

# 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                  Dott. Ing. E. Pagani                  Ordine Ingegneri Milano                  n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>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></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI CALABRIA</p> <p>STUDI DI BASE</p> <p>CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA E SCHEMA DELLA RETE IDRICA</p> <p>GENERALE</p> <p>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>CB0001_F0</b></p> </div>
---	---	---

CODICE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>C</td><td>G</td><td>0</td><td>7</td><td>0</td><td>0</td> <td>P</td><td>R</td><td>G</td><td>D</td><td>C</td><td>S</td><td>B</td><td>C</td><td>7</td><td>G</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>F0</td> </tr> </table>	C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	C	S	B	C	7	G	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	C	S	B	C	7	G	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	E. PAGANI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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						

## INDICE

INDICE.....	1
Premessa e dati di base .....	5
1 Corpi idrici interferenti e bacini idrografici sottesi .....	6
2 Stazioni pluviometriche di riferimento .....	12
Analisi delle precipitazioni .....	14
3 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica .....	14
3.1 Regressione statistica diretta dei massimi orari e pluriorari .....	14
3.2 Modello di regionalizzazione VA.PI. ....	20
3.3 Curve di possibilità pluviometrica di riferimento .....	24
4 Eventi di precipitazione di durata inferiore all'ora .....	27
5 Spazializzazione dell'informazione pluviometrica .....	33
Acque di piattaforma .....	36
6 CPP di progetto per le acque di piattaforma .....	36
6.1 Versante Calabria.....	36
6.2 Opera di attraversamento.....	39
Portate di piena.....	41
7 Metodologia di analisi .....	41
7.1 Caratteristiche fisiche e idrologiche dei bacini sottesi .....	41
7.2 Modello di trasformazione afflussi-deflussi.....	47
8 Risultati .....	49
8.1 Portate massime di progetto .....	49
8.2 Confronto con studi pregressi .....	51

### ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Stazioni pluviometriche: dati disponibili e rappresentazione delle curve di regressione
- ALLEGATO 2 – Risultati di dettaglio dell'analisi idrologica



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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						

## Premessa e dati di base

Il presente documento costituisce la relazione idrologica generale del Progetto Definitivo del Ponte sullo Stretto di Messina, relativamente ai collegamenti infrastrutturali (autostrada, ferrovia) del versante Calabria, con riferimento sia alla problematica di smaltimento delle acque di piattaforma che alle portate di piena di progetto dei corsi d'acqua interferenti con le opere.

Questi ultimi su entrambi i versanti (Calabria, Sicilia) sono costituiti da corpi idrici di estensione modesta - con bacini imbriferi sottesi di superficie spesso inferiore al km<sup>2</sup>, e comunque mai superiore a 5 km<sup>2</sup> - e generalmente di regime idrologico discontinuo, ovvero con presenza di deflussi direttamente correlata all'accadimento di eventi metereologici.

Nessuno di essi è pertanto classificabile come corso d'acqua Principale, ai sensi di quanto definito dalle Specifiche Generali di Progettazione (documento GCG.F.02.04); 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 citate Specifiche si è pertanto proceduto alla stesura di uno studio idrologico, articolato come segue.

- Individuazione dei corpi idrici interferenti e del corrispondente reticolo idrografico superficiale, 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.
- 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 per i corpi idrici interferenti, in

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 Corpi idrici interferenti e bacini idrografici sottesi

Le opere di collegamento infrastrutturale in progetto sul versante Calabria risultano interferire con un totale di 19 corpi idrici significativi e alcuni dei loro affluenti minori; complessivamente sono state definite 49 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).

I bacini (e le corrispondenti sezioni di chiusura) sono stati denominati 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;
- 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0

identificativo bacino		parametri principali bacino			fisiografia [m s.m.]		
codice	nome corpo idrico significativo	A [km <sup>2</sup> ]	L [m]	i <sub>med</sub> [m/m]	Hmin	Hmax	Hmed
01M.1	T. GIBIA	1,0630	1.640	0,238	90	481	334,4
01M.1.1	T. GIBIA	0,0917	497	0,429	111	324	211,2
02M.0	T. LATICOGNA	0,0727	440	0,416	105	288	170,6
02V.0	T. LATICOGNA	0,1516	875	0,305	21	288	119,6
03M.0	T. PRESTIANNI	0,0702	476	0,405	109	302	197,7
03V.0	T. PRESTIANNI	0,1363	946	0,296	22	302	137,7
04M.0	T. SERRO DELLA TORRE	0,0373	340	0,371	110	236	161,1
04V.0	T. SERRO DELLA TORRE	0,1075	815	0,258	26	236	102,0
05M.0	T. PIRIA	0,3139	1.190	0,215	99	355	241,4
05V.1	T. PIRIA	0,3648	1.560	0,191	57	355	219,3
06M.1	T. ZAGARELLA 1	0,2486	1.160	0,213	103	350	264,4
06M.1.1	T. ZAGARELLA 1	0,0424	345	0,449	91	246	140,2
06M.2	T. ZAGARELLA 2	0,2126	1.145	0,197	100	325	250,3
06M.2.1	T. ZAGARELLA 2	0,0486	625	0,323	92	294	183,2
06V.1	T. ZAGARELLA 1	0,3448	1.600	0,211	13	350	211,4
06V.2	T. ZAGARELLA 2	0,3187	1.565	0,199	14	325	199,1
06V.0	T. ZAGARELLA 1	0,6060	1.665	0,204	11	350	222,7
07M.1	FOSSO CONTRADA PIRGO	0,0560	550	0,309	87	257	174,0
07M.2	FOSSO CONTRADA PIRGO	0,0583	465	0,308	86	229	159,1
07V.0	FOSSO CONTRADA PIRGO	0,1935	863	0,253	39	257	126,3
08M.1	T. POLISTENA	0,0525	395	0,268	85	191	157,5
08M.2	T. POLISTENA	0,0354	262	0,344	89	179	139,5
08V.0	T. POLISTENA	0,2050	995	0,177	15	191	94,9
09M.0	T. LUPO	0,0596	400	0,210	96	180	148,0
09V.0	T. LUPO	0,1559	885	0,175	25	180	94,9
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
12M.0	T. ANONIMO	0,0186	165	0,079	89	102	98,8
13M.1	T. CAMPANELLA	0,8151	2.390	0,103	80	325	178,1
13M.1.1	T. CAMPANELLA	0,0263	255	0,125	84	116	99,1
13M.1.2	T. CAMPANELLA	0,0375	295	0,136	83	123	102,9
13M.1.3	T. CAMPANELLA	0,0214	200	0,110	86	108	97,8
13V.1	T. CAMPANELLA	0,9705	2.810	0,098	49	325	162,9
14M.0	T. IMMACOLATA	0,6426	2.210	0,087	74	267	135,0
14V.0	T. IMMACOLATA	0,7611	2.705	0,081	48	267	125,0
15M.0	T. SOLARO	1,6955	3.150	0,080	72	324	148,2
15V.0	T. SOLARO	1,9932	3.760	0,074	45	324	136,4
16M.1	T. ACCIARELLO	0,1559	690	0,038	81	107	99,3
16M.1.1	RIO	0,0130	140	0,179	58	83	71,2
16V.0	T. ACCIARELLO	0,1927	950	0,061	49	107	92,8

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

identificativo bacino		parametri principali bacino			fisiografia [m s.m.]		
codice	nome corpo idrico significativo	A [km <sup>2</sup> ]	L [m]	i <sub>med</sub> [m/m]	Hmin	Hmax	Hmed
17M.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0,2634	833	0,321	49	316	79,6
17V.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0,4606	1.348	0,229	7	316	57,9
18M.0	TORRENTE BOLANO	0,1980	613	0,086	49	102	70,0
18V.0	TORRENTE BOLANO	0,4190	1.208	0,080	5	102	48,1
19M.0	FOSSO CANNAMELE	0,0534	355	0,068	51	75	61,4
19V.0	FOSSO CANNAMELE	0,1451	816	0,077	12	75	43,6

Tabella 1 – Principali parametri morfologici e fisiografici dei bacini. A è la superficie totale sottesa, L la lunghezza dell’asta principale,  $i_{med}$  la pendenza media dell’asta principale,  $H_{min}$ ,  $H_{max}$ ,  $H_{med}$  rispettivamente le quote altimetriche minima, media e massima del bacino.

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.

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 cautelativamente<sup>1</sup> come differenza tra le quote massima e minima del bacino rapportata alla lunghezza L.

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

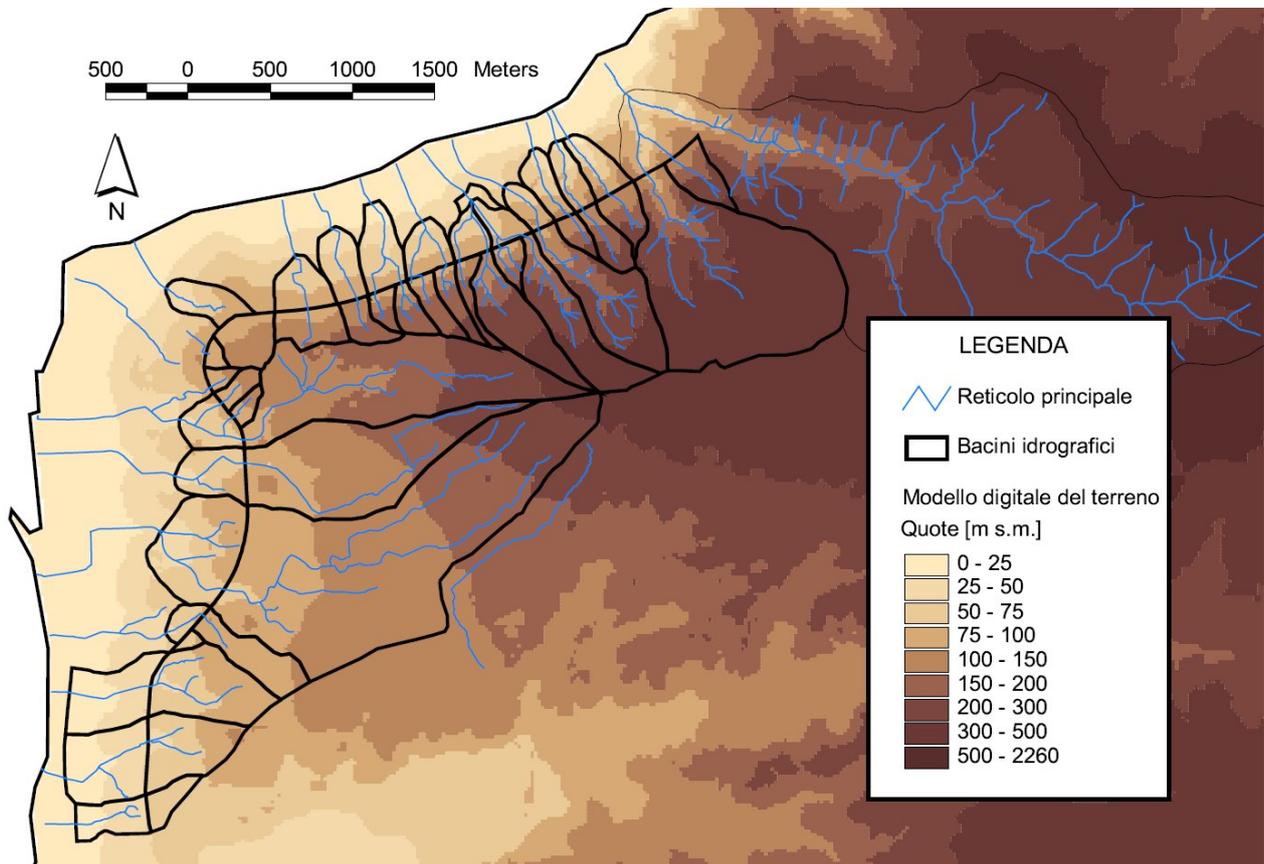


Figura 1 - Delimitazione dei bacini e reticolo principale su modello digitale del terreno.

La *Corografia idraulica generale* in scala 1:25.000 riporta anche uno schema gerarchico dei bacini, che consente una più immediata comprensione del posizionamento reciproco delle sezioni di chiusura e dell'ubicazione delle confluenze in relazione all'asse della viabilità in progetto.

A corredo della descrizione dei bacini in esame è stata inoltre condotta una valutazione della struttura gerarchica del reticolo idrografico principale, così da fornire una rappresentazione sintetica della sua densità e del modo in cui esso è articolato ed è distribuito sul territorio. Tale valutazione è stata effettuata applicando il noto metodo di Horton, il quale attribuisce un ordine gerarchico a tutti i tratti compresi tra due successive confluenze e si basa sui seguenti punti fondamentali:

- un ramo che non nasce dalla confluenza di altri due è di primo ordine;
- un ramo di ordine  $n$  congiungendosi con uno di ordine  $n-1$  non modifica il suo ordine;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- due rami di ordine  $n$  congiungendosi generano un ramo di ordine  $n+1$ ;
- in ogni nodo interno vi possono essere solo due rami entranti ed uno uscente
- la magnitudine  $\mu$  del bacino rappresenta il numero di rami del primo ordine.

La Figura 2 riporta un esempio di articolazione in rami di un reticolo di ordine 3 e magnitudine 6. L'ordine massimo indica, a parità di condizioni, se il reticolo è più o meno fitto. Tale valutazione comporta tuttavia dei termini di arbitrarietà, in quanto è dipendente dalla base cartografica e dalla scala a cui si effettua l'analisi, consentendo quindi confronti solo di tipo relativo.

Nel caso in esame, i bacini sono quasi tutti di modesta ramificazione, spesso costituiti da un unico canale che recapita direttamente in mare, per cui l'analisi gerarchica appare poco significativa e non è stata rappresentata su alcun elaborato grafico. Per completezza di caratterizzazione si forniscono comunque nella Tabella 2 l'ordine e la magnitudine dei corpi idrici alle sezioni di chiusura, così da evidenziare la diversa articolazione sul territorio dei corsi d'acqua considerati. La valutazione è condotta su base 1:10.000, considerando quali rami di ordine 1 solo quelli chiaramente definiti ed individuabili.

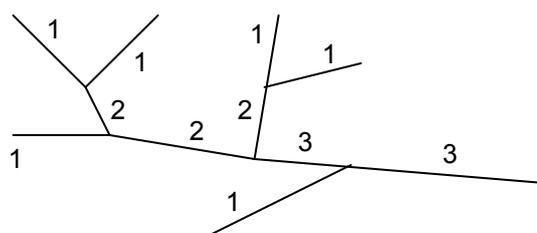


Figura 2 - Gerarchizzazione di un reticolo idrografico secondo il metodo di Horton.

identificativo bacino		gerarchizzazione	
codice	nome	ordine	magnitudine
01M.1	T. GIBIA	3	7
01M.1.1	T. GIBIA	1	1
02M.0	T. LATICOGNA	1	1
02V.0	T. LATICOGNA	1	1
03M.0	T. PRESTIANNI	1	1
03V.0	T. PRESTIANNI	1	1
04M.0	T. SERRO DELLA TORRE	1	1
04V.0	T. SERRO DELLA TORRE	1	1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

identificativo bacino		gerarchizzazione	
codice	nome	ordine	magnitudine
05M.0	T. PIRIA	2	6
05V.1	T. PIRIA	2	6
06M.1	T. ZAGARELLA 1	2	5
06M.1.1	T. ZAGARELLA 1	2	2
06M.2	T. ZAGARELLA 2	2	4
06M.2.1	T. ZAGARELLA 2	1	1
06V.1	T. ZAGARELLA 1	3	7
06V.2	T. ZAGARELLA 2	2	5
06V.0	T. ZAGARELLA 1	3	12
07M.1	FOSSO CONTRADA PIRGO	1	1
07M.2	FOSSO CONTRADA PIRGO	1	1
07V.0	FOSSO CONTRADA PIRGO	2	2
08M.1	T. POLISTENA	2	2
08M.2	T. POLISTENA	1	1
08V.0	T. POLISTENA	2	3
09M.0	T. LUPO	1	1
09V.0	T. LUPO	1	1
10M.0	FOSSO VIA GALLIANO	1	1
10V.0	FOSSO VIA GALLIANO	1	1
11M.0	T. FEMIA	1	1
11V.0	T. FEMIA	1	1
12M.0	T. ANONIMO	1	1
13M.1	T. CAMPANELLA	3	6
13M.1.1	T. CAMPANELLA	1	1
13M.1.2	T. CAMPANELLA	1	1
13M.1.3	T. CAMPANELLA	1	1
13V.1	T. CAMPANELLA	3	8
14M.0	T. IMMACOLATA	2	2
14V.0	T. IMMACOLATA	2	3
15M.0	T. SOLARO	2	5
15V.0	T. SOLARO	3	8
16M.1	T. ACCIARELLO	1	1
16M.1.1	RIO	1	1
16V.0	T. ACCIARELLO	1	1
17M.0	TORRENTE SAN FILIPPO	2	3
17V.0	TORRENTE SAN FILIPPO	2	3
18M.0	TORRENTE BOLANO	2	2
18V.0	TORRENTE BOLANO	2	3
19M.0	FOSSO CANNAMELE	1	1
19V.0	FOSSO CANNAMELE	2	2

Tabella 2 – Ordine gerarchico e magnitudine (secondo Horton) dei bacini alle sezioni di chiusura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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*).

## 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 – 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]: Arasi (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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per l'ubicazione delle stazioni si rimanda all'elaborato grafico *Corografia idraulica generale*. In Tabella 3 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
2460	Arasi	573	Reggio Calabria	sì	sì	sì

Tabella 3 - 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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						

(ovvero per dimensione del campione che tende a infinito) dei massimi di una serie; in particolare 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  $\alpha$  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  $\alpha$  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), congruemente con le grandezze fisiche che descrive.

La distribuzione di densità di probabilità di una log-normale a due parametri  $\mu_y$  e  $\sigma_y$  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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

meglio regolarizzano il campione. Per scegliere la distribuzione più appropriata per le successive elaborazioni sono stati applicati due noti test statistici di adattamento, ovvero il test di Smirnov-Kolmogorov (SK) e quello del Chi quadro ( $\chi^2$ ).

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  $\chi^2$  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  $\chi^2$ , 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 Figura 3 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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						

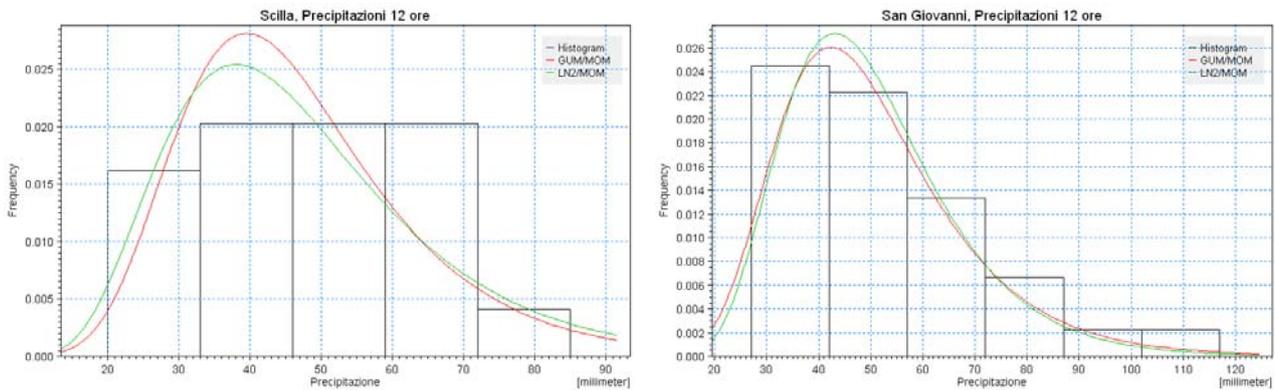


Figura 3 - Confronto tra distribuzioni di probabilità teoriche e frequenza delle osservazioni relativo a due campioni (Scilla e Villa S.Giovanni) per la durata di 12 ore.

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  $\chi^2$ , 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 4) 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 4 si riportano i cartogrammi relativi alla durata di 1 ora anche per le altre stazioni.

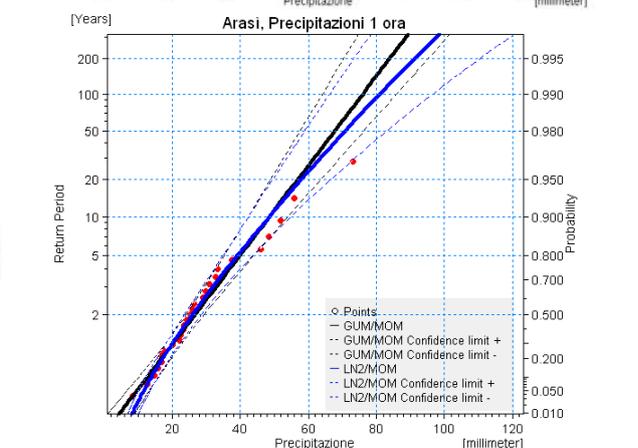
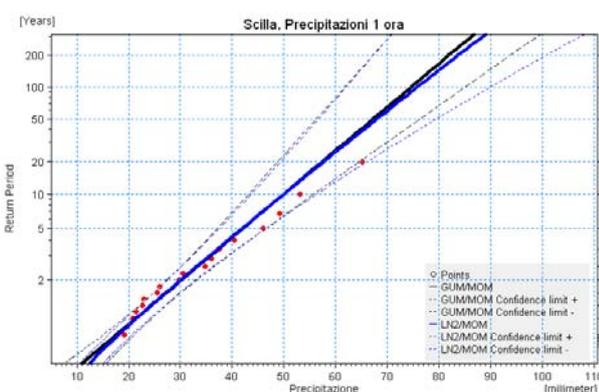
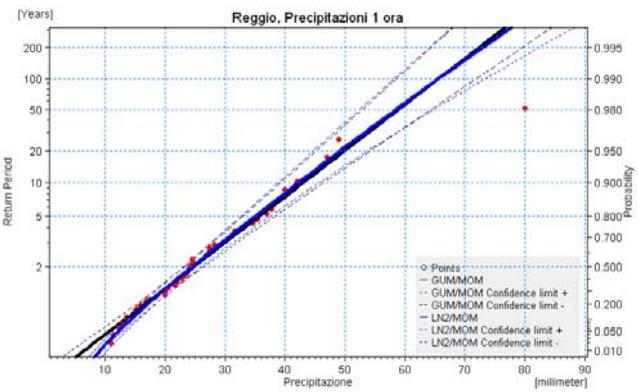
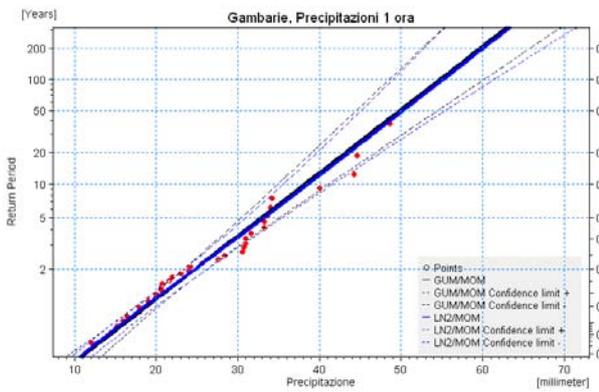
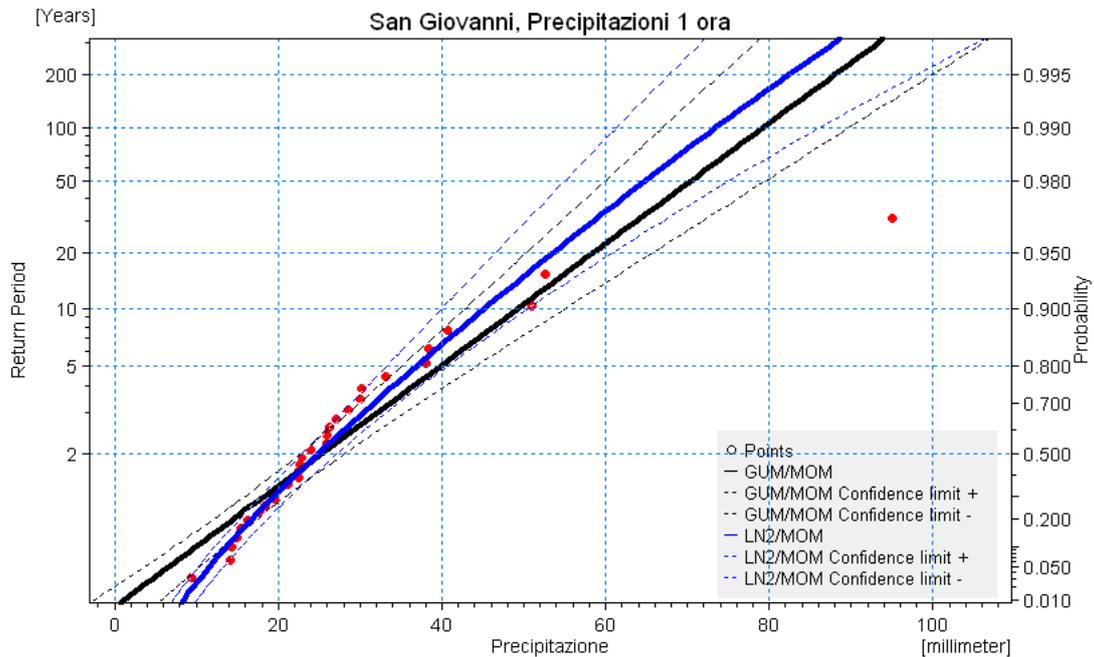


Figura 4 - Cartogrammi probabilistici per le serie di durata pari a 1 ora (in nero la distribuzione di Gumbel, in blu la log-normale).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La Tabella 4 riporta la media e la deviazione standard per ciascuna serie dei massimi di precipitazione; la Tabella 5 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	$\mu$ [mm]	27,96	38,67	44,60	50,45	59,15
	$\sigma$ [mm]	16,34	19,64	18,88	18,11	22,78
Scilla	$\mu$ [mm]	32,43	39,51	43,52	47,12	55,33
	$\sigma$ [mm]	13,45	16,15	16,14	16,78	25,95
Gambarie d'Aspromonte	$\mu$ [mm]	26,30	43,22	61,90	86,50	114,71
	$\sigma$ [mm]	9,08	15,63	28,14	42,54	63,58
Reggio	$\mu$ [mm]	26,85	34,71	42,33	50,32	58,97
	$\sigma$ [mm]	12,35	16,36	18,07	22,33	26,38
Arasi	$\mu$ [mm]	29,13	41,49	50,65	63,22	77,72
	$\sigma$ [mm]	14,89	17,97	16,53	17,38	28,44

Tabella 4 - Media e deviazione standard campionarie per le varie durate.

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

Tabella 5 - 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:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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						

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

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:

- $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una data soglia, per ciascuna delle due popolazioni;
- $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  il valore medio dell'intensità degli eventi che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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:  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

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  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria della distribuzione;
- al secondo livello: sottozone omogenee anche rispetto al parametro  $\Theta_1$ , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione della distribuzione;
- al terzo livello: sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro  $\Lambda_1$  (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  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , 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 6), Centrale e Ionica.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 6 - 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 7.

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

Tabella 7 - 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 8.

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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 8 - 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 3), applicando la [6] con i valori dei parametri di Tabella 8, ricavando le altezze medie  $m[h(t)]$  per le durate di interesse e applicando i coefficienti di crescita di Tabella 7 per i tempi di ritorno considerati.

### 3.3 Curve di possibilità pluviometrica di riferimento

La Tabella 9 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 9 - 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 9).

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 10 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).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 <sup>n</sup> ]	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 <sup>n</sup> ]	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 <sup>n</sup> ]	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 <sup>n</sup> ]	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 <sup>n</sup> ]	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 10 - 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, sistemazioni idrauliche per interferenze con corpi idrici aventi bacini contribuenti di estensione modesta e tempi di corrivazione assai brevi – cfr. paragrafo 7.1) 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 Bell<sup>2</sup> (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  $\rho$ :

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

con  $t$  espressa in minuti.

Ad analoghe conclusioni sono pervenuti altri Autori, analizzando serie di dati relative a diverse regioni del mondo, ad esempio Goswami<sup>3</sup> (1973) relativamente alle precipitazioni in India, o Jennings<sup>4</sup> (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 (Domanico<sup>5</sup>, 1986 e Calenda et al.<sup>6</sup>, 1993), e a quello di

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

<sup>3</sup> 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.

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

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

<sup>6</sup> 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

La Figura 5 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.

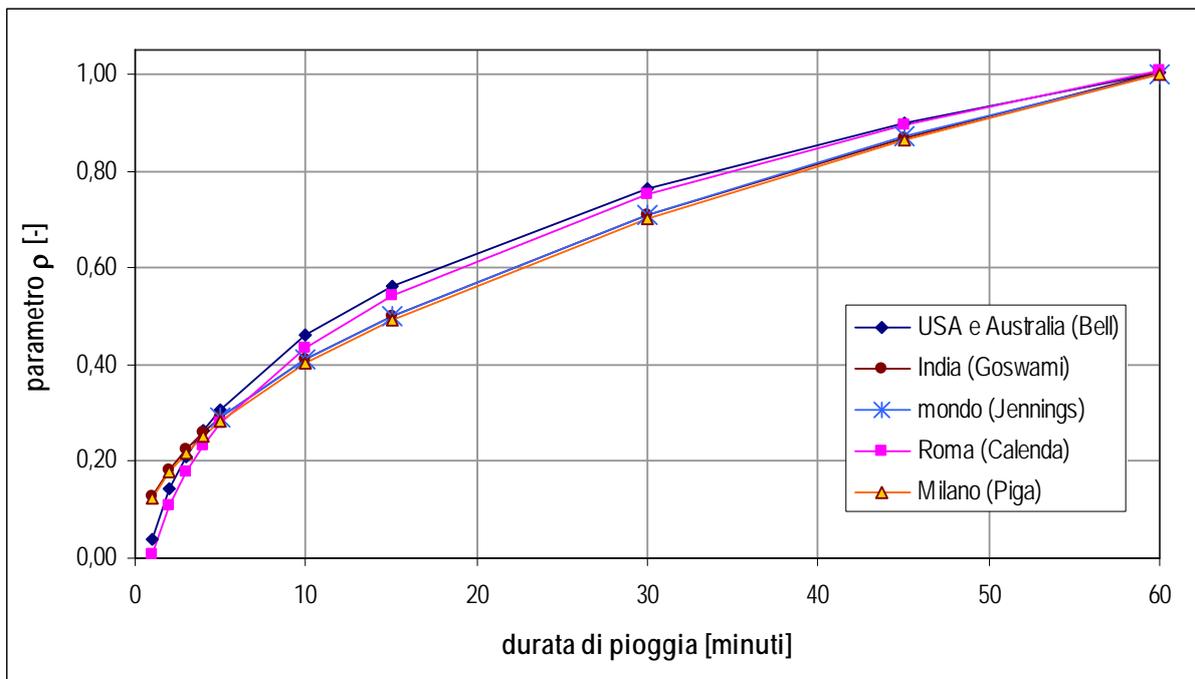


Figura 5 - Andamento del parametro  $\rho(t)$  ottenuto in diversi studi.

Sulla base quindi di tali osservazioni sperimentali è stata sviluppata<sup>8</sup> 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.

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 5, 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 6).

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 6 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 11.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

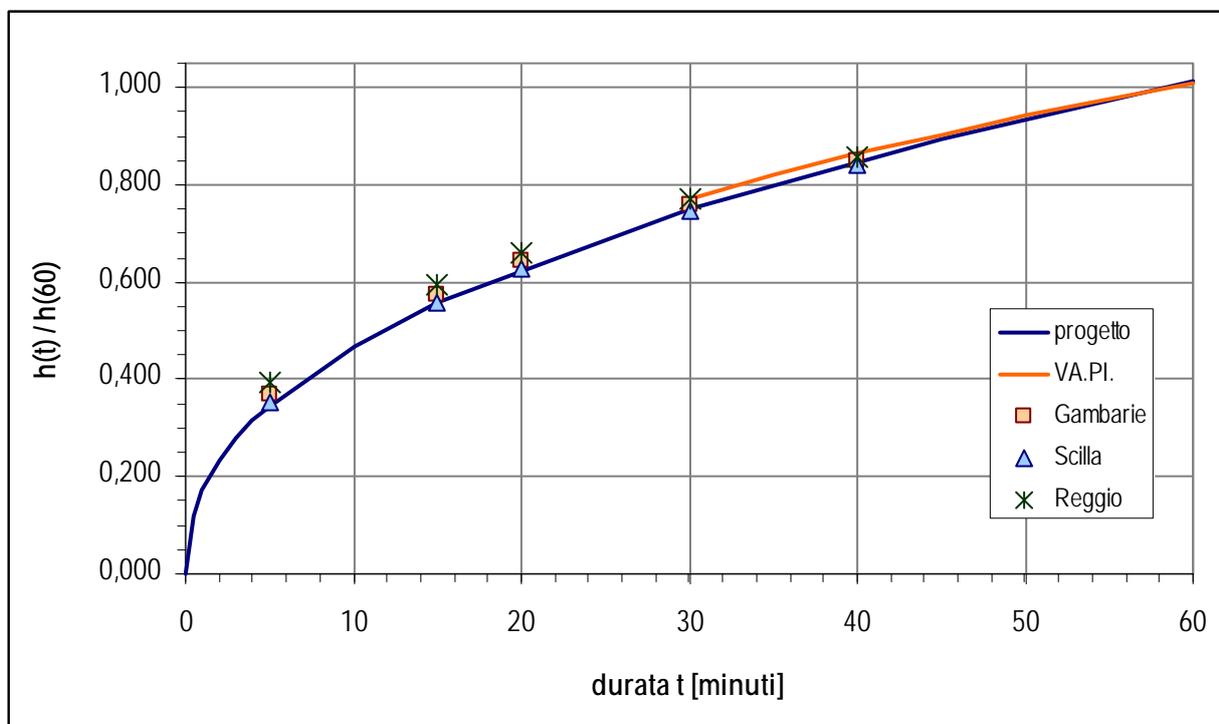


Figura 6 - Confronto tra i valori  $\rho(t)$  di progetto e quelli campionari.

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

Tabella 11 - Confronto tra i valori  $\rho(t)$  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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 7 a Figura 9, 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. Equivalentemente, 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.

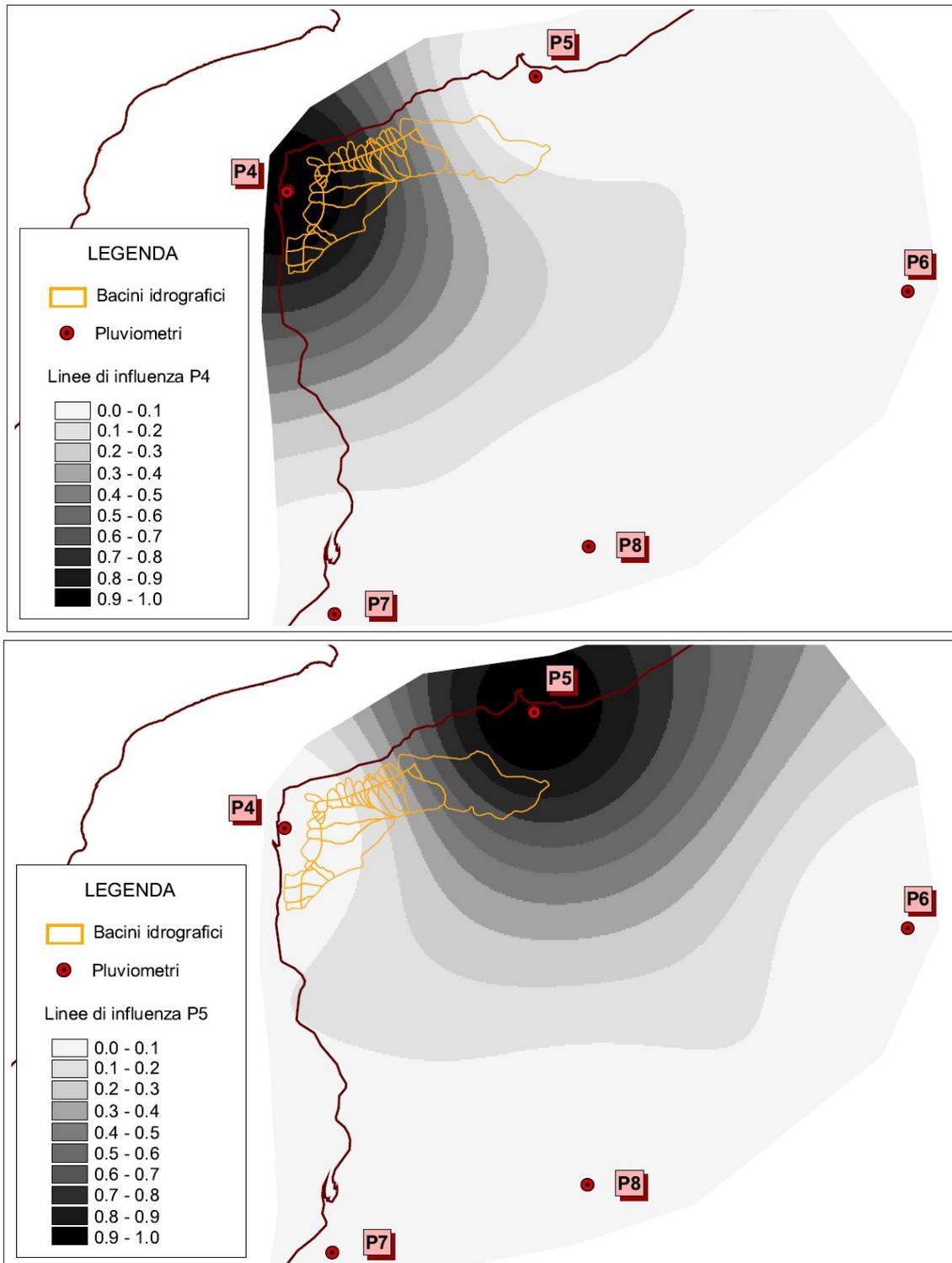


Figura 7 - Linee di influenza per i pluviometri P4 e P5.

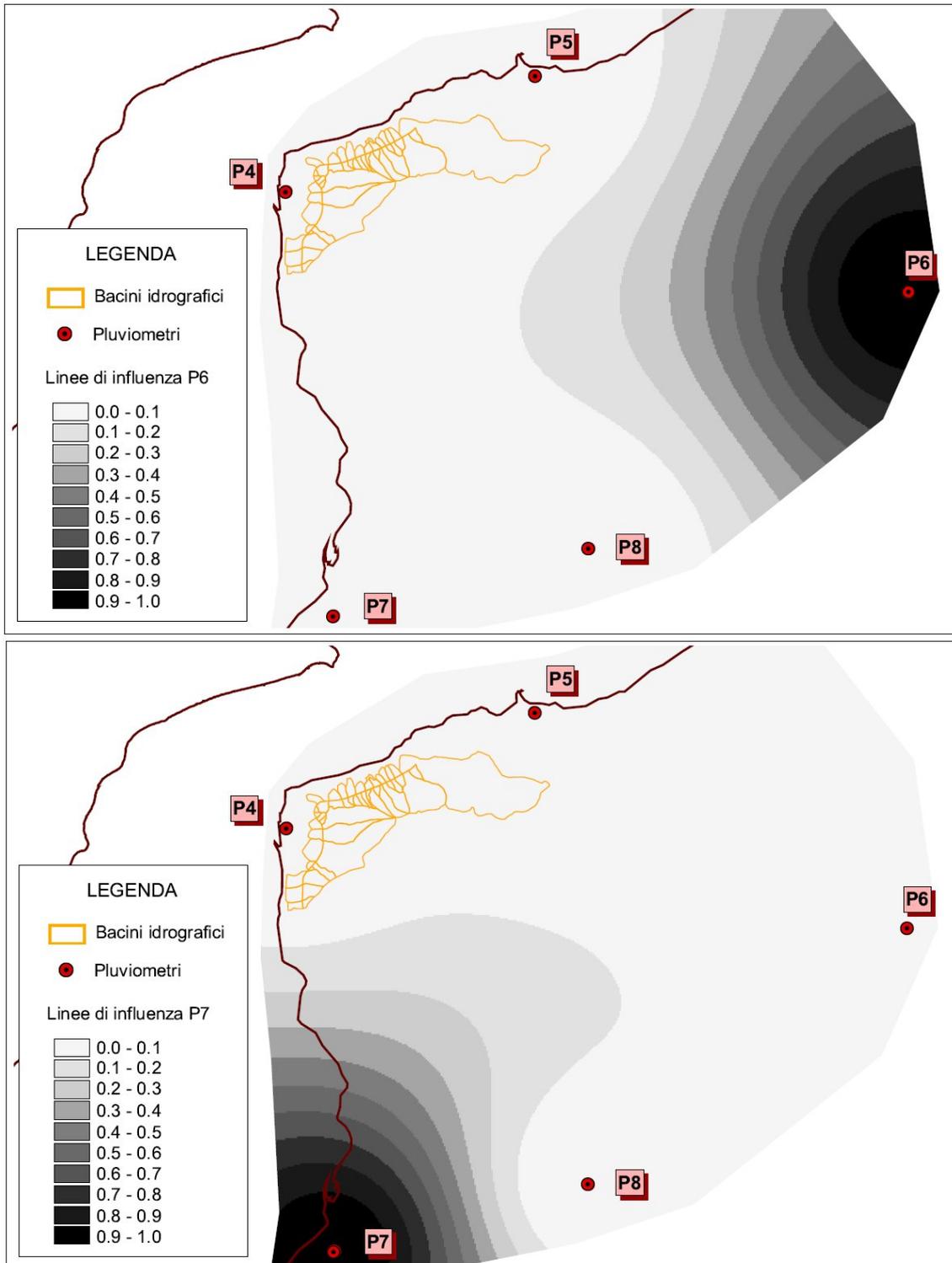


Figura 8 - Linee di influenza per i pluviometri P6 e P7.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

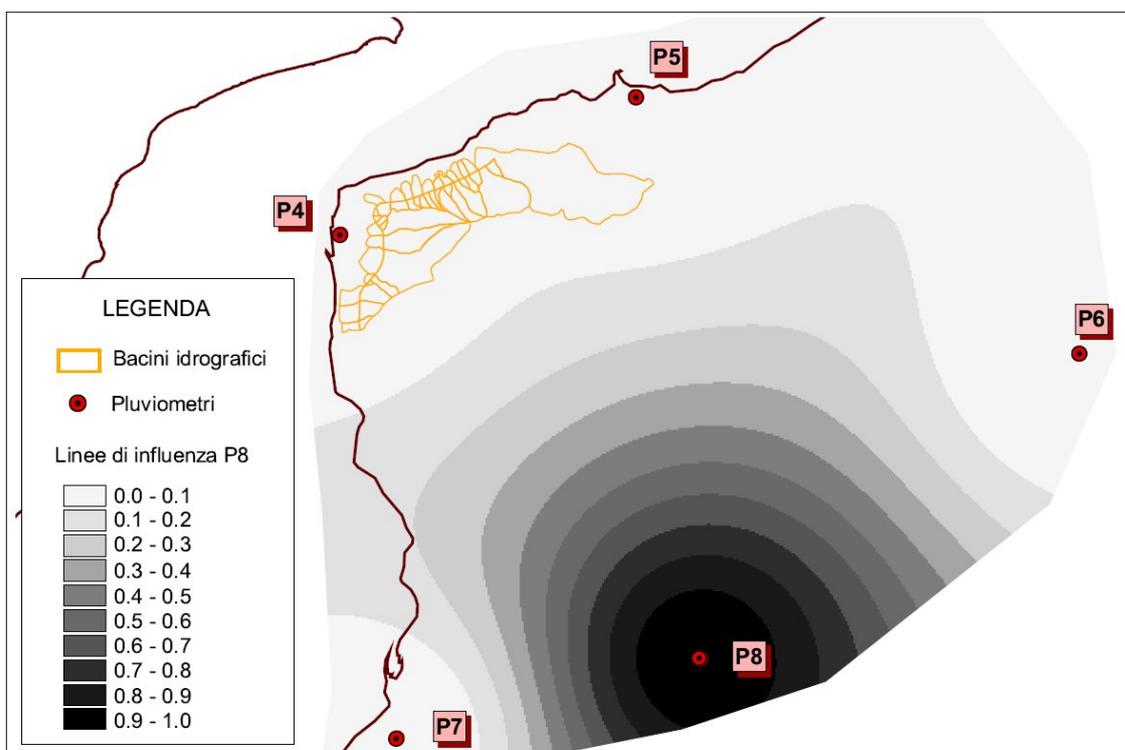


Figura 9 - Linee di influenza per il pluviometro P8.

## 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 10). 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 7 a Figura 9, 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 10).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'andamento di tali altezze critiche nell'area di interesse per il progetto risulta relativamente uniforme (soprattutto a confronto con l'omologo andamento nel versante Sicilia - cfr. la corrispondente *Relazione idrologica generale*). Per semplicità di trattazione, e congruenza nel dimensionamento della rete di drenaggio tra le varie porzioni delle infrastrutture in progetto, 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 10. Analoghe aree omogenee sono state definite per il versante Sicilia (da "tratto 0" a "tratto 3"). 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 12. In Tabella 13 vengono invece fornite le altezze di pioggia di progetto per alcune durate e per i tempi di ritorno di 100 e 50 anni, prescritti dalle Specifiche Tecniche di progettazione (elaborato GCG.F.02.04) per il dimensionamento delle opere di drenaggio, rispettivamente per la linea ferroviaria e stradale e per le deviazioni stradali.

TR [anni]	parametro	tratto 4
<b>100</b>	$a [mm/h^n]$	79,57
	$n [-]$	0,433
<b>50</b>	$a [mm/h^n]$	68,63
	$n [-]$	0,433

Tabella 12 - Parametri della curve di possibilità pluviometrica validi per durate inferiori all'ora (versante Calabria).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

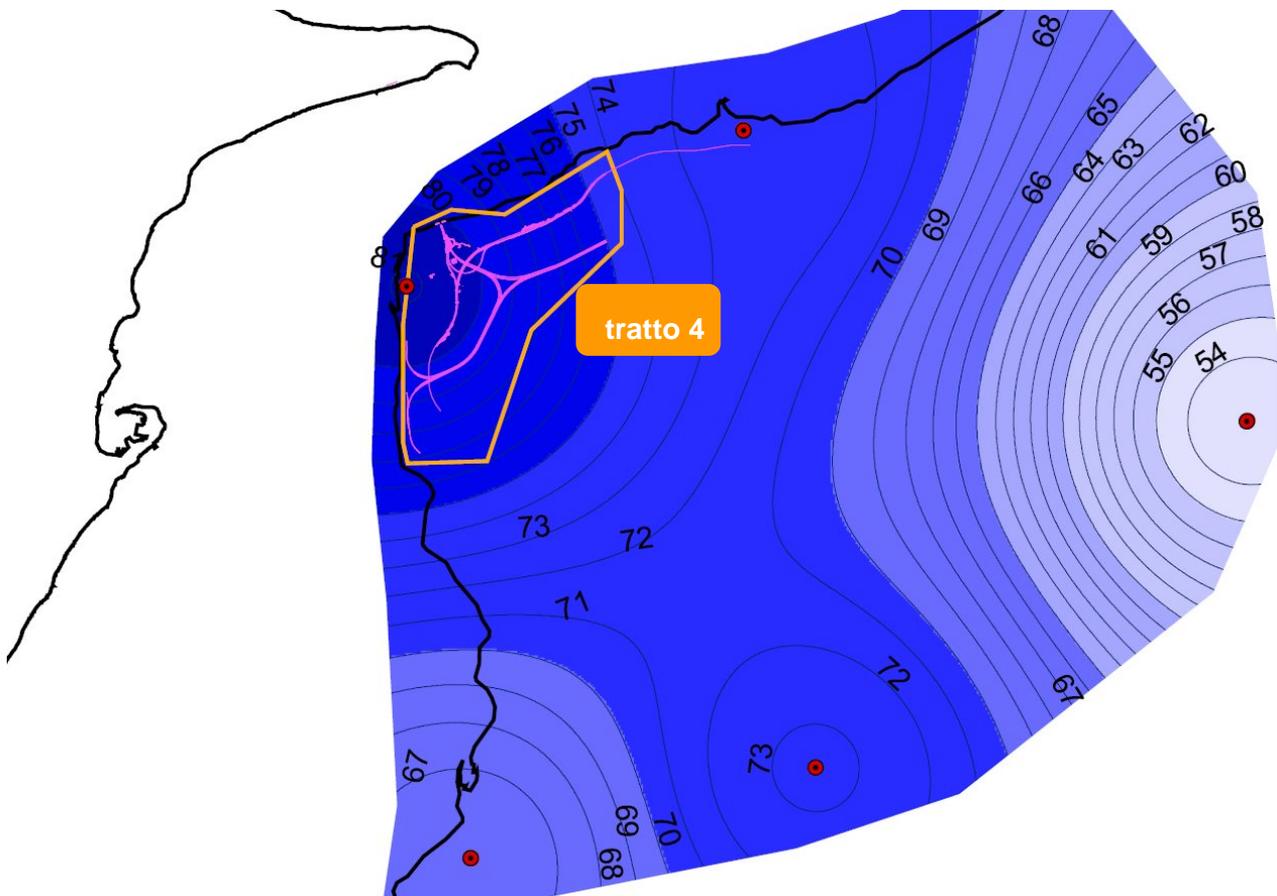


Figura 10 - Isoiete per la precipitazione critica di durata pari ad 1 ora (TR=100 anni). In rosso sono indicate le stazioni pluviometriche di riferimento; il poligono arancione rappresenta l'area di interesse.

fonte	TR [anni]	tempo di pioggia [minuti]				
		5	10	15	30	45
valori di progetto	100	27,1	36,6	43,7	58,9	70,3
	50	23,4	31,6	37,7	50,8	60,6
valori ANAS (A3, SA-RC)	100	21,3	28,7	34,2	46,1	54,8
	50	18,8	25,3	30,1	40,5	48,2

Tabella 13 - Altezze di pioggia di progetto [mm] per alcune durate inferiori all'ora (Calabria).

Questi valori sono stati posti a confronto, nella medesima tabella, con gli omologhi adottati nel Progetto Esecutivo<sup>9</sup> per l'ammodernamento del tratto dell'autostrada Salerno - Reggio Calabria

<sup>9</sup> ANAS (marzo 2010). DG87/03. Autostrada Salerno - Reggio Calabria. Lavori di ammodernamento ed

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

nell'area di interesse (DG87/03, ANAS, aggiornamento marzo 2010 - Perizia di variante stralcio). Si nota come i valori assunti in progetto siano maggiori di quelli adottati per il dimensionamento idraulico nel progetto ANAS. Questi ultimi derivano infatti dalla regionalizzazione VA.PI., che risulta meno cautelativa rispetto all'analisi diretta delle osservazioni sui pluviometri disponibili, con regionalizzazione locale (cfr. capitolo 3.3).

Come si osserva nei grafici riportati in allegato 1, le curve di possibilità pluviometrica ottenute nei diversi siti involuppano 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.

## 6.2 Opera di attraversamento

Relativamente alla problematica dello smaltimento delle acque di piattaforma per l'Opera di attraversamento, le specifiche tecniche sono contenute nell'elaborato GCG.F.05.03, *Specifiche tecniche per il progetto definitivo e il progetto esecutivo dell'Opera di attraversamento - Requisiti e linee guida per lo sviluppo della progettazione*, paragrafo 10.9.5.2.3.

In particolare è richiesta la progettazione di un impianto in grado di collettare e recapitare a trattamento le acque di "prima pioggia", mentre relativamente alle acque di "seconda pioggia" è richiesto il recapito alle reti di smaltimento solamente per la porzione di campata compresa entro 150 m dalle torri; per la parte centrale dell'impalcato è consentito lo sversamento in mare. È inoltre previsto che la captazione avvenga da entrambi i lati della carreggiata.

Con riferimento alla lettera della Società Stretto di Messina S.p.A. (prot. 0512 del 28/05/2010) di

---

adeguamento al tipo 1A delle norme CNR/80 dal km 423+300 (svincolo di Scilla incluso) al km 442+920. Progetto Esecutivo - Perizia di variante stralcio.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

chiarimento in merito, si identificano come acque di “prima pioggia” *quelle corrispondenti per ogni evento meteorico ad una precipitazione di 5 mm uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante dell'area di drenaggio*. Tale valore potrà essere assunto come riferimento per calcolare il volume delle vasche di trattamento in funzione dell'area pavimentata di competenza.

Per quanto riguarda il calcolo della portata di dimensionamento degli impianti, *si stabilisce che tale valore si verifichi in 15 minuti, [e] i coefficienti di afflusso si assumono pari a 1 per le superfici coperte, lastricate o impermeabilizzate*. Ne deriva pertanto un'intensità oraria di pioggia di 20 mm/h. In base a questi parametri saranno definite le portate affluenti alle vasche di trattamento.

Relativamente invece alle acque di “seconda pioggia”, non si riscontrano indicazioni relative ai tempi di ritorno da adottare in progetto, ad eccezione del valore di intensità di 138 mm/h contenuto nella tavola PG2DB0-106-2N101, la cui origine non viene esplicitata.

Analizzando le curve di possibilità pluviometrica ottenute per le stazioni più prossime a entrambe le sponde dell'Opera, ovvero Ganzirri (cfr. *Relazione idrologica generale – versante Sicilia*) e Villa S.Giovanni, si riscontra come quest'ultima presenti valori di precipitazione critica più elevati per durate pari o inferiori alle 6 ore e tempi di ritorno pari o superiori a 20 anni.

Considerando quindi, in via cautelativa, di adottare per l'intero ponte i valori relativi al pluviometro di Villa S.Giovanni, ed ipotizzando di considerare un tempo di ritorno pari a 100 anni per il dimensionamento degli impianti, analogamente a quanto previsto per la viabilità di raccordo, si ottengono le curve di possibilità pluviometrica di progetto, valide per durate rispettivamente inferiori o superiori all'ora, definite dai parametri di Tabella 14.

durata	parametro	ponte
<b>&lt; 57 minuti</b>	<i>a [mm/h<sup>n</sup>]</i>	82,20
	<i>n [-]</i>	0,433
<b>&gt; 57 minuti</b>	<i>a [mm/h<sup>n</sup>]</i>	81,04
	<i>n [-]</i>	0,140

Tabella 14 - Parametri della curve di possibilità pluviometrica validi per l'Opera di attraversamento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In alternativa all'utilizzo del valore di intensità di 138 mm/h precedentemente indicato e la cui origine non risulta specificata, si propone l'applicazione delle suddette curve di possibilità pluviometrica che, in funzione delle caratteristiche della rete di canalizzazione in progetto e dei conseguenti tempi di corrivazione, consentono la determinazione delle portate rispetto alle quali dimensionare le varie componenti del sistema di smaltimento delle acque di "seconda pioggia".

## Portate di piena

### 7 Metodologia di analisi

Come anticipato in premessa, nei bacini dei corpi idrici 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, 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 15, sulla base di valutazioni in merito alla classe di appartenenza del suolo, 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 11. Nei bacini più a Nord-Est e nelle zone montane risultano predominanti terreni a bassa permeabilità, mentre nelle altre aree sono presenti terreni con permeabilità da elevata a molto elevata.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<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 15 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

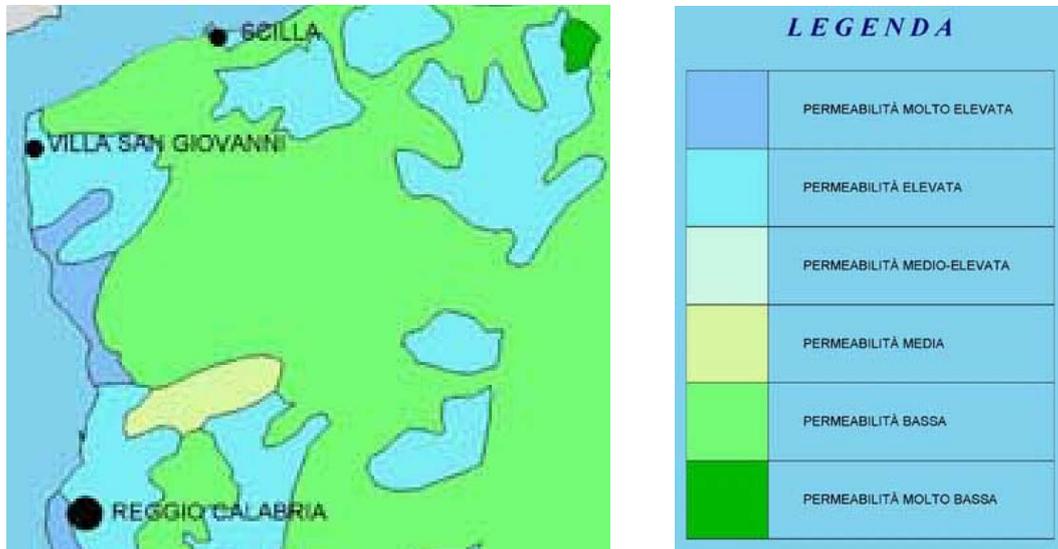


Figura 11 - Mappa della permeabilità dei suoli nell'area di interesse.

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 12. 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:  $S = 25,4 \cdot (1000/CN - 10)$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

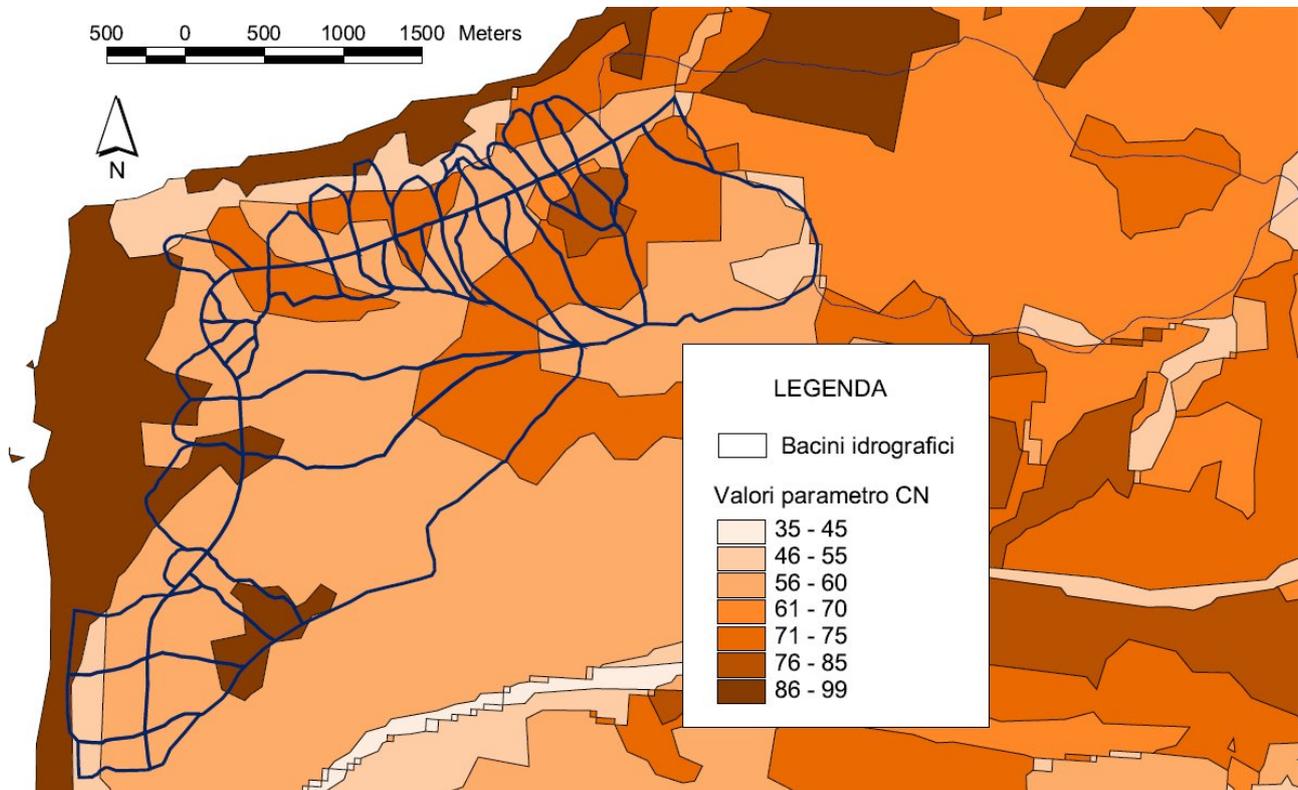


Figura 12 - Mappa del parametro CN nell'area di interesse.

La distribuzione del parametro CN tra i bacini in studio risulta significativamente uniforme, come si nota dal grafico di Figura 13, in cui essa è messa a confronto con l'omologa relativa al versante Sicilia. 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. In Sicilia invece i valori sono mediamente più elevati, e presentano una distribuzione più varia: circa il 20% è compreso tra 60 e 70, il 40% tra 70 e 80 ed il 40% ha valori superiori (fino a 90).

Il coefficiente di deflusso  $\phi$  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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- 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.

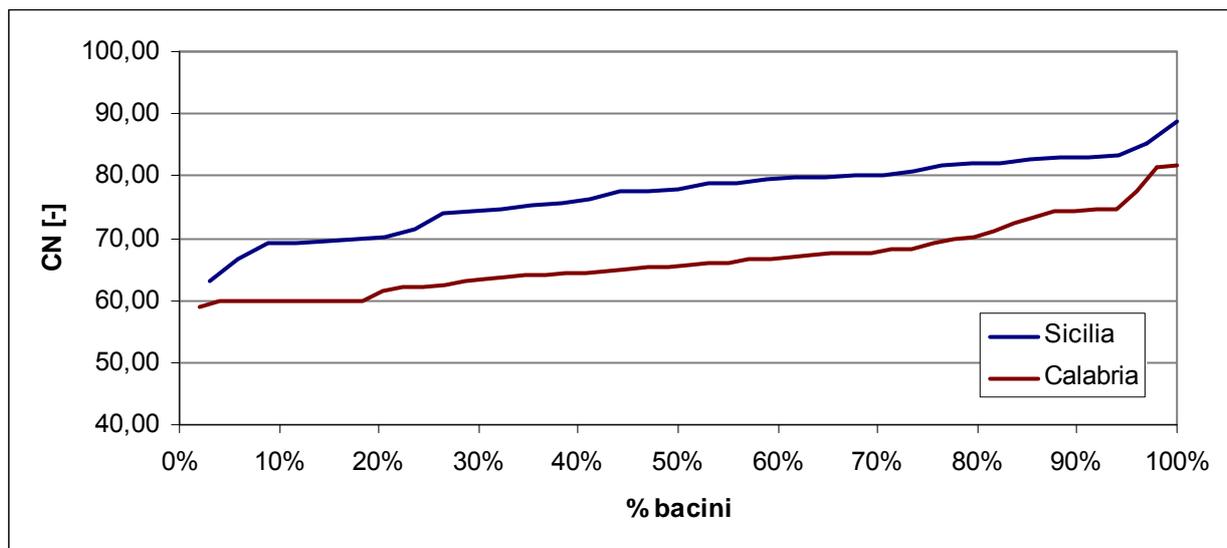


Figura 13 - Distribuzione del parametro CN tra i bacini in esame, per entrambi i versanti.

L'aspetto di ragguglio 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  $c = \phi$ .

Nell'analisi idrologica del già citato Progetto Esecutivo DG87/03 per l'ammodernamento del tratto di interesse dell'autostrada Salerno - Reggio Calabria (ANAS, 2010), a seguito di analoghe considerazioni è stato assunto per tutti i bacini un valore di  $\phi$  costante e pari a 0,65, valore risultato cautelativo dal raffronto tra diverse metodologie di stima dell'afflusso netto, e suffragato da

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

alcune verifiche condotte utilizzando il metodo SCS per il calcolo del volume  $R_0$ .

Anche nel presente progetto, per congruenza con le ipotesi progettuali già adottate in corrispondenza dei medesimi siti, si è quindi deciso di assumere la stessa ipotesi, attribuendo a tutti i bacini del versante Calabria un coefficiente di deflusso pari a **0,65**.

## 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 (principalmente 1 o 2, cfr. Tabella 2), 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).

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:

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

dove:

$A [km^2]$  = superficie del bacino;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- $\phi$  [-] = coefficiente medio di deflusso del bacino, definito nel paragrafo 7.1;
- $h$  [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).
- $t_c$ [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 e al paragrafo 7.1, ai quali si fa riferimento per le unità di misura ed i valori adottati.

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 km<sup>2</sup>, Ventura e Pasini considerano bacini di dimensioni piccole e medie (anche fino a 40 km<sup>2</sup>) e pendenze più ridotte.

Poiché i valori ottenuti appaiono significativamente concordi tra le diverse formule, come si può notare dai risultati di dettaglio riportati in allegato 2, 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 Risultati**

### **8.1 Portate massime di progetto**

La stima delle portate di progetto per ciascun bacino, condotta secondo la metodologia descritta nei paragrafi precedenti, è stata effettuata per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 30, 50, 100 e 200 anni, così da disporre dei dati necessari per tutte le verifiche ed elaborazioni richieste dalle Specifiche Tecniche di progettazione (con riferimento in particolare all'elaborato GCG.F.02.04).

Per ciascun bacino sono state ricavate le altezze di precipitazione critiche mediante la procedura di spazializzazione definita al capitolo 5, applicando quindi il modello di trasformazione afflussi-deflussi secondo le modalità descritte nel paragrafo 7.2.

La Tabella 16 fornisce una sintesi dei risultati ottenuti per ciascun bacino, riportando il tempo di corrivazione adottato (media tra le diverse formule utilizzate) espresso in ore e in minuti, e le portate di progetto per i tempi di ritorno di 30, 100 e 200 m<sup>3</sup>/s. I risultati di dettaglio sono forniti in allegato 2.

identificativo bacino		tempo di corrivazione		portate di progetto [m <sup>3</sup> /s]		
codice	nome corpo idrico significativo	media [h]	media [']	Q30	Q100	Q200
01M.1	T. GIBIA	0,240	14,4	27,1	33,1	36,5
01M.1.1	T. GIBIA	0,083	5,0	4,3	5,2	5,7
02M.0	T. LATICOGNA	0,083	5,0	3,4	4,2	4,6
02V.0	T. LATICOGNA	0,092	5,5	6,8	8,3	9,2
03M.0	T. PRESTIANNI	0,083	5,0	3,3	4,0	4,5
03V.0	T. PRESTIANNI	0,094	5,6	6,0	7,4	8,2
04M.0	T. SERRO DELLA TORRE	0,083	5,0	1,8	2,2	2,4
04V.0	T. SERRO DELLA TORRE	0,088	5,3	4,9	6,1	6,7
05M.0	T. PIRIA	0,154	9,2	10,4	12,8	14,1
05V.1	T. PIRIA	0,192	11,5	10,7	13,1	14,5
06M.1	T. ZAGARELLA 1	0,143	8,6	8,6	10,6	11,7
06M.1.1	T. ZAGARELLA 1	0,083	5,0	2,0	2,5	2,7
06M.2	T. ZAGARELLA 2	0,142	8,5	7,5	9,2	10,2
06M.2.1	T. ZAGARELLA 2	0,083	5,0	2,3	2,9	3,2
06V.1	T. ZAGARELLA 1	0,183	11,0	10,5	12,9	14,3
06V.2	T. ZAGARELLA 2	0,182	10,9	9,8	12,1	13,4
06V.0	T. ZAGARELLA 1	0,221	13,2	16,6	20,4	22,6
07M.1	FOSSO CONTRADA PIRGO	0,083	5,0	2,7	3,3	3,7
07M.2	FOSSO CONTRADA PIRGO	0,083	5,0	2,8	3,4	3,8
07V.0	FOSSO CONTRADA PIRGO	0,108	6,5	8,0	9,9	11,0
08M.1	T. POLISTENA	0,083	5,0	2,5	3,1	3,5
08M.2	T. POLISTENA	0,083	5,0	1,7	2,1	2,3
08V.0	T. POLISTENA	0,139	8,4	7,4	9,2	10,2
09M.0	T. LUPO	0,083	5,0	2,9	3,6	3,9
09V.0	T. LUPO	0,123	7,4	6,1	7,5	8,3
10M.0	FOSSO VIA GALLIANO	0,083	5,0	4,5	5,6	6,2
10V.0	FOSSO VIA GALLIANO	0,121	7,3	7,3	9,1	10,1
11M.0	T. FEMIA	0,084	5,1	4,9	6,1	6,7
11V.0	T. FEMIA	0,146	8,8	6,8	8,4	9,4
12M.0	T. ANONIMO	0,083	5,0	0,9	1,1	1,2
13M.1	T. CAMPANELLA	0,397	23,8	16,2	20,0	22,2
13M.1.1	T. CAMPANELLA	0,083	5,0	1,3	1,6	1,8
13M.1.2	T. CAMPANELLA	0,083	5,0	1,8	2,3	2,5
13M.1.3	T. CAMPANELLA	0,083	5,0	1,0	1,3	1,4
13V.1	T. CAMPANELLA	0,458	27,5	17,8	22,1	24,5
14M.0	T. IMMACOLATA	0,389	23,3	13,0	16,1	17,8
14V.0	T. IMMACOLATA	0,465	27,9	13,9	17,2	19,1
15M.0	T. SOLARO	0,622	37,3	26,1	32,2	35,8
15V.0	T. SOLARO	0,731	43,9	28,1	34,7	38,5
16M.1	T. ACCIARELLO	0,240	14,4	4,1	5,1	5,7
16M.1.1	RIO	0,083	5,0	0,6	0,8	0,9
16V.0	T. ACCIARELLO	0,229	13,7	5,3	6,5	7,3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

identificativo bacino		tempo di corrivazione		portate di progetto [m <sup>3</sup> /s]		
codice	nome corpo idrico significativo	media [h]	media [']	Q30	Q100	Q200
17M.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0,104	6,2	11,3	14,0	15,5
17V.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0,176	10,6	14,6	18,1	20,1
18M.0	TORRENTE BOLANO	0,163	9,8	6,5	8,1	9,0
18V.0	TORRENTE BOLANO	0,276	16,6	10,2	12,7	14,1
19M.0	FOSSO CANNAMELE	0,100	6,0	2,3	2,9	3,2
19V.0	FOSSO CANNAMELE	0,176	10,5	4,6	5,7	6,3

Tabella 16 - Tempi di corrivazione e portate di piena di progetto per i bacini in esame.

**NOTA:** le portate sopra riportate sono riferite alla sola fase liquida. Per il dimensionamento idraulico delle opere, con particolare riferimento alla portata associata ad un tempo di ritorno di 200 anni, sono state condotte delle stime relative alla capacità di trasporto solido della corrente, le quali hanno portato ad una maggiorazione del valore considerato nelle simulazioni idrodinamiche condotte. Tale attività è descritta in dettaglio (relativamente alla metodologia applicata e ai risultati ottenuti) nella *Relazione idraulica*, alla quale si rimanda.

## 8.2 Confronto con studi pregressi

Il principale studio pregresso di riferimento è costituito dal più volte citato Progetto Esecutivo DG87/03 (ANAS 2010), il quale indaga diversi bacini in comune con il presente progetto (sezioni di chiusura sostanzialmente confrontabili). La Tabella 17 mostra un confronto tra i risultati ottenuti per i bacini di omologa sezione di chiusura, relativamente all'area sottesa e alla portata di progetto per TR=200 anni.

In generale si nota un buon accordo tra le due analisi idrologiche, con i valori assunti nel presente progetto sempre superiori, in accordo con l'adozione di parametri di base più cautelativi (curve di possibilità pluviometriche da regressione diretta dei dati locali aggiornati, anziché dalla regionalizzazione VA.PI., cfr. capitolo 3).

Le differenze appaiono minime nei bacini di maggiore estensione (superiori a 0,5 km<sup>2</sup>), mentre risultano più marcate nei bacini più piccoli. Tale comportamento è probabilmente imputabile al modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato: l'applicazione dei coefficienti di crescita VA.PI. ad una portata di piena indice calcolata col metodo razionale infatti appare meno affidabile (e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

comunque meno cautelativa) per le piccole superfici contribuenti, in quanto essi derivano da analisi statistiche di dati relativi a bacini di diversa dimensione e tipologia (cfr. paragrafo 7.2).

identificativo bacino		codice DG87/03	A [km <sup>2</sup> ]		Q [m <sup>3</sup> /s], TR=200 anni	
codice	nome corpo idrico significativo		progetto	DG87/03	progetto	DG87/03
00V.0	T. S. TRADA	10	5,8424	4,4400	95,15	93,16
01M.1	T. GIBIA	12	1,0630	0,9900	36,48	34,97
01M.1.1	T. GIBIA	11	0,0917	0,0740	5,72	3,84
02M.0	T. LATICOGNA	13	0,0727	0,0680	4,60	3,52
03M.0	T. PRESTIANNI	14	0,0702	0,0640	4,46	3,32
04M.0	T. SERRO DELLA TORRE	15	0,0373	0,0360	2,38	1,87
05M.0	T. PIRIA	16	0,3139	0,2610	14,13	12,29
06M.1	T. ZAGARELLA 1	17	0,2486	0,2130	11,73	9,29
06M.1.1	T. ZAGARELLA 1	18 + 19	0,0424	0,2340	2,74	12,13
06M.2	T. ZAGARELLA 2		0,2126		10,18	
06M.2.1	T. ZAGARELLA 2	20	0,0486	0,0470	3,17	2,44
07M.1	FOSSO CONTRADA PIRGO	21	0,0560	0,0550	3,66	2,85
07M.2	FOSSO CONTRADA PIRGO	22+23	0,0583	0,0500	3,82	2,59
08M.1	T. POLISTENA	25	0,0525	0,0470	3,45	2,44
08M.2	T. POLISTENA	26	0,0354	0,0330	2,34	1,71
09M.0	T. LUPO	27	0,0596	0,0600	3,95	3,11
13M.1	T. CAMPANELLA	28	0,8151	0,7100	22,24	21,61
14M.0	T. IMMACOLATA	29	0,6426	1,3300	17,83	32,97
15M.0	T. SOLARO	30+31+32	1,6955	0,8120	35,78	22,27
16M.1	T. ACCIARELLO	33	0,1559	0,0400	5,70	2,07
17M.0	TORRENTE SAN FILIPPO	34+35+36	0,2634	0,3050	15,49	13,39
18M.0	TORRENTE BOLANO	37+37a	0,1980	0,1400	8,98	7,26
19M.0	FOSSO CANNAMELE	38	0,0534	0,0860	3,19	4,46

Tabella 17 - Confronto tra le portate di progetto e quelle assunte dal DG87/03.

Unica eccezione a quanto esposto è costituita dai torrenti Immacolata e Solaro, le cui portate di progetto appaiono notevolmente diverse tra i due studi (e in particolare per l'Immacolata la portata fornita dal DG87/03 è molto maggiore di quella assunta nella presente analisi). Tale discrepanza è dovuta ad una differente attribuzione delle superfici contribuenti nel tracciamento dei bacini sottesi, relativamente alla porzione più montana. La perimetrazione effettuata nel presente progetto, basata anche su cartografie di maggior dettaglio e aggiornamento e verificata nei punti più significativi con specifici sopralluoghi, risulta significativamente congruente con la delimitazione dei bacini contenuta nel PAI (redatto dall'Autorità di Bacino Regionale della Calabria) e nel Progetto

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Preliminare<sup>10</sup> delle opere di collegamento del ponte con la linea ferroviaria (RFI).

Analoghe considerazioni possono essere espresse per il Fosso Cannamele, per il quale la differenza tra le portate di progetto è imputabile alla maggiore area contribuente individuata dal DG87/03.

Nel citato progetto RFI è contenuta anche un'analisi idrologica dei corpi idrici interferenti, con particolare riferimento ai torrenti situati a Sud di Villa S.Giovanni. La sezione di chiusura del bacino del torrente Solaro è ubicata assai più a monte rispetto alla 15M.0 del presente progetto, per cui le portate ottenute non sono confrontabili. Relativamente invece agli altri corpi idrici, il confronto è riportato in Tabella 18. Le portate assunte nel presente progetto risultano assai maggiori; i valori assunti dall'analisi di RFI derivano dall'applicazione del metodo razionale alle piogge critiche ottenute mediante la regionalizzazione del VA.PI.

identificativo bacino		codice RFI	A [km <sup>2</sup> ]		Q [m <sup>3</sup> /s], TR=200 anni	
codice	nome corpo idrico significativo		progetto	RFI	progetto	RFI
17M.0	TORRENTE SAN FILIPPO	2	0,461	0,467	20,1	4,76
18M.0	TORRENTE BOLANO	3	0,419	0,417	14,1	5,50
19V.0	FOSSO CANNAMELE	4	0,145	0,139	6,3	2,85

Tabella 18 - Confronto tra le portate di progetto e quelle assunte dal progetto preliminare RFI.

Per effettuare un confronto più generale in merito alla congruenza tra le modalità di stima delle portate di progetto, indipendente dalle discrepanze sull'individuazione della superficie contribuente del singolo bacino, sono stati valutati i contributi specifici di piena per la portata associata ad un tempo di ritorno di 200 anni. In particolare sono stati calcolati i seguenti parametri:

- $q$  [m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>]: contributo specifico di piena rispetto alla superficie del bacino in esame;
- $q_{100}$  [m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>]: contributo specifico di piena trasposto idrologicamente ad una superficie "standard" di 100 km<sup>2</sup> (mediante la nota formula di Mongiardini, che utilizza un fattore pari alla radice del rapporto tra le aree).

L'analisi dell'andamento di questi parametri conferma le considerazioni già espresse: tra le portate

<sup>10</sup> RFI. Progetto Preliminare – Opere di collegamento del ponte sullo stretto di Messina con la linea Battipaglia - Reggio Calabria.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

di progetto e quelle definite dalla DG87/03 si riscontra una buona congruenza, con valori maggiori in progetto per i bacini di minore estensione. I valori assunti dal progetto RFI risultano invece di entità assai inferiore.

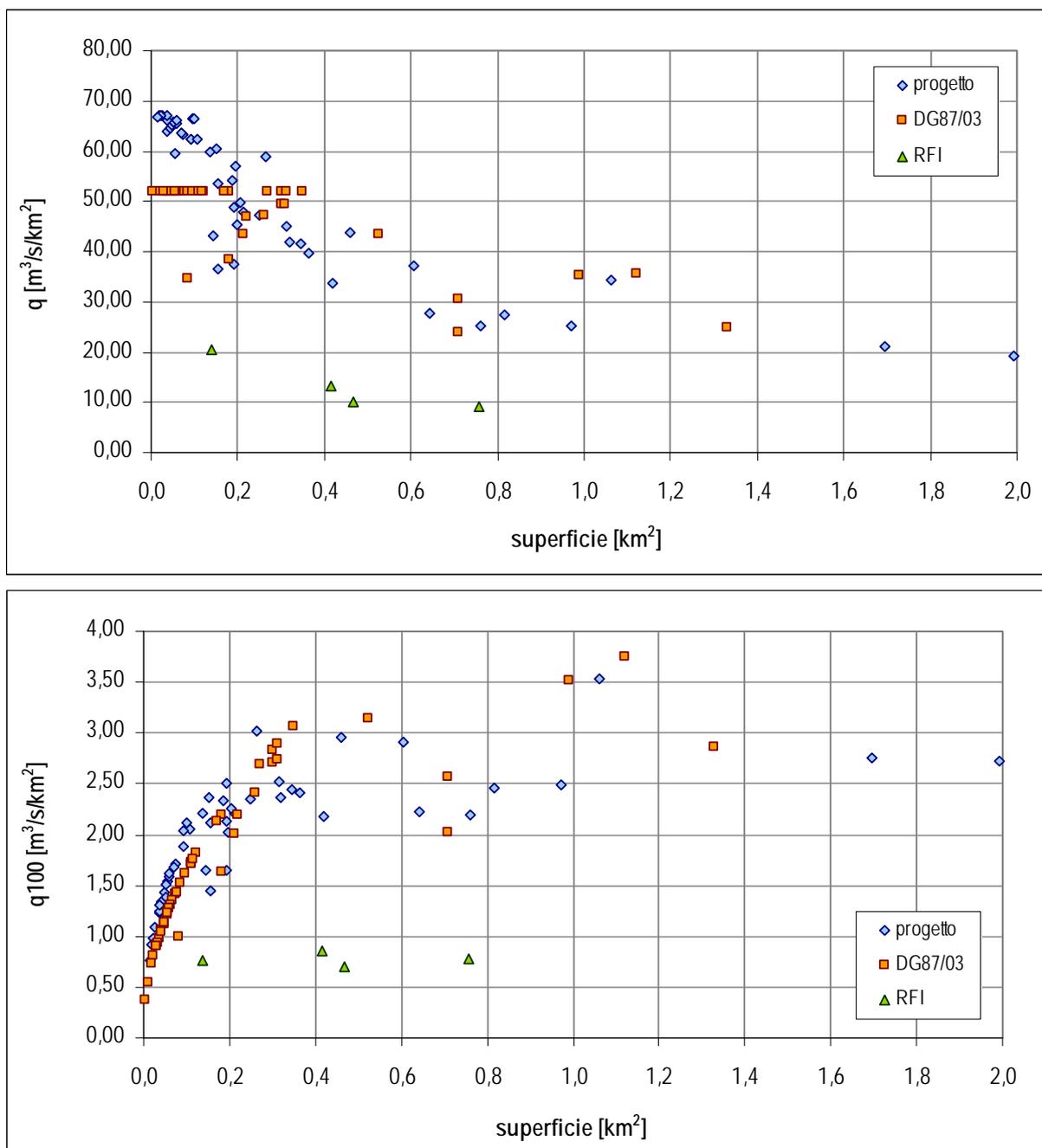


Figura 14 - Confronto tra contributi specifici di piena (TR= 200 anni).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> CB0001_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

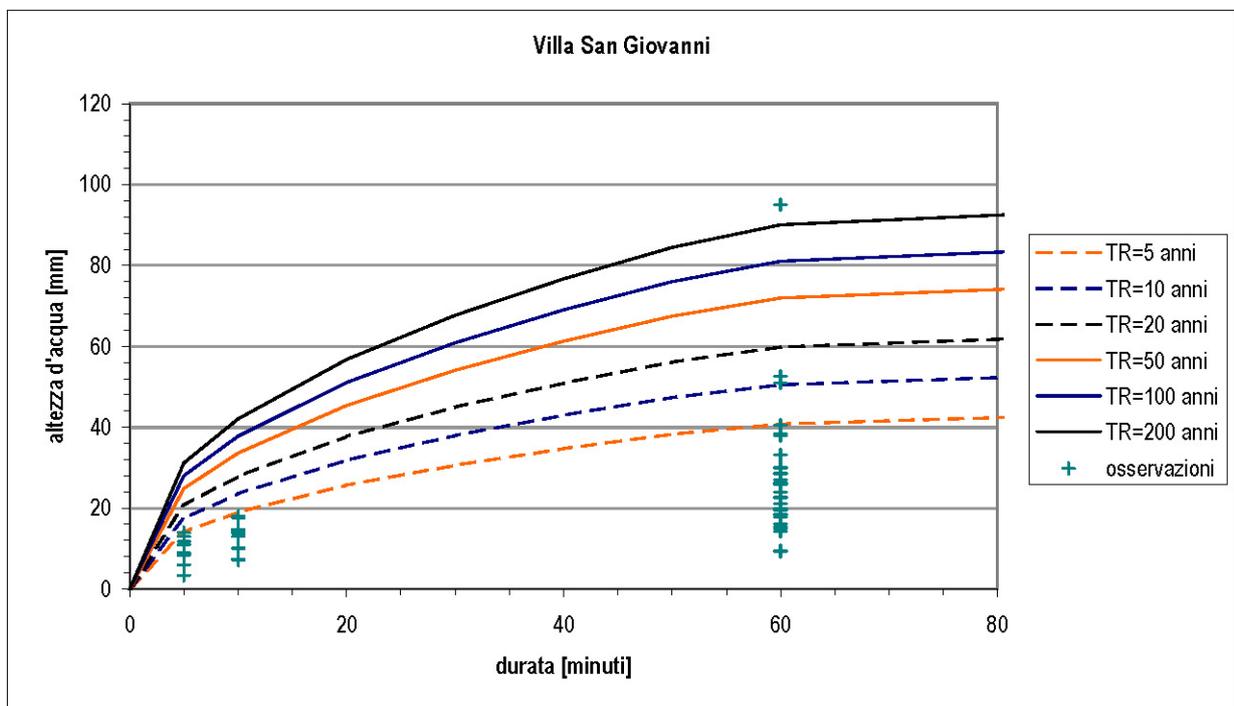
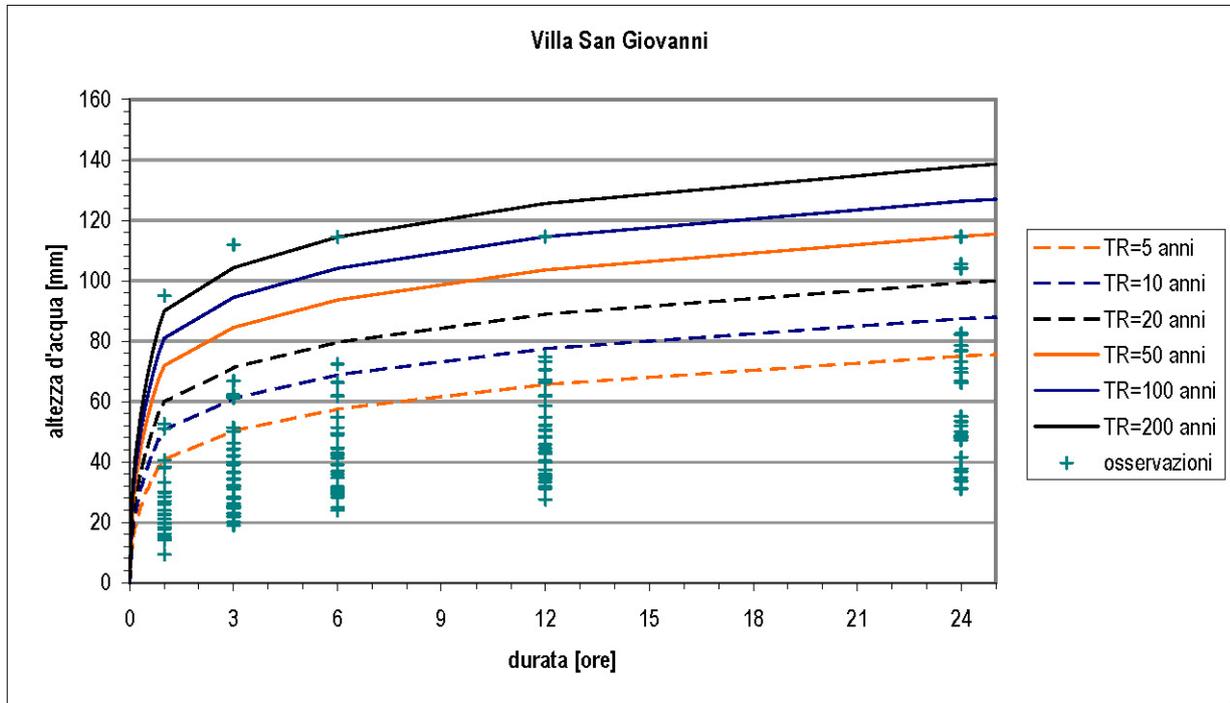
## ALLEGATO 1

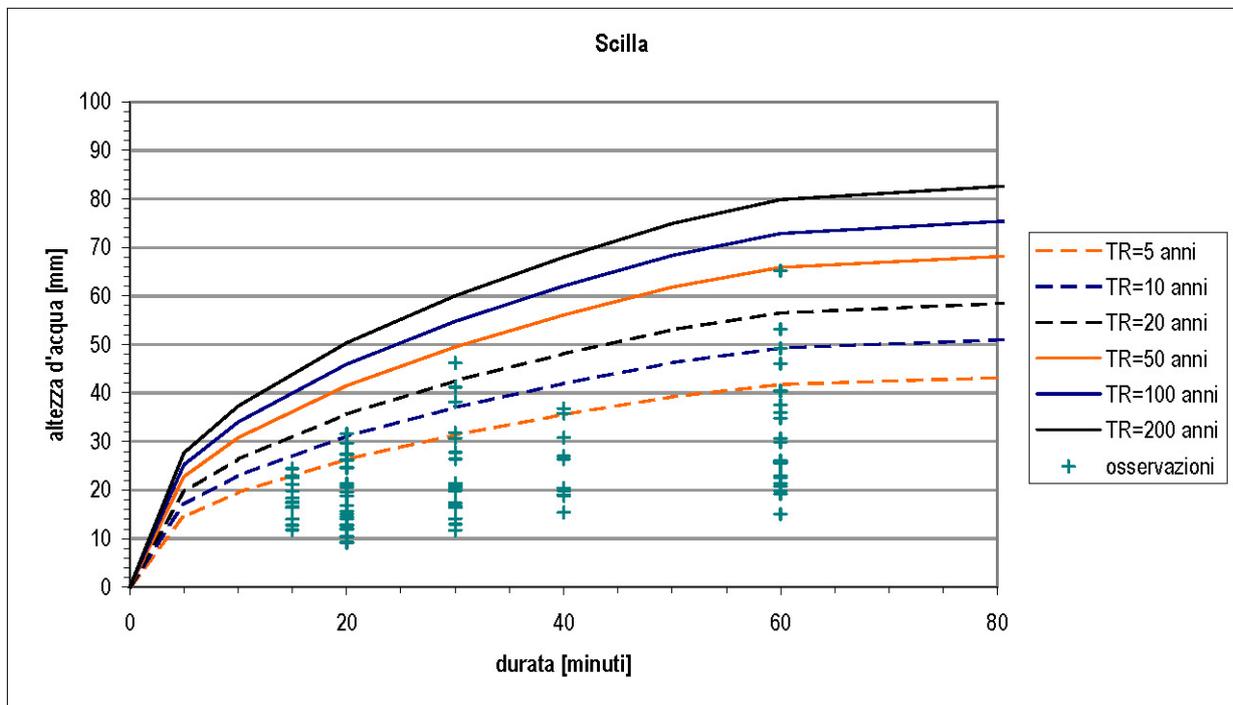
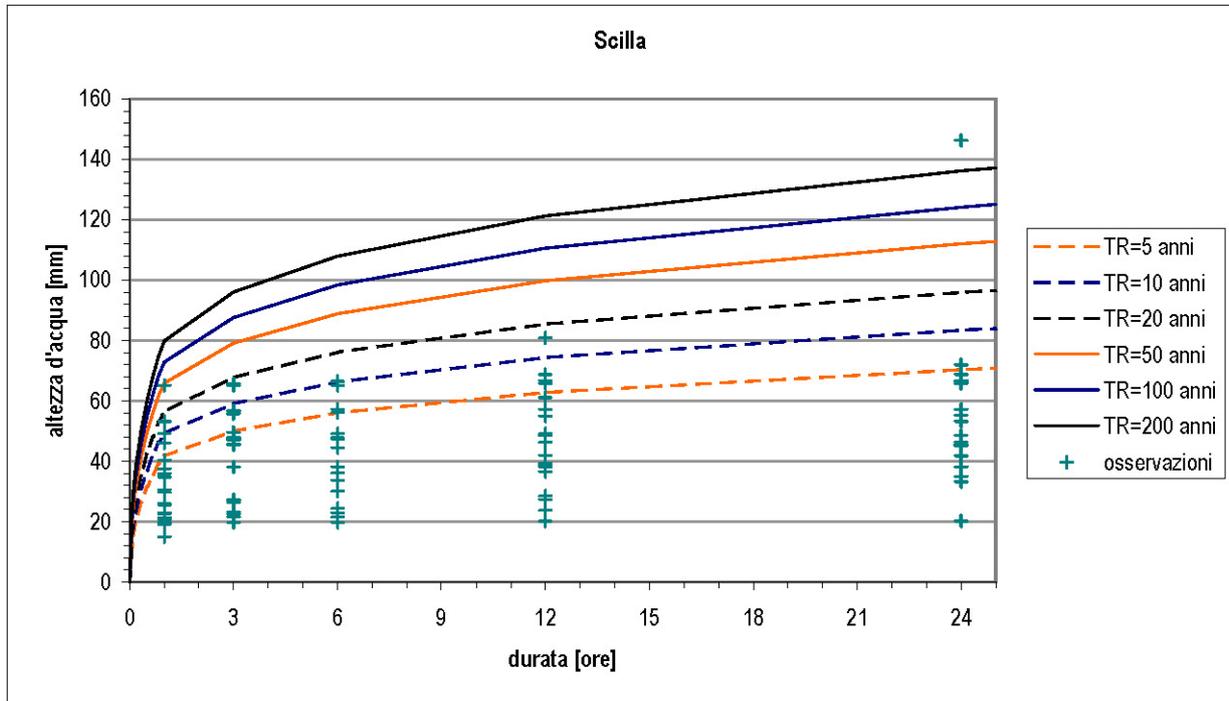
**Stazioni pluviometriche: dati disponibili  
e rappresentazione delle curve di  
regressione**

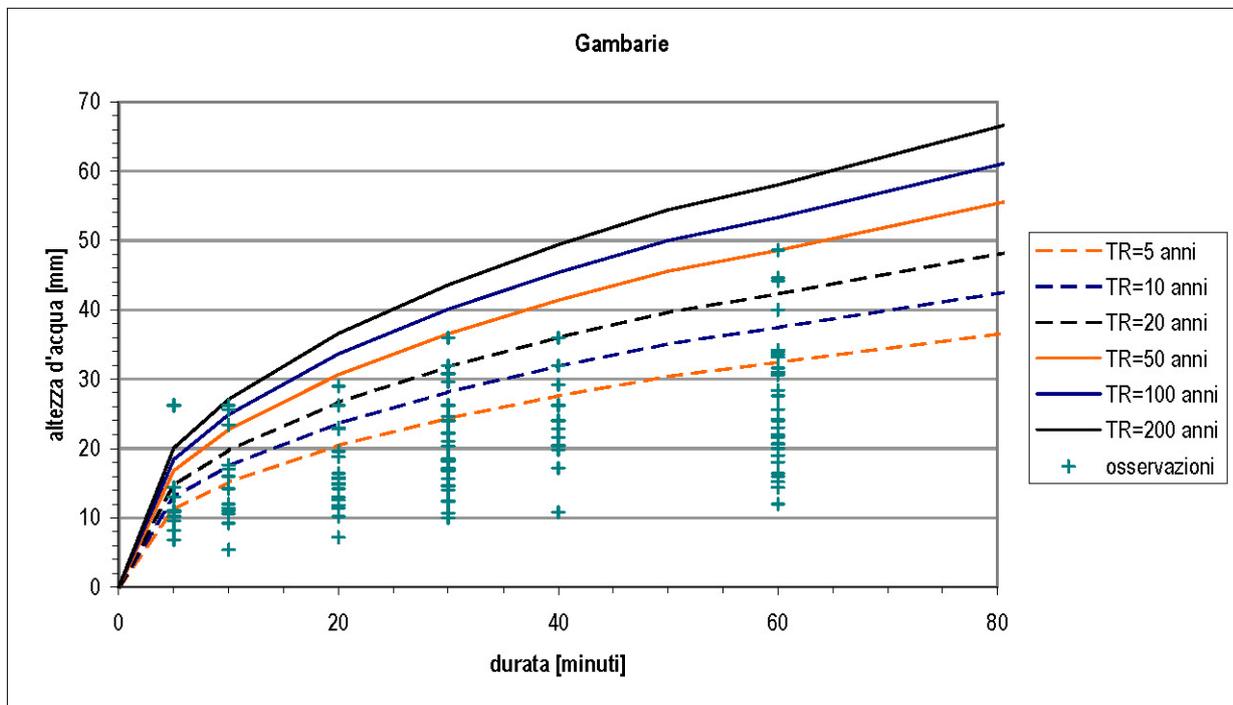
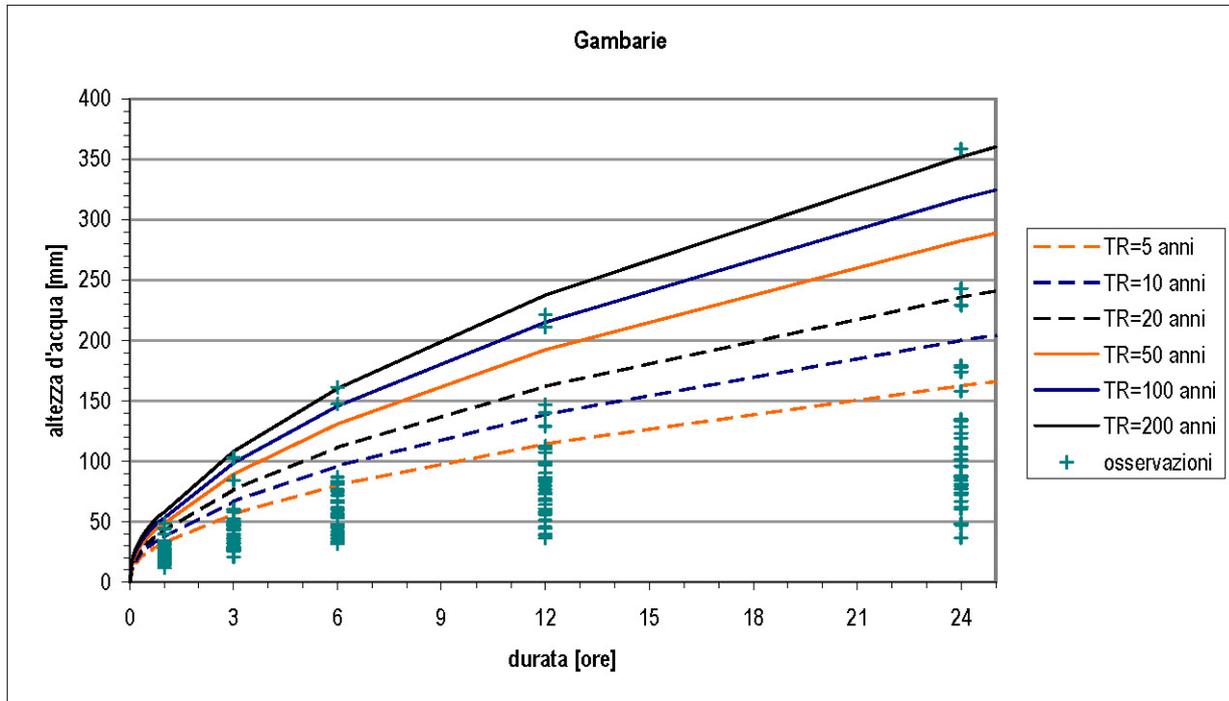


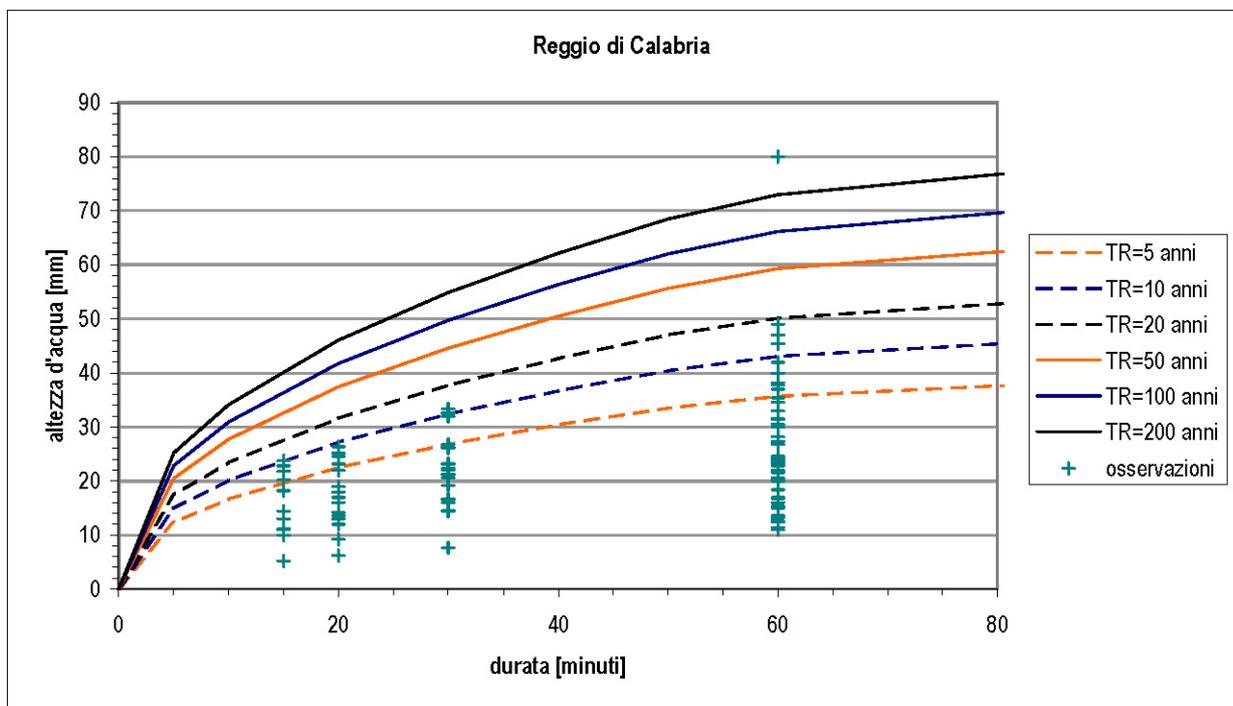
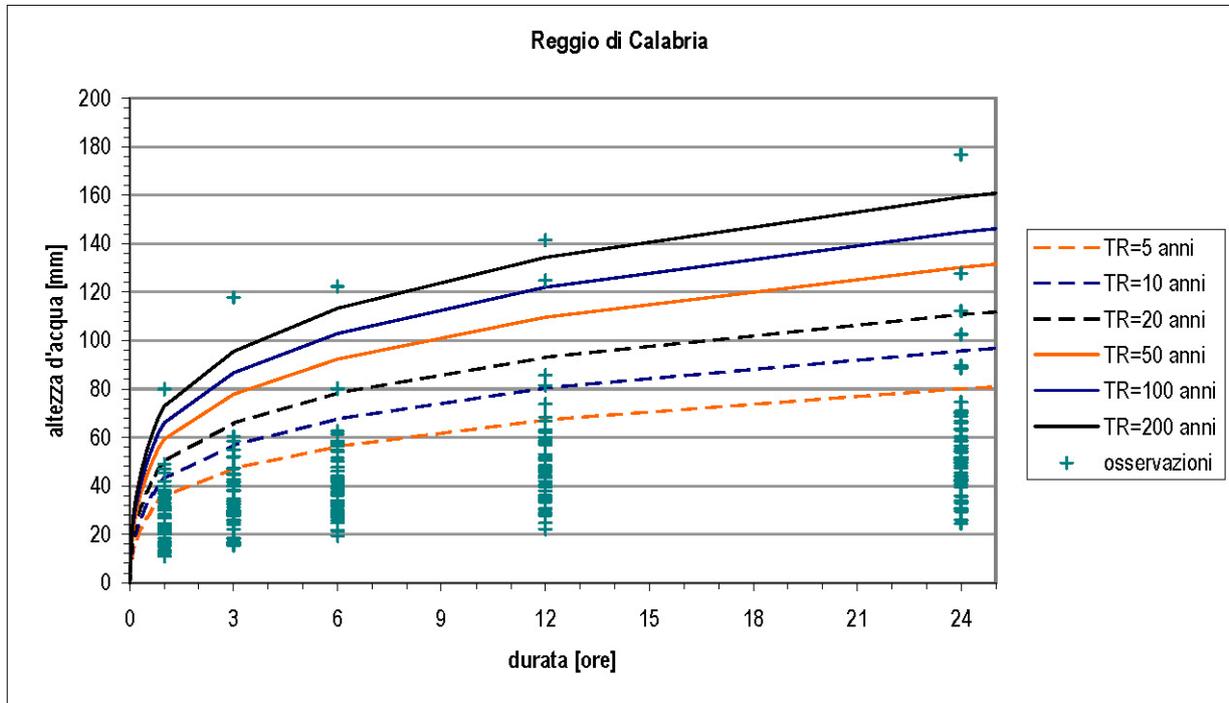
		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i> CB0001_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

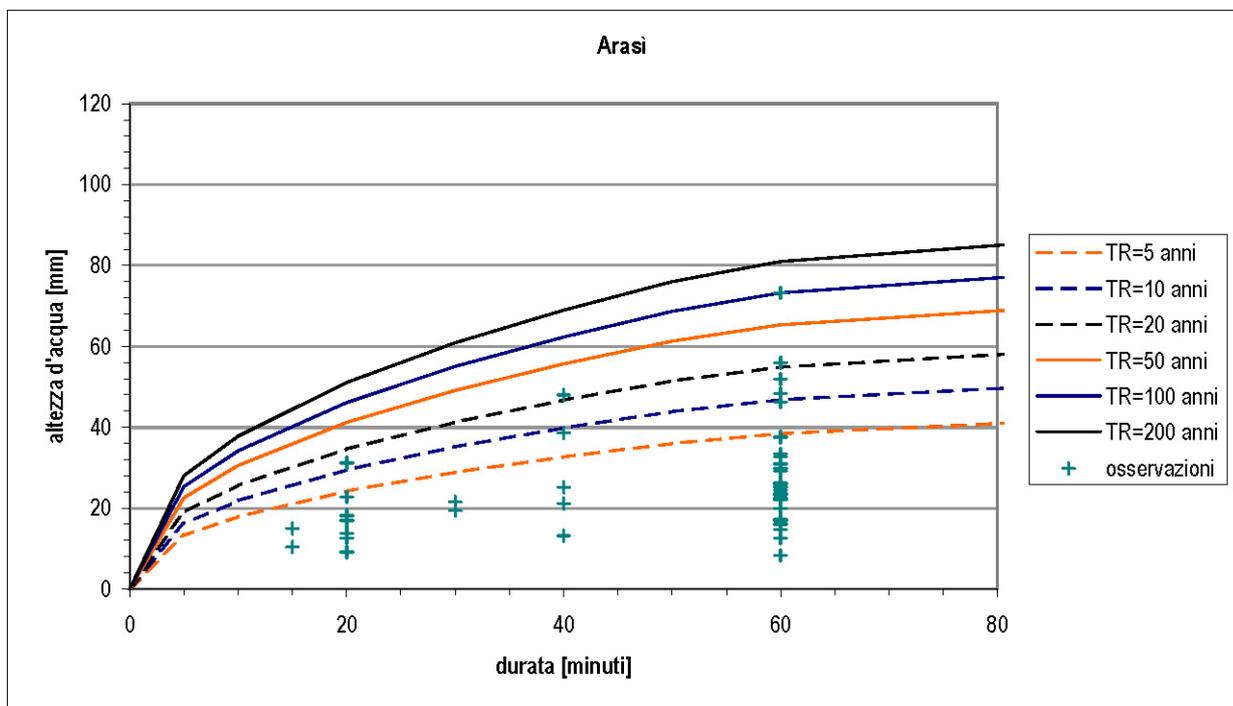
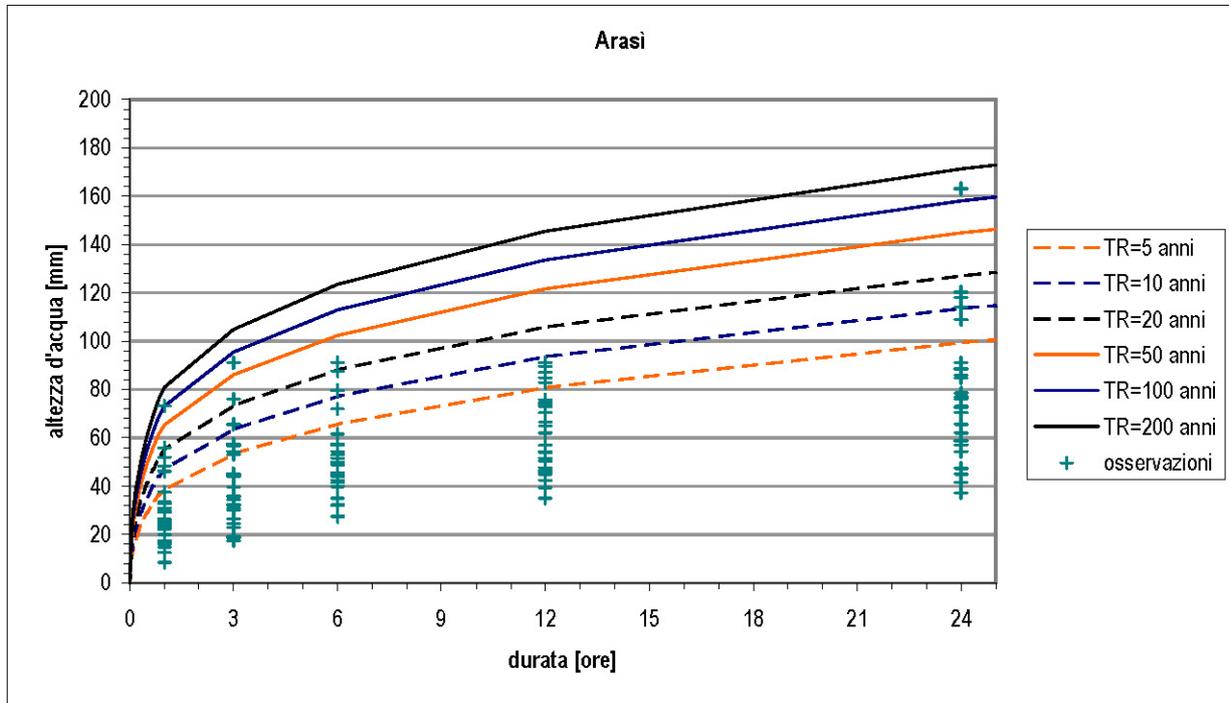
Massimi di precipitazione per durate 1, 3, 6, 12, 24 ore: disponibilità di dati					
ANNO	VILLA S. GIOVANNI	SCILLA	GAMBARIE D'ASPRONTE	REGGIO DI CALABRIA	ARASI'
1928	X			X	
1929	X			X	
1930	X			X	
1931	X				
1932	X				
1933	X			X	
1934	X			X	
1935				X	
1936	X			X	
1937	X			X	
1938	X			X	
1939				X	
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
<b>n. anni</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>36</b>	<b>54</b>	<b>27</b>











		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>	<p><i>Codice documento</i> CB0001_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

## ALLEGATO 2

### Risultati di dettaglio dell'analisi idrologica

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i> CB0001_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

Codice documento  
CB0001\_F0

Rev Data  
F0 20/06/2011

codice	identificativo bacino	dati bacino			altezze d'acqua di progetto per durata oraria										c. deflusso
		A [km <sup>2</sup> ]	L [m]	lined [m/m]	h1.2	h1.5	h1.10	h1.30	h1.50	h1.100	h1.200	c [ ]			
01M.1	T. S. TRADA	5.8424	5.050	0.128	28.93	40.98	48.97	61.05	66.57	74.01	81.43	0.65			
01M.1	T. GIBIA	1.0630	1.640	0.238	28.01	40.71	48.13	61.87	67.68	75.53	83.34	0.65			
01M.1.1	T. GIBIA_1	0.0917	497	0.429	28.13	40.78	48.17	61.86	67.65	75.47	83.25	0.65			
02M.0	T. LATICOGNA	0.0727	440	0.416	27.66	40.69	48.33	62.39	68.36	76.41	84.43	0.65			
02V.0	T. LATICOGNA	0.1516	875	0.305	28.06	41.26	50.02	63.26	69.30	77.46	85.59	0.65			
03M.0	T. PRESTIANNI	0.0702	476	0.405	27.51	40.66	48.38	62.56	68.56	76.70	84.80	0.65			
03V.0	T. PRESTIANNI	0.1363	948	0.286	27.72	40.98	48.76	63.05	69.12	77.31	85.47	0.65			
04M.0	T. SERRO DELLA TORRE	0.0373	340	0.371	27.39	40.65	48.45	62.76	68.84	77.04	85.21	0.65			
04V.0	T. SERRO DELLA TORRE	0.1075	815	0.258	27.67	41.09	49.99	63.44	69.59	77.88	86.14	0.65			
05M.0	T. PIRIA	0.3138	1.190	0.215	27.39	40.62	48.40	62.88	68.74	76.92	85.07	0.65			
05V.1	T. PIRIA	0.3448	1.560	0.181	27.44	40.73	48.55	62.88	68.96	77.18	85.36	0.65			
06M.1	T. ZAGARELLA 1	0.2486	1.160	0.213	27.19	40.60	48.50	62.95	69.10	77.39	85.65	0.65			
06M.1.1	T. ZAGARELLA_1	0.0424	346	0.449	27.05	40.64	48.65	63.28	69.50	77.90	86.27	0.65			
06M.2	T. ZAGARELLA 2	0.2126	1.145	0.197	26.98	40.61	48.66	63.33	69.58	78.01	86.41	0.65			
06M.2.1	T. ZAGARELLA_2_1	0.0486	625	0.323	26.85	40.63	48.77	63.59	69.90	78.41	86.90	0.65			
06V.1	T. ZAGARELLA 1	0.3448	1.600	0.211	27.33	40.88	48.86	63.44	69.64	78.01	86.35	0.65			
06V.2	T. ZAGARELLA 2	0.3187	1.565	0.199	27.18	40.92	50.04	63.82	70.11	78.61	87.07	0.65			
06V.0	T. ZAGARELLA 1	0.8060	1.665	0.204	27.17	40.76	48.78	63.41	69.64	78.04	86.42	0.65			
07M.1	FOSSO CONTRADA PIRGO	0.0560	550	0.309	26.78	40.64	48.83	63.73	70.08	78.65	87.18	0.65			
07M.2	FOSSO CONTRADA PIRGO_1	0.0583	465	0.308	26.71	40.64	48.89	63.87	70.25	78.87	87.45	0.65			
07V.0	FOSSO CONTRADA PIRGO	0.1935	863	0.253	27.00	40.98	50.25	64.27	70.68	79.32	87.93	0.65			
08M.1	T. POLISTENA	0.0525	395	0.288	26.63	40.66	48.96	64.03	70.45	79.12	87.76	0.65			
08M.2	T. POLISTENA_1	0.0354	262	0.344	26.56	40.67	50.02	64.17	70.64	79.36	88.05	0.65			
08V.0	T. POLISTENA	0.2150	995	0.177	26.97	41.14	50.54	64.76	71.25	80.01	88.74	0.65			
08M.0	T. LUPO	0.0586	400	0.210	26.50	40.68	50.08	64.31	70.80	79.57	88.31	0.65			
08V.0	T. LUPO	0.1559	885	0.175	26.79	41.06	50.53	64.86	71.40	80.22	89.02	0.65			
10M.0	FOSSO VIA GALLIANO	0.0938	300	0.243	26.39	40.71	50.21	64.58	71.14	80.00	88.82	0.65			
10V.0	FOSSO VIA GALLIANO	0.1864	660	0.159	26.60	40.99	50.53	64.98	71.55	80.45	89.31	0.65			
11M.0	T. FEMIA	0.1010	330	0.136	26.28	40.74	50.34	64.85	71.48	80.42	89.34	0.65			
11V.0	T. FEMIA	0.1912	800	0.129	26.41	40.93	50.57	65.14	71.80	80.78	89.73	0.65			
12M.0	T. ANONIMO	0.0186	165	0.079	26.23	40.76	50.40	64.98	71.64	80.62	89.58	0.65			
13M.1	T. CAMPANELLA	0.8151	2.390	0.103	26.52	40.67	50.05	64.24	70.72	79.46	88.18	0.65			
13M.1.1	T. CAMPANELLA_1	0.0263	256	0.125	26.24	40.75	50.38	64.94	71.60	80.57	89.52	0.65			
13M.1.2	T. CAMPANELLA_2	0.0375	296	0.136	26.24	40.75	50.38	64.95	71.60	80.58	89.52	0.65			
13M.1.3	T. CAMPANELLA_3	0.0214	200	0.110	26.22	40.76	50.41	65.00	71.66	80.65	89.61	0.65			
13V.1	T. CAMPANELLA	0.9705	2.810	0.098	26.49	40.71	50.13	64.40	70.91	79.70	88.46	0.65			
14M.0	T. IMMACOLATA	0.6426	2.210	0.087	26.41	40.68	50.15	64.47	71.01	79.83	88.63	0.65			
14V.0	T. IMMACOLATA	0.7811	2.705	0.081	26.41	40.75	50.26	64.94	71.21	80.07	88.90	0.65			
15M.0	T. SOLARO	1.6955	3.150	0.080	26.52	40.61	48.96	64.10	70.56	79.28	87.96	0.65			
15V.0	T. SOLARO	1.9932	3.760	0.074	26.52	40.69	50.09	64.32	70.81	79.58	88.31	0.65			
16M.1	T. ACCIARELLO	0.1559	690	0.038	26.31	40.64	50.14	64.52	71.08	79.94	88.77	0.65			
16M.1.1	RIO	0.0130	140	0.179	26.26	40.70	50.29	64.78	71.41	80.34	89.24	0.65			
16V.0	T. ACCIARELLO	0.1927	950	0.061	26.32	40.68	50.20	64.61	71.19	80.07	88.92	0.65			
17M.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0.2634	833	0.321	26.30	40.64	50.15	64.54	71.11	79.98	88.82	0.65			
17V.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0.4606	1.348	0.229	26.28	40.65	50.18	64.60	71.19	80.07	88.93	0.65			
18M.0	TORRENTE BOLANO	0.1980	613	0.086	26.32	40.57	50.03	64.32	70.86	79.67	88.45	0.65			
18V.0	TORRENTE BOLANO	0.4190	1.208	0.080	26.31	40.57	50.03	64.34	70.86	79.70	88.49	0.65			
19M.0	FOSSO CANNAMELE	0.0534	355	0.088	26.35	40.50	48.90	64.10	70.59	79.34	88.06	0.65			
19V.0	FOSSO CANNAMELE	0.1451	816	0.077	26.34	40.49	48.88	64.08	70.57	79.32	88.04	0.65			

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

Codice documento  
CB0001\_F0

Rev Data  
F0 20/06/2011

codice	identificativo bacino	tempo di convulsione [ore]		tempo di commovisione		portate di progetto [m³/s]										port. specif. [m³/s/km²]	
		Pezzoli	Ventura	Pasini	media [h]	media [°]	Q2	Q5	Q10	Q30	Q50	Q100	Q200	q	q100		
01M.1	T. S. TRADA	0.777	0.860	0.934	0.857	51.4	33.8	47.9	57.2	71.3	77.8	86.5	95.1	16.29	2.452		
01M.1	T. GIBIA	0.185	0.288	0.266	0.240	14.4	12.3	17.8	21.5	27.1	29.6	33.1	36.5	34.32	1.659		
01M.1.1	T. GIBIA_1	0.042	0.059	0.059	0.083	5.0	1.9	2.8	3.4	4.3	4.7	5.2	5.7	62.43	0.589		
02M.0	T. LATICOGNA	0.038	0.053	0.053	0.083	5.0	1.5	2.2	2.7	3.4	3.7	4.2	4.6	63.31	0.512		
02V.0	T. LATICOGNA	0.087	0.090	0.100	0.092	5.5	3.0	4.4	5.4	6.8	7.4	8.3	9.2	60.62	0.800		
03M.0	T. PRESTIANNI	0.041	0.053	0.055	0.083	5.0	1.4	2.1	2.6	3.3	3.6	4.0	4.5	63.59	0.502		
03V.0	T. PRESTIANNI	0.096	0.086	0.100	0.094	5.6	2.6	3.9	4.7	6.0	6.6	7.4	8.2	59.93	0.736		
04M.0	T. SERRO DELLA TORRE	0.031	0.040	0.041	0.083	5.0	0.8	1.1	1.4	1.8	1.9	2.2	2.4	63.89	0.331		
04V.0	T. SERRO DELLA TORRE	0.088	0.082	0.094	0.088	5.3	2.2	3.2	3.9	4.9	5.4	6.1	6.7	62.50	0.656		
05M.0	T. PIRIA	0.141	0.154	0.168	0.154	9.2	4.5	6.7	8.2	10.4	11.4	12.8	14.1	45.01	0.965		
05V.1	T. PIRIA	0.196	0.176	0.205	0.192	11.5	4.7	6.9	8.4	10.7	11.7	13.1	14.5	39.84	0.944		
06M.1	T. ZAGARELLA 1	0.138	0.137	0.155	0.143	8.6	3.7	5.6	6.8	8.6	9.5	10.6	11.7	47.20	0.866		
06M.1.1	T. ZAGARELLA 1_1	0.028	0.039	0.039	0.083	5.0	0.9	1.3	1.6	2.0	2.2	2.5	2.7	64.69	0.365		
06M.2	T. ZAGARELLA 2	0.142	0.132	0.152	0.142	8.5	3.2	4.8	5.8	7.5	8.2	9.2	10.2	47.86	0.781		
06M.2.1	T. ZAGARELLA 2_1	0.060	0.049	0.059	0.083	5.0	1.0	1.5	1.8	2.3	2.5	2.9	3.2	65.16	0.403		
06V.1	T. ZAGARELLA 1	0.192	0.163	0.193	0.183	11.0	4.5	6.8	8.3	10.5	11.5	12.9	14.3	41.51	0.947		
06V.2	T. ZAGARELLA 2	0.193	0.161	0.192	0.182	10.9	4.2	6.3	7.7	9.8	10.8	12.1	13.4	41.93	0.908		
06V.0	T. ZAGARELLA 1	0.203	0.219	0.240	0.221	13.2	7.1	10.7	13.0	16.6	18.2	20.4	22.6	37.30	1.240		
07M.1	FOSCO CONTRADA PIRGO	0.054	0.054	0.061	0.083	5.0	1.1	1.7	2.1	2.7	2.9	3.3	3.7	65.37	0.444		
07M.2	FOSCO CONTRADA PIRGO_1	0.046	0.055	0.059	0.083	5.0	1.2	1.8	2.2	2.8	3.1	3.4	3.8	65.56	0.458		
07V.0	FOSCO CONTRADA PIRGO	0.094	0.111	0.118	0.108	6.5	3.4	5.1	6.3	8.0	8.9	9.9	11.0	56.91	0.884		
08M.1	T. POLISTENA	0.042	0.056	0.057	0.083	5.0	1.0	1.6	2.0	2.5	2.8	3.1	3.5	65.81	0.428		
08M.2	T. POLISTENA_1	0.025	0.041	0.039	0.083	5.0	0.7	1.1	1.3	1.7	1.9	2.1	2.3	66.02	0.330		
08V.0	T. POLISTENA	0.130	0.137	0.151	0.139	8.4	3.1	4.7	5.8	7.4	8.2	9.2	10.2	49.71	0.802		
09M.0	T. LUPO	0.048	0.068	0.068	0.083	5.0	1.2	1.8	2.2	2.9	3.2	3.6	3.9	66.22	0.468		
09V.0	T. LUPO	0.116	0.120	0.133	0.123	7.4	2.5	3.8	4.7	6.1	6.7	7.5	8.3	53.47	0.719		
10M.0	FOSCO VIA GALLIANO	0.033	0.079	0.067	0.083	5.0	1.9	2.9	3.5	4.5	5.0	5.6	6.2	66.60	0.638		
10V.0	FOSCO VIA GALLIANO	0.091	0.138	0.135	0.121	7.3	3.0	4.6	5.7	7.3	8.1	9.1	10.1	54.18	0.821		
11M.0	T. FEMIA	0.049	0.109	0.094	0.084	5.1	2.0	3.1	3.8	4.9	5.4	6.1	6.7	66.58	0.670		
11V.0	T. FEMIA	0.123	0.155	0.161	0.146	8.8	2.8	4.3	5.3	6.8	7.5	8.4	9.4	48.92	0.754		
12M.0	T. ANONIMO	0.032	0.062	0.056	0.083	5.0	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	67.17	0.219		
13M.1	T. CAMPANELLA	0.411	0.359	0.421	0.397	23.8	6.7	10.3	12.6	16.2	17.8	20.0	22.2	27.29	1.105		
13M.1.1	T. CAMPANELLA_1	0.040	0.058	0.057	0.083	5.0	0.5	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6	1.8	67.12	0.276		
13M.1.2	T. CAMPANELLA_2	0.044	0.067	0.065	0.083	5.0	0.7	1.1	1.4	1.8	2.0	2.3	2.5	67.13	0.348		
13M.1.3	T. CAMPANELLA_3	0.033	0.056	0.053	0.083	5.0	0.4	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	67.20	0.240		
13V.1	T. CAMPANELLA	0.493	0.400	0.481	0.458	27.5	7.3	11.3	13.9	17.8	19.6	22.1	24.5	25.24	1.148		
14M.0	T. IMMACOLATA	0.411	0.345	0.411	0.389	23.3	5.3	8.2	10.1	13.0	14.3	16.1	17.8	27.74	0.959		
14V.0	T. IMMACOLATA	0.523	0.390	0.483	0.465	27.9	5.7	8.8	10.8	13.9	15.3	17.2	19.1	25.14	0.973		
15M.0	T. SOLARO	0.613	0.566	0.667	0.622	37.3	10.8	16.5	20.3	26.1	28.7	32.2	35.8	21.10	1.393		
15V.0	T. SOLARO	0.759	0.659	0.776	0.731	43.9	11.6	17.7	21.8	28.1	30.9	34.7	38.5	19.32	1.421		
16M.1	T. ACCIARELLO	0.196	0.259	0.265	0.240	14.4	1.7	2.6	3.2	4.1	4.6	5.1	5.7	36.57	0.482		
16M.1.1	RIO	0.018	0.034	0.031	0.083	5.0	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	66.92	0.172		
16V.0	T. ACCIARELLO	0.211	0.226	0.248	0.229	13.7	2.1	3.3	4.1	5.3	5.8	6.5	7.3	37.63	0.583		
17M.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0.081	0.115	0.115	0.104	6.2	4.6	7.1	8.7	11.3	12.4	14.0	15.5	58.81	1.122		
17V.0	TORRENTE SAN FILIPPO	0.155	0.180	0.182	0.176	10.6	5.9	9.2	11.3	14.6	16.1	18.1	20.1	43.66	1.209		
18M.0	TORRENTE BOLANO	0.115	0.192	0.182	0.163	9.8	2.7	4.1	5.1	6.5	7.2	8.1	9.0	45.34	0.715		
18V.0	TORRENTE BOLANO	0.234	0.291	0.304	0.276	16.6	4.2	6.5	8.0	10.2	11.3	12.7	14.1	33.63	0.874		
19M.0	FOSCO CANNAMELE	0.075	0.113	0.111	0.100	6.0	1.0	1.5	1.8	2.3	2.6	2.9	3.2	59.67	0.393		
19V.0	FOSCO CANNAMELE	0.162	0.174	0.191	0.176	10.5	1.9	2.9	3.6	4.6	5.0	5.7	6.3	43.26	0.555		