

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni

IDROLOGIA E IDRAULICA

LOTTO 01

STUDIO IDRAULICO SUL FIUME ALCANTARA - RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

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

RS2S 01 D 09 RI ID0001 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Revisione	Data
A	Emissione Esecutiva	E. Frank <i>[Signature]</i>	ottobre 2017	F. Cabas <i>[Signature]</i>	ottobre 2017	P. Carlesimo <i>[Signature]</i>	ottobre 2017	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vizzozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo N° A20783		
B	Consegna al CSSLPP	E. Frank <i>[Signature]</i>	gennaio 2018	F. Cabas <i>[Signature]</i>	gennaio 2018	P. Carlesimo <i>[Signature]</i>	gennaio 2018			
C	Recepimento Prescrizioni CSSLPP	C. Cesali <i>[Signature]</i>	luglio 2018	F. Cabas <i>[Signature]</i>	luglio 2018	P. Carlesimo <i>[Signature]</i>	luglio 2018			

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO	5
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
2.2	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO	7
2.3	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	8
3	INQUADRAMENTO NORMATIVO	10
3.1	PIANO STRAORDINARIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.	10
3.2	AGGIORNAMENTO DEL PIANO STRAORDINARIO.	11
3.3	CIRCOLARE N.1 DEL 7 MARZO 2003.	12
4	STUDIO IDROLOGICO	13
4.1	GENERALITÀ.....	13
4.2	MODELLI PROBABILISTICI PER LE ANALISI STATISTICHE	14
4.2.1	<i>Il modello probabilistico di Gumbel.....</i>	15
4.2.2	<i>Modello probabilistico TCEV.....</i>	17
4.3	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI.....	20
4.3.1	<i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche</i>	20
4.3.2	<i>Metodo VA.PI. Sicilia.....</i>	22
4.4	ANALISI DELLE PORTATE	27
4.4.1	<i>Il metodo cinematico o razionale</i>	27
4.4.2	<i>Il metodo VA.PI. Sicilia.....</i>	30
4.5	STIMA DELLE PORTATE	33
4.5.1	<i>Stima delle portate mediante il metodo cinematico o razionale.....</i>	33
4.5.2	<i>Stima delle portate mediante il metodo VAPI.....</i>	38
4.5.3	<i>Definizione della portata al colmo dall'analisi delle registrazioni idrometriche</i>	38
4.5.4	<i>Valori di portata di progetto</i>	40
4.6	DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO	42
4.7	OPERE PROVVISORIALI	43

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria e l'intersezione con il Fiume Alcantara.</i>	5
<i>Figura 2 - Inquadramento del bacino del f. Alcantara (da Piano di Tutela delle Acque della Sicilia, Tav E.1 1/6).</i>	6
<i>Figura 3 - Corografia del bacino idrografico del F. Alcantara.</i>	14
<i>Figura 4 - Fiume Alcantara: stazioni pluviometriche e suddivisione del bacino secondo i relativi poligoni di Thiessen.</i>	20
<i>Figura 5 - Regione Sicilia: mappa della suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee, con indicato il bacino del F. Alcantara</i>	24
<i>Figura 6 - Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano.</i>	26
<i>Figura 7 - Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.</i>	28
<i>Figura 8 - VAPI Sicilia: sottozona di competenza del bacino di studio.</i>	32
<i>Figura 9 - Bacino idrografico del F. Alcantara: copertura del suolo secondo il CLC dell'Ispra (2012).</i>	35
<i>Figura 10 - Valori delle portate al colmo per il fiume Alcantara: elaborazione statistica registrazione pluviometriche (metodo razionale) vs analisi statistica misure idrometriche.</i>	40
<i>Figura 11 - Valori delle portate al colmo per il fiume Alcantara: VAPI (metodo Giandotti) vs analisi statistica misure idrometriche.</i>	41
<i>Figura 12 - Valori "medi" delle portate al colmo per il fiume Alcantara: elaborazione statistica registrazione pluviometriche (metodo razionale), VAPI (metodo Giandotti) e analisi statistica misure idrometriche.</i>	41
<i>Figura 11 - Idrogrammi di piena del F. Alcantara alla sezione di interesse, per diversi tempi di ritorno.</i>	43

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 - Aggiornamenti decretati del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico</i>	12
<i>Tabella 2 - Caratteristiche del bacino idrografico del F. Alcantara.</i>	13
<i>Tabella 3 - Valori dei parametri a e n per le stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino del F. Alcantara.</i>	21
<i>Tabella 4 - Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica per il tratto d'intervento</i>	25
<i>Tabella 5 - Formula di Giandotti; valori di λ al variare di S</i>	30
<i>Tabella 6 - Valori del tempo di corrivazione per il bacino dell'Alcantara alla sezione di interesse secondo diverse formulazioni.</i>	33
<i>Tabella 7 - Valori dell'altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi a diverse stazioni pluviometriche.</i>	34
<i>Tabella 8 - Altezze di pioggia (ragguagliata all'area) per una durata pari a τ_c (secondo diverse formulazioni) al variare del tempo di ritorno (TR) dell'evento pluviometrico.</i>	34
<i>Tabella 9 - Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del CLC (Elaborazione ADIS).</i>	36
<i>Tabella 10 - Valori del coefficiente di deflusso, per vari tempi di ritorno e per una durata τ_c secondo Giandotti.</i>	36
<i>Tabella 11 - Valori del coefficiente di deflusso, per vari tempi di ritorno e per una durata τ_c secondo Viparelli.</i>	37
<i>Tabella 12 - Valori del coefficiente di deflusso, per vari tempi di ritorno e per una durata τ_c secondo Pezzoli.</i>	37
<i>Tabella 13 - Valori delle portate al colmo al variare del Tr dell'evento, per diverse formulazioni e valore medio.</i>	37
<i>Tabella 14 - Portate ricavate con il metodo VAPI Sicilia utilizzando le formule di Pezzoli, Viparelli e Giandotti per il calcolo del tempo di corrivazione e valore medio.</i>	38
<i>Tabella 15 - Valori delle portate giornaliere massime annuali registrate alla stazione di Alcantara</i>	38
<i>Tabella 16 - Valori delle portate massime giornaliere per diversi tempi di ritorno.</i>	39
<i>Tabella 17 - Valori delle portate massime giornaliere per diversi tempi di ritorno.</i>	40
<i>Tabella 18 - Valori dei coefficienti di deflusso utilizzati per ricavare gli idrogrammi di piena.</i>	43
<i>Tabella 19 - Portate di picco per la fase provvisoria ($Tr = 5$ anni).</i>	45

1 PREMESSA

Scopo della presente analisi è lo studio idrologico del Fiume Alcantara con particolare riferimento alla sezione in corrispondenza del viadotto della linea ferroviaria Catania – Messina, comprensiva della valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena del corso d’acqua.

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

- interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi intensi;
- perimetrazione del bacino idrografico e studio delle sue caratteristiche geomorfologiche;
- redazione della corografia del bacino idrografico sotteso in corrispondenza della linea ferroviaria;
- raccolta ed elaborazione delle osservazioni registrate dalle stazioni pluviografiche e idrometriche della zona;
- valutazione delle portate al picco nella sezione di interferenza con la linea ferroviaria, mediante l’applicazione delle seguenti metodologie:
 - Metodo razionale e di Giandotti;
 - Modello statistico regionale VA.PI. - CNR (codificato in “Valutazione delle piene in Sicilia”- Cannarozzo, D’Asaro, Ferro 1993);
 - Analisi statistica dei valori delle portate giornaliere registrate,
- valutazione degli idrogrammi di piena mediante l’applicazione del software URBIS;
- valutazione dei tempi di ritorno e delle portate per il dimensionamento delle opere provvisionali.

Il seguente studio è stato redatto in accordo agli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolar modo fra gli strumenti legislativi è stato adottato il P.A.I., Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana (dicembre 2004 e successivi aggiornamenti).

Il Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) costituisce un’importante strumento conoscitivo, normativo e tecnico mediante il quale sono programmate e pianificate azioni, norme d’uso ed interventi riguardanti l’assetto idrogeologico. Il P.A.I. rappresenta, nel territorio della Regione Siciliana, i livelli di pericolosità e rischio derivanti dal dissesto idrogeologico relativamente alla dinamica dei versanti, alla pericolosità geomorfologica, alla dinamica dei corsi d’acqua, alla pericolosità idraulica e d’inondazione.

2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO

La tratta ferroviaria Giampilieri – Fiumefreddo, compresa nella linea Catania – Messina, si estende per oltre 42 km lungo la costa ionica della provincia di Messina (Figura 1).

Il percorso ferroviario attraversa in gran parte in galleria la zona costiera, partendo da una quota di 57.98 m s.m.m. alla Fermata di Fiumefreddo per giungere ai 16.25 m s.m.m. della Fermata di Giampilieri.

Nel suo tragitto, la tratta Giampilieri – Fiumefreddo interseca i tratti terminali di una serie di burroni, torrenti, scoli e rivi. Le principali infrastrutture di trasporto sono l'autostrada A18 Catania – Messina e la Strada Statale n° 114 i cui tracciati risultano essere in sostanziale affiancamento all'intera tratta ferroviaria.

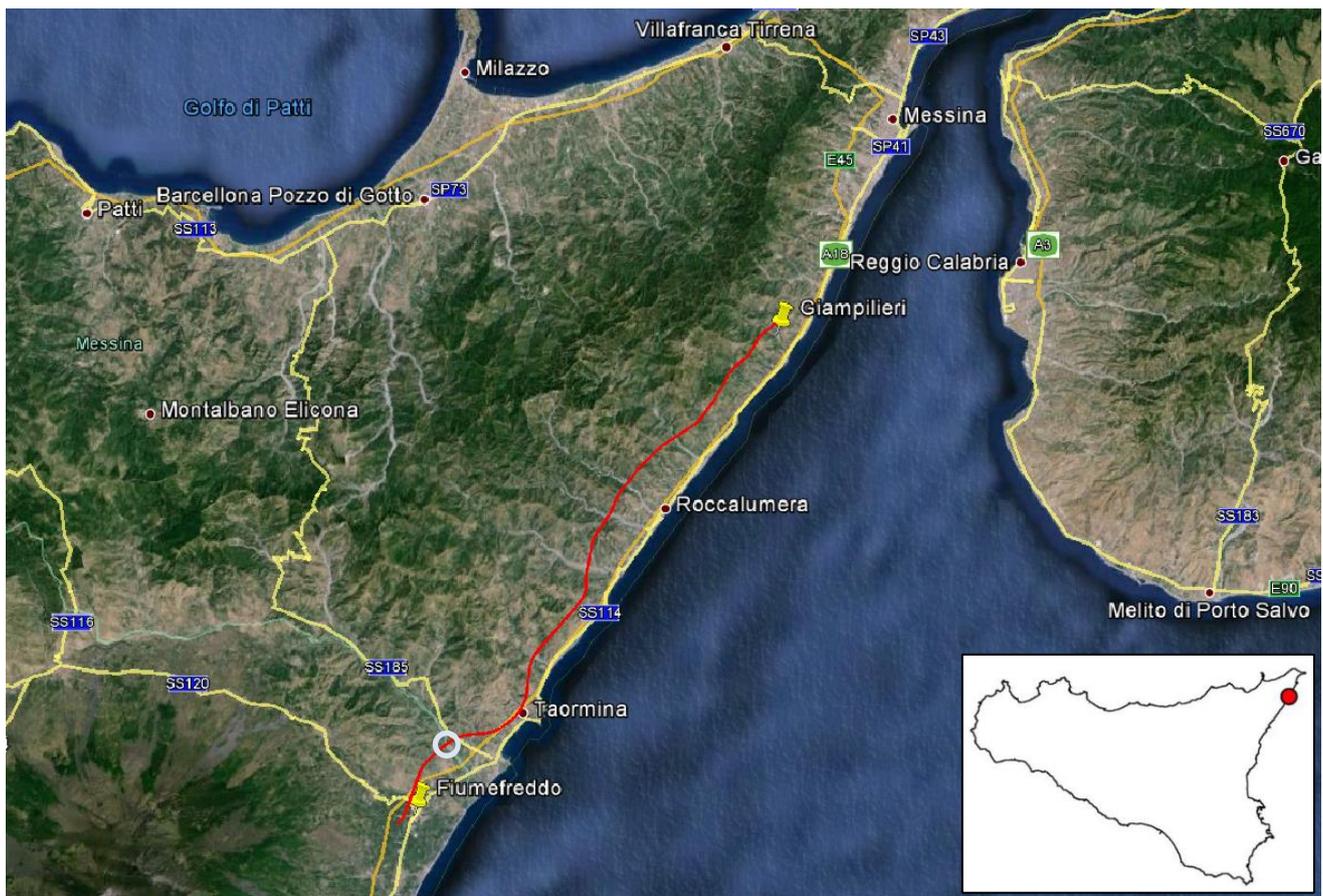


Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria e l'intersezione con il Fiume Alcantara.

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino idrografico del Fiume Alcantara è localizzato nella porzione centro-settentrionale del versante orientale della Sicilia ed occupa una superficie complessiva di circa 550 km² (Figura 2). La forma del bacino idrografico è asimmetrica, con una direzione di allungamento E-W e con una pronunziata appendice orientale che si estende in direzione NNW-SSE in prossimità della foce. Il bacino raggiunge la sua massima ampiezza, pari a circa km 25, nella zona occidentale; nella parte orientale, invece, la larghezza si riduce sensibilmente, fino a circa 2 km, a pochi km di distanza dalla foce. I bacini con i quali confina il Bacino del fiume Alcantara, procedendo in senso antiorario, sono i seguenti:

- a Nord: F. di Zappulla, F.ra di Naso, T.te Timeto, T.te Elicona, T.te Mazzarà, T.te Termini, F.ra Agrò;
- ad Ovest: F. Simeto

Il bacino si sviluppa sul versante orografico orientale della Sicilia, tra il Monte Etna e le propaggini meridionali dei Monti Peloritani, interessando, da un punto di vista amministrativo, il territorio di due province (Catania e Messina) ed un totale di 28 territori comunali.

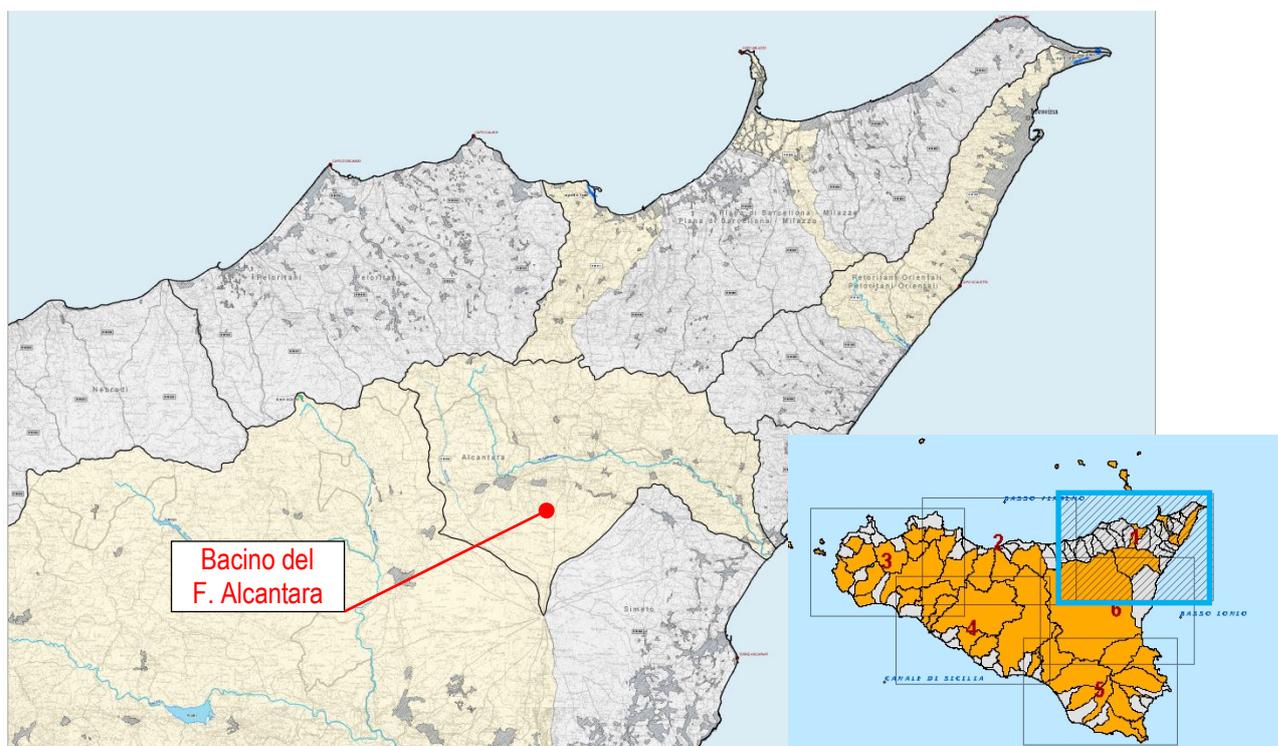


Figura 2 - Inquadramento del bacino del f.Alcantara (da Piano di Tutela delle Acque della Sicilia, Tav E.1 1/6).

All'interno del bacino non è presente nessun invaso artificiale.

Le acque del Fiume Alcantara e dei suoi affluenti principali (F. Flascio, F. S. Paolo e T.te Petrolo) sono utilizzate a scopo idroelettrico, industriale ed irriguo. In particolare, nel tratto del F. Alcantara compreso tra la confluenza del T.te Roccella e quella del F. S. Paolo, sono state installate, dall'ENEL, due centrali idroelettriche. Le utilizzazioni a scopo irriguo interessano invece tutto il corso d'acqua, anche se in maniera più cospicua nel tratto che va dalla confluenza del F. S. Paolo fino alla confluenza con il T.te Petrolo.

2.2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il territorio interessato dal bacino idrografico del Fiume Alcantara riguarda un'area molto vasta, che abbraccia lineamenti assai diversi, variando dalle ampie distese della pianura alluvionale, alle zone prettamente collinari, sino alle forme orografiche aspre ed accidentate delle creste dei Monti Peloritani.

Notevoli differenze si rilevano, tuttavia, anche tra i due versanti per la presenza di terreni di genesi completamente diversa. Il territorio del versante destro è, infatti, caratterizzato dai notevoli espandimenti lavici del sistema vulcanico etneo mentre il versante sinistro è quasi esclusivamente interessato dai terreni di origine sedimentaria. Ne consegue anche una rilevante diversità nel paesaggio.

L'acclività media dei pendii alle quote più elevate è generalmente notevole e denota la competenza del substrato roccioso che costituisce i rilievi montuosi, composto essenzialmente da rocce metamorfiche, arenacee e conglomeratiche. Pendenze più modeste si rilevano, invece, in corrispondenza degli affioramenti argillosi, che conferiscono ai versanti forme blande e mammellonari.

Nelle zone prive di vegetazione dove affiorano terreni metamorfici e sedimentari si rilevano numerose zone interessate da dissesti di varia natura.

Laddove affiorano gli intervalli delle formazioni fliscioidi in cui la componente argillosa prevale su quella arenacea, specialmente nelle zone più tettonizzate, si verificano in prevalenza movimenti gravitativi lungo piani di frattura preesistenti.

Notevoli fenomeni di scorrimento rotazionale si notano nella zona di S. Domenica Vittoria e Roccella Valdemone, in cui il Flysch di Monte Soro presenta una componente prevalente di natura argillosa. Altri dissesti si rinvencono in affioramenti di banconi arenacei, con giacitura a franapoggio sugli interstrati argillosi.

Frane di crollo interessano soprattutto la zona di contatto fra i terreni coerenti, quali i conglomerati basali del Flysch di Capo d'Orlando o le Calcareniti di Floresta ed i sottostanti terreni pseudocoerenti, quali argilloscisti e argille scagliose. Frane di crollo si rinvengono anche lungo gli alvei dei corsi d'acqua e avvengono per scalzamento alla base delle scarpate laterali, così com'è visibile lungo alcuni tratti degli affluenti San Paolo, Roccella e Petrolo. Le metamorfite (argilloscisti) affioranti vengono facilmente e diffusamente erose dagli agenti meteorici e, impregnandosi d'acqua, danno origine a scivolamenti di masse detritiche ed a scorrimenti rotazionali, determinando il crollo delle rocce soprastanti cui viene a mancare la base d'appoggio. Si formano così depositi detritici con aspetto superficiale piuttosto caotico per la presenza di grossi massi litici emergenti da una matrice prevalente argilloso-terrosa.

Numerose, anche se di estensione limitata, sono le frane di scorrimento che si rilevano nelle Argille Scagliose (A.S.); sempre sulle A.S., nella zona di Mojo Alcantara, si rinvengono anche delle zone ad erosione calanchiva.

Sul versante destro del Fiume Alcantara, dove prevalgono gli affioramenti di rocce vulcaniche, non sono stati riscontrati fenomeni di dissesto apprezzabili.

2.3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'asta principale del Fiume Alcantara ha origine alle falde meridionali della dorsale compresa fra Serra Baratta, Monte Caci e Piano della Serra; essa ha uno sviluppo lineare di circa 50 km e sfocia nel Mar Ionio, circa 5.5 km a sud di Taormina.

Il bacino del tratto montano del Fiume Alcantara si estende per circa 53 km² ed in esso ricade il centro abitato di Floresta. In questo primo tratto il Fiume Alcantara scorre in direzione NE-SW fino alla confluenza con il Vallone Acquabianca, quindi procede in direzione NW-SE fino al centro abitato di Randazzo, dove si unisce al Vallone Gurridda ad una quota di circa 730 m e da tale punto l'asta principale prosegue il suo corso in direzione Ovest-Est.

Gli affluenti principali si trovano in sinistra idrografica e, da monte verso valle, sono: il Torrente di S. Domenica, il Torrente Favoscuro, il Torrente Roccella, il Torrente Fondachello, il Fiume San Paolo, il Vallone Zagala, il Torrente Petròlo.

Gli affluenti di destra sono invece rappresentati da alcuni modesti valloni, poiché, essendo il versante destro prevalentemente coperto dagli espandimenti lavici etnei piuttosto recenti, non si è ancora formato un reticolo idrografico ben delineato, eccetto che per la presenza di modeste incisioni nella parte valliva del bacino.

Il reticolo idrografico del bacino del Fiume Alcantara, in dipendenza della natura dei terreni, della conformazione orografica della zona e della tettonica, risulta nettamente diversificato da zona a zona nella densità di drenaggio, lunghezza delle aste direttamente tributarie del corso principale e grado di gerarchizzazione. Il versante destro del bacino è ricoperto in massima parte dagli espandimenti lavici dell'Etna che hanno colmato ed obliterato il reticolo idrografico preesistente sul substrato sedimentario. Dato l'alto coefficiente di assorbimento dovuto alla elevata permeabilità dei materiali vulcanici fortemente fessurati e data la bassa erodibilità dalle rocce e la loro recente età di formazione, il territorio ricoperto da tali terreni risulta privo di un reticolo idrografico degno di nota e le acque selvagge raramente riescono ad incanalarsi in incisioni ben delineate. Le poche incisioni maggiori, spesso dovute ad elementi morfologici di origine eruttiva anziché erosiva, formano brevi fiumare quasi sempre asciutte, che portano acque generalmente per poche ore dopo le precipitazioni più violente della stagione autunno-inverno. Nella parte valliva del bacino, in destra al fiume, a Nord della dorsale collinare di Monte Campanaro–M. Calcinera–M. Pizzo sono presenti alcune modeste incisioni su terreni sedimentari. Il territorio in sinistra idrografica è invece totalmente costituito da terreni sedimentari o epimetamorfici, sui quali si è messo in posto un fitto reticolo idrografico a carattere giovanile, con alvei piuttosto stretti. Tutti i principali affluenti di sinistra presentano orientamento N–S e sono separati da dorsali subparallele che si distaccano quasi a pettine dalla dorsale principali dei Monti Peloritani.

3 INQUADRAMENTO NORMATIVO

3.1 PIANO STRAORDINARIO PER L'ASSETTO 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.

Il Piano straordinario contiene 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.



**LINEA MESSINA - CATANIA
RADDOPPIO GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO**

STUDIO IDRAULICO SUL FIUME ALCANTARA
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 00 RI	ID 00.01 001	C	11 di 46

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 state 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.

3.2 AGGIORNAMENTO DEL PIANO STRAORDINARIO.

L'art. 6 del D.A. 298/00 prevedeva la possibilità di perfezionare la perimetrazione delle aree a rischio, così come individuate nel Piano Straordinario, in relazione a successivi studi, ricerche e/o segnalazioni. Nel caso in cui i Comuni avessero riscontrato situazioni di dissesto locale differenti da quelle rappresentate nel Piano, avrebbero dovuto darne comunicazione all'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente, chiedendo contestualmente una revisione dello stesso Piano per il proprio territorio comunale.

Le richieste di revisione pervenute, integrate da studi e lavori di carattere geologico e idraulico, hanno fatto ritenere necessario procedere all'aggiornamento del Piano così come peraltro deliberato dalla Giunta Regionale il 14 settembre 2000.

Con Decreto 20 ottobre 2000, n. 552, l'Assessore Regionale del Territorio e Ambiente istituisce, infatti, l'Ufficio per l'Assetto Idrogeologico per l'espletamento dei compiti di aggiornamento del Piano Straordinario e per l'elaborazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico. In particolare, l'art. 4 del D.A. n. 552/00 prevedeva che per l'espletamento dei compiti individuati, l'Ufficio si avvalsesse degli Uffici del Genio Civile territorialmente competenti.

Nel procedere all'aggiornamento del Piano si è ritenuto opportuno definire una metodologia (Linee Guida dell'Assessorato Territorio e Ambiente allegate alla Circolare n.1/2003) per l'individuazione delle aree a rischio, basata in primo luogo sulle indicazioni dell'Atto di indirizzo e coordinamento, che fosse più agevole, affidabile ed efficace rispetto a quelle adoperate nell'elaborazione del Piano Straordinario. Le disposizioni del Piano hanno carattere immediatamente vincolante per le Amministrazioni e gli Enti Pubblici, nonché per i soggetti privati.

Nella seguente tabella si riassumono gli aggiornamenti decretati allo stato attuale per il bacino dell'Alcantara:



**LINEA MESSINA - CATANIA
RADDOPPIO GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO**

STUDIO IDRAULICO SUL FIUME ALCANTARA
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 00 RI	ID 00.01 001	C	12 di 46

Denominazione	DPR	GURS	Comuni interessati
Alcantara	n. 154 del 11/06/2013		
Aggiornamento 2016	n.510 del 02/11/2016		Calatabiano (CT)
Aggiornamento 2017			Francavilla di Sicilia
Aggiornamento 2017	n.235/Serv.4/S.G. del 05/06/2017		Calatabiano

Tabella 1 – Aggiornamenti decretati del Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico

3.3 CIRCOLARE N.1 DEL 7 MARZO 2003.

Al fine di continuare la collaborazione, già avviata nell’Aggiornamento del Piano Straordinario, con le Amministrazioni locali, l’Assessore per il Territorio e l’Ambiente ha emanato la “Circolare sulla redazione del Piano per l’Assetto Idrogeologico”.

Essa stabilisce i criteri necessari ad una utile corrispondenza di informazioni fra Enti locali ed Assessorato ai fini della realizzazione del Piano stralcio.

Alla circolare sono state allegate le schede di censimento per la programmazione degli interventi in aree a rischio idraulico e geomorfologico.

Alla circolare vengono altresì allegate le Linee Guida per la valutazione del rischio idrogeologico. La metodologia di valutazione del rischio si riferisce alla definizione riportata nell’Atto di indirizzo e coordinamento (D.P.C.M. ’98). Individuata la tipologia del dissesto e le sue caratteristiche geometriche e temporali, è possibile stabilire, utilizzando rappresentazioni matriciali, la **magnitudo** dell’evento e la sua **pericolosità**. Combinando la pericolosità con la **vulnerabilità** degli elementi a rischio, si ottiene, infine, la valutazione del **rischio** secondo i 4 livelli, a gravosità crescente, stabiliti dal D.P.C.M.: moderato, medio, elevato e molto elevato.

4 STUDIO IDROLOGICO

4.1 GENERALITÀ

Per l'analisi idrologica si è fatto riferimento allo studio già condotto nell'ambito del progetto "Infrastrutture ferroviarie strategiche definite dalla Legge Obiettivo N. 443/01 – Raddoppio Messina-Catania – Tratta Giampileri-Fiumefreddo – Progetto Preliminare", del Maggio 2003, in particolare all'elaborato L181 00 R 13 RI ID0000 001 A "Relazione idrologica", nonché allo studio già condotto nell'ambito del progetto "Contratto Istituzionale di Sviluppo - CIS Sicilia – Direttrice Ferroviaria Messina–Catania–Palermo – Linea Messina–Catania – Raddoppio Giampileri–Fiumefreddo. Progetto Preliminare" del Giugno 2014, in particolare all'elaborato RS0B 00 R 11 RI ID0001 001 A "Relazione idrologica". In tali studi sono state individuate le interferenze della rete idrografica locale sul percorso ferroviario in analisi, ricavando pertanto i bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua sottesi all'altezza dei manufatti di attraversamento della linea ferroviaria, compreso quello dell'Alcantara. Il bacino idrografico del F. Alcantara ricade nelle aree di influenza di un gruppo di stazioni pluviometriche della Sicilia Nord-Orientale – classificata come SubZona B nel Progetto VA.PI. In quest'area posta nelle vicinanze dell'Etna, i campioni di dati pluviometrici indicano una esaltazione delle caratteristiche tipiche del regime pluviale mediterraneo, con eventi di pioggia estremamente violenti (sono stati talora registrati oltre 160 mm in un ora, e oltre 500 mm in 24h). La distribuzione areale di tali piogge molto intense è tale da limitarne l'azione a superfici relativamente ristrette; il carattere delle precipitazioni in questa zona è pertanto detto "a imbuto".

Le caratteristiche principali del bacino idrografico sono riassunte nella seguente tabella:

Parametro	U.d.m.	Valore
Superficie	km ²	550
Lunghezza asta	km	48
pendenza dell'asta principale i_L		0.062
Quota all'intersezione della linea ferroviaria h_0	m s.m.m.	40.7
Quota massima h_{max} [m s.m.m.]	m s.m.m.	3274
Quota media h_{media} [m s.m.m.]	m s.m.m.	920

Tabella 2 – Caratteristiche del bacino idrografico del F. Alcantara.

Nella figura seguente si riporta la corografia del bacino idrografico del F. Alcantara.

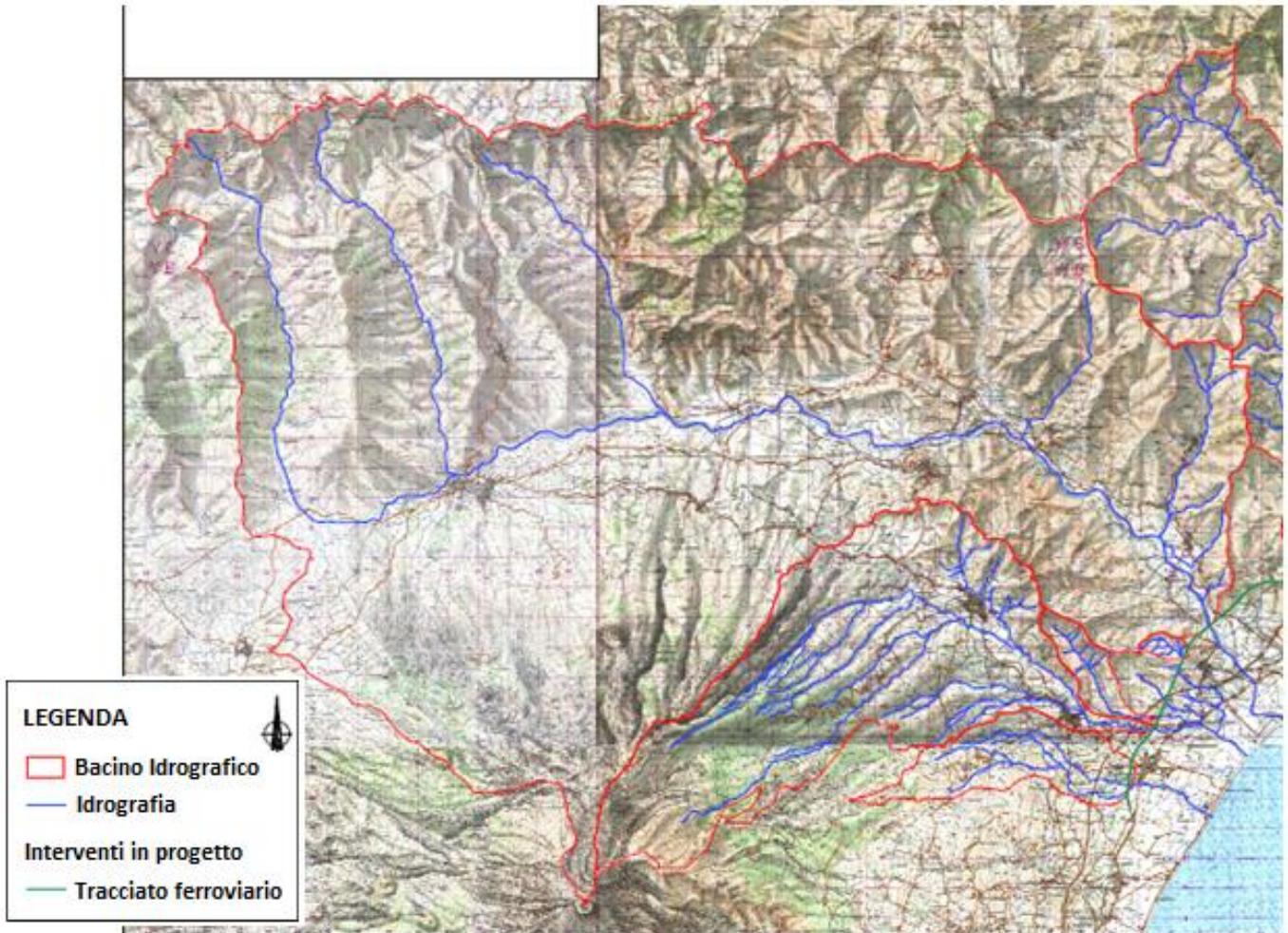


Figura 3 - Corografia del bacino idrografico del F. Alcantara.

4.2 MODELLI PROBABILISTICI PER LE ANALISI STATISTICHE

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.

4.2.1 Il modello probabilistico di Gumbel

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

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta y :

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

si ha la forma canonica:

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

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

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad N . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di 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 α e u si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Otteniamo quindi per α e u le espressioni:

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

Introducendo ora il concetto di tempo di ritorno, Tr , 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 $h(Tr, \tau)$ 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 $h(Tr, \tau)$ la seguente forma:

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

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

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

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

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

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

4.2.2 Modello probabilistico TCEV

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

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

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

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

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

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

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

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:

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

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$ 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 Λ_* , Θ_* , Λ_1 e Θ_1 , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

I° Livello di regionalizzazione:

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

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

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a Λ_* e Θ_* possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione C_V risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro Λ_1 , nella sottozona omogenea, oltre che di Λ_* e Θ_* . Il valore di Λ_1 relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a Λ_1 la variabile $K_{t,T_r} = X_{t,T_r} / \mu(X_t)$ 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:

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

4.3 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

4.3.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Sono state considerate le curve di possibilità pluviometrica (CPP), ricavate tramite l'analisi statistica di Gumbel da campioni di dati registrati fino al 2002 (i più recenti tra quelli attualmente disponibili), relative alle stazioni di misura di Alcantara, Francavilla, Linguaglossa, Maletto, Piedimonte Etneo, Randazzo, Taormina, ricadenti nel bacino idrografico in esame (Figura 4), riportate nel documento *"LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DEI PIANI DI PROTEZIONE CIVILE COMUNALI E INTERCOMUNALI IN TEMA"* - Regione Siciliana, Presidenza - Dipartimento della Protezione Civile SERVIZIO REGIONALE RISCHI IDROGEOLOGICI E AMBIENTALI DI RISCHIO IDROGEOLOGICO".



Figura 4 – Fiume Alcantara: stazioni pluviometriche e suddivisione del bacino secondo i relativi poligoni di Thiessen.

In particolare, nella tabella seguente sono indicati i parametri a e n delle CPP adottate, per i diversi tempi di ritorno considerati:

Stazione	TR	a	n	Stazione	TR	a	n
Alcantara	5	49.9	0.356	Piedimonte Etneo	5	54.7	0.373
	10	60.9	0.37		10	67.3	0.363
	30	77.5	0.383		30	86.4	0.354
	50	85.1	0.387		50	95.1	0.351
	100	95.3	0.392		100	106.9	0.347
	200	105.5	0.396		200	118.6	0.345
Franca di Sicilia	5	54.1	0.411	Piedimonte Etneo	5	54.7	0.373
	10	65.6	0.408		10	67.3	0.363
	30	83.1	0.405		30	86.4	0.354
	50	91	0.404		50	95.1	0.351
	100	101.8	0.403		100	106.9	0.347
	200	112.5	0.402		200	118.6	0.345
Linguaglossa	5	50.1	0.465	Randazzo	5	36.4	0.381
	10	59.2	0.466		10	43.5	0.395
	30	73	0.467		30	54.1	0.408
	50	79.4	0.467		50	59	0.412
	100	87.9	0.467		100	65.6	0.417
	200	96.3	0.467		200	72.1	0.421
Linguaglossa	5	50.1	0.465	Taormina	5	51.1	0.315
	10	59.2	0.466		10	60.9	0.32
	30	73	0.467		30	75.8	0.326
	50	79.4	0.467		50	82.6	0.327
	100	87.9	0.467		100	91.8	0.329
	200	96.3	0.467		200	100.9	0.331
Maletto	5	36.9	0.206	NOTA: per le stazioni di Floresta e Antillo, non essendo disponibili né i valori dei parametri a e n , né le registrazioni pluviometriche storiche, sono state assunte le CPP delle stazioni di Randazzo (per Floresta) e Franca di Sicilia (per Antillo).			
	10	44.8	0.198				
	30	56.7	0.189				
	50	62.2	0.186				
	100	69.5	0.183				
	200	76.9	0.181				

Tabella 3 – Valori dei parametri a e n per le stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino del F. Alcantara.

L'altezza di pioggia (ragguagliata all'area) può essere valutata mediante l'applicazione del metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoi). In particolare, il volume di pioggia (V_p) caduto all'interno di un poligono di Thiessen o topoi (Figura 4) è uguale all'altezza di precipitazione misurata nella relativa stazione pluviometrica per l'area del poligono. Il volume di pioggia caduto sull'intero bacino sarà quindi fornito dalla somma dei prodotti di cui prima con l'avvertenza che, per quei topoi che parzialmente ricadono fuori dalla regione in esame, si dovrà considerare solo l'area della porzione del poligono o del topoi che appartiene al bacino:

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

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

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

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

4.3.2 Metodo VA.PI. Sicilia

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

I° Livello di regionalizzazione

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

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

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione, la Sicilia è suddivisa nelle tre sottozone A, B e C della Figura 5 e a ciascuna di esse è stato attribuito, per una prefissata durata, un valore costante del parametro λ_1 , indicato con il simbolo Λ_1 , che risulta dipendente dalla durata:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$P(h'_t) = \exp \left[-\lambda_1 \left(\exp \left(\frac{\mu}{g_1} \right) \right)^{-h'_t} - \Lambda_* \lambda_1^{1/\Theta^*} \left(\exp \left(\frac{\mu}{\Theta^* g_1} \right) \right)^{-h'_t} \right]$$

con parametri stimati in accordo alle formulazioni delle diverse sottozone.

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

$$h'_{t,Tr} = b_0 + b_1 \cdot \log(Tr) \quad (1)$$

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

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

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

Sottozona C

$$b_0(t) = 0.5015 - 0.003516 \cdot t$$

$$b_1(t) = 0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101 \quad (2c)$$

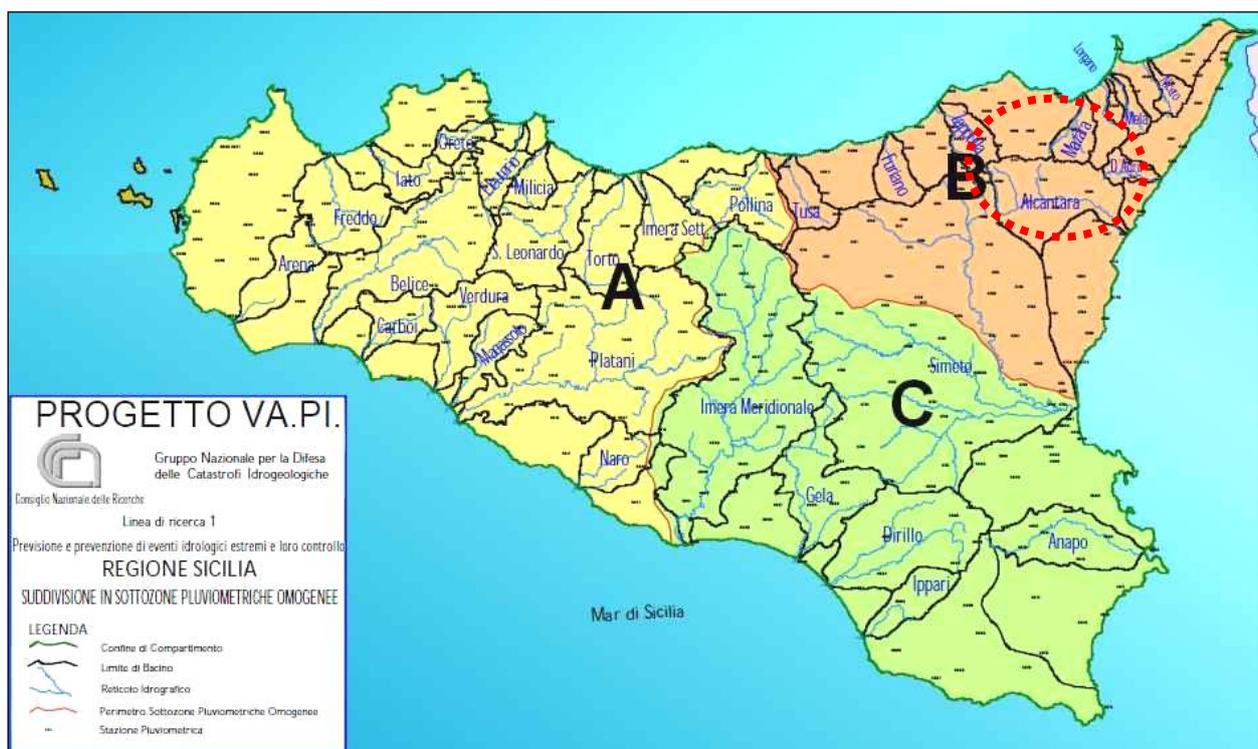


Figura 5 - Regione Sicilia: mappa della suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee, con indicato il bacino del F. Alcantara

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica si otterrà moltiplicando la precedente relazione (1) con i coefficienti determinati per ciascuna sottozona mediante le (2), per la legge di variazione della media della legge TCEV con la durata, ovvero:

$$h_{t,Tr} = h'_{t,Tr} \cdot \mu(t) \quad (3)$$

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

	LINEA MESSINA - CATANIA RADDOPPIO GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO				
STUDIO IDRAULICO SUL FIUME ALCANTARA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RS2S	LOTTO 01	CODIFICA D 00 RI	DOCUMENTO ID 00.01.001	REV. C FOGLIO 25 di 46

III° Livello di regionalizzazione

Quest'ultima fase dell'indagine pluviografica aveva come obiettivo quello di individuare un criterio regionale per la stima di μ nei siti privi di stazioni di misura o con un numero modesto di anni di osservazione, così da rendere applicabile la (3) in qualsiasi punto della regione.

Confrontando le medie teoriche μ con le medie campionarie m_c si è riscontrato che, per ciascuna durata, i parametri statistici Λ_1 e Θ_1 possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti e per ciascuna stazione è stato riconosciuto il seguente legame di potenza:

$$m_c = a \cdot t^n \quad (4)$$

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

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

Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti a e n possono essere stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n della, non essendo stato rilevato né un legame interno tra le due costanti in parola, né una variabilità in funzione dell'altitudine media.

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

$$h_{t,T} = \left[(0.5135 - 0.002264 \cdot t) + (0.0001980 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508) \cdot \log(T_r) \right] \cdot a \cdot t^n \quad (5)$$

in cui i coefficienti a e n sono stati stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n di Figura 6 e sono pari a:

a	n
39.00	0.37

Tabella 4 – Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica per il tratto d'intervento

Attraverso l'espressione (5) è possibile esplicitare le altezze di pioggia di durata oraria; poiché alcuni bacini presentano tempi di corrivazione inferiori all'ora, attraverso l'espressione (5) si calcola l'altezza di pioggia di durata pari ad un'ora, ricavando l'altezza di pioggia di durata $t_c < 1$ ora dall'espressione seguente:

$$h_{t,T} = h_{60,T} \times 0,208 t^{0,386} \quad (6)$$

ottenuta attraverso un esame delle piogge di durata inferiore all'ora condotta per il territorio siciliano (Ferreri et Al., Bollettino Ordine degli Ingegneri di Palermo, 1-2/89).

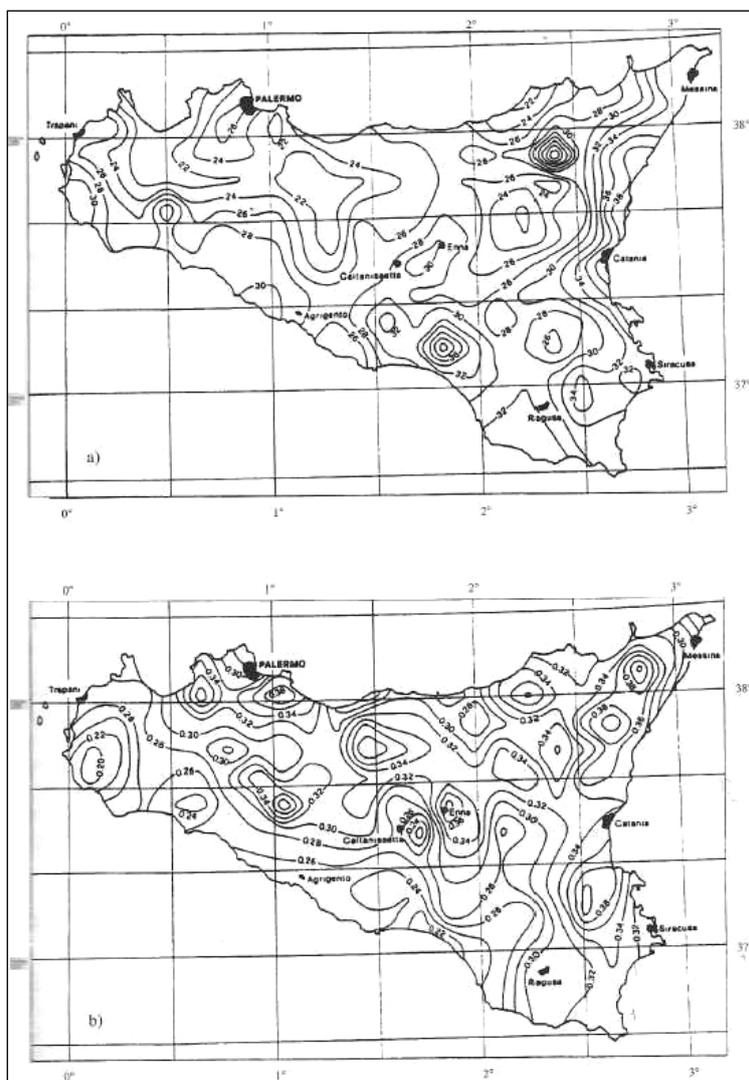


Figura 6 – Carta delle iso-a (a) e delle iso-n (b) per il territorio siciliano.

4.4 ANALISI DELLE PORTATE

4.4.1 Il metodo cinematico o razionale

Il metodo viene usato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un bacino di relativamente limitata estensione. La schematizzazione alla base del metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

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

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

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

in cui:

Q_{\max} = portata di piena [m³/sec];

φ = coefficiente di deflusso;

h = pioggia netta [m];

S = area del bacino [km²];

τ_c = tempo di corrivazione [ore].

Il valore di h rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione τ_c : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo τ_c solo una parte del bacino S contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella Figura 7 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

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

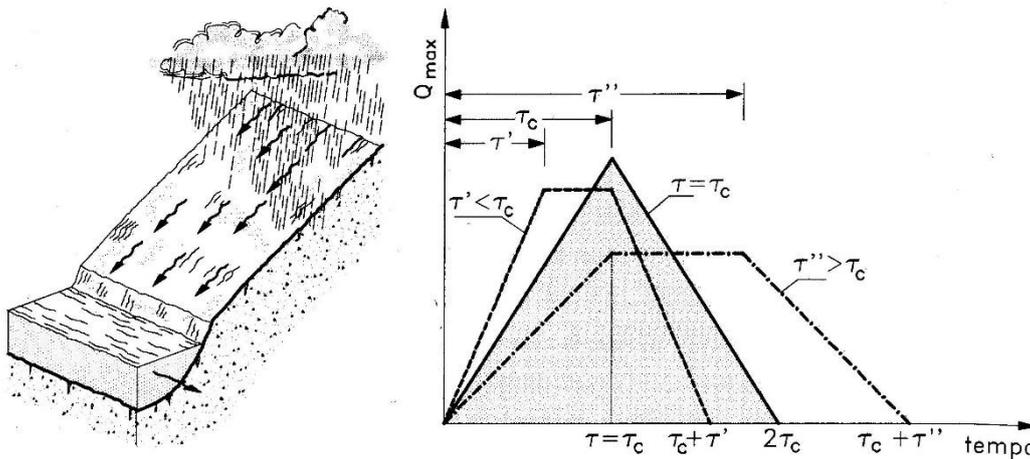


Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

La determinazione del tempo di corrivazione può farsi mediante alcune classiche formule empiriche di uso comune, in particolare:

Ventura
$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{S/i}$$

Pasini
$$\tau_c = \frac{0,108}{\sqrt{i}} \cdot \sqrt[3]{S \cdot L}$$

Pezzoli
$$\tau_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$$

dove:

τ_c = tempo di corrivazione [ore];

S = area del bacino [km^2];

L = lunghezza dell'asta principale [km];

i = pendenza media dell'asta principale.

Viparelli poi, nel 1963, illustrando un'applicazione del metodo della corrivazione per la ricostruzione degli idrogrammi di piena con riferimento ad alcuni bacini della Campania e della Basilicata, osserva che i risultati della formula di Giandotti possono essere ottenuti in via indicativa, ma più rapidamente utilizzando la seguente formula

$$\tau_c = \frac{L}{v}$$

in cui:

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

v = velocità fittizia dell'acqua che si aggira intorno a 1 m/s, e in nessun caso deve superare 1.5 m/s, corrispondenti a 3.6 - 5.4 km/h, valori da usarsi nella formula precedente.

Una particolare formulazione del metodo cinematico o razionale è stata suggerita da **M. Giandotti** (1933), il quale fornì un metodo elaborato utilizzando osservazioni di piene dei corsi d'acqua del bacino del fiume Po.

Il procedimento determina dapprima la durata τ_c della fase di crescita della piena, nella legittima ipotesi che il colmo sia raggiunto quando tutto il bacino sotteso contribuisca alla formazione della piena. Indicando con:

τ_c = tempo di corrivazione [ore];

S = area del bacino [km^2];

L = lunghezza dell'asta principale [km];

h_m = altitudine media del bacino imbrifero sotteso [m s.m.m.];

h_0 = quota della sezione di chiusura del bacino [m s.m.m.]

la durata della fase di crescita è data da:

$$\tau_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

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

$$Q_{\max} = \frac{\lambda \cdot S \cdot h}{0,8 \cdot \tau_c}$$

in cui:

Q_{\max} = portata di piena [m³/sec];

λ = coefficiente dipendente da S ;

h = pioggia netta [m];

S = area del bacino [km²];

Il coefficiente λ al variare di S assume i valori della tabella seguente:

S [km ²]	λ
fino a 500	166
da 500 a 1000	133
da 1000 a 8000	100
da 8000 a 20000	84
da 20000 a 70000	66

Tabella 5 – Formula di Giandotti; valori di λ al variare di S

4.4.2 Il metodo VA.PI. Sicilia

Il progetto VAPI (Valutazione Piene Italia) ha previsto, con riferimento ai massimi annuali delle portate al colmo come per le altezze di pioggia di prefissata durata, l'applicazione della legge di distribuzione TCEV a scala regionale mediante la procedura gerarchica su tre livelli successivi come precedentemente descritto.

L'applicazione di tale metodologia nel caso in esame non sembra condurre ad un'adeguata valutazione delle portate. La stima della portata di piena di assegnato tempo di ritorno si ottiene, per i bacini siciliani, dalla relazione:

$$Q_{Tr} = x'_{Tr} \cdot Q_m \quad (6)$$

dove la funzione inversa della curva di crescita è approssimata per $Tr > 5$ anni con l'espressione:

$$x'_{Tr} = a_0 + a_1 \cdot \log(T_r) \quad (7)$$

con $a_0 = 0.1864$ e $a_1 = 1.9484$ costanti per tutto il territorio della regione siciliana.

Se la sezione di interesse è strumentata, la stima della portata media Q_m può essere effettuata facendo ricorso al campione disponibile dei massimi annuali delle portate al colmo. Se la sezione è priva di stazione di misura bisogna individuare un bacino idrografico idrologicamente omogeneo (avente stessa esposizione, stessa precipitazione media, stesse caratteristiche di permeabilità, ecc.).

Non tutti i bacini idrografici oggetto del presente studio sono provvisti di stazione di misura, inoltre risulta alquanto difficile individuare un bacino idrografico idrologicamente omogeneo stante il fatto che nella sottozona B (Figura 8) non esiste alcun bacino strumentato di confronto.

In alternativa si può applicare una relazione regionale, cioè tarata utilizzando tutti i valori medi di Q_m , anche per sezioni non strumentate, facendo ricorso a parametri morfofisiografici come la superficie del bacino. La stima della media dei massimi annuali della portata al colmo valida per tutto il territorio siciliano può essere determinata con la seguente:

$$Q_m = 3.06 \cdot A^{0.736} \quad (8)$$

in cui Q_m è espressa in m^3/s e A in km^2 .

Tra i modelli che fanno riferimento al concetto di evento meteorico critico, il metodo razionale e la formulazione di Giandotti sono certamente tra i più applicati. La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q_{VAPI} = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h_{VAPI}}{\tau_c} \quad \text{Metodo razionale}$$

$$Q_{VAPI} = \frac{\lambda \cdot S \cdot h_{VAPI}}{0,8 \cdot \tau_c} \quad \text{Giandotti}$$

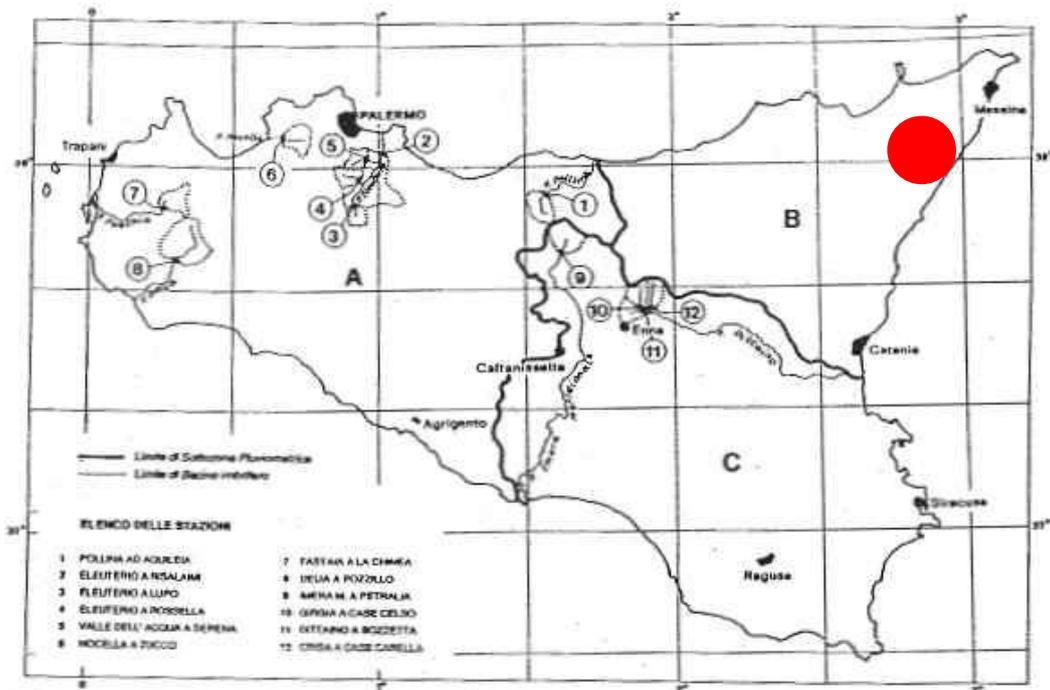


Figura 8 – VAPI Sicilia: sottozona di competenza del bacino di studio.

in cui:

Q_{VAPI} = portata di piena [m^3/s];

φ = coefficiente di deflusso;

λ = coefficiente dipendente da S ;

h_{VAPI} = pioggia netta, ricavata dalle curve di possibilità pluviometrica, risultato dell'analisi VAPI per le precipitazioni [m];

S = area del bacino [km^2];

τ_c = tempo di corrivazione [ore].

Il valore di h rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione τ_c : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo τ_c solo una parte del bacino S

contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena.

4.5 STIMA DELLE PORTATE

La definizione delle portate in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino idrografico è stata effettuata con tre metodologie: il modello cinematico o razionale, il modello VAPI e tramite analisi statistica delle registrazioni idrometriche.

4.5.1 Stima delle portate mediante il metodo cinematico o razionale

Per la determinazione della portata con il metodo razionale è stato dapprima calcolato il tempo di corrivazione τ_c mediante le formule di Pezzoli, Viparelli e Giandotti ottenendo:

<i>formula</i>	τ_c [ore]
Pezzoli	10.6
Viparelli	8.89
Giandotti	6.99

Tabella 6 – Valori del tempo di corrivazione per il bacino dell'Alcantara alla sezione di interesse secondo diverse formulazioni.

Nel caso della formula di Viparelli, considerate le elevate pendenze del corso d'acqua e gli elevati tempi di ritorno che caratterizzano gli eventi, è stato utilizzato un valore della velocità fittizia dell'acqua all'interno dei bacini pari a 1.50 m/s.

Per calcolare i valori di precipitazione per durata di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino dell'Alcantara e per diversi tempi di ritorno dell'evento, si è fatto riferimento ai risultati delle analisi statistiche eseguite con il metodo di Gumbel delle registrazioni pluviometriche delle stazioni di misura precedentemente descritte (Tabella 3). In particolare, nella tabella seguente sono riportati i valori di altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate, unitamente all'area del poligono di Thiessen corrispondente.

Stazione	Area poligono Thiessen (km ²)	Altezza Pioggia Tr 5 (mm)	Altezza Pioggia Tr 10 (mm)	Altezza Pioggia Tr 30 (mm)	Altezza Pioggia Tr 50 (mm)	Altezza Pioggia Tr 100 (mm)	Altezza Pioggia Tr 200 (mm)
Alcantara	20.2	99.76	125.11	163.30	180.71	204.35	227.99
Francavilla di Sicilia	168.1	120.37	145.11	182.75	199.74	223.01	245.97
Linguaglossa	29.7	123.82	146.60	181.13	197.01	218.10	238.94
Maletto	23.4	55.10	65.86	81.90	89.33	99.23	109.37
Piedimonte Etneo	3.3	113.03	136.39	172.06	188.28	210.00	232.08
Randazzo	196.7	76.40	93.82	119.67	131.53	147.68	163.58
Taormina	6.4	94.32	113.51	142.95	156.07	174.13	192.14
Floresta	105.4	76.40	93.82	119.67	131.53	147.68	163.58
Antillo	5.2	120.37	145.11	182.75	199.74	223.01	245.97

Tabella 7 – Valori dell'altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi a diverse stazioni pluviometriche.

Applicando il metodo dei topoi o dei poligoni di Thiessen, introdotto in precedenza, sono stati quindi ottenuti i seguenti valori di altezza di pioggia (ragguagliata all'area del bacino), per vari tempi di ritorno dell'evento pluviometrico, a seconda delle diverse formulazioni utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione.

<i>Altezza di pioggia ragguagliata all'area (mm)</i>						
τ_c	TR 5	TR 10	TR 30	TR 50	TR 100	TR 200
7 ore (Giandotti)	92.94	112.98	143.09	156.81	175.49	193.95
8.9 ore (Viparelli)	100.65	122.43	155.14	170.05	190.36	210.42
10.6 ore (Pezzoli)	106.74	129.90	164.69	180.54	202.14	223.47

Tabella 8 – Altezze di pioggia (ragguagliata all'area) per una durata pari a τ_c (secondo diverse formulazioni) al variare del tempo di ritorno (TR) dell'evento pluviometrico.

Il coefficiente di deflusso è stato valutato applicando il metodo del Curve Number CN (SCS method), sulla base della copertura del suolo (all'interno del bacino in esame) riportata nel Corine Land Cover (CLC) al 4° Livello (Ispra, 2012): in particolare, ad ogni codice del CLC relativo ad una specifica copertura del suolo è stato assegnato il relativo CN, dedotto da tabelle disponibili in letteratura, di seguito riportate.

In particolare, per il bacino del F. Alcantara (in relazione alle formazioni geologiche presenti), assumendo una classe di umidità media (II) e una categoria del suolo B (suoli caratterizzati dall'avere tra il 10% e il 20% di argilla e tra il 50 e il 90% di sabbia, con tessitura sabbioso-franca, franco-sabbiosa e conducibilità idraulica $1 \div 4 \cdot 10^{-5}$ m/s), si ottiene CN (medio) pari a 69.

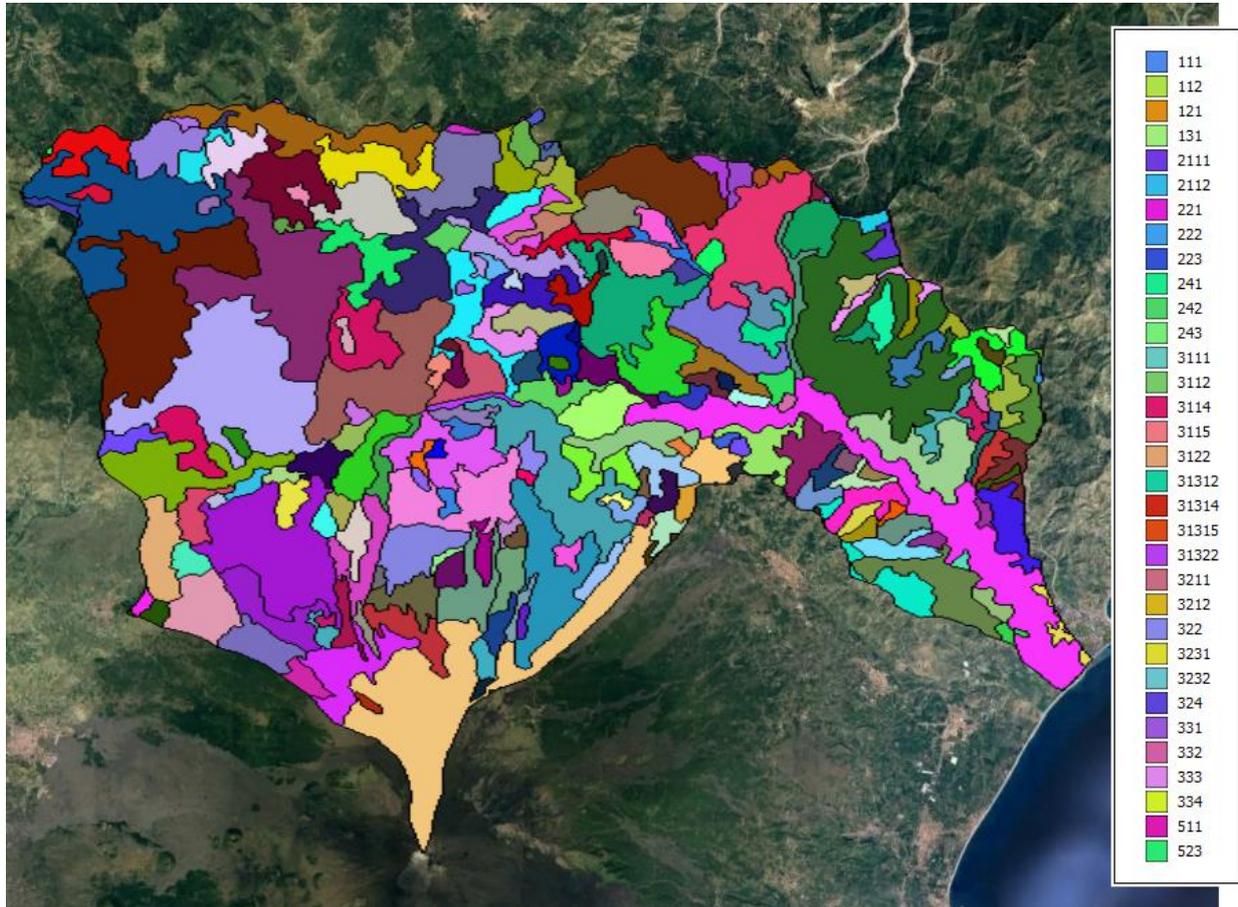


Figura 9 – Bacino idrografico del F. Alcantara: copertura del suolo secondo il CLC dell’Ispra (2012).

Quindi con riferimento al metodo del *Soil Conservation Service* (SCS), il coefficiente di deflusso (φ) può essere valutato come segue:

$$\varphi = \frac{P_e}{P} \quad (9)$$

con P = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno TR e una durata τ_c ; $P_e = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$; $S = 254 \cdot (100 / CN - 1)$.

Di seguito, i valori del coefficiente di deflusso, per i vari tempi di ritorno considerati e per i differenti valori della durata τ_c (secondo le formulazioni adottate).

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D	Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
AREE PORTUALI	123	98	98	98	98	PRATI ARTIFICIALI COLTURE					
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	92	93	94	95	FORAGGERE OVE SI PUO RICONOSCERE					
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95	UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I					
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	90	92	94	95	SEMINATIVE E UNA CERTA					
CANTIERI	133	90	92	94	95	PRODUTTIVITA, SONO SEMPRE					
AREE VERDI URBANE	141	65	74	81	84	POTENZIALMENTE RICONVERTITI A					
CIMITERI	143	57	77	85	89	SEMINATIVO. POSSONO ESSERE					
VIGNETI	221	72	81	88	91	RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
FRUTTETTI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89	SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE					
OLIVETI	223	72	81	88	91	ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
ARBORICOLTURA CON ESSENZE						RISALIE	2122	98	98	98	98
FORESTALI	224	67	78	85	89	VIVAI	2123	66	77	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89	COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE					
COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86	ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL					
COMPLESSI	242	63	73	82	88	VIGNETO	2412	59	74	82	86
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD					
COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI						ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI					
SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81	E SEMINATIVI ARBORATI CON					
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83	COPIERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL	2413	59	74	82	86
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	313	39	51	63	70	25%)	3111	39	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89	BOSCO DI LATIFOGLIE					
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	56	73	82	86	ARBORICOLTURA CON ESSENZE	3112	39	51	63	70
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	98	98	98	98	FORESTALI (LATIFOGLIE)	3121	39	51	63	70
AREE CON VEGETAZIONE RADA	333	70	75	84	90	BOSCHI DI CONIFERE	3122	39	51	63	70
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100	CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO					
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100	FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE,					
SALINE	422	100	100	100	100	STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI					
ZONE INTERTIDALI	423	98	98	98	98	CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE					
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100	(ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI					
MARI	523	100	100	100	100	ECC.)	3221	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E						FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
DENSO	1111	89	92	94	96	MACCHIA MEDITERRANEA	3331	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	78	80	85	87	GARIGA	3332	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E						AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3341	45	55	68	75
NUCLEIFORME A CARATTERE						AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3342	45	55	68	75
RESIDENZIALE E SUBURBANO	1121	74	75	78	80	SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E						AREE DUNALI NON COPERTE DA					
FABBRICATI RURALI A CARATTERE						VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE					
TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE	1122	65	67	70	72	A 25M	3312	56	73	82	86
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E						AREE DUNALI CON COPERTURA					
COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95	VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A					
INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI						25 M.	3313	56	73	82	86
SERVIZI	1212	89	92	94	95	LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI					
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI						AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	56	73	82	86
(SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE						FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
DI PARCHEGGIO ECC.)	1221	98	98	98	98	CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE						BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI,						BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.)	1222	96	96	96	96	LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A					
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO						PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100
E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E						ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E					
SIMILI)	1223	92	93	94	95	STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI						ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
DISTRIBUZIONE						AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA					
(TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95	NATURALE	5231	100	100	100	100
DISCARICHE	1321	90	92	94	95	ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO,						PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTEI ECC.					
CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95	ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88	SUGHERETE	31122	39	51	63	70
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84	CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85	ALTRO	31124	39	51	63	70

Tabella 9 – Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del CLC (Elaborazione ADIS).

TR (anni)	P (mm)	Pe (mm)	ϕ
5	92.94	25.98	0.28
10	112.98	38.91	0.34
30	143.09	60.61	0.42
50	156.81	71.16	0.45
100	175.49	86.06	0.49
200	193.95	101.25	0.52

Tabella 10 – Valori del coefficiente di deflusso, per vari tempi di ritorno e per una durata τ secondo Giandotti.

TR (anni)	P (mm)	Pe (mm)	ϕ
5	100.65	30.77	0.31
10	122.43	45.46	0.37
30	155.14	69.86	0.45
50	170.05	81.66	0.48
100	190.36	98.27	0.52
200	210.42	115.15	0.55

Tabella 11 – Valori del coefficiente di deflusso, per vari tempi di ritorno e per una durata τ_c secondo Viparelli.

TR (anni)	P (mm)	Pe (mm)	ϕ
5	106.74	34.73	0.33
10	129.90	50.82	0.39
30	164.69	77.38	0.47
50	180.54	90.17	0.50
100	202.14	108.13	0.53
200	223.47	126.36	0.57

Tabella 12 – Valori del coefficiente di deflusso, per vari tempi di ritorno e per una durata τ_c secondo Pezzoli.

Sono stati quindi calcolati i valori della portata al colmo di piena al variare del tempo di ritorno.

T_r [anni]	$Q [m^3/s]$			
	Pezzoli	Viparelli	Giandotti	media
5	508.2	536.3	575.6	540.0
10	743.6	792.3	862.2	799.4
30	1132.3	1217.6	1342.9	1230.9
50	1319.4	1423.2	1576.9	1439.9
100	1582.3	1712.6	1906.9	1734.0
200	1849.0	2006.9	2243.7	2033.2

Tabella 13 – Valori delle portate al colmo al variare del T_r dell'evento, per diverse formulazioni e valore medio.

4.5.2 Stima delle portate mediante il metodo VAPI

L'applicazione del metodo VAPI conduce ai risultati riportati nella tabella seguente:

T_r [anni]	$Q [m^3/s]$			
	<i>Pezzoli</i>	<i>Viparelli</i>	<i>Giandotti</i>	<i>media</i>
5	866	960	1121	982
20	1322	1460	1709	1497
50	1624	1790	2097	1837
100	1853	2039	2391	2094
200	2081	2289	2684	2351
300	2215	2435	2856	2502

Tabella 14 – Portate ricavate con il metodo VAPI Sicilia utilizzando le formule di Pezzoli, Viparelli e Giandotti per il calcolo del tempo di corrivazione e valore medio.

4.5.3 Definizione della portata al colmo dall'analisi delle registrazioni idrometriche

Per la stima della portata di piena del fiume Alcantara sono stati raccolti ed elaborati di dati registrati presso la stazione di idrometria di Alcantara situata poco a valle della sezione di interesse. La sezione chiude un bacino di 570 km², lo zero idrometrico è a quota 20.33 m s.m.m.

I dati delle portate giornaliere massime annuali rilevati dagli annali idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico del Ministero dei LL.PP. sono riportati nella tabella seguente:

ANNO	Q_{maxg} [m ³ /s]						
1952	28.00	1958	288.00	1987	50.67	1992	314.26
1953	347.00	1962	227.00	1988	94.20	1994	120.99
1955	187.00	1963	105.00	1989	41.40	1995	81.80
1956	98.00	1976	285.00	1990	207.33		
1957	150.00	1986	65.98	1991	93.55		

Tabella 15 – Valori delle portate giornaliere massime annuali registrate alla stazione di Alcantara

Mediante l'analisi statistica del campione di dati sono ricavati i seguenti valori delle portate massime giornaliere per diversi tempi di ritorno:

TR	Q_{maxg} Gumbel	Q_{maxg} Fuller
anni	mc/s	mc/s
5	225	215
20	338	351
50	409	441
100	462	509
200	516	577
300	547	617
500	586	667
600	600	685
800	622	713
1000	639	735

Tabella 16 – Valori delle portate massime giornaliere per diversi tempi di ritorno.

Il valore della portata massima istantanea Q_{max} è stata calcolata moltiplicando il valore massimo giornaliero Q_{maxg} per il coefficiente di punta C, calcolato utilizzando le seguenti espressioni:

$$C = \frac{Q_{max}}{Q_{maxg}} = 1 + 68 S^{-0.5} = 3.85 \quad \text{formula di Fuller Tonini;}$$

$$C = \frac{Q_{max}}{Q_{maxg}} = 32 S^{-0.313} = 4.39 \quad \text{formula di Cotecchia per } S > 120-170 \text{ km}^2.$$

In particolare come coefficiente di punta è stato assunto un valore pari alla media dei valori ottenuti con le predette espressioni, ottenendo quindi $C=4.11$.

Il valore della portata di punta per diversi tempi di ritorno è stato infine calcolato assumendo, per ogni tempo di ritorno, un valore della massima portata giornaliera pari al valore massimo tra i due valori calcolati secondo il modello di Gumbel e di Fuller (Tabella 16) e moltiplicando questo per il coefficiente di punta pari a 4.11.

I valori ottenuti, assieme al valore della portata specifica, sono riportati nella seguente tabella:

TR anni	Portata		
	max media giorn. Q_{maxg} [m ³ /s]	al colmo Q_{max} [m ³ /s]	specifica $q = Q_{max}/S$ [m ³ /s km ²]
5	225	928	1.63
20	351	1445	2.53
30	391	1609	2.82
50	441	1816	3.19
100	509	2096	3.68
200	577	2377	4.17
300	617	2541	4.46
500	667	2747	4.82
600	685	2821	4.95
800	713	2938	5.15
1000	735	3028	5.31

Tabella 17 – Valori delle portate massime giornaliere per diversi tempi di ritorno.

4.5.4 Valori di portata di progetto

Di seguito si riportano i valori delle portate al colmo calcolate con i diversi metodi precedentemente illustrati, in dipendenza delle formulazioni adottate per il calcolo del tempo di corrivazione, relativamente ai metodi di elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche (metodo razionale) e VAPI (metodo Giandotti).

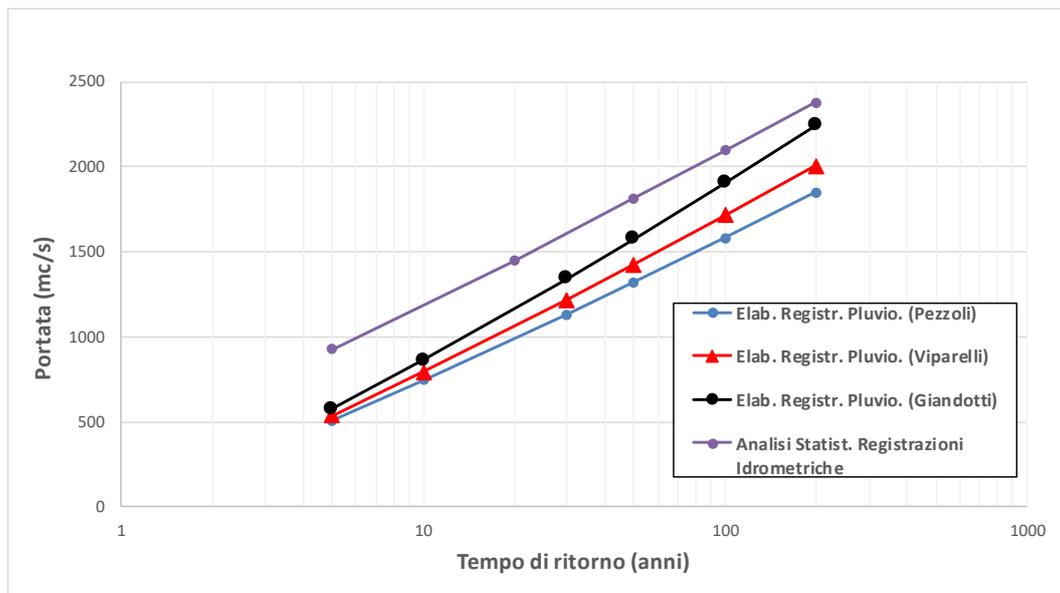


Figura 10 –Valori delle portate al colmo per il fiume Alcantara: elaborazione statistica registrazione pluviometriche (metodo razionale) vs analisi statistica misure idrometriche.

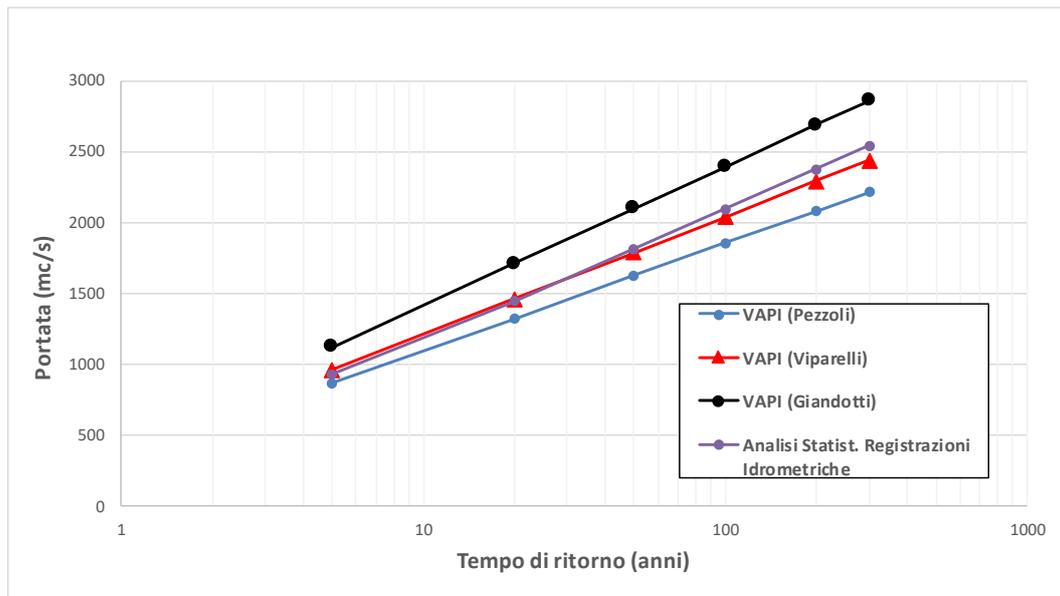


Figura 11 –Valori delle portate al colmo per il fiume Alcantara: VAPI (metodo Giandotti) vs analisi statistica misure idrometriche.

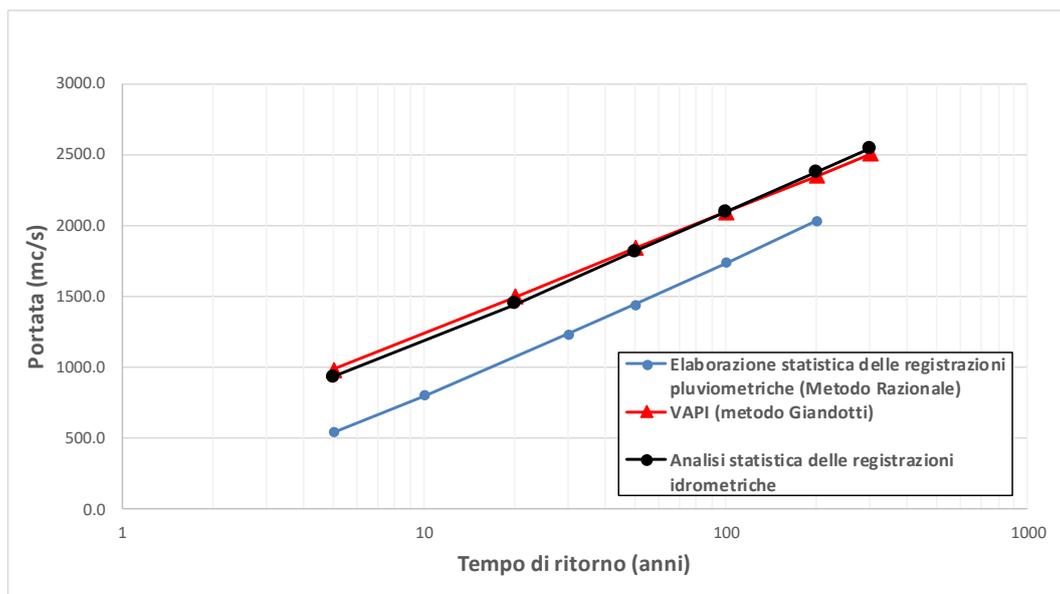


Figura 12 –Valori “medi” delle portate al colmo per il fiume Alcantara: elaborazione statistica registrazione pluviometriche (metodo razionale), VAPI (metodo Giandotti) e analisi statistica misure idrometriche.

Come è possibile osservare dai grafici precedenti, per tutti i tempi di ritorno i risultati ottenuti con il VAPI (metodo di Giandotti), relativamente alla formulazione di Viparelli per il calcolo del tempo di corrivazione (τ_c) e ai valori medi di portata (derivanti dalla media dei valori ottenuti con le varie relazioni per il calcolo di τ_c), e tramite l'analisi statistica delle registrazioni di portata sono pressoché coincidenti. Le portate ricavate con il metodo cinematico sulla base dell'elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche più recenti (2002) rispetto a quelle utilizzate nelle elaborazioni del progetto VAPI (1993) sono inferiori a quelle ricavate con le altre due metodologie.

Sulla base dei risultati ottenuti si è scelto di far riferimento per le verifiche idrauliche delle opere in progetto ai valori delle portate al colmo ottenuti con l'analisi statistica delle registrazioni idrometriche (stima diretta).

4.6 DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

Al fine di ricavare gli idrogrammi di piena alla sezione di interesse è stato applicato il software URBIS, realizzato Centro Studi Idraulica Urbana, che consente di simulare i fenomeni di formazione, propagazione e controllo degli idrogrammi di piena che si sviluppano in bacini urbani o naturali, per effetto di precipitazioni reali o di progetto.

Sono stati assunti i seguenti dati di input:

- LEGGE DI PIOGGIA (Metodo VAPI):
a = 39
n = 0.37
tc = 6.99 h (Giandotti)
- IETOGRAMMA (Chicago) con r = 0.5 (posizione del picco centrale)
- IDROGRAMMA (Modello di Nash):
N = 2
k = 0.7*tc = 4.9 h

Il coefficiente di deflusso è stato calibrato in modo tale che i valori delle portate al colmo degli idrogrammi così ottenuti fossero pari, per i diversi tempi di ritorno, ai valori ricavati mediante l'analisi statistica delle misure idrometriche (si veda paragrafo 4.5.3).

I valori dei coefficienti di deflusso C così ottenuti sono riportati alla tabella seguente:

<i>TR</i> <i>anni</i>	<i>C</i> <i>anni</i>
30	0.855
100	0.877
200	0.885
300	0.890

Tabella 18 – Valori dei coefficienti di deflusso utilizzati per ricavare gli idrogrammi di piena.

In Figura 13 sono riportati gli idrogrammi di piena impiegati come input nel modello idraulico bidimensionale sviluppato.

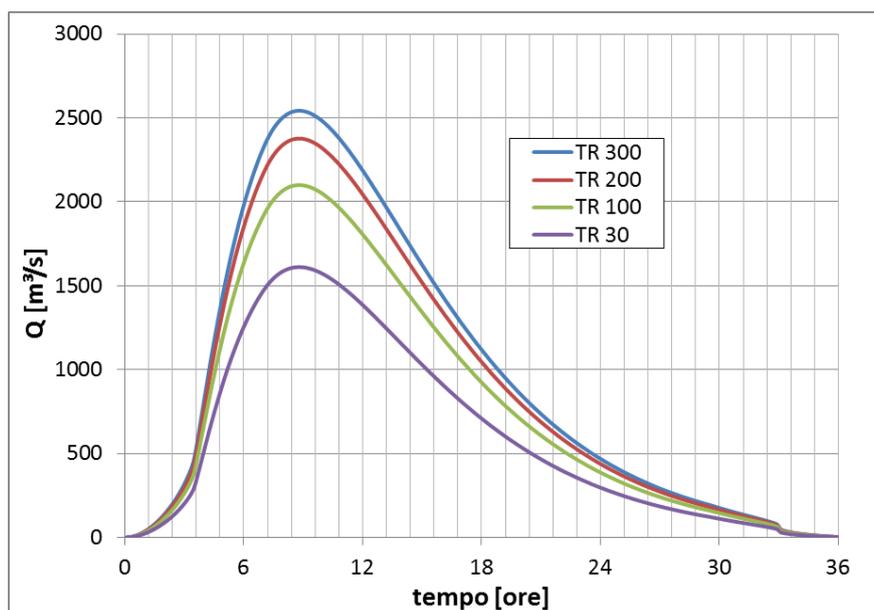


Figura 13 – Idrogrammi di piena del F. Alcantara alla sezione di interesse, per diversi tempi di ritorno.

4.7 OPERE PROVVISORIE

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

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

L'assegnazione del periodo di ritorno T_r per provvedere al dimensionamento di un'opera idraulica, e quindi al controllo di un definito evento limite, comporta dunque l'assunzione di un parimente definito grado di rischio. La misura del rischio cui l'opera è esposta può calcolarsi definendo, prefissato T_r , la durata della vita dell'opera; o meglio, la durata delle vite dell'opera: per esempio, l'opera fondamentale, prima; quelle provvisoriale, poi.

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

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

In accordo con le specifiche tecniche ITALFERR per i ponti ferroviari, il tempo di ritorno di progetto per le piene dei corsi d'acqua attraversati dalla ferrovia viene fissato nei valori:

- $T_r = 300$ anni per $S \geq 10 \text{ km}^2$
- $T_r = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$

dove S = superficie del bacino idrografico sotteso dalla sezione idraulica.

Fissata in $N = 100$ anni la durata della vita delle opere principali, il rischio che possano essere superati gli eventi di riferimento vale rispettivamente:

- $R(100) = 0.284$ per $T_r = 300$ anni
- $R(100) = 0.394$ per $T_r = 200$ anni

Per il dimensionamento delle opere provvisoriale necessarie alla costruzione delle fondazioni degli attraversamenti (pile in alveo), assunta una durata della fase transitoria pari a $N = 1 \div 2$ anni, il tempo di ritorno di riferimento da adottare per il calcolo delle portate di piena durante le fasi di cantiere viene determinato mediante la relazione precedente, una volta accettato il medesimo grado di rischio calcolato per le opere principali. Si avrà pertanto:

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

dalla quale risulta:

- $Tr = 5.0$ anni per $R(1.5) = 0.284$
- $Tr = 3.6$ anni per $R(1.5) = 0.394$

Il tempo di ritorno con il quale si procederà al calcolo delle portate di piena per il dimensionamento delle opere provvisionali sarà pertanto $Tr = 5$ anni.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori al picco per il fiume Alcantara per Tr pari a 5 anni, secondo quanto esposto ai capitoli precedenti.

Medodo	Q_{max} m^3/s
Cinematico	1244
VAPI	982
Analisi statistica	928

Tabella 19 - Portate di picco per la fase provvisoria ($Tr = 5$ anni).

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.
- ADIS . *Linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica*. Articolo 47 delle NTA del PAI della Regione Sardegna, 2008.
- Armanini A., *Problemi di debris flow nelle sistemazioni idrauliche*, Atti del Seminario su “Nuovi sviluppi applicativi dell'idraulica dei corsi d'acqua”, Bressanone, 1997.
- Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.
- Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.
- Da Deppo L., Datei C., *Fognature*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2005.
- Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.
- Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.
- Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.
- Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.



**LINEA MESSINA - CATANIA
RADDOPPIO GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO**

STUDIO IDRAULICO SUL FIUME ALCANTARA
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 00 RI	ID 00.01.001	C	46 di 46

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Nigrelli G., Luino F., *Breve nota sulle variabili meteorologiche e territoriali da considerare per studiare i muddy-debris flows ed i soil slip*, IRPI CNR, 2008.

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

Infrastrutture ferroviarie strategiche definite dalla Legge Obiettivo n. 443/01, *Raddoppio Messina-Catania Tratta Giampileri-Fiumefreddo – Progetto Preliminare - Relazione Idrologica*, 2003.

Studi idrogeologici, idraulici e geologici di 5 siti instabili, *Linea Catania-Messina Tratta Ali-Galati – Studio idrologico-idraulico - Relazione Idrologica*, 2010.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale*, 2004.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) - Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del F. Alcantara (095) – Relazione*, 2006.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del Fiume Alcantara (096) – Relazione*, 2006.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) - Area tra Fiume Alcantara e Fiumara d'Agrò (097) – Bacino idrografico della Fiumara d'Agrò ed area tra Fiumara d'Agrò e Torrente Savoca (098) – Relazione*, 2006.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del T.te Savoca (099) – Bacino idrografico del T.te Pagliara e area intermedia T.te Pagliara e T.te Fiumedinisi (100) – Relazione*, 2006.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del Torrente Fiumedinisi (101) – Relazione*, 2006.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) - Area Territoriale tra il bacino del Torrente Fiumedinisi e Capo Peloro (102) – Relazione*, 2006.

Regione Siciliana, Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), *Annali Idrologici*, disponibili presso www.osservatorioacque.it.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer, pp. 84-146, 2003.

Takahashi T., *Debris flow*, IAHR Monograph Series, A.A. Balkema, Rotterdam-Brookfield, 1991.

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