.52	0.557	0.589	0.624

5.2.5 __ Risultati delle elaborazioni

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 5.10: Lotto 4 (ex 7) – metodo razionale – portate di progetto

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	Q(10)	Q(25)	Q(50)	Q(100)	Q(200)	Q(500)
		(km)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	2+261	6.73	9.23	11.16	13.13	15.12	17.83
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	3+056	5.41	7.17	8.51	9.85	11.21	13.04
Torrente Canale	4 (ex 7)	3+545	19.88	29.64	38.05	47.86	58.45	72.2
Fiume Costanzo	4 (ex 7)	5+940	69.42	118.21	159.68	204.16	251.05	315.97
Fiume Barbaianni	4 (ex 7)	6+580	108.67	175.65	235.73	299.91	367.35	460.49
Fosso Eremiti	4 (ex 7)	7+236	14.15	21.27	26.99	32.96	39.15	48.54
Torrente Margi	4 (ex 7)	9+025	107.06	169.75	221.3	275.46	341.33	408.41
Fosso Contrada Canneddazza	4 (ex 7)	9+615	41.99	62.97	79.76	97.21	124.06	139.76
Fosso Casa S. Antonio	4 (ex 7)	11+194	19.72	28.64	35.64	42.83	50.18	60.11

Tabella 5.11: Lotto 4 (ex 8) – metodo razionale – portate di progetto

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	Q(10)	Q(25)	Q(50)	Q(100)	Q(200)	Q(500)
		(km)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)
Fosso Buonafede	4 (ex 8)	0+680	14.5	22.03	28.11	34.49	41.91	52.44
Fosso S.N.	4 (ex 8)	1+138	2.64	4.55	6.18	7.93	9.79	12.39
Fiume Zena	4 (ex 8)	1+250	151.35	231.64	298.86	369.05	441.54	540.08
Canale Lentini	4 (ex 8)	1+428	28.51	42.37	53.35	64.68	76.64	92.09
Fosso S.N.	4 (ex 8)	2+368	25.48	35.54	43.26	51.08	58.99	69.56
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	2+617	1.08	1.55	1.92	2.3	2.68	3.2
Fiume Reina	4 (ex 8)	3+000	260.61	406.05	524.45	648.09	775.76	949.28
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	3+393	4.86	6.44	7.63	8.82	10	11.58
Fosso SP67	4 (ex 8)	3+531	9.67	12.92	15.37	17.82	20.28	23.54
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	6+400	359.54	567.06	736.76	914.44	1098.25	1348.51
Fosso Casa Sabuci	4 (ex 8)	7+152	8.22	12.54	16.04	19.67	23.41	28.48
Scolo area agricola	4 (ex 8)	7+477	7.03	10.14	12.56	15.04	17.55	20.93
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	7+550	373.08	586.73	761.2	943.69	1132.36	1389.06
Fosso Masseria Privitera	4 (ex 8)	7+937	19.3	28.48	35.71	43.14	50.74	61.01

5.3 PROCEDURA VA.PI.

5.3.1 __ Metodologia di calcolo

Tale metodologia risulta del tutto analoga a quella per la stima delle curve di possibilità pluviometriche, già descritta nel paragrafo 4.2.1 (a cui si rimanda pertanto per la sua descrizione analitica).

I dati di base utilizzati sono massimi annuali delle portate istantanee; si tratta complessivamente di 27 stazioni idrometrografiche con numerosità superiore a 10 anni di osservazione. Complessivamente si hanno 588 valori di massimo annuale della portata al colmo di piena, per una numerosità media di 22 anni per stazione, ottenuti integrando i dati riportati nella Pubbl. n. 17 del SIMN con informazioni originali messe a disposizione dal Compartimento di Palermo, fino al 1982.

Al 1° livello di regionalizzazione, i redattori dello studio preso a riferimento hanno mostrato che l'Italia Appenninica, inclusa la Sicilia ed esclusa parte della Liguria, può essere considerata una zona omogenea. Particolarizzando l'analisi alla sola regione Sicilia, ed assumendo che essa sia un'unica zona idrometrica omogenea, ne risultano i seguenti parametri di forma:

$$\Lambda^* = 0,9918 \quad \Theta^* = 2,7998$$

Al secondo livello, si è suddiviso il territorio regionale in 3 sottozone omogenee, seguendo il criterio di omogeneità spaziale pluviometrico (vedi Figura 4.1).

Si riportano di seguito i valori di K_T ottenuti numericamente per alcuni valori del periodo di ritorno.

Tabella 5.12: valori del coefficiente di crescita K_T per le portate in Sicilia, per alcuni valori del tempo di ritorno T

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
KT (SZO A)	0.85	1.45	1.91	2.36	2.51	2.82	2.97	3.42	3.87	4.46	4.91
KT (SZO B)	0.83	1.51	2.04	2.57	2.74	3.1	3.26	3.78	4.3	4.99	5.51
KT (SZO C)	0.82	1.54	2.1	2.66	2.83	3.21	3.38	3.93	4.48	5.2	5.75

Si ricorda che l'infrastruttura in progetto ricade nella sottozona omogenea C.

Al 3° livello di regionalizzazione, per il calcolo della portata al colmo di piena istantanea viene proposta la seguente relazione:

$$\mu_Q = 3.09 \cdot A^{0.736} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

in cui con A si intende l'area del bacino, espressa in km².

5.3.2 ___ Risultati delle elaborazioni

Come detto in precedenza la metodologia VA.PI. è stata utilizzata per la stima delle portate di piena dei corsi d'acqua maggiori (estensione del bacino maggiore di 20 km²) in quanto la procedura è a rigore applicabile esclusivamente a corsi d'acqua di caratteristiche similari a quelli da cui sono stati tratti i dati di base utili alla definizione della procedura stessa.

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni.

Tabella 5.13: metodologia VA.PI. – definizione delle portate di massima piena per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 500 anni

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	A	μ_Q	Q(10)	Q(25)	Q(50)	Q(100)	Q(200)	Q(500)
		(km)	(kmq)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)
Fiume Costanzo	4 (ex 7)	5+940	70.623	70.922	148.94	200.71	239.72	278.72	318.02	368.8
Fiume Barbaianni	4 (ex 7)	6+580	106.052	95.662	200.89	270.72	323.34	375.95	428.57	497.44
Torrente Margi	4 (ex 7)	9+025	64.435	66.294	139.22	187.61	224.07	260.54	297	344.73
Fiume Zena	4 (ex 8)	1+250	92.53	86.525	181.7	244.87	292.46	340.05	387.63	449.93
Fiume Reina	4 (ex 8)	3+000	229.891	169.059	355.02	478.44	571.42	664.4	757.38	879.11
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	6+400	406.3	257.081	539.87	727.54	868.93	1010.33	1151.72	1336.82
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	7+550	420.452	263.642	553.65	746.11	891.11	1036.11	1181.11	1370.94

5.4 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

Nel dimensionamento delle opere e nelle verifiche di compatibilità idraulica dei corsi d'acqua principali (estensione bacino maggiore di 20 km²) sono assunte quali portate di progetto i valori massimi tra quelli derivanti dall'applicazione del metodo razionale e quelli calcolati mediante la procedura VA.PI.

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 5.14: Corsi d'acqua A>20km² - definizione delle portate di massima piena per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 500 anni

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	Q(10)	Q(25)	Q(50)	Q(100)	Q(200)	Q(500)
		(km)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)
Fiume Costanzo	4 (ex 7)	5+940	148.94	200.71	239.72	278.72	318.02	368.8
Fiume Barbaianni	4 (ex 7)	6+580	200.89	270.72	323.34	375.95	428.57	497.44
Torrente Margi	4 (ex 7)	9+025	139.22	187.61	224.07	275.46	341.33	408.41
Fiume Zena	4 (ex 8)	1+250	181.7	244.87	298.86	369.05	441.54	540.08
Fiume Reina	4 (ex 8)	3+000	355.02	478.44	571.42	664.4	775.76	949.28
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	6+400	539.87	727.54	868.93	1010.33	1151.72	1348.51
Fiume San Leonardo	4 (ex 8)	7+550	553.65	746.11	891.11	1036.11	1181.11	1389.06

Per i corsi d'acqua caratterizzati da bacino inferiore a 20 km² le portate di progetto derivano dall'applicazione del metodo razionale.

Tabella 5.15: Corsi d'acqua A<20km² - Lotto 4 (ex 7) - definizione delle portate di massima piena per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 500 anni

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	Q(10)	Q(25)	Q(50)	Q(100)	Q(200)	Q(500)
		(km)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	2+261	6.73	9.23	11.16	13.13	15.12	17.83
Affluente Torrente Canale	4 (ex 7)	3+056	5.41	7.17	8.51	9.85	11.21	13.04
Torrente Canale	4 (ex 7)	3+545	19.88	29.64	38.05	47.86	58.45	72.2
Fosso Eremiti	4 (ex 7)	7+236	14.15	21.27	26.99	32.96	39.15	48.54
Fosso Contrada Canneddazza	4 (ex 7)	9+615	41.99	62.97	79.76	97.21	124.06	139.76
Fosso Casa S. Antonio	4 (ex 7)	11+194	19.72	28.64	35.64	42.83	50.18	60.11

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 5.16: Corsi d'acqua A<20km² - Lotto 4 (ex 8) - definizione delle portate di massima piena per Tr =10, 25, 50, 100, 200, 500 anni

Corso d'acqua	Lotto	Progr.	Q(10)	Q(25)	Q(50)	Q(100)	Q(200)	Q(500)
		(km)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)	(mc/s)
Fosso Buonafede	4 (ex 8)	0+680	14.5	22.03	28.11	34.49	41.91	52.44
Fosso S.N.	4 (ex 8)	1+138	2.64	4.55	6.18	7.93	9.79	12.39
Canale Lentini	4 (ex 8)	1+428	28.51	42.37	53.35	64.68	76.64	92.09
Fosso S.N.	4 (ex 8)	2+368	25.48	35.54	43.26	51.08	58.99	69.56
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	2+617	1.08	1.55	1.92	2.3	2.68	3.2
Fosso Ex Molino Riceputo	4 (ex 8)	3+393	4.86	6.44	7.63	8.82	10	11.58
Fosso SP67	4 (ex 8)	3+531	9.67	12.92	15.37	17.82	20.28	23.54
Fosso Casa Sabuci	4 (ex 8)	7+152	8.22	12.54	16.04	19.67	23.41	28.48
Scolo area agricola	4 (ex 8)	7+477	7.03	10.14	12.56	15.04	17.55	20.93
Fosso Masseria Privitera	4 (ex 8)	7+937	19.3	28.48	35.71	43.14	50.74	61.01