

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO ESECUTIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA

Soppressione PL al km 3+639

NV01 VIABILITA'

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

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

RS0M 00 E 11 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	M. Ventura	08.15	E. Cabas	08.15	P. Carlesimo	Agosto 2015	F. Sacchi	Agosto 2015

ITALFERR S.p.A.
 U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA
 Dott. Ing. FRANCESCO SACCHI
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catania
 n. 72/A2

36

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0M	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 2 di 29

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SINTESI TECNICO DESCRITTIVA	5
2.1	Inquadramento generale dell'area	5
2.2	Idrografia	6
2.3	Inquadramento normativo	Errore. Il segnalibro non è definito.
2.4	Identificazione della rete idrografica	9
2.4.1	<i>Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge</i>	9
2.4.2	<i>Il modello probabilistico TCEV</i>	9
2.4.3	<i>Il modello probabilistico di Gumbel</i>	12
2.5	Analisi delle precipitazioni	13
2.5.1	<i>Metodo VAPI Sicilia piogge</i>	13
2.6	Stima delle portate	20
2.6.1	<i>Il metodo cinematico o razionale</i>	20
2.6.2	<i>Definizione delle portate</i>	24
2.7	Definizione delle altezze di pioggia per eventi con durata inferiore all'ora	26
	BIBLIOGRAFIA	28

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Coefficienti a e n.	19
Tabella 2 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.	23
Tabella 3 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.....	23
Tabella 4 - Caratteristiche Morfologiche dei bacini.....	25
Tabella 5 - Stima dei Tempi di Corrivazione considerati	25
Tabella 6 - Portate di picco per gli attraversamenti idraulici.	25

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento geografico nuova viabilità.	5
Figura 2 Bacini Idrografici fosso minore interferente.	6
Figura 3 Stralcio carte di pericolosità idraulica.	7
<i>Figura 4- particolare area di esondazione del Fiume Dittaino in corrispondenza della viabilità di progetto, per tempi di ritorno di 200 anni (linea verde chiaro) e 300 anni (linea verde scuro). Elaborazione estratta dallo studio bidimensionale del Fiume Dittaino (Progetto Definitivo tratta Bicocca-Catenanuova)</i>	8
Figura 5 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.	15
Figura 6– Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano.	18
Figura 7– Stima grafica dei coefficienti “a” (linea blu) ed “n” (linea verde) per l’opera IV01 al Km 3+639.	19
Figura 8– Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.	21

1 PREMESSA

Nell'ambito dell'intervento di raddoppio della linea ferroviaria Palermo - Catania, nella tratta che si sviluppa tra Catenanuova e Bicocca è prevista la realizzazione di una nuova viabilità alla progressiva chilometrica Km 3 + 639, all'interno del comune di Centuripe.

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere necessario alla continuità dei fossi minori individuati e la curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio della nuova viabilità,

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei, nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi intensi;
- Perimetrazione dei bacini idrografici e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- Redazione delle corografie dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza della nuova viabilità;
- 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 Metodo VaPi-CNR-piogge per la regione Sicilia (codificato in "La sistemazione dei bacini idrografici" - Seconda edizione- Vito Ferro 2006).
- Valutazione delle portate liquide dei bacini idrografici nella sezione di chiusura, mediante applicazione del metodo razionale.
- Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma.

2 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

2.1 Inquadramento generale dell'area

L'intervento progettuale proposto ricade all'interno del bacino del Fiume Dittaino, area situata nel versante orientale dell'Isola, nella provincia di Enna.

La nuova viabilità collega la viabilità poderale posta tra il Fiume Dittaino e la tratta ferroviaria Catenanuova – Bicocca con la Strada Statale n.192 attraverso un cavalca ferrovia, parte anch'esso del presente progetto.



Figura 1 - Inquadramento geografico nuova viabilità.

2.2 Idrografia

L'opera in progetto non attraversa corsi d'acqua o torrenti principali, è però presente una lieve incisione sottesa ad un bacino di modesta estensione (circa 15 ettari) la cui forma è stata leggermente modificata rispetto al PD a seguito dell'acquisizione di basi cartografiche più dettagliate.

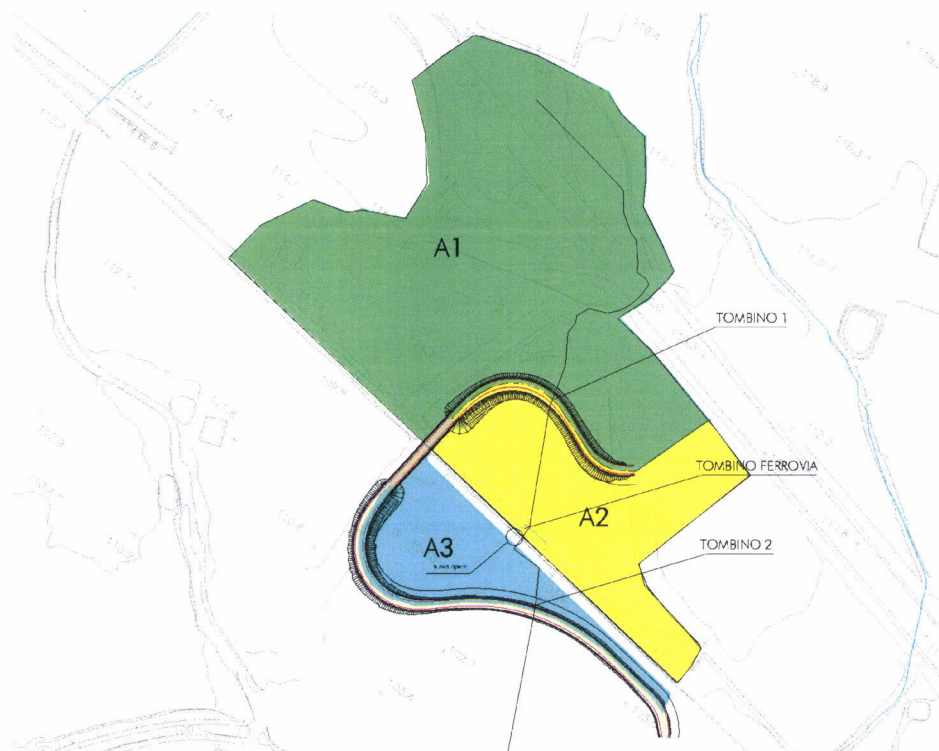


Figura 2 Bacini Idrografici fosso minore interferente.

2.3 Verifica della compatibilità Idraulica dell'opera

L'analisi condotta nel presente studio ha considerato gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore. In particolare, all'interno degli strumenti legislativi di recente emanazione è stato consultato il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Simeto (V aggiornamento, anno 2013), al fine di individuare eventuali criticità legate alla presenza del fiume Dittaino.

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica

attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione.

Dagli elaborati grafici annessi relativi alle carte di pericolosità idraulica si evince come l'infrastruttura di progetto sia esterna alla perimetrazione del Piano di Bacino (Figura 3)

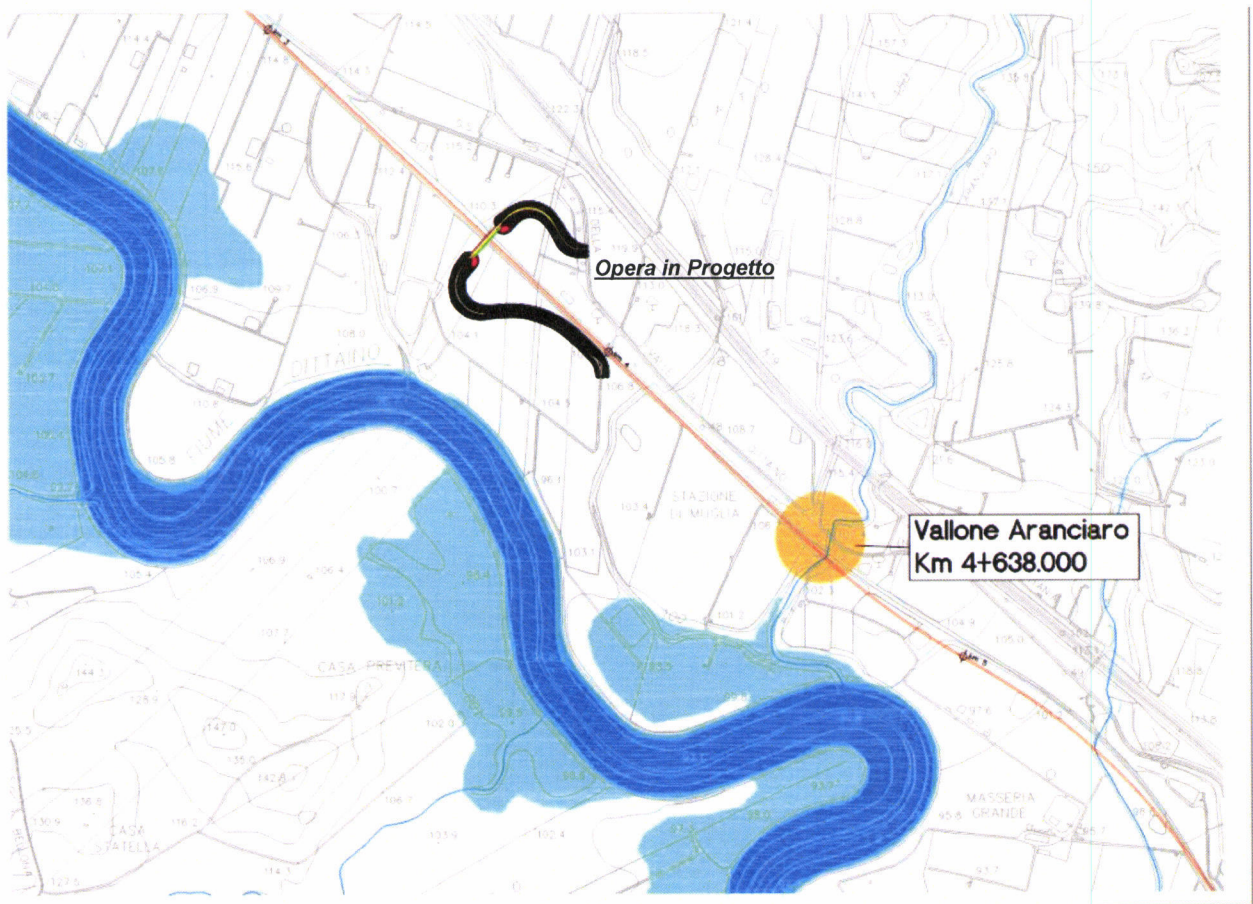


Figura 3 Stralcio carte di pericolosità idraulica.

Dall'analisi della pianificazione vigente si evidenzia che le aree soggette a possibili fenomeni di esondazione o dissesti, determinate dal PAI sono situate a valle dell'attuale tracciato ferroviario. A seguito degli approfondimenti condotti nell'ambito del progetto

definitivo dell'intera tratta, è emerso che dalle simulazioni con modello bidimensionale, tale opera sarebbe parzialmente interessata da un'area di esondazione del fiume Dittaino. Tuttavia, lo stesso modello evidenzia che l'entità dei tiranti nei pressi dell'opera ($T_r = 300$ anni) è molto bassa, in particolare in corrispondenza delle sezioni 16 e 17 (vedi fig. 4) i tiranti idrici sono rispettivamente di 20 e 30 centimetri, con franchi rispetto al ciglio stradale di 62 e 139 cm, pertanto essendo in quel tratto l'opera in rilevato e data anche la presenza del fosso di guardia, non si ritiene necessario prevedere opere aggiuntive di trasparenza. Sarà comunque prevista una protezione in materassi lungo il rilevato nel tratto più esposto all'acqua e per i cui dettagli si rimanda agli elaborati di idraulica.

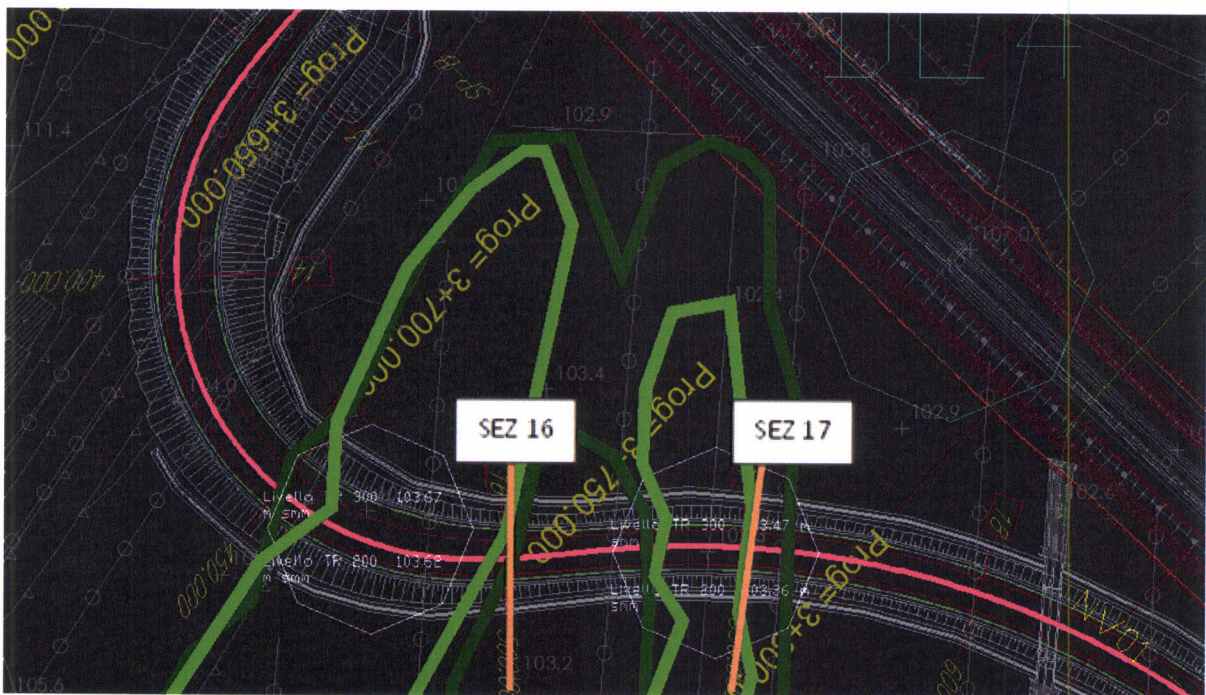


Figura 4- particolare area di esondazione del Fiume Dittaino in corrispondenza della viabilità di progetto, per tempi di ritorno di 200 anni (linea verde chiaro) e 300 anni (linea verde scuro). Elaborazione estratta dallo studio bidimensionale del Fiume Dittaino (Progetto Definitivo tratta Bicocca-Catenanuova)

2.4 Identificazione della rete idrografica

2.4.1 Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge

In questo capitolo 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.

2.4.2 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:

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

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$ dove con $\mu(X_t)$ 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.

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

2.4.2.1 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:

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

III° Livello di regionalizzazione

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

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

2.4.3 Il modello probabilistico di Gumbel

La funzione della probabilità cumulata della legge di Gumbel è:

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

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

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

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA				
	PROGETTO RS0M	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

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

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

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

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

in quanto vale $T=1/(1-F)$. h_T è il valore h della variabile aleatoria H corrispondente al tempo di ritorno T .

Partendo dai dati misurati dal pluviometro ed interpolando i punti ottenuti per diverse durate con una curva di tipo esponenziale è possibile esprimere l'altezza di pioggia direttamente attraverso l'espressione

$$h = a t^n \quad (1bis)$$

in cui per i coefficienti a ed n sono stati stimati, relativamente ad un tempo di ritorno di 200 anni, i seguenti valori:

$$a = 64,1$$

$$n = 0,25$$

2.5 Analisi delle precipitazioni

2.5.1 Metodo VAPI Sicilia piogge

In questo capitolo 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", [Seconda edizione- Vito 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 5 e a ciascuna di esse è stato attribuito, per una prefissata durata, un valore costante del parametro λ_1 , indicato con il simbolo Λ_1 , che risulta dipendente dalla durata:

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

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

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

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

$$\text{Sottozona A} \quad \alpha = 3.5208 \cdot t^{0.1034}$$

$$\text{Sottozona B} \quad \alpha = 3.3536 \cdot t^{0.0945}$$

$$\text{Sottozona C} \quad \alpha = 3.3081 \cdot t^{0.0765}$$

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA-CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA				
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0M	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001

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:

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

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

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



Figura 5 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica si otterrà 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 Λ_1 e Θ_1 possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti e per ciascuna stazione è stato riconosciuto il seguente legame di potenza:

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

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 6 non essendo

stato rilevato né un legame interno tra le due costanti in parola, né una variabilità in funzione dell'altitudine media.

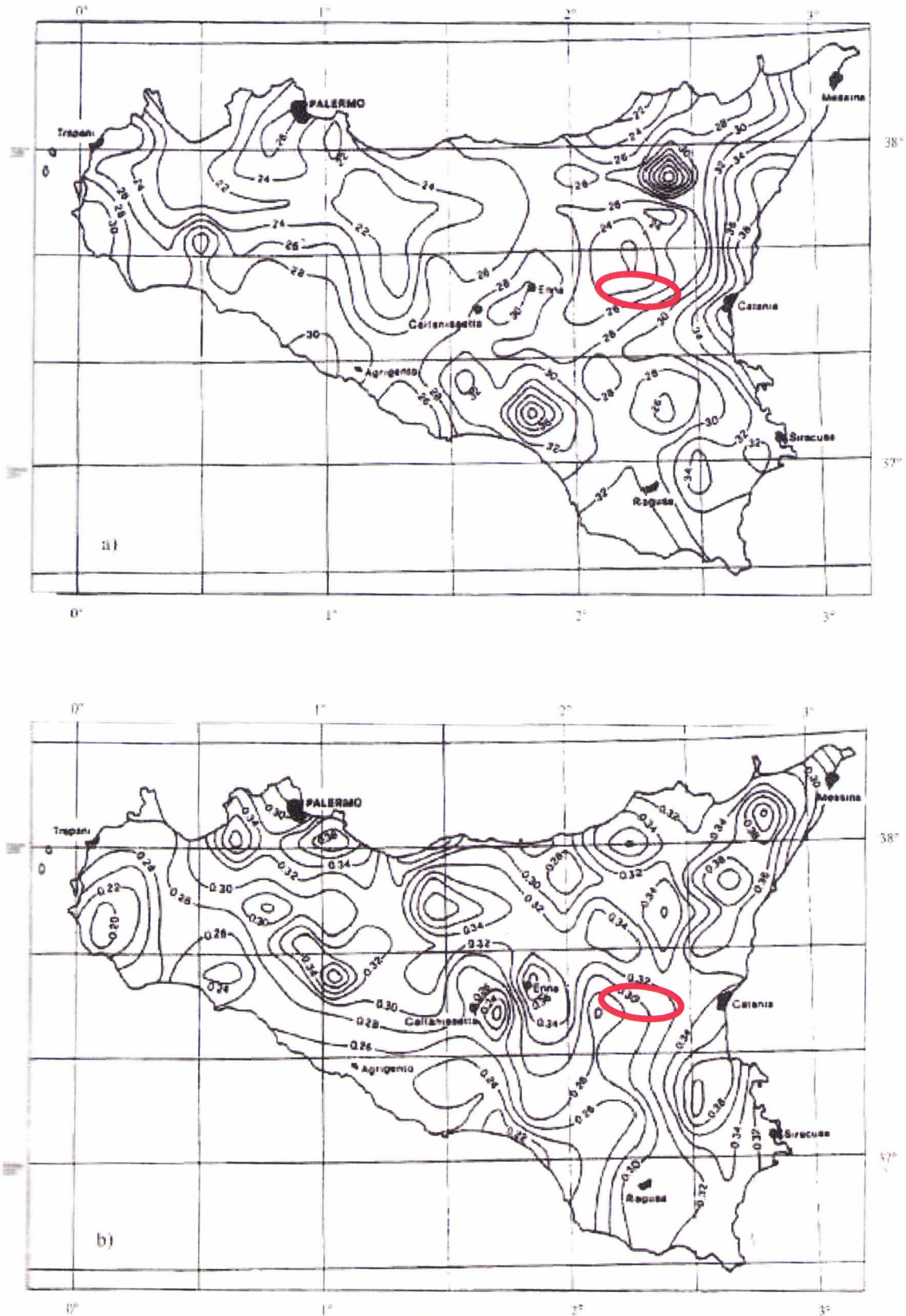


Figura 6— Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano.

Tutti i bacini idrografici analizzati nel presente studio ricadono nella sottozona C rappresentata in Figura 5 e, pertanto, la curva di possibilità pluviometrica ha la seguente espressione:

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

Nella quale i coefficienti a e n sono stati stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n di Figura 7.

a [mm·h ⁻ⁿ]	n
24	0.32

Tabella 1 – Coefficienti a e n .

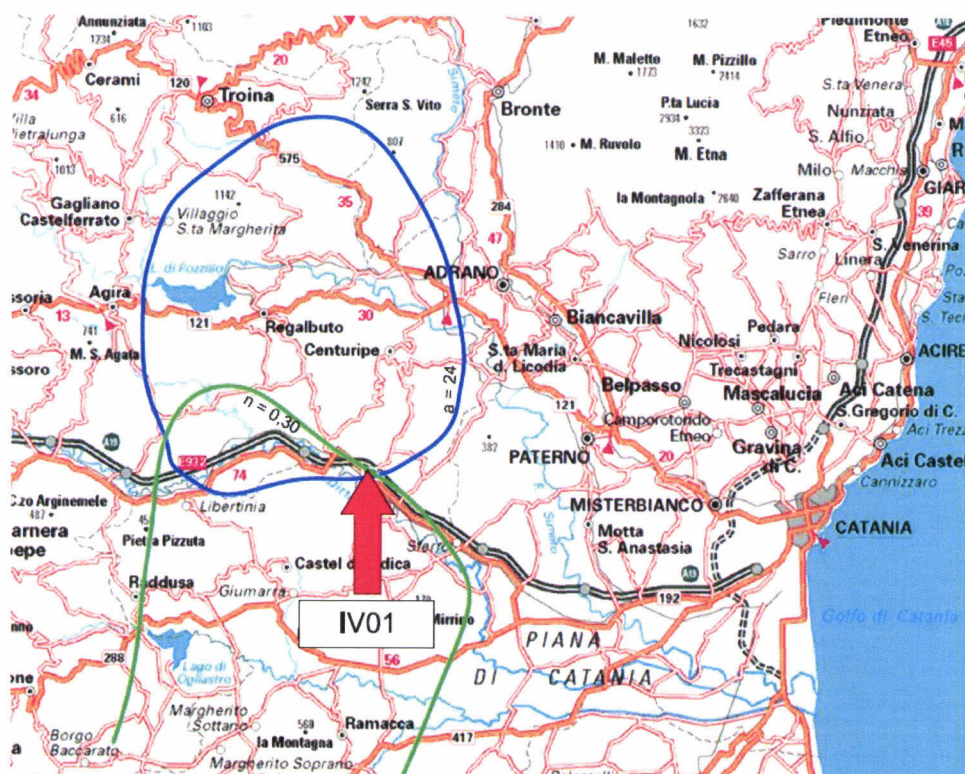


Figura 7– Stima grafica dei coefficienti “a” (linea blu) ed “n” (linea verde) per l’opera IV01 al Km 3+639.

2.5.2 Il modello probabilistico di Gumbel

Per l'applicazione curva di possibilità pluviometrica, dedotta per il metodo di Gumbel (eq. (1bis)), è richiesta la conoscenza dei parametri a , n caratteristici dell'area in esame. I valori di a ed n sono stati dedotti con il metodo dei momenti, e tramite interpolazione dei dati ottenuti dalla stazione di misura di Catenanuova (vedi paragrafo 2.4.3).

2.6 Stima delle portate

2.6.1 Il metodo cinematico o razionale

Il metodo viene usato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un bacino di relativamente limitata estensione. In questa sede, il metodo è stato utilizzato per la determinazione della massima piena.

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.

Nella Figura 8 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quella di corrivazione l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.

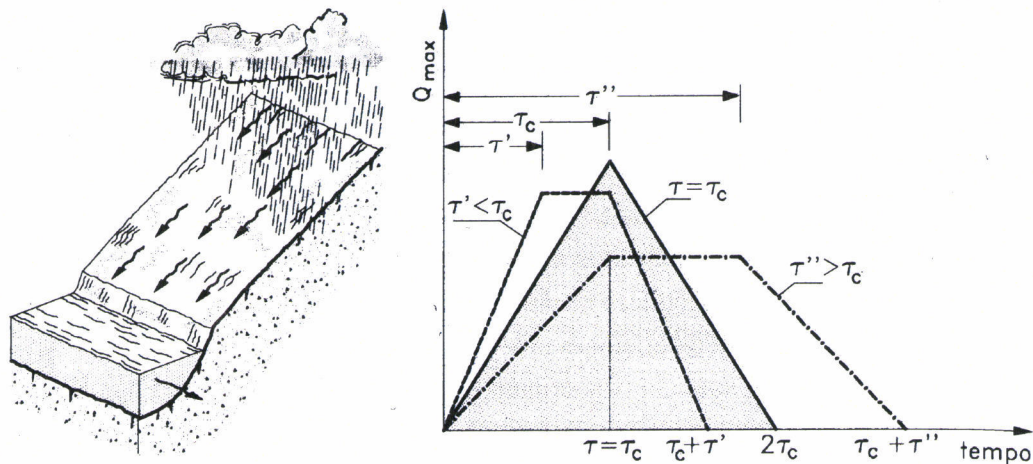


Figura 8– Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

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.

Una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo è la formula di **Giandotti** (1934) che tiene conto della morfologia del bacino:

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

con

A = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km²];

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.].

La formula di Giandotti ha il pregio, rispetto ad altre relazioni, di comprendere nei parametri utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione diverse caratteristiche dei bacini analizzati. Questo garantisce una ricostruzione dei tempi di corrivazione basata sui principali parametri dei medesimi.

Un'altra equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Ventura** (1905). La relazione ha la seguente espressione:

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

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

Un'ulteriore formulazione già ampiamente sperimentata in casi analoghi è quella di **Pasini** che ha la seguente forma:

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

All'interno del presente studio è stata utilizzata anche la formula di **Pezzoli**, sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km²

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

E' stata presa in considerazione anche la formula di **Kerby**, utilizzata frequentemente per il calcolo del tempo di corrivazione in bacini di estensione limitata. La formula di Kerby è stata sviluppata da risultati ottenuti da bacini con canalizzazioni inferiori ai 1200 ft (365 m). La relazione di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione, espresso in ore, ha la forma:

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

Con N = parametro legato al tipo di superficie (Tabella 2). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.4, valore intermedio di riferimento per le aree ricoperte da superficie erbosa o adibite al pascolo e quindi rappresentativo degli usi del suolo prevalenti nel territorio di studio.

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

Tabella 2 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.

Infine una equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Kirpich**. Questa è stata ricavata da dati rilevati in sette bacini agricoli del Tennessee (USA). Questi bacini avevano tutti una canalizzazione ben definita e pendenza tra 0.03 e 0.1 m/m (dal 3 al 10%) e aree da 0.04 a 0.5 km². E' utilizzata ampiamente per bacini urbani, sia per il deflusso delle aree scolanti che per il deflusso nei canali, oltre che per bacini rurali fino a 0.8 km². La formula di Kirpich ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,0662 \cdot k \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0,77}$$

dove

L = estensione del percorso più lungo che deve compiere la singola particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura [km];

i_m = è la pendenza media del bacino

k = coefficiente di aggiustamento legato alla tipologia di terreno.

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

Tabella 3 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.

Nella presente analisi è stato applicato un coefficiente k pari a 2, poiché ritenuto più rappresentativo della natura dei terreni che costituiscono i bacini in esame.

2.6.2 Definizione delle portate

Il primo passo per l'individuazione delle portate per ogni bacino consiste nella determinazione del tempo di corrivazione con le formule descritte nel paragrafo 2.6.1. I dati necessari per il calcolo dei tempi (S , L , H_{top} , H_0 , i_m) sono stati determinati grazie allo studio della cartografia disponibile. Le diverse formule presentano dei campi di applicazione differenti a seconda dell'estensione del bacino in esame. Nella presente analisi, il tempo di corrivazione è stato calcolato come media dei risultati ottenuti dall'equazione di Pasini, Pezzoli, Ventura, Kerby e Kirpic.

Per la determinazione della portata liquida con il metodo cinematico è stato imposto un coefficiente di deflusso tale da tener conto del comportamento del suolo in seguito ad eventi estremi e nell'ipotesi di considerare un notevole grado di saturazione dello stesso. Anche a seguito di affinamenti sulla tipologia delle aree interessate e del relativo uso del suolo, viene confermato il coefficiente di deflusso stimato nel PD e pari a **0,5**.

La valutazione delle portate è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 anni. Nel seguito si riportano i risultati ottenuti utilizzando i tempi di corrivazione individuati come media delle diverse formule precedentemente esposte. La portata relativa a gli attraversamenti di progetto è stata valutata considerando l'area del bacino complessivo a monte di ciascuno di essi (vedi figura 3 paragrafo 2.3). Poiché per tutti i bacini considerati, il tempo di corrivazione risulta inferiore all'ora, per la stima del valore di h da inserire nella Formula Razionale, andrebbe utilizzata la formula di Bell, come d'altra parte proposto nel progetto Definitivo, tuttavia essendo la rete idrografica superficiale non esattamente definita si è ritenuto più cautelativo utilizzare le altezze di pioggia riferendosi alla curva $>1hr$ che restituisce valori più alti a parità di durata dell'evento. Inoltre nella presente fase progettuale, verrà impiegata la metodologia di Gumbel per la determinazione dell'altezza di pioggia di progetto, tale approccio è stato considerato il più attendibile in quanto discende dall'analisi di dati pluviometrici dedotti dalla stazione pluviometrica di Catenanuova ed acquisiti nell'ambito del progetto definitivo dell'intera tratta. I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti.

Portate con Metodo GUMBEL

Attraversamento	Bacino Rif.	Superficie Scol.	Lunghezza Asta	Pendenza Media
		Kmq	Km	m/m
Tombino 1	A1	0,112	0,42	0,04
Tombino Ferrovia	A2	0,151	0,56	0,03
Tombino 2	A3	0,172	0,651	0,03

Tabella 4 - Caratteristiche Morfologiche dei bacini

Bacino Rif.	Tc(Kirpich)	Tc(Ventura)	Tc(Pasini)	Tc(Pezzoli)	Tc(Kerby)	Tc Medio
	ore	ore	ore	ore	ore	ore
A1	0.24	0.23	0.21	0.12	0.57	0.27
A2	0.33	0.28	0.27	0.18	0.681	0.35
A3	0.39	0.33	0.32	0.22	0.76	0.40

Tabella 5 - Stima dei Tempi di Corrivazione considerati

Attraversamento	Bacino Rif.	Ht(Gumbel) – Tr=200 anni	φ	Qmax
		mm		mc/sec
Tombino 1	A1	44,84	0,5	2,63
Tombino Ferrovia	A2	48,37	0,5	2,97
Tombino 2	A3	50,70	0,5	3,03

Tabella 6 - Portate di picco per gli attraversamenti idraulici con il Metodo di Gumbel ($a=64,1$; $n=0,25$).

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA				
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0M	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001

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

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora vengono denominati eventi brevi; gli eventi brevi e quelli lunghi, precedentemente esposti, seguono differenti dinamiche meteorologiche e non possono essere trattati in egual modo. E' stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia h , con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia h di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno T , è dipendente solo dalla durata t espressa in minuti:

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

avendo indicato con f un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale della (1) può essere espresso nella semplice 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 Sicilia il coefficiente assume il valore di 0.386 (Ferrerri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la forma:

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

Applicando la formula VAPI (6) per un tempo di ritorno di 25 anni e per una durata di 60

minuti, si ottiene che $h_{60,T} = 45,89$ mm. Con i dati acquisiti in fase di PE è stato possibile applicare la metodologia di Gumbel analizzando gli annali idrologici della stazione di Catenanuova. Tale procedura che si ritiene più precisa e cautelativa restituisce un valore di $h_{60,25}$ pari a 46,8 pertanto la curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora e per Tempi di Ritorno pari a 25 anni, si può esprimere come:

$$h = at^n$$

Dove:

$a=46,8$

$n=0,386$

$t=$ durata in ore

Di conseguenza la curva di possibilità pluviometrica per la Sicilia, per eventi di durata inferiore all'ora assume la forma:

$$h_{t,25} = a \cdot t^{0.386} = 46.8 \cdot t^{0.386}$$

Per il calcolo delle portate per eventi inferiori all'ora si rimanda alla descrizione riportata nella Relazione Idraulica per quanto concerne il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA-CATENANUOVA Soppressione PL al km 3+639 NV01 VIABILITA' RELAZIONE IDROLOGICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0M	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

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.
- Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

DM 14 gennaio 2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30.