

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO ESECUTIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA–RADDUSA AGIRA

Nuova viabilità al km 13+000

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

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

RS0S 00 E 11 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	A. Tortora	09.15	F. Cabas	09.15	P. Carlesimo	09.15	F. Sacchi 09.15

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SINTESI TECNICO DESCRITTIVA	5
2.1	Inquadramento generale dell'area	5
2.2	Morfologia	5
2.3	Idrografia	6
2.4	Inquadramento normativo	7
2.5	Identificazione della rete idrografica	8
2.5.1	<i>MapWindow e l'applicativo TauDEM</i>	9
2.5.2	<i>Individuazione della rete e dei bacini idrografici</i>	12
2.6	Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge	14
2.6.1	<i>Il modello probabilistico TCEV</i>	14
2.6.2	<i>Il modello probabilistico di Gumbel</i>	17
2.7	Analisi delle precipitazioni	19
2.7.1	<i>Metodo VAPI Sicilia piogge</i>	19
2.7.2	<i>Il modello probabilistico di Gumbel</i>	24
2.8	Stima delle portate	26
2.8.1	<i>Il metodo cinematico o razionale</i>	26
2.8.2	<i>Definizione delle portate</i>	30
2.8.3	<i>Definizione delle portate per durate inferiori all'ora</i>	33
3	BIBLIOGRAFIA	35

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 3 di 36

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento geografico nuova viabilità.	5
Figura 2 - Inquadramento geografico della zona in esame.	6
Figura 3 – Stralcio carte di pericolosità idraulica.	8
Figura 4 – DTM dell'area afferente alla nuova viabilità.	9
Figura 5 - Ricostruzione dell'idrografia della zona di studio, con la suddivisione dei bacini.	13
Figura 6 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.	21
Figura 7 – Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano.	23
Figura 8 – Carta del valore di a per il territorio siciliano, fornite da AdB Sicilia.	25
Figura 9 – Carta del valore di n per il territorio siciliano, fornite da AdB Sicilia.	25
Figura 10 – Carta del valore di CV per il territorio siciliano, fornite da AdB Sicilia.	26
Figura 11 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.	27

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco dei bacini di studio.	13
Tabella 2 – Caratteristiche dei bacini idrografici.	14
Tabella 3 – Coefficienti a e n.	24
Tabella 4 – Coefficienti a, n e CV.	24
Tabella 5 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.	29
Tabella 6 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.	29
Tabella 7 – Metodo VAPI: altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno e tempo di corrivazione medio dei bacini scolanti.	30
Tabella 8 – Portate ricavate con il metodo razionale applicando le curve di possibilità pluviometrica del metodo VAPI.	31
Tabella 9 – Metodo GUMBEL: altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno e tempo di corrivazione medio dei bacini scolanti.	31
Tabella 10 – Portate ricavate con il metodo razionale applicando le curve di possibilità pluviometrica del metodo di Gumbel.	31
Tabella 11 - Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per piogge inferiori all'ora.	34

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 4 di 36

1 PREMESSA

Nell'ambito dell'intervento di raddoppio della linea ferroviaria Palermo - Catania, nella tratta che si sviluppa tra Catenanuova e Raddusa Agira è prevista la realizzazione di una nuova viabilità alla progressiva chilometrica 13+000, all'interno del comune di Catenanuova.

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica dell'opera di attraversamento del torrente Mulinello (vallone Petroso) 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 due differenti modelli statistici:
 - Curva probabilistica di Gumbel;
 - 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.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000						
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI		DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 5 di 36

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 è localizzata all'interno della fascia di territorio compresa tra l'autostrada A19 Palermo – Catania e la tratta ferroviaria Catenanuova – Raddusa Agira, all'interno del comune di Catenanuova.



Figura 1 - Inquadramento geografico nuova viabilità.

Il nuovo raccordo stradale interseca alla progressiva 0+600 km il torrente Mulinello, subito a valle del cimitero di Catenanuova e dell'immissione in destra idraulica di un corso d'acqua minore, il torrente Mastropaolo.

A valle del nuovo attraversamento il corso d'acqua si immette nel fiume Dittaino dopo aver attraversato l'autostrada A19.

2.2 Morfologia

L'area scolante oggetto di studio ricade in una fascia di territorio, con direzione nord ovest-sud est, ricadente nel settore centro-orientale del bacino del Fiume Simeto (Figura 2).

A nord l'area intercetta la dorsale plio-quadernaria con argille sabbiose e alture arenacee e

calcarenitiche, che danno al centro abitato di Centuripe una particolare conformazione urbanistica a forma di “stella”, adagiata lungo crinali dai pendii notevolmente scoscesi. Andando verso sud est è presente prevalentemente una morfologia dolce e collinare interessata da affioramenti del Miocene, da formazioni fliscioidi e da termini gessoso-solfiferi.

Raggiunto il territorio di Catenanuova la morfologia dei luoghi è di tipo collinare, con rare scarpate oltre i 30 gradi, lungo il versante sinistro della valle del fiume Dittaino.

I dissesti sono pochi e concentrati lungo le scarpate di maggiore pendenza, in gran parte in corrispondenza di quelle torrentizie.



Figura 2 - Inquadramento geografico della zona in esame.

2.3 Idrografia

Il principale corso d'acqua in prossimità della zona interessata dall'intervento in progetto è il Fiume Dittaino, nel quale confluisce, a valle dell'autostrada A19, il torrente Mulinello (Vallone Petroso), oggetto di studio. A monte del nuovo attraversamento, in prossimità del cimitero di Catenanuova, confluisce in destra idraulica un corso d'acqua minore, il torrente Mastropaolo.

Il torrente Mulinello nasce nelle alture in prossimità dell'abitato di Centuripe, mentre il torrente Mastropaolo nasce a Nord dell'abitato di Catenanuova.

2.4 Inquadramento normativo

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 all'intersezione tra torrente Mulinello e 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).

Nella Relazione di Piano sono comunque individuate delle zone poste sotto la dicitura "sito di attenzione", in particolare nella zona interessata sono stati evidenziati i seguenti siti:

- 094-E-4CN-E02 (Carte Tecniche Regionali 1:10000 633010)

I torrenti Mulinello e Mastropaolo, in prossimità del centro abitato, in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi e prolungati sono soggetti a esondazione, mettendo a rischio nuclei abitati viabilità e terreni agricoli. L'area è indicata nella carta della pericolosità idraulica come "sito di attenzione".

- 94-E-4CN E03 (Carte Tecniche Regionali 1:10000 633010)

In località Contrada Fichidindia – S. Prospero, le incisioni torrentizie presenti, al verificarsi di piogge intense e prolungate, sono soggetti a esondazione compromettendo infrastrutture viarie e aree agricole. L'area è indicata nella carta della pericolosità idraulica come "sito di attenzione".

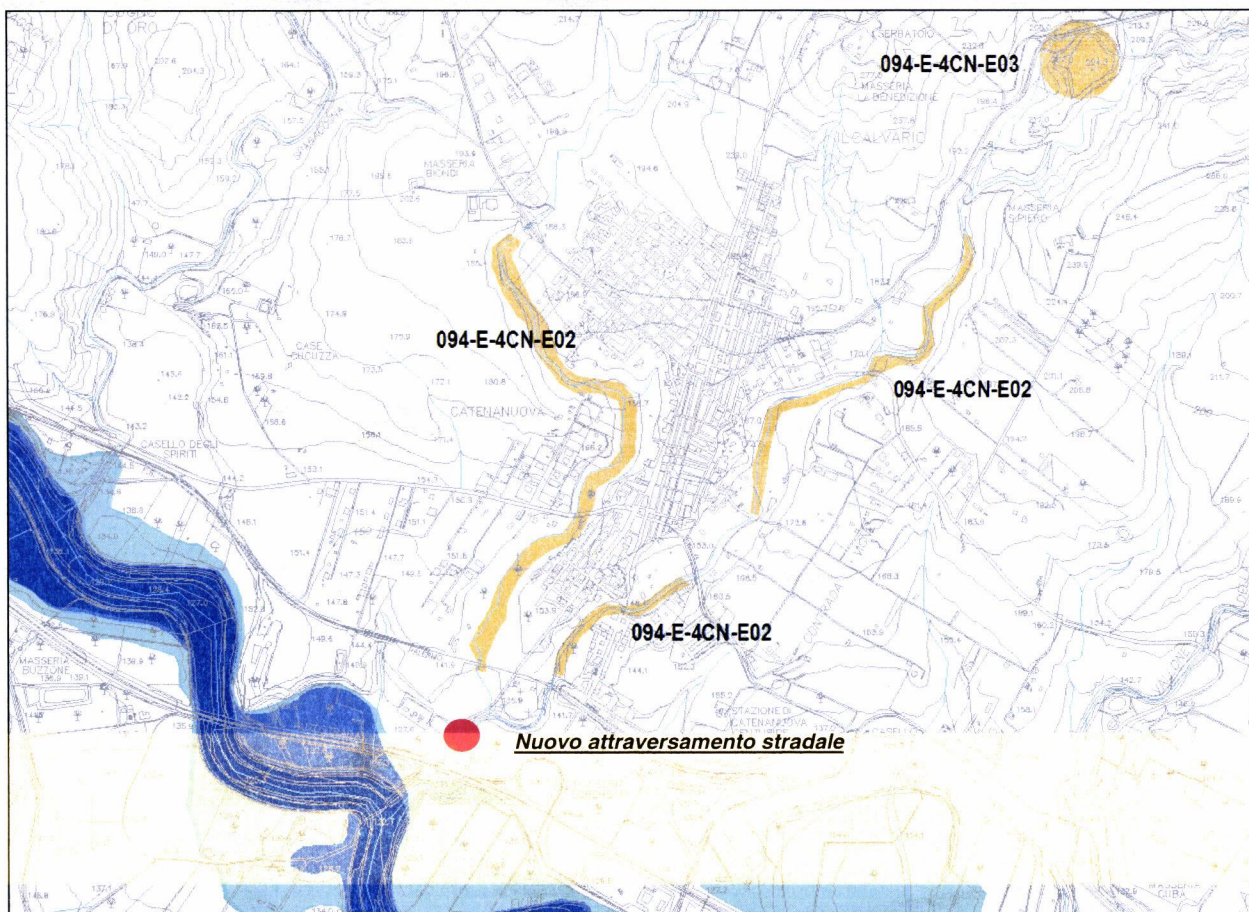


Figura 3 – Stralcio carte di pericolosità idraulica.

Dall'analisi della pianificazione vigente si evidenzia che le aree soggette a possibili fenomeni di esondazione o dissesti, determinate dal PAI sono situate a monte dell'attuale tracciato ferroviario.

2.5 Identificazione della rete idrografica

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi al fine di ricostruire la complessa rete idrografica dell'area e la suddivisione del bacino per ciascun corso d'acqua attivo o effimero presente nella porzione di terreno studiata, è stata utilizzata la Cartografia Tecnica in scala 1:10'000 della Regione Siciliana. Le informazioni contenute nella suddetta cartografia constano di curve di livello con 10 m di interasse e di diversi punti quotati distribuiti in maniera pressoché omogenea sul territorio.

Grazie a queste informazioni è stato costruito un DTM (Digital Terrain Map) sufficientemente rappresentativo della zona in analisi (Figura 4).

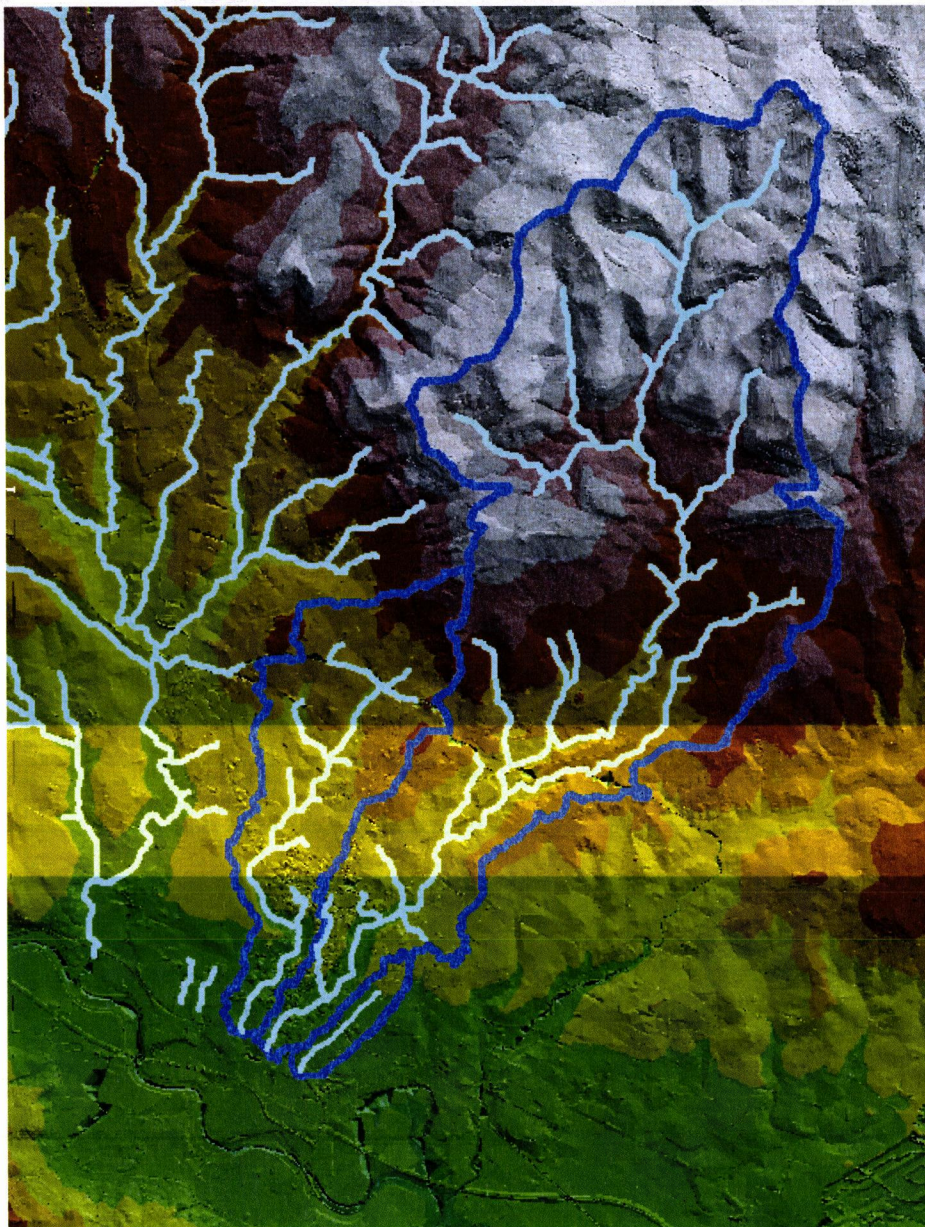


Figura 4 – DTM dell'area afferente alla nuova viabilità.

2.5.1 MapWindow e l'applicativo TauDEM

Per identificare la rete idrografica dell'area di studio, è stato utilizzato il programma MapWindow, software sviluppato dall'Idaho State University e dalla Utah State University, integrato con il plug-in TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). Questo applicativo consente il riconoscimento della rete idrografica sfruttando semplicemente il DTM dell'area di interesse, che deve essere fornito come griglia di quadrati di dimensioni identiche (pixel) ad ognuno dei quali va associata la quota geodetica media della porzione di territorio

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 10 di 36

sottesa dal quadrato stesso.

La procedura prevista è la seguente:

Estrazione della rete: suddivisione del bacino idrografico in un numero ragionevole di sottobacini e individuare i pixel “canalizzati”, pixel che, nella semplificazione idrologica del territorio, dovrebbero corrispondere ai canali della rete idrografica. La configurazione della rete estratta dipende dal criterio di estrazione adottato e dai valori assunti dai parametri.

Fill Pits (Riempimento dei buchi): I pits (buchi) nei modelli digitali del terreno sono delle aree caratterizzate da una quota sensibilmente più bassa di tutto il terreno che li circonda. Sono dovuti generalmente a imperfezioni nel rilievo e possono interferire con la corretta simulazione dei fenomeni idrologici che interessano il bacino. Questa funzione identifica i pits nel DEM ed aumenta la loro quota fino al livello del punto più basso con cui confinano.

Calcolo delle direzioni di drenaggio: il calcolo delle direzioni di drenaggio viene eseguito con il metodo dello *steepest descent* per ogni singolo pixel, con due diverse procedure.

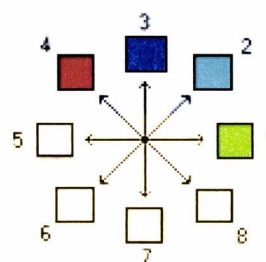
Un primo approccio, detto a 8 direzioni di drenaggio, ipotizza che l'acqua caduta su un certo pixel drena tutta in uno solo dei pixel adiacenti, cioè in quello caratterizzato dal massimo dislivello (verso il basso).

Numerati i pixel adiacenti, la direzione di drenaggio viene identificata con il numero del pixel adiacente che massimizza il rapporto:

$$\begin{cases} \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{z_0 - z_i}{\Delta x} & i \text{ dispari} \\ \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{z_0 - z_i}{\sqrt{2} \cdot \Delta x} & i \text{ pari} \end{cases}$$

Un secondo approccio, detto a infinite direzioni di drenaggio, identifica la direzione di drenaggio con l'angolo antiorario in radianti a partire dalla direzione Est. L'angolo è determinato come direzione di massima pendenza (verso il basso) sugli otto lati dei triangoli formati dai centri delle celle di una matrice 3 x 3 centrata sul pixel di interesse. In figura, inoltre, è riportato il modo con cui si distribuisce il flusso tra i due pixel interessati dal vettore di massima pendenza: questo si divide in due parti proporzionali all'angolo direzionale del flusso.

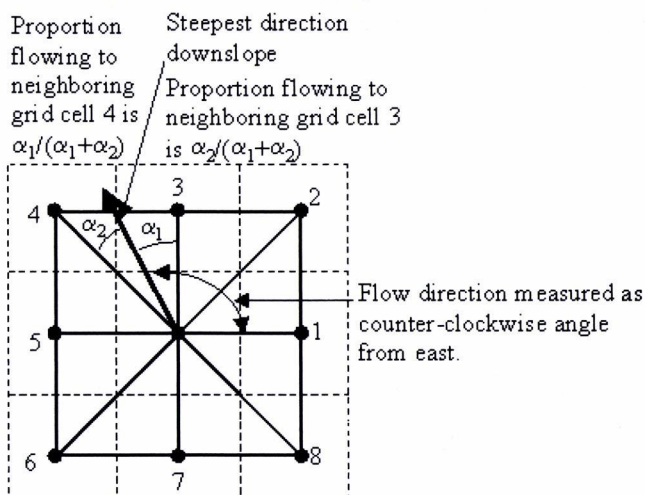
Calcolo delle aree cumulate di drenaggio: in base al metodo utilizzato per l'individuazione delle direzioni di drenaggio, si vanno a calcolare le aree cumulate di drenaggio.



Per l'approccio a 8 direzioni di drenaggio, l'area cumulata di drenaggio è espressa in termini di numero di pixel: questa è assunta pari al contributo del pixel di interesse (1 unità) più il contributo dei pixel a monte che drenano su esso.

Per l'approccio a infinite direzioni di drenaggio, la procedura rimane sostanzialmente la stessa: questa volta però non si tiene conto di tutta l'area dei pixel a monte che drenano su quello di

interesse, ma solo della frazione stabilita dalle relazioni di proporzionalità del flusso precedentemente viste.



Calcolo dell'ordine di Strahler della rete e lunghezza dei percorsi del flusso: la matrice ottenuta dall'applicazione del criterio delle 8 direzioni di drenaggio definisce una rete idraulica. Questa funzione ordina tale rete secondo la convenzione di Strahler. Ai pixel sorgente (ai quali non giunge nessun drenaggio da altri pixel) si assegna ordine 1. Quando due o più percorsi di ordine differente si congiungono, l'ordine del pixel a valle è il massimo dei pixel precedenti. Quando invece si congiungono due percorsi con lo stesso ordine, l'ordine del pixel a valle va incrementato di 1.

Selezione della sezione di chiusura (outlet): la scelta della sezione di chiusura si effettua mediante la selezione di un pixel, che si ritiene appartenere alla rete dei canali, prossimo alla posizione dell'outlet desiderato.

Estrazione della rete a monte della sezione di chiusura: scelta la sezione di chiusura, l'operazione più importante è l'estrazione della rete: stabilire cioè se un certo pixel sia canalizzato oppure no. Ai pixel canale sarà assegnato l'indice 1, ai pixel non considerati canali l'indice 0. Condizione necessaria ma non sufficiente affinché un pixel sia canalizzato è che sia concavo o, in altri termini, la sua curvatura topografica sia positiva.

$$\nabla^2 z = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} > 0$$

Per effettuare questa analisi, sono a disposizione tre metodi.

Il più semplice si ottiene fissando una soglia sull'area cumulata di drenaggio. La taratura consisterà nella scelta del parametro di confronto per l'area cumulata. I pixel canale devono dunque soddisfare i seguenti requisiti:

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 12 di 36

$$\begin{cases} \nabla^2 z > 0 \\ A_{c,i} > \bar{A} \end{cases}$$

Particolarmente indicato per i bacini di montagna, è il criterio che fissa una soglia sul prodotto area cumulata–pendenza. Tale prodotto, infatti, è proporzionale all'attrito di fondo τ_0 . Le condizioni che devono soddisfare i pixel per essere ritenuti canalizzati sono:

$$\begin{cases} \nabla^2 z > 0 \\ \sqrt{A_{c,i}} \cdot S_i \geq \bar{A} \end{cases}$$

Più articolato è il criterio che fissa una soglia sull'area cumulata delle celle concave drenate. Come primo passo il programma compie un'operazione di smoothing (smorza le asperità), in base a diversi pesi assegnati al centro, ai lati e alle diagonali. Contrassegnate tutte le celle della mappa, in un'unica analisi esamina ogni quadrante di 4 celle e rimuove il contrassegno dalla cella più alta. Le celle che rimangono contrassegnate si ritengono concave: visivamente assomigliano ad una rete di canali, nonostante qualche volta non sia garantita la connessione o necessitino assottigliamenti. Il completamento delle connessioni e gli assottigliamenti sono portati a termine calcolando l'area afferente ad una determinata cella, enumerando in questo conteggio solo le celle concave drenate. La soglia da imporre nella taratura, per ottenere la rete di canali, è appunto sul numero di queste celle concave (upwards curved) drenate.

$$\begin{cases} \nabla^2 z > 0 \\ A_i^{UC} \geq \bar{A} \end{cases}$$

2.5.2 Individuazione della rete idrografica e dei bacini.

Come già precisato, il tracciato della viabilità in progetto interseca il tratto terminale del torrente Mulinello subito a valle della confluenza con il torrente Mastropaolo.

Mediante l'applicativo precedentemente descritto è stata ricavata la rete idrografica ed i bacini afferenti, alla sezione di chiusura.

Oltre ai bacini dei due torrenti, è stato perimetrato anche un piccolo bacino a monte di un tombino di attraversamento della linea ferroviaria con scarico in un fosso situato all'intersezione tra via Enna e la nuova viabilità. In tal caso la sezione di chiusura è stata posta in corrispondenza della linea ferroviaria.

Nella Tabella 1 sono elencati i tre bacini idrografici studiati.

ID	Denominazione
A	Torrente Mastropaolo
B	Torrente Mulinello
C	Fosso minore

Tabella 1 – Elenco dei bacini di studio.

La rete ed i bacini idrografici, la cui ubicazione planimetrica è rappresentata in Figura 5, sono riportati nelle corografie allegate al progetto (RS0T00D11C4ID0002001A).

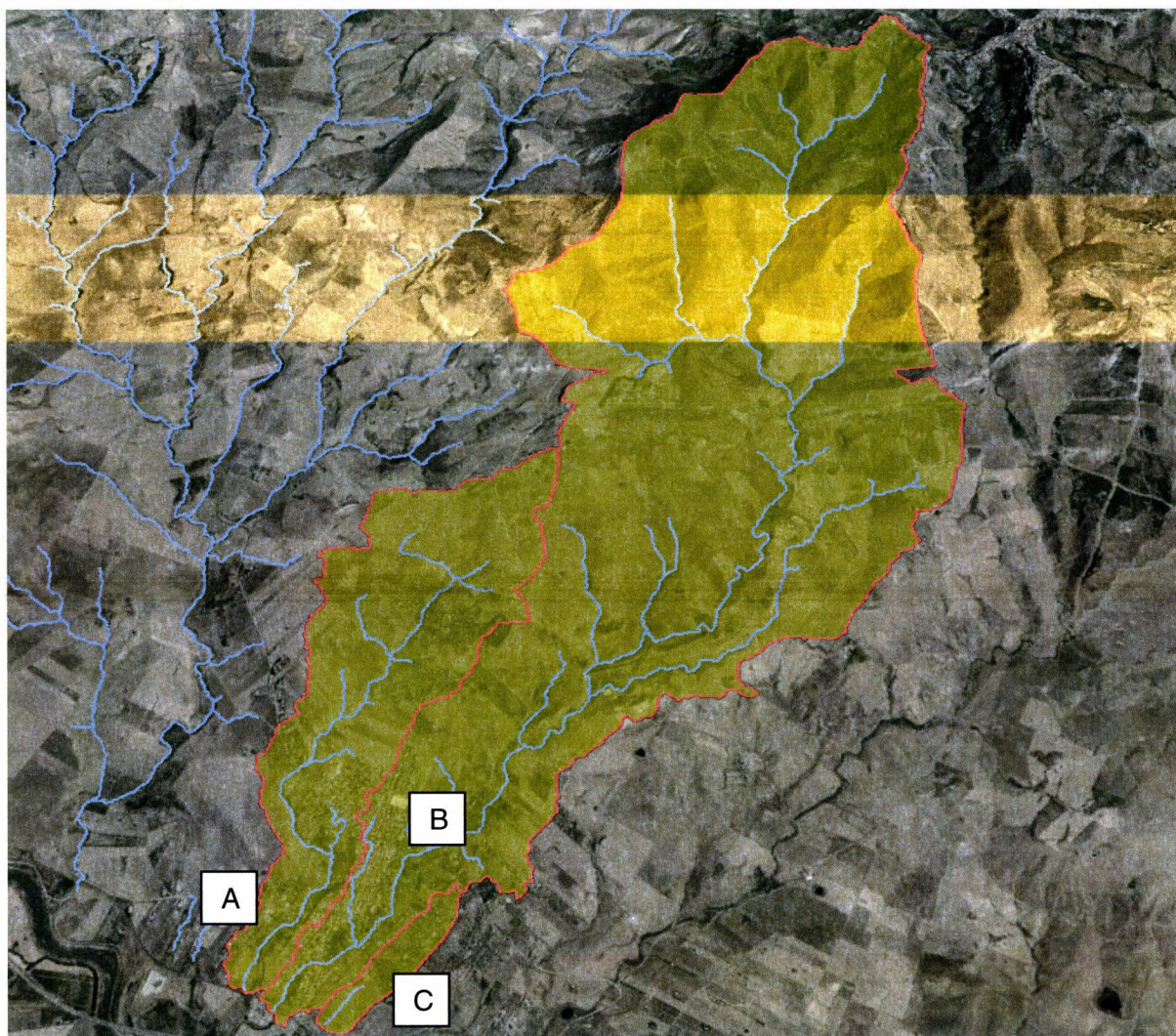


Figura 5 - Ricostruzione dell'idrografia della zona di studio, con la suddivisione dei bacini.

Le caratteristiche dei bacini idrografici quali l'estensione, la lunghezza dell'asta principale, la

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 14 di 36

quota in corrispondenza della sezione di chiusura e la quota massima del bacino sono invece riassunte nella seguente tabella:

ID	Corso d'acqua	Lunghezza asta [km]	Superficie bacino [km ²]	h_0 [m s.m.m.]	h_{max} [m s.m.m.]
A	Mastropaolo	4.62	2.8	130.00	434.00
B	Mulinello	9.81	12.5	130.00	670.00
C	Fosso minore	0.95	0.2	130.00	181.00

Tabella 2 – Caratteristiche dei bacini idrografici.

2.6 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.

2.6.1 Il modello probabilistico TCEV

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

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

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

La funzione ha quattro parametri, Λ_1 , Θ_1 , Λ_2 e Θ_2 . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

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

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

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 15 di 36

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

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:

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

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

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

2.6.1.1 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

Si sono già evidenziate le relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV. Su queste relazioni si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ_* , Θ_* e Λ_1 ed è quindi indipendente da Θ_1 , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ_* e Θ_* ed è quindi indipendente da Λ_1 e Θ_1 .

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

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

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

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

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

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

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000						
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI		DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 17 di 36

dati disponibili nella zona.

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

III° Livello di regionalizzazione

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

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

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

2.6.2 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:

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

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

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:

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

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

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000						
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI		DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 18 di 36

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

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

Dove CV rappresenta il coefficiente di variazione dei dati.

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

$$h_T = \mu K_T$$

Tale espressione può essere applicata ai massimi di generica durata d (ore) e sintetizzata nella seguente espressione:

$$h_{d,T} = \mu_d K_T$$

dove μ_d è una funzione, e descrive la variazione dell'altezza media di precipitazione in funzione della durata d .

Anche K_T dipende dalla durata, a causa del fatto che il coefficiente di variazione CV dovrebbe essere calcolato separatamente per ogni intervallo di riferimento. Tuttavia, la variabilità di questa grandezza con la durata risulta essere piuttosto limitata, per cui si può assumere, con buona approssimazione, che CV assuma valore costante, caratteristico del processo di precipitazione estrema, lungo l'arco delle durate comprese tra 1 e 24 ore. Di conseguenza il fattore di crescita non dipende più dalla durata di precipitazione.

Pertanto, la curva di possibilità pluviometrica ha la seguente espressione:

$$h_{d,T} = \mu_d \left\{ 1 - CV \left[0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

esplicitato il termine μ_d , altezza di pioggia media per l'evento di durata d , come $\mu_d = ad^n$, si ottiene la seguente espressione per la curva di possibilità pluviometrica:

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000						
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11	RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 19 di 36

$$h_{d,T} = a \cdot d^n \left\{ 1 - CV \left[0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Questa metodologia è la medesima utilizzata per studi idrologici propedeutici alla stesura del Piano di Assetto Idrologico della Regione Sicilia.

2.7 Analisi delle precipitazioni

2.7.1 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 :

$$\begin{aligned} \Theta^* &= 1.95 + 0.0284 \cdot t \\ \Lambda^* &= 0.175 \cdot t^{0.301} \end{aligned}$$

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione, la Sicilia è suddivisa nelle tre sottozone A, B e C della Figura 6 e a ciascuna di esse è stato attribuito, per una prefissata durata, un valore costante del parametro λ_1 , indicato con il simbolo Λ_1 , che risulta dipendente dalla durata:

Sottozona A	$\Lambda_1 = 14.55 \cdot t^{0.2419}$
Sottozona B	$\Lambda_1 = 12.40 \cdot t^{0.1802}$
Sottozona C	$\Lambda_1 = 11.96 \cdot t^{0.0960}$

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 20 di 36

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:

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

con parametri stimati in accordo alle formulazioni delle diverse sottozone.

In ciascuna sottozona, per valori del tempo di ritorno $Tr \geq 10$ 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:

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

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

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

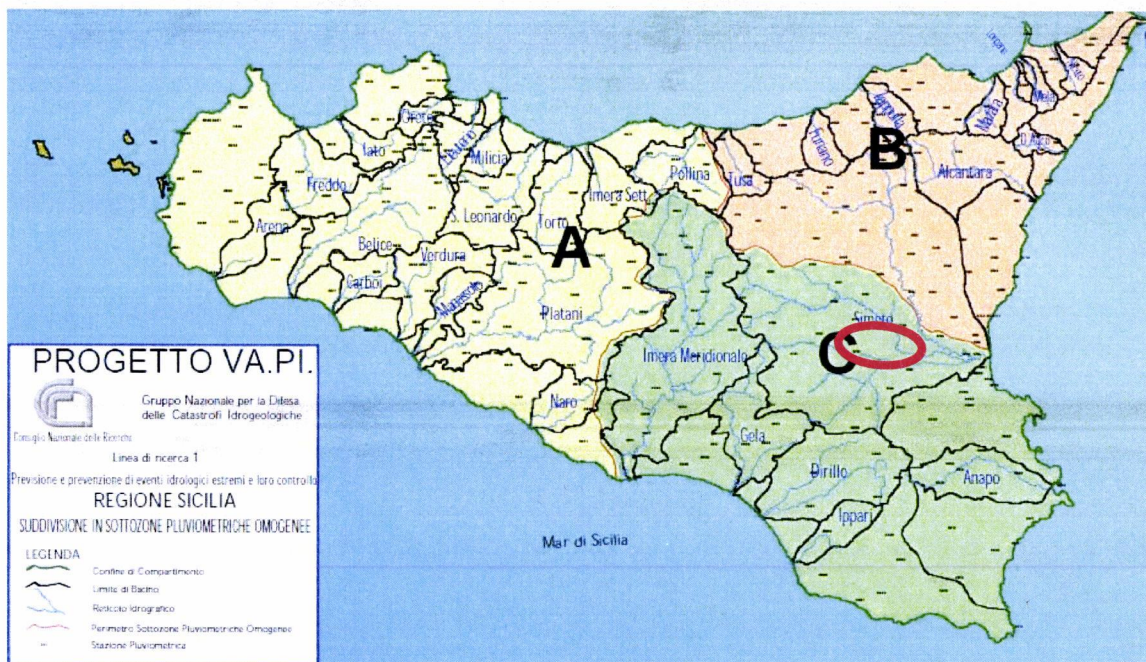


Figura 6 - Regione Sicilia: suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee.

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

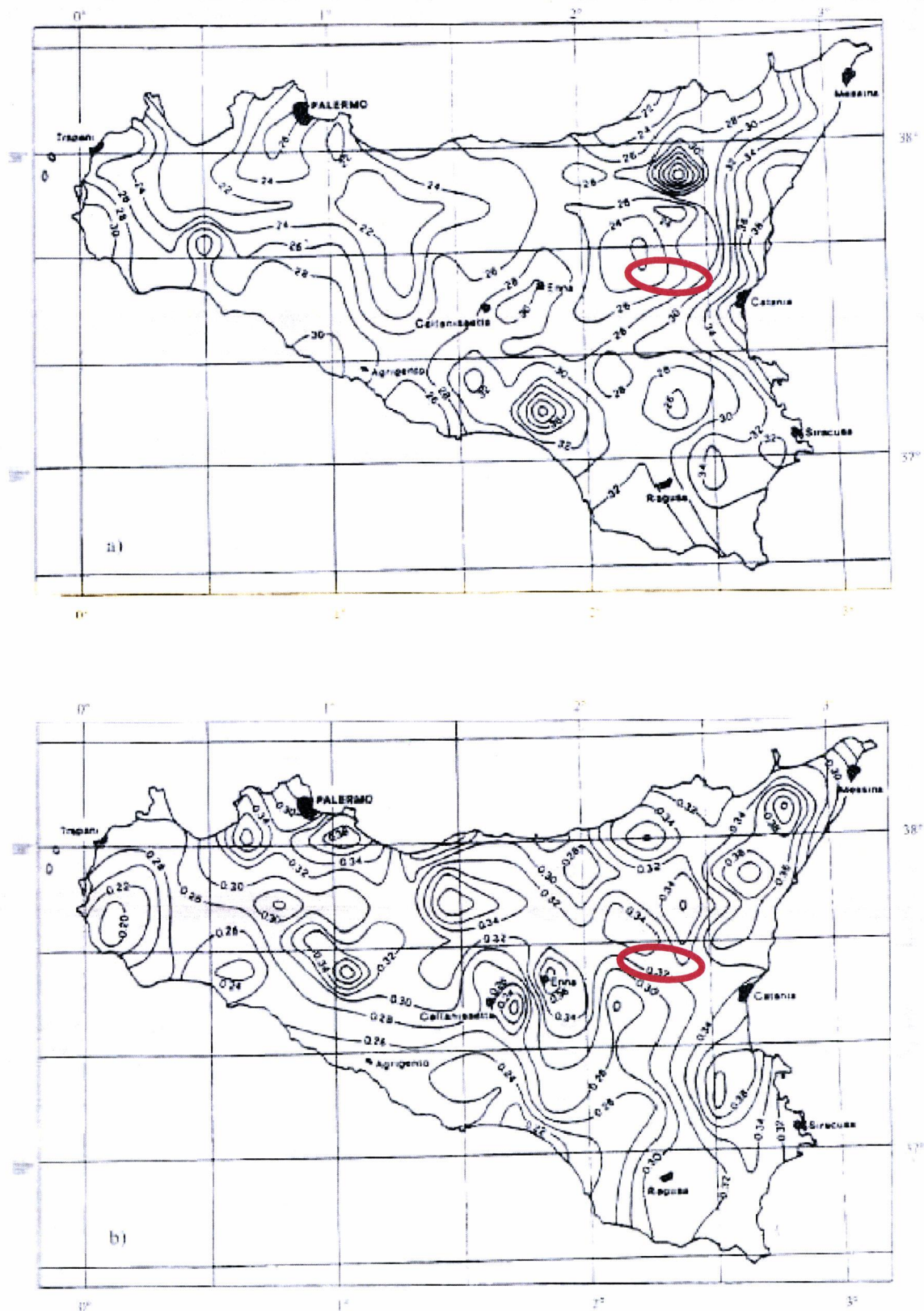


Figura 7 – Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 24 di 36

Tutti i bacini idrografici analizzati nel presente studio ricadono nella sottozona C rappresentata in Figura 6 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.

$a [\text{mm} \cdot \text{h}^{-n}]$	n
23	0.33

Tabella 3 – Coefficienti a e n .

2.7.2 Il modello probabilistico di Gumbel

Per l'applicazione curva di possibilità pluviometrica, dedotta per il metodo di Gumbel (eq. (1)), è richiesta la conoscenza dei parametri a , n e CV caratteristici dell'area in esame. In analogia a quanto fatto per il metodo VAPI-pioggie, sono disponibili le mappature di tali parametri per tutto il territorio regionale, pubblicate dall'AdB Sicilia (Figura 8, Figura 9 e Figura 10). A partire da tali immagini sono stati dedotti i valori riportati in Tabella 4, riportata nel seguito.

$a [\text{mm} \cdot \text{h}^{-n}]$	n	CV
23	0.33	0.55

Tabella 4 – Coefficienti a , n e CV .

I valori dei parametri a e n sono del tutto analoghi a quelli ottenuti a partire dalle carte allegate alle pubblicazioni del metodo VAPI(Figura 7).

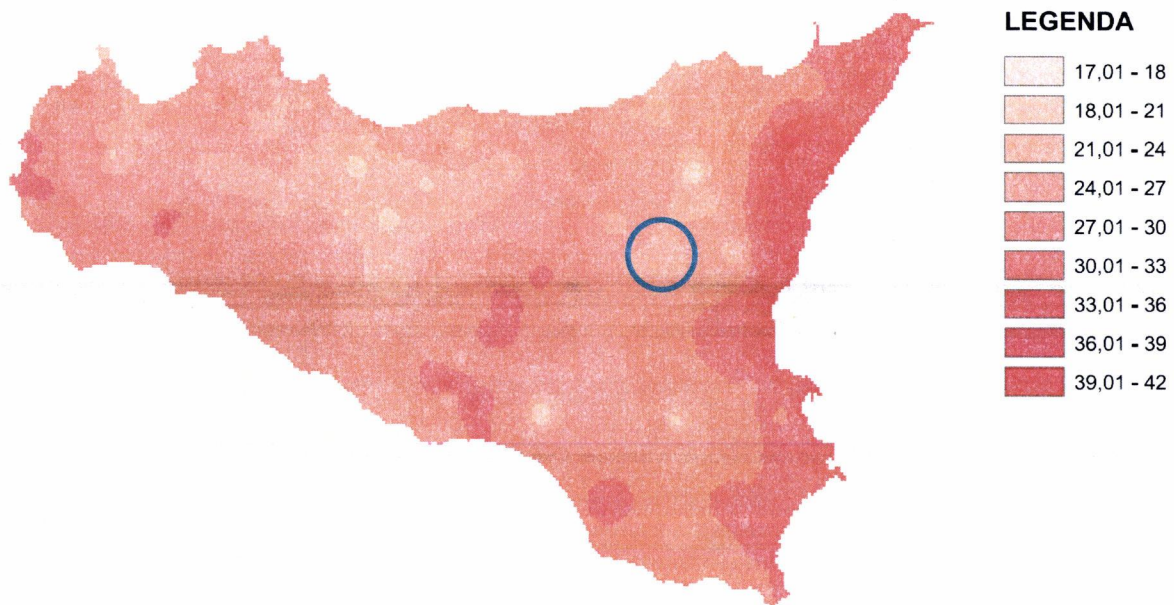


Figura 8 – Carta del valore di a per il territorio siciliano, fornite da AdB Sicilia.

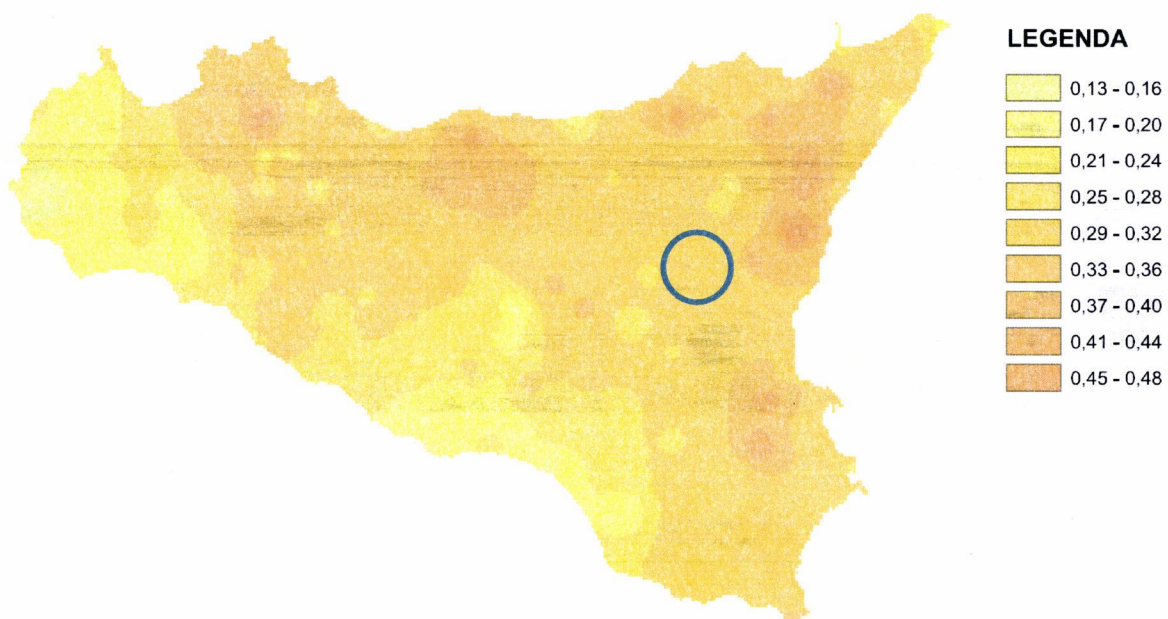


Figura 9 – Carta del valore di n per il territorio siciliano, fornite da AdB Sicilia.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI		DOCUMENTO ID0001 001	REV. FOGLIO A 26 di 36

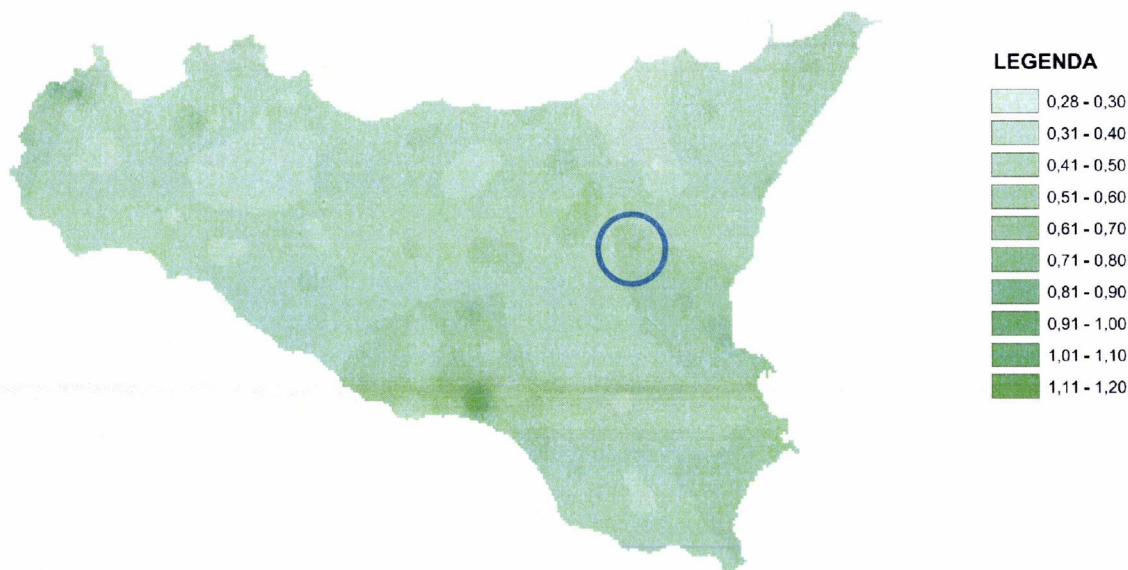


Figura 10 – Carta del valore di **CV** per il territorio siciliano, fornite da AdB Sicilia.

2.8 Stima delle portate

2.8.1 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 [m³/sec];
 φ = coefficiente di deflusso;
 h = pioggia netta [m];
 S = area del bacino [km²];
 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 11 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 assuma la forma triangolare.

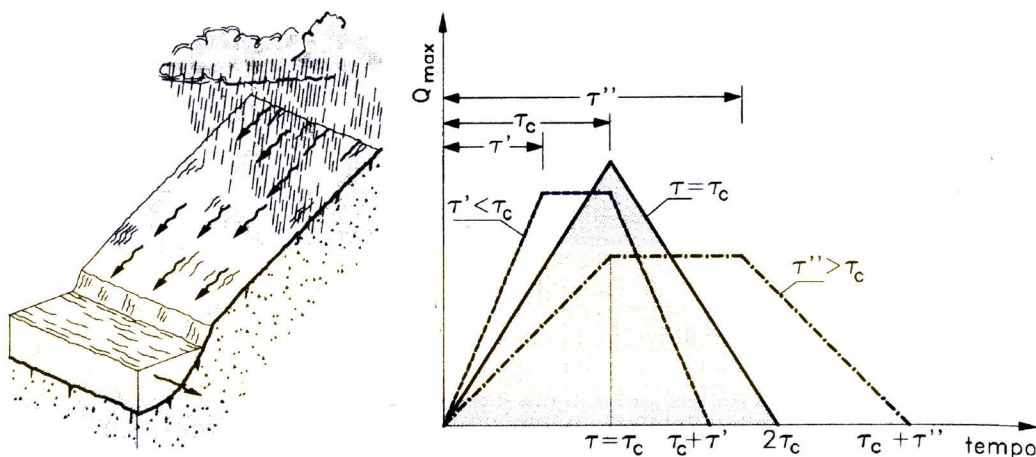


Figura 11 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

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 [km^2];

L = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua principale [km];

H_m = quota media del bacino [m s.m.m.];

H_o = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.].

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 5). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.3, valore intermedio alle classi di riferimento per le aree coltivate e quelle adibite al pascolo e quindi rappresentativo degli usi del suolo prevalenti nel territorio di studio.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO RS0S 00 E 11 RI ID0001 001 A 29 di 36

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 5 - 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 6 - Parametro K della formula di Kirpich per il calcolo del tempo di corrivazione.

Nella presente analisi è stato applicato un coefficiente k pari a 1.5, poiché rappresentativo di una

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 30 di 36

condizione del suolo intermedia delle prime due categorie riportate nella tabella precedente.

2.8.2 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 2.8.1. I dati necessari per il calcolo dei tempi (S , L , H_{top} , H_0 , i_m) sono stati determinati grazie alla ricostruzione del DTM del bacino idrografico. Le diverse formule presentano dei campi di applicazione differenti a seconda dell'estensione del bacino in esame. Nella presente analisi, per bacini di estensione inferiore a 10 km² (torrente Mastropaolo e fosso minore), il tempo di corrivazione è stato calcolato come media dei risultati ottenuti dall'equazione di Pasini, Pezzoli, Ventura, Kerby e Kirpic. Invece, per estensioni superiori a 10 km² il tempo di corrivazione è stato ottenuto dalla media dei valori calcolati con le equazioni di Giandotti, Pasini, Pezzoli e Ventura.

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. In questa fase di valutazione delle portate si è stimato come più plausibile e cautelativo un valore del coefficiente di deflusso pari a **0,5**.

La valutazione delle portate è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 100, 200 e 300 anni. Nel seguito si riportano i risultati ottenuti utilizzando i tempi di corrivazione individuati come media delle diverse formule precedentemente esposte.

I risultati ottenuti dalle curve di possibilità pluviometrica del metodo VAPI sono riportati nelle tabelle seguenti.

		Curva di possibilità pluviometrica VAPI-piogge			
ID	Corso d'acqua	$t_{C_{medio}}$ [ore]	h_{100} [mm]	h_{200} [mm]	h_{300} [mm]
A	Mastropaolo	1.02	75.10	84.19	89.51
B	Mulinello	2.19	58.42	65.47	69.6
C	Fosso minore	0.34	40.43	45.31	48.15

Tabella 7 – Metodo VAPI: altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno e tempo di corrivazione medio dei

bacini scolanti.

		Portate dedotte dal VAPI-piogge			
ID	Corso d'acqua	tc _{medio} [ore]	Q 100 [m ³ /s]	Q 200 [m ³ /s]	Q 300 [m ³ /s]
A	Mastropaolo	1.02	22.16	24.84	26.41
B	Mulinello	2.19	59.77	67.00	71.23
C	Fosso minore	0.34	3.35	3.76	3.99

Tabella 8 – Portate ricavate con il metodo razionale applicando le curve di possibilità pluviometrica del metodo VAPI.

		Curva di possibilità pluviometrica GUMBEL			
ID	Corso d'acqua	tc _{medio} [ore]	h 100 [mm]	h 200 [mm]	h 300 [mm]
A	Mastropaolo	1.02	63.11	70.01	74.05
B	Mulinello	2.19	81.10	89.98	95.16
C	Fosso minore	0.34	43.67	48.45	51.23

Tabella 9 – Metodo GUMBEL: altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno e tempo di corrivazione medio dei bacini scolanti.

		Portate dedotte dal metodo GUMBEL-piogge			
ID	Corso d'acqua	tc _{medio} [ore]	Q 100 [m ³ /s]	Q 200 [m ³ /s]	Q 300 [m ³ /s]
A	Mastropaolo	1.02	23.94	26.65	28.09
B	Mulinello	2.19	64.54	71.61	75.73
C	Fosso minore	0.34	3.62	4.02	4.25

Tabella 10 – Portate ricavate con il metodo razionale applicando le curve di possibilità pluviometrica del metodo di Gumbel.

Nella Tabella 8 e nella Tabella 10 sono riportati i valori delle portate calcolate a partire dalle altezze di pioggia stimate attraverso i due diversi metodi. Le portate di progetto, che saranno

utilizzare per le successive verifiche idrauliche, sono state considerate, in via cautelativa, quelle relative al metodo di Gumbel, in quanto hanno generato portate leggermente superiori.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000						
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI		DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 33 di 36

2.9 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 (Ferreri e Ferro, 1989). L'equazione precedente assume quindi la forma:

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

ossia, fissato un tempo di ritorno T :

$$h_{t,T} = a \cdot K_T \cdot \left(\frac{t}{60} \right)^{0.386} \quad (10)$$

Dove a è stato stimato sulla base, come visto precedentemente, della carta delle iso- a di Figura 7, mentre K_T è il fattore di crescita precedentemente trattato nella descrizione del modello probabilistico di Gumbel.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 34 di 36

Fissato il tempo di ritorno T pari a 25 anni i parametri della curva di possibilità pluviometrica per piogge di durata inferiore all'ora sono pari a:

Drenaggio strada	Sicilia $T = 25$ anni	$a = 23 \text{ [mm} \cdot \text{ore}^{-n}]$	$s = 0.386$	$K_T = 2.12$
------------------	--------------------------	---	-------------	--------------

Tabella 11 - Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per piogge inferiori all'ora.

Pertanto la curva di possibilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora assume la forma:

$$h_{t,T} = a \cdot K_T \cdot \left(\frac{t}{60} \right)^{0.386} = 48.76 \cdot \left(\frac{t}{60} \right)^{0.386}$$

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 CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 35 di 36

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.

	RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA - RADDUSA AGIRA Nuova viabilità al km 13+000					
RELAZIONE IDROLOGICA	PROGETTO RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E 11 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 36 di 36

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