

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

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI SICILIA  <i>Tipo di sistema</i> STUDI DI BASE  <i>Raggruppamento di opere/attività</i> CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA E SCHEMA DELLA RETE IDRICA  <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> GENERALE  <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>	<p><b>SB0001_F0</b></p>
---	-------------------------

CODICE	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <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>S</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	S	S	B	C	7	G	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	S	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> SB0001_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

## INDICE

INDICE.....	3
Premessa e dati di base .....	5
1 Corpi idrici interferenti e bacini idrografici sottesi .....	6
2 Stazioni pluviometriche di riferimento .....	12
Analisi delle precipitazioni.....	15
3 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica .....	15
3.1 Regressione statistica diretta dei massimi orari e pluri-orari.....	15
3.2 Modello di regionalizzazione VA.PI.....	21
3.3 Curve di possibilità pluviometrica di riferimento .....	25
4 Eventi di precipitazione di durata inferiore all'ora .....	31
5 Spazializzazione dell'informazione pluviometrica.....	36
Acque di piattaforma.....	38
6 CPP di progetto per le acque di piattaforma.....	38
6.1 Versante Sicilia .....	38
6.2 Opera di attraversamento .....	41
Portate di piena.....	43
7 Metodologia di analisi .....	43
7.1 Caratteristiche fisiche e idrologiche dei bacini sottesi.....	43
7.2 Modello di trasformazione afflussi-deflussi .....	48
8 Risultati.....	50
8.1 Portate massime di progetto .....	50
8.2 Confronto con studi pregressi .....	52

### 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> SB0001_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

## 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 Sicilia, 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> SB0001_F0.doc	<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 Sicilia risultano interferire con un totale di 17 corpi idrici significativi e alcuni dei loro affluenti minori; complessivamente sono state definite 34 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, ma a monte dell'asse del raccordo ferroviario; "F" se costituisce la chiusura in prossimità della foce, a valle di tutte le infrastrutture in progetto.

*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> SB0001_F0.doc	<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
01V.0	Fosso lato Tirreno - 1	0,0495	425	0,037	17,23	32,76	25,71
02V.0	Fosso lato Tirreno - 2	0,0763	385	0,038	2,13	16,86	9,18
03M.1	Fiumara Papardo	1,0224	1.850	0,054	123,86	224,10	179,76
03M.2	Fiumara Papardo	0,8033	2.365	0,060	134,77	275,56	211,97
03M.0	Fiumara Papardo	1,8648	2.560	0,068	102,55	275,56	192,45
03F.0	Fiumara Papardo	3,3258	4.070	0,066	8,94	275,56	145,06
04M.O	Fiumara Sant'Agata	0,1833	580	0,075	144,32	187,76	163,50
04F.O	Fiumara Sant'Agata	0,8808	2.180	0,064	48,39	187,76	120,00
05M.1	Fiumara Guardia	0,5349	1.425	0,074	172,05	276,95	224,43
05V.1	Fiumara Guardia	0,7572	1.900	0,078	128,56	276,95	205,69
05V.2	Fiumara Curcuraci	2,2029	3.270	0,085	126,48	404,15	276,92
05F.0	Fiumara Guardia	3,0232	3.545	0,086	100,48	404,15	255,70
06V.0	Rio senza nome	0,0959	400	0,121	122,98	171,58	139,87
07F.0	Fiumara Grotta	0,1805	960	0,089	119,17	204,87	163,04
08F.0	Fiumara Balena	0,2938	1.165	0,078	123,07	214,13	172,86
09M.0	Fiumara della Pace	2,0122	2.360	0,130	171,23	477,39	294,08
09F.0	Fiumara della Pace	2,3019	2.935	0,121	121,10	477,39	277,93
10F.0	Fiumara Contemplazione	0,5981	1.670	0,125	139,84	347,86	267,58
11F.0	Fiumara Paradiso	0,6477	1.935	0,136	107,93	370,76	251,02
12M.1.1	Fiumara Ciccìa	0,9603	1.395	0,172	304,82	544,72	436,39
12M.1.2	Fiumara Ciccìa	0,7024	1.455	0,176	290,19	546,71	450,56
12V.1.1	Fiumara Ciccìa	1,1482	1.725	0,169	252,89	544,72	415,85
12M.2.1	Fiumara Annunziata	0,3082	1.040	0,208	305,67	521,53	397,64
12M.2.2	Fiumara Annunziata	0,5926	1.470	0,136	321,27	520,66	443,83
12M.2	Fiumara Annunziata	1,0161	1.795	0,134	280,19	521,53	414,05
12V.2	Fiumara Annunziata	1,4175	2.400	0,143	177,35	521,53	362,03
12V.0	Fiumara Annunziata	4,0871	2.925	0,145	121,80	546,71	361,92
12F.0	Fiumara Annunziata	4,5729	3.600	0,134	64,81	546,71	335,54
13M.0	Fiumara San Licandro	0,2462	1.030	0,166	270,83	441,44	340,28
13V.1	Fiumara San Licandro	0,6286	2.565	0,134	96,64	441,44	234,26
13V.2	Fiumara San Licandro	0,3068	1.315	0,129	110,68	280,13	178,06
13F.0	Fiumara San Licandro	1,2610	3.200	0,121	53,66	441,44	182,13
14V.0	Fiumara Venedda Minissale	1,5863	2.730	0,066	10,64	191,94	90,01
15V.0	Fiumara Venedda Vetro	0,2933	1.225	0,083	21,58	123,26	61,63

**Tabella 1 – Principali parametri morfologici e fisiografici dei bacini. A è la superficie totale sottesa, L la lunghezza dell'asta principale, i<sub>med</sub> la pendenza media dell'asta principale, H<sub>min</sub>, H<sub>max</sub>, H<sub>med</sub> rispettivamente le quote altimetriche minima, media e massima del bacino.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 240x240 m, da cui è stata estrapolata una matrice di raffittimento georiferita a maglia 50x50 m, per migliorare l'efficacia delle procedure di media areale; il modello utilizzato è 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  $L$ .

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.

---

<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> SB0001_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

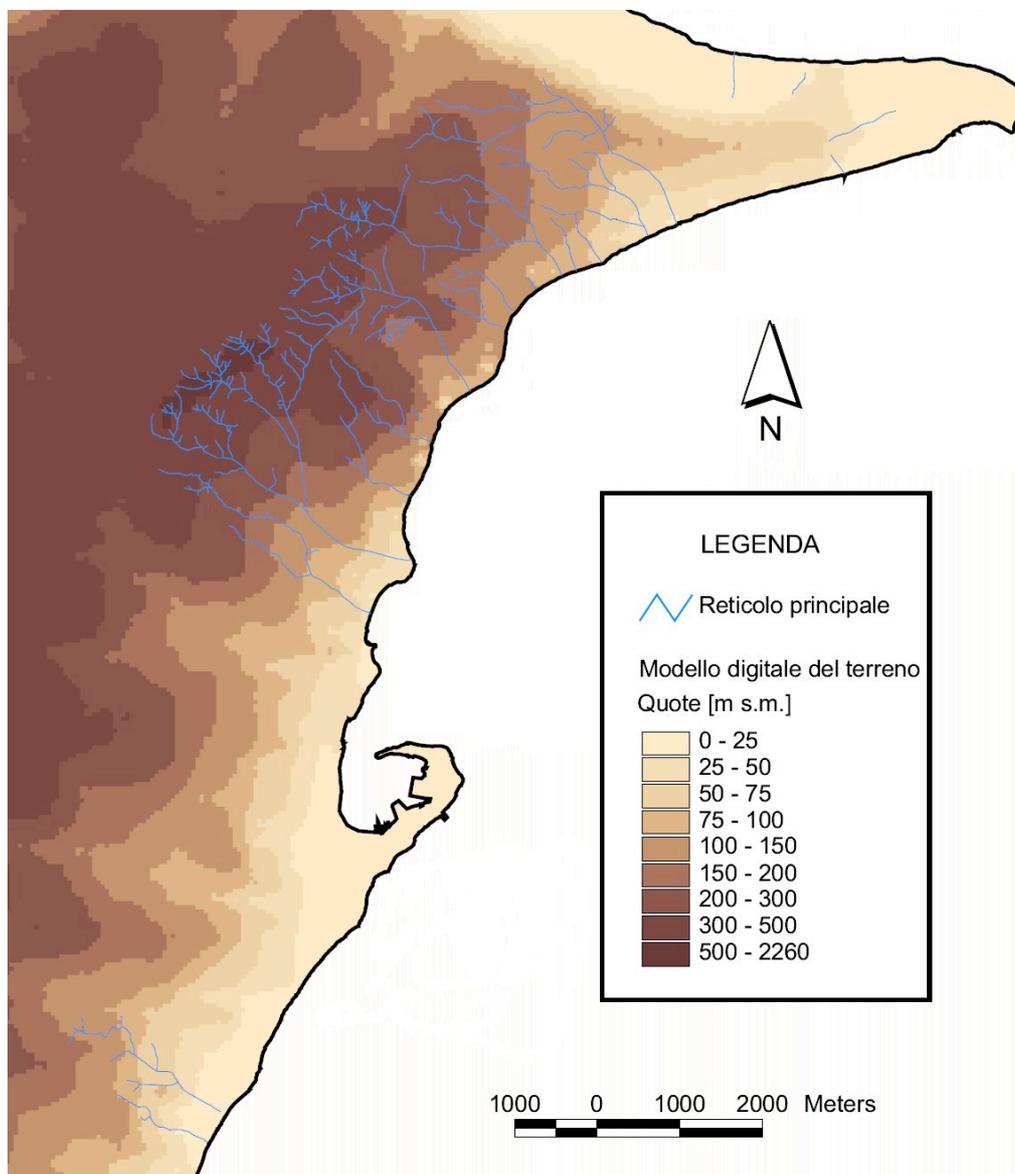


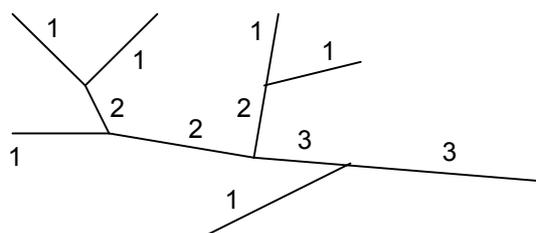
Figura 1 - Reticolo principale dei corpi idrici interferenti su modello digitale del terreno.

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:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- 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;
- 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  $m$  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.



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

I corpi idrici in esame (ad eccezione di quelli di dimensione più modesta, costituiti sostanzialmente da un unico canale che recapita direttamente in mare) sono in generale caratterizzati da una struttura maggiormente ramificata rispetto a quelli del versante Calabria, dove la morfologia prevalente è del tipo “a pettine”, con brevi aste parallele di elevata pendenza. Sul versante Sicilia vi sono invece diverse fiumare che drenano il territorio con una rete più distribuita e articolata, e in diversi casi si hanno confluenze (pur in gran parte tombate) tra rami di corsi d’acqua di dimensione rilevante (in particolare per quanto riguarda le fiumare Papardo, Guardia-Curcuraci, Pace, Ciccia-Annunziata).

Nella Tabella 2 sono forniti 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>identificativo bacino</b>		<b>gerarchizzazione</b>	
<b>codice</b>	<b>nome</b>	<b>ordine</b>	<b>magnitudine</b>
01V.0	Fosso lato Tirreno - 1	1	1
02V.0	Fosso lato Tirreno - 2	1	1
03M.1	Fiumara Papardo	2	3
03M.2	Fiumara Papardo	2	5
03M.0	Fiumara Papardo	3	8
03F.0	Fiumara Papardo	3	10
04M.O	Fiumara Sant'Agata	2	2
04F.O	Fiumara Sant'Agata	2	4
05M.1	Fiumara Guardia	2	2
05V.1	Fiumara Guardia	2	3
05V.2	Fiumara Curcuraci	3	18
05F.0	Fiumara Guardia	3	21
06V.0	Rio senza nome	1	1
07F.0	Fiumara Grotta	1	1
08F.0	Fiumara Balena	2	2
09M.0	Fiumara della Pace	4	18
09F.0	Fiumara della Pace	4	18
10F.0	Fiumara Contemplazione	2	3
11F.0	Fiumara Paradiso	2	3
12M.1.1	Fiumara Ciccìa	3	12
12M.1.2	Fiumara Ciccìa	3	9
12V.1.1	Fiumara Ciccìa	3	12
12M.2.1	Fiumara Annunziata	2	4
12M.2.2	Fiumara Annunziata	2	6
12M.2	Fiumara Annunziata	3	10
12V.2	Fiumara Annunziata	3	12
12V.0	Fiumara Annunziata	4	33
12F.0	Fiumara Annunziata	4	33
13M.0	Fiumara San Licandro	2	2
13V.1	Fiumara San Licandro	2	3
13V.2	Fiumara San Licandro	1	1
13F.0	Fiumara San Licandro	2	4
14V.0	Fiumara Venedda Minissale	2	5
15V.0	Fiumara Venedda Vetro	1	1

**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> SB0001_F0.doc	<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 alcune stazioni di registrazione delle precipitazioni dotate di serie storiche piuttosto estese (in quanto appartenenti alla rete in passato gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale – S.I.M.N.). Le stazioni fanno attualmente parte del sistema di monitoraggio regionale gestito dall'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), Servizio Osservatorio delle Acque.

In particolare dagli Annali Idrologici (S.I.M.N. e più recenti) pubblicati su web dal citato Servizio regionale, relativamente al periodo 1924-2005, sono state individuate 6 stazioni ubicate nell'area idrografica di interesse per il presente progetto ("bacini minori tra Fiumidinisi e Capo Peloro") per le quali risultano disponibili i valori dei massimi annuali di precipitazione per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore (e per alcuni anni anche delle precipitazioni di notevole entità e durata inferiore all'ora):

- Messina (istituto geofisico), fino al 2005;
- Messina (osservatorio), fino al 1994;
- S. Stefano di Briga, fino al 2001;
- Alì Terme, fino al 2002;
- Ganzirri, fino al 2005;
- Camaro, fino al 2005.

Per le finalità della presente analisi non sono state considerate le stazioni di S.Stefano di Briga e Alì Terme, in quanto distanti dall'area di interesse, non più attive e dotate di serie storiche di estensione modesta rispetto a quelle degli altri pluviometri.

Per quanto riguarda le due stazioni di Messina (delle quali l'unica ancora attiva è quella dell'istituto geofisico), esse sono ubicate entrambe nell'area urbana del capoluogo, a modesta distanza (circa 500 m) e a quote quasi equivalenti. È pertanto lecito supporre una significativa congruenza dei valori registrati, che peraltro si riscontra dal confronto dei valori massimi per durate orarie e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

pluriorarie nei 18 anni di osservazioni in comune: la differenza media risulta pari a circa il 10,2%, con generale tendenza alla sottostima nella serie dell'istituto geofisico. Si è pertanto deciso di costruire un unico campione sintetico dalla combinazione delle due serie, così da ampliarne la numerosità, grazie alla presenza di anni in cui una sola stazione risultava attiva, e da non trascurare completamente i dati relativi alla stazione dell'osservatorio, non inclusa nell'attuale rete di monitoraggio. Il campione sintetico è stato costruito assumendo cautelativamente per ogni anno il massimo valore di altezza di pioggia tra quelli disponibili, per ciascuna durata.

Delle stazioni citate risultano attualmente attive solo quelle di Ganzirri e di Messina (istituto geofisico); per esse sono state acquisite dall'Ente gestore del servizio le registrazioni grezze delle altezze di pioggia per il periodo 2006-2009, provvedendo quindi alla determinazione dei valori massimi annuali per le durate di interesse.

In definitiva, per la presente analisi idrologica si è fatto riferimento a 3 serie di osservazioni pluviometriche, elencate di seguito, ciascuna caratterizzata da una numerosità piuttosto elevata (circa 50 anni di registrazioni). Il codice riportato prima di ciascuna stazione è un numero progressivo identificativo di ciascun pluviometro, utilizzato come riferimento per le successive elaborazioni idrologiche.

- [P1]: Ganzirri (1953-2009, 49 anni di osservazioni disponibili).
- [P2]: Messina - campione unico (1929-2009, 50 anni di osservazioni disponibili).
- [P3]: Camaro (1929-2005, 51 anni di osservazioni disponibili).

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 utilizzato dall'Osservatorio delle Acque.

codice	nome stazione	quota [m s.m.]	comune	attiva	max orari e pluriorari	max < 1 ora
3400	Ganzirri	3	Messina	sì	sì	sì (dati scarsi)
3380	Messina - ist. geofisico	50	Messina	sì	sì	sì (dati scarsi)
3350	Camaro	568	Messina	no	sì	sì (dati scarsi)

**Tabella 3 - Anagrafica delle stazioni pluviometriche considerate.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le stazioni considerate risultano ben distribuite per quanto riguarda la possibilità di descrivere correttamente il regime pluviometrico dell'area di interesse, essendo ubicate ai margini di quest'ultima (con l'eccezione di una piccola area a Sud del centro di Messina, rappresentata dal tratto all'aperto all'estremità del raccordo ferroviario).

Le serie storiche sono assai estese (circa 50 anni di osservazione) e consentono l'esecuzione di un'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, negli annali sono riportati per alcuni anni gli scrosci di intensità eccezionale, relativi soprattutto a durate di 30 o 40 minuti. Nel periodo più recente (2006-2009) i dati sono forniti con frequenza pari a 10 minuti, per cui è possibile determinare i valori massimi annui relativi a durate anche inferiori. Nel complesso tuttavia la stazione di Ganzirri risulta l'unica a disporre di una numerosità non troppo modesta dei campioni su diverse durate inferiori all'ora (da 13 a 5 anni di osservazione), comunque non sufficiente a condurre un'analisi statistica significativa.

Si evidenzia per completezza come in Sicilia sia attiva dal 2001 una seconda rete di monitoraggio pluviometrico, gestita dall'Assessorato Agricoltura e Foreste, Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS), finalizzata ai servizi per l'agricoltura e pertanto utilizzata principalmente per la registrazione delle precipitazioni ordinarie, senza gestione in tempo reale dei dati. Per le finalità del presente progetto tale rete non appare quindi di diretto interesse, in quanto non dispone di registrazioni estese per un numero significativo di anni e tali da consentire un'adeguata analisi dei massimi di breve durata, ed inoltre la stazione più prossima all'area in esame è quella di Fiumedinisi, assai più distante rispetto a quelle considerate.

I dati raccolti da tale Servizio sono comunque stati utilizzati a titolo di confronto con i risultati ottenuti dall'analisi idrologica di progetto (cfr. paragrafo 3.3).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Analisi delle precipitazioni

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

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

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

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

### **3 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica**

#### **3.1 Regressione statistica diretta dei massimi orari e pluriorari**

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

Le distribuzioni GEV sono state sviluppate proprio come curve generali di distribuzione asintotica (ovvero per dimensione del campione che tende a infinito) dei massimi di una serie; in particolare quella di tipo I (Gumbel) è descrittiva della forma asintotica dei valori massimi di distribuzioni con

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 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 ( $\chi^2$ ).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

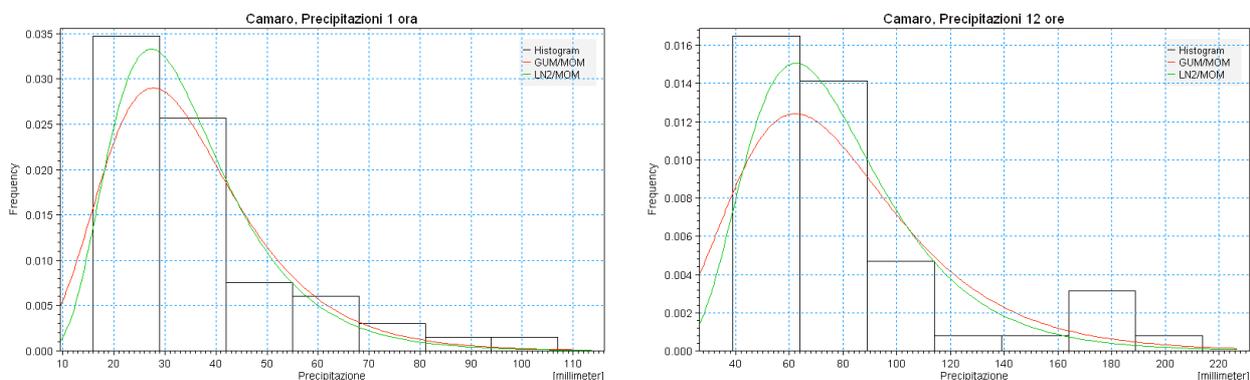
Il test SK valuta lo scostamento della frequenza cumulata del campione dalla probabilità cumulata teorica della distribuzione regolarizzata; esso deve risultare per tutti i valori compreso all'interno di un fuso di accettabilità, definito in funzione del livello di significatività del test.

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 le durate di 1 e 12 ore, tra la distribuzione di frequenza del campione di Camaro.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



**Figura 3 - Confronto tra distribuzioni di probabilità teoriche e frequenza delle osservazioni relativo alle osservazioni di Camaro per la durata di 1 e 12 ore.**

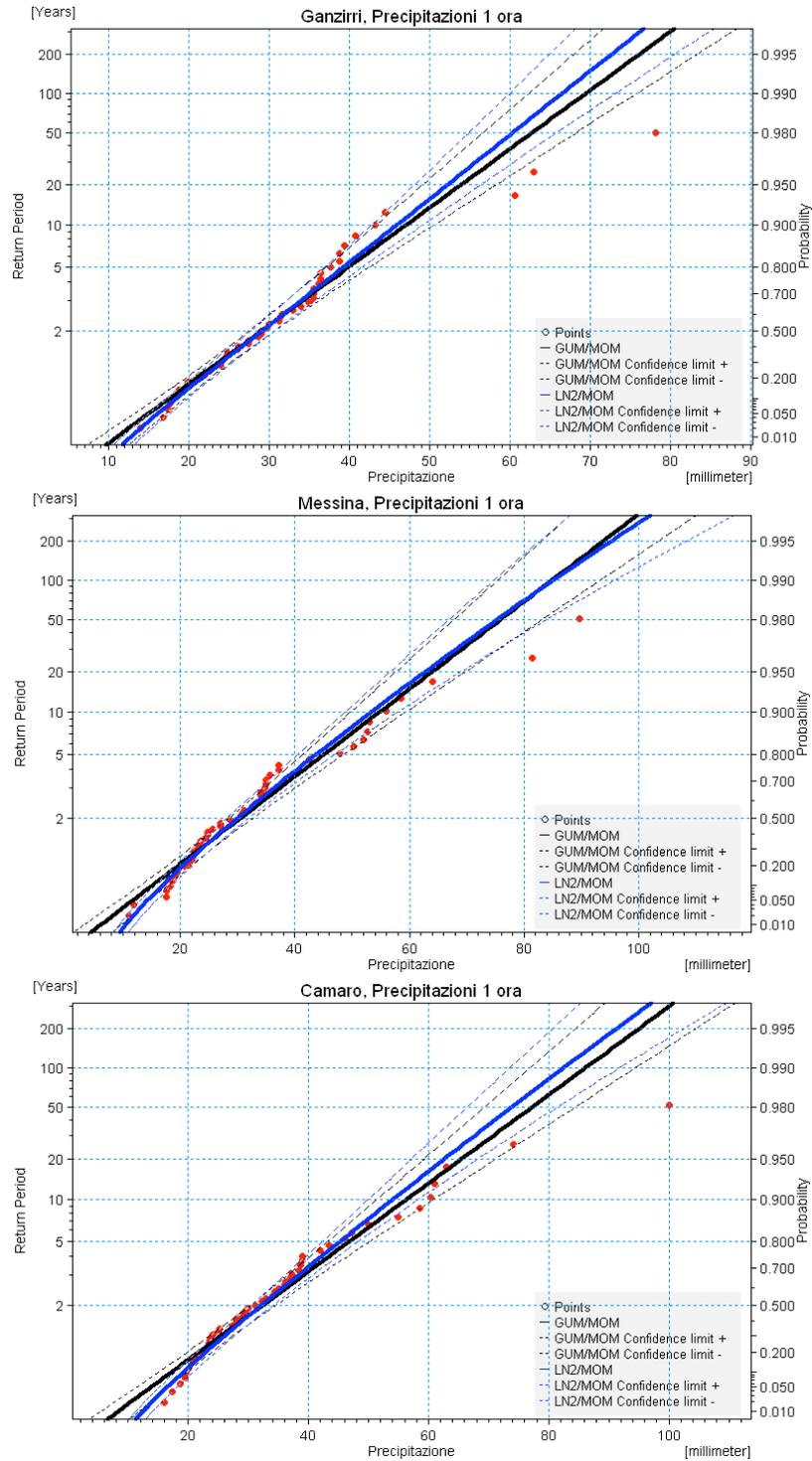
In linea generale i test eseguiti non appaiono marcatamente a favore di alcuna delle due distribuzioni indagate.

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 Messina e Ganzirri risulta migliore la Gumbel, mentre per Camaro si riscontra una più modesta prevalenza della log-normale. Dall'esame dei cartogrammi probabilistici (**Figura 4**) si nota però come la log-normale fornisca generalmente 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 per il versante Calabria, in accordo con studi pregressi. In Figura 4 si riportano i cartogrammi relativi alla durata di 1 ora per le stazioni considerate.



**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> SB0001_F0.doc	<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
Ganzirri	$\mu$ [mm]	31,04	42,51	47,35	54,42	62,48
	$\sigma$ [mm]	12,24	18,13	17,54	18,48	20,29
Messina	$\mu$ [mm]	33,18	46,12	53,90	62,40	71,34
	$\sigma$ [mm]	16,47	28,29	33,52	35,19	35,73
Camaro	$\mu$ [mm]	35,07	54,12	66,39	79,29	91,80
	$\sigma$ [mm]	16,28	32,94	34,32	38,02	43,82

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

stazione	parametro	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Ganzirri	$\alpha$ [mm]	0,105	0,071	0,073	0,069	0,063
	$u$ [mm]	25,54	34,36	39,46	46,11	53,35
Messina	$\alpha$ [mm]	0,078	0,045	0,038	0,036	0,036
	$u$ [mm]	25,77	33,38	38,81	46,56	55,27
Camaro	$\alpha$ [mm]	0,079	0,039	0,037	0,034	0,029
	$u$ [mm]	27,74	39,29	50,95	62,18	72,08

**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:

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

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]:

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.2 Modello di regionalizzazione VA.PI.

Il Progetto VA.PI. sulla Valutazione delle Piene in Italia, condotto 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.

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, o ricavata da formule di regionalizzazione).

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> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Se si pongono  $\Theta^* = \Theta_1 / \Theta_2$  e  $\Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta^*}$  si possono considerare i quattro parametri “ridotti” della distribuzione:  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_1$  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 Sicilia occorre fare riferimento al Rapporto Regionale *Valutazione delle piene in Sicilia* (Cannarozzo et al., 1993) del citato Progetto VA.PI.

L'analisi delle precipitazioni intense fa riferimento ad uno studio pregresso (Ferrari, 1986) relativo ai massimi annuali di piogge giornaliere, il cui campione è stato costruito sulla base di tutte le stazioni pluviometriche del S.I.M.N. di Palermo attive fino al 1979 (225 stazioni con almeno 30 anni di misura). Per il primo livello di regionalizzazione è stata considerata l'intera Sicilia quale zona pluviometrica omogenea rispetto ai parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , mentre per il secondo livello sono state definite tre sottozone, definite C, D ed E, determinando i relativi parametri di forma e scala della distribuzione.

Relativamente invece alle piogge brevi (durata oraria o plurioraria), di maggiore interesse per la

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

formazione delle piene e per le finalità del presente studio, nel caso della Sicilia sono disponibili sufficienti informazioni per consentirne un'analisi diretta, senza dover imporre la costanza dei rapporti di crescita con la durata (come solitamente avviene a causa della scarsità di dati).

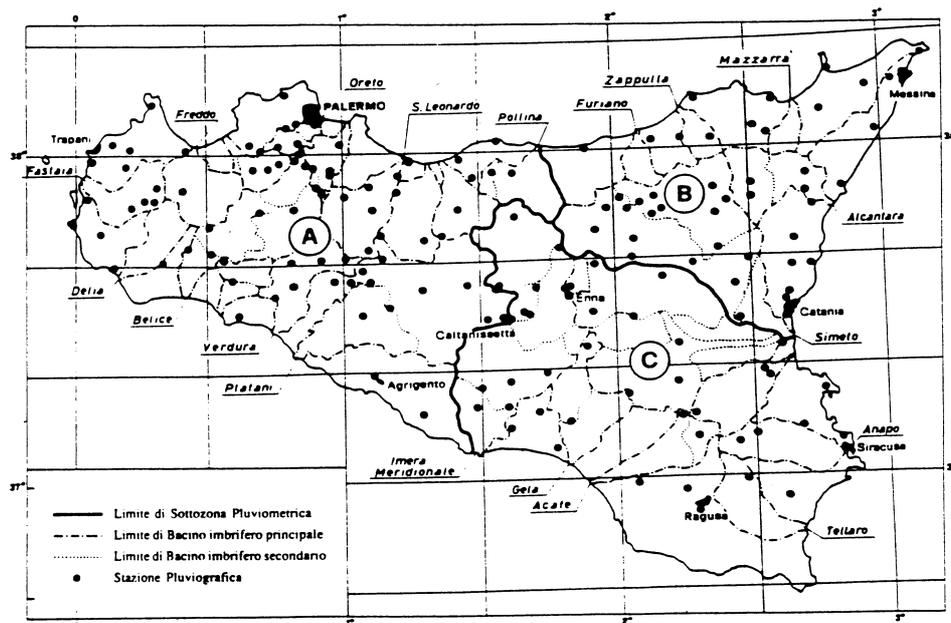
In particolare, considerando la sola rete pluviografica del S.I.M.N. al 1981 (172 stazioni con almeno 10 anni di osservazione), è stato possibile ricavare una legge, unica per l'intera Sicilia, per la determinazione dei parametri di regionalizzazione al primo livello,  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , in funzione della durata  $t$  [ore]:

$$\Theta^* = 1,95 + 0,0284 t ;$$

$$\Lambda^* = 0,175 t^{0,301} .$$

Al secondo livello è stata effettuata una suddivisione in 3 sottozone omogenee (diverse da quelle definite in precedenza, v. **Figura 5**) denominate A, B (di cui l'area in esame fa parte e di cui sono riportati i parametri della corrispondente distribuzione nel seguito e in **Tabella 6**) e C, per le quali il parametro di scala è valutabile secondo una funzione monomia della durata, quale ad esempio:

$$\Lambda_1 = 12,40 t^{0,1802} \text{ (SZO B).}$$



**Figura 5 – Suddivisione in sottozone omogenee relativamente alle piogge intense.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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  $K_T$ :

$$T = \frac{1}{1 - F_k(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/\theta} e^{-\eta k/\theta})} \quad [4]$$

parametro	valori dei parametri per diverse durate t [ore]				
	1	3	6	12	24
$\theta^*$	1,978	2,035	2,120	2,291	2,632
$\Lambda^*$	0,175	0,244	0,300	0,370	0,455
$\Lambda_1$	12,40	15,11	17,13	19,40	21,99
$\eta$	4,288	4,288	4,288	4,288	4,288

**Tabella 6 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali di pioggia giornaliera secondo la regionalizzazione VA.PI. (secondo livello);  $\eta$  è assunto costante con la durata (SZO D, rif. Ferrari, 1989).**

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]	durata [ore]				
	1	3	6	12	24
10	1,234	1,334	1,414	1,526	1,709
20	1,452	1,574	1,678	1,832	2,095
50	1,762	1,920	2,062	2,275	2,641
100	2,018	2,206	2,375	2,631	3,064
200	2,292	2,508	2,702	2,995	3,489

**Tabella 7 - Valori del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  [-] per l'area in esame.**

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 Sicilia è ritenuta valida un'espressione monomia del tipo:

$$m[h(t)] = a \cdot t^n, \quad [5]$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

con  $t$  in ore, che consente la stima del valor medio della massima altezza di pioggia per una certa durata. I parametri  $a$  ed  $n$  sono stati valutati per ciascuna stazione pluviometrica mediante una regressione lineare ai minimi quadrati in campo logaritmico; il rapporto fornisce inoltre una mappa isoparametrica per la loro valutazione in qualsiasi punto della regione. I valori di tali parametri relativi alle stazioni pluviometriche utilizzate nel presente studio sono forniti in Tabella 8.

pluviometro		$a$ [mm/h <sup>n</sup> ]	$n$ [-]
P1	Ganzirri	34,4	0,2121
P2	Messina	33,8	0,2598
P3	Camaro	38,5	0,3030

**Tabella 8 - Parametri della regionalizzazione VA.PI. (terzo livello) dei valori medi dei massimi annuali di pioggia di durata  $t$  per le stazioni pluviometriche considerate.**

Per quanto riguarda invece le precipitazioni di brevissima durata (inferiore all'ora) il rapporto VA.PI. fornisce un'espressione monomia che correla l'altezza di pioggia per la durata di un'ora con quelle relative a durate inferiori, ricavata analizzando i dati riportati negli Annali Idrologici (Tab.V). Tale espressione è presentata nel capitolo 4, al quale si rimanda.

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, applicando i coefficienti di crescita di **Tabella 7** alle altezze medie  $m[h(t)]$  per le durate di interesse, calcolate inserendo nella [5] i parametri di Tabella 8.

### **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 3 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 sempre inferiori rispetto a quelle determinate mediante la regressione diretta con la distribuzione di Gumbel per la durata di 1 ora, e sempre maggiori per la durata di 24 ore; per la durata di 6 ore le altezze VA.PI. sono maggiori per la sola stazione di Ganzirri.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Mediando su tutte le stazioni e i tempi di ritorno, per la durata di 1 ora (di maggiore interesse per il presente progetto) si verifica uno scostamento medio di +25% della Gumbel rispetto al VA.PI.

Stazione pluviometrica	modello di regressione	durata [ore]	altezze d'acqua [mm] per vari TR [anni]				
			10	20	50	100	200
Ganzirri	VA.PI. (TCEV)	1	42,5	50,0	60,6	69,4	78,8
		6	71,1	84,4	103,7	119,5	135,9
		24	115,4	141,4	178,3	206,8	235,5
	Gumbel	1	49,5	57,1	66,8	74,1	81,4
		6	69,7	79,4	92,0	101,4	110,8
		24	90,8	102,6	117,9	129,3	140,7
Messina (istituto geofisico)	VA.PI. (TCEV)	1	41,7	49,1	59,6	68,2	77,5
		6	76,1	90,3	111,0	127,9	145,5
		24	131,9	161,7	203,8	236,5	269,3
	Gumbel	1	59,3	70,0	83,9	94,3	104,6
		6	91,0	107,4	128,7	144,7	160,6
		24	126,7	149,7	179,4	201,6	223,8
Camaro	VA.PI. (TCEV)	1	47,5	55,9	67,8	77,7	88,2
		6	93,7	111,2	136,6	157,4	179,0
		24	172,3	211,3	266,3	309,0	351,9
	Gumbel	1	62,2	73,0	87,0	97,5	107,9
		6	105,6	123,7	147,1	164,6	182,0
		24	159,1	186,0	220,7	246,8	272,8

**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.**

Per quanto riguarda le precipitazioni totali annue, il versante ionico dei monti Peloritani risulta l'area storicamente più piovosa di tutta la Sicilia (nel periodo 1965-1994<sup>2</sup>, 880 mm/anno contro circa 630 mm/anno medi della regione, valori sostanzialmente confermati anche dalle isoiete del periodo 1971-2003<sup>3</sup> - cfr. **Figura 6**). Si nota tuttavia un sensibile gradiente in diminuzione spostandosi da Sud verso Capo Peloro, area caratterizzata da una minore piovosità.

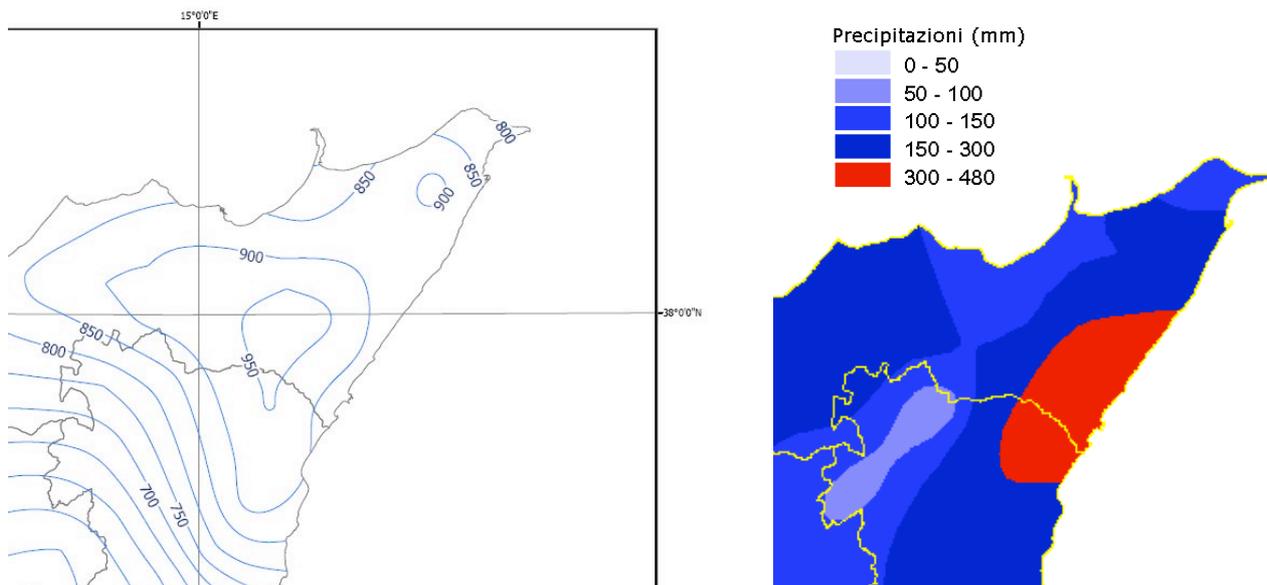
Tale andamento si osserva anche nella distribuzione delle altezze di pioggia critica: in **Tabella 9** si nota infatti come la stazione di Ganzirri sia caratterizzata da valori assai inferiori alle altre, più

<sup>2</sup> Fonte: Regione Sicilia, Assessorato Agricoltura e Foreste, *Climatologia della Sicilia*.

<sup>3</sup> Fonte: Regione Sicilia, Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque, Osservatorio delle Acque.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

concordi tra loro (Camaro vede precipitazioni un poco più elevate in quanto ubicata a quota maggiore).



**Figura 6 - A sinistra: isoiete (precipitazione totale annua media) per il periodo 1971-2003. A destra: precipitazioni totali rilevate dalla rete SIAS nel mese di settembre 2009.**

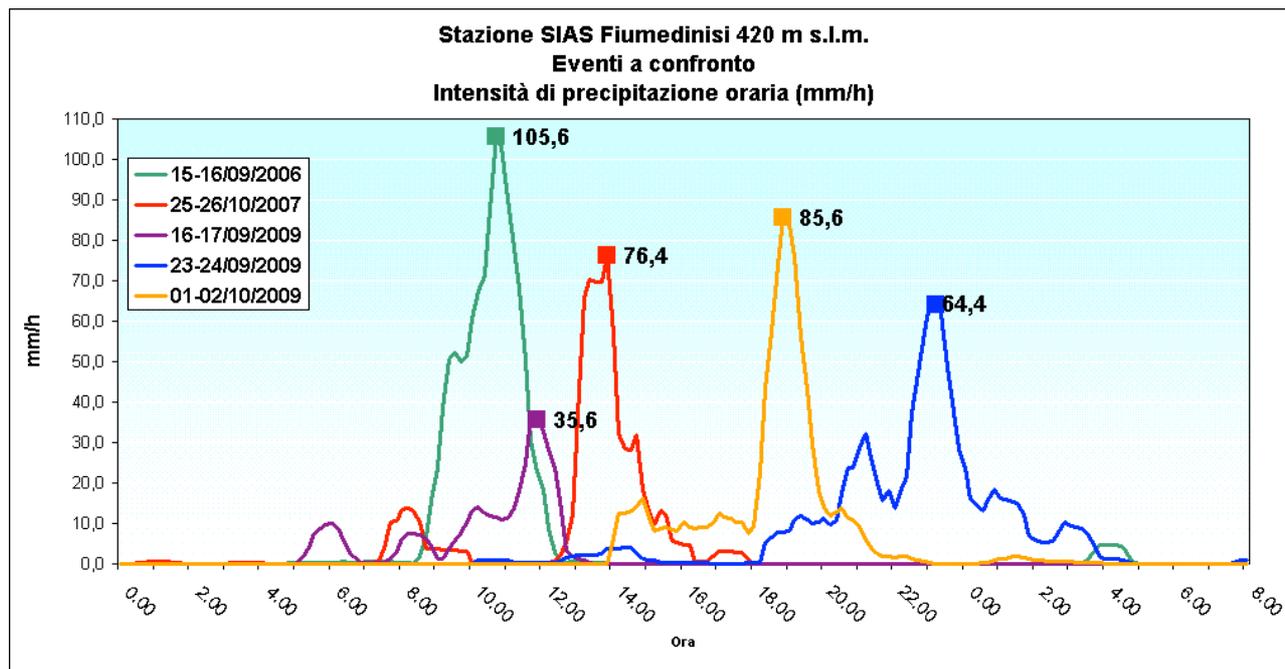
Nel periodo più recente inoltre tale area è stata interessata da eventi idrogeologici di notevole intensità, anche ripetuti a distanza temporale relativamente breve. La distribuzione spaziale di tali eventi è risultata generalmente di pattern analogo a quanto appena descritto, con intensità particolarmente elevate nella porzione meridionale della Provincia di Messina e valori intensi, ma degradanti, spostandosi verso Nord (cfr. **Figura 6**).

La **Figura 7** (fonte: SIAS) mostra l'andamento delle intensità orarie dei principali eventi occorsi negli ultimi 4 anni (2006-2009) presso la stazione di Fiumedinisi, ubicata entro l'area meridionale di maggiore piovosità. Si nota come in quest'arco di tempo piuttosto limitato si siano registrati almeno 4 picchi di intensità oraria che nelle stazioni più prossime tra quelle considerate (Messina e Camaro) corrisponderebbero a eventi associati a tempi di ritorno assai elevati: oltre i 100-200 anni secondo il VA.PI., oltre i 20-50 anni secondo la regressione diretta.

Tenendo conto di come, in generale, l'intensità attesa degli eventi in realtà diminuisca spostandosi da Fiumedinisi verso le stazioni considerate, appare comunque evidente una migliore capacità di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

descrizione della probabilità di accadimento degli eventi misurati (relativamente alle brevi durate, di interesse per il progetto) da parte della procedura di regressione diretta rispetto al VA.PI.



**Figura 7 - Intensità orarie di precipitazione per alcuni eventi recenti (stazione di Fiumedinisi).**

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 1924-1982. Si evidenzia peraltro come gli anni più recenti siano stati caratterizzati nei dintorni delle aree in esame da numerosi eventi idrogeologici di particolare intensità.
- Per sopperire alla non elevata numerosità e omogeneità delle serie all'epoca disponibili, la definizione dei parametri strutturali del modello VA.PI. è basata su un'attività di regionalizzazione su ampia scala, dando pertanto meno peso alle osservazioni dirette nell'area in esame, le quali sono invece alla base della procedura di regressione diretta. Tale aspetto è da ritenersi rilevante in ragione delle peculiarità idrologiche locali di elevata piovosità, come descritto in precedenza.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- L'utilizzo delle altezze di pioggia derivate dalla regressione diretta risulta cautelativo per le applicazioni di progetto (cfr. Tabella 9), per le quali le durate di pioggia di interesse risultano pari o inferiori all'ora, come meglio descritto nei capitoli seguenti.

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).

stazione	parametro	tempo di ritorno TR [anni]					
		5	10	30	50	100	200
Ganzirri	$a$ [mm/h <sup>n</sup> ]	41,68	49,53	61,39	66,81	74,12	81,40
	$n$ [-]	0,199	0,191	0,182	0,179	0,175	0,172
Messina	$a$ [mm/h <sup>n</sup> ]	48,08	59,27	76,16	83,87	94,27	104,62
	$n$ [-]	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
Camaro	$a$ [mm/h <sup>n</sup> ]	50,91	62,20	79,24	87,01	97,49	107,93
	$n$ [-]	0,298	0,295	0,294	0,293	0,292	0,292

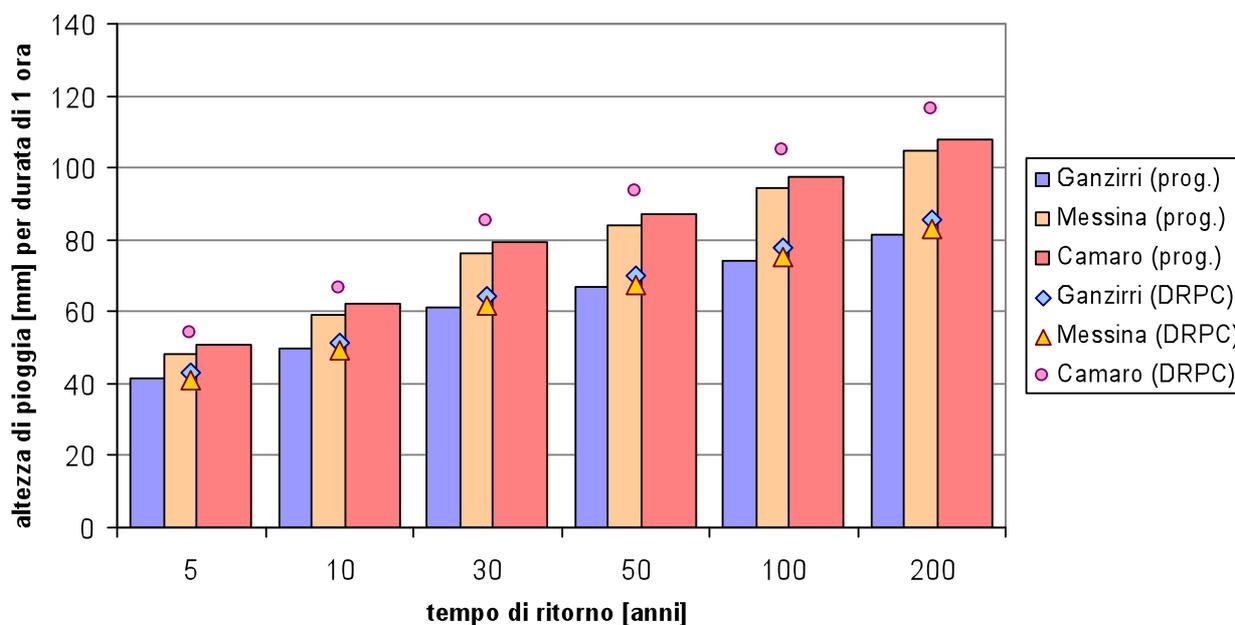
**Tabella 10 - Parametri delle curve pluviometriche di riferimento presso le stazioni in esame.**

Nel giugno 2009 è stato pubblicato dal Dipartimento Regionale della Protezione Civile (DRPC) un

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

rapporto contenente i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica, per diversi tempi di ritorno, riferite alle stazioni pluviometriche della rete regionale. Le analisi sono relative ai dati disponibili sul periodo 1924-2002; nel rapporto non sono indicate le metodologie di analisi utilizzate.

A partire da queste curve si è proceduto al calcolo dell'altezza di pioggia critica per la durata di 1 ora, riferita a diversi tempi di ritorno, così da poter effettuare un confronto con i valori assunti in progetto (v. **Figura 8**).



**Figura 8 – Confronto tra le altezze di pioggia di progetto e quelle ottenute dalle CPP definite dal Dipartimento Regionale di Protezione Civile.**

I due set di altezze di pioggia risultano sostanzialmente concordi per quanto riguarda la stazione di Ganzirri (scostamenti dell'ordine del 4%); per Camaro i valori di progetto risultano moderatamente inferiori (differenza media del 6,6%), mentre per Messina sono sensibilmente maggiori (differenza media del 22,6%).

Per le finalità del progetto si conferma pertanto la validità dei valori assunti e la congruenza nella quantificazione del rischio idrologico con i dati ufficiali pregressi.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 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.

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>4</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  $\rho$ :

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

<sup>4</sup> Bell, F.C., 1969. *Generalized rainfall-duration-frequency relationship* – Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol.95, n.HY1, pp.311-327.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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>5</sup> (1973) relativamente alle precipitazioni in India, o Jennings<sup>6</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>7</sup>, 1986 e Calenda et al.<sup>8</sup>, 1993), e a quello di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga et al.<sup>9</sup>, 1990).

La **Figura 9** 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.

Sulla base quindi di tali osservazioni sperimentali è stata sviluppata<sup>10</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.

In particolare l'andamento di  $\rho(t)$  è stato assunto come totalmente indipendente dalla località, e cautelativamente pari all'inviluppo dei valori riportati in **Figura 9**, così da introdurre unicamente errori di sovrastima dell'altezza di pioggia. Tale inviluppo è stato definito mediante una curva

<sup>5</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>6</sup> Jennings, A. H. (1950). *World's greatest observed point rainfall* – Monthly Weather Rev., n.78, pp.4-5.

<sup>7</sup> Domanico, R. (1986). *Piogge intense a Roma* – Tesi di laurea, Università "La Sapienza", Roma.

<sup>8</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.

<sup>9</sup> Piga, E. et al. (1990). *Analisi statistica delle piogge intense di breve e brevissima durata nell'area metropolitana di Milano* – Città Studi, Milano.

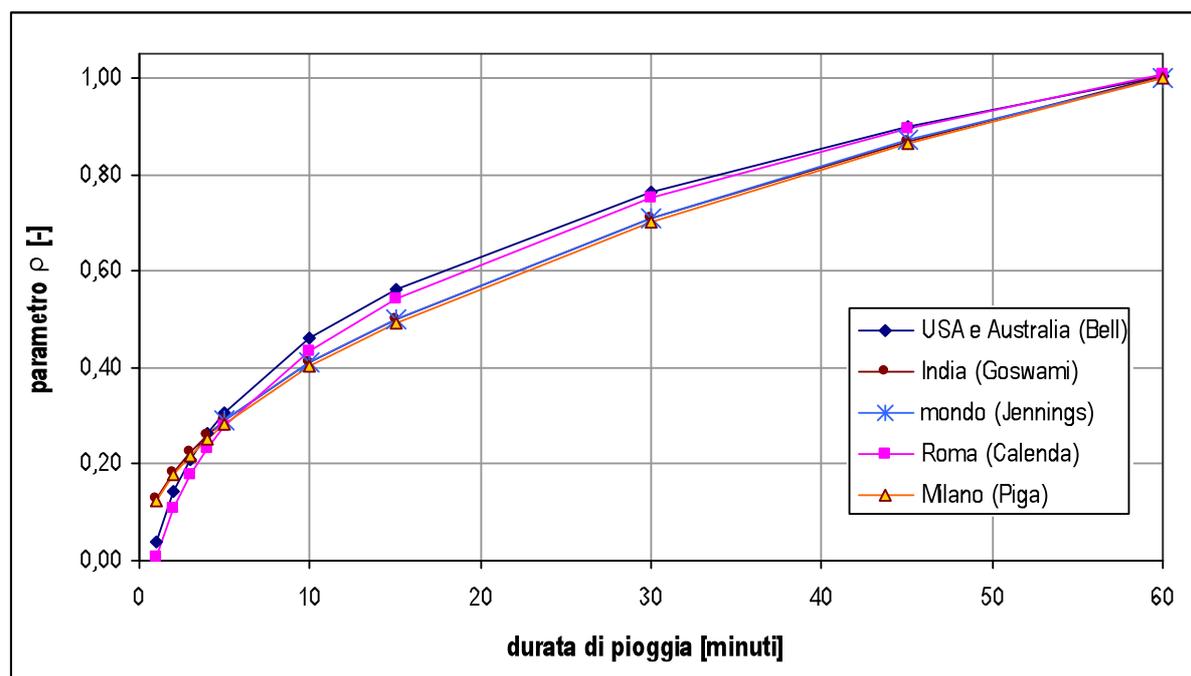
<sup>10</sup> HYDRODATA S.p.A. (2010). *HYDren – Software per il dimensionamento di reti di drenaggio delle acque di pioggia*, Torino.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

interpolatrice in forma di legge di potenza, per la quale risulta:

$$\rho[t] = 1,015 \cdot t^{0,433}, \quad [6]$$

con  $t$  (durata della precipitazione) espressa in ore.



**Figura 9 - Andamento del parametro  $\rho(t)$  ottenuto in diversi studi.**

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:

$$h(t) = \rho(t) \cdot h(1). \quad [7]$$

Si noti che, poiché la [6] 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 [6] risulta comunque ingegneristicamente trascurabile (<5%). Nel seguito si continuerà pertanto a fare riferimento alla durata di 1 ora come discrimine tra le due curve.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

$$\rho[t] = 0,208 \cdot t^{0,386}, \quad [8]$$

con  $t$  in minuti.

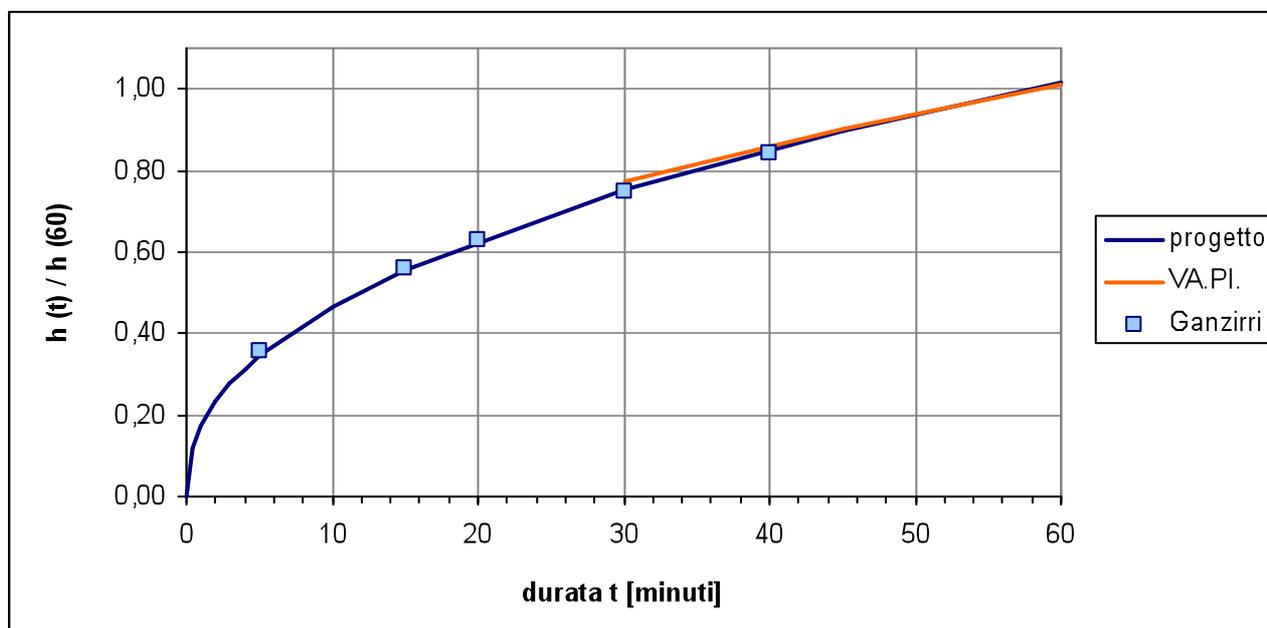
I valori ottenuti entro il *range* di validità risultano sostanzialmente coincidenti con quanto restituito dalla [6], a riprova della validità della metodologia adottata (cfr. Figura 10).

Presso le stazioni pluviometriche considerate sono disponibili, come già detto, alcuni dati relativi alle precipitazioni di durata inferiore all'ora, principalmente registrazioni storiche di scrosci di durata pari a mezz'ora. Nella sola stazione di Ganzirri vi sono dati sufficienti da rendere possibile, per quanto di scarso significato statistico, una regressione per almeno due durate inferiori all'ora (30 e 40 minuti, con numerosità dei campioni rispettivamente pari a 13 e 5); presso gli altri siti le serie disponibili non superano i 3 anni, ad eccezione della durata di 30 minuti (numerosità variabile da 8 a 10).

Relativamente quindi alla stazione di Ganzirri, a solo scopo di confronto, è stata condotta una regolarizzazione statistica per i campioni relativi a durate di 30 e 40 minuti, del tutto analoga a quella descritta nel paragrafo 3.1 per i massimi pluriannali, 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).

Utilizzando tale curva è stato quindi calcolato il rapporto  $\rho(t)$  per le durate di interesse; la **Figura 10** mette a confronto i risultati ottenuti con i corrispondenti valori restituiti dalla [6]. I valori campionari si riferiscono alla media per i  $\rho(t)$  relativi ai TR di 5, 10, 30, 50, 100 e 200 anni; la differenza tra queste serie è sostanzialmente trascurabile (deviazione standard media pari a circa il 4,5%). 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> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 10 - 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>Ganzirri</b>	0,354	0,560	0,632	0,748	0,844

**Tabella 11 - Confronto tra i valori  $\rho(t)$  di progetto e quelli campionari.**

Il grafico evidenzia come vi sia un ottimo accordo tra la curva di progetto, quella proposta dal VA.PI. e i dati sperimentali di Ganzirri, fermo restando -come già detto- che questi ultimi derivano da un'analisi statistica basata su campioni poco numerosi, per cui non è garantita l'affidabilità dei valori associati a tempi di ritorno elevati.

Si ritiene quindi in conclusione di confermare la validità della metodologia proposta, e di poter applicare la [6] e la [7] per la definizione dei valori di precipitazione critica di progetto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Spazializzazione dell'informazione pluviometrica

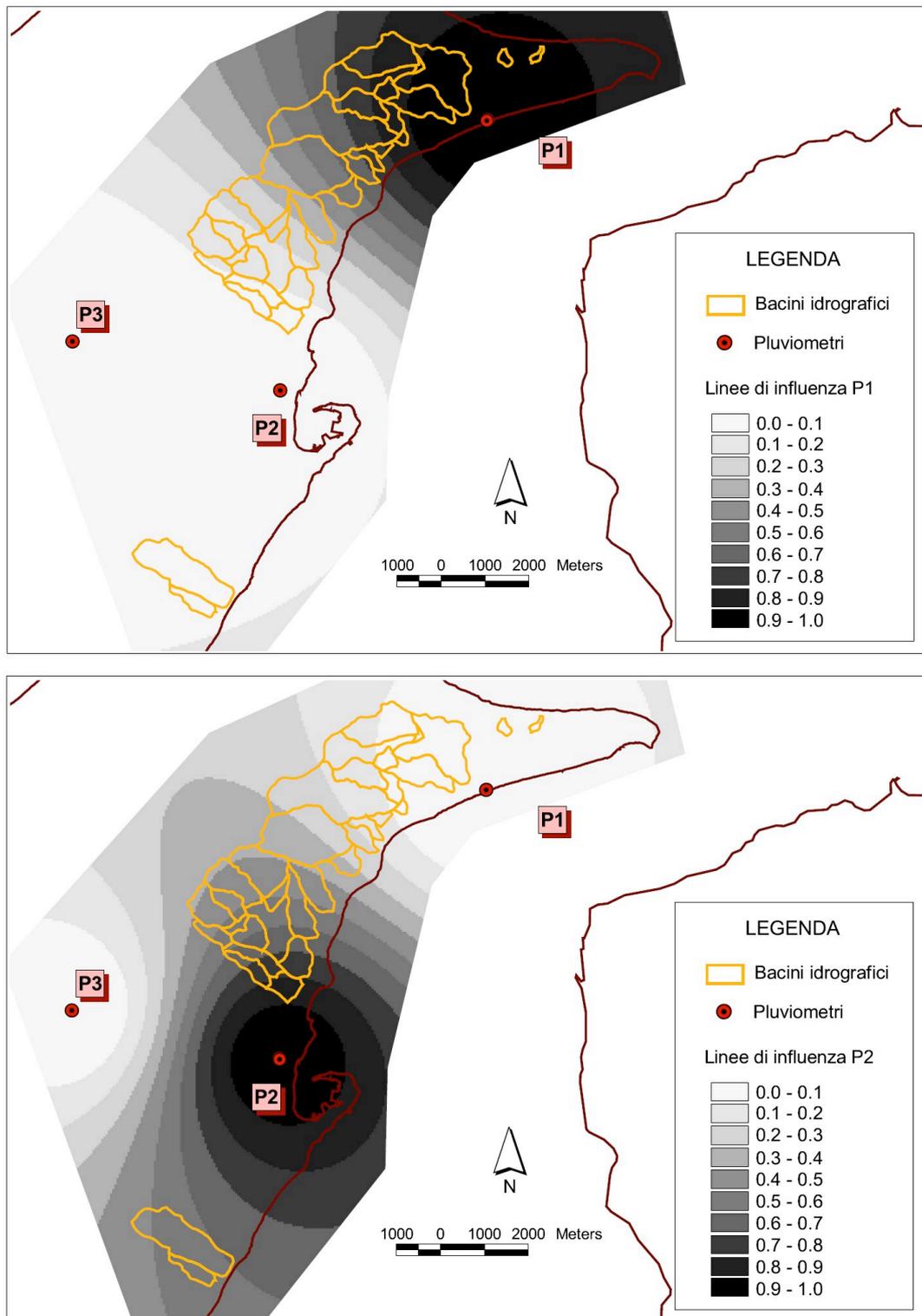
Le tre stazioni pluviometriche considerate risultano ben spaziate all'interno dell'area di interesse e permettono quindi una ricostruzione attendibile della distribuzione delle precipitazioni critiche sui bacini in esame.

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 sommandi 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 in **Figura 11** e **Figura 12**, le quali derivano da un'interpolazione spaziale (metodo Kriging) basata sulla distanza del singolo punto del bacino dalle tre stazioni.

Detti  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  le altezze di pioggia registrate sui singoli pluviometri P1, P2, P3 (cfr. capitolo 2), la corrispondente altezza  $H$  sul singolo punto, al quale sono associati i pesi  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ , sarà quindi pari a:

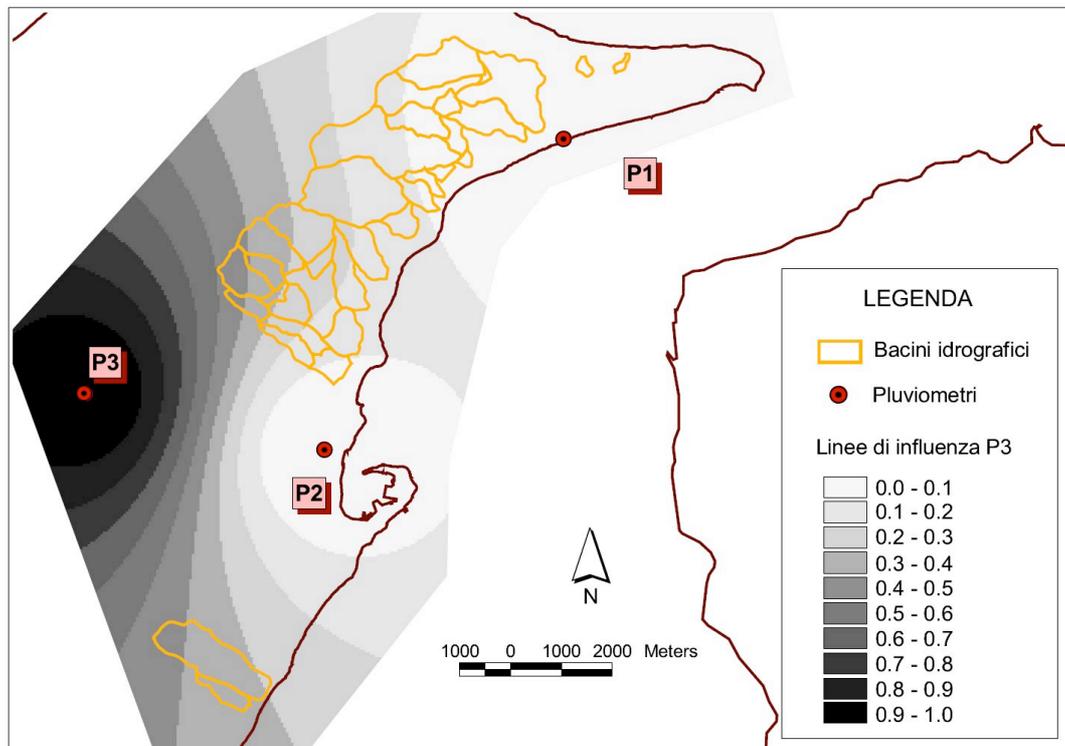
$$H = H_1 \cdot p_1 + H_2 \cdot p_2 + H_3 \cdot p_3.$$

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 11 - Linee di influenza per i pluviometri P1 e P2.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



**Figura 12 - Linee di influenza per il pluviometro P3.**

## Acque di piattaforma

### 6 CPP di progetto per le acque di piattaforma

#### 6.1 Versante Sicilia

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 in **Figura 11** e **Figura 12** 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 13**).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In ragione del significativo gradiente che si riscontra nell'intensità delle precipitazioni critiche (nella zona del Capo Peloro, come già notato in precedenza, gli eventi risultano mediamente meno intensi rispetto all'area più meridionale), la viabilità in progetto è stata suddivisa - per quanto attiene alla valutazione delle acqua di piattaforma - in quattro tratti omogenei, come rappresentato in **Figura 13**, ciascuno caratterizzato da una propria curva di possibilità pluviometrica.

Tale curva è stata valutata per ciascun tratto mediando i parametri di progetto all'interno di un'area che circonda i tracciati delle opere, rappresentate in arancione in **Figura 13**. 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 [7] 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 13**. In **Tabella 12** 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]	tratto	tempo di pioggia [minuti]				
		5	10	15	30	45
100	tratto 0	32,6	44,0	52,4	70,7	84,3
	tratto 1	32,1	43,3	51,6	69,6	83,0
	tratto 2	28,1	37,9	45,2	61,0	72,8
	tratto 3	26,0	35,1	41,8	56,5	67,3
50	tratto 0	29,0	39,2	46,7	63,0	75,1
	tratto 1	28,6	38,6	46,0	62,1	74,0
	tratto 2	25,2	34,0	40,6	54,8	65,3
	tratto 3	23,4	31,6	37,7	50,9	60,6

**Tabella 12 - Altezze di pioggia di progetto [mm] per alcune durate inferiori all'ora (Sicilia).**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

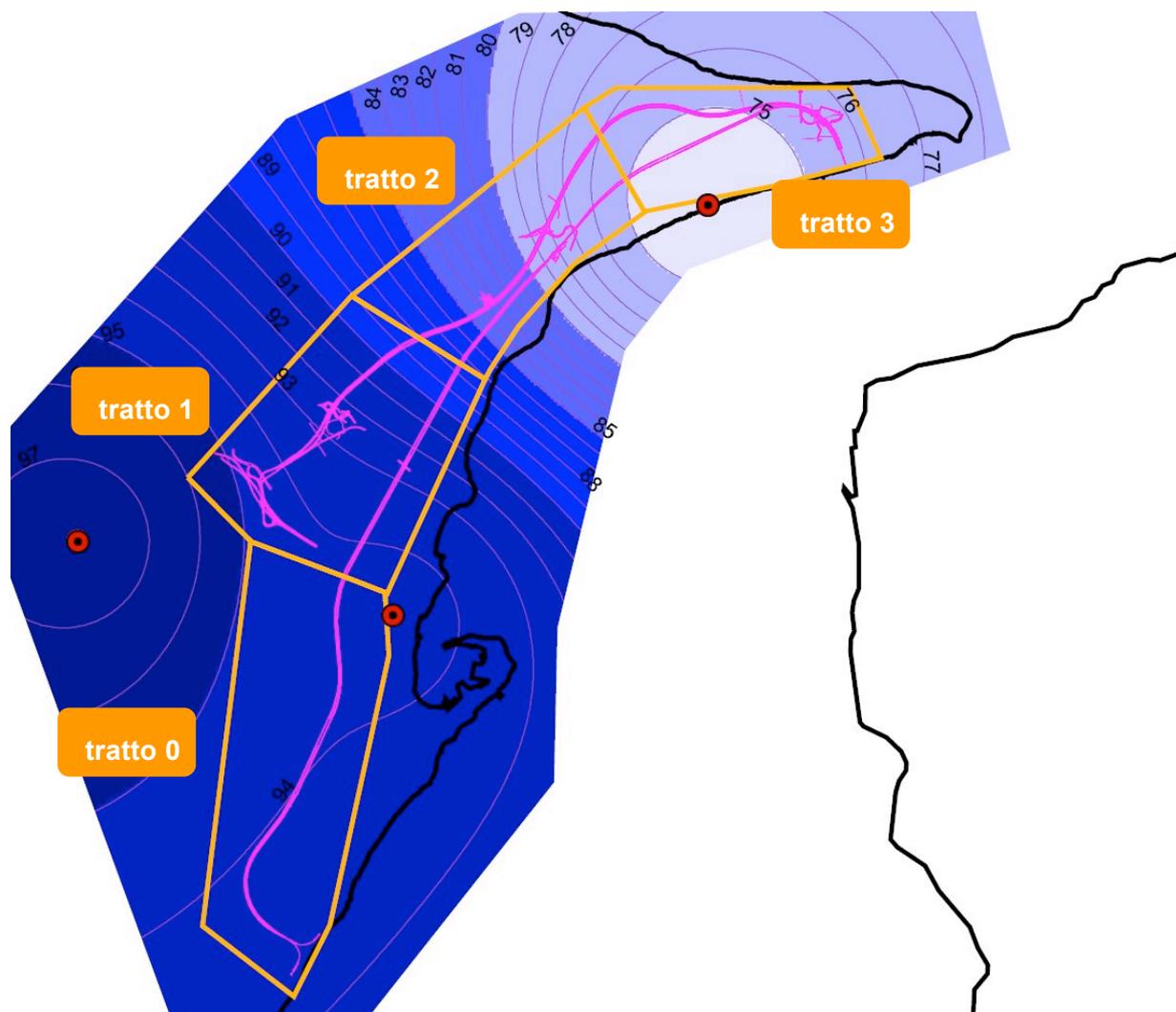


Figura 13 - Isoiete per la precipitazione critica di durata pari ad 1 ora (TR=100 anni). In rosso sono indicate le stazioni pluviometriche di riferimento; i poligoni arancioni rappresentano la suddivisione in tratti del tracciato (i parametri di pioggia di Tabella 13 sono mediati sull'area indicata).

TR [anni]	parametro	tratto 0	tratto 1	tratto 2	tratto 3
100	$a [mm/h^n]$	95,47	93,99	82,41	76,22
	$n [-]$	0,433	0,433	0,433	0,433
50	$a [mm/h^n]$	85,05	83,81	73,94	68,66
	$n [-]$	0,433	0,433	0,433	0,433

Tabella 13 - Parametri della curve di possibilità pluviometrica validi per durate inferiori all'ora (versante Sicilia).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come si osserva nei grafici riportati in allegato 1, le curve di possibilità pluviometrica ottenute nei diversi siti inviluppano piuttosto bene le osservazioni (circa 50 anni di dati), segnalando anche alcuni *outliers* (altezze d'acqua relative a due particolari eventi storici gravosi che risulterebbero superiori, per alcune durate, a quelle definite per TR=200 anni).

Per durate inferiori all'ora le curve risultano invece sempre maggioranti i dati disponibili, di minore numerosità (una decina di anni di osservazioni), ma sono stati effettivamente registrati eventi associabili a tempi di ritorno dell'ordine dei 20 anni. 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 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 e Villa S.Giovanni (cfr. *Relazione idrologica generale – versante Calabria*), 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
< 57 minuti	$a [mm/h^n]$	82,20
	$n [-]$	0,433
> 57 minuti	$a [mm/h^n]$	81,04
	$n [-]$	0,140

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

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”.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Portate di piena

### 7 Metodologia di analisi

Come anticipato in premessa, nei bacini 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), il quale discretizza le informazioni topografiche altimetriche su una griglia regolare a maglia quadrata di lato pari a 240 m; da tale modello è stata estrapolata una matrice di raffittimento a maglia 50x50 m per migliorare l'efficienza delle procedure di media areale.

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

CN è il *Runoff Curve Number*, coefficiente sperimentale che schematizza le caratteristiche idrologiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agriculture). Il valore di tale coefficiente si ricava con riferimento ai parametri riportati nella **Tabella 15**, sulla base di valutazioni in merito alla classe di appartenenza del suolo, al

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

È stata realizzata una mappa georeferenziata del parametro CN nell'area di interesse, sulla base delle informazioni contenute nel Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrologico (PAI11), delle indagini di aggiornamento condotte dal Comune di Messina (in fase di redazione) e delle risultanze dei sopralluoghi condotti in sito. 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 14. 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:  $S = 25,4 \cdot (1000/CN - 10)$ .

<sup>11</sup> Regione Sicilia - Assessorato Territorio e Ambiente. Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrologico (P.A.I.), 2006. Area territoriale tra il bacino del torrente Fiumedinisi e Capo Peloro (102). Rif. particolare a *Carta dell'uso del suolo* e *Carta litologica*.

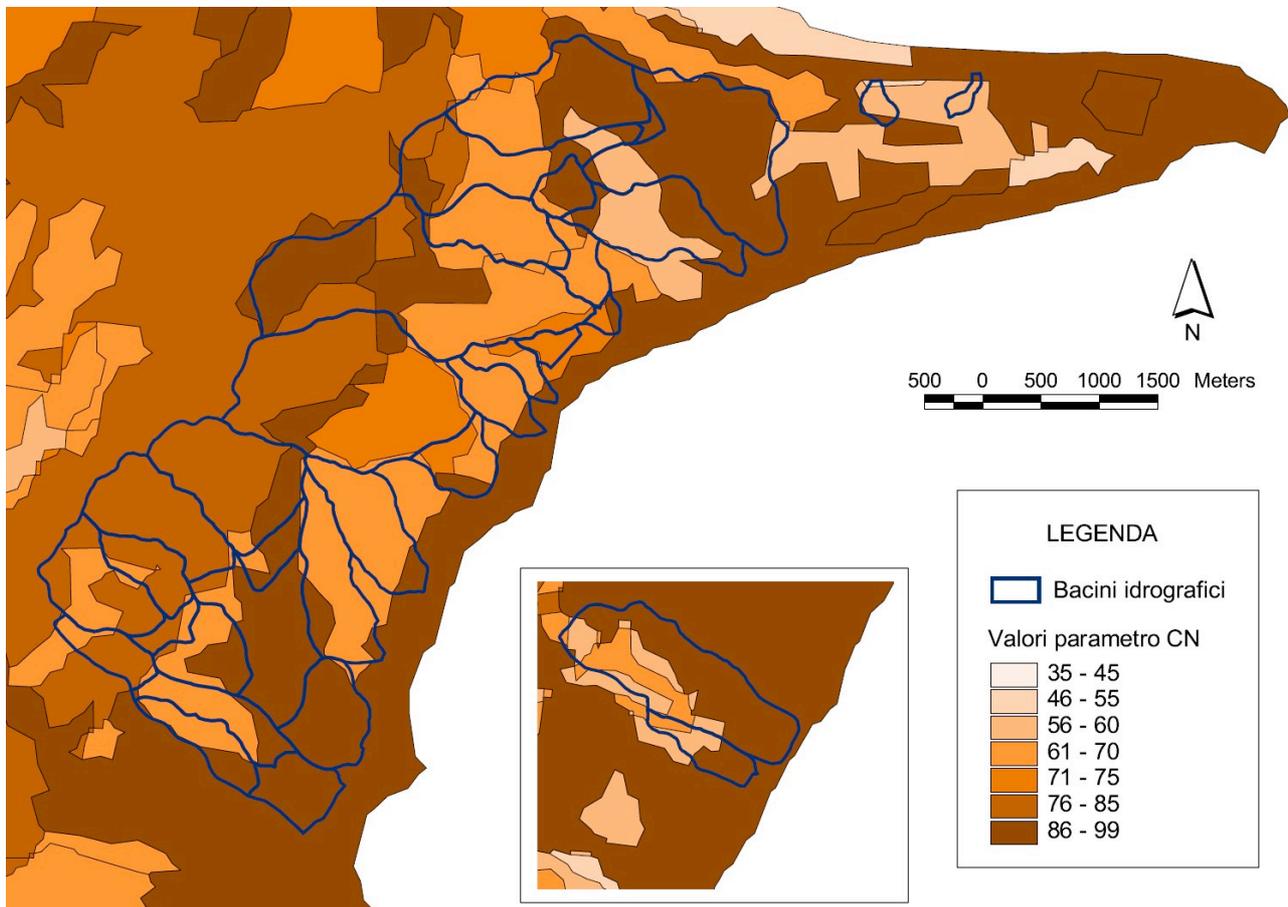
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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

**Tabella 15 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).**

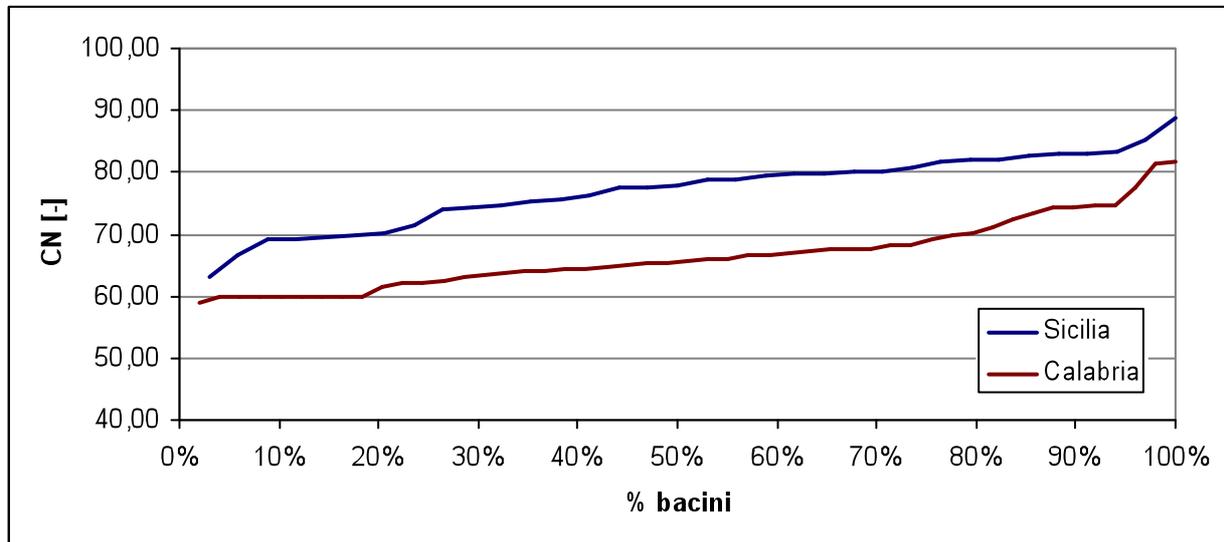
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



**Figura 14 - Mappa del parametro CN nell'area di interesse (nel riquadro è rappresentata la zona più meridionale, con i bacini delle fiumare Venedda Minissale e Venedda Vetro).**

La distribuzione del parametro CN tra i bacini in studio risulta piuttosto varia, come si nota dal grafico di **Figura 15**, in cui essa è messa a confronto con l'omologa relativa al versante Calabria. Circa il 20% dei bacini in esame è compreso tra valori di CN di 60 e 70, il 40% tra 70 e 80 ed il 40% ha valori superiori (fino a 90). In Calabria invece i valori sono mediamente inferiori, e presentano una distribuzione più uniforme: l'80% circa è compreso tra 60 e 70, mentre i rimanenti sono quasi completamente compresi tra 70 e 80.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 15 - Distribuzione del parametro CN tra i bacini in esame, per entrambi i versanti.**

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

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

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, moderata 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

parametri risulta significativamente concorde, per cui ad una data variazione percentuale di CN corrisponde un'analogha variazione di  $c = \phi$ .

Per il versante Calabria, in ragione della sostanziale uniformità del parametro CN e in accordo con studi pregressi, con particolare riferimento al Progetto Esecutivo DG87/03 per l'ammodernamento del tratto di interesse dell'autostrada Salerno - Reggio Calabria (ANAS, 2010), è stato assunto per tutti i bacini un valore di  $\phi$  costante e pari a 0,65 (cfr. *Relazione idrologica generale – versante Calabria*).

Per il versante Sicilia, mantenendo la congruenza tra questo valore e il CN medio dei bacini calabresi, sono stati assunti valori di  $\phi$  variabili in funzione del CN rappresentativo del singolo bacino, secondo la seguente regola indicativa:

- CN minore di 70:  $\phi = 0,65$ ;
- CN compreso tra 70 e 80:  $\phi = 0,75$ ;
- CN maggiore di 80:  $\phi = 0,85$ .

I coefficienti di deflusso attribuiti secondo questo criterio sono stati poi valutati con maggiore approfondimento sui singoli bacini, in particolare per i casi in cui il valore di CN risultava prossimo a un valore di soglia, assegnando un valore intermedio per evitare bruschi e non realistici incrementi di portata spostandosi verso valle, oppure assegnando il valore sopra o sotto soglia per mantenere la congruenza idrologica tra bacini in serie o tra bacini contigui di caratteristiche equivalenti.

## 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 basso (principalmente da 1 a 3, cfr. **Tabella 2**), e in diversi casi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

con presenza di deflussi limitata quasi esclusivamente ai periodi di pioggia intensa.

Nel citato Progetto Esecutivo DG87/03 è già stato dimostrato inoltre (per il versante Calabria) 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;

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

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

$t_c[ore]$  = tempo di corrvazione del bacino.

Il tempo di corrvazione 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: 
$$t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i}}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Formula di Pasini:

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

La scelta delle tre formule sperimentali presentate è stata condotta sulla base di considerazioni di carattere generale sui campi di applicabilità delle stesse. Dalla letteratura si rileva infatti come esse siano state ottenute per bacini naturali di dimensioni modeste: la formula di Pezzoli è stata sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di forte pendenza e di dimensioni inferiori ai 20 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.

## 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<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
01V.0	Fosso lato Tirreno - 1	0,142	8,5	1,7	2,1	2,3
02V.0	Fosso lato Tirreno - 2	0,153	9,2	2,5	3,0	3,3
03M.1	Fiumara Papardo	0,521	31,3	22,8	27,6	30,4
03M.2	Fiumara Papardo	0,516	31,0	18,3	22,2	24,4
03M.0	Fiumara Papardo	0,636	38,2	37,3	45,3	49,8
03F.0	Fiumara Papardo	0,929	55,7	52,8	64,0	70,4
04M.O	Fiumara Sant'Agata	0,168	10,1	7,7	9,4	10,3
04F.O	Fiumara Sant'Agata	0,492	29,5	17,5	21,1	23,2
05M.1	Fiumara Guardia	0,332	19,9	13,7	16,7	18,4
05V.1	Fiumara Guardia	0,402	24,1	17,3	21,0	23,2
05V.2	Fiumara Curcuraci	0,660	39,6	44,8	54,6	60,2
05F.0	Fiumara Guardia	0,745	44,7	53,5	65,1	71,8
06V.0	Rio senza nome	0,094	5,6	5,0	6,1	6,7
07F.0	Fiumara Grotta	0,186	11,2	6,5	7,9	8,7
08F.0	Fiumara Balena	0,249	14,9	9,1	11,1	12,2
09M.0	Fiumara della Pace	0,455	27,3	52,5	64,3	71,0
09F.0	Fiumara della Pace	0,534	32,1	54,7	66,9	73,9
10F.0	Fiumara Contemplazione	0,282	16,9	18,5	22,7	25,1
11F.0	Fiumara Paradiso	0,294	17,6	20,0	24,6	27,2
12M.1.1	Fiumara Ciccìa	0,258	15,5	36,2	44,4	49,1
12M.1.2	Fiumara Ciccìa	0,235	14,1	28,4	35,0	38,7
12V.1.1	Fiumara Ciccìa	0,297	17,8	39,9	49,0	54,2
12M.2.1	Fiumara Annunziata	0,148	8,9	14,4	17,8	19,7
12M.2.2	Fiumara Annunziata	0,255	15,3	20,5	25,3	28,0
12M.2	Fiumara Annunziata	0,326	19,6	30,5	37,5	41,6
12V.2	Fiumara Annunziata	0,392	23,5	38,3	47,2	52,2
12V.0	Fiumara Annunziata	0,582	34,9	98,8	121,6	134,6
12F.0	Fiumara Annunziata	0,679	40,7	101,4	124,8	138,2
13M.0	Fiumara San Licandro	0,154	9,2	11,4	14,0	15,5
13V.1	Fiumara San Licandro	0,335	20,1	18,7	23,0	25,5
13V.2	Fiumara San Licandro	0,207	12,4	12,0	14,8	16,4
13F.0	Fiumara San Licandro	0,470	28,2	35,1	43,3	47,9
14V.0	Fiumara Venedda Minissale	0,629	37,7	33,2	40,9	45,4
15V.0	Fiumara Venedda Vetro	0,246	14,8	10,4	12,8	14,2

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 dallo *Studio generale per il riassetto idrogeologico delle aste torrentizie gravitanti sull'abitato di Messina*<sup>12</sup> (nel seguito abbreviato T.ME), il quale indaga diversi bacini in comune con il presente progetto (sezioni di chiusura sostanzialmente confrontabili). Tale studio era finalizzato all'individuazione delle situazioni di maggiore rischio e all'adozione di idonei provvedimenti per la loro risoluzione.

L'analisi idrologica svolta è basata sull'applicazione del modello razionale per la trasformazione afflussi-deflussi, analogamente a quanto fatto nel presente progetto. La pioggia critica di riferimento deriva dall'analisi VA.PI. condotta sulle singole stazioni pluviometriche, con applicazione della formula monomia [8] per il calcolo delle altezze di pioggia per durate inferiori all'ora (cfr. paragrafo 3.2 e capitolo 4). I coefficienti di deflusso, definiti in relazione alla copertura vegetale, sono stati assunti variabili con il tempo di ritorno dell'evento; il tempo di corrivazione dei bacini è stato calcolato sia con la formula empirica di Kirpich (funzione di lunghezza dell'asta e pendenza media) che imponendo una velocità media di 1,5 m/s lungo il massimo percorso idraulico.

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=100 anni (la massima assunta nello studio).

In generale si nota un buon accordo tra le due analisi idrologiche, con valori sostanzialmente concordi. Le portate assunte in progetto risultano in alcuni casi superiori a quelle dello studio, in

<sup>12</sup> Presidenza della Regione Siciliana. *Studio generale per il riassetto idrogeologico delle aste torrentizie gravitanti sull'abitato di Messina* (ordinanza ministeriale n.2479 del 19 novembre 1996). Scibilia, N. et al., 1998.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0

altri casi viceversa; i parametri morfologici di base (area sottesa, pendenza, lunghezza dell'asta) risultano però sostanzialmente congruenti. La differenza nei risultati che si riscontra in alcuni bacini è principalmente imputabile alla diversa valutazione del tempo di corrivazione, e secondariamente al coefficiente di deflusso adottato.

identificativo bacino (progetto)		identificativo bacino (studio T.ME)	A [km <sup>2</sup> ]		Q [m <sup>3</sup> /s], TR=100 anni	
codice	nome		progetto	T.ME	progetto	T.ME
03F.0	Fiumara Papardo	Papardo	3,326	3,140	64,03	87,85
05F.0	Fiumara Guardia	Guardia	3,023	3,070	65,12	67,96
07F.0	Fiumara Grotta	Grotta	0,181	0,200	7,91	9,21
08F.0	Fiumara Balena	Balena	0,294	0,300	11,07	13,22
09M.0	Fiumara della Pace	Pace II	2,012	1,573	64,25	57,67
09F.0	Fiumara della Pace	Pace III	2,302	2,346	66,93	62,61
10F.0	Fium. Contemplazione	Contemplazione	0,598	0,530	22,74	28,21
11F.0	Fiumara Paradiso	Paradiso	0,648	0,640	24,61	31,38
12M.2.2	Fiumara Annunziata	Annunziata I	0,593	0,600	25,25	25,11
12M.2.1	Fiumara Annunziata	Annunziata II	0,308	0,304	17,75	16,62
12M.1.2	Fiumara Ciccìa	Annunziata III	0,702	0,798	34,96	28,81
12V.1.1	Fiumara Ciccìa	Annunziata IV	1,148	1,230	49,02	47,19
12V.2	Fiumara Annunziata	Annunziata V	1,418	1,441	47,15	44,82
12F.0	Fiumara Annunziata	Annunziata VII	4,573	4,575	124,80	119,56
13F.0	Fiumara San Licandro	San Licandro	1,261	1,350	43,25	37,92

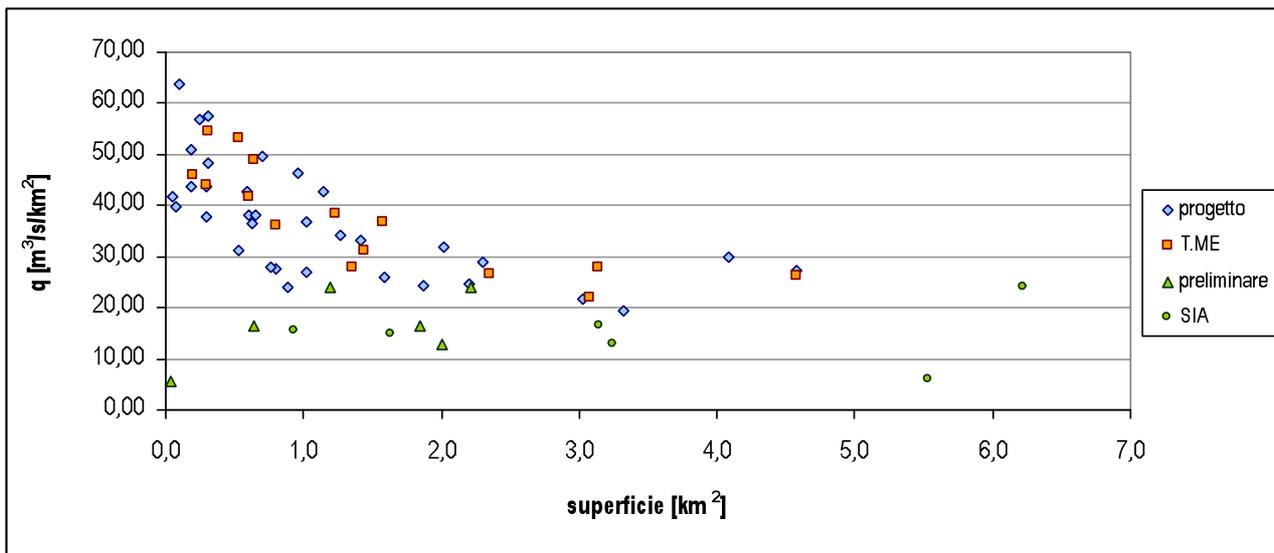
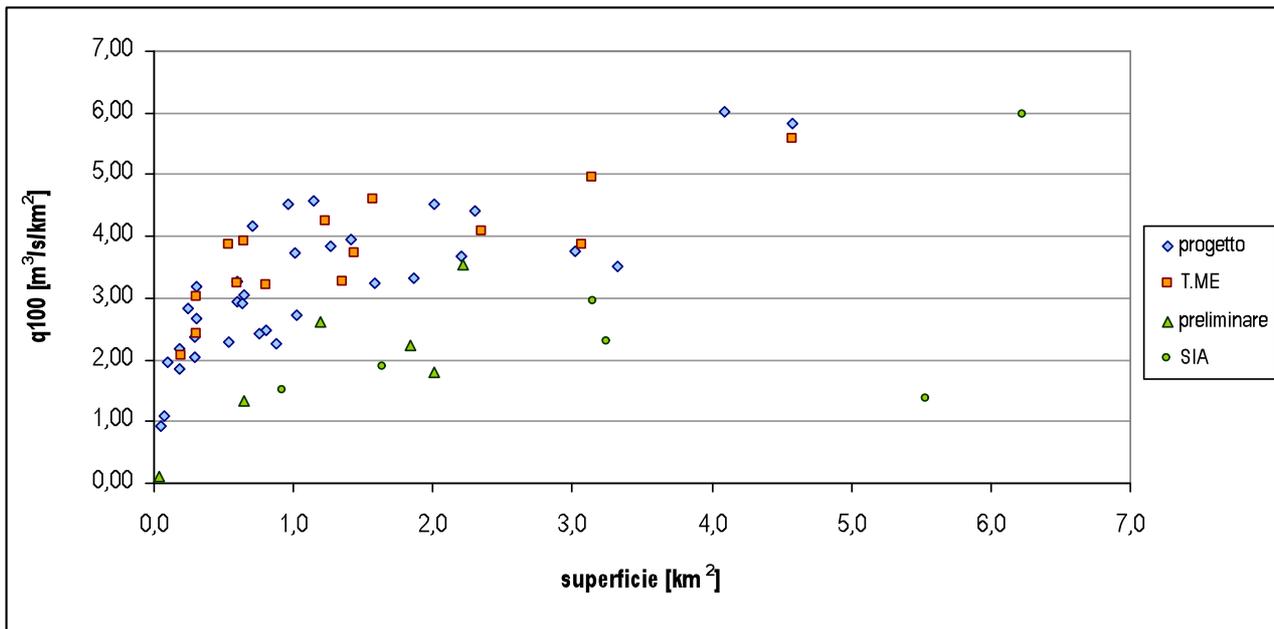
**Tabella 17 - Confronto tra le portate di progetto e quelle assunte dallo studio T.ME.**

Per effettuare un confronto più generale in merito alla congruenza tra le modalità di stima delle portate di progetto sono stati valutati i contributi specifici di piena per la portata associata ad un tempo di ritorno di 100 anni (**Figura 16**). 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).

Il confronto è stato esteso anche alle portate stimate nelle analisi idrologiche del *Progetto Preliminare del Ponte sullo Stretto di Messina - Collegamenti versante Sicilia* e del relativo *Studio di Impatto Ambientale*. Tali analisi sono relative ai principali corpi idrici interferenti, ed è possibile individuare sezioni di chiusura congruenti con quelle individuate nel presente progetto, in particolare per quanto riguarda:

- *progetto preliminare*: fosso lato Tirreno (01V.0), Guardia (05M.1), Curcuraci (05V.2), Pace (09M.0), Ciccia (12M.1.2+12V.1.1), Annunziata (12V.2);
- *SIA*: Papardo (03F.0), Guardia (05F.0), Pace (09F.0), Contemplazione (10F.0), Paradiso (11F.0), Annunziata (12F.0).



**Figura 16 - 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> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'analisi è stata svolta anche in questo caso mediante applicazione del metodo razionale, utilizzando come parametri di pioggia critica quelli derivati da una regressione diretta della serie storica della stazione pluviometrica di Messina (istituto geofisico). I tempi di corrivazione sono stati valutati mediante la formula empirica di Giandotti.

I risultati ottenuti non sono direttamente confrontabili con quelli di progetto, in quanto vi sono discrepanze anche significative nella determinazione delle aree contribuenti sottese: nel presente studio infatti è stato possibile affinare il tracciamento dei bacini grazie alla disponibilità di rilievi di maggior dettaglio. Il confronto relativo ai contributi specifici consente comunque di confrontare le metodologie di stima in modo indipendente dalle differenze nei dati di base.

L'analisi dei grafici mostra una buona congruenza tra l'andamento dei valori di portata di piena assunti in progetto e di quelli definiti nello studio T.ME, confermando un'analoga valutazione dei fattori di rischio idrologico, in termini di entità dell'evento atteso associato a una determinata probabilità di accadimento. Di valore nettamente inferiore appaiono invece le portate di progetto originariamente assunte nel progetto preliminare e nel SIA; nella presente fase progettuale si assume pertanto una maggior cautela (ovvero un più elevato grado di sicurezza) nel dimensionamento delle opere idrauliche.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>		<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<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> SB0001_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		<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> SB0001_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		<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> SB0001_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>		
<p align="center">RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i>  SB0001_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i>  F0</p>	<p><i>Data</i>  20/06/2011</p>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	<i>Codice documento</i> SB0001_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 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> SB0001_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>		
<p align="center">RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>		<p><i>Codice documento</i>  SB0001_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i>  F0</p>	<p><i>Data</i>  20/06/2011</p>