



PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

 <p>IL PROGETTISTA Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n°20355</p>  <p>Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n°15408</p>	<p>IL CONTRAENTE GENERALE Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
---	--	---	--

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA <i>Tipo di sistema</i> CENTRO DIREZIONALE <i>Raggruppamento di opere/attività</i> OPERE CIVILI EDILI <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> GENERALE <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>CD0003_F0</p>
--	------------------

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	C	C	D	1	C	G	0	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	B. LO GIUDICE	F. BERTONI	F. COLLA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

INDICE

INDICE	3
Premessa e dati di base.....	5
1 Bacini idrografici sottesi	6
2 Stazioni pluviometriche di riferimento.....	8
Analisi delle precipitazioni	11
3 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica.....	11
3.1 Regressione statistica diretta dei massimi orari e pluriorari.....	11
3.2 Modello di regionalizzazione VA.PI.....	17
3.3 Curve di possibilità pluviometrica di riferimento.....	21
4 Eventi di precipitazione di durata inferiore all'ora	24
5 Spazializzazione dell'informazione pluviometrica	30
Acque di piattaforma	34
6 CPP di progetto per le acque di piattaforma.....	34
6.1 Versante Calabria	34
Portate di piena.....	38
7 Metodologia di analisi	38
7.1 Caratteristiche fisiche e idrologiche dei bacini sottesi.....	38
7.2 Modello di trasformazione afflussi-deflussi.....	43
8 Tombini idraulici in progetto	45
8.1 Tombino rampa 2.....	46
8.1.1 Intervento in progetto	46
8.1.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	47
8.1.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto	47
8.1.4 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto	48
8.1.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento	49
8.1.6 Verifica in termini di velocità	49
8.1.7 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante	50
9 Idraulica di versante.....	51

9.1	Analisi idrologica.....	51
9.1.1	Delimitazione e caratterizzazione fisiografica delle superfici scolanti	51
9.1.2	Determinazione del tempo di corrivazione	52
9.1.3	Determinazione del coefficiente di deflusso	53
9.1.4	Determinazione delle portate di piena a tempo di ritorno 100 anni (metodo razionale) 55	
9.2	Analisi idraulica.....	55
9.2.1	Centro Direzionale	56

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Stazioni pluviometriche: dati disponibili e rappresentazione delle curve di regressione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Premessa e dati di base

Il presente documento costituisce la relazione idrologico - idraulica del Progetto Definitivo del Ponte sullo Stretto di Messina, relativamente al Centro Direzionale ubicato sul versante Calabria, con riferimento sia alla problematica di smaltimento delle acque di piattaforma, che alla definizione delle portate di piena di progetto dei bacini residui interferenti con le opere.

L'area oggetto di intervento, non presenta interferenze effettive con l'idrografia superficiale, ma essa risulta interclusa tra i corsi d'acqua fosso via Galliano e torrente Femia. Pertanto, le opere in progetto intercettano esclusivamente porzioni di bacino residuo che dovranno essere drenate attraverso apposite canalizzazioni o manufatti di attraversamento delle aree del centro direzionale e delle opere autostradali in progetto.

Questi corpi idrici, di estensione modesta, presentano bacini imbriferi sottesi di superficie spesso inferiore al km², e comunque mai superiore a 5 km² - e generalmente di regime idrologico discontinuo, ovvero con presenza di deflussi direttamente correlata all'accadimento di eventi meteorologici.

Nessuno di essi è pertanto classificabile come corso d'acqua principale; inoltre, in ragione delle loro caratteristiche, non sono presenti stazioni idrometriche utili per una determinazione diretta delle portate di progetto.

In accordo con quanto previsto dalle Specifiche Tecniche si è pertanto proceduto alla stesura di uno studio idrologico, articolato come segue.

- Delimitazione dei bacini imbriferi sottesi dalle sezioni di interesse, determinazione delle caratteristiche fisiografiche e morfologiche necessarie per le successive elaborazioni.
- Individuazione delle stazioni pluviometriche disponibili nell'area in esame e di caratteristiche idonee per lo studio; reperimento dei dati di misura aggiornati.
- Analisi statistica delle serie storiche dei massimi di precipitazione di assegnata durata, con confronto di diverse distribuzioni di probabilità e modalità di regressione; scelta della metodologia più affidabile e cautelativa.
- Regionalizzazione delle informazioni idrologiche disponibili, così da poter definire i parametri di progetto per ciascun punto dell'area in esame.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di riferimento per il calcolo delle portate meteoriche afferenti al sistema di collettamento e smaltimento delle acque di piattaforma.
- Determinazione delle portate di piena di progetto in corrispondenza delle sezioni di interesse.

Nei capitoli che seguono vengono descritte in dettaglio le attività svolte ed i risultati ottenuti. Per l'individuazione dei bacini idrografici e del reticolo di deflusso principale, l'ubicazione delle stazioni pluviometriche di riferimento ed una sintesi dei parametri caratteristici di ciascun bacino si rimanda agli elaborati grafici specifici, ovvero la *Corografia idraulica generale* (in scala 1:25.000) e le *Carte dei bacini idrografici* (in scala 1:5.000).

1 Bacini idrografici sottesi

Il centro direzionale risulta intercluso tra due corpi idrici significativi; complessivamente sono state definite 2 sezioni di chiusura di interesse, relativamente alle quali sono stati delimitati i bacini sottesi e determinate le relative caratteristiche morfologiche e fisiografiche (v. Tabella 1.1).

identificativo bacino		parametri principali bacino			fisiografia [m s.m.]		
codice	nome corpo idrico significativo	A [km ²]	L [m]	i_{med} [m/m]	Hmin	Hmax	Hmed
10M.0	FOSSO VIA GALLIANO	0,0938	300	0,243	83	156	122,8
10V.0	FOSSO VIA GALLIANO	0,1864	660	0,159	51	156	98,7
11M.0	T. FEMIA	0,1010	330	0,136	86	131	107,3
11V.0	T. FEMIA	0,1912	800	0,129	28	131	86,7

Tabella 1.1 - Principali parametri morfologici e fisiografici dei bacini. A: superficie totale sottesa, L: lunghezza dell'asta principale, i_{med} : pendenza media dell'asta principale, H_{min} , H_{max} , H_{med} : rispettivamente, quote altimetriche minima, media e massima del bacino.

I bacini (e le corrispondenti sezioni di chiusura) sono stati denominati nella mediante un codice che contiene informazioni sia sul numero progressivo che sulla gerarchia, strutturato nella forma:

$$nnX.m1.m2,$$

dove:

nn è un numero progressivo, a partire dall'estremità Nord-Est dell'area in esame;

X è pari a "M" se la sezione di chiusura è a monte dell'asse del raccordo autostradale in progetto; "V" se è ubicata a valle di quest'ultimo;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$m1$ è pari a 0 se la sezione è sull'asta principale del corpo idrico significativo (a valle dell'eventuale confluenza di due rami di uguale ordine/importanza); pari a 1, 2,... in caso la sezione sia ubicata su uno di più rami di uguale ordine/importanza del corpo idrico;

$m2$ è presente qualora la sezione sia ubicata su un affluente minore di un ramo del corpo idrico significativo ed è pari a 1, 2,... (numero progressivo dell'affluente).

La perimetrazione dei bacini è stata effettuata sulla cartografia tecnica in scala 1:10.000, affinando il tracciamento sulla base del rilievo di dettaglio in scala 1:1.000, dove disponibile. Sulla medesima base è stato definito il tracciato del reticolo idrografico principale, anch'esso riportato negli elaborati grafici citati in precedenza.

In funzione del rilievo di dettaglio e delle risultanze degli specifici sopralluoghi effettuati è stato possibile affinare la conoscenza relativa alle modificazioni antropiche della rete naturale di drenaggio, la quale in diversi tratti risulta tombata o adibita a viabilità locale, definendo così con maggiore precisione anche l'estensione della superficie contribuente afferente a ciascuna sezione di chiusura. La rappresentazione grafica del reticolo (nelle tavole annesse) evidenzia con un tratteggio i tratti tombati più significativi.

Le principali caratteristiche fisiografiche e morfologiche dei bacini (quote altimetriche, pendenza media dell'asta) sono state determinate grazie all'utilizzo di un modello digitale del terreno (DEM) a maglia 20x20 m, realizzato dalla Regione Calabria e rappresentato in Figura 1.1.

La lunghezza dell'asta principale L e la sua pendenza media i_{med} sono definite funzionalmente alle elaborazioni idrologiche eseguite. In particolare, L corrisponde alla distanza che una goccia di pioggia caduta nel punto del bacino idraulicamente più distante dalla sezione di chiusura percorre per raggiungere quest'ultima; i_{med} è una pendenza di riferimento, valutata cautelativamente¹ come differenza tra le quote massima e minima del bacino rapportata alla lunghezza L .

¹ In quanto una maggior pendenza produce una maggior concentrazione dei deflussi e quindi una portata al colmo di piena più elevata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

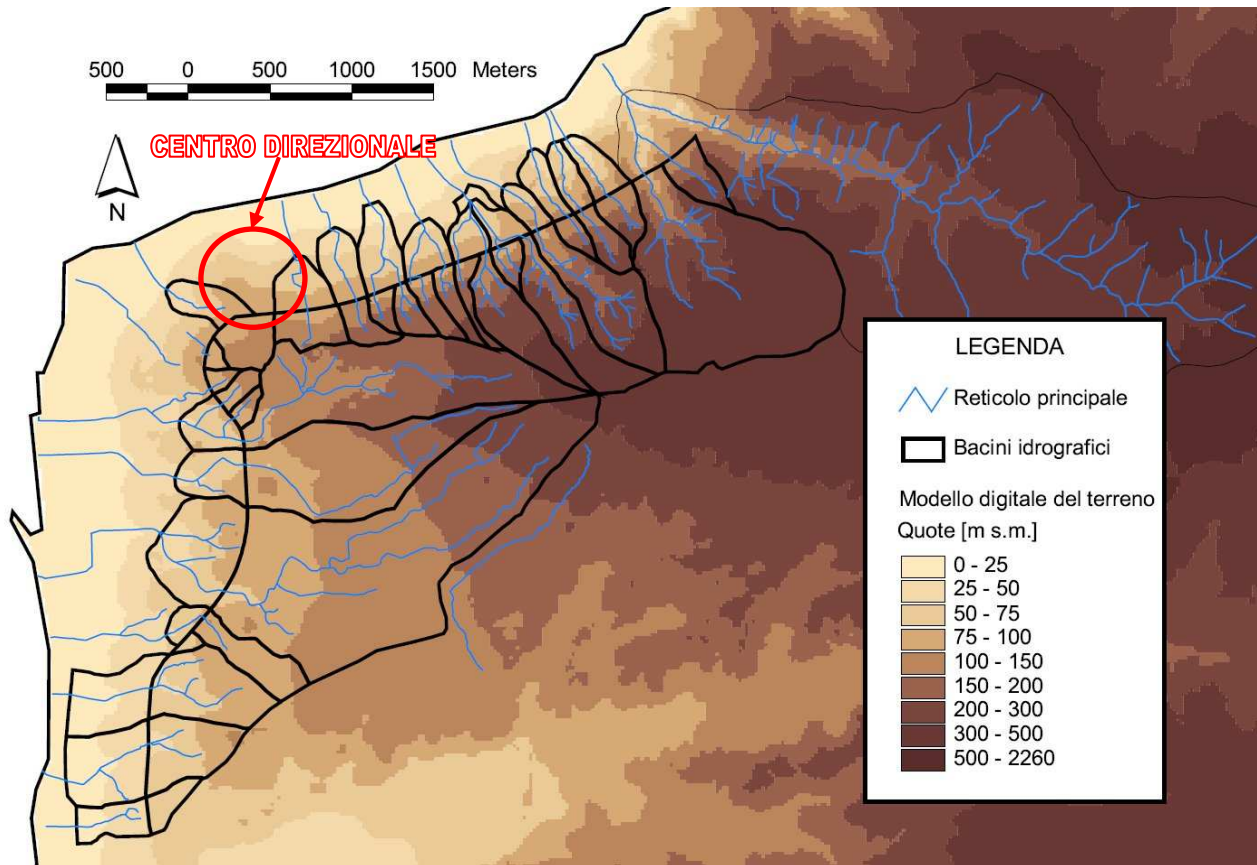


Figura 1.1 - Delimitazione dei bacini e reticolo principale su modello digitale del terreno.

Per maggiori dettagli relativamente alle caratteristiche del reticolo idrografico si rimanda agli elaborati descrittivi dello stato attuale dei luoghi riscontrato nell'ambito dei sopralluoghi e dalle indagini svolte (in particolare: *Stato di fatto – Rapporto tecnico* e *Stato di fatto – Raccolta schede monografiche*).

L'analisi completa dei bacini idrografici è stata sviluppata nel dettaglio nell'elaborato *Relazione Idrologica generale – Calabria*.

2 Stazioni pluviometriche di riferimento

Come già detto in precedenza, non sono disponibili nei bacini in esame stazioni idrometriche che consentano una stima diretta delle portate di progetto. Vi sono tuttavia diverse stazioni di registrazione delle precipitazioni, alcune dotate di serie storiche piuttosto estese (in quanto appartenenti alla rete in passato gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale –

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

S.I.M.N.), altre relativamente recenti.

Le stazioni fanno parte del sistema di monitoraggio attualmente gestito dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile regionale; alcune di esse sono strumentate in modo da fornire i dati in tempo reale (consultabili mediante applicativo webGIS).

In particolare sono state individuate 5 stazioni di interesse per il presente studio, elencate di seguito, le quali registrano la precipitazione con frequenza almeno oraria (rendendo pertanto possibile l'analisi dei massimi di precipitazione per brevi durate) e sono ubicate in prossimità dell'area in esame. Le serie storiche di tali stazioni sono state desunte dagli Annali Idrologici pubblicati dal S.I.M.N., mentre sono stati acquisiti dal Centro Funzionale gli aggiornamenti più recenti disponibili (anno 2009).

- [P4]: Villa San Giovanni (1928-1977, 30 anni di osservazioni disponibili);
- [P5]: Scilla (1991-2009, 19 anni di osservazioni disponibili) ;
- [P6]: Gambarie d'Aspromonte (1948-2009, 36 anni di osservazioni disponibili);
- [P7]: Reggio di Calabria (1918-2009, 55 anni di osservazioni disponibili);
- [P8]: Arasì (1960-2009, 27 anni di osservazioni disponibili).

Il codice riportato prima di ciascuna stazione è un numero progressivo identificativo di ciascun pluviometro, utilizzato come riferimento per le successive elaborazioni idrologiche.

Per l'ubicazione delle stazioni si rimanda all'elaborato grafico *Corografia idraulica generale*. In Tabella 2.1 sono invece riportate le informazioni anagrafiche delle stazioni, tra cui il codice ufficiale attribuito dal Centro Funzionale. Le stazioni risultano tutte attive, ad eccezione di quella di Villa S. Giovanni, la quale ha smesso di funzionare nel 1977. Essa è stata comunque considerata nelle elaborazioni, in quanto è l'unica ubicata all'interno dell'area interessata dalle opere in progetto e dispone di una serie storica piuttosto estesa (30 anni).

codice	nome stazione	quota [m s.m.]	comune	attiva	max orari e pluriorari	max < 1 ora
2500	Villa S. Giovanni	4	Villa S. Giovanni	no	sì	no
2510	Scilla	73	Scilla	sì	sì	sì
2470	Gambarie d'Aspromonte	1200	Scilla	sì	sì	sì
2450	Reggio di Calabria	15	Reggio Calabria	sì	sì	sì

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

codice	nome stazione	quota [m s.m.]	comune	attiva	max orari e pluriorari	max < 1 ora
2460	Arasi	573	Reggio Calabria	sì	sì	sì

Tabella 2.1 - Anagrafica delle stazioni pluviometriche considerate.

Le stazioni considerate risultano ben distribuite per quanto riguarda la possibilità di descrivere correttamente il regime pluviometrico dell'area di interesse, essendo una all'interno di quest'ultima e le altre ben spaziate in tutte le direzioni (verso la terraferma) in una fascia esterna di distanza compresa tra 5 e 15 km.

Le serie storiche sono sufficientemente estese (da 19 a 55 anni di osservazione) da consentire una analisi statistica diretta piuttosto robusta e affidabile. Per tutti i pluviometri considerati sono disponibili le registrazioni dei massimi annuali di precipitazione su brevi durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore), sia nel periodo storico che recente.

Per quanto riguarda gli eventi di durata inferiore, i dati sono invece assai più scarsi. Relativamente al periodo storico, per Villa S.Giovanni e Gambarie sono riportati negli annali gli scrosci di intensità eccezionale, relativi soprattutto a durate di 5 o 10 minuti, con alcuni eventi di durata superiore (fino a 30 minuti). Nel periodo più recente (dal 2001) i dati sono forniti con frequenza pari a 20 minuti, per cui è possibile determinare i valori massimi annui relativi a durate di 20 e 40 minuti. Tra il 1991 e il 2000 sono disponibili per Scilla, Reggio e Gambarie i massimi per 15, 20 e 30 minuti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Analisi delle precipitazioni

Per ciascuna delle stazioni pluviometriche individuate nel capitolo precedente sono state condotte analisi di regressione statistica, secondo diverse metodologie e applicando differenti distribuzioni probabilistiche, finalizzate a caratterizzare l'entità dell'evento critico associato ad un determinato tempo di ritorno e una data durata.

Per l'adattamento alle serie dei massimi annuali di precipitazione di durata oraria e plurioraria, e in generale per la descrizione degli eventi intensi, si è fatto riferimento alle distribuzioni GEV (Generalized Extreme Value) di tipo I (Gumbel), Log-Normale e TCEV, scegliendo quindi, a seguito di analisi critica supportata anche dall'applicazione di test statistici di adattamento, la procedura che garantisce una descrizione più affidabile e cautelativa.

A partire dalle curve di possibilità pluviometrica (CPP) definite per le durate pari o superiori all'ora, sono poi state ricavate le analoghe curve valide per durate inferiori, di particolare interesse per il presente studio idrologico, mediante una metodologia basata su osservazioni empiriche.

I parametri pluviometrici di riferimento definiti puntualmente sulle singole stazioni sono successivamente stati spazializzati con procedure di regionalizzazione locale, in modo da poter definire le CPP di progetto in ciascun punto dell'area di interesse.

3 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica

3.1 Regressione statistica diretta dei massimi orari e pluriorari

Per ciascuna stazione pluviometrica sono stati costruiti 5 campioni statistici costituiti dalle osservazioni dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Si è proceduto quindi ad una regolarizzazione statistica dei singoli campioni, verificando l'adattamento ai dati due distribuzioni probabilistiche tipiche, ovvero le già citate Gumbel e log-normale.

Le distribuzioni GEV sono state sviluppate proprio come curve generali di distribuzione asintotica (ovvero per dimensione del campione che tende a infinito) dei massimi di una serie; in particolare

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

quella di tipo I (Gumbel) è descrittiva della forma asintotica dei valori massimi di distribuzioni con decadimento esponenziale (ad esempio Gaussiana, esponenziale, log-normale, ecc.), e fornisce spesso un buon adattamento ai campioni di precipitazioni intense di breve durata.

La funzione di probabilità cumulata della distribuzione di Gumbel di una variabile aleatoria h (ad esempio l'altezza di pioggia) è esprimibile con la seguente [1], funzione di due parametri α e u :

$$P(h) = \exp(-\exp(-\alpha \cdot (h - u))). \quad [1]$$

I parametri della distribuzione possono essere stimati a partire dai dati campionari; in particolare nel caso in esame è stato utilizzato il metodo dei momenti, per cui α e u derivano dalla media $\mu(h)$ e dalla deviazione standard $\sigma(h)$ della serie secondo le seguenti:

$$\alpha = \frac{1,283}{\sigma(h)};$$

$$u = \mu(h) - 0,450 \cdot \sigma(h).$$

La distribuzione log-normale deriva dal considerare che il logaritmo naturale di una variabile aleatoria idrologica $y = \ln(h)$ abbia una distribuzione Gaussiana (o normale); essa a differenza delle GEV risulta quindi limitata inferiormente (non può assumere valori negativi), congruentemente con le grandezze fisiche che descrive.

La distribuzione di densità di probabilità di una log-normale a due parametri μ_y e σ_y è definita come segue:

$$p(h) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y \cdot h} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln h - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right). \quad [2]$$

Secondo il metodo dei momenti, i parametri della distribuzione possono essere stimati semplicemente come media e deviazione standard della serie di y , ovvero del logaritmo dei valori campionari.

Per tutte le serie in esame sono state quindi definite le distribuzioni Gumbel e log-normale che meglio regolarizzano il campione. Per scegliere la distribuzione più appropriata per le successive

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

elaborazioni sono stati applicati due noti test statistici di adattamento, ovvero il test di Smirnov-Kolmogorov (SK) e quello del Chi quadro (χ^2).

Il test SK valuta lo scostamento della frequenza cumulata del campione dalla probabilità cumulata teorica della distribuzione regolarizzata; esso deve risultare per tutti i valori compreso all'interno di un fuso di accettabilità, definito in funzione del livello di significatività del test.

Il test χ^2 invece consiste nel suddividere il campione in classi equiprobabili (in funzione della distribuzione di probabilità regolarizzata) e di valutare lo scostamento relativo tra la numerosità di dati in ciascuna classe ed il valore atteso. La variabile test che rappresenta tale scostamento risulta avere una distribuzione di tipo χ^2 , con gradi di libertà pari a $f=k-s-1$, dove k è il numero delle classi e s quello dei parametri della distribuzione indagata. Il test è superato con un dato livello di significatività se la variabile test è minore di un corrispondente valore critico.

In generale, per quanto riguarda l'analisi dei valori estremi di una serie, la scelta tra due distribuzioni non dovrebbe basarsi esclusivamente sui test di adattamento, in quanto diverse distribuzioni hanno forme simili nella loro parte centrale, ma differiscono molto nelle "code", ovvero nella stima degli eventi di minor probabilità di accadimento, che sono proprio quelli di interesse. Può capitare analogamente che una distribuzione appaia più "performante" in quanto più aderente ai dati "ordinari" (di maggiore numerosità), ma risulti poi meno soddisfacente di un'altra nella descrizione dei valori estremi.

I campioni in esame, nonostante la buona numerosità, non mostrano sempre frequenze compatibili con una distribuzione probabilistica classica di tipo "a campana", anche a causa della presenza di alcuni "outliers", ovvero valori marcatamente discosti dal resto del campione, i quali però non hanno motivo di dover essere scartati, derivando dalle medesime modalità di osservazione degli altri dati ed essendo riscontrati in tutte le stazioni, pur non per le stesse durate. Tale condizione è più ricorrente su durate maggiori (6-12 ore e talvolta sulle 24 ore); la Tabella 3.1 mostra a titolo di esempio la differenza di forma, per la medesima durata di 12 ore, tra la distribuzione di frequenza dei campioni di Scilla e di Villa S. Giovanni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

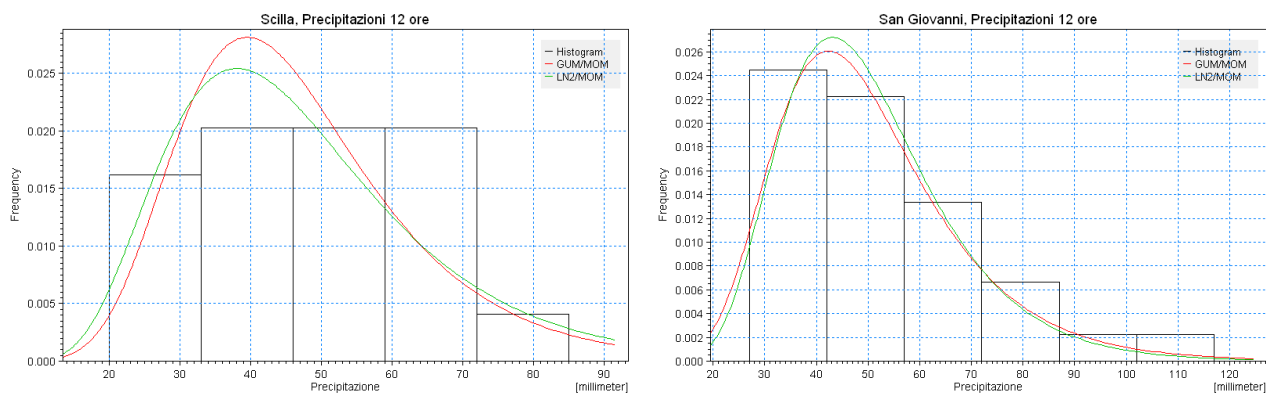


Figura 3.1 - Confronto tra distribuzioni di probabilità teoriche e frequenza delle osservazioni relativo a due campioni (Scilla e Villa S.Giovanni) per la durata di 12 ore.

In linea generale i test eseguiti non appaiono marcatamente a favore di alcuna delle due distribuzioni indagate.

Il test SK fornisce per tutti i campioni di tutte le stazioni il medesimo livello di significatività per entrambe le distribuzioni, pari al 25% (valore relativamente modesto).

Per quanto riguarda il test del χ^2 , a seconda dei campioni si ha la prevalenza della Gumbel o della log-normale; per omogeneità di trattazione e congruenza dei valori ottenuti è opportuna tuttavia la scelta di una distribuzione unica.

Considerando in particolare i campioni relativi alla durata di 1 ora, di maggiore interesse per il caso in esame (cfr. capitoli seguenti), per tutte le stazioni si ha la sostanziale equivalenza tra la bontà di adattamento delle due curve, tranne per Villa S. Giovanni dove si riscontra una modesta predominanza della log-normale. Dall'esame del cartogramma probabilistico (Figura 3.2) si nota però come la log-normale fornisca una migliore descrizione del campione nella porzione più bassa (tempi di ritorno inferiori a 5 anni, di scarso interesse per le finalità dello studio), mentre nella porzione superiore la Gumbel risulti più prossima ai dati misurati, e comunque più cautelativa.

È stata pertanto scelta come distribuzione probabilistica di riferimento, utilizzata per la regolarizzazione di tutti i campioni, la GEV di tipo 1 (Gumbel), congruentemente peraltro a quanto fatto in studi pregressi (DG87/03 - ANAS, 2010; cfr. capitolo 6). Per completezza in Figura 3.2 si riportano i cartogrammi relativi alla durata di 1 ora anche per le altre stazioni.

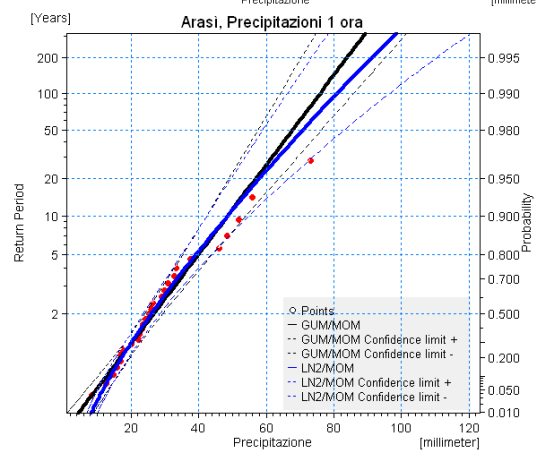
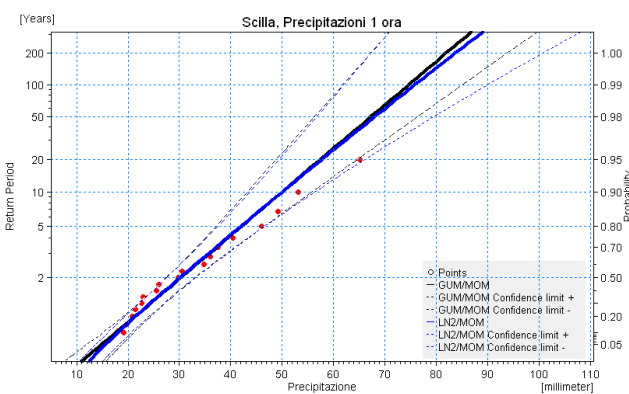
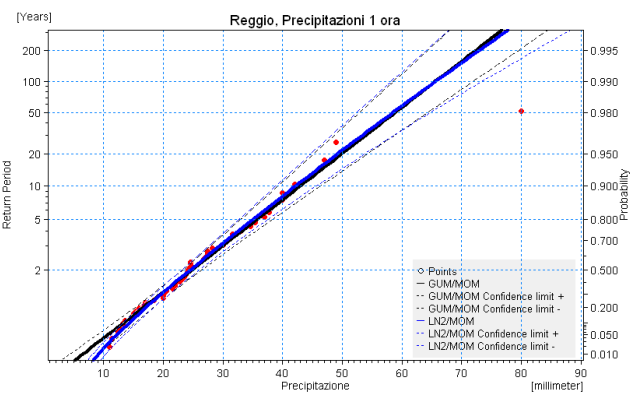
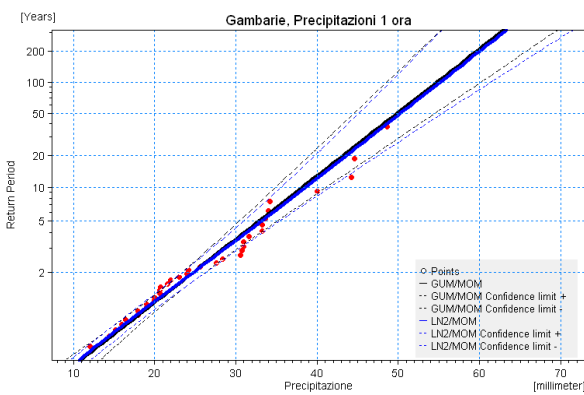
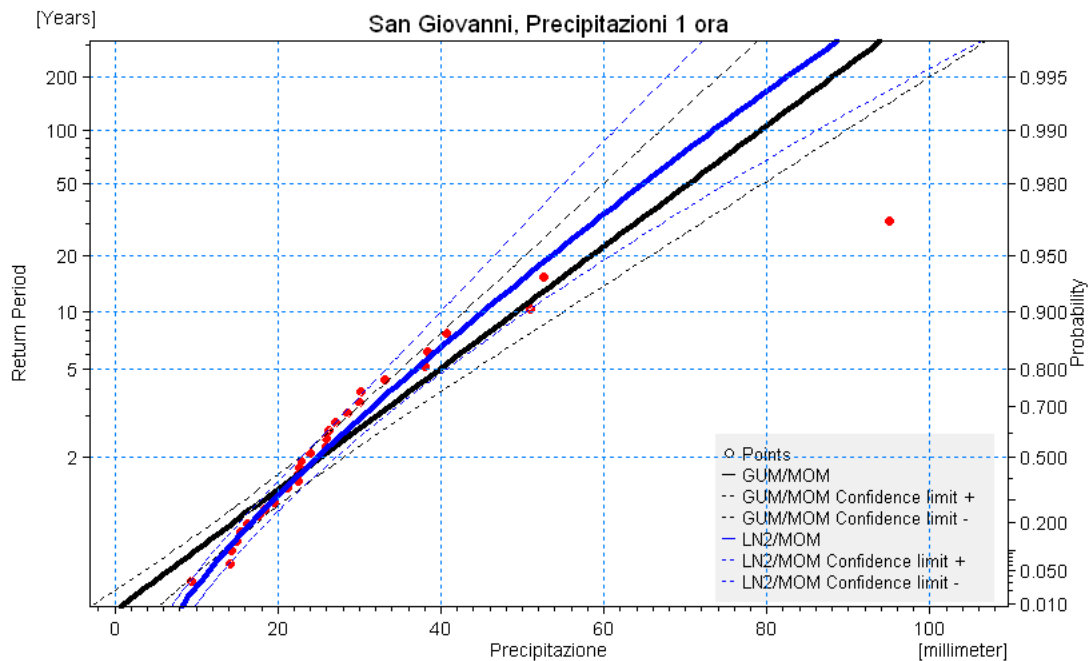


Figura 3.2 - Cartogrammi probabilistici per le serie di durata pari a 1 ora (in nero la distribuzione di Gumbel, in blu la log-normale).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0

La Tabella 3.1 riporta la media e la deviazione standard per ciascuna serie dei massimi di precipitazione; la Tabella 3.2 fornisce invece i valori dei parametri delle distribuzioni di Gumbel adattate a ciascun campione.

stazione	parametro	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Villa S.Giovanni	μ [mm]	27,96	38,67	44,60	50,45	59,15
	σ [mm]	16,34	19,64	18,88	18,11	22,78
Scilla	μ [mm]	32,43	39,51	43,52	47,12	55,33
	σ [mm]	13,45	16,15	16,14	16,78	25,95
Gambarie d'Aspromonte	μ [mm]	26,30	43,22	61,90	86,50	114,71
	σ [mm]	9,08	15,63	28,14	42,54	63,58
Reggio	μ [mm]	26,85	34,71	42,33	50,32	58,97
	σ [mm]	12,35	16,36	18,07	22,33	26,38
Arasi	μ [mm]	29,13	41,49	50,65	63,22	77,72
	σ [mm]	14,89	17,97	16,53	17,38	28,44

Tabella 3.1 - Media e deviazione standard campionarie per le varie durate.

stazione	parametro	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Villa S.Giovanni	α [mm]	0,079	0,065	0,068	0,071	0,056
	u [mm]	20,61	29,83	36,11	42,30	48,90
Scilla	α [mm]	0,095	0,079	0,079	0,076	0,049
	u [mm]	26,38	32,24	36,25	39,57	43,65
Gambarie d'Aspromonte	α [mm]	0,141	0,082	0,046	0,030	0,020
	u [mm]	22,22	36,18	49,24	67,35	86,09
Reggio	α [mm]	0,104	0,078	0,071	0,057	0,049
	u [mm]	21,29	27,35	34,19	40,27	47,10
Arasi	α [mm]	0,086	0,071	0,078	0,074	0,045
	u [mm]	22,43	33,40	43,22	55,40	64,92

Tabella 3.2 - Parametri della distribuzione di Gumbel per le varie durate.

La relazione che lega la funzione di probabilità cumulata P ed il tempo di ritorno TR è la seguente:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$$P(h) = 1 - \frac{1}{TR}$$

Essendo la $P(h)$ di Gumbel analiticamente nota ed invertibile, esplicitando la [1] si può ottenere una formula diretta per il calcolo di h [mm] in funzione di TR [anni]:

$$h(TR) = \frac{\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right]}{-\alpha} + u \quad [3]$$

3.2 Modello di regionalizzazione VA.PI.

Il Progetto VA.PI. sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (CNR-GNDCI), ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. In particolare ci si propone di individuare un modello di regionalizzazione sia dei parametri di precipitazione critica che delle portate di piena, così da poter definire dei valori di progetto anche in zone non coperte da un sufficiente sistema di monitoraggio.

Il modello VA.PI. si basa sulla distribuzione probabilistica TCEV (Two Component Extreme Value distribution), a quattro parametri, che considera i valori estremi di una data grandezza idrologica come provenienti da due diverse popolazioni, una di eventi "normali" e una di eventi "eccezionali", descritti da due diversi rami della curva.

In particolare la distribuzione di probabilità cumulata della TCEV è definita come:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}}$$

dove X è la variabile, x è un generico valore di X e i parametri indicano:

- Λ_1 e Λ_2 il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una data soglia, per ciascuna delle due popolazioni;
- Θ_1 e Θ_2 il valore medio dell'intensità degli eventi che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Se si pongono $\Theta^* = \Theta_1 / \Theta_2$ e $\Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta^*}$ si possono considerare i quattro parametri “ridotti” della distribuzione: Λ^* , Θ^* , Λ_1 e Θ_1 .

L'applicazione diretta di tale distribuzione alla regolarizzazione di un singolo campione puntuale (massimi di data durata per una certa stazione) non è stata effettuata in quanto ritenuta non significativa: l'elevato numero di parametri rende certamente agevole l'adattamento al campione, ma si perde il significato statistico e la congruenza tra le diverse durate. La procedura VA.PI. prevede infatti diversi livelli di regionalizzazione, in cui i parametri vengono stimati su scala territoriale ampia, utilizzando i dati provenienti da tutte le stazioni disponibili (così da supplire anche alla eventuale carenza di osservazioni su alcune stazioni) e definendone i valori in ragione delle caratteristiche complessive di aree omogenee, non della singola osservazione puntuale.

In particolare vengono considerati tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al primo livello: regioni omogenee rispetto ai parametri Λ^* e Θ^* , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria della distribuzione;
- al secondo livello: sottozone omogenee anche rispetto al parametro Θ_1 , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione della distribuzione;
- al terzo livello: sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro Λ_1 (e quindi della media della distribuzione) da alcune grandezze geografiche locali, quali ad esempio la quota, la distanza dal mare, l'orientamento dei versanti.

Per quanto riguarda la Calabria occorre fare riferimento al Rapporto Regionale *Valutazione delle piene in Calabria* (Versace et al., 1989) del citato Progetto VA.PI.

L'analisi condotta, per quanto attiene alle precipitazioni intense, è relativa ai massimi annuali di piogge giornaliere, il cui campione è stato costruito sulla base di tutte le stazioni del S.I.M.N. di Catanzaro attive nel periodo 1916-1987 e con una numerosità della serie almeno pari a 48 anni (53 stazioni, per un totale di 2624 anni stazione).

Per il primo livello di regionalizzazione è stata considerata l'intera Calabria quale zona pluviometrica omogenea rispetto ai parametri Λ^* e Θ^* , mentre per il secondo livello sono state definite tre sottozone, ovvero Tirrenica (di cui l'area in esame fa parte e di cui sono riportati i parametri della corrispondente distribuzione in Tabella 3.3), Centrale e Ionica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'approccio metodologico adottato nel progetto VA.PI. si basa su procedimenti probabilistici che consentono di determinare il valore massimo della variabile X considerata (intensità di pioggia per evento di durata definita, portata di piena, ecc.) associato ad un determinato tempo di ritorno T secondo la seguente relazione:

$$X_T = K_T \cdot m(X),$$

dove:

K_T è un coefficiente di crescita probabilistico funzione (con relazione unica all'interno di una stessa zona idrologicamente omogenea) del tempo di ritorno T;

$m(X)$ è la media della distribuzione della grandezza X (eventualmente stimabile in funzione delle osservazioni disponibili).

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata della variabile all'interno di una data sottozona omogenea, risulta univocamente determinata la relazione fra tempo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})} \quad [4]$$

SZO Tirrenica	$\theta_* = 2,154$	$\Lambda_* = 0,418$	$\Lambda_1 = 48,914$	$\eta = 5,173$
----------------------	--------------------	---------------------	----------------------	----------------

Tabella 3.3 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali di pioggia giornaliera secondo la regionalizzazione VA.PI. (secondo livello).

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della [4], per cui fissato un valore del tempo di ritorno si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione adottata tale relazione non è però analiticamente ottenibile, per cui sono stati ricavati numericamente i valori di K_T corrispondenti a determinati tempi di ritorno, riportati in Tabella 3.4.

TR (anni)	5	10	20	50	100	200
K_T (piogge)	1,22	1,45	1,69	2,04	2,32	2,60

Tabella 3.4 - Valori del coefficiente probabilistico di crescita per l'area in esame.

Relativamente alle piogge intense di breve durata (oraria o plurioraria), per cui non risulta

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

possibile un'analisi analoga vista la scarsa numerosità delle serie disponibili, lo studio assume che sia valida la medesima curva di crescita ricavata per le piogge giornaliere.

Il terzo livello di regionalizzazione, come già detto, consiste nell'individuazione di legami tra i valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano l'area di riferimento. Nel caso della Calabria è stata osservata, all'interno di aree omogenee, una buona relazione tra la media annuale dei massimi giornalieri di precipitazione e la quota. È stata pertanto suddivisa l'intera regione in 13 aree pluviometriche omogenee (APO), in ciascuna delle quali esiste una correlazione tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera $m(h_g)$ e la quota sul mare Z , del tipo:

$$\text{Log}[m(h_g)] = CZ + D, \quad [5]$$

in cui C e D sono due parametri variabili da area ad area. La zona di studio è interamente inclusa nell'APO T4, parte della SZO Tirrenica; i corrispondenti parametri sono forniti in Tabella 3.5.

Per quanto riguarda le piogge di breve durata, le informazioni disponibili presso le stazioni non sono tali da consentire una regionalizzazione statisticamente robusta dei parametri di pioggia, come già riscontrato per il secondo livello di regionalizzazione; lo studio osserva tuttavia come il rapporto

$$r = \frac{m[h_g]}{m[h(24)]}$$

tra i valori massimi giornalieri e quelli massimi su 24 ore relativi ad uno stesso periodo di funzionamento, comprendente cioè solo gli anni per cui sono disponibili entrambi i valori, vari molto poco passando da una stazione all'altra. Nel caso della Calabria in particolare r è distribuito normalmente, con media 0,875 e scarto quadratico medio 0,031.

Sulla base di questa osservazione, definendo un legame di tipo monomio tra altezza di pioggia e durata (valido sito per sito) del tipo $m[h(t)] = a t^n$, dove t [ore] è la durata e a , n i parametri della curva, ed ipotizzando che il valor medio dell'altezza d'acqua per evento di durata oraria $m[h(1)]$, ovvero a , sia costante per ciascuna APO, lo studio ritiene di poter utilizzare l'informazione ben più ampia disponibile sulle precipitazioni giornaliere [5] anche per sviluppare il terzo livello dell'analisi regionale delle piogge brevi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si ottiene pertanto:
$$n = \frac{CZ + D - \log r - \log a}{\log 24} \quad [6]$$

APO (codice e nome)		a	C	D
T4	Stretti	26,73	0,00028	1,736

Tabella 3.5 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali di pioggia giornaliera secondo la regionalizzazione VA.PI. (terzo livello).

In funzione di quanto esposto, risulta possibile definire, per ciascuna stazione pluviometrica considerata nel presente studio, i valori di riferimento di altezza di pioggia massima per assegnate durate e tempi di ritorno, nota la quota Z del sito (v. Tabella 2.1), applicando la [6] con i valori dei parametri di Tabella 3.5, ricavando le altezze medie $m[h(t)]$ per le durate di interesse e applicando i coefficienti di crescita di Tabella 3.4 per i tempi di ritorno considerati.

3.3 Curve di possibilità pluviometrica di riferimento

La Tabella 3.6 presenta un confronto tra le altezze di precipitazione relative a determinate durate e tempi di ritorno, stimate, in corrispondenza delle 5 stazioni pluviometriche considerate, utilizzando le metodologie di regressione statistica descritte nei paragrafi precedenti.

Si nota in particolare come le altezze d'acqua fornite dall'applicazione del modello VA.PI. risultino generalmente inferiori rispetto a quelle determinate mediante la regressione diretta con la distribuzione di Gumbel.

Più in dettaglio, i valori ottenuti dalla Gumbel sono inferiori solamente per la stazione di Gambarie, relativamente alla durata di un'ora (da -2% a -14%), e a quella di Arasì, per la durata di 6 ore e tempi di ritorno maggiori di 100 anni (da -3% a -6%).

Per tutte le altre stazioni e durate, esse risultano superiori, con differenze medie di circa +20% che giungono anche a sfiorare +30%, con scostamenti percentuali maggiori per la durata di 1 ora a Villa S.Giovanni, Scilla e Arasì, e per la durata di 24 ore a Gambarie e Reggio.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Stazione pluviometrica	modello di regressione	durata [ore]	altezze d'acqua [mm] per vari TR [anni]					
			5	10	20	50	100	200
Villa S. Giovanni	VA.PI. (TCEV)	1	32,6	38,8	45,2	54,5	62,0	69,5
		6	45,2	53,8	62,7	75,6	86,0	96,4
		24	58,3	69,3	80,7	97,4	110,8	124,2
	Gumbel	1	39,7	49,3	58,4	70,3	79,2	88,0
		6	58,2	69,2	79,8	93,5	103,8	114,0
		24	75,5	88,9	101,6	118,2	130,6	142,9
Scilla	VA.PI. (TCEV)	1	32,6	38,8	45,2	54,5	62,0	69,5
		6	46,4	55,1	64,3	77,6	88,2	98,9
		24	60,9	72,4	84,4	101,9	115,9	129,8
	Gumbel	1	42,1	50,0	57,5	67,3	74,6	81,9
		6	55,1	64,6	73,6	85,3	94,1	102,9
		24	74,0	89,2	103,7	122,6	136,7	150,8
Gambarie d'Aspromonte	VA.PI. (TCEV)	1	32,6	38,8	45,2	54,5	62,0	69,5
		6	69,9	83,0	96,8	116,8	132,9	148,9
		24	126,0	149,8	174,5	210,7	239,6	268,5
	Gumbel	1	32,8	38,1	43,2	49,8	54,8	59,7
		6	82,1	98,6	114,4	134,8	150,1	165,4
		24	160,4	197,6	233,3	279,5	314,1	348,5
Reggio di Calabria	VA.PI. (TCEV)	1	32,6	38,8	45,2	54,5	62,0	69,5
		6	45,4	54,0	62,9	75,9	86,4	96,8
		24	58,7	69,8	81,3	98,1	111,6	125,1
	Gumbel	1	35,7	43,0	49,9	58,9	65,6	72,3
		6	55,3	65,9	76,0	89,2	99,0	108,8
		24	77,9	93,4	108,2	127,3	141,7	156,0
Arasì	VA.PI. (TCEV)	1	32,6	38,8	45,2	54,5	62,0	69,5
		6	55,6	66,1	77,1	93,0	105,8	118,6
		24	84,1	100,0	116,5	140,6	159,9	179,2
	Gumbel	1	39,8	48,5	56,9	67,7	75,8	83,9
		6	62,5	72,2	81,5	93,5	102,5	111,4
		24	98,2	114,8	130,8	151,4	166,9	182,3

Tabella 3.6 - Confronto tra i valori di pioggia stimati sulle stazioni in esame per diverse durate e tempi di ritorno secondo le due metodologie di regressione trattate.

A conclusione dell'analisi svolta, le altezze d'acqua assunte come riferimento per il progetto sono quelle ottenute dalla regressione diretta mediante regolarizzazione della distribuzione di Gumbel, per i motivi elencati di seguito.

- Le osservazioni campionarie alla base delle elaborazioni sono estremamente aggiornate (anno 2009), mentre i dati alla base del metodo VA.PI. risalgono al periodo 1916-1987. Si

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

evidenzia peraltro come gli anni più recenti siano stati caratterizzati nei dintorni delle aree in esame da numerosi eventi idrogeologici di intensità particolarmente elevata.

- Per sopperire alla non elevata numerosità delle serie disponibili, a fronte di un'attività di regionalizzazione su ampia scala, la definizione dei parametri strutturali del modello VA.PI. è basata su un'analisi statistica dei massimi di pioggia giornalieri, ipotizzando poi di poter estendere i risultati ottenuti anche alle durate brevi (orarie e pluriorarie), le quali però appaiono in generale governate da dinamiche di tipo differente. La regressione delle serie aggiornate opera invece direttamente su campioni di buona numerosità dei massimi di pioggia di breve durata, fornendo in linea di principio risultati di maggiore attendibilità, considerando anche, come si vedrà in seguito, che le durate critiche di pioggia per le opere in progetto risultano addirittura inferiori all'ora.
- L'utilizzo delle altezze di pioggia derivate dalla regressione diretta risulta in generale cautelativo (cfr. Tabella 3.6).

A partire dalle altezze di pioggia critica così determinate, è possibile definire in modo sintetico i parametri di progetto grazie all'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica (CPP), le quali per un assegnato tempo di ritorno legano la durata della precipitazione d con l'altezza d'acqua $h(t)$. Per le finalità del presente studio è stata adottata la classica formula monomia, del tipo $h(t)=a \cdot t^n$, con a , n parametri della curva.

Rappresentando i valori di $h(t)$ su un piano bi-logaritmico (avente sugli assi le grandezze $\ln(h)$ e $\ln(t)$), la validità di questa relazione presuppone che i punti associati ad un medesimo tempo di ritorno TR risultino giacere con buona approssimazione su una retta. I coefficienti di quest'ultima, determinabili mediante una regressione lineare con il metodo dei minimi quadrati, permettono di ricavare i parametri $a(TR)$, $n(TR)$.

Noti tali parametri, l'applicazione della CPP consente il calcolo dell'altezza d'acqua associata ad un dato tempo di ritorno per una qualsiasi durata dell'evento.

La Tabella 3.7 riporta i risultati ottenuti.

In allegato 1 è fornita una rappresentazione grafica delle curve, a confronto con le osservazioni registrate presso le varie stazioni (cfr anche capitolo 6).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

stazione	parametro	tempo di ritorno TR [anni]					
		5	10	30	50	100	200
Villa S. Giovanni	a [mm/h ⁿ]	40,81	50,54	65,25	71,97	81,04	90,07
	n [-]	0,192	0,173	0,153	0,147	0,140	0,134
Scilla	a [mm/h ⁿ]	41,81	49,33	60,69	65,88	72,88	79,86
	n [-]	0,164	0,165	0,167	0,167	0,168	0,168
Gambarie	a [mm/h ⁿ]	32,43	37,46	45,09	48,59	53,30	58,00
	n [-]	0,508	0,527	0,547	0,554	0,561	0,567
Reggio di Calabria	a [mm/h ⁿ]	35,62	42,84	53,74	58,72	65,43	72,12
	n [-]	0,247	0,245	0,244	0,243	0,242	0,242
Arasi	a [mm/h ⁿ]	39,48	47,76	60,27	65,98	73,67	81,34
	n [-]	0,275	0,257	0,239	0,233	0,225	0,220

Tabella 3.7 - Parametri delle curve pluviometriche di riferimento presso le stazioni in esame.

4 Eventi di precipitazione di durata inferiore all'ora

Per il dimensionamento delle opere in progetto (reti di drenaggio e collettamento delle acque di pioggia) gli eventi idrologici critici da considerare sono associati a fenomeni di precipitazione intensa di durata inferiore all'ora.

I parametri di precipitazione di riferimento disponibili, determinati nel paragrafo 3.3, sono invece ottenuti da regressioni statistiche su registrazioni di eventi di durata pari o superiore all'ora (1, 3, 6, 12 e 24 ore). L'utilizzo di tali parametri per tempi di pioggia più brevi (eventi governati da dinamiche idrologiche differenti) può portare ad una errata valutazione delle intensità di precipitazione e pertanto delle altezze d'acqua considerate in progetto.

Presso le stazioni pluviometriche considerate sono disponibili alcuni dati relativi a questa tipologia di eventi; essi risultano tuttavia di numerosità non sufficiente per poter condurre un'affidabile inferenza statistica che consenta di definire i parametri di progetto. Si è fatto pertanto riferimento a metodologie di stima derivanti da esperienze di tipo empirico, utilizzando poi i dati disponibili per verificarne l'attendibilità nel caso in esame.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In letteratura sono infatti disponibili numerosi studi ed esperienze che mostrano come le altezze d'acqua massime associate ad eventi di brevissima durata siano correlate a quelle determinate per tempi di pioggia di un'ora secondo uno schema tipico.

Più in dettaglio, definendo il parametro $\rho(t) = h(t)/h(1)$, ovvero il rapporto tra l'altezza di pioggia per durata t e quella per durata di 1 ora, è stato notato (Bell, 1969; Goswami, 1973) come esso risulti poco dipendente dalla località considerata, fintantoché si considerino durate brevi ($t < 2$ ore).

In particolare Bell² (1969) ha osservato come i valori medi di tale parametro variassero in misura modesta tra serie storiche registrate negli Stati Uniti, in Australia e nell'ex Unione Sovietica. Sulla base di questi risultati, l'Autore ha ricavato una formula per la stima del parametro ρ :

$$\rho(t) = 0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50,$$

con t espressa in minuti.

Ad analoghe conclusioni sono pervenuti altri Autori, analizzando serie di dati relative a diverse regioni del mondo, ad esempio Goswami³ (1973) relativamente alle precipitazioni in India, o Jennings⁴ (1950) e Hershfield ed Engman (1981), nell'ambito di uno studio per una *curva inviluppo delle massime piogge osservate nel mondo*.

Per quanto riguarda il territorio italiano, il parametro $\rho(t)$ è stato calcolato in alcuni studi disponibili in letteratura; si segnalano in particolare (per significatività dei dati) quelli relativi al pluviometro di Roma Macao, su un campione di 8 anni (Domanico⁵, 1986 e Calenda et al.⁶, 1993), e a quello di

² Bell, F.C., 1969. *Generalized rainfall-duration-frequency relationship* – Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol.95, n.HY1, pp.311-327.

³ Goswami, A. C. (1973). *Short duration rainfall depth-duration-frequency map of India* – Decision with inadequate hydrologic data, Proceedings of the second Symposium on Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, pp.48-56.

⁴ Jennings, A. H. (1950). *World's greatest observed point rainfall* – Monthly Weather Rev., n.78, pp.4-5.

⁵ Domanico, R. (1986). *Piogge intense a Roma* – Tesi di laurea, Università "La Sapienza", Roma.

⁶ Calenda, G. et al. (1993). *Rainfall assessment with inadequate data* – In "Urban storm drainage" (edited by Cao, C. et al.), Water Resources Publication, Hyland Ranch, USA, pp.23-44.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga et al.⁷, 1990).

La Figura 4.1 mette a confronto i valori medi del parametro $\rho(t)$ ottenuti negli studi citati. Si osserva come effettivamente le differenze riscontrate tra i vari siti appaiano modeste, e si riscontri un andamento tipico poco dipendente dalla località considerata. In particolare tutte le curve presentano all'incirca lo stesso valore per durate di 5 minuti, mentre gli scostamenti sono massimi tra i 15 e i 30 minuti. Tutte le curve assumono ovviamente valore unitario per $t = 1$ ora.

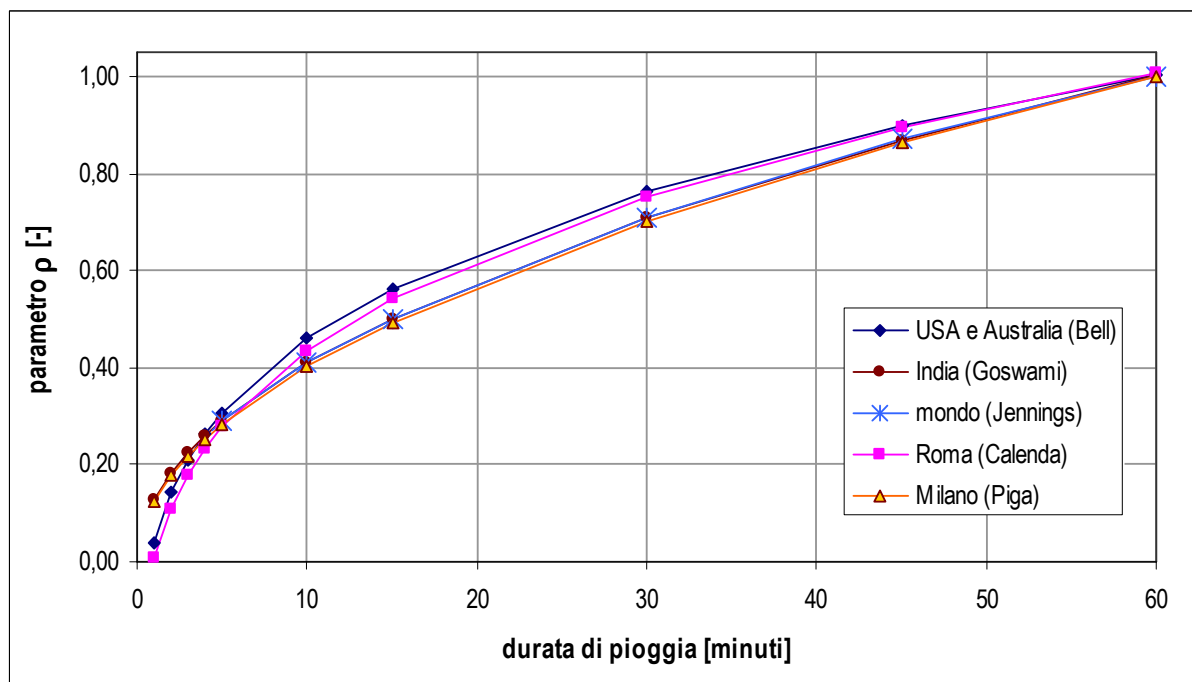


Figura 4.1 - Andamento del parametro $\rho(t)$ ottenuto in diversi studi.

Sulla base quindi di tali osservazioni sperimentali è stata sviluppata⁸ una metodologia di stima in grado di fornire i parametri di precipitazione necessari ad una valutazione più accurata delle portate di piena su piccoli bacini, per i quali il tempo di pioggia critica è inferiore all'ora.

⁷ Piga, E. et al. (1990). *Analisi statistica delle piogge intense di breve e brevissima durata nell'area metropolitana di Milano* – Città Studi, Milano.

⁸ HYDRODATA S.p.A. (2010). *HYDren – Software per il dimensionamento di reti di drenaggio delle acque di pioggia*, Torino.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In particolare l'andamento di $\rho(t)$ è stato assunto come totalmente indipendente dalla località, e cautelativamente pari all'involuppo dei valori riportati in Figura 4.1, così da introdurre unicamente errori di sovrastima dell'altezza di pioggia. Tale involuppo è stato definito mediante una curva interpolatrice in forma di legge di potenza, per la quale risulta:

$$\rho[t] = 1,015 \cdot t^{0,433}, \quad [7]$$

con t (durata della precipitazione) espressa in ore.

Per ciascun sito di interesse, in funzione della curva di possibilità pluviometrica (CPP) di progetto, si può ricavare l'altezza di pioggia $h(1)$ relativa alla durata di 1 ora. Applicando a quest'ultima i valori assunti per il parametro $\rho(t)$ si ricavano quindi i valori di $h(t)$ per durate inferiori:

$$h(t) = \rho(t) \cdot h(1). \quad [8]$$

Si noti che, poiché la [7] comporta una maggiorazione (+1,5%) di $h(1)$, il punto esatto di raccordo tra le due curve che descrivono l'andamento di $h(t)$ per durate superiori o inferiori all'ora non sia in corrispondenza di $t = 1$ ora, ma leggermente prima (circa $t = 57$ minuti). Nell'intorno dell'ora (anche per durate poco superiori) l'errore commesso applicando la [8] risulta comunque ingegneristicamente trascurabile (<5%). Nel seguito si continuerà pertanto a fare riferimento alla durata di 1 ora come discriminante tra le due curve.

Nell'ambito del progetto VA.PI. – Rapporto Regionale *Valutazione delle piene in Sicilia* (Cannarozzo et al., 1993) è stata proposta un'analoga formulazione, valida per l'intervallo 30-60 minuti, ottenuta da una regionalizzazione dei dati disponibili (354) su un totale di 191 stazioni:

$$\rho[t] = 0,208 \cdot t^{0,386}, \quad [9]$$

con t in minuti.

Poiché, come descritto in precedenza, l'andamento del parametro $\rho(t)$ è stato riscontrato poco dipendente dalla località, e vista la contiguità dell'area in esame con quella a cui si riferisce la [9], si ritiene applicabile quest'ultima per quanto attiene al presente studio, a titolo di confronto. I valori ottenuti entro il *range* di validità risultano sostanzialmente coincidenti con quanto restituito dalla [7], a riprova della validità della metodologia adottata (cfr. Figura 4.2).

Presso le stazioni pluviometriche considerate sono disponibili, come già detto, alcuni dati relativi alle precipitazioni di durata inferiore all'ora, come dettagliato di seguito.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- La stazione di Villa S. Giovanni, di maggiore rilievo in quanto ubicata entro l'area di interesse, dispone purtroppo solo di alcune registrazioni storiche di scrosci di durata pari a 5 e 10 minuti, riferite a un periodo di 10 anni.
- La stazione di Scilla dispone dei valori massimi annuali di precipitazione per durate di 15, 20, 30 e 40 minuti, con diversa numerosità (da 10 a 19 dati) per il periodo 1991-2009.
- La stazione di Gambarie d'Aspromonte dispone dei valori massimi annuali di precipitazione per durate di 15, 20, 30 e 40 minuti per il periodo 1991-2009, e delle registrazioni di scrosci relativi a durate anche di 5 e 10 minuti nel periodo 1961-1978, con diversa numerosità complessiva dei campioni (da 4 a 19 dati).
- La stazione di Reggio di Calabria dispone dei valori massimi annuali di precipitazione per durate di 15, 20, 30 e 40 minuti, con diversa numerosità (da 5 a 15 dati) per il periodo 1988-2009.
- La stazione di Arasì dispone dei valori massimi annuali di precipitazione per durate di 20 e 40 minuti, con un campione di 5 dati relativo al periodo 2005-2009.

Relativamente alle stazioni di Scilla, Gambarie e Reggio, le sole a disporre di serie di numerosità significativa e relative a durate ben distribuite nel campo inferiore all'ora, è stata condotta una regolarizzazione statistica per i campioni relativi a durate di 15, 20, 30 e 40 minuti, del tutto analoga a quella descritta nel paragrafo 3.1 per i massimi pluriorari, considerando la distribuzione di Gumbel. Secondo la medesima procedura descritta nel paragrafo 3.3 sono state poi ricavate delle CPP riferite alle brevissime durate, effettuando la regressione sui valori così ottenuti integrati con quelli relativi a 1 e 3 ore determinati in precedenza (così da verificare una migliore congruenza e raccordo con le CPP di riferimento).

Per ciascuna stazione è stato quindi calcolato il rapporto $\rho(t)$ per le durate di interesse; la Figura 4.2 mette a confronto i risultati ottenuti con i corrispondenti valori restituiti dalla [7]. I valori campionari si riferiscono alla media per i $\rho(t)$ relativi ai TR di 50, 100 e 200 anni; la differenza tra queste tre serie è sostanzialmente trascurabile per tutte le stazioni (deviazione standard media pari a circa lo 0,2% a Gambarie, l'1,0% a Scilla e lo 0,6% a Reggio). Nella medesima figura viene riportata anche la curva proposta dal VA.PI. (per il corrispondente *range* di validità); i valori sono riportati inoltre in Tabella 4.1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

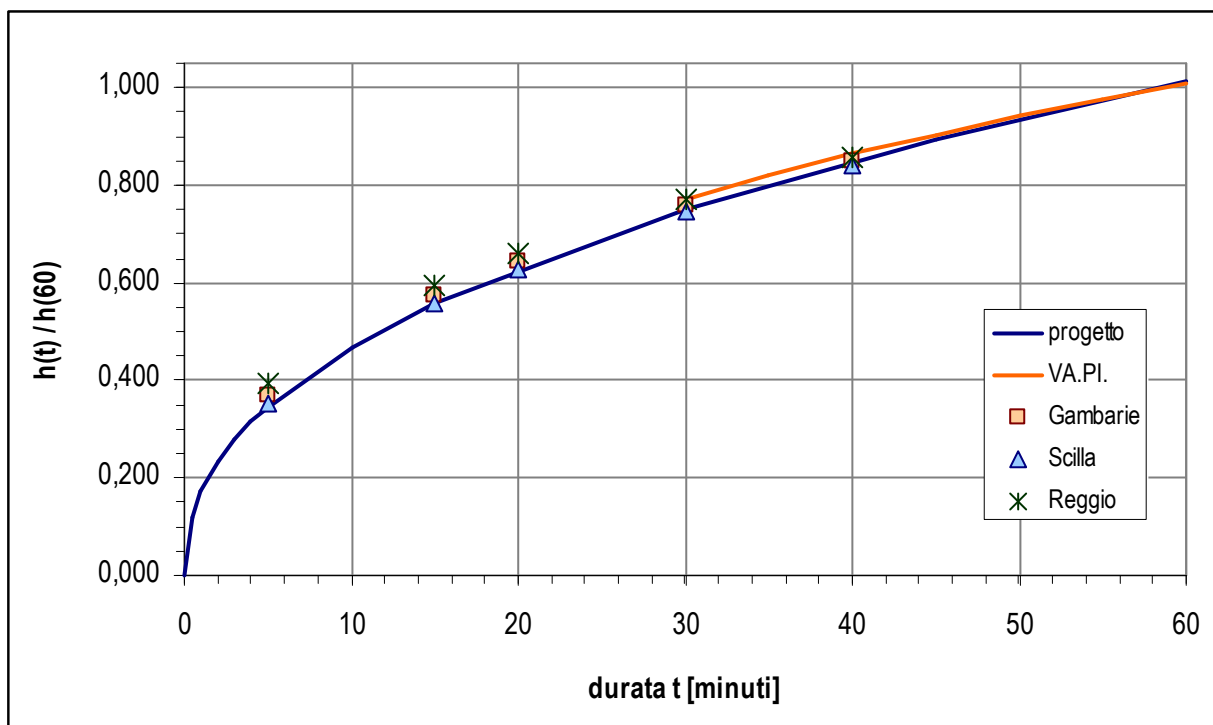


Figura 4.2 - Confronto tra i valori $p(t)$ di progetto e quelli campionari.

curva o stazione	durata [minuti]				
	5	15	20	30	40
progetto	0,346	0,563	0,631	0,752	0,852
VA.PI.	---	---	---	0,773	0,864
Gambarie	0,370	0,575	0,645	0,758	0,850
Scilla	0,351	0,557	0,629	0,747	0,843
Reggio	0,392	0,593	0,661	0,770	0,858

Tabella 4.1 - Confronto tra i valori $p(t)$ di progetto e quelli campionari.

Il grafico evidenzia come vi sia un buon accordo tra la curva di progetto, quella proposta dal VA.PI. e i dati sperimentali sulle tre stazioni, fermo restando -come già detto- che questi ultimi derivano da un'analisi statistica basata su campioni in generale non molto numerosi, per cui non è garantita l'affidabilità dei valori associati a tempi di ritorno elevati. Gli scostamenti minimi tra le varie serie si riscontrano per le durate di 30 e 40 minuti; le serie di Scilla (in particolar modo) e Gambarie risultano congruenti alle ipotesi di progetto anche per durate inferiori, mentre i valori della serie di Reggio risultano un poco più elevati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si ritiene quindi in conclusione di confermare la validità della metodologia proposta, e di poter applicare la [7] e la [8] per la definizione dei valori di precipitazione critica di progetto.

5 Spazializzazione dell'informazione pluviometrica

Le cinque stazioni pluviometriche considerate risultano ben spaziate all'interno dell'area di interesse e permettono quindi una ricostruzione attendibile della distribuzione delle precipitazioni critiche sui bacini di interesse. In particolare la stazione di Villa S. Giovanni, in posizione centrale nell'area in esame, risulta la più determinante nella definizione locale dei parametri di pioggia di progetto, mentre le altre forniscono le informazioni al contorno che permettono di definirne la variabilità nello spazio.

Operativamente, a ciascun punto dell'area di interesse sono stati assegnati dei coefficienti di influenza (pesi) per ciascun pluviometro, compresi tra 0 ed 1 e sommati a 1, che rappresentano la percentuale di significatività della singola stazione nel descrivere l'afflusso critico in quel punto. I pesi sono stati ricavati dalle linee di influenza rappresentate da Figura 5.1 a Figura 5.3, le quali derivano da un'interpolazione spaziale (metodo Kriging) basata sulla distanza del singolo punto del bacino dalle cinque stazioni.

Detti H_4, H_5, H_6 , ecc. le altezze di pioggia registrate sui singoli pluviometri P4, P5, P6, ecc. (cfr. capitolo 2) la corrispondente altezza H sul singolo punto, al quale sono associati i pesi p_1, p_2, p_3 , ecc. sarà quindi pari a:

$$H = H_4 \cdot p_4 + H_5 \cdot p_5 + H_6 \cdot p_6 + H_7 \cdot p_7 + H_8 \cdot p_8.$$

Il corrispondente valore su un dato bacino sarà fornito semplicemente dalla media delle altezze relative a tutti i punti della sua superficie. Allo stesso modo, vista la linearità dell'operazione, è possibile definire per ogni bacino dei pesi globali di influenza di ciascun pluviometro, ottenuti come media dei pesi assegnati a ciascun punto all'interno del bacino stesso.

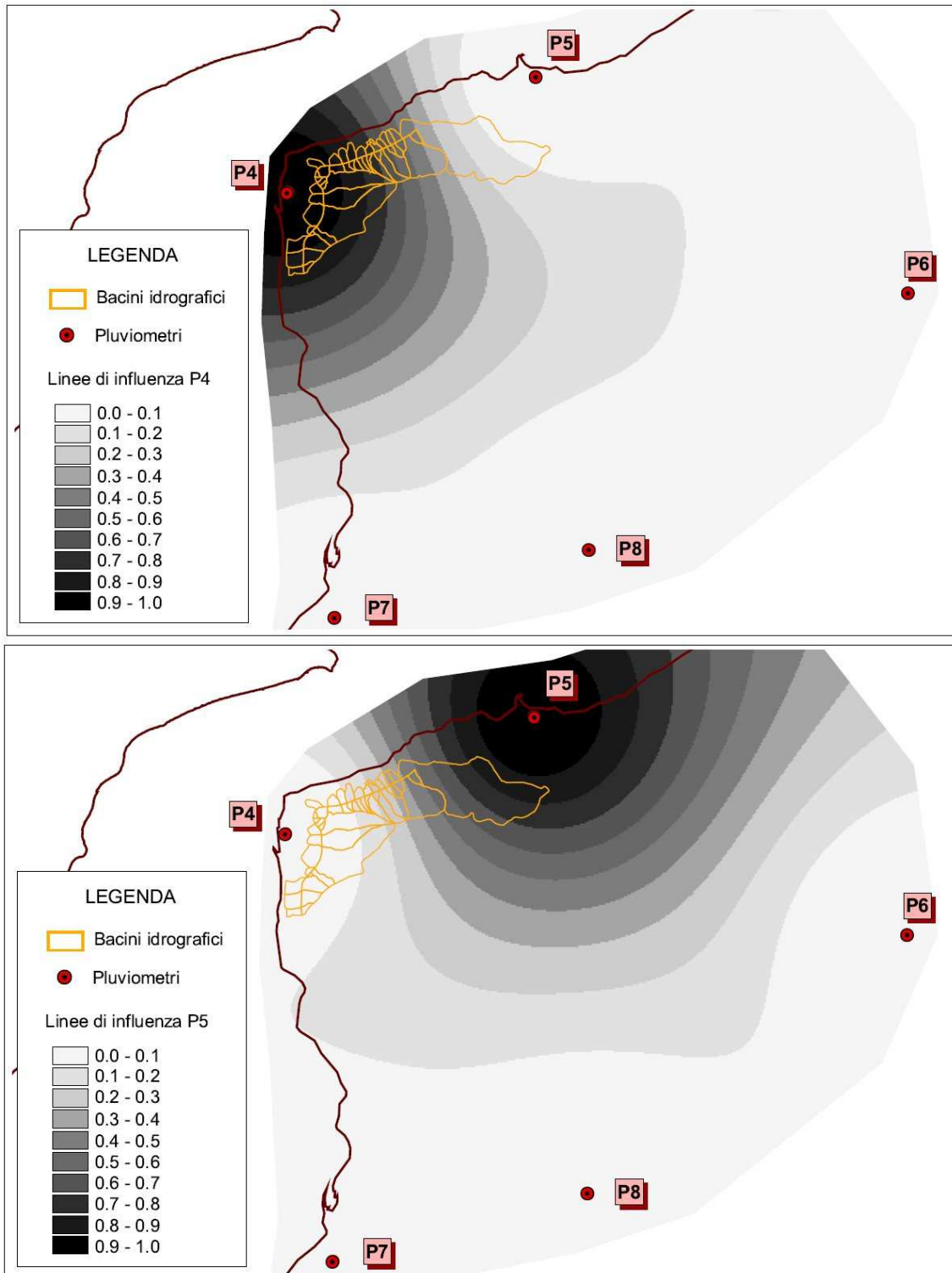


Figura 5.1 - Linee di influenza per i pluviometri P4 e P5.

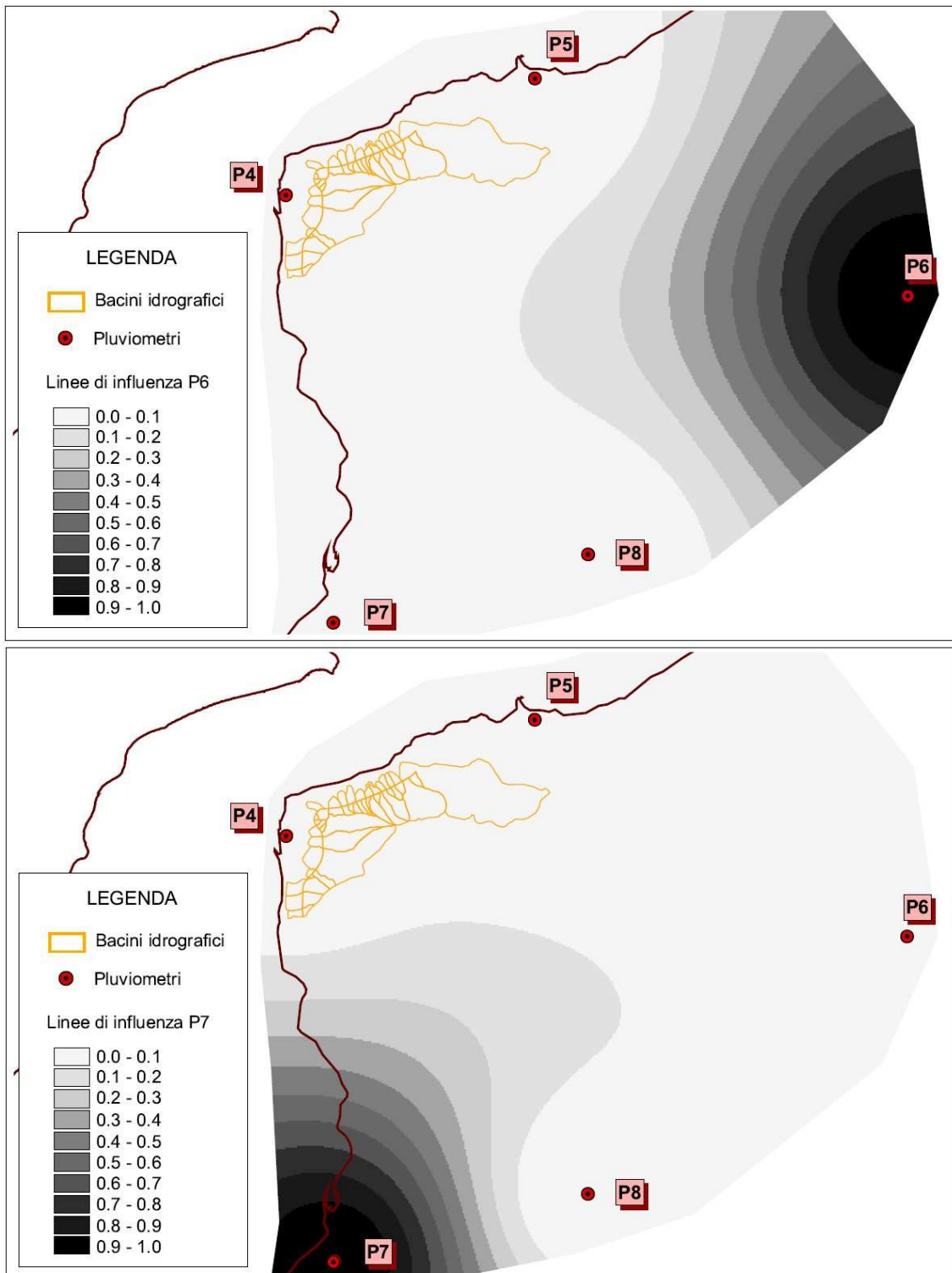


Figura 5.2 - Linee di influenza per i pluviometri P6 e P7.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

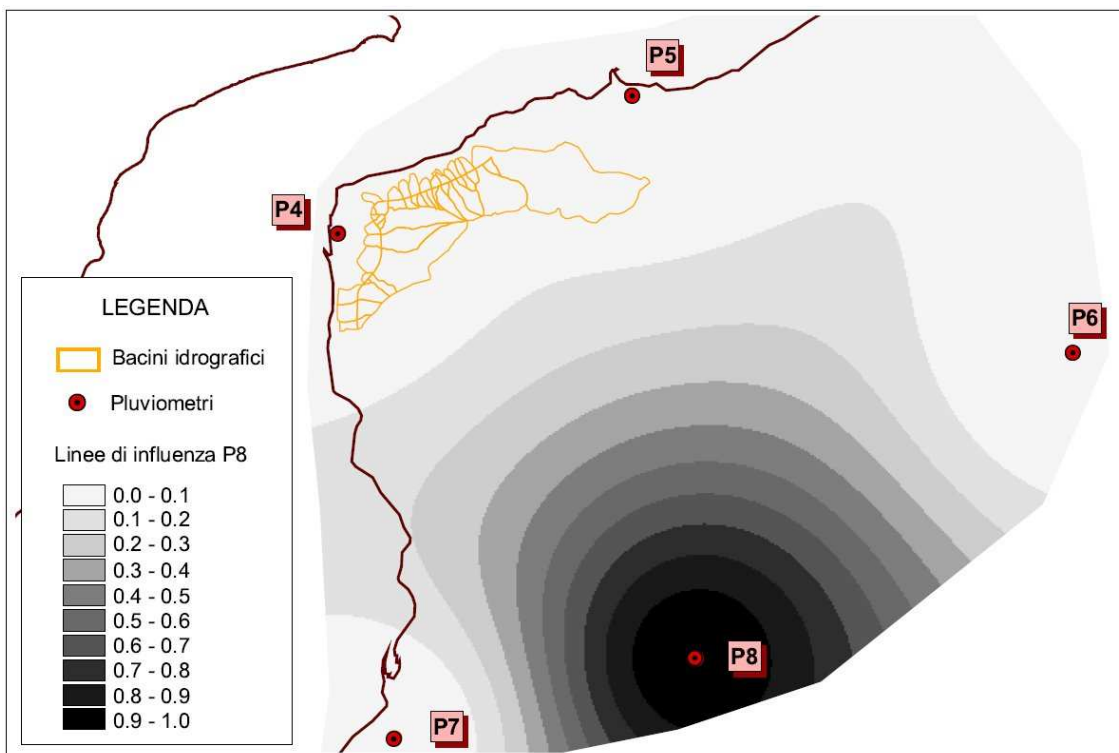


Figura 5.3 - Linee di influenza per il pluviometro P8.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Acque di piattaforma

6 CPP di progetto per le acque di piattaforma

6.1 Versante Calabria

Come descritto nei capitoli precedenti, per ciascuna delle stazioni pluviometriche considerate sono state ricavate delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) di riferimento, per diversi tempi di ritorno (cfr. Tabella 3.7). È stata inoltre definita una modalità di spazializzazione dei valori di precipitazione critica, mediante la quale per ciascun punto (o area) del bacino è possibile calcolare l'altezza di pioggia di progetto $h(t, TR)$ per una data durata e tempo di ritorno.

Utilizzando le linee di influenza rappresentate da Figura 5.1 a Figura 5.3, si è proceduto alla costruzione di una mappa delle altezze di pioggia relative alla durata di 1 ora e al tempo di ritorno di 100 anni (v. Figura 6.1).

L'andamento di tali altezze critiche nell'area di interesse per il progetto risulta relativamente uniforme. Per semplicità di trattazione, e congruenza nel dimensionamento della rete di drenaggio tra le varie porzioni delle infrastrutture in progetto e il centro direzionale, è stata quindi definita un'unica curva di possibilità pluviometrica, per ciascun tempo di ritorno, da utilizzare per il progetto dei sistemi di raccolta e collettamento.

Tale curva è stata valutata mediando i parametri di progetto all'interno di un'area ("tratto 4") che circonda i tracciati delle opere, rappresentata in arancione in Figura 6.1. Poiché le superfici contribuenti drenate dalla rete in progetto sono di estensione assai limitata, i tempi di pioggia critici di dimensionamento risulteranno certamente inferiori all'ora; occorrerà pertanto fare riferimento alla formula [8] per la definizione della CPP (cfr. capitolo 4).

I parametri di quest'ultima, validi per durate inferiori all'ora ed espressi secondo la formulazione monomia $h = a \cdot t^n$, sono riportati in Tabella 6.1. In Tabella 6.2 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** vengono invece fornite le altezze di pioggia di progetto per alcune durate e per i tempi di ritorno di 200, 100, 50, 30, 10 e 5 anni, prescritti dalle Specifiche Tecniche di progettazione (elaborato GCG.F.02.04) per il dimensionamento delle opere di drenaggio,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

rispettivamente per la linea ferroviaria e stradale e per le deviazioni stradali.

TR [anni]	parametro	tratto 4
200	$a [mm/h^n]$	88,17
	$n [-]$	0,433
100	$a [mm/h^n]$	79,57
	$n [-]$	0,433
50	$a [mm/h^n]$	68,63
	$n [-]$	0,433
30	$a [mm/h^n]$	64,50
	$n [-]$	0,433
10	$a [mm/h^n]$	50,46
	$n [-]$	0,433
5	$a [mm/h^n]$	41,18
	$n [-]$	0,433

Tabella 6.1 - Parametri della curve di possibilità pluviometrica validi per durate inferiori all'ora (versante Calabria).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

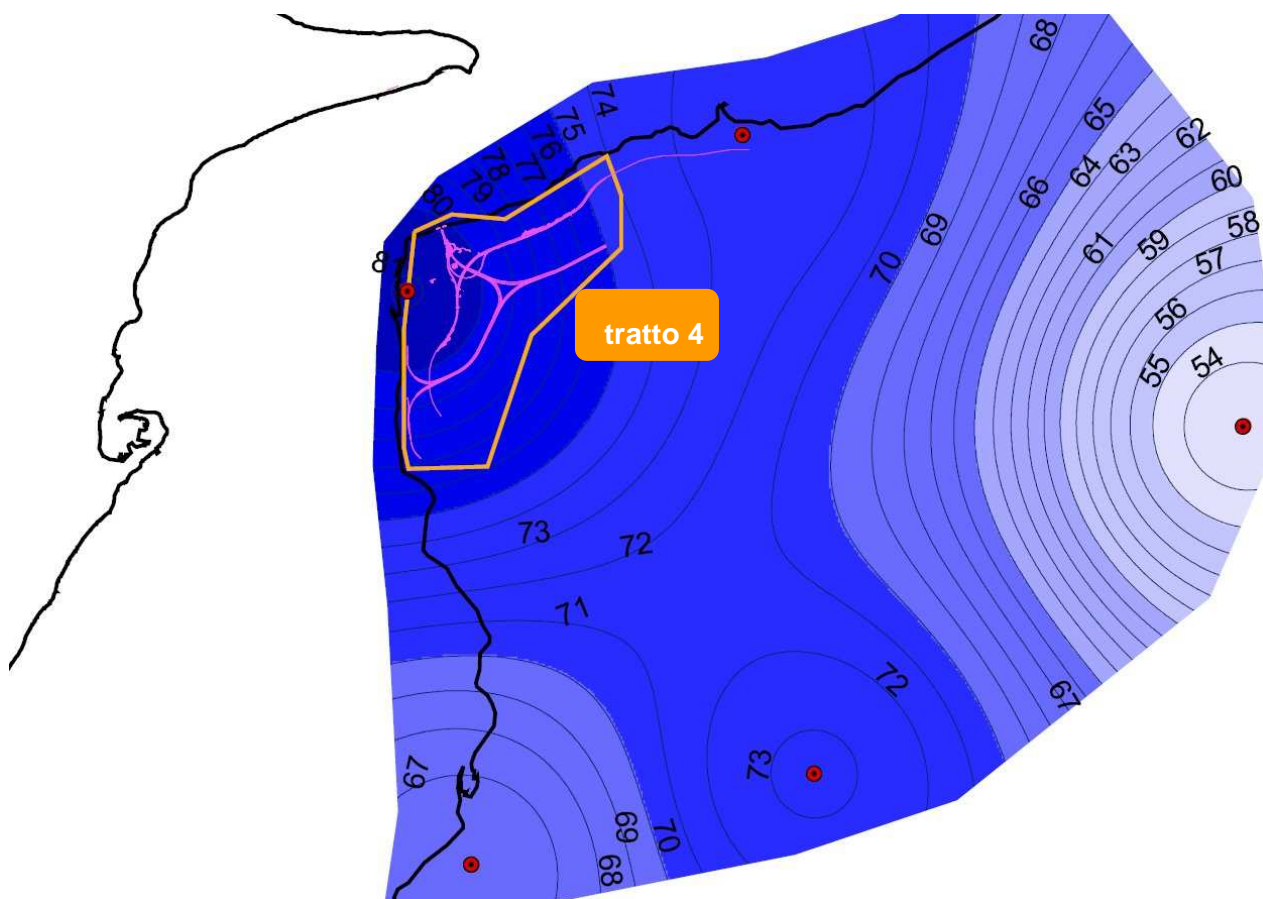


Figura 6.1 - Isoiete per la precipitazione critica di durata pari ad 1 ora (TR=100 anni). In rosso sono indicate le stazioni pluviometriche di riferimento; il poligono arancione rappresenta l'area di interesse.

TR [anni]	tempo di pioggia [minuti]				
	5	10	15	30	45
200	30,1	40,6	48,4	65,3	77,8
100	27,1	36,6	43,7	58,9	70,3
50	23,4	31,6	37,7	50,8	60,6
30	22,0	29,7	35,4	47,8	56,9
10	17,2	23,2	27,7	37,4	44,6
5	14,0	19,0	22,6	30,5	36,4

Tabella 6.2 - Altezze di pioggia di progetto [mm] per alcune durate inferiori all'ora (Calabria).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si osserva nei grafici riportati in allegato 1, le curve di possibilità pluviometrica ottenute nei diversi siti inviluppano piuttosto bene le osservazioni (20-55 anni di dati), segnalando anche alcuni *outliers* (altezze d'acqua relative ad un particolare evento storico gravoso che risulterebbero superiori, in alcuni siti e per alcune durate, a quelle definite per TR=200 anni).

Per durate inferiori all'ora le curve risultano generalmente maggioranti i dati disponibili, di minore numerosità (da 7 a 23 anni di osservazioni, a seconda della stazione), ma in alcune serie sono stati effettivamente registrati eventi associabili a tempi di ritorno di 50 anni o superiori. Si ritiene pertanto consistente e cautelativa la stima effettuata e l'adozione dei valori proposti per il dimensionamento idraulico delle opere.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Portate di piena

7 Metodologia di analisi

Come anticipato in premessa, nei bacini interferenti con le opere in progetto non sono presenti stazioni idrometriche per la misura dei deflussi che possano consentire una stima diretta dei valori di portata di progetto. Tale stima è stata pertanto condotta mediante applicazione di un modello concettuale di trasformazione afflussi-deflussi, nell'assunzione che ad eventi di precipitazione associati a determinati tempi di ritorno corrispondano eventi di piena caratterizzati dalla medesima probabilità di occorrenza.

7.1 Caratteristiche fisiche e idrologiche dei bacini sottesi

I bacini imbriferi sottesi dalle sezioni di interesse dei corpi idrici in esame sono stati tracciati su cartografia tecnica di dettaglio come definito al capitolo 1 e rappresentato negli specifici elaborati grafici, digitalizzando anche i principali elementi del reticolo superficiale.

I parametri fisiografici di interesse (superficie, quote massima, media e minima, lunghezza e pendenza longitudinale media dell'asta principale), riportati in Tabella 1.1, sono stati determinati grazie all'utilizzo di un modello digitale del terreno (DEM) della Regione Calabria, il quale discretizza le informazioni topografiche altimetriche su una griglia regolare a maglia quadrata di lato pari a 20 m.

Nella formazione del deflusso superficiale degli stati idrologici di piena, i quali derivano da eventi di piovosità intensa, il tipo di suolo e di copertura vegetale influenzano sia la funzione di trattenuta (intercettazione), sia il controllo del tempo di concentrazione delle portate. Tale effetto viene preso in conto nei modelli di trasformazione afflussi-deflussi di più diffusa applicazione sintetizzandolo mediante due parametri idrologici principali, quali il parametro CN ed il coefficiente di deflusso.

CN è il *Runoff Curve Number*, coefficiente sperimentale che schematizza le caratteristiche idrologiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agriculture). Il valore di tale coefficiente si ricava con riferimento ai parametri riportati nella Tabella 7.1, sulla base di valutazioni in merito alla classe di appartenenza del suolo,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

al tipo di copertura e destinazione d'uso del terreno e alle condizioni di umidità (contenuto d'acqua) del suolo in condizioni naturali.

Le classi di appartenenza del suolo nel metodo S.C.S. sono:

- A. Suoli ad alta permeabilità, costituiti da sabbie grossolane, silt calcarei non consolidati ed omogenei.
- B. Suoli a moderata permeabilità, costituiti da sabbie limose ed argillose.
- C. Suoli a medio-bassa permeabilità, costituiti da argille e limi, con contenuti organici.
- D. Suoli a bassa permeabilità, costituiti da argille plastiche, con livello piezometrico permanentemente alto.

L'Autorità di Bacino Regionale della Regione Calabria, nell'ambito della redazione del PAI, ha prodotto uno studio relativo alla permeabilità dei terreni, citato nel Progetto Esecutivo DG87/03 dell'ANAS (cfr. capitolo 6), da cui si è estratta la Figura 7.1. Nei bacini più a Nord-Est e nelle zone montane risultano predominanti terreni a bassa permeabilità, mentre nelle altre aree, come per l'area del centro direzionale, sono presenti terreni con permeabilità da elevata a molto elevata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes
(Antecedent Moisture Condition II, and $I_a * 0.2 S$)

<u>Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition</u>			<u>Hydrologic Soil Group</u>				
			<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	
Residential:							
Average lot size	Average % Impervious						
1/8 acre or less	65		77	85	90	92	
1/4 acre	38		61	75	83	87	
1/3 acre	30		57	72	81	86	
1/2 acre	25		54	70	80	85	
1 acre	20		51	68	79	84	
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.			98	98	98	98	
Streets and roads:							
paved with curbs and storm sewers			98	98	98	98	
gravel			76	85	89	91	
dirt			72	82	87	89	
Commercial and business area (85% impervious)			89	92	94	94	
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91	93	
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.							
good condition: grass cover on 75% or more of the area			39	61	74	80	
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area			49	69	79	84	
Fallow	Straight row	----	77	86	91	94	
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91	
	Straight row	Good	67	78	85	89	
	Contoured	Poor	70	79	84	88	
	Contoured	Good	65	75	82	86	
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82	
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81	
	Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
			Good	63	75	83	87
		Contoured	Poor	63	74	82	85
			Good	61	75	81	84
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82	
		Good	59	70	78	81	
Close - seeded legumes 4/ or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89	
	Straight row	Good	58	72	81	85	
	Contoured	Poor	64	75	83	85	
	Contoured	Good	55	69	78	83	
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83	
	Contoured & terraced	Good	51	67	76	80	
Pasture or range		Poor	68	79	86	89	
		Fair	49	69	79	84	
		Good	39	61	74	80	
	Contoured	Poor	47	67	81	88	
	Contoured	Fair	6	35	70	79	
Meadow		Good	30	58	71	78	
Woods or Forest land		Poor	45	66	77	83	
		Fair	36	60	73	79	
		Good	25	55	70	77	
Farmsteads		----	59	74	82	86	

Tabella 7.1 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

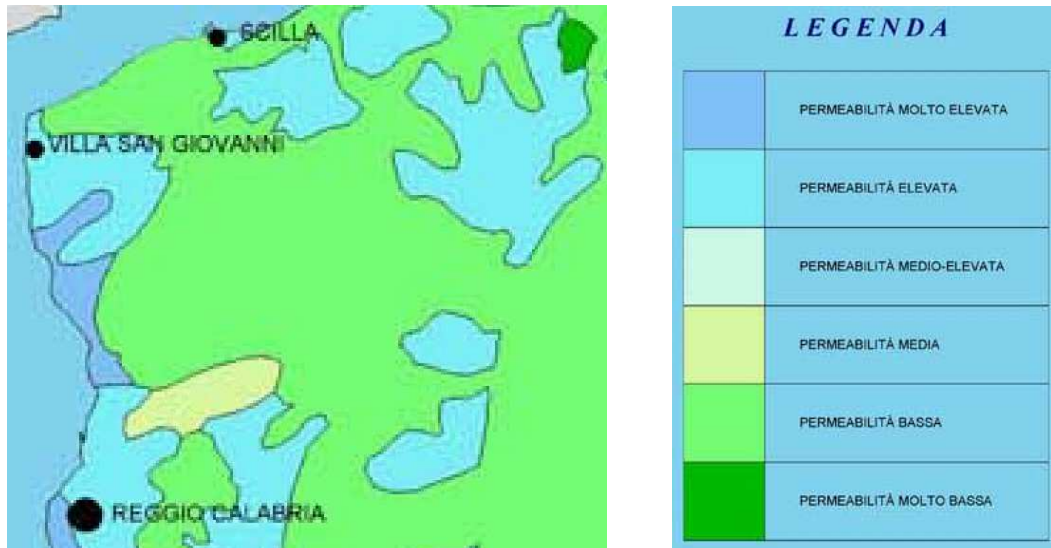


Figura 7.1 - Mappa della permeabilità dei suoli nell'area di interesse.

È stata realizzata una mappa georeferenziata del parametro CN nell'area di interesse, sulla base delle informazioni fornite dallo studio citato e della carta del Progetto CORINE per l'uso del suolo, prodotta dal Centro Cartografico della Regione Calabria. Considerando condizioni di umidità medie del terreno e classi di appartenenza B-C in funzione delle caratteristiche litologiche macroscopiche medie delle diverse zone, si perviene alla determinazione dei coefficienti CN per macroaree come raffigurato in Figura 7.2. Un valore medio rappresentativo per il singolo bacino è ottenibile come semplice media pesata sulle superfici.

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986) per la definizione del volume netto di pioggia per unità di superficie R_o :

$$R_o \text{ [mm]} = (h - 0,2 S)^2 / (h + 0,8 S),$$

dove

h = precipitazione meteorica ragguagliata [mm];

S = valore massimo dell'invaso per infiltrazione [mm].

Il parametro S rappresenta la massima ritenzione del bacino, funzione del tipo e del grado di saturazione del terreno e dell'uso del suolo, ovvero di CN: $S = 25,4 \cdot (1000/CN - 10)$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

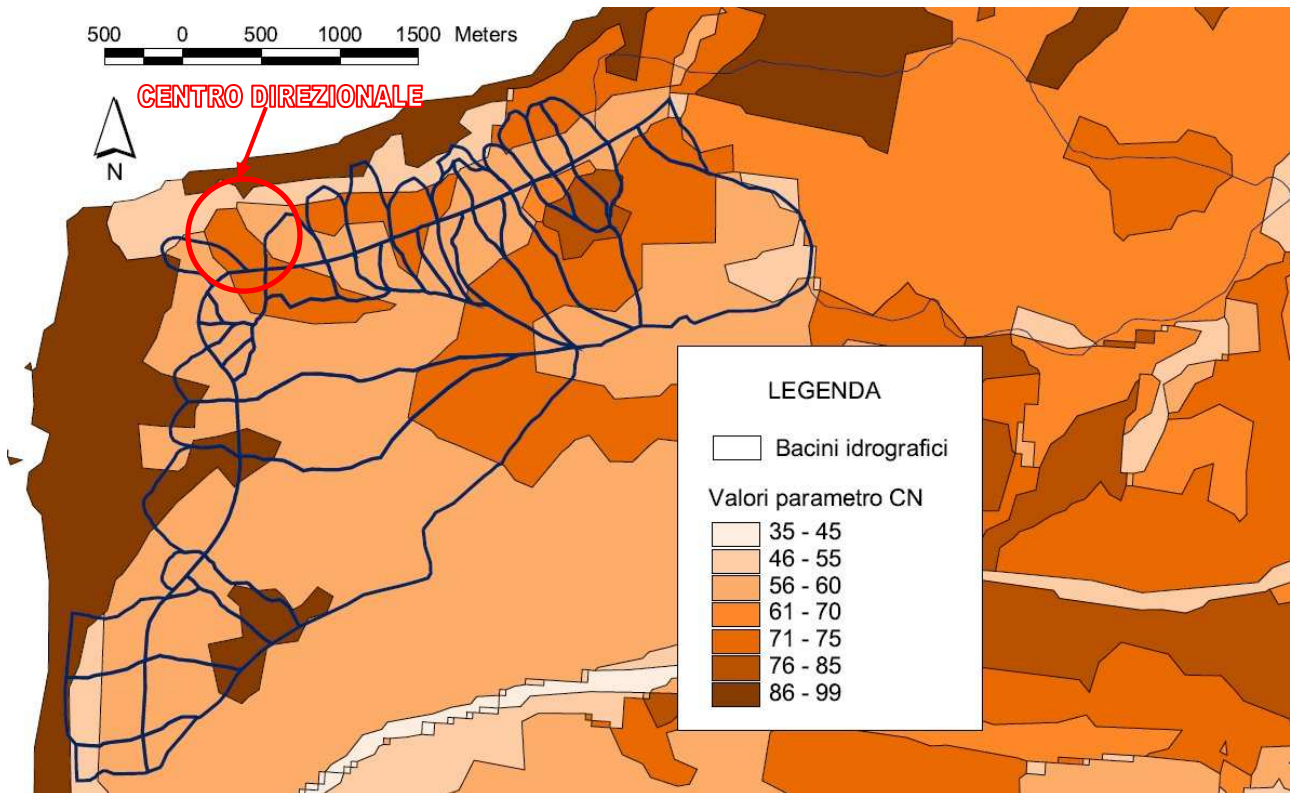


Figura 7.2 - Mappa del parametro CN nell'area di interesse.

La distribuzione del parametro CN tra i bacini in studio risulta significativamente uniforme. L'80% circa dei bacini in esame presenta un valore di CN compreso tra 60 e 70, mentre i rimanenti sono quasi completamente compresi tra 70 e 80. L'area del centro direzionale presenta valori di CN variabili tra i 46 e i 75.

Il coefficiente di deflusso ϕ rappresenta invece il rapporto tra l'afflusso netto effettivo, ovvero la porzione che si trasforma in deflusso superficiale alla sezione in esame, e quello complessivo. È possibile considerare una scomposizione del parametro in fattori rappresentativi dei diversi aspetti che governano il meccanismo di trasformazione afflussi-deflussi:

- il ragguglio della precipitazione alla superficie del bacino idrografico, per considerare distribuzioni di precipitazione non uniformi;
- il fattore di trattenuta del terreno c , funzione della capacità di assorbimento e intercettazione (rapporto tra l'altezza di pioggia netta e l'altezza di pioggia totale);
- il fattore di laminazione c_L , che dipende dalla capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico dello stesso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'aspetto di ragguaglio areale degli afflussi non è significativo per i bacini in esame, di estensione piuttosto modesta. Analogamente può essere trascurato il fattore c_L , in quanto la morfologia dei corpi idrici (elevata pendenza, scarsa ramificazione del reticolo) permette di escludere significativi fenomeni di laminazione delle piene. Il coefficiente di deflusso si identifica pertanto con quello di trattenuta.

Quest'ultimo risulta correlato al valore di CN, costituendo entrambi una descrizione sintetica dei medesimi aspetti di permeabilità e intercettazione. In particolare la variazione percentuale dei due parametri risulta significativamente concorde, per cui ad una sostanziale uniformità di CN corrisponde un'analogia uniformità di $c = \phi$.

7.2 Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Per la stima delle portate di progetto è stato fatto ricorso al noto modello concettuale razionale (o cinematico), che schematizza il processo di corrivazione (e quindi di deflusso dell'acqua di pioggia verso la sezione di chiusura) come predominante rispetto a quello di invaso, facendo riferimento ad un evento di durata pari al tempo di corrivazione del bacino.

Tale modello appare senz'altro il più appropriato per la descrizione delle dinamiche di trasformazione afflussi-deflussi in bacini come quelli in esame, di morfologia caratterizzata da una struttura "a canalone", con elevate pendenze longitudinali e reticolo di drenaggio semplificato, generalmente di ordine gerarchico molto basso e in diversi casi con presenza di deflussi limitata quasi esclusivamente ai periodi di pioggia intensa.

Nel citato Progetto Esecutivo DG87/03 è già stato dimostrato inoltre come tale metodo risultasse largamente il più cautelativo, in relazione ad altri modelli di stima applicati, tra i quali la regionalizzazione delle portate proposta dal progetto VA.PI. Quest'ultima in particolare appare poco indicata per l'applicazione al caso in esame, poiché deriva dalla regressione statistica di serie di portata relative a stazioni ubicate su bacini di estensione assai maggiore e caratteristiche morfologiche e idrologiche molto diverse: le dinamiche di formazione delle piene critiche risultano quindi differenti e legate ad eventi meteorologici di diversa intensità e durata (descritti da diverse distribuzioni probabilistiche).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Secondo il metodo razionale, il calcolo delle portate di piena in funzione di una determinata altezza di pioggia h di progetto viene effettuato utilizzando la nota formula di Turazza:

$$Q[\text{m}^3/\text{s}] = \frac{\phi \cdot h \cdot A}{3,6 \cdot t_c} \quad [10]$$

dove:

$A [\text{km}^2]$ = superficie del bacino;

$\phi [-]$ = coefficiente medio di deflusso del bacino, definito nel paragrafo 7.1;

$h [\text{mm}]$ = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione, determinata a partire dalla curva di possibilità climatica di assegnato tempo di ritorno considerata (cfr. capitoli 4 e 5).

$t_c [\text{ore}]$ = tempo di corrivazione del bacino.

Nel Progetto Esecutivo DG87/03 è stata applicata una formulazione modificata del metodo, integrandolo con la procedura VA.PI.: la formula [10] è stata utilizzata per la stima del valore medio $m(Q)$ della portata massima, applicando poi i coefficienti di crescita K_T definiti dalla regionalizzazione VA.PI. per ottenere i valori corrispondenti ai tempi di ritorno di interesse, in modo analogo a quanto descritto per le piogge (cfr. paragrafo 3.2).

Per il presente progetto si ritiene invece più adeguata l'applicazione del modello originario, utilizzando nella [10] altezze di pioggia h già associate al tempo di ritorno di interesse, in quanto:

- la formula è stata sviluppata con riferimento all'evento critico per il bacino, che ne massimizza la risposta idrologica, condizione più congruente con l'utilizzo dell'altezza di precipitazione critica;
- i coefficienti di crescita del VA.PI. derivano da una distribuzione di probabilità (TCEV, formula [4]) i cui parametri sono stati tarati, come già detto, su eventi e bacini di tipologia differente da quelli in esame.

Il tempo di corrivazione dei bacini in esame è stato determinato utilizzando alcune formule sperimentali disponibili in letteratura, pesate in funzione dei rispettivi campi di applicazione. Tali formule necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche fisiografiche ed idrologiche dei bacini definiti alla sezione di chiusura. Le grandezze da considerare sono quelle riportate in Tabella 1.1 e al paragrafo 7.1, ai quali si fa riferimento per le unità di misura ed i valori adottati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Formula di Pezzoli:
$$t_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura:
$$t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i}}$$

Formula di Pasini:
$$t_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i}}$$

La scelta delle tre formule sperimentali presentate è stata condotta sulla base di considerazioni di carattere generale sui campi di applicabilità delle stesse. Dalla letteratura si rileva infatti come esse siano state ottenute per bacini naturali di dimensioni modeste: la formula di Pezzoli è stata sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di forte pendenza e di dimensioni inferiori ai 20 km², Ventura e Pasini considerano bacini di dimensioni piccole e medie (anche fino a 40 km²) e pendenze più ridotte.

Poiché i valori ottenuti appaiono significativamente concordi tra le diverse formule, il tempo di corrivazione di progetto è stato assunto come semplice media aritmetica tra i tre valori. Il tempo di corrivazione adottato, indipendentemente dai risultati delle formule, è stato comunque limitato ad un valore minimo di 5 minuti, in modo da conservare la significatività fisica del parametro e evitare stime troppo cautelative per i bacini molto piccoli (tale assunzione è stata peraltro adottata anche nel Progetto DG87/03).

8 Tombini idraulici in progetto

Il presente capitolo descrive sinteticamente gli interventi di sistemazione idraulica previsti in corrispondenza dei tombini che interferiscono con le opere stradali in progetto.

I principi generali considerati nella progettazione degli interventi di sistemazione idraulica previsti per l'attraversamento dei fossi in esame sono i seguenti:

- prevedere un'opera di attraversamento di dimensioni adeguate, tenendo conto sia delle esigenze idrauliche, nel rispetto dei franchi minimi di progetto, sia delle esigenze di ispezionabilità per le operazioni manutentive;
- profilo della sistemazione studiato in modo tale da limitare al massimo l'entità degli scavi e dei riporti di terra e da agevolare per quanto possibile le fasi costruttive;
- lunghezza della sistemazione studiata in modo tale proteggere il corso d'acqua da potenziali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

fenomeni di erosione.

8.1 Tombino rampa 2

8.1.1 Intervento in progetto

Il corso d'acqua in esame interferisce con la viabilità del centro direzionale in progetto in corrispondenza della rampa 2; essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 21,10 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne B x H di 2,0 x 2,0 m;
- pendenza di fondo 1,5%;

A monte e a valle sono previsti due tratti di sistemazione in gabbioni metallici e in materassi metallici tipo "Reno" con lo scopo di raccordare l'opera all'incisione naturale e di proteggere la sezione attuale da erosioni o scalzamenti localizzati.

Nel dettaglio si prevedono i seguenti interventi:

Tratto a monte:

- realizzazione di una sezione rettangolare di larghezza sul fondo di 3,00 m, altezza 1,00 m, costituita da un rivestimento di fondo in materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm e da sponde in gabbioni metallici di spessore 1,00 m;
- lunghezza dell'intervento 4,00 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 17%;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo di geotessile di peso non inferiore di 400 g/m².

Tratto a valle:

- realizzazione di una sezione rettangolare di larghezza sul fondo di 3,00 m, altezza 1,00 m, costituita da un rivestimento di fondo in materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm e da sponde in gabbioni metallici di spessore 1,00 m;
- lunghezza dell'intervento 24,60 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 5%;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m².

8.1.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento della rampa 2 è costituito da un tombino scatolare di dimensioni B x H di 2,0 x 2,0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari all'1,5%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 0,29 m³/s.

Come descritto in precedenza, il calcolo idraulico è stato eseguito in moto uniforme in riferimento allo stato critico della portata bicentenaria.

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 6,50% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 1.4 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m2)	(m/s)	(m3/s)	(m3/s)	-	(m)	(m)	-
6.50	0.13	2.00	0.26	1.74	0.45	0.29	1.54	0.28	0.05	0.14

Tabella 8.1 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento cedir - rampa 2.

8.1.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto

Il tratto di monte del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in materassi metallici e gabbioni. La sezione di progetto ha forma rettangolare caratterizzata da una larghezza di base pari a 3,0 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 17.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m^{1/3}/s⁻¹.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme utilizzando l'espressione di Chezy; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è abbondantemente contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari all'6.0%; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 10.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	-	(m)
0,00	0,00%	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
2,00%	0,02	3,00	0,06	0,90	0,05	0,03	2,039	0,06
4,00%	0,04	3,00	0,12	1,42	0,17	0,08	2,269	0,14
6,00%	0,06	3,00	0,18	1,85	0,33	0,14	2,407	0,23
8,00%	0,08	3,00	0,24	2,22	0,53	0,21	2,504	0,33
10,00%	0,10	3,00	0,30	2,55	0,77	0,30	2,577	0,43

Tabella 8.2 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di monte.

8.1.4 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni e materassi metallici. La sezione di progetto ha forma rettangolare caratterizzata da una larghezza di base pari a 3.0 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 5.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}^{-1}$.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari all'8.0%; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 10.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	-	(m)
0,00%	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0

2,00%	0,02	3,00	0,06	0,49	0,03	0,03	1,106	0,03
4,00%	0,04	3,00	0,12	0,77	0,09	0,08	1,231	0,07
6,00%	0,06	3,00	0,18	1,00	0,18	0,14	1,305	0,11
8,00%	0,08	3,00	0,24	1,20	0,29	0,21	1,358	0,15
10,00%	0,10	3,00	0,30	1,38	0,42	0,30	1,398	0,20

Tabella 8.3 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle.

8.1.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m ³)	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m ³)
	γ_w	y	i	d_m	γ_s
MONTE TOMBINO	1000	0,08	0,17	0,15	2500
VALLE TOMBINO	1000	0,08	0,05	0,15	2500

Tabella 8.4 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m ²)	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m ²)	tensione tangenziale sponde (kg/m ²)	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m ²)
	τ_b	C^*	τ_c	τ_m	$\theta(^{\circ})$	τ_s
MONTE TOMBINO	13,6	0,14	31,50	10,20	33,69	18,90
VALLE TOMBINO	4	0,14	31,50	3,00	33,69	18,90

Tabella 8.5 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.

La condizione di stabilità prevede $\tau_b \leq \tau_c$ e $\tau_m \leq \tau_s$. Nel caso del tombino in oggetto, per i tratti di monte e di valle, tali requisiti risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore ai 15 cm di diametro (d_m).

8.1.6 Verifica in termini di velocità

Facendo riferimento ai valori di velocità critica e di velocità limite dedotti sperimentalmente e pubblicati da alcune ditte produttrici, per il tombino in esame risultano i seguenti valori:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0

VERIFICA VELOCITA'					
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s) (*)	velocità critica gabbioni (m/s)(**)	velocità limite gabbioni (m/s) (**)
	V_m	V_c	V_l	V_c	V_l
MONTE TOMBINO	2,18	5,00	6,40	6,40	8,00
VALLE TOMBINO	1,20	5,00	6,40	6,40	8,00

(*): materassi tipo Reno, spessore 0,30 m, pietrame di riempimento con pezzatura 100-150 mm, $d_{50} = 0,125$ m;

(**): gabbioni, spessore 0,50 m, pietrame di riempimento con pezzatura 120-250 mm, $d_{50} = 0,190$ m.

Tabella 8.6 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici e gabbioni.

8.1.7 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

VERIFICA VELOCITA' CONTATTO					
TRATTO	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile ($1/4 v_b$) (m/s)
	n_f	i_f	v_b	v_e	$v_b \text{ geotes}$
MONTE TOMBINO	0,02	0,17	3,67	0,75 - 0,90	0,92
VALLE TOMBINO	0,02	0,05	1,99	0,75 - 0,90	0,50

Tabella 8.7 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.

Poiché la velocità v_b risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base v_e , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad $1/4$ rispetto al valore calcolato ($v_b \text{ geotes}$).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9 Idraulica di versante

Al fine del corretto dimensionamento delle opere di drenaggio superficiale in progetto, atte a collettare le portate meteoriche generate dalle superfici scolanti localizzate in adiacenza al corpo autostradale ed alle rampe in progetto, si sono eseguite delle valutazioni idrologiche ed idrauliche riferite ad un evento meteorico a tempo di ritorno 100 anni.

Le valutazioni idrologiche eseguite hanno avuto come obiettivo la determinazione della portata a tempo di ritorno 100 anni che dovrà essere collettata dai fossi di guardia in progetto; in particolare per il tratto in esame si sono rese necessarie:

- l'analisi pluviometrica atta a definire le curve di possibilità climatica per tempo di ritorno assegnato, così come descritto nel paragrafo 6;
- individuazione dei bacini scolanti sottesi ai fossi di guardia e determinazione delle loro caratteristiche fisiografiche;
- determinazione del tempo di corrivazione dei bacini in esame;
- definizione dei coefficienti di deflusso di piena;
- determinazione delle portate di piena.

Le valutazioni idrauliche eseguite hanno avuto come obiettivo il dimensionamento e la verifica dei fossi di guardia rivestiti in progetto e delle strutture di attraversamento autostradale (tubazioni circolari) atte a recapitare nei ricettori naturali, le portate centennali definite tramite i metodi idrologici sopra descritti.

9.1 Analisi idrologica

9.1.1 Delimitazione e caratterizzazione fisiografica delle superfici scolanti

La determinazione dei bacini scolanti è avvenuta utilizzando sia le cartografie CTR della Regione Calabria in scala 1:5000 che il rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto.

I limiti fisiografici per l'area analizzata sono riportati nello stralcio planimetrico relativo al centro

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

direzionale.

La caratterizzazione morfometrica e fisiografica dei bacini individuati è consistita nella determinazione dei seguenti parametri:

- l'area dei bacini (S) espressa in km²;
- la lunghezza del percorso idraulico (L) espressa in km;
- la pendenza media del percorso idraulico (i) espressa in m/m;
- le quote massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) dei bacini espresse in m s.m.

Di seguito si allegano le tabelle che riportano le caratteristiche fisiografiche sopra descritte dell'area in esame.

Denominazione Tratto	Progressiva bacino	Superficie (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L(km)	i media (m/m)
Centro direzionale	km 0+040 - 0+000	0,0011	76,5	71,1	65,8	0,040	0,268
Centro direzionale	km 0+325 - rampa 3	0,0105	98,5	88,8	79,0	0,190	0,103
Centro direzionale	sez. 3.rot2 – 6.rampa1	0,0213	120,3	110,5	100,7	0,240	0,082
Centro direzionale	v.E.Cosenz – 3.in_rot1	0,0498	150,0	126,0	102,1	0,953	0,050
Centro direzionale	sez. 3.in_rot1 – 5.rot1	0,0135	151,0	126,0	101,0	0,250	0,200
Centro direzionale	sez. 17.rampa1 – 6.rampa1	0,0248	122,8	115,6	108,5	0,290	0,049

Tabella 9.1 – Caratteristiche fisiografiche per i bacini scolanti individuati in corrispondenza del Centro Direzionale.

9.1.2 Determinazione del tempo di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione per i bacini chiusi in corrispondenza dei fossi di guardia è stata effettuata avvalendosi delle formulazioni proposte da Pezzoli, Ventura e Pasini (cfr. paragrafo 7.2); queste ultime, rispetto all'insieme di espressioni disponibili in letteratura, sono state reputate più adatte a rappresentare la dinamica di generazione del deflusso di piena per i bacini in oggetto (in ragione della loro dimensione areale e geometria).

Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche e fisiografiche riportati nelle tabelle esposte al precedente paragrafo 9.1.1.

Come regola generale si è assunto un tempo di corrivazione effettivo (T_c assunto) pari alla media

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dei valori determinati con le formule di Pasini, Pezzoli e Ventura; tale valore (che per i corsi d'acqua naturali esprime il tempo impiegato dalla goccia caduta nel punto idraulicamente "più lontano" per giungere alla sezione di chiusura) è stato inoltre incrementato di una quantità temporale atta ad esprimere un ritardo sul tempo di concentrazione delle portate nel bacino, dovuto alle accidentalità e discontinuità del territorio adiacente all'autostrada; tale quantità è definita come "tempo di accesso" alla rete superficiale ed è stato assunto pari a circa 5 minuti.

Di seguito si riportano i valori dei tempi di corrivazione (maggiorati rispetto al loro valor medio di una quantità costante pari a 0.08 ore) ottenuti per i bacini chiusi in corrispondenza degli assi stradali in oggetto.

Denominazione Tratto	Progressiva bacino sotteso a fosso di guardia	Superficie (km ²)	TAccesso (ore)	T Ventura (ore)	T Pasini (ore)	T Pezzoli (ore)	Tc assunto (ore)
Centro direzionale	km 0+040 - 0+000	0.0011	0.080	0.008	0.007	0.004	0,09
Centro direzionale	km 0+325 - rampa 3	0.0105	0.080	0.041	0.042	0.033	0,12
Centro direzionale	sez. 3.rot2 – 6.rampa1	0,0213	0,080	0,06	0,07	0,05	0,14
Centro direzionale	v.E.Cosenz – 3.in_rot1	0,0498	0,080	0,13	0,17	0,23	0,26
Centro direzionale	sez. 3.in_rot1 – 5.rot1	0,0135	0,080	0,03	0,04	0,03	0,11
Centro direzionale	sez. 17.rampa1 – 6.rampa1	0,0248	0,080	0,09	0,09	0,07	0,17

Tabella 9.2 – Tempi di corrivazione per i bacini scolanti individuati in corrispondenza del Centro Direzionale.

9.1.3 Determinazione del coefficiente di deflusso

Il ruolo del tipo di suolo e della copertura vegetale nella formazione del deflusso superficiale per gli stati idrologici di piena, che si identificano con eventi di piovosità intensa, è duplice; riguarda infatti, sia la funzione di trattenuta o intercettazione, sia il controllo del tempo di concentrazione delle portate superficiali.

Per la stima di tali parametri si devono tenere in conto i diversi fattori che influiscono sulla formazione dei deflussi, fra cui la natura dei terreni e la loro copertura vegetale, la capacità di accumulo del bacino l'effetto di laminazione dell'intera rete idrica superficiale, la presenza di zone urbanizzate ecc.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

Gli studi disponibili, per altro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore di "c" in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti. E' possibile comunque ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione e delle verifiche idrauliche, il parametro assuma valori sufficientemente stabili. In qualche caso si assume che il valore di "c" cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

Indicazioni sui valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno sono fornite nella letteratura scientifica così come riportato nelle Tabella 9.3 e 9.4.

Caratteristiche del bacino	C (-)
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.)	0.70 – 0.95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0.05 – 0.10
Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)	0.10 – 0.15
Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)	0.15 – 0.20
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0.13 – 0.17
Suoli argillosi a pendenza media (2 - 7%)	0.18 – 0.22
Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)	0.25 – 0.35

Tabella 9.3- - Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation.

Tipo di suolo	c	
	Uso del suolo	
	Coltivato	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0.20	0.10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0.40	0.30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0.50	0.40

Tabella 9.4 - Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sulla base delle caratteristiche litologiche e di uso del suolo del territorio in analisi, si è assunto un coefficiente di deflusso di 0.30.

9.1.4 Determinazione delle portate di piena a tempo di ritorno 100 anni (metodo razionale)

Il metodo razionale, di correlazione afflussi – deflussi, è basato sull'ipotesi che la portata massima in un bacino, dovuta a precipitazioni di intensità costante nel tempo, si ha per eventi di durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino stesso e si verifica dopo il tempo t_c dall'inizio del fenomeno.

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza (cfr. paragrafo 7.2).

Si specifica che il valore di h (altezza di precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione) è stato determinato considerando i coefficienti di possibilità climatica (a , n') appartenenti ai tratti pluviometricamente omogenei definiti nella presente relazione (cfr. paragrafo "Analisi delle precipitazioni" **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Di seguito si riportano i valori delle portate a tempo di ritorno 100 anni per l'area di studio.

Denominazione Tratto	Progressiva bacino sotteso a fosso di guardia	Superficie (km ²)	Tc assunto (ore)	a100 (mm/h ⁿ)	n100 (-)	H (mm)	C (-)	Q Tr 100 anni (m3/s)
Centro direzionale	km 0+040 - 0+000	0.0011	0.09	79.57	0.433	27.59	0.40	0.040
Centro direzionale	km 0+325 - rampa 3	0.0105	0.12	79.57	0.433	31.61	0.30	0.233
Centro direzionale	sez. 3.rot2 – 6.rampa1	0,0213	0,14	79,57	0,433	33,83	0,30	0,432
Centro direzionale	v.E.Cosenz – 3.in_rot1	0,0498	0,26	79,57	0,433	44,28	0,30	0,712
Centro direzionale	sez. 3.in_rot1 – 5.rot1	0,0135	0,11	79,57	0,433	31,00	0,30	0,308
Centro direzionale	sez. 17.rampa1 – 6.rampa1	0,0248	0,17	79,57	0,433	36,50	0,30	0,456

Tabella 9.5 – Portate a tempo di ritorno 100 anni generate dai bacini scolanti individuati in corrispondenza del Centro Direzionale.

9.2 Analisi idraulica

I calcoli idraulici eseguiti hanno avuto come obiettivo il dimensionamento e la verifica dei fossi di guardia rivestiti in progetto e delle strutture di attraversamento autostradale (tombini circolari) atte a recapitare nei ricettori naturali le portate centennali determinate al paragrafo precedente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La schematizzazione adottata nelle verifiche idrauliche è quella di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy; tale metodologia ha permesso, nota la geometria trasversale del fosso di guardia in progetto, la sua pendenza longitudinale minima e la resistenza distribuita al moto, di calcolare il tirante generato dal transito della portata di progetto (Tr100 anni) ed il riempimento della sezione incisa. Il fosso di guardia si considera adeguato idraulicamente quando il suo riempimento (calcolato rispetto all'altezza della sezione incisa) si mantiene inferiore od uguale al 70%.

I fossi previsti dal presente progetto si riconducono a 2 tipologie, entrambe rivestite in cls e caratterizzate dalle seguenti dimensioni:

- sezione trapezia, larghezza di base pari a 0.50 m, altezza di 0.50 m, larghezza in sommità di 1.50 m e sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1;
- sezione rettangolare, larghezza di base pari a 0.80 m, altezza di 0.80 m.

Nei calcoli idraulici si è assunta una scabrezza pari a $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Di seguito si descrivono le verifiche idrauliche eseguite per l'area in esame.

9.2.1 Centro Direzionale

Il drenaggio delle acque di versante è affidato a fossi di guardia rivestiti in cls aventi larghezza alla base pari a 0.50 m e, in testa alle paratie dell'asse 1, a canalette in cls di dimensioni B x H di 0.80 x 0.80 m; data la configurazione morfologica del piano campagna per il dimensionamento si è assunta cautelativamente una pendenza di fondo minima di progetto del fosso di 0.01 m/m, in ragione di alcuni tratti in cui il terreno naturale è caratterizzato da andamento altimetrico sub orizzontale.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche effettuate considerando la pendenza media delle canalizzazioni ed eventuali contributi di portata provenienti dai fossi al piede dei rilevati da cui si evince l'adeguatezza idraulica delle strutture di collettamento previste.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Denominazione bacino	Denominazione fosso	Q Tr 100 anni (m3/s)	Q Tr 100 anni TOT (*) (m3/s)	Pendenza media fosso (m/m)	L base fosso (m)	Tirante (m)	Riempimento (%)	Recapito
km 0+040 - 0+000	km 0+040 - 0+000	0.040	0.065 (*)	0.15	0.5	0.04	8.00	Tubaz. piattaforma D1200 rampa 3
km 0+325 - rampa 3	km 0+325 - rampa 3	0.233	0.233	0.12	0.5	0.03	6.00	Tubaz. piattaforma D500 PK 0+000
sez. 3.rot2 – 6.rampa1	sez. 3.rot2 – 6.rampa1 / 1	0.432	0.432	0.07	0.8	0.16	20.00	Tubaz. piattaforma D600 sez. 2.rampa1
	sez. 3.rot2 – 6.rampa1 / 2			0.06	0.8	0.15	18.75	
v.E.Cosenz – 3.in_rot1	v.E.Cosenz – 3.in_rot1 / 1	0.712	0.712	0.03	0.5	0.29	57.00	Tubaz. piattaforma D1000 sez. 24.rampa1
	v.E.Cosenz – 3.in_rot1 / 2			0.07	0.5	0.23	45.00	
	v.E.Cosenz – 3.in_rot1 / 3			0.07	0.8	0.21	26.25	
	v.E.Cosenz – 3.in_rot1 / 4			0.06	0.8	0.22	27.50	
sez. 3.in_rot1 – 5.rot1	sez. 3.in_rot1 – 5.rot1	0.308	0.308	0.07	0.8	0.12	15.00	Tombino D1000 PK 0+030 Tubaz. piattaforma D600 PK 0+030
sez. 17.rampa1 – 6.rampa1	sez. 17.rampa1 – 6.rampa1 / 1	0.456	0.456	0.10	0.8	0.14	17.50	Tubaz. Piattaforma D600 sez. 11.rampa1
	sez. 17.rampa1 – 6.rampa1 / 2			0.17	0.8	0.12	14.40	Tubaz. Piattaforma D600 sez. 8.rampa1
	sez. 17.rampa1 – 6.rampa1 / 3			0.10	0.8	0.14	17.50	

(*): la portata Q Tr100 anni TOT tiene conto di eventuali contributi di portata nelle canalizzazioni per le acque esterne provenienti dai fossi al piede dei rilevati.

Tabella 9.6 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni dei fossi di guardia a protezione del Centro Direzionale.

Tali fossi di guardia, in assenza di recapiti naturali adeguati, scaricano nelle seguenti condotte di drenaggio delle acque di piattaforma:

- DN1200 mm rampa3;
- DN500 mm a pk 0+000;
- DN600 mm a sez. 2.rampa1;
- DN1000 mm a sez. 24.rampa1;
- DN600 mm a pk 0+030;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		<i>Codice documento</i> CD0003_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- DN600 mm a sez. 11.rampa1;
- DN600 mm a sez. 8.rampa1.



Si riportano qui di seguito le condizioni di verifica calcolate per i manufatti di attraversamento in progetto:

- tombino circolare DN1000 mm in cls (rampa G, PK 0+030), caratterizzato da una lunghezza di 21.80 m e una pendenza minima del 1,1%, all'interno del quale convergono i contributi di portata del bacino sez. 3.in_rot1 – 5.rot1 (0.308 m³/s);
- tombino circolare DN600 mm in cls (pista di accesso al piazzale in cui si collocano i blocchi di ancoraggio), caratterizzato da una lunghezza di 7.30 m e una pendenza minima del 2%, all'interno del quale convergono i contributi di portata del bacino v.E.Cosenz – 3.in_rot1 (fosso 1) (0.712 m³/s).

Il deflusso nelle condotte in progetto genera i seguenti tiranti e gradi di riempimento:

Denominazione condotta	Diametro (mm)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Pendenza (m/m)	Tirante (m)	Riempimento (%)
Rampa G	1000	0.308	0.011	0.28	28.00
Pista accesso area ancoraggi	600	0.712	0.02	0.36	36.00

Tabella 9.7 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni delle condotte a servizio del Centro Direzionale.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>		<p><i>Codice documento</i> CD0003.doc</p>	<p><i>Rev</i> 0</p>	<p><i>Data</i> 29/04/2011</p>

ALLEGATO 1

Stazioni pluviometriche: dati disponibili e rappresentazione delle curve di regressione

Massimi di precipitazione per durate 1, 3, 6, 12, 24 ore: disponibilità di dati					
ANNO	VILLA S. GIOVANNI	SCILLA	GAMBARIE D'ASPROMONTE	REGGIO DI CALABRIA	ARASI'
1928	X			X	
1929	X			X	
1930	X			X	
1931	X				
1932	X				
1933	X			X	
1934	X			X	
1935				X	
1936	X			X	
1937	X			X	
1938	X			X	
1939				X	
1940	X			X	
1941				X	
1942				X	
1943				X	
1944				X	
1945				X	
1946				X	
1947				X	
1948			X	X	
1949			X		
1950	X			X	
1951	X			X	
1952	X			X	
1953	X		X	X	
1954				X	
1955	X			X	
1956	X		X		
1957	X		X	X	
1958	X			X	
1959	X			X	
1960	X			X	X
1961	X		X	X	X
1962	X		X	X	X
1963			X	X	X
1964	X		X	X	X
1965			X	X	X
1966	X		X	X	X
1967			X	X	X
1968	X		X		X
1969	X		X		
1970			X		X
1971	X		X		X
1972			X		X
1973	X			X	
1974			X		X
1975					X
1976					
1977	X				X
1978			X		
1979					X
1980					X
1981					X
1982					X
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988				X	
1989					
1990					
1991		X	X	X	
1992		X			
1993		X		X	
1994		X	X	X	
1995		X	X	X	
1996		X	X	X	
1997		X	X	X	
1998		X	X	X	
1999		X	X	X	
2000		X	X	X	
2001		X	X		
2002		X	X		X
2003		X	X	X	X
2004		X	X	X	X
2005		X	X	X	X
2006		X	X	X	X
2007		X	X	X	X
2008		X	X	X	X
2009		X	X	X	X
n. anni	30	19	36	54	27

