

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA CATANIA - SIRACUSA

### DIREZIONE TECNICA

### SO COORDINAMENTO DI SISTEMA E PFTE

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

### Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta

#### Fase 1B

### IDROLOGIA E IDRAULICA

#### Studio idrologico e idraulico Fiume Mulinello

#### Relazione Idrologica Generale

SCALA:

-

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

R S 6 2 0 1 R 1 4 R H I D 0 0 0 1 0 0 1 B

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

File: RS6201R14RHID0001001B

n. Elab.:



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	2 di 68

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
1.1	AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO .....	4
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO.....	7
3	ELENCO ELABORATI DI PROGETTO .....	8
4	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	9
5	ANALISI GEOMORFOLOGICA BACINI IDROGRAFICI.....	23
5.1	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL BACINO.....	29
6	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE.....	2
6.1	IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL .....	2
6.2	MODELLO PROBABILISTICO TCEV (VAPI).....	4
6.3	APPROCCIO GERARCHICO ALLA STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI.....	5
7	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI .....	7
7.1	METODO DI GUMBEL .....	9
7.2	METODO VA.PI. SICILIA.....	13
7.3	CURVA POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA - MODELLO PROBABILISTICO REGIONALE TCEV .....	13
7.3.1	<i>Curva di crescita</i> .....	14
7.3.2	<i>Media teorica</i> .....	15
7.3.3	<i>Elaborazioni Curve di Possibilità Pluviometrica Tr = 50, 100, 200 e 300 anni</i> .....	16
7.4	CONFRONTO GUMBEL-VAPI.....	20
8	STIMA DELLE PORTATE DI PIENA A MEZZO DI MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI .....	21



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	2 di 68

8.1	MODELLO DI INFILTRAZIONE - METODO SCS-CN.....	22
8.2	IL METODO IDROGRAMMA UNITARIO ISTANTANEO (IUH).....	25
8.2.1	<i>Tempo di corrivazione del bacino.....</i>	28
8.2.2	<i>Tempo di ritardo del bacino.....</i>	29
8.3	IETOGRAMMA DI PROGETTO.....	30
8.4	FASE COSTRUZIONE MODELLO HMS.....	31
8.5	RISULTATI MODELLAZIONE IDROLOGICA.....	34

## 1 PREMESSA

Scopo della presente relazione è quello di illustrare il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica del Collegamento con il Porto di Augusta, intervento che rientra nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Il cui Protocollo d'Intesa fra Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Orientale, Rete Ferroviaria Italiana e Regione Siciliana, è stato sottoscritto in data 7 agosto 2020 e successiva Convenzione stipulata in data 17 Aprile 2023.

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



Figura 1 – area di intervento



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	4 di 68

Una volta attraversato il centro abitato, la linea ferroviaria percorre un tratto vicino il porto di Augusta che è caratterizzato da tre differenti ambiti:

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

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

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

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

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

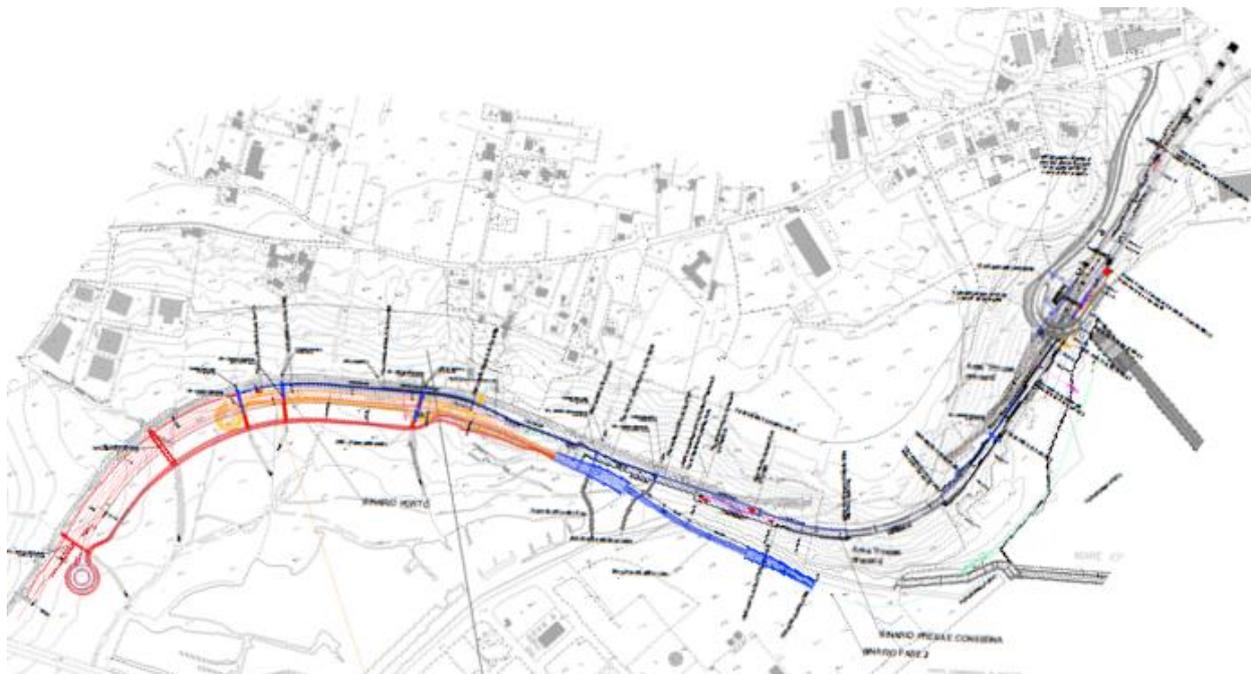
Nell'area di Augusta è inoltre previsto anche un altro intervento denominato "Bypass di Augusta" anch'esso, come l'intervento del presente progetto, rientra nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Anche in questo caso il "Piano di Committenza" prevede lo sviluppo di ambedue gli appalti entro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

## **1.1 AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO**

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

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

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



*Figura 2 – assetto finale di Progetto*

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

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

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

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

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

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

Nel seguito, nell'ambito dei diversi capitoli specialistici, verranno illustrate le opere oggetto dell'intero intervento, differenziate nelle rispettive fasi funzionali.

## 2 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO

L'intervento in progetto interessa il bacino idrografico del Fiume Mulinello, ricadente nell'area territoriale tra il Bacino del Fiume San Leonardo e il Bacino del fiume Anapo (Codice PAI 092).

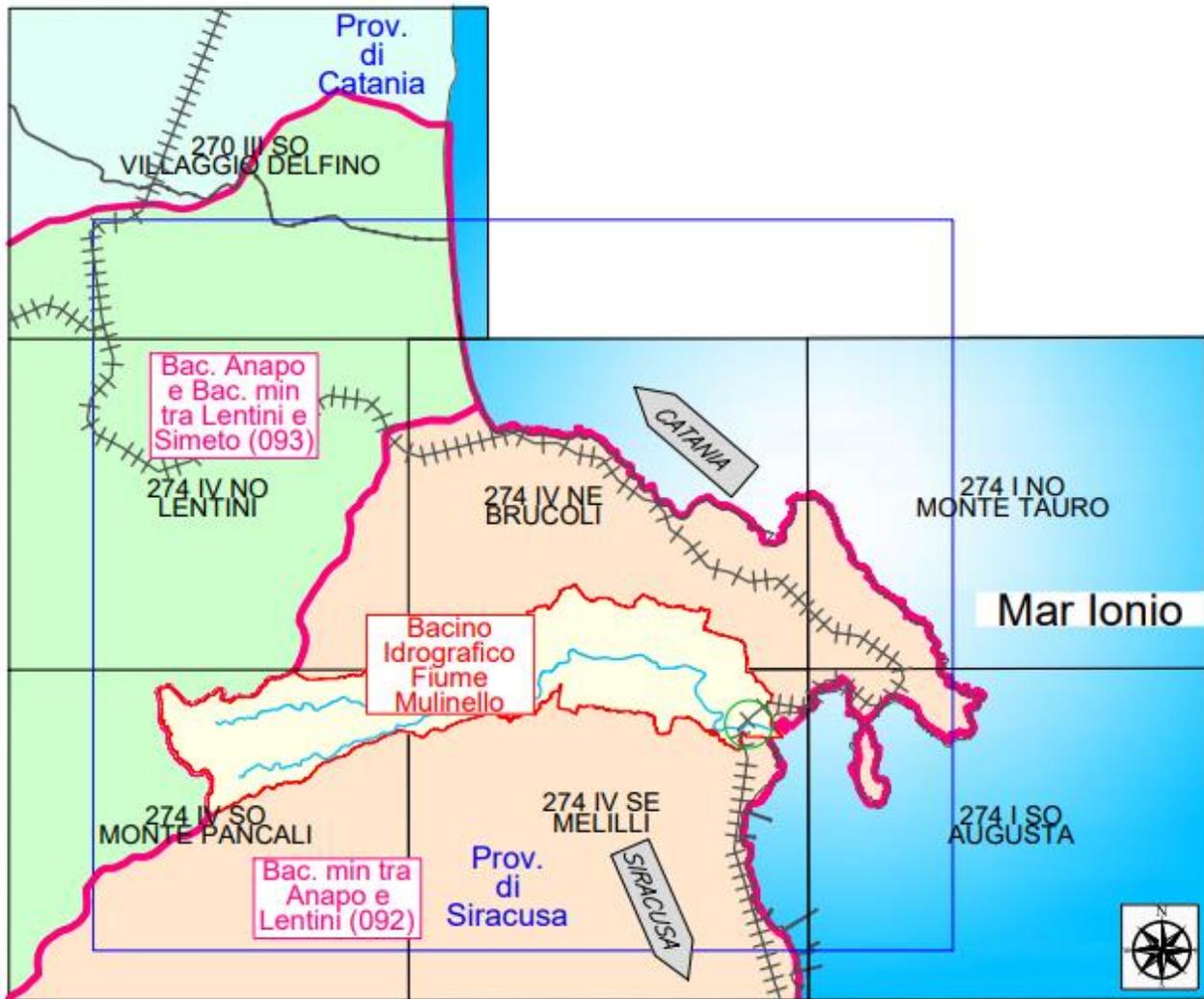


Tabella 2-1 Inquadramento dell'area.



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	8 di 68

### 3 ELENCO ELABORATI DI PROGETTO

PFTE COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA			
N° Elaborati	Titolo Elaborato	scala	
01	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA - ELABORATI GENERALI</b>		
1	Aree a preesistente pericolosità idraulica da strumenti di pianificazione vigenti - PAI 1 di 2	1:10000	RS6200R14C4ID0001001A
2	Aree a preesistente pericolosità idraulica da strumenti di pianificazione vigenti - PAI 2 di 2	1:10000	RS6200R14C4ID0001002A
3	Aree a preesistente pericolosità idraulica da strumenti di pianificazione vigenti - PAI- COLLASSO DIGA 1 di 2	1:10000	RS6200R14C4ID0001003A
4	Aree a preesistente pericolosità idraulica da strumenti di pianificazione vigenti - PAI- COLLASSO DIGA 2 di 2	1:10000	RS6200R14C4ID0001004A
5	Aree a preesistente pericolosità idraulica da strumenti di pianificazione vigenti - PGRA 1 di 2	1:10000	RS6200R14C4ID0001005A
6	Aree a preesistente pericolosità idraulica da strumenti di pianificazione vigenti - PGRA 2 di 2	1:10000	RS6200R14C4ID0001006A
7	Relazione Idrologica Generale	-	RS6200R14RHID0001001A
	<b>MODELLAZIONE 2D</b>		
8	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Corografia dei bacini	1:25000	RS6200R14C3ID0001001A
9	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica	-	RS6200R14RIID0002001A
10	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria sree allagabili, tiranti idrici - Tr=50 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002001A
11	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria aree allagabili, velocità-Tr=50 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002002A
12	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria sree allagabili, tiranti idrici - Tr=100 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002003A
13	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria aree allagabili, velocità-Tr=100 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002004A
14	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria sree allagabili, tiranti idrici - Tr=200 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002005A
15	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria aree allagabili, velocità-Tr=200 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002006A
16	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria sree allagabili, tiranti idrici - Tr=300 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002007A
17	Modellazione 2D Fiume Mulinello - Ante/Post Operam - Planimetria aree allagabili, velocità-Tr=300 anni	1:5000	RS6200R14P6ID0002008A

**Tabella 3-1-Elenco elaborati di progetto**



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	9 di 68

#### 4 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'analisi condotta nel presente studio ha preso in considerazione gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore. Proprio all'interno degli strumenti legislativi di recente emanazione (dicembre 2004 e successivi aggiornamenti), si è adottato il P.A.I., Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, di seguito denominato Piano Stralcio o Piano o P.A.I., redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Obiettivo principale del P.A.I. è infatti il perseguimento di un assetto territoriale che, in parallelo con le aspettative di sviluppo economico, minimizzi i possibili danni connessi al rischio idrogeologico.

La definizione di norme d'uso e di salvaguardia è finalizzata alla difesa idrogeologica, al miglioramento delle condizioni di stabilità del suolo, al recupero di situazioni di degrado e di dissesto, al ripristino e/o alla conservazione della naturalità dei luoghi, alla regolamentazione del territorio interessato dalle piene.

Il P.A.I. della Sicilia quindi tende ad ottimizzare la compatibilità tra la domanda di uso del suolo per uno sviluppo sostenibile del territorio e la naturale evoluzione geomorfologica dei bacini, nel quadro di una politica di governo del territorio rispettosa delle condizioni ambientali.

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

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

## **1.1 QUADRO NORMATIVO STATALE DI RIFERIMENTO**

### **4.1.1 LA LEGGE QUADRO SULLA DIFESA DEL SUOLO**

Con il Piano per l'Assetto Idrogeologico viene avviata, nella Regione Siciliana, la pianificazione di bacino, intesa come lo strumento fondamentale della politica di assetto territoriale delineata dalla legge 183/89, della quale ne costituisce il primo stralcio tematico e funzionale.

Gli obiettivi principali della legge quadro convergeranno nella redazione dal piano di bacino idrografico.

Le finalità e i contenuti del Piano di Bacino sono illustrati nell'art. 17 della Legge 183: "esso ha valore di piano territoriale di settore ed è uno strumento mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo".

### **4.1.2 DECRETO LEGGE N. 180/1998**

Il Decreto Legge n. 180/98, noto con il nome di "provvedimento Sarno", viene emanato l'11 giugno 1998.

Il Decreto dispone che, entro il 30 giugno 1999, le Autorità di bacino di rilievo nazionale e interregionale e le Regioni, ove le prime non siano presenti, adottino, qualora ciò non fosse già avvenuto in applicazione alla L. 183/89, Piani Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico.

L'innovazione rispetto alla legislazione precedente sta nel carattere di emergenza e di immediatezza, sia nell'acquisizione delle conoscenze che nella programmazione degli interventi e nell'emanazione delle norme di salvaguardia.

A seguito di alcune modifiche il D.L. 180/98 viene convertito con la L. 267/98, ove fra gli Enti onerati di fornire indicazioni sullo stato di dissesto del territorio, vengono coinvolti anche gli Enti di gestione degli acquedotti.

### **4.1.3 L'ATTO DI INDIRIZZO E COORDINAMENTO.**

L'Atto di Indirizzo e Coordinamento, previsto dal comma 2 dell'art. 1 del D.L. 180/98 ed adottato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri il 29/9/98, viene redatto per consentire alle Autorità di bacino ed alle Regioni di realizzare attività di pianificazione omogenee e confrontabili a scala nazionale.

Fornisce, dunque, attenendosi al carattere emergenziale del D.L. 180/98, i criteri generali per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio che tengano conto "quale elemento essenziale per l'individuazione del livello di pericolosità, la localizzazione e la caratterizzazione di eventi avvenuti nel passato riconoscibili o dei quali si ha, al momento presente, cognizione".

L'Atto di indirizzo e coordinamento, distingue la metodologia di indagine a seconda del tipo di dissesto presente, idraulico e/o di frana, individuando per ciascuno di essi le tre fasi operative di lavoro e definendo quattro classi di rischio a gravosità crescente da moderato a medio, elevato e molto elevato.

Il rischio deve considerarsi come il prodotto di tre fattori fondamentali:

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

$R = H * E * V$

- La pericolosità o probabilità che l'evento calamitoso accada;
- Il valore degli elementi a rischio (intesi come persone, cose, patrimonio ambientale);
- La vulnerabilità degli elementi a rischio (intesa come capacità di sopportare le sollecitazioni e l'intensità dell'evento).

Nell'Atto di indirizzo e coordinamento viene fornito un carattere generale di priorità degli elementi considerati a rischio, considerando innanzitutto l'incolumità delle persone come elemento prioritario.

L'Atto di indirizzo e coordinamento dispone, inoltre, che le attività di redazione dei Piani vengano articolate in tre fasi, corrispondenti a diversi livelli di approfondimento:

1. Individuazione delle aree soggette a rischio idrogeologico, attraverso l'acquisizione delle informazioni disponibili sullo stato del dissesto;
2. Perimetrazione, valutazione dei livelli di rischio e definizione delle conseguenti misure di salvaguardia;
3. Programmazione della mitigazione del rischio e previsione di spesa.

#### 4.1.4 DECRETO LEGGE N. 132/1999

Il D.L. 132/99, modifica, in alcune parti, la Legge n. 267/98, stabilendo come termine ultimo per l'adozione dei Piani stralcio di bacino il 30 giugno 2001, mentre entro il 31 ottobre 1999 dovevano essere individuate e perimetrare le situazioni a rischio più elevato (Piani Straordinari).

Il D.L. 132/99 stabilisce, inoltre, che i piani straordinari devono ricomprendere prioritariamente le aree a rischio idrogeologico per le quali era stato dichiarato lo stato di emergenza, ai sensi dell'art. 5 della Legge 24 febbraio 1992, n. 225.

#### 4.1.5 DECRETO LEGGE N. 279/2000

L'11 Dicembre 2000 il D.L. n. 279, viene convertito nella legge. 365/00 che anticipa in maniera perentoria la data di adozione dei Piani Stralcio al 30 aprile 2001, fornendo nuove procedure per l'adozione dei piani.

La nuova legge estende la validità delle norme imposte dai Piani Straordinari fino all'approvazione dei Piani per l'Assetto Idrogeologico.

#### 4.1.6 PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI PGRA

La Direttiva comunitaria 2007/60/CE del 23 ottobre 2007 "relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni" istituisce un quadro di riferimento per la gestione dei fenomeni alluvionali e persegue l'obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture.

La Direttiva prevede a tal fine l'individuazione delle misure idonee sulla base di un'attività di pianificazione

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

suddivisa in tre fasi successive e tra loro concatenate, così articolate:

- fase 1: valutazione preliminare del rischio di alluvioni;
- fase 2: elaborazione di mappe della pericolosità e del rischio di alluvione ;
- fase 3: predisposizione ed attuazione di piani di gestione del rischio di alluvioni .

La normativa altresì prevede che gli elementi di cui al piano di gestione del rischio di alluvioni (fase 1, 2 e 3) siano soggetti ad un riesame periodico e, se del caso, aggiornati, anche tenendo conto degli effetti dei cambiamenti climatici sul verificarsi delle alluvioni. Alla scadenza del 2018 è previsto un primo riesame della valutazione preliminare del rischio cui farà seguito la revisione delle mappe di pericolosità e rischio nel 2019 e del piano di gestione del rischio nel 2021. Successivamente i riesami da effettuarsi ogni 6 anni terranno conto degli effetti dei cambiamenti climatici sul verificarsi delle alluvioni.

Con l'emanazione del **D.L.gs. 23 febbraio 2010 n. 49** lo Stato Italiano ha avviato il percorso per l'“Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi di alluvioni”.

Vengono innanzitutto stabilite le fasi per pervenire alla definizione del piano di gestione secondo quanto stabilito dalla direttiva e in particolare:

- fase 1: valutazione preliminare del rischio di alluvioni;
- fase 2: elaborazione di mappe della pericolosità e del rischio di alluvione;
- fase 3: predisposizione ed attuazione di piani di gestione del rischio di alluvioni.

I Piani di gestione devono contenere misure per la gestione del rischio di alluvioni nelle zone ove, in base alle analisi svolte nella fasi precedenti, possa sussistere un rischio potenziale ritenuto significativo evidenziando, in particolare, la riduzione delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, attraverso l'attuazione prioritaria di interventi non strutturali e di azioni per la riduzione della pericolosità.

Gli adempimenti previsti sopra elencati sono attribuiti dallo stesso decreto legislativo 49/2010 alle Autorità di Bacino Distrettuali, ma, dal momento che queste non sono ancora state istituite, il Governo italiano, con il **Decreto legislativo 219 del 10 dicembre 2010**, ha stabilito che agli adempimenti connessi all'attuazione della direttiva alluvioni, nel caso di distretti nei quali non è presente alcuna autorità di bacino di rilievo nazionale, provvedono le regioni. La Regione Siciliana ha pertanto avviato il processo attuativo delle fasi stabilite dalla direttiva e in particolare della redazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

#### *4.1.6.1 Iter Approvativo E Stato Di Attuazione Del P.G.R.A. In Sicilia*

L'art.7 del D.L.gs. 23 febbraio 2010 n. 49 stabilisce quali debbano essere le principali finalità e i contenuti essenziali del PGRA, fissando la data per ultimare e pubblicare i piani di gestione del rischio di alluvioni al 22 dicembre 2015.

Inoltre, in base alle modifiche apportate all'art. 9 del D.Lgs. 49/2010 dalla Legge 97/2013, è stata inserita nel



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	13 di 68

decreto la verifica di assoggettabilità del PGRA alla VAS, per garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente e contribuire all'integrazione di considerazioni ambientali nelle varie fasi di elaborazione, adozione e approvazione del piano stesso

Il ruolo di autorità proponente è svolto dall'Autorità di Bacino Nazionale a cui è attribuito il ruolo di coordinamento a livello di Distretto Idrografico in virtù dell'art. 4 del D.Lgs. 219/2010.

Il 3 marzo 2016 sono stati approvati in sede di Comitato Istituzionale Integrato, ai sensi dell'art. 4 comma 3 del D.Lgs. 219/2010, i PGRA adottati il 17 dicembre 2015 ai sensi dell'art. 66 del D.Lgs. 152/2006, e per i quali si è conclusa la procedura di VAS con giudizio positivo di compatibilità ambientale espresso dal MATTM, quale Autorità Competente, di concerto con il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT).

Nel frattempo, come previsto dall'art. 13.4 del D.Lgs. 49/2010, le Autorità Competenti hanno provveduto a trasmettere le informazioni pertinenti il reporting del PGRA a ISPRA, tenendo conto della compatibilità con i sistemi di gestione dell'informazione adottati a livello comunitario. Nello stesso mese di marzo, successivamente alla verifica delle informazioni ricevute, ISPRA ha provveduto a inviare alla Commissione Europea i dati richiesti per il reporting, completando così le attività previste per il primo ciclo di gestione.

Il 27 ottobre 2016, su proposta del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, a conclusione delle procedure di VAS e acquisito il parere favorevole della Conferenza Stato-Regioni, il Consiglio dei Ministri ha approvato il PGRA di tutti i distretti idrografici a eccezione di quello della Sicilia.

Il PGRA della regione Sicilia, con relativo Rapporto Ambientale, adottato con Decreto Presidenziale n° 47 del 18/02/2016 ha acquisito giudizio positivo di compatibilità ambientale, con condizioni raccomandazioni e osservazioni, con decreto n° 58 del 14/03/2017 dal Ministero dell'Ambiente di concerto con il ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo.

L'aggiornamento del Rapporto ambientale, avvenuto nel luglio 2018, recepisce le raccomandazioni e le osservazioni contenute nel parere motivato positivo espresso con DM n. 58 del 14 marzo 2017 dall'Autorità Competente (MATTM e MiBACT). In tal modo la nuova valutazione degli impatti significativi sull'ambiente è stata presa in considerazione in fase di rielaborazione e prima dell'approvazione finale del PGRA.

In data 19 novembre 2020 è stata presentata dall'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia istanza di Verifica di Assoggettabilità alla procedura di Valutazione Ambientale Strategica per il "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni – II ciclo di pianificazione: 2016-2021", ai sensi dell'articolo 12 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, alla Divisione V – Sistemi di valutazione ambientali della Direzione Generale per la Crescita Sostenibile e la qualità dello Sviluppo con nota prot. 16203, acquisita con prot. MATTM- 97913 in data 26 novembre 2020 e con prot. MATTM-100689 del 2 dicembre 2020.

Il 2 Luglio 2021 il MATTM determina che il "Piano di Gestione del rischio di alluvioni - II ciclo di



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	14 di 68

pianificazione: 2016-2021” non debba essere sottoposto al procedimento di Valutazione Ambientale Strategica - VAS, secondo le disposizioni di legge vigenti in materia, recependo il parere espresso dalla Commissione.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

## 4.2 QUADRO NORMATIVO REGIONALE DI RIFERIMENTO

### 4.2.1 PIANO STRAORDINARIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.

Come già accennato il decreto legge n. 132/99 dispone che entro il 31 ottobre 1999, le autorità di bacino e le regioni approvino, in deroga alle procedure della legge 183/89, i piani straordinari diretti a rimuovere le situazioni a più alto rischio.

Il Piano straordinario deve contenere l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico "molto elevato" per garantire l'incolumità delle persone e la sicurezza delle infrastrutture e del patrimonio ambientale e culturale. Per dette aree devono essere adottate le misure di salvaguardia che, in assenza di piani stralcio, rimangono in vigore sino all'approvazione di detti piani.

Con Decreto 4 luglio 2000, n.298, l'Assessore Regionale del Territorio e Ambiente ha adottato il Piano Straordinario di bacino per l'assetto idrogeologico, ai sensi del comma 1 bis del Decreto Legge n.180/98. Nel Piano sono stati individuati 57 bacini idrografici principali e all'interno di questi individuate le aree a rischio "elevato" o "molto elevato" per frana e per inondazione su cartografia in scala 1:50.000. In tali aree sono state adottate le misure di salvaguardia transitorie comportanti limitazioni d'uso al fine di mitigare le condizioni di rischio.

Nell'Aggiornamento del Piano Straordinario, approvato con D.A. n. 543 del 22/7/02, erano state individuate le aree territoriali intermedie ai sopraelencati bacini idrografici principali.

Nel P.A.I. vengono elencati i bacini idrografici di tutti i corsi d'acqua aventi sbocco a mare e le aree comprese tra una foce e l'altra, raggruppandoli, dal punto di vista geografico, nei tre versanti siciliani: settentrionale, meridionale ed orientale.

Nella Tabella dei Bacini idrografici ed aree del versante orientale del PAI, ricade il bacino dell'Area territoriale tra il Bacino del Fiume San Leonardo e il Bacino del fiume Anapo (092) che risulta di interesse per i nostri studi.

Considerata la vastità territoriale della Regione e in conformità a quanto stabilito dall'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89 che ha previsto la facoltà di redigere il Piano di bacino per stralci che possono riguardare sottobacini o settori funzionali, l'Assessore al Territorio e Ambiente ha individuato, con D.A. n. 176/S9 del 4/4/02, ai sensi e per gli effetti dell'art. 130 della Legge regionale 3 maggio 2001 n° 6, i bacini idrografici prioritari dai quali iniziare il progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

#### 4.2.2 PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI ADOTTATO E QUADRO CONOSCITIVO DELLE CRITICITA' IDRAULICHE

La regione Sicilia con Decreto Presidenziale n° 47 del 18/02/2016 ha adottato il progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per il suo territorio, sul quale ha acquisito, con decreto n° 58 del 14/03/2017 del Ministero dell'Ambiente di concerto con il ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, giudizio positivo di compatibilità ambientale VIA -VAS, con condizioni raccomandazioni e osservazioni. Ad oggi è in corso, da parte della Regione Sicilia, l'adeguamento e l'assoggettamento degli elaborati del PGRA, alle condizioni, osservazioni e raccomandazioni espresse nel parere della Valutazione Ambientale Strategica approvata.

*A conclusione dell'iter di approvazione del PGRA per la Sicilia, necessita ancora, il parere favorevole della Conferenza Stato-Regioni e l'approvazione definitiva del Consiglio dei Ministri.*

Nelle more di approvazione del PGRA da parte del Consiglio dei Ministri, si riportano le Mappe della pericolosità e del rischio alluvione e le aree critiche che interessano il tracciato ferroviario in progetto.

##### 4.2.2.1 *Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione*

###### *Le mappe di pericolosità*

La Direttiva 2007/60, così come recepita dal D.Lgs 49/2010, stabilisce la redazione di mappe della pericolosità da alluvione in scala preferibilmente non inferiore a 1:10.000 ed, in ogni caso, non inferiore a 1:25.000. L'articolo 6 dello stesso Decreto dispone la predisposizione delle mappe di pericolosità e di rischio di alluvione che devono indicare le aree geografiche potenzialmente allagabili con riferimento a tre scenari:

- a. alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno fino a 500 anni dall'evento (bassa probabilità);
- b. alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità);
- c. alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità).

Nel territorio regionale, le attività finalizzate alla mappatura della pericolosità e del rischio ai sensi dell'art. 6 del D.Lgs. 49/2010 sono state sviluppate con l'obiettivo di avviare il processo di elaborazione del Piano di Gestione in modo da adempiere alle prescrizioni normative comunitarie e statali, partendo dalla valorizzazione degli studi svolti nell'ambito dei Piani per l'assetto idrogeologico (PAI). Pertanto, in relazione alle risorse disponibili e alle scadenze temporali stabilite, si è proceduto prioritariamente nella valutazione e nell'omogeneizzazione dei PAI vigenti anche al fine di avviare il loro aggiornamento in relazione alle successive scadenze stabilite dal decreto legislativo 49/2010.

Per il bacino dell'Area territoriale tra il Bacino del Fiume San Leonardo e il Bacino del fiume Anapo (092) sono state individuate e pubblicate sul sito web dell'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente della

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

Regione Siciliana ([www.sitr.regione.sicilia.it/pai/bacini.htm](http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/bacini.htm)) le mappe riportanti le aree di pericolosità e di rischio, desunte dal PAI.

#### 4.2.2.2 *Le mappe del rischio*

Il Decreto Legislativo 49/2010 prevede che le mappe del rischio di alluvioni indichino le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni, nell'ambito degli scenari di pericolosità idraulica e prevedono le 4 classi di rischio di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 29 settembre 1998, (pubblicate G.U. n. 3 del 5 gennaio 1999), espresse in termini di:

- d. numero indicativo degli abitanti potenzialmente interessati;
- e. infrastrutture e strutture strategiche (autostrade, ferrovie, ospedali, scuole, etc.);
- f. beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse presenti nell'area potenzialmente interessata;
- g. distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata;
- h. impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59, che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvione e aree protette potenzialmente interessate, individuate all'allegato 9 alla parte terza del decreto legislativo n. 152 del 2006;
- i. altre informazioni considerate utili dalle autorità di bacino distrettuali, come le aree soggette ad alluvioni con elevato volume di sedimenti.

Per quanto riguarda quindi, l'individuazione e mappatura del rischio idraulico, la normativa indica i criteri di massima sia per la valutazione degli elementi esposti sia delle condizioni di rischio, confermando la validità delle indicazioni già fornite nel D.P.C.M. 29/09/98 aggiungendo e/o dettagliando gli aspetti relativi al numero di abitanti potenzialmente esposti e alla presenza di impianti IPPC-AIA e di aree protette.

Le mappe di rischio sono il risultato del prodotto della pericolosità e del danno potenziale in corrispondenza di un determinato evento:

$$R = P \times E \times V = P \times Dp$$

Ove:

- **P** (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
- **E** (elementi esposti): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
- **V** (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	18 di 68

- **Dp** (danno potenziale): grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;
- **R** (rischio): numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità

La Vulnerabilità assume valori compresi tra 0 (struttura non vulnerabile) e 1 (struttura molto vulnerabile) e in questa prima fase è stata assunta cautelativamente pari a 1.

Per quanto riguarda il danno potenziale l'analisi è stata condotta in modo qualitativo associando le categorie di elementi esposti a condizioni omogenee di danno potenziale attribuendo peso crescente da 1 a 4.

Negli elaborati cartografici in scala 1:10.000 denominati "Rischio e pericolosità idraulica ai sensi del dell'art. 6 del D.Lgs 23/02/2010 n. 49", sono riportate le aree a rischio secondo la classificazione del DPCM 29 settembre 1998 distinte in:

- **R4** (rischio molto elevato);
- **R3** (rischio elevato);
- **R2** (rischio medio);
- **R1** (rischio moderato o nullo):

Il PGRA per ciascuna area elabora una prima valutazione economica del Danno in prospettiva di un'analisi costi benefici secondo la metodologia utilizzata al momento di tipo semplificato riportata nell'allegato "Analisi costi benefici - Valutazione economica del danno atteso e analisi economiche".

#### 4.2.2.3 Le aree critiche

Nel corpo del PGRA, vengono individuate alcune aree critiche, e precisamente:

- i "Siti di attenzione" dei Piani per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) di competenza dell'Assessorato Regionale del Territorio e dell'Ambiente;
- le aree potenzialmente a rischio individuate nei piani di protezione civile comunali e intercomunali in tema di rischio idrogeologico, meglio identificate come "Nodi idraulici classificati" e "Aree allagabili soggette ad onde anomale";

per le quali la Regione Sicilia si riserva in futuro di effettuare studi e indagini necessari per la classificazione dell'effettivo livello di pericolosità e di rischio. In queste aree critiche, nelle more di classificazione del rischio, l'art.6 delle Norme di attuazione, disciplina gli interventi di edilizia e trasformazione del territorio. Per la realizzazione di interventi classificati come E3 (Ferrovie) ed E4 prevede la verifica di compatibilità idraulica.

#### 4.2.2.4 I siti d'attenzione

Nell'elaborazione dei Piani per l'Assetto Idrogeologico gli studi idrologici e idraulici effettuati hanno portato

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

all'individuazione di aree di pericolosità idraulica. Sono emerse oltre alle aree di pericolosità aree indicate come siti di attenzione.

Tali aree concorrono a definire il quadro conoscitivo di base per la valutazione preliminare del rischio e vanno intese come aree su cui approfondire il livello di conoscenza delle condizioni geomorfologiche e/o idrauliche in relazione alla potenziale pericolosità.

Per tali aree il PGRA prevede la successiva elaborazione di studi di aggiornamento e approfondimento per completare le valutazioni necessarie e/o per produrre i livelli informativi per la individuazione della pericolosità e rischio in conformità a quanto previsto dalla Direttiva per il successivo ciclo di pianificazione e contestualmente per aggiornare e integrare i P.A.I. vigenti relativamente ai corsi d'acqua e ambiti territoriali o nuove aree soggette a fenomeni di allagamento.

#### 4.2.2.5 *I nodi idraulici critici per l'attività di protezione civile*

Il Dipartimento Regionale della Protezione Civile ha fornito un primo contributo alla redazione del Piano nella prospettiva di avviare sin d'ora alla successiva fase di valutazione preliminare effettuando un censimento finalizzato a individuare le interferenze tra reticolo idrografico e impatto antropico che può costituire fonte di criticità.

Il Dipartimento ha sintetizzato i risultati in uno studio (Dipartimento Regionale della Protezione Civile Servizio Regionale Rischi Idrogeologici E Ambientali- Rapporto Preliminare Rischio Idraulico in Sicilia- versione 4-2014), cui si rinvia per una più completa analisi. Lo studio non fa riferimento a eventi specifici, né a calcoli idrologici o idraulici o a mappe di rischio, e viene proposto come strumento di prevenzione nel quadro delle attività di protezione civile. Esso quindi è da considerarsi come il presupposto per l'implementazione delle attività di ricognizione e di presidio territoriale individuate tra le misure di piano.

Lo studio, in sintesi, evidenzia la presenza di diffuse anomalie idrauliche soprattutto nell'ambito del reticolo idrografico minore e, in corrispondenza degli agglomerati urbani schematizzabili nelle due seguenti categorie:

- interferenze tra corsi d'acqua e viabilità:
- interferenze tra corsi d'acqua e edificato.

Tali interferenze, intese come intersezioni tra viabilità e corsi d'acqua o qualsivoglia situazione per la quale sia temibile una situazione di potenziale rischio relativa all'interferenza tra acque superficiali ed elementi antropici, assumono la definizione di "Nodi Idraulici" che, in occasione di eventi estremi di natura meteorologica, possono determinare situazioni di criticità anche gravi.

In apposite mappe generali vengono riportati tutti i nodi idraulici potenzialmente critici, censiti con l'utilizzo di Google Earth Pro (con nuove immagini al 2015) e di Street View.

In tale lavoro l'identificazione dei "nodi censiti" non è supportata da alcuna valutazione di rischio, anche in



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	20 di 68

relazione al fatto che la classificazione del rischio dipende da condizioni al contorno, quale per esempio l'officiosità degli attraversamenti osservata al momento del sopralluogo, che possono mutare nel tempo e pure durante i fenomeni di piena.

Pur tuttavia le mappe riportano tra tutti i nodi censiti i nodi non classificati e i nodi a classificazione del rischio idraulico in: Basso, Moderato, Elevato e Molto Elevato.

Classificazione da intendersi come indirizzo da seguire nell'ambito del modello di intervento della pianificazione di protezione civile, tenendo ben presente che si è in presenza di contesti dinamici, cioè dipendenti da una serie di circostanze che possono cambiare nel tempo.

In sintesi il Rapporto Preliminare sul Rischio Idraulico della Protezione Civile riporta: *“Pertanto, esso, non può essere in alcun modo utilizzato per analisi o attestazioni di pericolosità o di rischio idraulico e idrogeologico ma soltanto come base di conoscenza preliminare per eventuali successivi approfondimenti finalizzati alla redazione dei Piani comunali e intercomunali di protezione civile o per altri studi di pianificazione e gestione del territorio”*.

#### 4.2.2.6 Mappe delle aree allagabili a seguito di onde anomale

Il Dipartimento della Protezione Civile, nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, ha pubblicato il rapporto “Mappe allagabili a seguito di onde anomale”.

Estratto dal rapporto:

*Nel rapporto improvvisi innalzamenti del livello del mare sono stati denominati “onde anomale”, intendendo con tale termine sia i fenomeni classicamente associati a eventi sismici, sia quelli che possono essere provocati, per quello che si sa, anche da frane sottomarine o da particolari condizioni atmosferiche (come, per esempio, il “marrobbio”).*

*A fini di protezione civile, ovviamente, si tende a ragionare in termini di previsione e prevenzione; pertanto, di un fenomeno occorre riconoscere i precursori di evento e ipotizzarne i possibili effetti al suolo. Con tali presupposti, bisognerebbe possedere gli strumenti di rilevazione per identificare l'occorrenza di un evento che possa causare le “onde anomale”.*

*Al momento, si attende che la comunità scientifica, insieme al Dipartimento della Protezione Civile, diano indicazioni al riguardo; tuttavia, considerato che la conoscenza della vulnerabilità potenziale al rischio di inondazione delle aree costiere costituisce un importante presupposto per avviare, da subito, le necessarie attività di prevenzione, il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, ai sensi del Decreto Legislativo n. 112/98, ha inteso fornire un contributo affinché gli Enti Locali siano messi nella possibilità di predisporre o aggiornare le proprie pianificazioni di emergenza per questo tipo di rischio.*

*Sono state così predisposte, per alcune aree costiere, le “Mappe delle aree allagabili a seguito di onde anomale” che, pur non tenendo conto di una serie di parametri importanti per la simulazione (run-up, energia dell'onda, presenza di ostacoli, profondità dei fondali, ecc), permettono di definire i contorni*



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	21 di 68

*delle zone che, potenzialmente, potrebbero essere soggette all'ingressione marina causata da un generico innalzamento improvviso e repentino del livello del mare.*

*In assenza di modelli di propagazione delle onde di marea, è stato scelto di adoperare un criterio statico (le quote sul livello del mare da 0 a 12 metri, in 4 classi) indipendentemente dalla causa scatenante. Pur nella semplificazione della metodologia, in tal modo si ha comunque la possibilità di individuare le infrastrutture che potrebbero essere coinvolte e di avviare una pianificazione di emergenza calibrata per il tipo di problematica in esame.*



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	22 di 68

#### **4.3 AUTORITA' DI BACINO - DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SICILIA -**

**In data 8 maggio 2018 con Legge Regionale n° 8 “Disposizioni programmatiche e correttive per l’anno 2018. Legge di stabilità regionale”, in forza dell’art. 3 è stata istituita “l’Autorità di bacino del distretto idrografico della Sicilia”.**

In ottemperanza alla legge 183/1989 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”, che all’articolo 12, istituisce le Autorità di bacino per i bacini idrografici di rilievo nazionale e successivamente ai sensi dell’art. 63 decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e successive modifiche ed integrazioni è stata istituita, presso la Presidenza della Regione, l’Autorità di bacino del distretto idrografico della Sicilia.

Con DPRS n° 627 del 29/11/2018 “Costituzione del Comitato Tecnico Scientifico dell’Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia [Dipartimento dell’acqua e dei rifiuti]” è stato costituito un “Comitato tecnico-scientifico” per fornire all’Autorità di Bacino consulenza sulle tematiche tecniche.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

## 5 ANALISI GEOMORFOLOGICA BACINI IDROGRAFICI

La determinazione dei bacini idrografici e del reticolo idrografico interferente con l'asse stradale in progetto è stata effettuata utilizzando un modello digitale del terreno (Digital Elevation Model DEM) con procedura sviluppata in ambiente GIS. Tale DEM è stato elaborato dalle informazioni altimetriche contenute dalle curve di livello e dai punti quotati ricavati dalle Carte Tecniche Regionali (CTR 1:10.000) volo 2012-2013 MDS cella 2x2, opportunamente estese, in modo da comprendere l'intera superficie dei bacini idrografici oggetto di studio. Le elaborazioni della matrice così ottenuta (raster), contenente le informazioni altimetriche delle singole celle, sono state eseguite in ambiente Gis utilizzando il software ArcGIS con opportune procedure di interpolazione, che di seguito vengono descritte.

Il software ArcGIS è integrato da numerose estensioni tematiche che introducono vari algoritmi di analisi aggiuntivi, tramite i quali è possibile effettuare analisi territoriali sempre più approfondite.

Inoltre risulta interfacciabile con software sviluppati dal "US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center" (HEC) degli Stati Uniti ed in particolare con GeoHMS che permette di estrarre gran parte dei dati utili per la modellazione idrologica disponendo di opportune cartografie (litologia, uso del suolo, orografia, idrografia, ecc.). Tramite queste applicazioni è possibile descrivere le componenti morfo-idrologiche di una determinata area di studio e successivamente calcolare i parametri morfo-idrometrici necessari per il calcolo dei tempi di corrivazione e degli ideogrammi di piena.

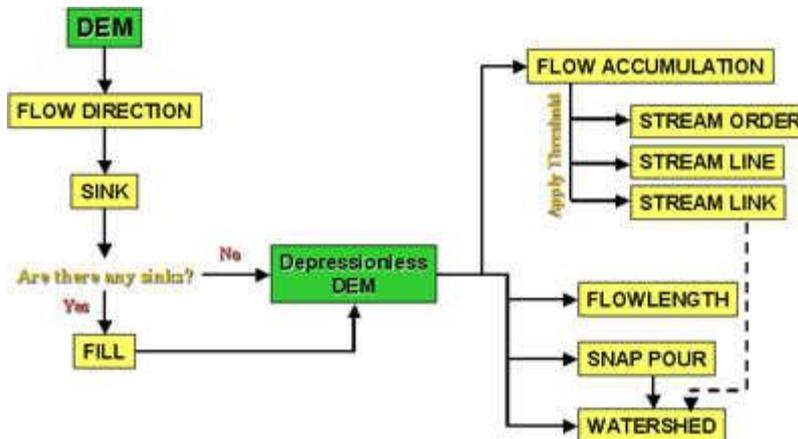
Le funzioni "hydrologic tools" consentono, infatti, a partire da un modello digitale del terreno (DEM) di individuare il reticolo idrografico e delimitare i bacini idrografici relativi ad una qualsiasi sezione di chiusura.

Utilizzando come input un livello raster rappresentativo delle quote topografiche o un modello digitale del terreno (DEM), gli strumenti di analisi idrologica consentono di individuare in maniera automatica il sistema di drenaggio e quantificare le caratteristiche del sistema. Le elaborazioni idrologiche effettuate in ambiente GIS si basano sul concetto di convergenza del flusso di ruscellamento sulla superficie del terreno. L'affidabilità della modellazione si basa però sull'assunzione che l'andamento plano-altimetrico della superficie sia tale da consentire con buona approssimazione l'individuazione dell'effettivo percorso di drenaggio.

L'individuazione del reticolo idrografico o la perimetrazione di un bacino sotteso ad una qualsiasi sezione di chiusura viene effettuata tramite una serie di step operativi.

Il seguente diagramma di flusso mostra il processo tramite il quale è possibile estrarre da un DEM i dati

morfo-idrologici.



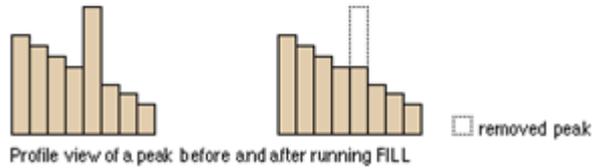
### Sink Tool e Fill Tool

Nel caso in cui la cella presa in considerazione sia caratterizzata da una quota minore rispetto a quella di tutte le celle adiacenti si è in presenza di un “sink”, una cella per la quale non è possibile definire una direzione di deflusso.

Un sink individua una depressione locale, in corrispondenza della quale, non essendo individuabile una direzione di deflusso verso l’esterno, il flusso entrante nella cella non può uscirne. In alcuni casi la presenza di un sink può essere di origine naturale, come accade ad esempio in caso di presenza di doline carsiche, oppure può derivare da un’imprecisione legata all’elaborazione del DEM. Allo stesso modo un “peak”, rappresentativo di un picco altimetrico è costituito da un’area circondata da celle alle quali sono associati valori relativamente più bassi.

Per ottenere una accurata definizione delle direzioni di deflusso tali errori devono essere eliminati dal DEM prima di procedere a qualsiasi tipo di elaborazione idrologica.

Pertanto, prima di procedere con i successivi step di analisi è opportuno utilizzare la funzione “Sink”, che consente di identificare i suddetti errori; questi stessi possono essere corretti con la funzione “Fill”.



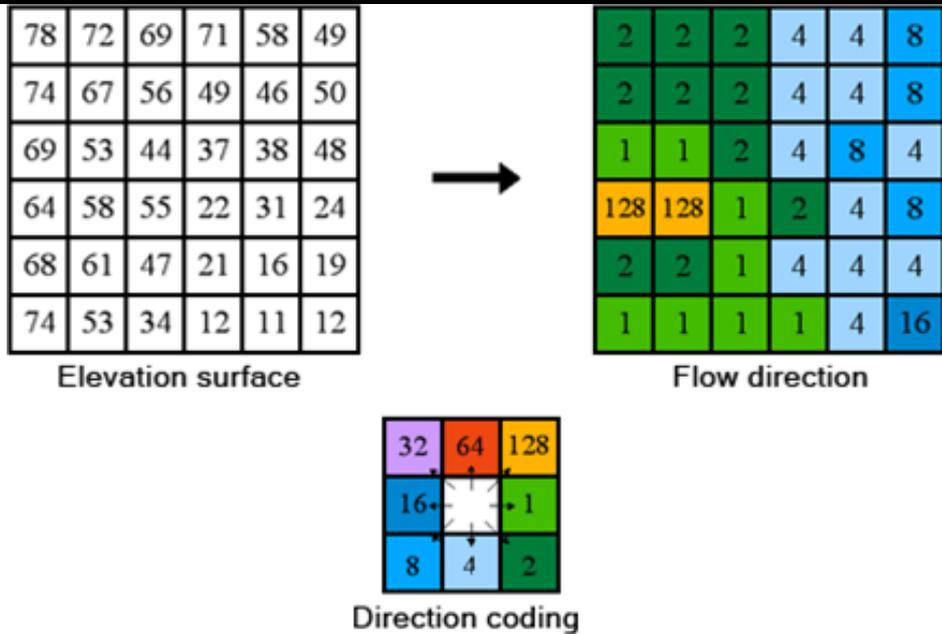
### Flow Direction Tool

Operazione preliminare per l'individuazione delle linee di impluvio è l'individuazione, per ogni cella in cui è discretizzata l'area di indagine, della direzione del flusso di ruscellamento lungo la superficie del terreno.

Questa operazione è effettuata tramite il "Flow Direction Tool".

Questo strumento, assumendo in input il DEM, fornisce un raster che mostra la direzione del flusso in uscita da ciascuna cella. Il programma individua otto possibili direzioni verso le quali il flusso può viaggiare, codificate tramite valori compresi tra 1 e 255.

La direzione di flusso è determinata individuando la direzione di massima pendenza per ogni cella calcolata come rapporto tra la variazione di quota tra i centroidi di celle adiacenti e la distanza relativa tra essi. Una volta individuata la direzione di massima pendenza la relativa, cella di output viene codificata secondo il valore rappresentativo della direzione individuata.

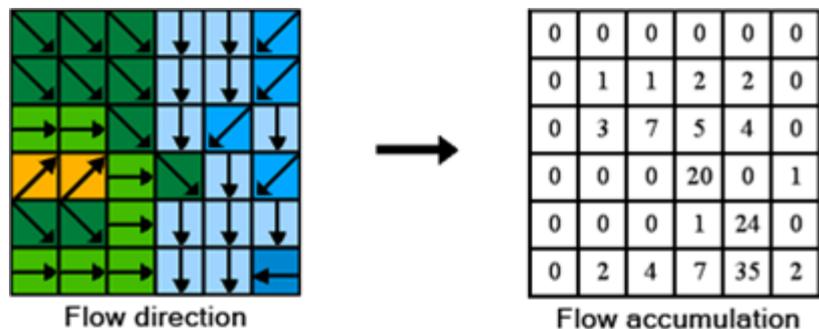


### Flow Accumulation Tool

Successivamente si procede nell'analisi tramite l'applicazione del "Flow Accumulation Tool" che, partendo dal raster di output del Flow Direction, consente di valutare il numero di celle a monte idrologico che contribuisce al deflusso transitante nella i-esima cella presa in considerazione.

Il Flow Accumulation calcola in flusso transitante come peso cumulato di tutte le celle che contribuiscono al deflusso di ciascuna delle celle a valle, fornendo in output un raster che rappresenta l'entità della pioggia che defluirebbe in ogni cella, nell'ipotesi in cui tutta la precipitazione si trasforma in run-off superficiale, trascurando le componenti di evapotraspirazione ed infiltrazione.

In figura l'immagine a sinistra mostra la direzione di deflusso di ogni cella e quella a destra il numero di celle di input contribuenti per ciascuna cella di output.



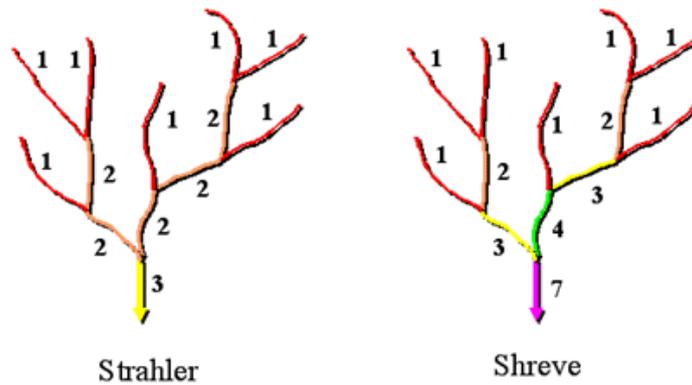
Le celle caratterizzate da un valore di accumulazione pari a zero individuano gli alti topografici e possono essere utilizzate per individuare le linee di displuvio. Le celle con un alto valore di flusso cumulato individuano le aree nelle quali si concentra il deflusso e costituiscono la base per l'individuazione del reticolo di flusso

Perché l'individuazione del reticolo risulti significativa è necessario specificare un valore di soglia superato il quale le celle vengono incluse nel reticolo di flusso.

Una volta creato, il reticolo può essere ulteriormente analizzato tramite le seguenti funzioni:

**Stream Order Tool**

L'algoritmo viene applicato per assegnare a ciascun ramo del reticolo un ordine al fine di individuare e classificare i diversi tratti del reticolo sulla base del numero di rami tributari. I metodi riportati in letteratura secondo i quali può essere effettuata la gerarchizzazione di un reticolo idrografico sono molteplici; i due metodi selezionabili nell'applicazione sono quelli proposti da Strahler (1957) e Shreve (1966)



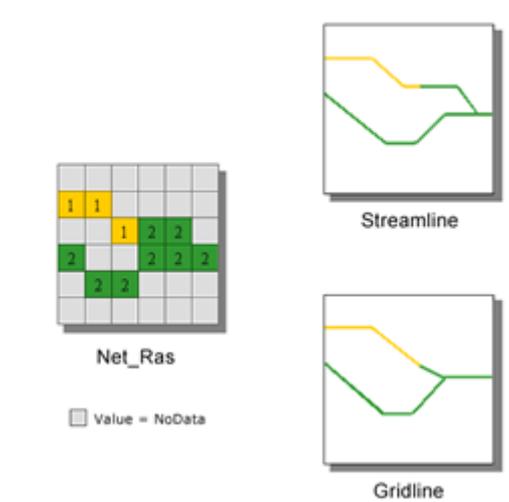
	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

### Stream Link Tool

Si tratta di una funzione che permette di assegnare un unico id a ciascuna connessione tra i rami. Di un reticolo lineare in formato raster; a seguito di questa applicazione è possibile individuare in automatico i bacini sottesi a ciascuna intersezione tramite il comando “Watershed”.

#### Stream to feature

Il reticolo in formato raster, derivante dall’applicazione del Flow Accumulation Tool può essere convertito in un oggetto vettoriale lineare utilizzando la funzione “Stream To Feature” che opera una vettorializzazione di celle attigue; in particolare l’algoritmo alla base di questa applicazione è specificamente modificato, rispetto ai tradizionali metodi di vettorializzazione, al fine di restituire, in presenza di due oggetti vettoriali adiacenti dotati dello stesso valore, due linee parallele piuttosto che un’unica linea.



### Watershed tool

Un bacino può essere definito l’area a monte di una data sezione di chiusura la cui superficie contribuisce al deflusso transitante nella sezione stessa.

Bacini e sottobacini possono essere tracciati utilizzando in input il raster ottenuto tramite il Flow Direction Tool usando il “Watershed Tool”.

Per determinare l’estensione di un bacino o sottobacino è necessario definire il “Pour Point” cioè individuare tramite una specifica entità geometrica puntuale qual è la sezione di chiusura considerata. Per rendere più accurata l’elaborazione spaziale, evitando eventuali errori che possono essere generati nel passaggio tra un formato vettoriale e raster, è opportuno associare l’entità vettoriale puntuale, rappresentativa della sezione di chiusura, ad una cella del reticolo in formato raster tramite la funzione “Snap Pour Point”. A seguito di queste operazioni preliminari, tramite l’applicazione della funzione Watershed viene restituita, in formato raster, l’estensione del bacino contribuente, trasformabile tramite semplici algoritmi operativi, in un oggetto vettoriale poligonale.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

## 5.1 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL BACINO

Ciascuna metodologia riportata in letteratura per il calcolo della portata al colmo di piena necessita di una serie di parametri da inserire all'interno del modello per applicare un generico modello di calcolo ad un determinato caso di studio.

Si tratta, fondamentalmente, di caratteristiche morfo-idrometriche del bacino o dell'asta principale del reticolo. Tali grandezze possono essere ricavate tramite l'applicazione di alcuni basilari strumenti analitici comunemente applicati in ambiente GIS.

Senza entrare nel merito del significato concettuale di ciascuna applicazione, si fornisce di seguito, accanto a ciascuno dei parametri ricercati, un accenno allo specifico strumento utilizzato.

### ***Estensione superficiale del bacino (mq)***

Per ricavare area del bacino, una volta attivata la modalità di editing (Editor-> Start Editing), servirà selezionare lo shape relativo al bacino, aprirne la tabella attributi ed inserirvi un nuovo campo, nominato Area e di tipo double.

Cliccando sul nuovo campo della tabella con il tasto destro basterà selezionare Calculate Geometry e in seguito selezionare area con l'unità di misura desiderata. L'applicazione calcola, di default, l'estensione in metri, tuttavia, assegnando il sistema di riferimento al data frame, è possibile ottenere gli stessi valori in altre unità di misura (acri, ettari ecc.)

### ***Lunghezza dell'asta fluviale principale (km)***

La lunghezza dell'asta principale si ottiene tramite l'applicazione Calculate Geometry – Length disponibile nel menù richiamabile dalla finestra del database associato agli oggetti vettoriali.

### ***Quote media e massima del bacino (m s.l.m)***

Le quote media e massima del bacino si possono individuare consultando le proprietà relative alla matrice ottenuta ritagliando il DEM rispetto al bacino (step 12).

Il software, infatti, riporta tra le caratteristiche di un raster il valore massimo, minimo e medio tra quelli associati alle celle.

### ***Quota della sezione di chiusura (m s.l.m).***

La quota della sezione di chiusura tramite interrogazione diretta del DEM in corrispondenza della sezione di chiusura prefissata.

### ***Pendenza media del bacino (%)***

La pendenza media del bacino si calcola tramite la funzione Slope, inclusa tra gli strumenti di Surface Analysis dell'estensione Spatial Analyst. Tale funzione, a partire da un DEM di input, fornisce una matrice che riporta in ciascuna cella il massimo valore di pendenza calcolato prendendo in considerazione le otto celle adiacenti. Ritagliato il raster delle pendenze tramite specifiche operazioni algebriche tra matrici, il



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	30 di 68

valore ricercato si ottiene semplicemente interrogando le proprietà del livello informativo.

***Pendenza media dell'asta fluviale (%)***

La pendenza media dell'asta fluviale si valuta come media delle pendenze dei singoli tratti componenti l'asta principale; queste ultime, ricavate tramite 3D Analyst le quote corrispondenti ad ogni nodo, sono valutate come rapporto tra la variazione di quota tra le estremità di ciascun tratto e la lunghezza dello stesso.

Grazie ai processi di analisi statistica delle cartografie precedentemente esposte è stato possibile determinare il reticolo idrografico potenziale, per tutta l'area a monte dell'asse strada ricadente su terreni vulcanici privi di reticolo idrografico, i bacini idrografici degli impluvi potenziali presenti nell'area oggetto di studio e definire per gli stessi, le principali caratteristiche morfometriche, necessarie per la stima delle portate di piena, di seguito riportate.

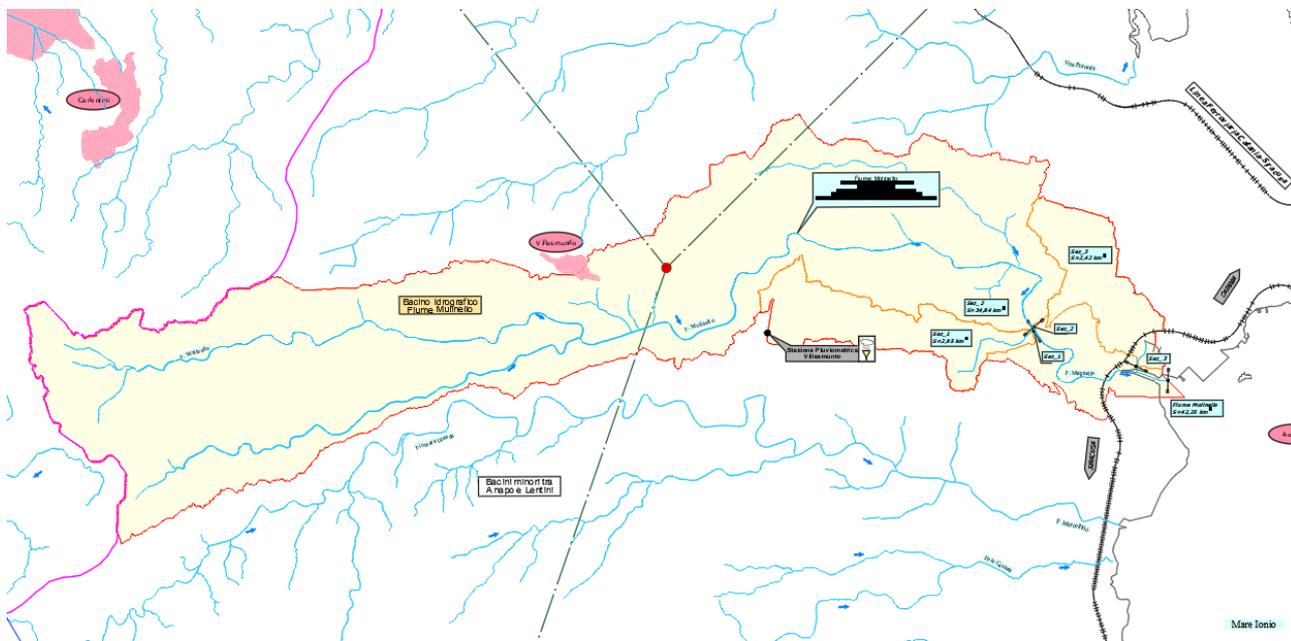
In aderenza a quanto prescritto nel manuale di progettazione delle opere civili che classifica i corpi d'acqua in principali e secondari, se la superficie del bacino sotteso supera i 10 kmq, si sono raggruppate le sezioni di calcolo idraulico sul reticolo idrografico in due grandi classi di Bacini Maggiori e Bacini Minori.

Ai fini del presente studio idrologico, sono state individuate n. 3 sezioni per il calcolo delle portate vedasi Figura 5-1:

- Sez. 1, sul ramo in destra idraulica prima della confluenza con il Fiume Mulinello
- Sez. 2, sul Fiume Mulinello, prima della confluenza con il ramo in destra idraulica
- Sez. chiusura, in corrispondenza della foce del Fiume Mulinello.

Per ciascuna di tali sezioni, si è proceduto alla perimetrazione dei bacini idrografici.

*Figura 5-1 Bacini idrografici e relativi sottobacini*



Le caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici quali l'estensione, il perimetro, la lunghezza e la pendenza dell'asta principale, la quota della sezione di chiusura del bacino, la quota massima e media del bacino, la pendenza media del bacino, sono riassunte nella **Tabella 5-1**.

**Tabella 5-1 Caratteristiche morfologiche bacini idrografici**

Bac. Idrografico Principale: Fiume Mulinello			Sez.0	Sez.1	Sez.2
Sezione di calcolo					
Dimensioni planimetriche					
Area del Bacino idrografico	A	[kmq]	39.820	2.948	34.841
Perimetro del contorno del bacino	P	[km]	71.60	17.31	63.83
Lunghezza asta principale "percorso idraulicamente più lungo"	L	[km]	25.69	6.17	22.35
Altimetria					
Quota massima del bacino	$H_{mx}$	[m s.l.m.]	508.83	138.36	508.83
Quota mediana del bacino	$H_m$	[m s.l.m.]	156.46	93.06	191.11
Quota della sezione di chiusura.	$H_o$	[m s.l.m.]	0.00	6.19	6.54
Pendenza media del bacino	$i_b$	[m/m]	0.10614	0.08308	0.11371
Pendenza media dell'asta principale	$i_m$	[m/m]	0.00996	0.01927	0.01534

## 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 due leggi teoriche utilizzate in questo studio (Gumbel e TCEV) con indicazioni sulle modalità di stima dei parametri.

### 6.1 IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL

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

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta  $y$ :

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

si ha la forma canonica:

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

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

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

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

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

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

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 6.2 MODELLO PROBABILISTICO TCEV (VAPI)

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

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

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

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

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

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

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

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:

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

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  è stato indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,Tr}$  è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee e rappresenta uno strumento attraverso il quale, a partire da  $K_{t,Tr}$ , nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ( $\mu(X_t)$ ) per avere la distribuzione di probabilità finale.

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

### 6.3 APPROCCIO GERARCHICO ALLA STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI

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

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

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

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

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

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

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

#### I° Livello di regionalizzazione:

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

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

#### II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  possa suddividersi in sottozone 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.



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	6 di 68

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

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,T_r} = X_{t,T_r} / \mu(X_t)$  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:

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

## 7 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

L'analisi pluviometrica delle aree interessate dai bacini oggetto del presente studio è stata condotta sia tramite l'elaborazione statistica dei dati pluviometrici (Metodo Gumbel), sia applicando il metodo di regionalizzazione delle piogge, in base alle procedure definite dal Progetto VA.PI. (Valutazione Piene) elaborato per la Regione Sicilia.

Nell'elaborato "Corografia dei bacini" sono riportate le stazioni pluviometriche, del Servizio Tecnico Idrografico Regionale, presenti sul territorio e di interesse rispetto ai bacini interferiti. Le stazioni pluviometriche che insistono sui i bacini interferiti, sono:

- Augusta
- Lentini Bonifica
- Lentini Citta
- Melilli
- Sortino
- Ferla
- Francoforte
- Vizzini
- Monterosso Armo
- Palazzolo Acreide
- Siracusa
- Villasmundo
- Buccheri

Tra tutte le stazioni pluviometriche presenti, sono state escluse quelle che non presentano valori pubblicati nell'ultimo periodo di osservazione 2000-2018, per tenere conto delle possibili variazioni climatiche a cui sembra essere soggetto il Globo, e vengono prese in considerazione le stazioni popolate da un maggior numero di osservazioni.

Pertanto sono state escluse le stazioni di:

- Melilli
- Sortino
- Ferla
- Francoforte

- Vizzini
- Monterosso Armo
- Palazzolo Acreide
- Siracusa
- Villasmundo
- Buccheri

Nei calcoli idrologici si è dunque tenuto conto delle stazioni pluviometriche di **Augusta, Lentini Bonifica, Lentini Città.**

L'area di influenza di ciascuna delle tre stazioni pluviometriche è stata calcolata, in ambiente GIS, utilizzando il metodo dei poligoni di Thiessen: è stato dunque calcolato il coefficiente di influenza di ciascuna delle tre stazioni, riportato nella tabella seguente.

STAZIONE PLUVIOMETRICA	Augusta		Lentini Bonifica		Lentini città		Area complessiva sezione [A]	Coefficiente complessivo
	Area influenza A <sub>i</sub> [Kmq]	Coefficiente influenza C <sub>i</sub> =A <sub>i</sub> /ΣA <sub>i</sub>	Area influenza A <sub>i</sub> [Kmq]	Coefficiente influenza C <sub>i</sub> =A <sub>i</sub> /ΣA <sub>i</sub>	Area influenza A <sub>i</sub> [Kmq]	Coefficiente influenza C <sub>i</sub> =A <sub>i</sub> /ΣA <sub>i</sub>		
Sez.0	19.21	0.48	1.32	0.03	19.29	0.48	39.82	1.00

**Tabella 7-1 Coefficienti di Influenza delle stazioni pluviometriche considerate**



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	9 di 68

## 7.1 METODO DI GUMBEL

Per le stazioni pluviometriche di interesse, nei capitoli precedenti, si sono riportate le serie storiche delle altezze massime di pioggia annue di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i valori statistici, media e deviazione standard.

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

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

Si riportano di seguito i tabulati di calcolo ed i risultati delle analisi statistiche eseguite con il metodo di Gumbel per le stazioni di **Augusta, Lentini Bonifica, Lentini Città.**

**CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA**

\*\*\*\*\*

La determinazione delle curve di possibilità pluviometriche  $h = a t^n$  per assegnato tempo di ritorno è stata elaborata con la legge di distribuzione asintotica dei valori massimi meglio nota come legge di Gumbel :

$$h = u - 1/c \ln \ln (T/(T-1))$$

$$u = m - 0,450 * s$$

$$c = 1,283 / s$$

Essendo :  $h$  = Altezza di pioggia (mm)  
 $Tr$  = Tempo di ritorno  
 $u = f(m,s)$  ;  $c = f(s)$   
 $m$  = Media del campione di dati  $h(1,3,6,12,24)$   
 $s$  = Scarto quadratico medio del campione

Stazione Pluviometrica : **AUGUSTA**

Bacino : **ANAPO**

Provincia : **SIRACUSA**

	h(1)	h(3)	h(6)	h(12)	h(24)
m	41,99	59,24	71,96	83,22	98,69
s	20,79	36,46	50,51	53,62	64,14
u	32,63	42,83	49,23	59,09	69,82
c	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

Con i valori sopra riportati si calcola la pioggia di massima intensità per assegnata durata e per fissato tempo di ritorno e si determinano per i dati così ottenuti, per regressione lineare, i parametri della curva  $h = at^n$ .

Tr anni	h (1) mm	h (3) mm	h (6) mm	h (12) mm	h (24) mm	a mm/ora^n	n
<b>1</b>	21,10	22,61	21,22	29,36	34,26	<b>19,42</b>	<b>0,153</b>
<b>2</b>	38,57	53,25	63,66	74,41	88,15	<b>39,34</b>	<b>0,258</b>
<b>5</b>	56,94	85,46	108,29	121,77	144,81	<b>59,93</b>	<b>0,291</b>
<b>10</b>	69,10	106,79	137,83	153,13	182,33	<b>73,51</b>	<b>0,302</b>
<b>50</b>	95,86	153,72	202,86	222,15	264,90	<b>103,37</b>	<b>0,316</b>
<b>100</b>	107,17	173,56	230,35	251,33	299,81	<b>115,99</b>	<b>0,320</b>
<b>200</b>	118,44	193,33	257,73	280,40	334,59	<b>128,55</b>	<b>0,322</b>
<b>300</b>	125,03	204,88	273,73	297,38	354,91	<b>135,89</b>	<b>0,324</b>

**Tabella 7-2 Parametri c.p.p. elaborati con metodo Gumbel per stazione pluviometrica di Augusta**

**CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA**

\*\*\*\*\*

La determinazione delle curve di possibilità pluviometriche  $h = a t^n$  per assegnato tempo di ritorno è stata elaborata con la legge di distribuzione asintotica dei valori massimi meglio nota come legge di Gumbel :

$$h = u - 1/c \ln \ln (T/(T-1))$$

$$u = m - 0,450 * s$$

$$c = 1,283 / s$$

Essendo :  $h$  = Altezza di pioggia (mm)  
 $Tr$  = Tempo di ritorno  
 $u = f(m,s)$  ;  $c = f(s)$   
 $m$  = Media del campione di dati  $h(1,3,6,12,24)$   
 $s$  = Scarto quadratico medio del campione

 Stazione Pluviometrica : **Lentini Bonifica**

 Bacino : **LENTINI**

Provincia : Siracusa

	h(1)	h(3)	h(6)	h(12)	h(24)
m	36,03	56,42	71,71	88,00	108,69
s	17,75	39,12	51,70	70,19	103,97
u	28,05	38,82	48,45	56,41	61,90
c	0,07	0,03	0,02	0,02	0,01

Con i valori sopra riportati si calcola la pioggia di massima intensità per assegnata durata e per fissato tempo di ritorno e si determinano per i dati così ottenuti, per regressione lineare, i parametri della curva  $h = at^n$ .

Tr anni	h (1) mm	h (3) mm	h (6) mm	h (12) mm	h (24) mm	a mm/ora^n	n
<b>1</b>	19,98	21,03	24,95	24,51	14,64	<b>22,56</b>	<b>-0,051</b>
<b>2</b>	33,12	49,99	63,22	76,46	91,60	<b>34,28</b>	<b>0,320</b>
<b>5</b>	48,80	84,55	108,89	138,47	183,45	<b>50,99</b>	<b>0,409</b>
<b>10</b>	59,18	107,43	139,13	179,52	244,27	<b>62,18</b>	<b>0,436</b>
<b>50</b>	82,02	157,79	205,69	269,87	378,11	<b>86,86</b>	<b>0,468</b>
<b>100</b>	91,68	179,08	233,82	308,06	434,69	<b>97,31</b>	<b>0,477</b>
<b>200</b>	101,31	200,29	261,86	346,12	491,06	<b>107,72</b>	<b>0,483</b>
<b>300</b>	106,93	212,68	278,23	368,34	523,99	<b>113,80</b>	<b>0,486</b>

**Tabella 7-3 Parametri c.p.p. elaborati con metodo Gumbel per stazione pluviometrica di Lentini Bonifica**

### CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

\*\*\*\*\*

La determinazione delle curve di possibilità pluviometriche  $h = a t^n$  per assegnato tempo di ritorno è stata elaborata con la legge di distribuzione asintotica dei valori massimi meglio nota come legge di Gumbel:

$$h = u - 1/c \ln \ln (T/(T-1))$$

$$u = m - 0,450 * s$$

$$c = 1,283 / s$$

Essendo :  $h$  = Altezza di pioggia (mm)  
 $Tr$  = Tempo di ritorno  
 $u = f(m,s)$  ;  $c = f(s)$   
 $m$  = Media del campione di dati  $h(1,3,6,12,24)$   
 $s$  = Scarto quadratico medio del campione

Stazione Pluviometrica : **Lentini Città**

Bacino : **Lentini**

Provincia : **Siracusa**

	h(1)	h(3)	h(6)	h(12)	h(24)
m	31,89	46,55	62,87	80,70	96,82
s	12,36	21,77	31,73	40,57	49,94
u	26,33	36,75	48,59	62,44	74,35
c	0,10	0,06	0,04	0,03	0,03

Con i valori sopra riportati si calcola la pioggia di massima intensità per assegnata durata e per fissato tempo di ritorno e si determinano per i dati così ottenuti, per regressione lineare, i parametri della curva  $h = at^n$ .

Tr anni	h (1) mm	h (3) mm	h (6) mm	h (12) mm	h (24) mm	a mm/ora^n	n
<b>1</b>	11,60	10,80	10,77	14,09	14,82	<b>10,54</b>	<b>0,090</b>
<b>2</b>	29,86	42,97	57,65	74,03	88,62	<b>29,93</b>	<b>0,351</b>
<b>5</b>	40,78	62,20	85,68	109,87	132,74	<b>41,51</b>	<b>0,380</b>
<b>10</b>	48,01	74,94	104,24	133,59	161,95	<b>49,17</b>	<b>0,391</b>
<b>50</b>	63,92	102,96	145,08	185,81	226,24	<b>66,02</b>	<b>0,405</b>
<b>100</b>	70,64	114,81	162,35	207,89	253,42	<b>73,14</b>	<b>0,409</b>
<b>200</b>	77,34	126,61	179,55	229,88	280,50	<b>80,24</b>	<b>0,413</b>
<b>300</b>	81,26	133,51	189,60	242,73	296,32	<b>84,38</b>	<b>0,414</b>

Tabella 7-4 Parametri c.p.p. elaborati con metodo Gumbel per stazione pluviometrica di Lentini Città

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA</b>					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHID0001001	REV. B

## 7.2 METODO VA.PI. SICILIA

In questo capitolo si illustreranno i risultati del Progetto VAPI Sicilia per la stima delle precipitazioni di assegnato tempo di ritorno per il territorio insulare. Questa sintesi è stata articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, *Valutazione delle Piene in Sicilia* [Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993].

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

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

## 7.3 CURVA POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA - MODELLO PROBABILISTICO REGIONALE TCEV

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

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

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

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

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

### 7.3.1 Curva di crescita

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

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

Per ciascuna sottozona lo studio VAPI fornisce l'espressione esplicita approssimata, valida per tempi di ritorno superiori a 10 anni, della curva di crescita (cioè la legge di distribuzione della variabile adimensionale  $h' = x/\mu$ , avendo indicato con  $x$  la variabile idrologica e con  $\mu$  il valore medio teorico della legge TCEV).

Per la sottozona A la curva vale:

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

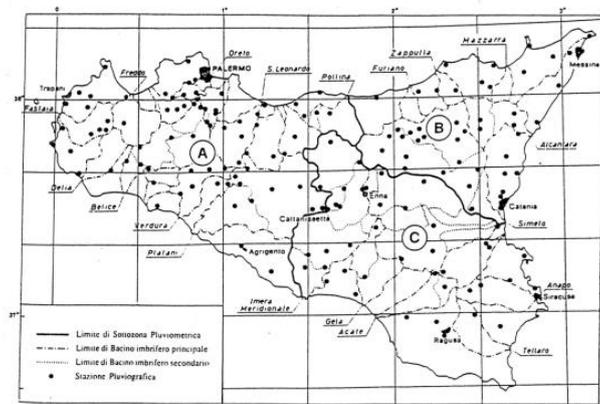
Per la sottozona B la curva vale:

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

Per la sottozona C la curva vale:

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

nella quale  $t$  indica la durata di precipitazione e  $T$  il tempo di ritorno.



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

### 7.3.2 Media teorica

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

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

Per tutte le stazioni pluviografiche siciliane sono stati elaborati e tabellati i valori delle costanti  $a$  ed  $n$ .

Si riportano di seguito i valori delle costanti  $a$  ed  $n$  per le stazioni di **Augusta, Lentini Bonifica, Lentini Città**, tutte ricadenti nella sotto-zona C secondo metodologica VAPI.

Cod.	Stazione	Bacino appartenenza	a	n	zona	Provincia	Altitudine
128	Augusta	Anapo	38,9	0,2975	C	Siracusa	15,00
130	Lentini città	Lentini	32,4	0,3698	C	Siracusa	43,00
131	Lentini bonifica	Lentini	38,3	0,3644	C	Siracusa	10,00

### 7.3.3 Elaborazioni Curve di Possibilità Pluviometrica $T_r = 50, 100, 200$ e $300$ anni

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

$$h = a t^n.$$

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

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

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

Si riportano di seguito i tabulati e le curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di Augusta, Lentini Bonifica, Lentini Città, elaborate per un tempo di ritorno 50, 100, 200 e 300 anni.

Stazione Pluviometrica = **Augusta** Cod. = 128

Bacino appartenenza = **Anapo**

Provincia : **Siracusa**

Altitudine (m.s.m.) = **15,00**

Sottozona = **C**

Parametri desunti dalla studio di regionalizzazione

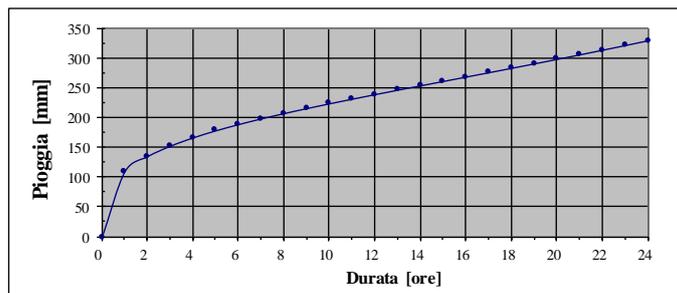
a = **38,9** n = **0,2975**

**Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno.**

Durata t [ore]	Tempo Ritorno T [anni]	h'(t,T)	Mc(t) [mm]	Altezza pioggia probabile h(t,T) [mm]
1,00	200	2,83	38,90	109,91
2,00	200	2,83	47,81	135,15
3,00	200	2,83	53,94	152,64
4,00	200	2,83	58,76	166,56
5,00	200	2,84	62,79	178,41
6,00	200	2,85	66,29	188,90
7,00	200	2,86	69,40	198,45
8,00	200	2,87	72,21	207,34
9,00	200	2,88	74,79	215,73
10,00	200	2,90	77,17	223,77
11,00	200	2,92	79,39	231,54
12,00	200	2,94	81,47	239,12
13,00	200	2,96	83,43	246,57
14,00	200	2,98	85,29	253,94
15,00	200	3,00	87,06	261,26
16,00	200	3,03	88,75	268,58
17,00	200	3,05	90,37	275,91
18,00	200	3,08	91,92	283,29
19,00	200	3,11	93,41	290,74
20,00	200	3,14	94,84	298,26
21,00	200	3,18	96,23	305,89
22,00	200	3,21	97,57	313,63
23,00	200	3,25	98,87	321,49
24,00	200	3,29	100,13	329,50

**CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA**  $h = 103,91 t^{0,346}$

Tr = 200 anni



Tr anni	a [mm]	n
------------	-----------	---

1	20,39	0,237
2	31,12	0,291
5	45,54	0,317
10	56,48	0,328
50	81,95	0,340
100	92,93	0,343
200	103,91	0,346
300	110,33	0,347

**Tabella 7-5 Parametri c.p.p. elaborati con metodo VAPI Sicilia per stazione pluviometrica di Augusta**

Stazione Pluviometrica = **Lentini bonifica** Cod. = 131

Bacino appartenenza = **Lentini**

Provincia : **Siracusa**

Altitudine (m.s.m.) = **10,00**

Sottozona = **C**

Parametri desunti dalla studio di regionalizzazione

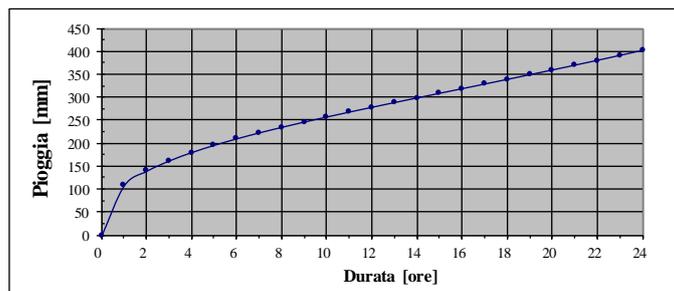
a = **38,3** n = **0,3644**

**Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno.**

Durata t [ore]	Tempo Ritorno T [anni]	h'(t,T)	Mc(t) [mm]	Altezza pioggia probabile h(t,T) [mm]
1,00	200	2,83	38,30	108,22
2,00	200	2,83	49,31	139,38
3,00	200	2,83	57,16	161,75
4,00	200	2,83	63,47	179,93
5,00	200	2,84	68,85	195,63
6,00	200	2,85	73,58	209,67
7,00	200	2,86	77,83	222,56
8,00	200	2,87	81,71	234,61
9,00	200	2,88	85,30	246,04
10,00	200	2,90	88,63	257,01
11,00	200	2,92	91,77	267,63
12,00	200	2,94	94,72	278,01
13,00	200	2,96	97,53	288,21
14,00	200	2,98	100,20	298,30
15,00	200	3,00	102,75	308,32
16,00	200	3,03	105,19	318,33
17,00	200	3,05	107,54	328,35
18,00	200	3,08	109,80	338,42
19,00	200	3,11	111,99	348,57
20,00	200	3,14	114,10	358,83
21,00	200	3,18	116,15	369,20
22,00	200	3,21	118,13	379,73
23,00	200	3,25	120,06	390,41
24,00	200	3,29	121,94	401,28

**CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA**  $h = 102,31 t^{0,413}$

Tr = 200 anni



Tr anni	a [mm]	n
------------	-----------	---

1	20,08	0,304
2	30,64	0,358
5	44,83	0,384
10	55,61	0,395
50	80,69	0,407
100	91,50	0,410
200	102,31	0,413
300	108,63	0,414

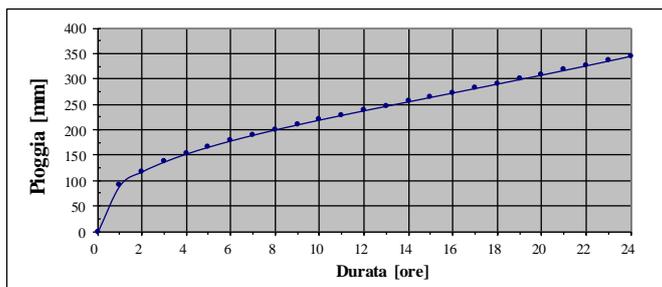
**Tabella 7-6 Parametri c.p.p. elaborati con metodo VAPI Sicilia per stazione pluviometrica di Lentini Bonifica**

Stazione Pluviometrica = **Lentini città** Cod. = 130  
 Bacino appartenenza = **Lentini**  
 Provincia : **Siracusa**  
 Altitudine (m.s.m.) = **43,00**  
 Sottozona = **C**  
 Parametri desunti dalla studio di regionalizzazione  
 a = **32,4** n = **0,3698**

**Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno.**

Durata t [ore]	Tempo Ritorno T [anni]	h'(t,T)	Mc(t) [mm]	Altezza pioggia probabile h(t,T) [mm]
1,00	200	2,83	32,40	91,54
2,00	200	2,83	41,87	118,35
3,00	200	2,83	48,64	137,65
4,00	200	2,83	54,10	153,36
5,00	200	2,84	58,75	166,93
6,00	200	2,85	62,85	179,10
7,00	200	2,86	66,54	190,26
8,00	200	2,87	69,90	200,71
9,00	200	2,88	73,02	210,62
10,00	200	2,90	75,92	220,14
11,00	200	2,92	78,64	229,36
12,00	200	2,94	81,21	238,36
13,00	200	2,96	83,65	247,21
14,00	200	2,98	85,98	255,97
15,00	200	3,00	88,20	264,67
16,00	200	3,03	90,33	273,35
17,00	200	3,05	92,38	282,05
18,00	200	3,08	94,35	290,80
19,00	200	3,11	96,26	299,60
20,00	200	3,14	98,10	308,50
21,00	200	3,18	99,89	317,51
22,00	200	3,21	101,62	326,64
23,00	200	3,25	103,30	335,91
24,00	200	3,29	104,94	345,34

**CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA**  $h = 86,55 t^{0,418}$   
 Tr = 200 anni



Tr anni	a [mm]	n
1	16,98	0,310
2	25,92	0,363
5	37,93	0,390
10	47,05	0,400
50	68,26	0,412
100	77,40	0,416
200	86,55	0,418
300	91,90	0,419

**Tabella 7-7 Parametri c.p.p. elaborati con metodo VAPI Sicilia per stazione pluviometrica di Lentini Città**

## 7.4 Confronto Gumbel-Vapi

Si riportano di seguito i parametri delle curve di possibilità pluviometriche della Stazioni pluviometriche di Augusta, Lentini Bonifica e Lentini Città, elaborate con il metodo di Gumbel e con il Metodo VAPI.

**TABELLA RIEPILOGATIVA CURVE POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA ( Gumbel)**

 Piogge di durata  $h \geq 1$  ora

 Parametri curva possibilità pluviometrica  $h = a t^n$  (Gumbel) ;  $h$ [mm]  $t$ [ore].

Stazione pluviometrica	Augusta		Lentini Bonifica		Lentini città	
	a	n	a	n	a	n
Tempo Ritorno Tr [anni]	mm/ora <sup>n</sup>		mm/ora <sup>n</sup>		mm/ora <sup>n</sup>	
1	19.42	0.153	26.02	0.189	10.54	0.090
2	39.34	0.258	34.28	0.320	29.93	0.351
5	59.93	0.291	50.99	0.409	41.51	0.380
10	73.51	0.302	62.18	0.436	49.17	0.391
50	103.37	0.316	86.86	0.468	66.02	0.405
100	115.99	0.320	97.31	0.477	73.14	0.409
200	128.55	0.322	107.72	0.483	80.24	0.413
300	135.89	0.324	113.80	0.486	84.38	0.414

**Tabella 7-8 Parametri c.p.p per le stazioni pluviometriche di Augusta, Lentini Bonifica e Lentini Città elaborati con metodo di Gumbel**

**TABELLA RIEPILOGATIVA CURVE POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA ( VAPI)**

 Piogge di durata  $h \geq 1$  ora

 Parametri curva possibilità pluviometrica  $h = a t^n$  (VAPI) ;  $h$ [mm]  $t$ [ore].

Stazione pluviometrica	Augusta		Lentini Bonifica		Lentini città	
	a	n	a	n	a	n
Tempo Ritorno Tr [anni]	mm/ora <sup>n</sup>		mm/ora <sup>n</sup>		mm/ora <sup>n</sup>	
1	20.39	0.237	20.08	0.304	16.98	0.310
2	31.12	0.291	30.64	0.358	25.92	0.363
5	45.54	0.317	44.83	0.384	37.93	0.390
10	56.48	0.328	55.61	0.395	47.05	0.400
50	81.95	0.340	80.69	0.407	68.26	0.412
100	92.93	0.343	91.50	0.410	77.40	0.416
200	103.91	0.346	102.31	0.413	86.55	0.418
300	110.33	0.347	108.63	0.414	91.90	0.419

**Tabella 7-9 Parametri c.p.p per le stazioni pluviometriche di Augusta, Lentini Bonifica e Lentini Città elaborati con metodo VAPI Sicilia**

Ai fini del presente studio idrologico, a favore di sicurezza, sono state adottate le curve di possibilità pluviometrica elaborate secondo metodologia Gumbel, in quanto restituiscono valori maggiori rispetto a quelli ottenuti tramite l'applicazione del metodo di VAPI.



## 8 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA A MEZZO DI MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI

Ai fini della determinazione degli idrogrammi di piena sui bacini oggetto dello studio, previa analisi probabilistica delle precipitazioni nel bacino, si è fatto uso combinato del software Arcview GIS e del modello matematico HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System), sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers per la simulazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi.

La procedura consta di due fasi: una fase di costruzione del modello del bacino di interesse, che si effettua in ambiente GIS, e una di definizione delle condizioni di afflusso e successiva fase di simulazione che si effettuano mediante il software HMS.

In ambiente GIS, è possibile creare un modello di bacino sotteso ad una data sezione di chiusura e determinarne le proprietà geomorfologiche (lunghezza, pendenza, scabrezza); è inoltre possibile individuare i sottobacini compresi all'interno del bacino, le rispettive sezioni di chiusura, i punti di drenaggio e gli elementi di connessione fra questi ultimi.

I dati relativi al modello di bacino creato in ambiente GIS possono essere salvati all'interno di un Geo Data Base direttamente importabile all'interno del software HMS.

HEC-HMS consente di optare tra diversi modelli di infiltrazione, oltre che modelli di formazione e di propagazione dell'onda di piena.

In questo studio, si è scelto di adottare un modello di infiltrazione basato sul metodo *SCS-CN* (Soil Conservation Service, 1986) e un modello di formazione dell'onda di piena basato sull'idrogramma unitario istantaneo *IUH*.

In particolare, l'idrogramma istantaneo adottato è l'*IUH-SCS*, che è un idrogramma adimensionale definito dal *SCS* in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di piccole e grandi dimensioni.

Per la simulazione del fenomeno di propagazione dell'onda di piena si è scelto di adottare *Routing Lag Method* di HEC-HMS, il quale prevede che l'onda di piena subisca una semplice traslazione passando da una sezione posta a monte ad una sezione posta a valle, con uno sfasamento nel tempo di un intervallo pari al tempo di ritardo del bacino. Il tempo di Lag è correlato al tempo di corrivazione del bacino e, pertanto è funzione delle sue caratteristiche geomorfologiche e delle caratteristiche della corrente.

Nei paragrafi che seguono sono descritte le caratteristiche dei modelli adottati.

## 8.1 MODELLO DI INFILTRAZIONE - METODO SCS-CN

Tale metodo assume che, in un evento di piena, il volume specifico del deflusso superficiale  $P$ , sia proporzionale a quello precipitato  $I$ , depurato dall'assorbimento iniziale  $I_a$ , in ragione del rapporto tra volume specifico infiltrato  $F$ , e un volume specifico  $S$ , che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno.

$$P = (I - I_a) F/S$$

Sostituendo ad  $F$  l'espressione ottenuta dall'equazione di continuità:

$$F = I - I_a - P$$

Si ottiene la relazione che fornisce il deflusso superficiale  $P$ :

$$P = (I - I_a)^2 / I - I_a + S$$

Le perdite iniziali ( $I_a$ ) sono costituite da alcuni processi quali l'intercettazione della pioggia da parte delle chiome della vegetazione, dall'accumulo nelle locali depressioni del terreno e dall'imbibizione iniziale del terreno. È evidenza sperimentale che tale parametro sia correlato al volume specifico di saturazione o capacità idrica massima del suolo ( $S$ ): la procedura proposta dal SCS, per l'ambiente agrario degli Stati Uniti, stima le perdite iniziali uguali ad un quinto del volume specifico di saturazione del terreno ( $S$ ) mentre per la realtà italiana, si adotta un valore delle perdite iniziali pari alla decima parte della capacità idrica massima del suolo ( $S$ ). Il parametro  $S$  dipende fondamentalmente dalla combinazione di due fattori: la natura geopedologica del terreno e l'uso/copertura del suolo. L'effetto combinato di questi due fattori viene rappresentato globalmente dal parametro adimensionale  $CN$  ( $0 < CN < 100$ ), legato a  $S$  dalla relazione:

$$CN = 25400 / 254 + S$$

dove  $S$  è espresso in mm, dunque esplicitando  $S$  si ottiene:

$$S = 25,4 + [(1000/CN) - 10]$$

I due parametri ( $CN$  e  $S$ ) sono inversamente correlati in modo non lineare: la capacità idrica massima del suolo ( $S$ ) varia teoricamente da 0 a infinito e con tale equazione si ottiene un campo di variazione del parametro  $CN$ , compreso tra 0 e 100.

Il parametro  $CN$  esprime le condizioni, dal punto di vista della formazione del deflusso, del complesso suolo-soprasuolo considerate le condizioni di umidità nei cinque giorni antecedenti l'evento di piena. In altri termini riassume l'attitudine propria e specifica del bacino a produrre deflusso.

Con valori di  $CN$  uguali o prossimi allo 0, si è in presenza di una superficie assimilabile alla perfetta "spugna" cioè viene assorbita e trattenuta la totalità o quasi della precipitazione. Con valori di  $CN$  uguali o prossimi a 100, siamo in presenza di terreni o superfici impermeabili dove la precipitazione si trasforma interamente o quasi in deflusso creando l'evento di piena.

Tale situazione si verifica per la precipitazione che direttamente cade nella rete idrografica o nei pressi della stessa. L'acqua è infatti assimilabile ad una superficie impermeabile dove l'afflusso si trasforma istantaneamente in deflusso.

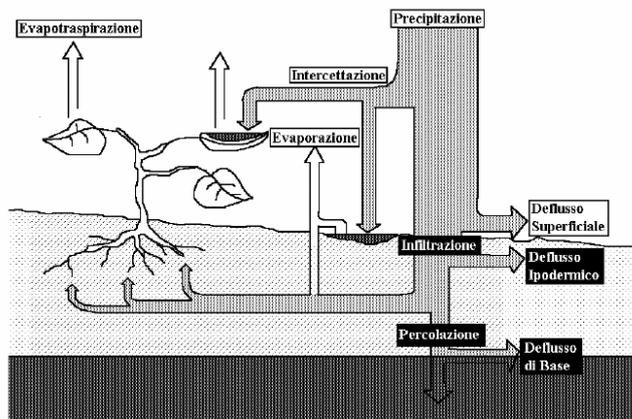


Figura 8-1 Schema del bilancio idrologico di una porzione elementare di bacino.

Per la stima del parametro CN è sufficiente acquisire, all'interno di un GIS, gli strati informativi riguardanti la geologia, la pedologia, e l'uso/copertura del suolo del territorio in esame. Tali dati, sono disponibili in formato shape (.shp) sul Geoportale Regione Siciliana (link: [www.sitr.regione.sicilia.it/geoportale](http://www.sitr.regione.sicilia.it/geoportale), all'interno del quale sono direttamente scaricabili.

Unendo le informazioni provenienti dai tematismi relativi alla geologia ed alla pedologia è possibile attribuire una tipologia di suolo fra quelle proposte, caratterizzate da permeabilità sempre minori:

- elevata infiltrazione, per suoli con strati sabbiosi o di loess profondi, a siltosi aggregati (diametro 0,002-0,05 mm);
- infiltrazione moderata, per suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quali limi sabbiosi;
- infiltrazione lenta, per suoli con tessitura fine, quali argille limose, deboli strati di limo sabbioso, suoli con debole contenuto organico;
- infiltrazione molto lenta, per argille plastiche e compatte.

Il valore di CN si ottiene per incrocio fra le caratteristiche idrologiche del suolo secondo i tipi A – B – C – D e le caratteristiche di uso prevalente del suolo, vedi tabella seguente. Si ottiene così una carta dei valori di CN, dalla quale si può ricavare, sempre con tecniche proprie dei Sistemi Informativi Geografici, il valore medio di CN per ciascun bacino.

Tipologie di uso del suolo	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Suoli coltivati	62-72	71-81	78-88	81-91
Pascoli	39-68	61-79	74-86	80-89
Prati	30	58	71	78
Boschi e foreste con copertura modesta	45	66	77	83
Boschi e foreste con buona copertura dall'erosione e sottobosco	25	55	70	77
Aree a parco e di fruizione ricreativa:				
- con copertura erbacea superiore al 75%	39	61	74	80
- con copertura erbacea dal 50 al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabili per il 185%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabili per il 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali con percentuale media impermeabile:				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi, aree coperte (impermeabili)	98	98	98	98
Strade:				
- asfaltate	98	98	98	98
- inghiaiate	76	85	89	91

Tabella 8-1 Tabella di calcolo del parametro CN in funzione della Tipologia di uso del suolo e del Tipo di suolo. (Handbook of Hydrology D.R. Maidment, 1992)

## 8.2 IL METODO IDROGRAMMA UNITARIO ISTANTANEO (IUH).

Il metodo si basa sulle ipotesi di linearità e stazionarietà del bacino ed effettua la combinazione tra pioggia in ingresso e IUH per il calcolo della portata diretta. In altre parole, la risposta  $Q(t)$  ad una sollecitazione meteorica di intensità  $p(t)$  variabile nel tempo, ma supposta costante su tutti i punti del bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

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

dove  $p(t)=A i(t)$  è la portata di afflusso meteorico al generico tempo  $t$  e la funzione  $h(t)$ , che prende il nome di IUH, è definita come l'idrogramma dei deflussi generato da un'ipotetica pioggia efficace di altezza unitaria ed intensità costante, distribuita uniformemente sul bacino, e caduta in un intervallo di tempo unitario (immissione di tipo impulsivo).

La funzione  $h(t)$  può essere stimata mediante numerosi approcci, tra cui l'idrogramma unitario del SCS (quello scelto per il presente studio).

Questo IUH è adimensionalizzato rispetto al valore della portata di picco ( $Q_p$ ) e del tempo corrispondente alla durata del ramo ascendente dell'idrogramma stesso ( $t_p$ ).

Il punto di partenza del metodo del SCS è l'idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM) riportato di seguito:

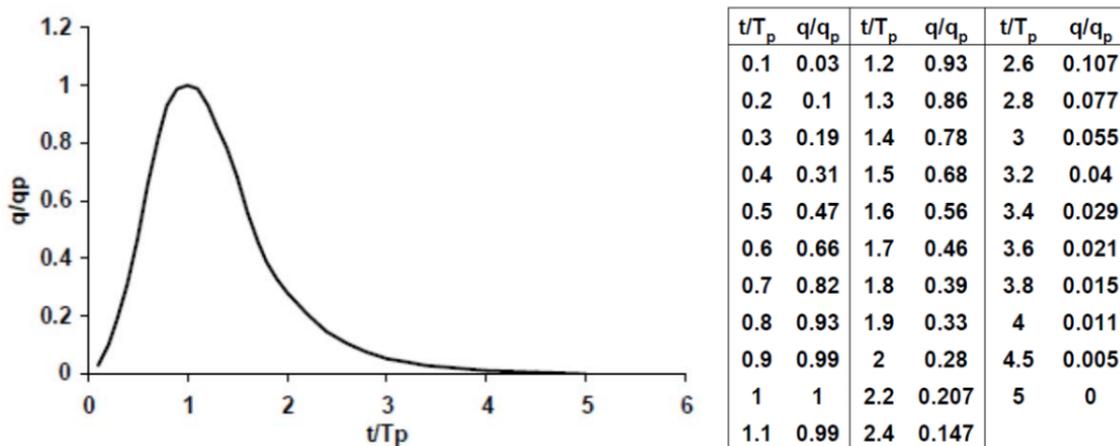


Figura 8-2 Idrogramma unitario adimensionale di Mockus

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccoli, che ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità.

A partire dall'idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM), il Soil Conservation Service ha sviluppato un idrogramma unitario (SCS-IUH) sintetico di forma triangolare con il picco localizzato al 37,5% dell'evento di piena.

## SCS unit hydrograph

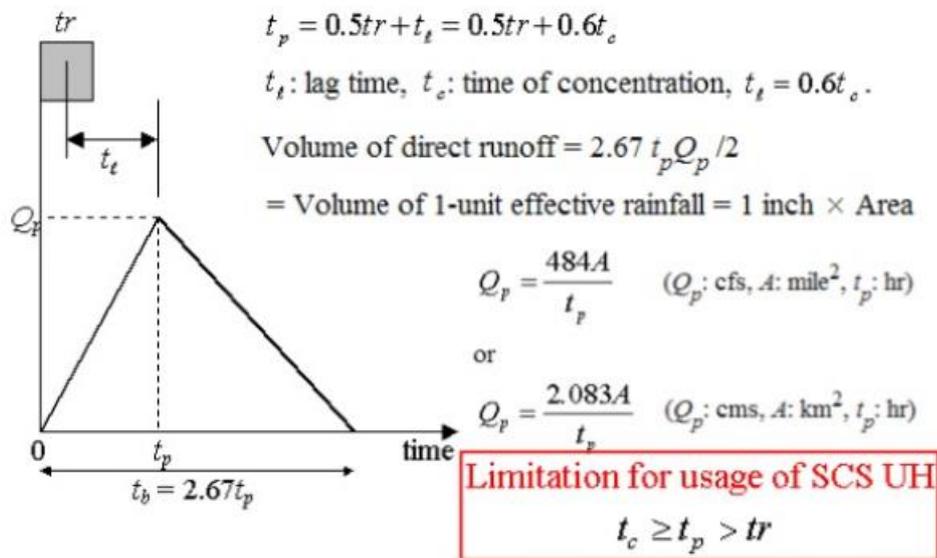


Figura 8-3 SCS Unit Hydrograph

Dato un generico evento meteorico di durata  $t_r$ , e nota l'area ( $A$ ) del bacino, il Soil Conservation Service prescrive che la portata al colmo ( $Q_p$ ) si calcoli tramite la relazione seguente:

$$Q_p = PRF * A / t_p$$

in cui:

- $Q_p$  è la portata di picco in [m<sup>3</sup>/s],
- $A$  è l'area di drenaggio in [m<sup>2</sup>]
- PRF è il peak rate factor, che deve essere scelto in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino ed è caratteristico del metodo impiegato.

La scelta del PRF si riflette in un cambiamento percentuale del volume trasportato nel tratto ascendente dell'idrogramma di piena e, quindi, della sua forma. Il valore di default proposto da HEC-HMS per il peak rate factor PRF è pari a 2.08 per il Sistema Internazionale e 484 per quello Anglosassone ed è definito sotto l'ipotesi che il volume trasportato dall'idrogramma di piena nel tratto ascendente sia pari al 37.5% di quello totale.

Ai fini del presente studio, si è assunto il valore del PRF di default pari a 2.08.



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	27 di 68

- $t_p$  è il tempo di crescita dell'onda (o tempo in cui si realizza il picco) in [h]: esso è legato alla durata della pioggia efficace ( $t_r$ ) s e al tempo di lag ( $t_l$ ) dalla seguente relazione:

$$t_p = 0.5 t_r + t_l$$



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO FERROVIARIO PORTO DI AUGUSTA**

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS62	01	R14	RHID0001001	B	28 di 68

### 8.2.1 Tempo di corrivazione del bacino

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.

Coerentemente a quanto prescritto dal PAI, la determinazione di questo parametro è stata eseguita calcolando il rapporto tra il percorso idraulicamente più lungo, determinato con le tecniche GIS, e una velocità di trasferimento media posta pari a 1-1,5 m/s.

Per il bacino alla sezione di chiusura (sez 0-Foce), per il quale la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo è di 25.69 km (vedasi Tabella 5-1), considerando una velocità di scorrimento di 1m/sec il tempo di corrivazione risulta pari a 7.137 ore.

### 8.2.2 Tempo di ritardo del bacino.

Il tempo di lag rappresenta il tempo di risposta medio del bacino definito come lo sfasamento tra il centroide dello ietogramma di pioggia effettiva e quello dell'idrogramma di deflusso diretto (Singh, 1975; 1988).

Il S.C.S. propone di calcolare il tempo di lag con la formula di Mokus, riportata di seguito:

$$t_l = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{i^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui:

- L è la lunghezza dell'asta principale del bacino prolungata fino allo spartiacque, espressa in Km;
- i è la pendenza media del bacino, espressa in %;
- CN è il Curve Number del bacino.

Secondo il metodo SCS, il tempo di lag ( $t_l$ ) è legato al tempo di corrivazione del bacino ( $t_c$ ) dalla seguente relazione:

$$t_l = 0.6 t_c$$

Ne segue che il tempo di corrivazione del bacino può essere ricavato in funzione delle proprietà del bacino quali lunghezza dell'asta principale (L), pendenza media (i) e Curve Number (CN), come segue:

$$t_c = \frac{t_l}{0.6} = \frac{0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{i^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{0.6}$$

### 8.3 Ietogramma di progetto

La ricostruzione degli ietogrammi sintetici lordi a partire dalle CPP è stata effettuata utilizzando il modulo Meteorological Models del modello HEC-HMS.

Ai fini di quest'applicazione, il modello meteorologico adottato è il *Frequency Storm*, proposto nella Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia (PAI).

Il modello *Frequency Storm* permette di ricostruire ietogrammi sintetici di progetto di tipo "Chicago" per fissato tempo di ritorno e fissata durata critica.

Coerentemente a quanto prescritto dal PAI, la durata critica è stata imposta pari al tempo di corrivazione del bacino in esame ( $t_c=7.137$  ore).

Il modello Frequency Storm ha richiesto come input le altezze di pioggia  $h$  [mm] per durate pari a 15 min (0.25 h), 1 ora, 2 ore, 3 ore e 6 ore: tali altezze di pioggia sono state calcolate a partire dai parametri delle c.p.p. di Augusta, Lentini Bonifica e Lentini Città, elaborate con metodo di Gumbel (Paragrafo 7.1), effettuando una media pesata rispetto ai coefficienti di influenza delle stazioni considerate.

Nella tabella seguente sono riportate le altezze di pioggia  $h$  [mm] per un tempo di ritorno di 200 anni, per durate pari a 15 min (0.25 h), 1 ora, 2 ore, 3 ore e 6 ore.

Sezione	Durata $t$ [ore]	Altezza pioggia $h(t_o)=\sum h_i$ [mm]	Augusta				Lentini Bonifica				Lentini città			
			[mm/ora <sup>n</sup> ]	$n$	$C_i$	$h_i = C_i h(t_o)$	[mm/ora <sup>n</sup> ]	$n$	$C_i$	$h_i = C_i h(t_o)$	[mm/ora <sup>n</sup> ]	$n$	$C_i$	$h_i = C_i h(t_o)$
Sez.0	0.25	<u>63.43</u>	128.55	0.3225	0.482	39.67	107.72	0.4830	0.033	1.83	80.24	0.4126	0.484	21.93
Sez.0	1.00	<u>104.46</u>	128.55	0.3225	0.482	62.02	107.72	0.4830	0.033	3.57	80.24	0.4126	0.484	38.86
Sez.0	2.00	<u>134.28</u>	128.55	0.3225	0.482	77.56	107.72	0.4830	0.033	4.99	80.24	0.4126	0.484	51.73
Sez.0	3.00	<u>155.62</u>	128.55	0.3225	0.482	88.39	107.72	0.4830	0.033	6.07	80.24	0.4126	0.484	61.15
Sez.0	6.00	<u>200.42</u>	128.55	0.3225	0.482	110.53	107.72	0.4830	0.033	8.49	80.24	0.4126	0.484	81.39

**Tabella 8-2 Altezze di Pioggia ( $T_r=200$  anni) per durate di 15 min (0.25 h), 1 ora, 2 ore, 3 ore e 6 ore**

#### 8.4 FASE COSTRUZIONE MODELLO HMS

Per la determinazione dell'idrogramma di piena secondo la sopra citata metodologia, come anzi detto, si è fatto uso congiuntamente degli strumenti GIS e del software HMS.

Lo studio è stato effettuato per i valori del tempo di ritorno (Tr) di 50, 100, 200 e 300 anni, in accordo con quanto indicato nel D.L. 180/98 e nella Circolare n.1/2003 dell'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente del 07.03.2003.

All'interno di ArcMap sono stati caricati:

- un DEM (Digital Elevation Model) dell'area oggetto di studio con risoluzione 2 m;
- uno shapefile puntuale contenente la sezione di chiusura del bacino (Sez. 0);
- uno shapefile puntuale contenente delle sezioni notevoli ai fini della modellazione idraulica.

In ambiente GIS, tramite l'utilizzo degli Arc-Hydro tools, si è proceduto alla derivazione automatica dei percorsi di drenaggio e alla conseguente individuazione automatica del reticolo idrografico: è stato dunque possibile creare un modello di bacino sotteso alla sezione Sez.0 e, all'interno di quest'ultimo, individuare i sottobacini ivi compresi e le rispettive sezioni di chiusura, i punti di drenaggio e gli elementi di connessione fra questi ultimi.

I dati relativi al modello di bacino creati in ambiente GIS sono stati salvati all'interno di un Geo Data Base, direttamente importabile all'interno del software HMS.

Nella figura che segue, si riporta la rete idrografica e la traccia delle sezioni individuate ai fini della modellazione idrologico-idraulica (**Sez 1, Sez 2, Sez 0-Sez. Chiusura**).

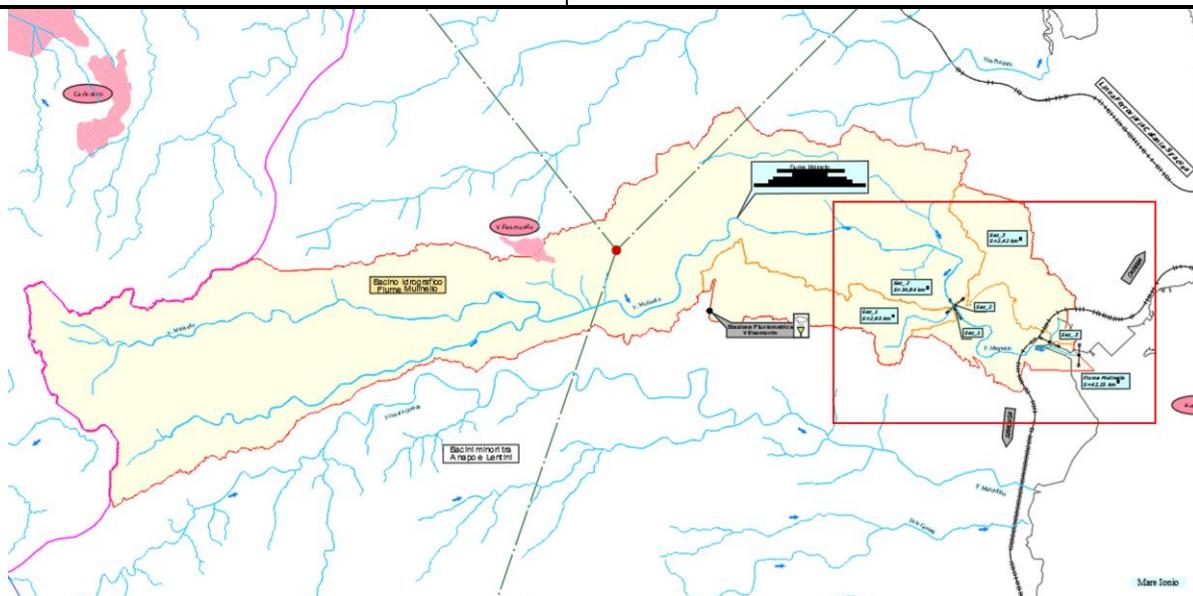


Figura 8-4 Bacino idrografico Fiume Mulinello, con indicazione della rete idrografica e delle sezioni individuate ai fini della modellazione idrologico-idraulica

Inoltre, in Figura 8-5, estratto dal modello HMS implementato, è possibile individuare:

- i diversi sottobacini nei quali il bacino idrografico oggetto di studio è stato suddiviso, identificati all'interno del software HMS come "Watersheds", il cui codice HMS ha come prima lettera W (es. W-410);
- le confluenze fra due o più tratti (reaches), indicate all'interno del software come "Junctions", il corrispettivo codice HMS ha come prima lettera J (es. J-89);
- le sezioni di chiusura dei bacini oggetto di studio, in corrispondenza delle quali è necessario determinare l'idrogramma di piena.

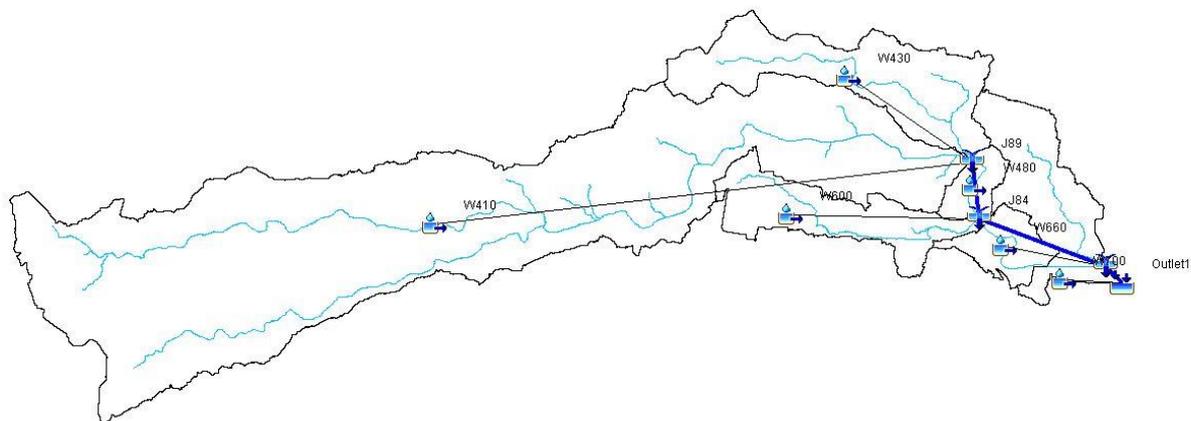


Figura 8-5 Modello HMS Fiume Mulinello

Nell'implementazione del modello HMS, il bacino idrografico del fiume Mulinello è stato suddiviso in 6 sottobacini (Watersheds), 3 tratti (reaches) e 4 nodi (junctions), di cui uno corrispondente con la sezione di chiusura alla foce (outlet).

Il software HMS consente la determinazione degli idrogrammi di piena in corrispondenza di ciascuno degli elementi del sistema: Nodi (Watershed/Junction) e Tratti (Reach).

All'interno del modello HMS, ciascuno dei tratti lineari (Reaches) rappresenta un tratto di alveo nel quale per semplicità si ipotizza che l'onda di piena subisca una traslazione passando da una sezione posta a monte ad una sezione posta a valle, con uno sfasamento nel tempo di un intervallo pari al tempo di ritardo del bacino.

Quest'ultimo è correlato al tempo di corrivazione del bacino e, pertanto è funzione delle sue caratteristiche geomorfologiche (lunghezza, pendenza, scabrezza) e delle caratteristiche della corrente.

In ambiente GIS, il calcolo del tempo di ritardo ( $t_{lag}$ ) di ciascuno dei sottobacini è automatico e deriva dalla applicazione della formula di Mokus (vedasi paragrafo 0).

Il tempo di lag per ciascuno dei sottobacini, viene pertanto ricavato, in ambiente GIS, in funzione delle sue caratteristiche, quali lunghezza dell'asta principale ( $L$ ), pendenza media ( $i$ ) e Curve Number ( $CN$ ).

Nella tabella seguente sono riportati i tempi di lag  $t_l$  calcolati in ambiente GIS per ciascuno dei sottobacini individuati: tali valori, espressi in minuti sono stati stoccati in un data-base e successivamente importati all'interno del software HMS: questi ultimi costituiscono infatti dati di input per il modello di simulazione del fenomeno di propagazione dell'onda di piena applicato in HMS, detto appunto *Routing Lag Method*.

ID Sottobacino	Assorbimento	BasinCN	Tlag
	Iniziale		
	[mm]	[-]	[min]
W660	0.00	93.04	64.75
W480	0.00	91.56	35.00
W430	0.00	91.85	140.87
W410	0.00	88.79	309.75
W600	0.00	89.77	132.125
W700	0.00	77.19	133.00

Tabella 8-3 Parametri del Modello di Trasformazione Afflussi-Deflussi

Come anzi detto, il tempo di lag di ciascuno dei sottobacini è un dato di input richiesto dal metodo SCS-Unit Hyetograph, scelto per la trasformazione afflussi-deflussi.

Per quanto riguarda il modello di afflussi meteorici (Metereological Model) si è scelto di adottare lo ietogramma di tipo Chicago (triangolare). Rispetto ad altri, questo rappresenta meglio alcune caratteristiche degli ietogrammi osservati, come la presenza del picco di intensità, le precipitazioni antecedenti e seguenti l'istante del picco e i volumi totali. Nello ietogramma Chicago, la massima altezza di precipitazione cumulata su qualsiasi durata  $t$  è sempre pari all'altezza di precipitazione dedotta dalla CPP per la medesima durata  $t$ .

Le simulazioni condotte per tempi di ritorno ( $Tr$ ) di 50,100,200,300 anni hanno consentito di determinare l'idrogramma di piena in corrispondenza di tutti gli elementi (Watersheds, Junctions, Reaches) costituenti il modello, oltre che in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino (Outlet- in ambiente HMS).

## 8.5 RISULTATI MODELLAZIONE IDROLOGICA

Nelle figure seguenti sono rappresentati gli idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno ottenuti alla sez.1 (corrispondente al nodo W600 su HMS) e in corrispondenza della sez. 0 (corrispondente all'outlet su HMS).

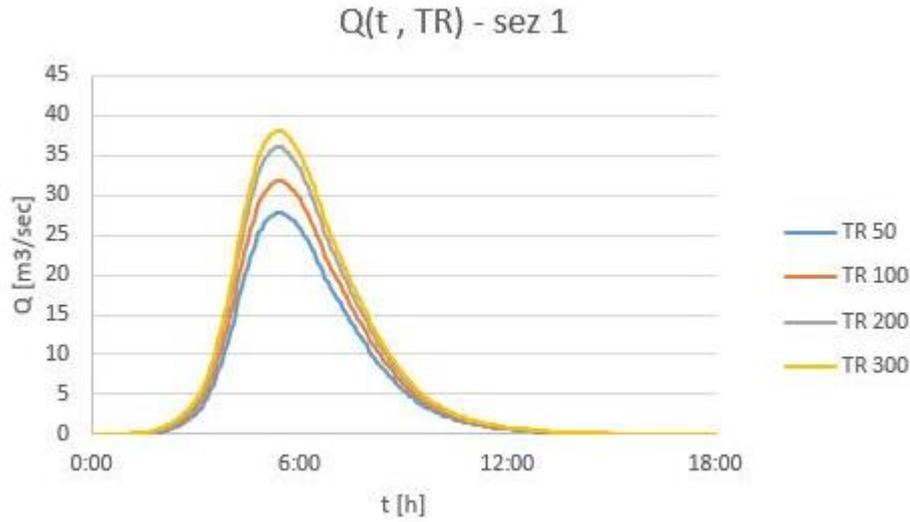


Figura 8-6 Idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno ottenuti alla sez.1 (corrispondente al nodo W600 su HMS)

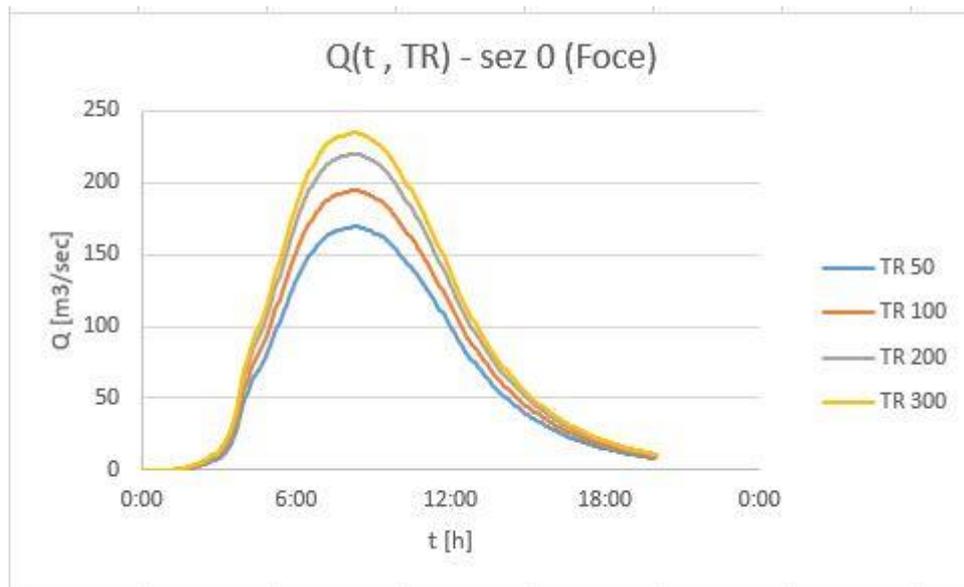


Figura 8-7 Idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno ottenuti alla sez.0 (corrispondente all'outlet su HMS)