



PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

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

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI SICILIA</p> <p><i>Tipo di sistema</i> INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> SISTEMAZIONI IDRAULICHE</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> GENERALE</p> <p><i>Titolo del documento</i> RELAZIONE METODOLOGICA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">SS0176_F0</div>
---	--

CODICE	C G 0 7 0 0 P R G D S S C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 F0
--------	--

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE	3
Premessa	5
1 Parametri pluviometrici di progetto.....	7
2 Portate di progetto	9
3 Metodologie di analisi di calcolo adottate	10
3.1 Analisi idraulica per i corsi d'acqua principali	11
3.1.1 Esecuzione delle indagini topografiche di rilievo	11
3.1.2 Costruzione del modello idrodinamico di simulazione	12
3.1.2.1 Schematizzazione modellistica delle strutture di attraversamento e delle opere idrauliche di controllo del fondo alveo.....	13
3.1.3 Portate di riferimento e valutazione dei fenomeni di trasporto solido.....	13
3.1.4 Condizioni al contorno introdotte nel modello.....	15
3.1.5 Resistenze distribuite (scabrezza)	15
3.1.6 Rappresentazione dei risultati.....	16
3.2 Analisi idraulica per i corsi d'acqua minori (secondari).....	17
4 Interventi di sistemazione idraulica in progetto.....	19
4.1 Inalveazioni tipo.....	19
4.1.1 Sezione trapezia	19
4.1.2 Sezione rettangolare.....	19
4.2 Salti di fondo.....	20
4.3 Verifiche del rivestimento dell'alveo	20
4.3.1 Verifica in termini di tensione di trascinamento	21
4.3.2 Verifica in termini di velocità	23
4.3.3 Valutazione delle deformazioni	23
4.3.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi Reno e gabbioni ed il terreno sottostante	25
4.4 Interventi di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua principali.....	26
4.4.1 Fiumara Curcuraci	27
4.4.2 Fiumara Guardia.....	28
4.4.3 Fiumara Pace	29
4.4.4 Fiumara Annunziata.....	30

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.5	Deviazioni provvisorie dei corsi d'acqua	30
4.5.1	Confluenza fiume Curcuraci e Guardia	31
4.5.2	Fiumara Guardia.....	33
5	Tombini idraulici in progetto	34
5.1	Tombino pk 1+391.....	34
6	Idraulica di versante.....	35
6.1	Analisi idrologica.....	36
6.1.1	Delimitazione e caratterizzazione fisiografica delle superfici scolanti	36
6.1.2	Determinazione del tempo di corrivazione	38
6.1.3	Determinazione del coefficiente di deflusso	41
6.1.4	Determinazione delle portate di piena a tempo di ritorno 100 anni (metodo razionale)	44
6.2	Analisi idraulica	46
6.2.1	Area barriera di esazione - Pantano	47
6.2.2	Svincolo Curcuraci.....	49
6.2.3	Viadotto Pace	51
6.2.4	Svincolo dell'Annunziata	53
7	Bacino di fitodepurazione e manufatti di scarico in progetto.....	55
7.1	Descrizione complessiva dell'intervento	56
7.2	Verifica dei bacini di fitodepurazione.....	59

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Premessa

La presente relazione illustra le metodologie di calcolo utilizzate ed i risultati dello studio idraulico eseguito nell'ambito del progetto delle infrastrutture viarie di collegamento con il Ponte sullo Stretto di Messina nel versante siciliano.

Le attività svolte hanno riguardato le verifiche idrauliche dei tratti di corsi d'acqua interferenti con le future rampe autostradali di raccordo al Ponte sullo Stretto nel versante Sicilia; in particolare le verifiche idrauliche hanno riguardato i corsi d'acqua nella configurazione di progetto.

Le specifiche tecniche generali di progettazione relative agli Studi idrologici ed idraulici distinguono i corsi d'acqua in principali, quando la superficie del bacino sotteso è superiore a 10 km², e secondari quando è inferiore.



Nel caso in esame, sul versante Sicilia, tutti i corsi d'acqua interferiti hanno superficie di bacino inferiore a 10 km².

Tuttavia in considerazione delle caratteristiche e dell'importanza del corso d'acqua, della tipologia delle opere presenti e dell'importanza dell'opera in progetto, alcuni corsi d'acqua sono stati trattati analogamente ai corsi d'acqua "principali", in termini sia di metodologia di calcolo adottata nello Studio idraulico (simulazioni in moto stazionario), sia di elaborazione dei risultati.

I corsi d'acqua trattati come "principali" e di seguito chiamati corsi d'acqua principali sono:

- fiumara Curcuraci - Guardia;
- fiumara Pace;
- fiumara Annunziata.

L'analisi con approccio modellistico descritta ai punti seguenti riguarda, per ciascuno dei corsi d'acqua citato, un tratto d'alveo sufficientemente esteso, a monte ed a valle delle opere di attraversamento e di sistemazione idraulica esistenti e in progetto, per rappresentare correttamente la funzionalità idraulica del sistema fluviale; un'ulteriore analisi è stata svolta su manufatti e/o sezioni presenti a valle dei corsi d'acqua sopracitati, per valutarne la compatibilità idraulica con le portate di piena di riferimento: in questo caso si è ritenuto sufficiente e cautelativo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

eeguire l'analisi ricorrendo alle classiche formule dell'idraulica in quanto scopo della verifica è stato anche quello di valutare un'eventuale portata limite "di riferimento" per lo scarico delle acque di piattaforma delle opere in progetto.

Sui corsi d'acqua minori, che verranno attraversati dall'autostrada e/o dalle rampe di svincolo per mezzo di manufatti scatolari o tombini, si è proceduto, in accordo con quanto stabilito dalle Specifiche Tecniche sopra richiamate, con l'applicazione di metodologie adeguate alla rappresentazione del funzionamento idraulico dei vari manufatti.

Per una dettagliata illustrazione delle metodologie adottate nei due casi, si rimanda ai paragrafi successivi.

Nel seguito si ritiene utile specificare il tipo di analisi svolta nella precedente fase relativa allo stato di fatto sulla componente solida di trasporto e come quest'ultima sia stata considerata nelle valutazioni idrauliche eseguite.

Il reticolo idrografico che drena i versanti che si affacciano sullo Stretto di Messina sono interessati dallo sviluppo di eventi alluvionali caratterizzati da un trasporto solido molto elevato, che talora si evolvono in vere e proprie colate detritiche. In relazione a tali aspetti lo studio è stato finalizzato alle seguenti esigenze: incrementare le portate liquide in misura tale da tenere conto dell'incremento dei deflussi, e quindi dei livelli di massima piena, derivanti dalla presenza di una rilevante frazione solida; individuare eventuali situazioni favorevoli all'innescio di colate detritiche torrentizie.

Queste ultime, meglio note con il termine "debris flow", sono caratterizzate dalla presenza di frazioni solide molto rilevanti, tanto da poter essere considerate come dissesti aventi caratteristiche intermedie tra le alluvioni propriamente dette e le frane per colata. Per tener conto di quanto detto sopra, lo studio del trasporto solido è stato condotto secondo le seguenti modalità.

Facendo riferimento alle portate idrologiche più gravose (TR 200 anni) è stata calcolata la portata complessiva, liquida più solida, per via modellistica, applicando la formulazione di Smart-Jaeggi (modulo NST del MIKE 11). Il modello è stato poi applicato utilizzando dette portate, solide più liquide, e ricavando conseguentemente i livelli di massima piena da utilizzarsi come riferimento per

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

la progettazione idraulica, indipendentemente dalla possibilità che si sviluppino o meno processi tipo colate detritiche.

Parallelamente, sugli stessi corsi d'acqua, è stata calcolata la capacità di trasporto solido in caso di debris flow (metodo di Gregoretti). Nei tratti di corso d'acqua in cui possono svilupparsi colate detritiche, le portate calcolate con quest'ultimo metodo sono sensibilmente superiori a quelle definite per via modellistica; solo in questi casi, si è proceduto al calcolo della massima magnitudo dell'evento ovvero il volume massimo mobilizzabile in caso di debris flow. Quest'ultima informazione risulta di significativa importanza per una prima valutazione sull'entità del fenomeno potenziale e costituisce un utile elemento per valutare l'opportunità in fase progettuale di prevedere e dimensionare eventuali vasche di accumulo o interventi finalizzati a favorire l'intercettazione di colate detritiche.

1 Parametri pluviometrici di progetto

Le curve di possibilità pluviometrica sono state ottenute a partire dalle elaborazioni condotte per la valutazione delle portate di progetto relative ai corpi idrici interferenti; si rimanda alla relazione idrologica generale per la descrizione di dettaglio delle procedure utilizzate e dei risultati ottenuti.

I parametri delle curve di possibilità pluviometrica di progetto, valide per durate inferiori all'ora ed espresse secondo la formulazione monomia $h = a \cdot t^n$ sono indicati in Tabella 1.1 - Parametri della curve di possibilità pluviometrica validi per durate inferiori all'ora.

Tabella 1.1 Tabella 1.1 per ciascuno dei tratti omogenei in cui è stata suddivisa l'area di interesse e per i Tr 5, 10, 30, 50, 100 e 200 anni. Il settore relativo al bacino di fitodepurazione è il "tratto 3". In Tabella 1.2 si riportano anche le altezze di pioggia associate ai vari tempi di ritorno per alcune durate significative.

TR [anni]	parametro	tratto 0	tratto 1	tratto 2	tratto 3
200	$a [mm/h^n]$	105,84	104,13	90,85	83,75
	$n [-]$	0,433	0,433	0,433	0,433
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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

TR [anni]	parametro	tratto 0	tratto 1	tratto 2	tratto 3
30	$a [mm/h^n]$	77,32	76,26	67,66	63,05
	$n [-]$	0,433	0,433	0,433	0,433
10	$a [mm/h^n]$	60,39	59,72	53,91	50,77
	$n [-]$	0,433	0,433	0,433	0,433
5	$a [mm/h^n]$	49,17	48,76	44,80	42,65
	$n [-]$	0,433	0,433	0,433	0,433

Tabella 1.1 - Parametri della curve di possibilità pluviometrica validi per durate inferiori all'ora.

TR [anni]	tratto	tempo di pioggia [minuti]				
		5	10	15	30	45
200	tratto 0	36,1	48,7	58,1	78,4	93,4
	tratto 1	35,5	47,9	57,1	77,1	91,9
	tratto 2	31,0	41,8	49,8	67,3	80,2
	tratto 3	28,6	38,6	46,0	62,0	73,9
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
30	tratto 0	26,4	35,6	42,4	57,3	68,3
	tratto 1	26,0	35,1	41,8	56,5	67,3
	tratto 2	23,1	31,1	37,1	50,1	59,7
	tratto 3	21,5	29,0	34,6	46,7	55,7
10	tratto 0	20,6	27,8	33,1	44,7	53,3
	tratto 1	20,4	27,5	32,8	44,2	52,7
	tratto 2	18,4	24,8	29,6	39,9	47,6
	tratto 3	17,3	23,4	27,9	37,6	44,8
5	tratto 0	16,8	22,6	27,0	36,4	43,4
	tratto 1	16,6	22,4	26,8	36,1	43,0
	tratto 2	15,3	20,6	24,6	33,2	39,6
	tratto 3	14,5	19,6	23,4	31,6	37,7

Tabella 1.2 – Altezze di pioggia di progetto [mm] per alcune durate inferiori all'ora.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

2 Portate di progetto

Si riportano in sintesi i dati di portata di riferimento calcolati per ciascun corso d'acqua interferente, così come risultano dall'analisi idrologica alla quale si rimanda per ogni indicazione di dettaglio.

identificativo bacino		tempo di corrivazione		portate di progetto [m ³ /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	19,14
05V.1	Fiumara Guardia	0,402	24,1	17,3	21,0	24,13
05V.2	Fiumara Curcuraci	0,660	39,6	44,8	54,6	62,61
05F.0	Fiumara Guardia	0,745	44,7	53,5	65,1	74,67
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	73,84
09F.0	Fiumara della Pace	0,534	32,1	54,7	66,9	76,86
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	21,49
12M.2.2	Fiumara Annunziata	0,255	15,3	20,5	25,3	29,48
12M.2	Fiumara Annunziata	0,326	19,6	30,5	37,5	43,80
12V.2	Fiumara Annunziata	0,392	23,5	38,3	47,2	54,97
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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

identificativo bacino		tempo di corrvazione		portate di progetto [m ³ /s]		
codice	nome corpo idrico significativo	media [h]	media [']	Q30	Q100	Q200(*)
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

(*) La portata Q200 rappresentata è maggiorata della quota di trasporto solido calcolata.



Tabella 2.1 - Portate di progetto.

I valori di portata Q200 (*) comprensivi del contributo dovuto al trasporto solido sono stati utilizzati per il dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica e la verifica della funzionalità del sistema corso d'acqua – opere di attraversamento.

3 Metodologie di analisi di calcolo adottate

Per i corsi d'acqua principali, caratterizzati da bacini di dimensioni maggiori e regimati da opere idrauliche di sistemazione, le analisi idrauliche sono state eseguite tramite l'ausilio di modellistica numerica, utilizzando il codice di calcolo MIKE 11 secondo schematizzazione idrodinamica monodimensionale in moto stazionario. Il moto stazionario è quello che meglio rappresenta il deflusso sulle aste principali in studio, in quanto su di esse il deflusso di piena avviene in regime torrentizio (generalmente caratterizzato da un moto in corrente veloce) per effetto di pendenze di fondo alveo elevate e ambiti di esondazione di estensione contenuta, in quanto il fondovalle è generalmente stretto, limitato da versanti adiacenti alle sponde dei corsi d'acqua. L'analisi modellistica ha consentito di rappresentare la propagazione della piena in termini di parametri idrodinamici e di aree di allagamento per tempo di ritorno assegnato.

Per i corsi d'acqua minori, caratterizzati da bacini idrografici di piccola dimensione e da un alveo spesso non definito (incisioni), si è adottata una schematizzazione di verifica idrodinamica in moto uniforme, utilizzando le formule classiche dell'idraulica, applicandole a livello puntuale (in corrispondenza dei manufatti di attraversamento autostradale esistenti di cui è previsto il prolungamento).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3.1 **Analisi idraulica per i corsi d'acqua principali**

3.1.1 **Esecuzione delle indagini topografiche di rilievo**



Le indagini topografiche hanno riguardato un tratto di corso d'acqua significativo ai fini del calcolo idraulico, di estensione e dettaglio sufficiente a rappresentare il deflusso di piena nell'intorno degli attraversamenti dei futuri collegamenti autostradali con il ponte sullo Stretto di Messina.

In particolare l'estensione del rilievo topografico eseguito per ciascuna asta fluviale è stata determinata in funzione:

- del grado di artificializzazione dell'asta, rappresentando geometricamente tutte le principali opere idrauliche di sistemazione esistenti ed i manufatti di attraversamento delle opere viarie interferenti; queste ultime se inadeguate idraulicamente possono condizionare in modo rilevante il deflusso di piena generando importanti innalzamenti dei livelli idrici a monte dell'attraversamento con conseguenti ampie aree di allagamento e conferendo carattere impulsivo alla corrente;
- del grado di antropizzazione delle aree di territorio limitrofe alle future opere autostradali in progetto al fine di una caratterizzazione del rischio idraulico in termini di aree esondabili.

Per ciascun corso d'acqua di interesse si è proceduto con la seguente metodologia:

- sopralluogo di dettaglio finalizzato a definire le caratteristiche idrauliche e funzionali dell'alveo e la presenza di opere di regimazione o di difesa;
- definizione del tratto di interesse per lo studio idraulico e individuazione del numero e posizione delle sezioni trasversali da rilevare;
- rilievo e costruzione della geometria di sezione con l'utilizzo del rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio, appositamente predisposto per la progettazione dell'opera, integrato, tutto dove ritenuto necessario, con misure e rilevamenti in campo;
- analoga procedura è stata applicata per la costruzione del profilo longitudinale del fondo alveo e delle sponde; in tal modo è stato possibile riprodurre adeguatamente la presenza di salti di fondo e, in genere, delle opere di controllo della stabilità dell'alveo;
- rilievo in campo delle opere di attraversamento presenti (sia in termini di quote di fondo, di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

intradosso e di piano viabile).

3.1.2 Costruzione del modello idrodinamico di simulazione

Il calcolo dei profili idraulici di piena è stato eseguito mediante l'applicazione del codice di calcolo MIKE 11 del DHI Water & Environment.

Il modello idrodinamico simula il deflusso in moto stazionario e non, secondo schematizzazione monodimensionale o quasi 2D, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali, descrivibile attraverso i diversi approcci dell'“onda cinematica”, dell'“onda diffusiva” e dell'“onda dinamica” e con la messa in conto principalmente delle seguenti condizioni:



- portate laterali,
- flusso libero o rigurgitato,
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi,
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate,
- aree d'espansione,
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico).

Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e H alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico H, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La soluzione del sistema di equazioni di De Saint Venant permette di rappresentare, in dettaglio, tutte le trasformazioni che l'onda di piena subisce nella traslazione da monte verso valle per effetto della laminazione naturale, dell'interferenza con le opere idrauliche, delle esondazioni al di fuori dell'alveo attivo, della confluenza di tributari laterali e del contributo distribuito dei bacini di versante.

Come già detto in precedenza per i corsi d'acqua principali in studio si è scelta la rappresentazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

idrodinamica in moto stazionario con condizioni al contorno invariante nel tempo, in ragione delle loro caratteristiche torrentizie che escludono la possibilità del verificarsi di fenomeni di laminazione dell'onda di piena.

Le sezioni trasversali di rilievo, le opere di sistemazione idraulica ed i manufatti di attraversamento presenti e previsti sul corso d'acqua sono stati introdotti all'interno del modello di simulazione in modo da poter rappresentare in modo esaustivo il deflusso lungo l'alveo di piena.

3.1.2.1 Schematizzazione modellistica delle strutture di attraversamento e delle opere idrauliche di controllo del fondo alveo

Tutti gli attraversamenti interferenti con le aste fluviali sono stati schematizzati nell'ambito del modello con una struttura tipo "culvert", di forma geometrica variabile secondo una relazione quota-larghezza che tiene conto della luce di deflusso netta compresa tra le spalle dell'attraversamento (escludendo quindi l'area trasversale occupata dall'eventuale presenza di pile).

Tale assunzione risulta valida, in quanto il comportamento della corrente è regolato principalmente dal restringimento della sezione in presenza del ponte o del tombino scatolare e dalle perdite di carico concentrate dovute allo stesso, più che da quelle distribuite lungo la struttura. Il piano viabile è stato rappresentato come una potenziale linea di sfioro inserita come struttura aggiuntiva (di tipo "weir") capace di rappresentare eventuali fenomeni di sormonto del ponte o del tombino stesso.



Per quanto attiene alle opere di controllo del trasporto solido (soglie, briglie), queste sono schematizzate da strutture di tipo "weir" capaci di simulare idrodinamicamente il deflusso attraverso una qualsivoglia tipologia di stramazzo.

In corrispondenza delle strutture la sezione di rilievo o di progetto che le rappresenta è stata duplicata per esigenze di modellizzazione.

3.1.3 Portate di riferimento e valutazione dei fenomeni di trasporto solido

Le simulazioni eseguite per lo stato attuale (ante operam) erano finalizzate alla:

- determinazione dei profili idraulici e dei parametri idrodinamici per le piene a tempo di ritorno

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2, 5, 10, 30, 100 e 200 anni;

- analisi dei fenomeni di trasporto solido associati al solo evento a tempo di ritorno 200 anni.

Per tenere conto dell'incremento dei livelli causato dal trasporto solido di fondo messo in movimento dal transito di una piena defluente lungo un'asta fluviale, si è incrementata la portata idrologica più gravosa (Tr200) assunta come riferimento, della quota parte di portata solida di fondo movimentabile, determinata tramite l'applicazione del modello di simulazione.

Per quanto attiene alle piene comprese tra tempi di ritorno da 2 a 100 anni, le simulazioni sono state eseguite invece con riferimento al valore al colmo del solo idrogramma idrologico.



Di seguito si descrive l'approccio modellistico utilizzato per la valutazione della portata solida.

Il calcolo del trasporto solido non coesivo, è stato eseguito con il modulo NST (Non-cohesive Sediment Transport) di MIKE 11, utilizzando un modello di calcolo di tipo esplicito.

Nel metodo di calcolo esplicito vengono utilizzati i risultati del modulo idrodinamico (Tr200 anni) in termini di portata, livelli idrici, area bagnata della sezione e raggio idraulico variabili nel tempo e nello spazio. In questo caso la connessione tra modulo HD e modulo NST è univoca; infatti i risultati del calcolo del trasporto solido non vengono utilizzati dal modello idrodinamico ma rappresentano la quantità di volume trasportato (portata solida senza vuoti), definita per ogni tratto iesimo del modello (compreso tra due sezioni trasversali). Tale valore di portata solida è stato ottenuto applicando la formulazione di Smart-Jaeggi particolarmente indicata per la stima del trasporto solido di fondo movimentato su corsi d'acqua caratterizzati da forte pendenza.

Per ogni tratto iesimo del modello, è stato possibile definire quindi il rapporto percentuale tra la portata solida e quella idrologica a tempo di ritorno 200 anni; si è successivamente determinato il valor medio di tali rapporti per l'intero tratto d'asta simulato (ad esclusione dei 2 tratti estremi di monte e di valle del modello, poiché influenzati dall'assunzione delle condizioni al contorno). Infine si è incrementata la portata idrologica del valor medio sopra definito.

Per quanto riguarda la situazione di progetto si è fatto riferimento alla sola portata Q Tr200 incrementata della componente dovuta al trasporto solido (cfr. valori di Tabella 2.1), in quanto tale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dato risulta essere quello di riferimento per il dimensionamento delle opere.

3.1.4 Condizioni al contorno introdotte nel modello

Le condizioni al contorno assunte per l'esecuzione delle simulazioni idrodinamiche sono le seguenti:

- condizione di monte: portata costante (in quanto la schematizzazione scelta è quella di moto permanente);
- condizione di valle: scala di deflusso in moto uniforme;
- condizione morfologica: diametro caratteristico d_{50}^1 nel tratto simulato.

Va specificato che, date le caratteristiche torrentizie dei corsi d'acqua simulati, il moto avviene sempre in corrente veloce (influenzata da azioni idrodinamiche di monte) e quindi la validità della condizione al contorno assunta a valle è garantita. Nella sezione di valle, tuttavia, si è sempre eseguita un'analisi di sensitività rispetto al livello idrico, imponendo l'altezza critica di moto uniforme; tale imposizione, per tutti i casi considerati, non influenza il profilo idraulico di monte.



3.1.5 Resistenze distribuite (scabrezza)

I valori di scabrezza assunti nella simulazione idraulica tengono conto della combinazione di diversi fattori che intervengono nella caratterizzazione delle perdite distribuite a cui è soggetta la corrente durante un evento di piena. I principali fattori che influenzano la stima della scabrezza possono ricondursi a:

- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo;
- tipologia di sistemazione d'alveo prevista;
- caratteristiche morfologiche e geometriche quali il grado di sinuosità del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- uso del suolo e vegetazione presenti nelle zone spondali e nelle aree di fondovalle.

Per la valutazione del coefficiente di scabrezza da assumere si è fatto riferimento alla formula messa a punto da Cowen:

¹ d_{50} è il diametro caratteristico corrispondente al passante al 50% in peso del sedimento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

dove:

- n_0 tiene conto del materiale costituente l'alveo attivo,
- n_1 tiene conto del grado di irregolarità della superficie della sezione d'alveo,
- n_2 tiene conto della forma e della dimensione della sezione d'alveo,
- n_3 tiene conto di eventuali bruschi restringimenti della sezione d'alveo,
- n_4 tiene conto del tipo di copertura vegetale della sezione d'alveo,
- m_5 tiene conto del grado di sinuosità del corso d'acqua.

I sopralluoghi eseguiti in situ hanno permesso di caratterizzare i corsi d'acqua principali in termini morfologici e di copertura vegetale presente, successivamente si sono determinati i valori di scabrezza che li caratterizzano facendo riferimento alle tabelle denominate 5-5 e 5-6 riportate in "Open-Channel Hydraulics" - V.T. Chow, 1959. Queste tabelle fissano i valori di scabrezza da assumere per corsi d'acqua naturali ed artificiali derivanti dall'applicazione dell'equazione di Cowen, distinguendoli anche per le caratteristiche manutentive a cui sono sottoposti e la loro stabilità morfologica.



3.1.6 Rappresentazione dei risultati

I risultati delle simulazioni eseguite sono rappresentati sui seguenti elaborati:

1. nella presente relazione metodologica per quanto riguarda tutti i dati tabellari;
2. sui profili di rigurgito in scala 1:500/1:500;
3. sulle sezioni trasversali post operam in scala 1.200;
4. sulla planimetria in termini di aree di esondazione post operam in scala 1:500.

Sui profili di rigurgito si sono riportati, oltre alle informazioni di base che caratterizzano il corso d'acqua (profilo di fondo e delle sponde, presenza di manufatti di attraversamento e/o di stabilizzazione, profilo di fondo sistemato, confluenze e immissioni), i profili di piena Tr 200 anni, la linea dei carichi totali per Tr 200 anni ed i relativi valori di portata.

Sulla tavola di sezioni trasversali si sono riportate le indicazioni numeriche e grafiche, dei livelli di piena per Tr 200 anni e la relativa linea dei carichi totali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Infine sulla planimetria delle aree esondabili si sono riportati, oltre all'ubicazione dell'asse del profilo e della traccia delle sezioni, le seguenti informazioni:

- limiti di esondazione;
- linea inviluppo delle proiezioni dei carichi totali per Tr 200 anni;
- l'asse dell'alveo sistemato;
- l'indicazione sulle sezioni della progressiva di origine.

3.2 Analisi idraulica per i corsi d'acqua minori (secondari)

La verifica idraulica eseguita sui corsi d'acqua minori, definiti secondari, è avvenuta tramite un calcolo idrodinamico locale per effetto della piccola dimensione dei loro bacini di alimentazione e delle caratteristiche morfologiche delle strutture di alveo, poco definite in termini geometrici e spesso riconducibili a semplici incisioni.

Il calcolo è avvenuto utilizzando come schematizzazione di base quella di moto uniforme, applicando la formulazione proposta da Chezy nel seguito riportata:

$$Q = \chi * \Omega * (R * i_f)^{0.5} \quad \text{con } \chi = C * R^{(1/6)}$$



dove:

- C coefficiente di resistenza distribuita secondo Gauckler – Strickler [$m^{1/3}s^{-1}$],
- Ω area bagnata della sezione idraulica [m^2],
- R raggio idraulico [m],
- i_f pendenza del fondo [m/m].

Sulla base dei dati geometrici dell'attraversamento (sezione trasversale e pendenza di fondo) e delle caratteristiche geometriche dell'alveo a monte e a valle di esso, sono state eseguite le verifiche idrauliche relative allo stato attuale e a quello di progetto, in riferimento alla massima portata idrologica per tempo di ritorno assegnato (Tr 200 anni).

Il metodo di verifica adottato è il seguente:

- si è innanzitutto determinato il tipo di moto a cui è soggetta la corrente di piena a Tr 200 anni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

nel tratto a cavallo dell'opera di attraversamento; le caratteristiche altimetriche dei corsi d'acqua in oggetto caratterizzano il deflusso secondo un moto in corrente veloce;

- si sono quindi determinati, tramite l'applicazione dell'equazione di Chezy, le grandezze idrodinamiche relative allo stato di moto critico per la portata a tempo di ritorno 200 anni; in particolare si è determinato indirettamente il valore del carico totale imponendo che la portata Tr 200 anni transiti nella sezione di imbocco dell'opera generando l'altezza critica che corrisponde all'espressione di seguito esposta.

$$H - \Delta h = h_c + \frac{A_c}{2 \cdot b_c}$$

in cui:

- H è il carico totale a monte dell'imbocco dell'opera,
- Δh rappresenta la perdita di carico in corrispondenza dell'imbocco, assunta pari a 0.3 volte il carico cinetico critico,
- h_c è l'altezza critica,
- A_c l'area di deflusso corrispondente allo stato critico,
- b_c la larghezza del pelo libero corrispondente allo stato critico.



Sulla base di questa metodologia l'opera è stata dimensionata verificando che la portata Tr 200 anni transitante al suo interno determini:

- un livello idrico (corrispondente al valore dell'altezza critica) tale da conferire un riempimento non superiore al 70 % dell'altezza dell'opera,
- un rapporto tra il carico totale al lordo delle perdite concentrate e la dimensione verticale dell'opera non superiore a 1.5 ($H/D \leq 1.5$).

Data l'estensione delle opere oggetto di verifica la scabrezza assunta è risultata pari a $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

I corsi d'acqua minori e le relative opere di attraversamento oggetto delle verifiche idrauliche sopracitate sono i seguenti:

- tombino pk 1+391 (fosso lato Tirreno).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4 Interventi di sistemazione idraulica in progetto

4.1 Inalveazioni tipo

4.1.1 Sezione trapezia

L'inalveazione tipo a sezione trapezia risulta rivestita con materassi metallici tipo Reno di spessore 0,30 m o con gabbioni metallici di spessore 0,50 m, con pendenza delle sponde pari a 3/2.

La sezione è prevista con larghezza di fondo ed altezza variabili al fine di riprodurre quanto più possibile l'incisione naturale che va a rivestire.

All'interfaccia tra materassi o gabbioni metallici e terreno naturale di appoggio, è previsto l'inserimento di un geotessile con funzione di filtro al fine di evitare l'asportazione dal fondo dell'alveo del materiale più fine.

Questo tipo di inalveazione si accompagna sempre a delle opere di ammorsamento che sono costituite da salti di fondo o da briglie.

4.1.2 Sezione rettangolare

L'inalveazione tipo a sezione rettangolare prevede un rivestimento di fondo in materassi metallici tipo Reno di spessore 0,30 m o gabbioni metallici di spessore 0,50 m e sponde in gabbioni metallici.

La sezione è prevista con larghezza di fondo ed altezza variabili in funzione delle dimensioni dell'incisione naturale.

All'interfaccia tra materassi o gabbioni metallici e terreno naturale di appoggio, è previsto l'inserimento di un geotessile con funzione di filtro al fine di evitare l'asportazione dal fondo dell'alveo del materiale più fine.

Questo tipo di intervento viene realizzato prevalentemente laddove le pendenze naturali del corso

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

d'acqua siano abbastanza elevate e viene sempre accoppiato ad ammorsamenti realizzati con briglie o salti di fondo.

4.2 Salti di fondo

Il salto di fondo è un'opera che ha lo scopo essenziale di ammorsare ed irrigidire un'infilveazione al fondo dell'alveo naturale e ridurre la pendenza del corso d'acqua in modo da contenerne le velocità di corrente a valori compatibili con la resistenza dei materiali di rivestimento utilizzati.



Come si può apprezzare dagli elaborati grafici, quest'opera è realizzata con gabbioni metallici e materassi tipo Reno ed è caratterizzata da due piani diversi d'intervento a monte ed a valle. A monte si prevede un rivestimento più massiccio, mentre a valle, dopo un primo tratto di 5 m rinforzato e realizzato in gabbioni con spessore 0,50 m, la sezione idrica prosegue con il rivestimento tipo sopra descritto.

4.3 Verifiche del rivestimento dell'alveo

In generale si definisce stabile un rivestimento in pietrame, costituito da materassi metallici di tipo "Reno" e/o gabbioni di contenimento, quando non si ha spostamento degli elementi litoidi all'interno della rete metallica di contenimento, la velocità media risulta inferiore alla velocità massima ammissibile per il materiale utilizzato, le eventuali deformazioni non sono tali da pregiudicare l'efficacia del rivestimento e quando la velocità dell'acqua tra lo strato di pietrame ed il suolo è sufficientemente piccola da evitare l'erosione del materiale di base.

Qui di seguito verranno dunque effettuate le seguenti verifiche:

- verifica in termini di tensione di trascinamento del fondo e delle sponde;
- verifica in termini di velocità;
- valutazione delle deformazioni;
- verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici tipo "Reno" e gabbioni metallici e il terreno sottostante.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.3.1 Verifica in termini di tensione di trascinamento

In generale si definisce stabile un rivestimento in pietrame, costituito da materassi metallici di tipo "Reno" e/o gabbioni di contenimento, quando non si ha spostamento degli elementi litoidi all'interno della rete metallica di contenimento.

La condizione di inizio del movimento di questi elementi si assume quindi come limite di stabilità del rivestimento. La tensione tangenziale che viene esercitata sui rivestimento può assumersi:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot y \cdot i$$

dove:

γ_w = è il peso specifico dell'acqua;

y = è la profondità d'acqua;

i = è la pendenza del fondo.

Considerato un ciottolo di diametro equivalente uguale al diametro medio d_m del pietrame di fondo (cioè il diametro del vaglio che consente il passaggio del 50% in peso del materiale litoide che costituisce il rivestimento) si definisce coefficiente di Shields la grandezza adimensionale:

$$C^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m}$$



dove :

τ_c = è la tensione tangenziale di trascinamento nella situazione critica di inizio movimento;

γ_s = è il peso specifico dell'inerte;

Il denominatore risulta proporzionale alla tensione normale sul fondo dovuta al peso immerso del ciottolo; il coefficiente di Shields è dunque analogo ad un coefficiente di attrito. La tensione tangenziale al fondo, che può essere raggiunta senza movimento del pietrame (tensione tangenziale critica), vale dunque:

$$\tau_c = C^* \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il rivestimento risulta stabile se è verificata la disequaglianza che si ottiene confrontando le precedenti equazioni:

$$\tau_b \leq \tau_c$$

Con controllo delle deformazioni generalmente si ammette:

$$\tau_b \leq 1.2 \tau_c$$

Il coefficiente C^* per il pietrame contenuto da rete metallica (materassi Reno e gabbioni) si è assunto:

$$C^* = 0.14$$

Le espressioni di τ_b e τ_c fanno riferimento alle condizioni al fondo del canale. Per la verifica della stabilità delle sponde si è fatto riferimento ad un valore della tensione tangenziale pari a:

$$\tau_m = 0,75 \cdot \gamma_w \cdot y \cdot i$$

e come tensione tangenziale critica:



$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi}} \quad \text{dove: } K_s = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi}} \quad \text{rappresenta un fattore di riduzione con:}$$

θ = angolo di inclinazione della sponda sull'orizzontale.

φ = angolo di attrito del pietrame che costituisce il rivestimento, vale 41° sulla base delle esperienze riportate in bibliografia.

Per evitare che il termine sotto radice diventi negativo, occorre che il materiale che costituisce la sponda abbia un angolo di attrito interno superiore all'inclinazione della sponda.

Nel caso in cui l'inclinazione della sponda sia maggiore di 45° il fattore di riduzione verrà considerato costante e pari a $K_s = 0.60$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il rivestimento delle sponde è stabile quando:

$$\tau_m \leq \tau_s$$

Con controllo delle deformazioni si ammette:

$$\tau_m \leq 1,2 \cdot \tau_s$$

Nei tratti in curva l'aumento della tensione tangenziale sulla sponda esterna, è stato valutato con l'introduzione di un coefficiente correttivo K per cui si deve assumere:

$$\tau_m = K \cdot \gamma_w \cdot y \cdot i$$

con K funzione del rapporto fra la larghezza del pelo libero dell'acqua e raggio di curvatura.



4.3.2 Verifica in termini di velocità

La verifica è stata effettuata confrontando la velocità media in una sezione con la massima ammissibile per il materiale utilizzato nel rivestimento del fondo e delle sponde, ovvero con la velocità critica e la velocità limite caratteristiche dei materassi metallici o dei gabbioni.

Per velocità critica si intende quella massima sopportabile dal rivestimento senza avere movimenti del pietrame all'interno del materasso e per velocità limite si intende quella, ancora accettabile, che determina deformazioni contenute per insaccamento del pietrame nel materasso Reno o nel gabbione.

4.3.3 Valutazione delle deformazioni

Quando la tensione tangenziale supera il valore critico di "primo movimento" parte del pietrame si sposta, all'interno di ciascuna tasca del materasso Reno, verso valle.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

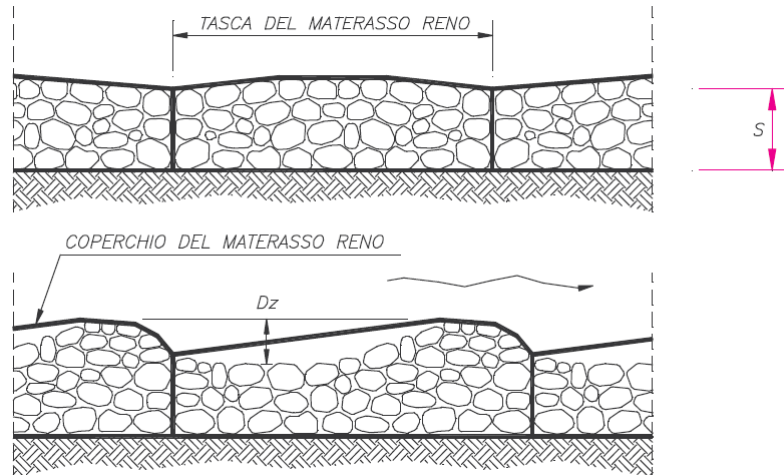


Figura 4.1 – Schema del movimento del pietrame all’interno delle tasche.



Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento (se si scopre il fondo sottostante) oppure il raggiungimento di una nuova situazione di equilibrio, nella quale la resistenza della rete metallica esplica maggiormente la sua funzione di contenimento.

Il grado di protezione offerto dal materasso Reno o dal gabbione metallico al fondo sottostante resta invariato anche a deformazione avvenuta (beninteso se non si scopre il sottostante fondo) in quanto la velocità dell’acqua sotto il rivestimento non cambia sensibilmente.

Per stimare il grado di deformazione si è utilizzato il parametro Dz/d_m , dove Dz è la distanza verticale tra il punto più basso e quello più alto della superficie assunta dal pietrame. Si definisce "coefficiente efficace di Shields" la grandezza:

$$C^{*i} = \frac{\tau_b - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m}$$

Dz/d_m e C^{*i} sono legati da una relazione espressione di una curva sperimentale presente in bibliografia (Manuali Maccaferri) riportata in Figura 4.2.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

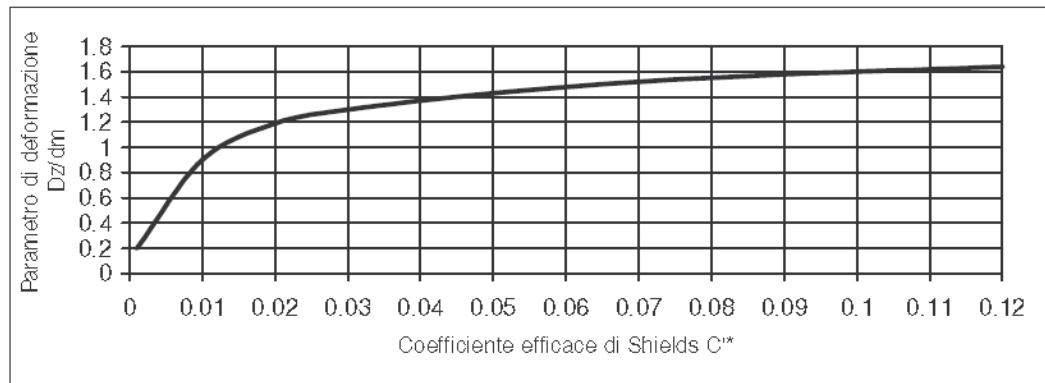


Figura 4.2 – Relazione tra il parametro di deformazione ed il coefficiente efficace di Shields.

La riduzione dello spessore del materasso Reno nella parte a monte della tasca è $Dz/2$; dunque per evitare che il sottofondo resti senza protezione e risulti esposto direttamente all'azione della corrente deve essere:

$$\frac{Dz}{d_m} \leq 2 \cdot \left(\frac{s}{d_m} - 1 \right)$$

dove s è lo spessore del materasso.



Lo stesso procedimento per verificare l'ammissibilità delle deformazioni viene applicato anche ai materassi Reno delle sponde.

4.3.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi Reno e gabbioni ed il terreno sottostante

Nei rivestimenti in materiali Reno e gabbioni metallici, lo spessore del rivestimento e le dimensioni del pietrame devono essere tali da resistere al movimento causato dalla corrente e tali da evitare l'erosione del materiale di base.

La velocità dell'acqua tra lo strato di pietrame ed il suolo deve essere dunque sufficientemente piccola da evitare il movimento delle particelle che costituiscono il terreno.

Poiché la velocità dell'acqua al di sotto del rivestimento dipende principalmente dalla pendenza del canale e dalla grandezza dei vuoti tra il pietrame, cioè dalle dimensioni del pietrame medesimo,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

nell'ipotesi che la direzione predominante del flusso sia parallela alla superficie del materasso Reno questa velocità rimane praticamente costante al variare delle condizioni idrauliche e dello spessore del materasso Reno e può essere calcolata con la formula di Manning (valida per materiali posati sul fondo):

$$v_b = \frac{1}{n_f} \left(\frac{d_m}{2} \right)^{2/3} \sqrt{i_f}$$

dove:

v_b = velocità all'interfaccia materasso Reno - sottofondo

n_f = coefficiente di scabrezza del fondo; si può assumere :

$n_f = 0.020$ se sotto il rivestimento è presente un filtro in geotessile o se non c'è filtro alcuno,

$n_f = 0.025$ se sotto il rivestimento è presente un filtro in ghiaia.

La velocità v_b dovrà essere confrontata con la velocità v_e ammissibile all'interfaccia col materiale di base.

La velocità v_e che il suolo può sopportare senza venire eroso si può desumere da grafici presenti in bibliografia (manuali Maccaferri).

Nel caso di impiego di un filtro geotessile, la velocità dell'acqua passando da sopra a sotto il geotessile, all'interfaccia col suolo, si riduce e vale 1/2-1/4 del valore di v_b dato dall'equazione sopraccitata anche nel caso di filtro intasato.

Nei calcoli si fa riferimento ad un geotessile medio e si assume che il valore della velocità v_b sotto il geotessile sia ridotto ad 1/3 del valore calcolato.

4.4 Interventi di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua principali

Il presente capitolo descrive sinteticamente gli interventi di sistemazione idraulica previsti sui corsi d'acqua che interferiscono con le opere stradali e ferroviarie in progetto.

I principi generali considerati nella progettazione sono i seguenti:

- dove possibile, prosecuzione delle sistemazioni idrauliche esistenti, mantenendo inalterati

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

forma della sezione, tipologia dell'inalveazione, materiali impiegati e pendenza del fondo scorrevole; cambi di forma di sezione o di pendenza sono giustificati dalla conformazione del territorio e dalle conseguenti esigenze realizzative;

- profilo della sistemazione studiato in modo tale da limitare al massimo l'entità degli scavi e dei riporti di terra e da agevolare per quanto possibile le fasi costruttive;
- lunghezza della sistemazione ampliata fino a circa 5-10 m oltre lo scarico dei fossi di guardia e delle vasche di trattamento delle acque di piattaforma, al fine di proteggere il corso d'acqua da potenziali fenomeni di erosione.

4.4.1 Fiumara Curcuraci

Il progetto Ponte prevede la sistemazione dell'alveo per il tratto di corso d'acqua interessato dall'interferenza con la rotonda dello svincolo autostradale Curcuraci determinata dalle rampe 1, 2 e 5 e con lo sviluppo a valle della rampa 5. L'inalveazione inizia in corrispondenza dell'attuale attraversamento a raso in prossimità di alcuni edifici industriali e termina a valle dove si conclude il rilevato della rampa 5.



In particolare, la sistemazione in progetto prevede la realizzazione di un primo tratto di raccordo alla sezione attuale, che inizia alla base della briglia di monte e consiste nel ripristino dei muri spondali e nel rivestimento del fondo alveo con gabbioni metallici per uno spessore di 0,50 m, una lunghezza di 14,27 m ed una pendenza del 6%.

Segue quindi il tombamento della fiumara mediante un manufatto scatolare in c.a. con dimensioni interne di 12,80 m di larghezza e 3,00 m di altezza (4,10 m a valle dei salti), il cui fondo è caratterizzato da una pendenza costante del 3% e dalla presenza di 13 salti di fondo di altezza 1,10 m. Il tombino scatolare presenta uno sviluppo in asse di 217,00 m.

Allo sbocco dello scatolare è infine previsto un tratto di rivestimento di fondo in gabbioni metallici di spessore 0,50 m, lunghezza 6,12 m e pendenza 5%.

Complessivamente, l'inalveazione prevista presenta una lunghezza di 237,39 m.

In corrispondenza dell'inizio e della fine della sistemazione si prevede la posa di un gabbione metallico di ammorsamento al fondo alveo naturale di dimensioni 1,00 m. Tra i gabbioni metallici e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

il terreno sarà inserito un tessuto geotessile con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale.

4.4.2 Fiumara Guardia

Il progetto Ponte prevede la sistemazione dell'alveo per il tratto di corso d'acqua interessato dall'interferenza con le gallerie naturali dei due assi autostradali principali, direzione Messina e Reggio Calabria.

Circa 70 m a monte dell'asse della galleria autostradale direzione RC si prevede la realizzazione di una briglia selettiva a pettine in c.a. di spessore 1,50 m per l'intercettazione del materiale solido trasportato nel tratto di monte a minor pendenza.

Tale briglia presenta una gaveta a sezione trapezia con larghezza al fondo di 8,00 m, larghezza in sommità di 11,00 m e altezza di 3,00 m. All'interno della sezione sono presenti 6 tubi in acciaio con all'interno dei profilati IPE resi solidali mediante getto in cls, di diametro 0,41 m e di altezza 2,50 m, interasse 1,50 m e distanza dalla sommità delle sponde di 1,75 m. Il corpo della briglia presenta una larghezza complessiva di 42,50 m.

La briglia in c.a. sarà fondata su micropali di diametro 0,20 m eseguiti ad interasse di 1,50 m mediante perforazione a percussione o a rotopercussione alternativamente in verticale e inclinati a 45° e iniezione a bassa pressione di malta cementizia.

A valle della briglia è presente un tratto di 10 m circa di raccordo alla sezione canalizzata di valle. Tale sezione (sezione tipo A) presenta forma trapezia di larghezza sul fondo di 3,00 m, larghezza in sommità di 7,50 m, altezza 1,50 m e pendenza delle sponde 3/2. Il rivestimento di fondo è previsto in massi di cava sciolti, con uno spessore sul fondo di 1,00 m. Lateralmente sono previste delle sponde in gabbioni metallici di altezza complessiva 4,00 m, compresa la parte fondazionale, e altezza sul fondo della sezione di 2,75 m circa.

Tra i gabbioni e il terreno sarà inserito un tessuto geotessile con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale.

Il tratto di sistemazione idraulica interessato dalla sezione tipo sopra descritta presenta una

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

lunghezza complessiva di 114,10 m circa, con pendenza del 6%.

A valle, la sistemazione idraulica presenta un tratto di lunghezza 42,50 m e pendenza del 36%, caratterizzato da una sezione d'alveo denominata di "tipo B". La sezione tipo B presenta le medesime caratteristiche dimensionali della sezione tipo A, si differenzia esclusivamente per il materiale di rivestimento del fondo e la relativa disposizione dei massi. Considerata l'elevata pendenza di questo tratto e la necessità di rallentare la corrente al fine di assicurare a valle una velocità non superiore a quella del tratto di monte, si prevede un rivestimento di fondo con massi di cava cementati per la sola parte fondazionale (spessore 0,60 m) e la disposizione di massi sporgenti di 20 cm rispetto al fondo sistemato per la realizzazione di soglie di fondo con passo di 2,00 m.

Con questa particolare disposizione dei massi si verrà a realizzare una macrocabrezza che svolge una parziale dissipazione della corrente rallentandone la velocità.



Il tratto terminale della sistemazione posto a valle, presenta infine una lunghezza di 41,30 m e una pendenza del 12,5% circa. In questo tratto, la sezione d'alveo differisce nuovamente dalle precedenti nel rivestimento di fondo (sezione tipo C). Si prevede di impiegare qui un rivestimento di fondo in massi di cava sciolti, come per la sezione tipo A, ma con l'aggiunta di massi per la realizzazione di soglie di fondo con passo di 2,00 m, già utilizzati nel tratto precedente per ridurre la velocità di corrente e renderla compatibile con quella dell'alveo naturale di valle.

Complessivamente, la lunghezza dell'intero intervento risulta di quasi 209,50 m.

4.4.3 Fiumara Pace

Il progetto autostradale prevede di oltrepassare la fiumara Pace con un viadotto di circa 60,00 m di lunghezza.

La realizzazione delle opere di raccordo autostradale in progetto non comporta interferenze con il corso d'acqua per cui non sono previsti specifici interventi di sistemazione idraulica; si ritengono adeguate le opere esistenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.4.4 Fiumara Annunziata

Il progetto Ponte prevede la sistemazione dell'alveo per il tratto di corso d'acqua interessato dall'interferenza con il viadotto della rampa 1 e dei viadotti delle due carreggiate autostradali, direzione Messina e Reggio Calabria. L'inalveazione inizia poco a valle di una strada di accesso ad alcune proprietà adiacenti e termina a valle dello scarico della vasca di trattamento delle acque di piattaforma.

La pista sterrata, attualmente coincidente con l'alveo della fiumara, verrà spostata a lato della sistemazione, garantendone la continuità, il collegamento con gli accessi laterali e la possibilità di accedere all'inalveazione per le operazioni di manutenzione.

In particolare, la sistemazione idraulica in progetto è costituita da 1 briglia di altezza 1,00 m e da due tratti di rivestimento di fondo, a monte di 45,00 m e a valle di 150,00 m; complessivamente, la lunghezza in asse dell'intervento è pari a 195,00 m.



L'inalveazione prevista presenta sezione rettangolare di 5,00 m di larghezza e 3,00 m di altezza, con pendenza di fondo costante del 7%.

La briglia sarà realizzata in gabbioni metallici, così come le sponde e il rivestimento di fondo, per il quale è previsto uno spessore di 50 cm, in conseguenza all'elevata pendenza della sistemazione. Tra i gabbioni e il terreno sarà inserito un tessuto geotessile con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale.

In corrispondenza dell'inizio e della fine della sistemazione si prevede la posa di un gabbione metallico di ammorsamento al fondo alveo naturale di dimensioni 1,00 m. Tra i gabbioni metallici e il terreno sarà inserito un tessuto geotessile con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale.

4.5 Deviazioni provvisorie dei corsi d'acqua

Il presente capitolo descrive sinteticamente gli interventi di sistemazione idraulica previsti nella fase provvisoria di realizzazione delle opere stradali e ferroviarie che interferiscono con i corsi d'acqua.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le opere che determinano l'esigenza di prevedere delle deviazioni provvisorie dell'idrografia superficiale sono le seguenti:

- galleria artificiale ferroviaria in corrispondenza della confluenza tra la fiumare Curcuraci e Guardia;
- galleria artificiale autostradale in corrispondenza della fiumara Guardia.

Si rimanda agli elaborati grafici specifici per la rappresentazione dettagliata delle fasi realizzative.

4.5.1 Confluenza fiumare Curcuraci e Guardia

Le fasi esecutive previste per la deviazione delle Fiumare Curcuraci e Guardia nella zona della confluenza risultano le seguenti:

FASE 1 – propedeutica alla realizzazione del primo tratto di galleria artificiale, lato Reggio Calabria:

- Deviazione della strada comunale in destra alla Fiumara Curcuraci.
- Realizzazione di setti in gabbioni metallici per l'alloggiamento degli imbocchi delle tubazioni ARMCO: le difese in gabbioni metallici saranno realizzate di altezza 3,0 m, con fondazione di 1,0 m e rivestimento di geotessile di peso non inferiore ai 400 g/m² con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale; il rilevato a tergo della difesa sarà impostato con pendenza delle sponde di 1/1.
 - Sulla Fiumara Curcuraci si prevede una difesa di lunghezza 9,0 m in destra e di 11,0 m in sinistra;
 - sulla Fiumara Guardia si prevede invece una difesa di lunghezza 13,0 m in destra e di 11,0 m in sinistra.
- Scavo, demolizione dei tratti di muri di sponda esistenti che interferiscono con il tracciato delle condotte provvisorie, posa e ritombamento dei tubi ARMCO di dimensioni L x h di 3,5 x 2,17 m per la deviazione delle Fiumare:
 - sul Curcuraci si prevede la posa di due tubazioni ARMCO affiancate di lunghezza media 118,0 m in destra e 112,0 m in sinistra, quota di fondo scorrevole all'imbocco di 53,70 m s.l.m. e di sbocco 41,00 m s.l.m.;
 - sul Guardia si prevede la posa di una condotta ARMCO singola di lunghezza media 148,0 m, quota di fondo scorrevole all'imbocco 56,60 m s.l.m., quota in affiancamento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

alle condotte del Curcuraci 51,50 m s.l.m. e quota allo sbocco di 43,50 m s.l.m..

FASE 2 – realizzazione del primo tratto di galleria artificiale, lato Reggio Calabria:

- Esecuzione dei diaframmi laterali e di testata e scavo della galleria ferroviaria artificiale.
- Realizzazione della galleria artificiale.
- Ripristino dell'alveo attuale.

FASE 3 - propedeutica alla realizzazione del secondo tratto di galleria artificiale, lato Messina:

- Demolizione dei setti e rimozione delle tubazioni ARMCO;
- Ricostruzione dei muri di sponda:
 - sul Curcuraci, a monte della confluenza, in sinistra, per un tratto di 9,0 m e a valle; in destra, per una lunghezza di 31,0 m;
 - sul Guardia, ricostruzione del muro di sponda esistente in sinistra, alla confluenza, per una lunghezza di 42,0 m.
- Nuova deviazione della strada comunale in destra alla Fiumara Curcuraci.
- Realizzazione di una difesa provvisoria in gabbioni metallici in sponda destra al Curcuraci e a protezione della strada comunale deviata, di altezza 3,0 m e lunghezza di 103,0 m, con filtro in geotessile di peso non inferiore ai 400 g/m². Ne risulta una sezione d'alveo utile al deflusso di larghezza minima pari a 8,50 m.

FASE 4 - realizzazione del secondo tratto di galleria artificiale, lato Messina:

- Esecuzione dei diaframmi e scavo della galleria ferroviaria artificiale.
- Realizzazione della galleria artificiale.

FASE 5 – ripristino dell'alveo:

- Ripristino della strada comunale nella sua configurazione iniziale.
- Ripristino della sezione d'alveo e delle relative opere di sistemazione idraulica finale:
 - sul Curcuraci, in destra, ricostruzione del muro di sponda esistente dal punto di innesto delle condotte provvisorie, al tratto di muro già ricostruito in fase 3, per una lunghezza di 93,0 m;
 - su entrambe le Fiumare, realizzazione di un rivestimento di fondo nell'area della confluenza in massi di cava di pezzatura media 0,60 m³, per una superficie complessiva di 3100 m² circa, contenuti da un geotessile di peso non inferiore ai 400

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

g/m², posato a contatto con il terreno naturale. Tale rivestimento termina a valle in corrispondenza della sezione GUA-08, a monte della briglia (quota 43,20 m s.l.m.) e a monte si intesta a valle della sezione CUR-10 a quota 53,70 m s.l.m. e, sul Guardia, a valle della sezione GUA-07 a quota 56,60 m s.l.m.. Nel tratto terminale, si prevede la realizzazione di 3 briglie in c.a. di altezza 1,20 m che permettono di garantire il necessario ricoprimento al di sopra della galleria artificiale e, al contempo, di mantenere la pendenza di fondo su valori compatibili con quelli presenti nello stato attuale.

4.5.2 Fiumara Guardia

Le fasi esecutive previste per la deviazione della Fiumara Guardia nella zona interessata dalla realizzazione delle gallerie artificiali dell'autostrada mediante condotta ARMCO risultano le seguenti:

- Realizzazione di setti in gabbioni metallici per l'alloggiamento dell'imbocco della tubazione ARMCO: le difese in gabbioni metallici saranno realizzate di altezza 3,0 m, con fondazione di 1,0 m e rivestimento di geotessile di peso non inferiore ai 400 g/m² con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale; il rilevato a tergo della difesa sarà impostato con pendenza delle sponde di 1/1; sulla Fiumara Guardia si prevede una difesa di lunghezza 6,0 m in destra e di 6,0 m in sinistra.
- Realizzazione di un tratto di 30 m circa di sistemazione idraulica del corso d'acqua, come previsto nel progetto di inalveazione della Fiumara stessa (cfr. paragrafo 4.4.2), per proteggere l'alveo nella sezione di sbocco della tubazione ARMCO.
- Scavo, posa e ritombamento del tubo ARMCO di dimensioni L x h di 3,05 x 2,04 m per la deviazione della Fiumara di lunghezza media di 245,50 m, quota di fondo scorrevole all'imbocco di 128,00 m s.l.m. e allo sbocco 98,87 m s.l.m.; nel tratto terminale a pendenza maggiore si prevede di ancorare la condotta al terreno mediante "portali" costituiti da travi HEB 200 mm annegate nel calcestruzzo magro collegate da funi in acciaio di diametro minimo 20 mm. Le travi, di lunghezza 4,0 m saranno infisse nel calcestruzzo per 3,50 m; tale lunghezza potrà tuttavia essere ridotta a 2,0 m in caso di presenza di roccia compatta. L'interasse degli ancoraggi sarà di 5 m nel tratto tra le sezioni G12 e G14 (pendenza 29%) e di 8 m dalla sezione G14 al termine della tubazione (pendenza 22%).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5 Tombini idraulici in progetto

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

I principi generali considerati nella progettazione sono i seguenti:

- profilo della sistemazione studiato in modo tale da adattarsi alla morfologia del terreno e da limitare al massimo l'entità degli scavi e dei riporti di terra e da agevolare per quanto possibile le fasi costruttive;
- lunghezza della sistemazione ampliata fino a circa 5 m oltre lo scarico, al fine di proteggere il corso d'acqua o il terreno circostante da potenziali fenomeni di erosione.

5.1 Tombino pk 1+391

Il fosso in esame verrà attraversato da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 94,85 m avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 2,0 x 2,0 m;
- pendenza di fondo 4,0%;
- l'opera è divisa in 3 tratte da 3 pozzetti di salto, rispettivamente di: 5,97 m (66,84 m s.l.m. - 60,87 m s.l.m.), 5,64 m (59,85 m s.l.m. - 54,21 m s.l.m.) e 5,53 m (52,36 m s.l.m. - 46,83 m s.l.m.).

A monte e valle sono previsti 2 brevi tratti di sistemazione in materassi metallici tipo "Reno" e in gabbioni metallici con lo scopo di raccordare l'opera all'incisione naturale e, data l'elevata pendenza dell'asta idrica, di proteggere la sezione attuale da erosioni o scalzamenti localizzati.

Nel dettaglio si prevedono i seguenti interventi:

Tratto a monte dell'autostrada:

- realizzazione di sezione rettangolare di larghezza 2,00 m costituita da gabbioni di sponda alti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1,00 m poggianti su un rivestimento di fondo in materassi metallici tipo “Reno” di spessore 30 cm;

- lunghezza dell’intervento 20,00 m;
- quota di inizio sistemazione 72,60 m s.l.m.; quota di immissione nel pozzetto di imbocco del tombino scatolare 66,84 m s.l.m.;
- nelle sezioni iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 2,00 m, la sostituzione del rivestimento di fondo in materassi metallici con gabbioni metallici di spessore 0,50 m per garantire un migliore immorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l’intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo di geotessile di peso non inferiore di 400 g/m².

Tratto a valle dell’autostrada:

- realizzazione di sezione rettangolare di larghezza 2,00 m costituita da gabbioni metallici di sponda e di rivestimento del fondo;
- lunghezza dell’intervento 25,00 m;
- sono previsti 5 salti di fondo di cui 4 di altezza pari a 2,00 m ed uno (il primo) di entità lievemente inferiore;
- la pendenza di progetto è definita pari al 4%;
- lungo l’intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m².

6 Idraulica di versante

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

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

- l’analisi pluviometrica atta a definire le curve di possibilità climatica per tempo di ritorno assegnato, così come descritto nel paragrafo 1;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- individuazione dei bacini scolanti sottesi ai fossi di guardia e determinazione delle loro caratteristiche fisiografiche;
- determinazione del tempo di corrivazione dei bacini in esame;
- definizione dei coefficienti di deflusso di piena;
- determinazione delle portate di piena.

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

Le valutazioni di progetto sopra esposte sono state eseguite per i seguenti tratti autostradali:

- area barriera di esazione - Pantano;
- viadotto sulla fiumara Pace;
- svincolo Curcuraci;
- svincolo dell'Annunziata.

6.1 Analisi idrologica

6.1.1 Delimitazione e caratterizzazione fisiografica delle superfici scolanti

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

I limiti fisiografici per ciascuna tratta autostradale analizzata sono riportati negli specifici stralci planimetrici.

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

Di seguito si allegano le tabelle che riportano per ogni tratta autostradale analizzata, le caratteristiche fisiografiche sopra descritte.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L(km)	i media (m/m)
Direzione RC	km 1+500 - 1+440	0,0067	102,0	85,5	69,0	0,297	0,111
Direzione RC	km 1+400 - 1+300	0,0058	104,5	87,3	70,0	0,256	0,135
Direzione RC	km 1+300 - 1+100	0,0181	104,5	84,6	64,8	0,437	0,091
Direzione RC	km 0+900 - 0+690	0,0339	70,6	43,5	16,3	0,850	0,064
Direzione ME	km 0+880 - 0+900	0,0062	57,0	52,0	47,0	0,179	0,056
Direzione ME	km 0+800 - raccordo SP43	0,0087	57,0	49,0	41,0	0,145	0,110
Direzione ME - RC	km 2+200	0,0177	102,5	77,8	53,0	0,711	0,070
Direzione RC	km 2+000 - 1+800	0,0010	103,0	99,0	95,0	0,070	0,114
Direzione RC	km 1+800 sinistra	0,0156	102,2	88,6	75,0	0,312	0,087
Direzione RC	km 1+800 destra	0,0179	95,7	85,4	75,0	0,250	0,083

Tabella 6.1 – Caratteristiche fisiografiche per i bacini scolanti individuati in corrispondenza dell’area barriera di esazione - Pantano.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L(km)	i media (m/m)
Direzione ME	km 5+750 - 5+500	0,0435	216,0	167,0	118,0	0,850	0,115
Direzione ME	km 5+750 - 5+875	0,0023	181,0	147,0	113,0	0,131	0,519
Direzione ME	km 5+875	0,1026	251,0	182,0	113,0	0,650	0,212
Direzione ME	rampa 2 ME - km 5+875 monte tomb.	0,0102	179,2	153,6	128,0	0,510	0,100
Direzione ME	rampa 2 ME - km 5+875 valle tomb.	0,0017	150,0	131,5	113,0	0,192	0,193
Direzione RC	km 5+550 - 5+640	0,0018	128,0	118,0	108,0	0,117	0,171
Direzione ME	rampa 2 ME	0,0207	190,0	156,5	123,0	0,750	0,089
Direzione RC	km 5+900 bacino1	0,0053	164,3	127,7	91,0	0,289	0,254
Direzione RC	km 5+900 bacino2	0,0080	156,0	123,5	91,0	0,305	0,213
Direzione RC	km 5+900 bacino3	0,0014	164,3	127,7	91,0	0,435	0,169

Tabella 6.2 – Caratteristiche fisiografiche per i bacini scolanti individuati in corrispondenza dello svincolo Curcuraci.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L(km)	i media (m/m)
Direzione RC	km 7+100	0,0053	191,0	152,5	114,0	0,153	0,503
Direzione ME	km 7+200	0,0002	130,0	119,5	109,0	0,025	0,840
Direzione RC	km 7+300	0,0010	146,0	119,0	92,0	0,097	0,557

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L(km)	i media (m/m)
Direzione ME	km 7+400	0,0045	164,1	134,1	104,0	0,137	0,438

Tabella 6.3 – Caratteristiche fisiografiche per i bacini scolanti individuati in corrispondenza del viadotto sulla fiumara Pace.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L(km)	i media (m/m)
Direzione RC	rampa 2 km 10+000	0,0183	230,0	190,0	150,0	0,509	0,157
Direzione RC	rampa 2 km 10+000 residuo	0,0007	186,0	168,0	150,0	0,070	0,514
Direzione RC	rampa 1 km 10+000	0,0646	342,5	243,3	144,0	0,796	0,249
Direzione ME	km 10+100	0,0247	300,0	233,1	166,2	0,568	0,236
Direzione ME	rampa 3 km 10+300	0,0031	230,0	201,0	172,0	0,120	0,483
Direzione ME	rampa 3 km 10+350 - 10+400	0,0061	240,0	205,0	170,0	0,130	0,538
Direzione ME	rampa 3 km 10+400	0,0077	246,0	208,0	170,0	0,173	0,439
Direzione ME	rampa 3 km 10+450 - 10+400	0,0113	290,5	230,2	170,0	0,138	0,873
Direzione ME - RC	km 10+400 - 10+200	0,0229	290,0	224,5	159,0	0,675	0,194

Tabella 6.4 – Caratteristiche fisiografiche per i bacini scolanti individuati in corrispondenza dello svincolo dell'Annunziata.

6.1.2 Determinazione del tempo di corrivazione

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

Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche e fisiografiche riportati nelle tabelle esposte al precedente paragrafo 6.1.1.

Le formule di calcolo del tempo di corrivazione, espresso in ore, per ognuno dei metodi adottati sono nel seguito esposte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

Formula di Pezzoli:
$$tc = 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura:
$$tc = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Formula di Pasini:
$$tc = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$$

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

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

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Taccesso (ore)	TVentura (ore)	TPasini (ore)	TPezzioli (ore)	Tc assunto (ore)
Direzione RC	km 1+500 - 1+440	0,0067	0,080	0,03	0,04	0,05	0,12
Direzione RC	km 1+400 - 1+300	0,0058	0,080	0,03	0,03	0,04	0,11
Direzione RC	km 1+300 - 1+100	0,0181	0,080	0,06	0,07	0,08	0,15
Direzione RC	km 0+900 - 0+690	0,0339	0,080	0,09	0,13	0,18	0,30
Direzione ME	km 0+880 - 0+900	0,0062	0,080	0,04	0,05	0,04	0,12
Direzione ME	km 0+800 - raccordo SP43	0,0087	0,080	0,04	0,04	0,02	0,11
Direzione ME - RC	km 2+200	0,0177	0,080	0,06	0,10	0,15	0,18
Direzione RC	km 2+000 - 1+800	0,0010	0,080	0,01	0,01	0,01	0,09
Direzione RC	km 1+800 sinistra	0,0156	0,080	0,05	0,06	0,06	0,21
Direzione RC	km 1+800 destra	0,0179	0,080	0,06	0,06	0,05	0,21

Tabella 6.5 – Tempi di corrivazione per i bacini scolanti individuati in corrispondenza dell'area barriera di esazione - Pantano.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Taccesso (ore)	TVentura (ore)	TPasini (ore)	TPezzoli (ore)	Tc assunto (ore)
Direzione ME	km 5+750 - 5+500	0,0435	0,080	0,08	0,11	0,14	0,25
Direzione ME	km 5+750 - 5+875	0,0023	0,080	0,01	0,01	0,01	0,09
Direzione ME	km 5+875	0,1026	0,080	0,09	0,10	0,08	0,23
Direzione ME	rampa 2 ME - km 5+875 monte tomb.	0,0102	0,080	0,04	0,06	0,09	0,14
Direzione ME	rampa 2 ME - km 5+875 valle tomb.	0,0017	0,080	0,01	0,02	0,02	0,10
Direzione RC	km 5+550 - 5+640	0,0018	0,080	0,01	0,02	0,02	0,09
Direzione ME	rampa 2 ME	0,0207	0,080	0,06	0,09	0,14	0,18
Direzione RC	km 5+900 bacino1	0,0053	0,080	0,02	0,02	0,03	0,10
Direzione RC	km 5+900 bacino2	0,0080	0,080	0,02	0,03	0,04	0,11
Direzione RC	km 5+900 bacino3	0,0014	0,080	0,01	0,02	0,06	0,11

Tabella 6.6 – Tempi di corrivazione per i bacini scolanti individuati in corrispondenza dello svincolo Curcuraci.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Taccesso (ore)	TVentura (ore)	TPasini (ore)	TPezzoli (ore)	Tc assunto (ore)
Direzione RC	km 7+100	0,0053	0.080	0,01	0,01	0,01	0,09
Direzione ME	km 7+200	0,0002	0.080	0,00	0,00	0,00	0,08
Direzione RC	km 7+300	0,0010	0.080	0,01	0,01	0,01	0,09
Direzione ME	km 7+400	0,0045	0.080	0,01	0,01	0,01	0,09

Tabella 6.7 – Tempi di corrivazione per i bacini scolanti individuati in corrispondenza del viadotto sulla fiumara Pace.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Taccesso (ore)	TVentura (ore)	TPasini (ore)	TPezzoli (ore)	Tc assunto (ore)
Direzione RC	rampa 2 km 10+000	0,0183	0.080	0,04	0,06	0,07	0,14
Direzione RC	rampa 2 km 10+000 residuo	0,0007	0.080	0,00	0,01	0,01	0,09
Direzione RC	rampa 1 km 10+000	0,0646	0.080	0,06	0,08	0,09	0,16
Direzione ME	km 10+100	0,0247	0.080	0,04	0,05	0,06	0,13
Direzione ME	rampa 3 km 10+300	0,0031	0.080	0,01	0,01	0,01	0,09
Direzione ME	rampa 3 km 10+350 - 10+400	0,0061	0.080	0,01	0,01	0,01	0,09
Direzione ME	rampa 3 km 10+400	0,0077	0.080	0,02	0,02	0,01	0,10
Direzione ME	rampa 3 km 10+450 - 10+400	0,0113	0.080	0,01	0,01	0,01	0,09
Direzione ME -	km 10+400 - 10+200	0,0229	0.080	0,04	0,06	0,08	0,14

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Taccesso (ore)	TVentura (ore)	TPasini (ore)	TPezzoli (ore)	Tc assunto (ore)
RC							

Tabella 6.8 – Tempi di corrivazione per i bacini scolanti individuati in corrispondenza dello svincolo dell’Annunziata.

6.1.3 Determinazione del coefficiente di deflusso

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

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

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

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

Nel caso specifico, la metodologia di analisi dei coefficienti di deflusso è stata basata su un approccio normalmente adottato e ampiamente consolidato nella prassi applicativa, che fa riferimento alle indicazioni sui valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno fornite nella

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

letteratura scientifica, così come riportato nelle Tabelle 6.9 e 6.10.

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

Tabella 6.9- - Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation.

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

Tabella 6.10 - Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964.

Sulla base delle caratteristiche litologiche e di uso del suolo del territorio in analisi, per il dimensionamento dei fossi di guardia si sono dunque assunti coefficienti di deflusso compresi tra valori di 0.30 e 0.40.

Nello studio idrologico generale, finalizzato alla determinazione delle portate di piena sulla rete idrografica interferente con il tracciato autostradale in esame, la valutazione del coefficiente di deflusso è stata effettuata in modo strettamente integrato con l'applicazione del metodo S.C.S di stima delle portate al colmo e con il supporto della cartografia tematica disponibile per la caratterizzazione dei substrati e dell'uso del suolo.

Tale analisi ha portato a stime del parametro CN differenziate per i diversi bacini considerati, come illustrato nella "Relazione idrologica generale". Complessivamente è stato fatto riferimento a un unico valore maggiorante del coefficiente di deflusso, pari a $c = 0,65$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tale valore è risultato cautelativo rispetto alle stime del parametro CN eseguite sui singoli bacini, anche in ordine ad alcuni fattori potenzialmente aggravanti la trasformazione afflussi-deflussi emersi nel corso dei sopralluoghi e dell'analisi di dettaglio del territorio (e non adeguatamente esprimibili attraverso il CN), quali:

- la condizione di antropizzazione diffusa delle porzioni di bacino a valle del tracciato, che, oltre all'effetto di impermeabilizzazione dei suoli, influente in modo diretto sul coefficiente di deflusso, comporta la riduzione delle aree di espansione-laminazione e l'elevata artificializzazione degli alvei, fattori che favoriscono entrambi la concentrazione dei colmi di deflusso;
- la diffusa presenza di situazione di dissesto dei versanti nei bacini a monte del tracciato, che costituiscono potenziale innesco di fenomeni di trasporto di massa e occlusione temporanea degli alvei con formazione di picchi di piena impulsivi.

Nell'ambito della presente fase progettuale e dall'analisi dei contributi delle aree residue direttamente afferenti ai fossi di guardia a protezione del tracciato in progetto, si è ritenuto l'approccio metodologico dell'analisi idrologica generale non adeguato principalmente per le motivazioni qui di seguito riportate.

La fascia di territorio interessata presenta limitata estensione e, in generale, condizioni di manutenzione migliori rispetto ai bacini idrografici complessivi: non sono pertanto ipotizzabili i fattori aggravanti considerati nell'idrologia generale che hanno portato all'assunzione di un unico coefficiente di deflusso con significato di inviluppo maggiorante.

La scala territoriale dell'analisi è estremamente diversa rispetto allo studio idrologico generale, nel quale le caratteristiche dei suoli che condizionano la risposta idrologica alle precipitazioni sono state analizzate prima in forma aggregata per classi tipologiche e poi in forma sintetica, definendo un unico parametro a scala di bacino imbrifero (fattore CN). Nel caso delle aree di drenaggio in esame, l'analisi è estremamente dettagliata e consente la caratterizzazione in termini di coefficienti di deflusso di particelle del territorio con caratteristiche del tutto omogenee.

Si tratta, inoltre, di porzioni di versante sprovviste di un reticolo di drenaggio effettivo, nelle quali pertanto gli apporti fino alla rete di drenaggio artificiale avvengono per puro ruscellamento superficiale dei contributi meteorici non infiltrati, con meccanismi di intercettazione al suolo e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ritardo della risposta idrologica che sono in grado di incidere in senso riduttivo sui colmi di piena, nel caso di eventi di precipitazione estremamente brevi e intensi, come quelli di progetto, la cui durata dipende prevalentemente dai tempi di corrivazione della rete di smaltimento artificiale.

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

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

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza:

$$Q = \frac{c * h * S}{3.6 * t_c} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

dove:

S – superficie del bacino (km²);

c – coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni di tipo generale basate sulla litologia, sull'uso del suolo ecc.;

h – altezza massima di precipitazione per durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);

t_c – valore del tempo di corrivazione del bacino (ore).

Si specifica che il valore di h (altezza di precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione) è stato determinato considerando i coefficienti di possibilità climatica (a,n') appartenenti ai tratti pluviometricamente omogenei definiti nella presente relazione (cfr. paragrafo 1).

Di seguito si riportano i valori delle portate a tempo di ritorno 100 anni per le tratte autostradali in studio.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Tc assunto (ore)	a100 (mm/h ⁿ)	n100 (-)	H (mm)	C (-)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)
Direzione RC	km 1+500 - 1+440	0,0067	0,12	76,22	0,433	30,47	0,40	0,188
Direzione RC	km 1+400 - 1+300	0,0058	0,11	76,22	0,433	29,63	0,40	0,169
Direzione RC	km 1+300 - 1+100	0,0181	0,15	76,22	0,433	33,45	0,40	0,451

RELAZIONE METODOLOGICA	Codice documento	Rev	Data
	SS0176_F0.DOC	F0	20/06/2011

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Tc assunto (ore)	a100 (mm/h ⁿ)	n100 (-)	H (mm)	C (-)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)
Direzione RC	km 0+900 - 0+690	0,0339	0,30	76,22	0,433	45,43	0,30	0,424
Direzione ME	km 0+880 - 0+900	0,0062	0,12	76,22	0,433	30,84	0,40	0,171
Direzione ME	km 0+800 - raccordo SP43	0,0087	0,11	76,22	0,433	29,51	0,30	0,192
Direzione ME - RC	km 2+200	0,0177	0,18	76,22	0,433	36,49	0,40	0,393
Direzione RC	km 2+000 - 1+800	0,0010	0,09	76,22	0,433	27,16	0,40	0,034
Direzione RC	km 1+800 sinistra	0,0156	0,21	76,22	0,433	38,42	0,40	0,325
Direzione RC	km 1+800 destra	0,0179	0,21	76,22	0,433	38,83	0,40	0,367

Tabella 6.11 – Portate a tempo di ritorno 100 anni generate dai bacini scolanti in corrispondenza dell'area barriera di esazione - Pantano.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Tc assunto (ore)	a100 (mm/h ⁿ)	n100 (-)	H (mm)	C (-)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)
Direzione ME	km 5+750 - 5+500	0,0435	0,25	82,41	0,433	45,57	0,35	0,757
Direzione ME	km 5+750 - 5+875	0,0023	0,09	82,41	0,433	28,99	0,35	0,073
Direzione ME	km 5+875	0,1026	0,23	82,41	0,433	43,63	0,35	1,891
Direzione ME	rampa 2 ME - km 5+875 monte tomb.	0,0102	0,14	82,41	0,433	35,48	0,35	0,247
Direzione ME	rampa 2 ME - km 5+875 valle tomb.	0,0017	0,10	82,41	0,433	30,11	0,35	0,052
Direzione RC	km 5+550 - 5+640	0,0018	0,09	82,41	0,433	29,71	0,35	0,056
Direzione ME	rampa 2 ME	0,0207	0,18	82,41	0,433	38,88	0,35	0,443
Direzione RC	km 5+900 bacino1	0,0053	0,10	82,41	0,433	31,03	0,35	0,151
Direzione RC	km 5+900 bacino2	0,0080	0,11	82,41	0,433	31,80	0,35	0,224
Direzione RC	km 5+900 bacino3	0,0014	0,11	82,41	0,433	31,79	0,35	0,040

Tabella 6.12 – Portate a tempo di ritorno 100 anni generate dai bacini scolanti in corrispondenza dello svincolo Curcuraci.

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Tc assunto (ore)	a100 (mm/h ⁿ)	n100 (-)	H (mm)	C (-)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)
Direzione RC	km 7+100	0,0053	0,09	82,41	0,433	29,47	0,40	0,185
Direzione ME	km 7+200	0,0002	0,08	82,41	0,433	27,89	0,40	0,009
Direzione RC	km 7+300	0,0010	0,09	82,41	0,433	28,54	0,40	0,037
Direzione ME	km 7+400	0,0045	0,09	82,41	0,433	29,43	0,40	0,159

Tabella 6.13 – Portate a tempo di ritorno 100 anni generate dai bacini scolanti in corrispondenza del viadotto sulla fiumara Pace.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> FO	<i>Data</i> 20/06/2011

Carreggiata	Denominazione bacino	Superficie (km ²)	Tc assunto (ore)	a100 (mm/h ⁿ)	n100 (-)	H (mm)	C (-)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)
Direzione RC	rampa 2 km 10+000	0,0183	0,14	93,99	0,433	39,76	0,35	0,517
Direzione RC	rampa 2 km 10+000 residuo	0,0007	0,09	93,99	0,433	32,35	0,35	0,026
Direzione RC	rampa 1 km 10+000	0,0646	0,16	93,99	0,433	42,23	0,35	1,682
Direzione ME	km 10+100	0,0247	0,13	93,99	0,433	39,25	0,35	0,709
Direzione ME	rampa 3 km 10+300	0,0031	0,09	93,99	0,433	33,17	0,35	0,110
Direzione ME	rampa 3 km 10+350 - 10+400	0,0061	0,09	93,99	0,433	33,50	0,35	0,214
Direzione ME	rampa 3 km 10+400	0,0077	0,10	93,99	0,433	34,13	0,35	0,265
Direzione ME	rampa 3 km 10+450 - 10+400	0,0113	0,09	93,99	0,433	33,45	0,35	0,401
Direzione ME - RC	km 10+400 - 10+200	0,0229	0,14	93,99	0,433	40,49	0,35	0,629

Tabella 6.14 – Portate a tempo di ritorno 100 anni generate dai bacini scolanti in corrispondenza dello svincolo dell'Annunziata.



6.2 Analisi idraulica

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

La schematizzazione adottata nelle verifiche idrauliche è quella di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy descritta nel paragrafo 3.2; tale metodologia ha permesso, nota la geometria trasversale del fosso di guardia in progetto, la sua pendenza longitudinale minima e la resistenza distribuita al moto, di calcolare il tirante generato dal transito della portata di progetto (Tr100 anni) ed il riempimento della sezione incisa. Il fosso di guardia si considera adeguato idraulicamente quando il suo riempimento (calcolato rispetto all'altezza della sezione incisa) si mantiene inferiore od uguale al 70%.

I fossi previsti dal presente progetto si riconducono a 3 tipologie, 2 a sezione trapezia e 1 a sezione rettangolare; essi sono rivestiti in cls e presentano le seguenti dimensioni:

- larghezza di base pari a 0.50 m, altezza di 0.50 m, larghezza in sommità di 1.50 m e sponde

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- inclinate secondo pendenza 1 su 1;
- larghezza di base pari a 0.60 m, altezza di 0.60 m, larghezza in sommità di 1.80 m e sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1;
- larghezza di base pari a 1.00 m, altezza di 0.60 m.

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

Si è inoltre verificata l'adeguatezza idraulica dei tombini circolari in cls (diametri 800, 1000 e 1500 mm) di attraversamento autostradale e/o recapito nei ricettori naturali previsti dal progetto: La verifica è stata eseguita sempre in moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy, assumendo una scabrezza pari a $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ e pendenza di fondo pari a quella minima disponibile.

Come per i fossi di guardia anche per i tombini si è assunto come criterio di adeguatezza idraulica quello corrispondente allo smaltimento della massima portata con un riempimento della sezione non superiore al 70%.

Come risulta dai dati di verifica di seguito riportati, le canalizzazioni in progetto sono sempre abbondantemente verificate e presentano un grado di riempimento generalmente molto inferiore rispetto al valore assunto come limite di progetto.

Di seguito si descrivono le verifiche idrauliche eseguite per ciascuno svincolo in esame.

6.2.1 Area barriera di esazione - Pantano

Il drenaggio delle acque di versante per l'area barriera di esazione - Pantano è affidato a fossi di guardia rivestiti in cls a sezione trapezia aventi larghezza alla base pari a 0.50 m, altezza 0,50 e pendenza delle sponde 1/1; data la configurazione morfologica del piano campagna, caratterizzata da un andamento altimetrico variabile, per il dimensionamento si è assunta cautelativamente la pendenza di fondo minima di progetto del fosso.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche effettuate da cui si evince l'adeguatezza idraulica delle strutture di collettamento previste.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Denominazione bacino	Denominazione fosso	Q Tr 100 anni (m3/s)	Q Tr 100 anni TOT (*) (m3/s)	Pendenza fosso (m/m)	L base fosso (m)	Tirante (m)	Riempimento (%)	Recapito
km 1+500 - 1+440	km 1+500 - 1+440	0,188	0,188	0,16	0,50	0,09	18,00	Tombino 2x2 PK 1+391 F. Lato Tirreno1
km 1+400 - 1+300	km 1+400 - 1+300	0,169	0,169	0,15	0,50	0,08	16,00	
km 1+300 - 1+100	km 1+300 - 1+100	0,451	0,451	0,16	0,50	0,14	28,00	Tubaz. piattaforma D500 SP48
km 0+900 - 0+690	km 0+900 - 0+690/1	0,424	0,424	0,16	0,50	0,14	28,00	Tombino D800 PK 0+930 Tubaz. piattaforma D1200 pk 0+750
	km 0+900 - 0+690/2			0,09	0,50	0,16	32,00	Tubaz. piattaforma D1200 pk 0+750
km 0+880 - 0+900	km 0+880 - 0+900	0,171	0,221(*)	0,05	0,50	0,13	26,00	Tubaz. piattaforma D400 pk 0+940
km 0+800 - raccordo SP43	km 0+800 - raccordo SP43	0,192	0,192	0,04	0,50	0,13	26,00	Tubaz. piattaforma D400 SP43
km 2+200	km 2+200	0,393	0,483(*)	0,14	0,50	0,15	30,00	F. Lato Tirreno2
km 2+000 - 1+800	km 2+000 - 1+800	0,034	0,034	0,10	0,50	0,04	8,00	Tubaz. piattaforma D600 raccordo BE
km 1+800 sinistra	km 1+800 sinistra	0,325	0,325	0,28	0,50	0,10	20,00	Tubaz. piattaforma D600 raccordo BE
km 1+800 destra	km 1+800 destra	0,367	0,367	0,07	0,50	0,16	32,00	Tombino D800 pk 1+800 Tubaz. piattaforma D600 raccordo BE

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

Tabella 6.15 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni dei fossi di guardia a protezione dell'area barriera di esazione - Pantano.

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

- DN500 mm SP 48;
- D1200 pk 0+750;
- D400 pk 0+940;
- D400 SP43;
- D600 raccordo BE;
- D600 raccordo BE.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

progetto:

- tombino circolare DN800 mm in cls (direz. ME, PK 0+930), caratterizzato da una lunghezza di 17.25 m e una pendenza minima dell'1,0%, all'interno del quale convergono i contributi di portata del bacino km 0+880 – 0+900 (0.171 m³/s);
- tombino circolare DN800 mm in cls (raccordo barriera di esazione, PK 1+800), caratterizzato da una lunghezza di 19.10 m e una pendenza minima dell'1,0%, all'interno del quale convergono i contributi di portata del bacino km 1+800 destra (0.367 m³/s).

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

Denominazione condotta	Diametro (mm)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Pendenza (m/m)	Tirante (m)	Riempimento (%)
PK 0+930	800	0,171	0,01	0,22	28,00
PK 1+800	800	0,367	0,01	0,34	42,00

Tabella 6.16 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni delle condotte a servizio della barriera di esazione – zona Pantano.

6.2.2 Svincolo Curcuraci

Il drenaggio delle acque di versante per lo svincolo Curcuraci è affidato a fossi di guardia rivestiti in cls a sezione trapezia aventi larghezza alla base pari a 0.50 m, altezza 0.50 m e pendenza delle sponde 1/1 e a sezione rettangolare di dimensioni B x H di 1.0 x 0.6 m; data la configurazione morfologica del piano campagna, caratterizzata da un andamento altimetrico variabile, per il dimensionamento si è assunta cautelativamente la pendenza di fondo minima di progetto del fosso.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche effettuate da cui si evince l'adeguatezza idraulica delle strutture di collettamento previste.

Denominazione bacino	Denominazione fosso	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Q Tr 100 anni TOT (*) (m ³ /s)	Pendenza fosso (m/m)	L base fosso (m)	Tirante (m)	Riempimento (%)	Recapito
km 5+750 - 5+500	km 5+750 - 5+500/1	0,757	0,847(*)	0,16	0,50	0,20	40,00	Tombino D1500 5+500 F. Guardia
	0,03			1,0				
km 5+750 - 5+875	km 5+750 - 5+875	0,073	0,073	0,37	0,50	0,04	8,00	Tombino D1500

Denominazione bacino	Denominazione fosso	Q Tr 100 anni (m3/s)	Q Tr 100 anni TOT (*) (m3/s)	Pendenza fosso (m/m)	L base fosso (m)	Tirante (m)	Riempimento (%)	Recapito
								5+875 F. Curcuraci
km 5+875	Scarico pk 5+875	1,891	2,263*	0,39	0,50	0,29	58,00	F. Curcuraci
rampa 2 ME - km 5+875 monte tomb.	rampa 2 ME - km 5+875 monte tomb.	0,247	0,247	0,05	0,50	0,14	28,00	Tombino D800 monte rampa2 Tombino D1500 5+875 F. Curcuraci
rampa 2 ME - km 5+875 valle tomb.	rampa 2 ME - km 5+875 valle tomb.	0,052	0,052	0,18	0,50	0,04	8,00	Tombino D1500 5+875 F. Curcuraci
km 5+550 - 5+640	km 5+550 - 5+640	0,056	0,056	0,13	0,50	0,05	10,00	Tubaz. piattaforma D600 pk 5+637
rampa 2 ME	rampa 2 ME	0,443	0,443	0,04	0,50	0,21	42,00	F. Curcuraci
km 5+900 bacino1	km 5+900 bacino1	0,151	0,151	0,29	0,50	0,07	14,00	Tombino D800 valle asse RC F. Curcuraci
km 5+900 bacino2	km 5+900 bacino2	0,224	0,354(*)	0,04	0,50	0,18	36,00	Tombino D800 valle asse RC F. Curcuraci
km 5+900 bacino3	km 5+900 bacino3	0,040	0,040	0,22	0,50	0,03	6,00	Tombino D800 valle asse RC F. Curcuraci

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

*: fosso verificato per una portata somma del bacino specifico e dei bacini km 5+750 – 5+875, rampa 2 ME – km 5+875 monte e valle tomb.

Tabella 6.17 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni dei fossi di guardia a protezione dello svincolo Curcuraci.

Uno dei fossi di guardia, in assenza di recapiti naturali adeguati, scarica nella seguente condotte di drenaggio delle acque di piattaforma:

- D600 pk 5+637.

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

- tombino circolare DN1500 mm in cls (PK 5+500), caratterizzato da una lunghezza di 20.10 m e una pendenza minima dell'1,2%, all'interno del quale convergono i contributi di portata del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- bacino km 5+750 – 5+500, e dei fossi al piede del rilevato (0.847 m³/s);
- tombino circolare DN1500 mm in cls (PK 5+875 tratto 1), caratterizzato da una lunghezza di 40.50 m e una pendenza minima del 27,0%, all'interno del quale convergono i contributi di portata dei bacini km 5+875, km 5+750 – 5+500, rampa 2 ME – km 5+875 monte e valle tombino (2.263 m³/s);
 - tombino circolare DN1500 mm in cls (PK 5+875 tratto 2), caratterizzato da una lunghezza di 40.85 m e una pendenza minima del 1,0%, all'interno del quale convergono i contributi di portata dei bacini km 5+875, km 5+750 – 5+500, rampa 2 ME – km 5+875 monte e valle tombino (2.263 m³/s);
 - tombino circolare DN800 mm in cls (monte rampa 2), caratterizzato da una lunghezza di 6.60 m e una pendenza minima dell'1,0%, all'interno del quale convergono i contributi di portata del bacino rampa 2 ME – km 5+875 monte tombino (0.247 m³/s);
 - tombino circolare DN800 mm in cls (valle asse RC), caratterizzato da una lunghezza di 6.95 m e una pendenza minima dell'1,0%, all'interno del quale convergono i contributi di portata dei bacini km 5+900 bacino 1, 2, 3, e dei fossi al piede del rilevato (0.545 m³/s).

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

Denominazione condotta	Diametro (mm)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Pendenza (m/m)	Tirante (m)	Riempimento (%)
PK 5+500	1500	0,847	0,012	0,39	26,00
PK 5+875 tratto 1	1500	2,263	0,27	0,30	20,00
PK 5+875 tratto 2	1500	2,263	0,01	0,69	46,00
monte rampa 2	800	0,247	0,01	0,27	34,00
valle asse RC	800	0,545	0,01	0,42	52,00

Tabella 6.18 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni delle condotte a servizio dello svincolo Curcuraci.

6.2.3 Viadotto Pace

Il drenaggio delle acque di versante dei portali di galleria in corrispondenza del viadotto sulla fiumara Pace è affidato a fossi di guardia rivestiti in cls a sezione trapezia aventi larghezza alla base pari a 0.50 m, altezza 0.50 e pendenza delle sponde 1/1; data la configurazione morfologica del piano campagna, caratterizzata da un andamento altimetrico variabile, per il dimensionamento si è assunta cautelativamente la pendenza di fondo minima di progetto del fosso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE METODOLOGICA	<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche effettuate da cui si evince l'adeguatezza idraulica delle strutture di collettamento previste.

Denominazione bacino	Denominazione fosso	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Q Tr 100 anni TOT (*) (m ³ /s)	Pendenza fosso (m/m)	L base fosso (m)	Tirante (m)	Riempimento (%)	Recapito
km 7+100	km 7+100	0,185	0,285(*)	0,38	0,50	0,09	18,00	Tombino D800 sponda sx F. Pace
km 7+200	km 7+200	0,009	0,009	0,24	0,50	0,01	2,00	
km 7+300	km 7+300	0,037	0,037	0,27	0,50	0,03	6,00	Tombino D800 sponda dx F. Pace
km 7+400	km 7+400	0,159	0,159	0,17	0,50	0,08	16,00	

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

Tabella 6.19 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni dei fossi di guardia in corrispondenza del viadotto sulla fiumara Pace.

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

- tombino circolare DN800 mm in cls (sponda sx), caratterizzato da una lunghezza di 31.55 m e una pendenza minima dell'11%, all'interno del quale convergono i contributi di portata dei bacini km 7+100 e km 7+200 e dei fossi al piede del rilevato (0.294 m³/s);
- tombino circolare DN800 mm in cls (sponda dx), caratterizzato da una lunghezza di 7.65 m e una pendenza minima del 2%, all'interno del quale convergono i contributi di portata dei bacini km 7+300 e km 7+400 (0.196 m³/s);

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

Denominazione condotta	Diametro (mm)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Pendenza (m/m)	Tirante (m)	Riempimento (%)
Sponda sx	800	0,294	0,11	0,16	20,00
Sponda dx	800	0,196	0,02	0,21	26,00

Tabella 6.20 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni delle condotte in corrispondenza del viadotto sulla fiumara Pace.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.2.4 Svincolo dell'Annunziata

Il drenaggio delle acque di versante per lo svincolo dell'Annunziata è affidato a fossi di guardia rivestiti in cls a sezione trapezia aventi larghezza alla base pari a 0.50 m, altezza 0.50 m e pendenza delle sponde 1/1 e a fossi con larghezza alla base di 0.60 m altezza 0.60 m e pendenza delle sponde 1/1; data la configurazione morfologica del piano campagna, caratterizzata da un andamento altimetrico variabile, per il dimensionamento si è assunta cautelativamente la pendenza di fondo minima di progetto del fosso.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche effettuate da cui si evince l'adeguatezza idraulica delle strutture di collettamento previste.

Denominazione bacino	Denominazione fosso	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Q Tr 100 anni TOT (*) (m ³ /s)	Pendenza fosso (m/m)	L base fosso (m)	Tirante (m)	Riempimento (%)	Recapito
rampa 2 km 10+000	rampa 2 km 10+000	0,517	0,607(*)	0,12	0,6	0,17	28,33	Tombino D1500 rampe 1 e 2 F. Annunziata
rampa 2 km 10+000 residuo	rampa 2 km 10+000 residuo	0,026	0,026	0,15	0,5	0,03	6,00	
rampa 1 km 10+000	rampa 1 km 10+000	1,682	1,682	0,12	0,6	0,29	48,33	Tombino D1500 rampa 1 F. Annunziata
km 10+100	km 10+100/1	0,709	0,709	0,04	0,6	0,24	40,00	Tombino D1000 monte rampa 1 F. Annunziata
	km 10+100/2			0,45	0,6	0,12	20,00	
	km 10+100/3			0,10	0,6	0,19	31,67	
rampa 3 km 10+300	rampa 3 km 10+300	0,110	0,110	0,06	0,5	0,08	16,00	Tombino D800 monte rampa 3 F. Annunziata
rampa 3 km 10+350 - 10+400	rampa 3 km 10+350 - 10+400	0,214	0,214	0,11	0,5	0,10	20,00	Tombino D1500 pk 10+400 F. Annunziata
rampa 3 km 10+400	rampa 3 km 10+400	0,265	0,950(**)	0,05	0,6	0,27	45,00	
rampa 3 km 10+450 - 10+400	rampa 3 km 10+450 - 10+400	0,401	0,401	0,18	0,5	0,13	26,00	
km 10+400 - 10+200	km 10+400 - 10+200	0,629	0,649(*)	0,13	0,5	0,18	36,00	Tombino D800 valle asse RC F. Annunziata

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

(**): la portata Q Tr100 anni TOT tiene conto dei contributi di portata provenienti dai fossi al piede dei rilevati, del bacino specifico e dei bacini rampa 3 km 10+350 - 10+400 e rampa 3 km 10+450 - 10+400.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 6.21 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni dei fossi di guardia a protezione dello svincolo dell’Annunziata.

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

- tombino circolare DN1500 mm in cls (rampe 1 e 2), caratterizzato da una lunghezza di 80.05 m e una pendenza minima del 13%, all’interno del quale convergono i contributi di portata dei bacini rampa 2 km 10+000, rampa 2 km 10+000 residuo e dei fossi al piede del rilevato (0.633 m³/s);
- tombino circolare DN1500 mm in cls (rampa 1/1), caratterizzato da una lunghezza di 6.55 m e una pendenza minima del 99%, all’interno del quale convergono i contributi di portata del bacino rampa 1 km 10+000 (1.682 m³/s);
- tombino circolare DN1500 mm in cls (rampa 1/2), caratterizzato da una lunghezza di 2.15 m e una pendenza minima del 60%, all’interno del quale convergono i contributi di portata del bacino rampa 1 km 10+000 (1.682 m³/s);
- tombino circolare DN1500 mm in cls (rampa 1/3), caratterizzato da una lunghezza di 18.28 m e una pendenza minima dell’1%, all’interno del quale convergono i contributi di portata del bacino rampa 1 km 10+000 e della VPP8 Annunziata (2.762 m³/s);
- tombino circolare DN1500 mm in cls (rampa 1/4), caratterizzato da una lunghezza di 70.30 m e una pendenza minima del 15%, all’interno del quale convergono i contributi di portata del bacino rampa 1 km 10+000 e della VPP8 Annunziata (2.762 m³/s);
- tombino circolare DN1500 mm in cls (rampa 1/5), caratterizzato da una lunghezza di 11.45 m e una pendenza minima dell’1%, all’interno del quale convergono i contributi di portata del bacino rampa 1 km 10+000 e della VPP8 Annunziata (2.762 m³/s);
- tombino circolare DN1000 mm in cls (monte rampa 1), caratterizzato da una lunghezza di 29.60 m e una pendenza minima del 10%, all’interno del quale convergono i contributi di portata del bacino km 10+100 (0.709 m³/s);
- tombino circolare DN800 mm in cls (monte rampa 3), caratterizzato da una lunghezza di 8.85 m e una pendenza minima del 2%, all’interno del quale convergono i contributi di portata del bacino rampa 3 km 10+300 (0.110 m³/s);
- tombino circolare DN1500 mm in cls (pk 10+400), caratterizzato da una lunghezza di 28.80 m e una pendenza minima del 2,4%, all’interno del quale convergono i contributi di portata dei bacini rampa 3 km 10+350 – 10+400, rampa 3 km 10+400 e rampa 3 km 10+450 –

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10+400 (0.880 m³/s);

- tombino circolare DN800 mm in cls (valle asse RC), caratterizzato da una lunghezza di 8.45 m e una pendenza minima del 44%, all'interno del quale convergono i contributi di portata del bacino km 10+400 – 10+200 (0.629 m³/s).

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

Denominazione condotta	Diametro (mm)	Q Tr 100 anni (m ³ /s)	Pendenza (m/m)	Tirante (m)	Riempimento (%)
rampe 1 e 2	1500	0,633	0,13	0,18	12,00
rampa 1/1	1500	1,682	0,99	0,18	12,00
rampa 1/2	1500	1,682	0,60	0,21	14,00
rampa 1/3	1500	2,762	0,01	0,75	50,00
rampa 1/4	1500	2,762	0,15	0,36	24,00
rampa 1/5	1500	2,762	0,01	0,75	50,00
monte rampa 1	1000	0,709	0,10	0,24	24,00
monte rampa 3	800	0,110	0,02	0,14	18,00
pk 10+400	1500	0,880	0,024	0,33	22,00
valle asse RC	800	0,629	0,44	0,16	20,00

Tabella 6.22 – Verifica idraulica per tempo di ritorno 100 anni delle condotte in corrispondenza dello svincolo Annunziata.

7 Bacino di fitodepurazione e manufatti di scarico in progetto

I principi generali considerati nella progettazione della vasca di fitodepurazione e laminazione in località Ganzirri sono i seguenti:

- la portata di pioggia complessiva valutata con Tr di 100 anni risulta di 10,345 m³/s, di cui 10,182 m³/s provenienti dalla vasca di trattamento delle acque della piattaforma stradale (VPP3) e 0,163 m³/s dalla vasca di trattamento delle acque della piattaforma ferroviaria; tale portata sarà recapitata al bacino di fitodepurazione mediante le 2 condotte in acciaio DN 1200 mm in progetto;
- la portata di pioggia complessiva valutata con Tr di 100 anni proveniente dalle 2 vasche di trattamento delle acque di piattaforma dell'opera di attraversamento (VPP1 e VPP2) risulta di 0,400 m³/s (0,200 m³/s per vasca); tale portata verrà scaricata direttamente nel bacino di fitodepurazione;
- la sistemazione paesaggistica dell'area impone un tracciato delle condotte in acciaio DN

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1200 mm che si sviluppa a lato del viadotto Pantano, in posizione non interferente con la viabilità di cantiere, e che interseca la strada provinciale n. 43 e il canale di interconnessione dei laghi Ganzirri;

- l'esigenza di attraversare in sovrappasso il canale, per non interferire con la falda acquifera e la necessità di garantire la navigabilità del corso d'acqua determina una quota minima di attraversamento di 3.50 m s.l.m.;
- il volume del bacino di fitodepurazione è previsto pari a 1800 m³;
- lo scarico a mare del bacino, realizzato mediante un tombino scatolare in c.a., presenta un tracciato che interseca la nuova strada litoranea in progetto e una portata complessiva di progetto di 10,745 m³/s.;
- la verifica del bacino di fitodepurazione è stata condotta facendo riferimento alle curve di possibilità pluviometrica calcolate per i tempi di ritorno di 5, 10, 30 e 100 anni (cfr. paragrafo 1).

7.1 Descrizione complessiva dell'intervento

A valle del manufatti di trattamento delle acque di prima pioggia stradale e ferroviario, verrà realizzata una vasca di carico nella quale dovranno convergere i contributi di portata provenienti dagli impianti sopraccitati e dai by-pass di allontanamento delle acque di pioggia successive (complessivamente 10,35 m³/s).

Dal fondo della vasca di carico partiranno due tubazioni in acciaio DN1200 per il convogliamento della portata complessiva nel bacino di fitodepurazione.

L'ipotesi di tracciato vasca-bacino si sviluppa indicativamente lungo il viadotto Pantano e prevede l'attraversamento della strada provinciale n. 43 e del canale di interconnessione tra i due laghi di Ganzirri.

L'attraversamento della strada provinciale verrà realizzato in scavo e, al fine di evitare interferenze con la falda, si posizioneranno le due condotte in acciaio in progetto al di sopra della condotta fognaria esistente lungo la strada. Gli altri sottoservizi più superficiali verranno deviati. La quota del piano stradale in corrispondenza dell'attraversamento è attualmente di circa 1,92 m s.l.m.

La fognatura esistente DN560 in PE, come risulta dai disegni di contabilità forniti dal Comune di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Messina è posta indicativamente a - 1,50 m dal piano viabile (fondo tubo coincidente con fondo pozzetto). Se si considera l'ingombro del collettore fognario e, ipotizzando di inglobare le due condotte in acciaio affiancate in un bauletto di calcestruzzo armato di spessore minimo di 0,30 m per parte, più il diametro, e uno strato di ripristino stradale di 0,15 m circa, ne consegue che il nuovo piano viabile in corrispondenza dell'attraversamento raggiungerà quota 2,93 m s.l.m.; occorrerà pertanto prevedere un innalzamento localizzato del piano strada di 1,0 m circa.

L'attraversamento del canale di interconnessione dei laghi di Ganzirri è previsto in sovrappasso, ancorando le tubazioni all'interno di una passerella pedonale. In corrispondenza del punto più alto del tracciato verranno previste delle valvole di sfiato e, a monte del ponticello, sarà realizzato un pozzetto munito di valvola per lo scarico delle condotte.

Il tratto di condotta che risulta più vincolante per la definizione del carico idraulico necessario a monte per il corretto funzionamento in pressione del sistema è quello compreso tra la vasca e l'attraversamento del canale, di lunghezza pari a circa 163,80 m.

Il calcolo delle perdite di carico distribuite è stato effettuato considerando la formula di Colebrook-White (scabrezza per tubi usati $\epsilon=0,6$ mm), da cui risulta una cadente piezometrica di 15,07 m/km. La perdita di carico distribuita risulta dunque di 2,47 m circa.

Le perdite di carico concentrate si riferiscono all'imbocco della tubazione e alle curve presenti lungo il tracciato. Considerando la velocità a tubo pieno di 4,6 m/s, tali perdite di carico ammontano complessivamente a circa 1,92 m².

In corrispondenza dell'attraversamento del canale, il fondo delle tubazioni sono poste ad una quota di 3,50 m s.l.m.. Poiché la quota di fondo della vasca di carico è prevista a 8,46 m s.l.m. e le perdite di carico della tubazione a monte ammontano a 4,39 m, risulta che il carico minimo sul punto a quota più elevata è di circa 0,60 m. Tale carico idraulico garantisce il corretto funzionamento del sistema di scarico.

La vasca di carico è prevista di forma rettangolare, con le seguenti caratteristiche dimensionali

² I coefficienti di perdita di carico impiegati sono pari a: 0.5 all'imbocco, 0.08 per la curva di 16°, 0.15 per le 5 curve di 30° e 0.45 per la curve di 90°.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

minime: larghezza 5,00 m, lunghezza 3,00 m e altezza complessiva 5,87 m (quota fondo e scarico 8,46 m s.l.m., sommità vasca 14,33 m s.l.m.).

In corrispondenza dell'immissione nel bacino da parte delle due tubazioni in acciaio DN 1200 mm, è prevista la realizzazione di una difesa in gabbioni metallici e di un tratto di rivestimento di dimensioni adeguate per garantire una corretta funzione di dissipazione delle portate idriche di scarico; la sistemazione presenta sezione trapezia con larghezza alla base di 2,00 m, altezza 1,50 m e pendenza delle sponde 3/2 per circa 10,00 m di lunghezza.



Nella porzione mediana del bacino, dove sono previsti gli scarichi delle vasche di trattamento delle acque di piattaforma dell'opera di attraversamento, è previsto un rivestimento di fondo in gabbioni metallici per una lunghezza di 10,00 m, sezione trapezia, con larghezza su fondo variabile da 5,80 m a 11,30 m circa, altezza 1,05 m e larghezza in sommità individuata dai muri di sponda del bacino.

Analogamente, nella sezione terminale del bacino è prevista una vasca, sempre realizzata in gabbioni metallici, di dimensioni interne 6,00 x 4,00 m per consentire l'imbocco del tombino scatolare in uscita; tale vasca viene alimentata tramite una soglia di sfioro rialzata a quota 2,30 m s.l.m. rispetto agli 1,97 m s.l.m. previsti per la sistemazione del fondo bacino. Il rialzo in oggetto è previsto per favorire il trattenimento del materiale fine depositato sul fondo del bacino e salvaguardare la corretta funzionalità del tombino di scarico.

Lo scarico del bacino di fitodepurazione sarà realizzato mediante un manufatto scatolare in c.a. di dimensioni BxH di 2,50 x 2,00 m che avrà una quota di fondo pari a 1,50 m s.l.m., in modo tale che la sezione interessata dal deflusso risulti interamente al di sotto della quota di massimo invaso del bacino (fissata a 2,50 m s.l.m.).

Tale manufatto avrà lunghezza indicativa di 141,10 m e pendenza non inferiore allo 0,50%. Lo sbocco a mare è previsto a 0,79 m s.l.m. per evitare/limitare l'ingresso di sedimenti da parte delle mareggiate.

In corrispondenza della curva individuata dal tracciato dello scatolare e, nei tratti rettilinei, ogni 30 m, circa sono stati inseriti dei pozzetti di ispezione e manutenzione gettati in opera e accessibili

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

mediante camini di calata attrezzati con appositi chiusini prefabbricati in cls. Il pozzetto ubicato al cambio di direzione della condotta scatolare (tipo B) presenta dimensioni interne di 4,50 x 4,50 m; i pozzetti di ispezione posti nei tratti intermedi (tipo A) presentano invece dimensioni interne di 3,50 x 3,50 m.

Il tombino scatolare è verificato dal punto di vista idraulico e il valore di portata complessivamente scaricato dalle 4 vasche di trattamento (stradale, ferroviaria e relative all'opera di attraversamento) con Tr 100 anni di 10,75 m³/s defluisce all'interno del manufatto con un grado di riempimento del 63% circa, ovvero con un tirante idrico di 1,26 m. Nei calcoli si è ipotizzato un valore di scabrezza del c.a. in condizioni di esercizio (67 m^{1/3}/s) e si è assunto che tutta la portata massima in ingresso al bacino debba essere scaricata con il tombino scatolare in uscita, trascurando cautelativamente l'effetto laminazione.

L'attraversamento del lungomare delle Palme da parte dello scatolare sopraccitato è previsto in sottopasso rispetto alla fognatura esistente. Il piano stradale risulta infatti in questo tratto a quota 5,20 m s.l.m. circa e il fondo dei pozzetti fognari e delle relative condotte è posto a - 1,90 m dal piano stradale.

7.2 Verifica dei bacini di fitodepurazione

La legge di Stokes permette di calcolare la velocità di sedimentazione mediante la seguente:

$$v_s = \frac{(\rho_s - \rho_l) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \mu}$$

dove:



ρ_s : densità della particella;

ρ_l : densità dell'acqua;

D: diametro della particella;

μ : viscosità cinematica dell'acqua.

L'obiettivo che si intende perseguire con la realizzazione del bacino è quello di garantire un affinamento del trattamento delle acque di piattaforma a valle della vasca deputata a tale funzione, prima dello scarico a mare; tale obiettivo risulta particolarmente importante per le acque di seconda pioggia che by-passano la vasca stessa.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE METODOLOGICA		<i>Codice documento</i> SS0176_F0.DOC	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il tempo di permanenza è pari al volume del bacino riferito alla portata in ingresso $t_p=V/Q_{in}$ e la velocità di sedimentazione v_s viene calcolata considerando il caso più gravoso in cui la particella è posta sul pelo libero in corrispondenza dell'altezza massima (2,00 m) $v_s=h/t_p$.

Ponendo come obiettivo la separazione delle particelle con diametro $d \leq 0,2$ mm si è quindi verificato che il carico idraulico superficiale $C_{is} = Q_{in}/S$, sia inferiore alla velocità di sedimentazione con Q_{in} valutata con Tr 100, 30, 10 e 5 anni. Per una superficie di 3000 m² si ottengono i seguenti valori:

Tempo di ritorno	Portata in ingresso (*)	Tempo di permanenza	Velocità di sedimentazione	Carico idraulico superficiale	D particella sedimentabile
anni	m ³ /s	s	m/s	m/s	mm
100	10,75	168	0,011	0,0036	0,2
30	9,22	195	0,010	0,0031	0,2
10	7,82	230	0,0087	0,0026	0,18
5	6,91	260	0,0077	0,0023	0,17

(*): il valore di portata in uscita dalle vasche di trattamento relative all'opera di attraversamento è stato sempre considerato con Tr 100 anni, in quanto unico dato disponibile e i risultati che ne derivano sono a favore di sicurezza.

Tabella 7.1 – Velocità di sedimentazione nel bacino di fitodepurazione.

Tale condizione assicura tempi di permanenza superiori al tempo di sedimentazione delle particelle (Tabella 7.2).

D particella (mm)	Vs (m/s)	Ts (s)
0,1	0,00273	257
0,11	0,00330	212
0,12	0,00392	178
0,13	0,00461	152
0,14	0,00534	131
0,15	0,00613	114
0,16	0,00698	100
0,17	0,00788	89
0,18	0,00883	79
0,19	0,00984	71
0,2	0,01090	64

Tabella 7.2 – Velocità e tempi di sedimentazione in funzione del diametro delle particelle.