

# 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)

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

Unità Funzionale Tipo di sistema Raggruppamento di opere/attività Opera - tratto d'opera - parte d'opera Titolo del documento	COLLEGAMENTI CALABRIA INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI SISTEMAZIONI IDRAULICHE TOMBINO RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CS0830_F0</div>
---	--	--

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	I	D	S	S	C	S	I	T	M	0	0	0	0	0	0	4	F	0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
Premessa .....	7
1 Definizione della portata di progetto.....	8
2 Analisi idrauliche .....	8
3 Criteri generali di progetto degli interventi di sistemazione idraulica.....	10
4 Verifiche del rivestimento dell'alveo .....	10
5 Verifica dei tombini in progetto.....	13
5.1 Torrente Serro della Torre (PK 2+826 - cfr. bacino 04M.0).....	13
5.1.1 Intervento in progetto.....	13
5.1.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	14
5.1.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	14
5.1.4 Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	15
5.1.5 Verifica in termini di velocità .....	16
5.1.6 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici e il terreno sottostante .....	16
5.2 Affluente Zagarella 1 (PK 2+372 - cfr. bacino 06M.1.1) .....	17
5.2.1 Intervento in progetto.....	17
5.2.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	17
5.2.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	18
5.2.4 Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	19
5.2.5 Verifica in termini di velocità .....	20
5.2.6 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante .....	20
5.3 Affluente Zagarella 2 (PK 2+104 - cfr. bacino 06M.2.1) .....	21
5.3.1 Intervento in progetto.....	21
5.3.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	22
5.3.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto .....	23
5.3.4 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

progetto .....	23
5.3.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	24
5.3.6 Verifica in termini di velocità .....	25
5.3.7 Valutazione delle deformazioni .....	25
5.3.8 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante .....	26
5.4 Fosso Contrada di Pirgo (PK 2+021 - cfr. bacino 07M.1).....	27
5.4.1 Intervento in progetto.....	27
5.4.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	28
5.4.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto .....	29
5.4.4 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	30
5.4.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	31
5.4.6 Verifica in termini di velocità .....	31
5.4.7 Valutazione delle deformazioni .....	32
5.4.8 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante .....	33
5.5 Fosso Contrada di Pirgo bacino residuo II (PK 1+921).....	34
5.5.1 Intervento in progetto.....	34
5.5.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	34
5.5.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	35
5.6 Fosso Contrada di Pirgo 1 (PK 1+863 - cfr. bacino 07M.2).....	36
5.6.1 Intervento in progetto.....	36
5.6.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	37
5.6.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto .....	38
5.6.4 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	39
5.6.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	40
5.6.6 Verifica in termini di velocità .....	41
5.6.7 Valutazione delle deformazioni .....	41

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.6.8	Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici e il terreno sottostante .....	42
5.7	Fosso Contrada di Pirgo bacino residuo (PK 1+805).....	43
5.7.1	Intervento in progetto.....	43
5.7.2	Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	44
5.7.3	Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto .....	45
5.7.4	Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	46
5.7.5	Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	46
5.7.6	Verifica in termini di velocità .....	47
5.7.7	Valutazione delle deformazioni .....	48
5.7.8	Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici e il terreno sottostante .....	49
5.8	Torrente Polistena (PK 1+729 - cfr. bacino 08M.1).....	49
5.8.1	Intervento in progetto.....	49
5.8.2	Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	51
5.8.3	Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto .....	51
5.8.4	Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	52
5.8.5	Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	53
5.8.6	Verifica in termini di velocità .....	54
5.8.7	Valutazione delle deformazioni .....	54
5.8.8	Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante .....	55
5.9	Torrente Polistena (PK 1+573 - cfr. bacino 08M.2).....	56
5.9.1	Intervento in progetto.....	56
5.9.2	Verifica idraulica del manufatto di attraversamento.....	57
5.9.3	Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto .....	58
5.9.4	Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	59

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.9.5	Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	60
5.9.6	Verifica in termini di velocità .....	60
5.9.7	Valutazione delle deformazioni .....	61
5.9.8	Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante .....	62
5.10	Torrente Lupo (PK 1+442 - cfr. bacino 09M.0) .....	63
5.10.1	Intervento in progetto .....	63
5.10.2	Verifica idraulica del manufatto di attraversamento .....	63
5.10.3	Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto .....	64
5.10.4	Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	65
5.10.5	Verifica in termini di velocità.....	66
5.10.6	Valutazione delle deformazioni .....	66
5.10.7	Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e il terreno sottostante .....	67
5.11	Tombino PK 2+832 (asse T).....	68
5.11.1	Intervento in progetto .....	68
5.11.2	Verifica idraulica del manufatto di attraversamento .....	68

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Premessa

La presente relazione idraulica e descrittiva illustra gli interventi di sistemazione idraulica in progetto sui corsi d'acqua minori che la sede autostradale in progetto interseca lungo l'asse C (dalla pk 2+826 alla pk 1+442) e riporta i risultati delle verifiche sui manufatti di attraversamento e sui materiali previsti per le sistemazioni a monte e a valle, nonché gli esiti delle simulazioni idrauliche eseguite nell'ambito del progetto delle infrastrutture viarie di collegamento con il Ponte sullo Stretto di Messina nel versante calabrese.

I tombini oggetto di studio risultano interferenti con l'asse autostradale di raccordo al Ponte sullo Stretto nel versante Calabria e sono nel seguito elencati:

- PK 2+826        torrente Serro della Torre;
- PK 2+372        affluente di sinistra Zagarella 1;
- PK 2+104        affluente di sinistra Zagarella 2;
- PK 2+021        fosso Contrada di Pirgo;
- PK 1+921        acque di piattaforma DG87;
- PK 1+863        fosso Contrada di Pirgo;
- PK 1+805        fosso Contrada di Pirgo;
- PK 1+729        torrente Polistena;
- PK 1+573        torrente Polistena;
- PK 1+442        torrente Lupo;
- PK 2+832        acque di piattaforma DG87;

Mentre lo studio della configurazione di stato attuale ha eseguito la verifica del solo manufatto di attraversamento in progetto in ragione dell'ampliamento dell'autostrada A3, l'analisi di progetto esamina le sistemazioni idrauliche previste a monte e a valle e l'opera di attraversamento complessiva (con gli ingombri delle carreggiate di ampliamento della A3 e del collegamento al ponte sullo Stretto) al fine di rappresentare correttamente la funzionalità idraulica del sistema.

Per quanto attiene alla descrizione della metodologia adottata per il presente studio si rimanda interamente allo specifico elaborato "relazione metodologica".

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 1 Definizione della portata di progetto

Nell'analisi dello stato di fatto si è proceduto alla determinazione della portata Q per tempo di ritorno 200 anni.

I fossi oggetto di verifica idraulica presentano le seguenti caratteristiche idrologiche:

Tombino	Corso d'acqua	Bacino	Superficie	Lunghezza asta	QTR200 anni
pk			km <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup> /s
2+826	Serro della Torre	04.M.0	0,0373	340	2,40
2+372	Zagarella 1	06.M.1.1	0,0424	345	2,70
2+104	Zagarella 2	06.M.2.1	0,0486	625	3,20
2+021	Contrada Pirgo	07.M.1	0,0560	550	3,70
1+921	Acque piattaforma	-	-	-	0,90
1+863	Contrada Pirgo	07.M.2	0,0583	465	3,80
1+805	Contrada Pirgo	Bacino residuo	-	-	1,00
1+729	Polistena	08.M.1	0,0525	395	3,50
1+573	Polistena	08.M.2	0,0354	262	2,30
1+442	Lupo	09.M.0	0,0596	400	3,90

**Tabella 1.1 – Caratteristiche idrologiche dei fossi in esame.**

## 2 Analisi idrauliche

Le verifiche idrauliche per i manufatti di attraversamento e le sistemazioni previste sono state eseguite tramite un calcolo idrodinamico locale, per effetto della piccola dimensione del bacino di alimentazione e delle caratteristiche morfologiche della struttura di alveo, poco definita in termini geometrici e riconducibile a semplice incisione.

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<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>],
- area bagnata della sezione idraulica [m<sup>2</sup>];
- R raggio idraulico [m],

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- if 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 di progetto, in riferimento alla massima portata idrologica per tempo di ritorno assegnato (Tr 200 anni).

Il metodo di verifica adottato per i manufatti di attraversamento è il seguente:

- si è innanzitutto determinato il tipo di moto a cui è soggetta la corrente di piena a Tr 200 anni nel tratto a cavallo dell'opera di attraversamento; le caratteristiche altimetriche dei corsi d'acqua appartenenti al versante calabrese implicano che il deflusso avvenga 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,
- $\Delta h$  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 considerata adeguata quando la portata Tr 200 anni transitante al suo interno determina:

- un livello idrico (corrispondente al valore dell'altezza critica) tale da conferire uno

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- riempimento non superiore al 70 % dell'altezza dell'opera,
- che il rapporto tra il carico totale al lordo delle perdite concentrate e la dimensione verticale dell'opera non superi il valore 1.5 ( $H/D \leq 1.5$ ).

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

Per quanto attiene alle sezioni sistemate, esse sono state considerate adeguate idraulicamente quando la portata Tr200 anni transita interamente contenuta all'interno della sezione incisa sia in termini di tirante generato che di altezza critica. La scabrezza è stata assunta di valore congruente con le tipologie di rivestimento previste dal progetto.

### **3 Criteri generali di progetto degli interventi di sistemazione idraulica**

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

suolo è sufficientemente piccola da evitare l'erosione del materiale di base.

Qui di seguito verranno dunque effettuate per ciascuna sistemazione idraulica a monte e a valle dei tombini le seguenti verifiche:

- Verifica in termini di tensione di trascinamento del fondo e delle sponde:

La verifica della tensione di trascinamento sul fondo viene effettuata confrontando il valore di tensione tangenziale che viene esercitata sul rivestimento di fondo  $\tau_b$  con la tensione tangenziale critica  $\tau_c$  che può essere raggiunta senza movimento di pietrame:

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

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

dove  $d_m$  rappresenta il diametro medio del pietrame impiegato per il riempimento dei materassi metallici e dei gabbioni.

Per la verifica della stabilità delle sponde si è fatto riferimento alla tensione tangenziale  $\tau_m$  e alla tensione tangenziale critica  $\tau_s$ :

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

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \vartheta}{\sin^2 \varphi}}$$

dove  $\theta$  è l'angolo di inclinazione della sponda sull'orizzontale e  $\varphi$  è l'angolo di attrito del pietrame che costituisce il rivestimento (pari a 41° sulla base delle esperienze riportate in bibliografia).

- Verifica in termini di velocità:

La verifica è stata effettuata confrontando la velocità media lungo la sistemazione con la velocità critica e la velocità limite ammissibile per il materiale utilizzato nel rivestimento del fondo e delle sponde.

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Valutazione delle deformazioni:

Quando le tensioni tangenziali ( $\tau_b$  e  $\tau_m$ ) superano i valori critici di "primo movimento" ( $\tau_c$  e  $\tau_s$ ) parte del pietrame si sposta, all'interno di ciascuna tasca del materasso metallico o del gabbione, verso valle. Tuttavia, se la differenza tra le tensioni risultanti e le tensioni critiche non superano il 20%, il rivestimento continua a garantire la protezione del fondo e delle sponde, sebbene ci si debba aspettare qualche assestamento.

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il gabbione metallico non cambia sensibilmente.

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

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

- Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici tipo "Reno" e gabbioni metallici e il terreno sottostante:

La velocità dell'acqua al di sotto del rivestimento può essere calcolata con la formula di Manning:

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Verifica dei tombini in progetto

### 5.1 Torrente Serro della Torre (PK 2+826 - cfr. bacino 04M.0)

#### 5.1.1 Intervento in progetto

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 2+826; essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 76,80 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 2,0 x 2,0 m;
- pendenza di fondo 2,5%;
- l'opera è divisa in 2 tratte da 2 pozzetti di salto, rispettivamente di: 5,00 m (110,82 m s.l.m. – 105,82 m s.l.m.) e 2,31 m (105,58 m s.l.m. – 103,27 m s.l.m.).

A monte è presente lo scarico dei fossi di guardia in progetto DG87 e a valle è previsto un tratto di sistemazione 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 prevede il seguente intervento:

#### Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 3,0 m, altezza 1,50 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da gabbioni metallici di sponda e di rivestimento del fondo;
- lunghezza dell'intervento 25,0 m;
- sono previsti 5 salti di fondo di cui 4 di altezza pari a 2,0 m ed uno (il primo) di 1,50 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 3,3%;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.1.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale del bacino del torrente Serro della Torre è costituito da un tombino scatolare di dimensioni BxH=2.0x2.0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 2.5%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 2.4 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 26% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 0.82 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
26	0.53	2.00	1.06	4.68	4.96	2.42	2.05	1.65	0.33	0.82

**Tabella 5.1 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 2+826.**

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

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 3.0 m, larghezza in sommità di 7.5 m, altezza di 1.5 m e pendenza di fondo pari a circa il 3.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 21.33 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 25.33%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
3.56	0.05	3.16	0.16	0.72	0.12	0.12	1.007	0.08
7.11	0.11	3.32	0.34	1.12	0.38	0.34	1.119	0.17
10.67	0.16	3.48	0.52	1.43	0.74	0.63	1.186	0.26
14.22	0.21	3.64	0.71	1.70	1.21	0.98	1.234	0.36
17.78	0.27	3.80	0.91	1.94	1.76	1.39	1.271	0.46
21.33	0.32	3.96	1.11	2.16	2.41	1.85	1.301	0.56
25.33	0.38	4.14	1.36	2.38	3.23	2.43	1.329	0.67

**Tabella 5.2 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle alla pk 2+826.**

#### 5.1.4 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	y	i	d <sub>m</sub>	$\gamma_s$
VALLE TOMBINO	1000	0,32	0,033	0,15	2500

**Tabella 5.3 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	C*	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
VALLE TOMBINO	10,56	0,14	31,50	7,92	33,69	16,82

**Tabella 5.4 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, tali requisiti risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; non si ritiene dunque necessario procedere con la valutazione delle deformazioni.

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

### 5.1.5 Verifica in termini di velocità

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

VERIFICA VELOCITA'			
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica gabbioni (m/s)(*)	velocità limite gabbioni (m/s) (*)
	$v_m$	$v_c$	$v_l$
VALLE TOMBINO	2,16	6,40	8,00

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

**Tabella 5.5 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per gabbioni metallici.**

### 5.1.6 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici e il terreno sottostante

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

VERIFICA VELOCITA' CONTATTO					
TRATTO	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	$n_f$	$i_f$	$v_b$	$v_e$	$v_b \text{ geotes } (1/3v_b)$
VALLE TOMBINO	0,02	0,033	1,62	0,75 - 0,90	0,54

**Tabella 5.6 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità  $v_b$  risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base  $v_e$ , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato ( $v_b \text{ geotes}$ ).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.2 Affluente Zagarella 1 (PK 2+372 - cfr. bacino 06M.1.1)

### 5.2.1 Intervento in progetto

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 2+372; essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 122,60 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 2,0 x 2,0 m;
- pendenza di fondo 2,5%;
- l'opera è divisa in 3 tratte da 2 pozzetti di salto, rispettivamente di: 4,50 m (88,81 m s.l.m. – 84,31 m s.l.m.) e 4,48 m (77,38 m s.l.m. – 72,90 m s.l.m.).

A monte è presente una sistemazione idraulica in progetto DG87, che non verrà modificata dal presente progetto; a valle, in seguito al prolungamento del tombino, è previsto un tratto di sistemazione in gabbioni metallici con lo scopo di raccordare l'opera all'alveo sistemato del torrente Zagarella 1 e di proteggere la sezione attuale da erosioni o scalzamenti localizzati.

Nel dettaglio si prevede il seguente intervento:

#### Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione rettangolare di larghezza 3,0 m e altezza 2,00 m, costituita da gabbioni metallici di sponda e di rivestimento del fondo, per un tratto di 5,00 m dopo i salti, e da materassi metallici per il tratto di raccordo all'alveo sistemato del t. Zagarella 1;
- lunghezza dell'intervento 52,40 m circa;
- sono previsti 3 salti di fondo di altezza pari a 2,0 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 3%;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>;
- nel tratto terminale è previsto un gabbione di ammorsamento di lunghezza 2,00 m e spessore 0,5 m.

### 5.2.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale dell'affluente dello Zagarella 1 è costituito da un

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

tombino scatolare di dimensioni BxH=2.0x2.0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 2.5%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 2.7 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 28.5% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 0.88 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
28.50	0.57	2.00	1.14	4.83	5.50	2.70	2.042	1.76	0.36	<b>0.88</b>

**Tabella 5.7 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 2+372.**

### **5.2.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto**

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici, secondo un andamento altimetrico caratterizzato da 3 salti di fondo. La sezione di progetto ha forma rettangolare caratterizzata da una larghezza di base pari a 3.0 m, altezza di 2.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 3.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 19.5 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

sezione di progetto con uno riempimento pari al 22.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
3.25	0.07	3.00	0.20	0.82	0.16	0.16	1.023	0.10
6.50	0.13	3.00	0.39	1.26	0.49	0.44	1.117	0.21
9.75	0.20	3.00	0.59	1.61	0.94	0.81	1.164	0.33
13.00	0.26	3.00	0.78	1.90	1.48	1.25	1.191	0.44
16.25	0.33	3.00	0.98	2.16	2.10	1.74	1.207	0.56
19.50	0.39	3.00	1.17	2.38	2.78	2.29	1.216	0.68
22.00	0.44	3.00	1.32	2.53	3.34	2.74	1.219	0.77

**Tabella 5.8 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle pk 2+372.**

#### 5.2.4 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	y	i	d <sub>m</sub>	$\gamma_s$
VALLE TOMBINO	1000	0,39	0,03	0,15	2500

**Tabella 5.9 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	C*	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
VALLE TOMBINO	11,7	0,14	31,50	8,78	90,00	18,90

**Tabella 5.10 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, tali requisiti risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; non si ritiene dunque necessario procedere con la valutazione delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

pietra di pezzatura media non inferiore ai 15 cm di diametro ( $d_m$ ). Per il tratto con rivestimento in materassi metallici, la pezzatura media può essere prevista di dimensione non inferiore a 10 cm (le tensioni critiche  $\tau_c = 21,00 \text{ kg/m}^2$  e  $\tau_s = 12,60 \text{ kg/m}^2$  risultano comunque superiori alle tensioni tangenziali che si verificano sul fondo e sulle sponde).

### 5.2.5 Verifica in termini di velocità

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

VERIFICA VELOCITA'					
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s) (*)	velocità critica gabbioni (m/s)(**)	velocità limite gabbioni (m/s) (**)
	$v_m$	$v_c$	$v_l$	$v_c$	$v_l$
VALLE TOMBINO	2,38	5,00	6,40	6,40	8,00

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

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

**Tabella 5.11 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici e gabbioni.**

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

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

VERIFICA VELOCITA' CONTATTO					
TRATTO	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	$n_f$	$i_f$	$v_b$	$v_e$	$v_b \text{ geotes } (1/3v_b)$
VALLE TOMBINO	0,02	0,03	1,54	0,75 - 0,90	0,51

**Tabella 5.12 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità  $v_b$  risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base  $v_e$ , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato ( $v_b \text{ geotes}$ ).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.3 Affluente Zagarella 2 (PK 2+104 - cfr. bacino 06M.2.1)

#### 5.3.1 Intervento in progetto

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 2+104; essa verrà attraversata da un tombino circolare in c.a. di lunghezza 116,40 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne DN1500 mm;
- pendenza di fondo 2,0%;
- l'opera è divisa in 4 tratte da 4 pozzetti di salto, rispettivamente di: 8,11 m (98,06 m s.l.m. – 89,95 m s.l.m.), 3,45 m (89,58 m s.l.m. – 86,13 m s.l.m.), 3,66 m (85,61 m s.l.m. – 81,95 m s.l.m.) e 4,34 m (81,39 m s.l.m. – 77,05 m s.l.m.).

A monte e a valle sono previsti due tratti di sistemazione in gabbioni metallici e in materassi metallici tipo "Reno" con lo scopo di raccordare l'opera all'incisione naturale e, 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 una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 1,50 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da gabbioni metallici di spessore 50 cm;
- lunghezza dell'intervento 26,00 m;
- quota di inizio sistemazione 110,28 m s.l.m.; quota di immissione nel pozzetto di imbocco del tombino 98,06 m s.l.m.;
- la pendenza di progetto è definita pari al 47%;
- nelle sezioni iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 1,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo con gabbioni metallici di spessore 1,00 m per garantire un migliore ammorsamento 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/m<sup>2</sup>.

#### Tratto a valle dell'autostrada:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 1,50 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da materassi metallici tipo “Reno” di spessore 30 cm;
- lunghezza dell’intervento 30,0 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 11%;
- nelle sezioni iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 2,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo in materassi metallici con gabbioni metallici di spessore 0,50 m per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l’intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

### 5.3.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale dell’affluente dello Zagarella 2 è costituito da un tombino circolare di diametro 1500 mm. L’opera ha una pendenza di fondo pari al 2.0%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell’autostrada è pari a 3.2 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 62% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 1.4 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
62.00	0.93	1.46	1.15	4.78	5.50	3.20	1.718	2.10	0.35	1.40

**Tabella 5.13 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 2+104.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Il tratto di monte del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in materassi metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 1.5 m, larghezza in sommità di 4.5 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 47.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}^{-1}$ .

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme utilizzando l'espressione di Chezy; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è abbondantemente contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 25.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 63.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
4.17	0.04	1.63	0.07	2.38	0.16	0.04	3.802	0.33
8.33	0.08	1.75	0.14	3.66	0.50	0.12	4.206	0.77
12.50	0.13	1.88	0.21	4.67	0.98	0.22	4.444	1.24
16.67	0.17	2.00	0.29	5.51	1.61	0.35	4.610	1.72
20.83	0.21	2.13	0.38	6.26	2.36	0.50	4.738	2.20
25.00	0.25	2.25	0.47	6.92	3.24	0.67	4.841	2.69
63.00	0.63	3.39	1.54	11.32	17.44	3.25	5.362	7.16

**Tabella 5.14 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di monte alla pk 2+104.**

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

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 1.5 m, larghezza in sommità di 4.5 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa all'11.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}^{-1}$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 38.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 63.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-
0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.33	0.06	1.69	0.10	1.50	0.15	0.08	0.18
12.67	0.13	1.88	0.21	2.28	0.49	0.23	0.39
19.00	0.19	2.07	0.34	2.87	0.97	0.43	0.61
25.33	0.25	2.26	0.48	3.37	1.61	0.68	0.83
31.67	0.32	2.45	0.63	3.81	2.38	0.99	1.06
38.00	0.38	2.64	0.79	4.20	3.30	1.34	1.28
63.00	0.63	3.39	1.54	5.48	8.44	3.25	2.16

**Tabella 5.15 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle alla progressiva km 2+104.**

### 5.3.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	y	i	d <sub>m</sub>	$\gamma_s$
MONTE TOMBINO	1000	0,19	0,47	0,24	2500
VALLE TOMBINO	1000	0,3	0,11	0,1	2500

**Tabella 5.16 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	C*	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
MONTE TOMBINO	89,3	0,14	50,40	66,98	33,69	30,24
VALLE TOMBINO	33	0,14	21,00	24,75	33,69	12,60

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

**Tabella 5.17 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, per i tratti di monte e di valle, tali requisiti non risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; si ammette dunque che si possano verificare delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore ai 24 cm di diametro ( $d_m$ ). Per il tratto di valle con rivestimento in materassi metallici, la pezzatura media può essere prevista di dimensione non inferiore a 10 cm.

### 5.3.6 Verifica in termini di velocità

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

VERIFICA VELOCITA'					
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s) (*)	velocità critica gabbioni (m/s)(**)	velocità limite gabbioni (m/s) (**)
	$v_m$	$v_c$	$v_l$	$v_c$	$v_l$
MONTE TOMBINO	6,27			6,40	8,00
VALLE TOMBINO	3,96	5,00	6,40		

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

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

**Tabella 5.18 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici e gabbioni.**

### 5.3.7 Valutazione delle deformazioni

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 5.3.5 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo (kg/m <sup>2</sup> )	controllo deformazioni sponde (kg/m <sup>2</sup> )
	$1,2 \tau_c$	$1,2 \tau_s$
MONTE TOMBINO	60,48	36,29
VALLE TOMBINO	25,20	15,12

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

**Tabella 5.19 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il materasso metallico o sotto il gabbione non cambia sensibilmente.

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

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

Le condizioni di verifica per il caso in esame sono riportate nella seguente tabella:

TRATTO	VERIFICA DEFORMAZIONI							
	coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore rivestim. fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore rivestim. sponde (m)	verifica
	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)
MONTE TOMBINO	0,11	1,62	0,50	2,17	0,10	1,60	0,50	2,17
VALLE TOMBINO	0,08	1,55	0,30	4,00	0,08	1,55	0,30	4,00

**Tabella 5.20 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Le deformazioni che potranno verificarsi sul fondo e sulle sponde nei tratti di sistemazione idraulica di monte e di valle del tombino risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

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

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA VELOCITA' CONTATTO					
TRATTO	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammisibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	$n_f$	$i_f$	$v_b$	$v_e$	$v_b$ geotes
MONTE TOMBINO	0,025	0,47	6,67	0,75 - 0,90	1,67 (1/4 $v_b$ )
VALLE TOMBINO	0,02	0,11	2,25	0,75 - 0,90	0,75 (1/3 $v_b$ )

**Tabella 5.21 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità  $v_b$  risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base  $v_e$ , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato ( $v_b$  geotes).

Nel tratto a monte, considerata l'elevata velocità di contatto che si verifica tra il rivestimento e il terreno, si prevede di inserire un filtro in geotessile accoppiato ad un sottile strato di ghiaietto (5 - 10 cm).

## **5.4 Fosso Contrada di Pirgo (PK 2+021 - cfr. bacino 07M.1)**

### **5.4.1 Intervento in progetto**

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 2+021; essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 116,40 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 2,0 x 2,0 m;
- pendenza di fondo 2,5%;
- l'opera è divisa in 5 tratte da 5 pozzetti di salto, rispettivamente di: 4,81 m (93,33 m s.l.m. – 88,52 m s.l.m.), 3,19 m (88,52 m s.l.m. – 85,33 m s.l.m.), 3,86 m (84,76 m s.l.m. – 80,90 m s.l.m.), 3,14 m (80,51 m s.l.m. – 77,37 m s.l.m.) e 2,26 m (76,62 m s.l.m. – 74,36 m s.l.m.).

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nel dettaglio si prevedono i seguenti interventi:

Tratto a monte dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 2,50 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da gabbioni metallici di spessore 50 cm;
- lunghezza dell'intervento 10,00 m;
- quota di inizio sistemazione 96,03 m s.l.m.; quota di immissione nel pozzetto di imbocco del tombino 93,33 m s.l.m.;
- la pendenza di progetto è definita pari al 27%;
- nelle sezioni iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 1,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo con gabbioni metallici di spessore 1,00 m per garantire un migliore ammorsamento 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/m<sup>2</sup>.

Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 2,50 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm;
- lunghezza dell'intervento 15,00 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 17%;
- nella sezione terminale è prevista, su uno sviluppo di 1,00 m, la sostituzione del rivestimento di fondo in materassi metallici con gabbioni metallici di spessore 1,00 m per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

#### **5.4.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento**

Il manufatto di attraversamento autostradale del fosso Contrada di Pirgo (ramo di destra) è costituito da un tombino scatolare di dimensioni BxH=2.0x2.0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 2.5%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 3.7

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 35% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 1.07 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
35	0.71	2.00	1.42	5.28	7.50	3.75	2.00	2.13	0.43	1.07

**Tabella 5.22 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 2+021.**

### **5.4.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto**

Il tratto di monte del fosso viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in materassi metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.5 m, larghezza in sommità di 5.5 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 27.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme utilizzando l'espressione di Chezy; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è abbondantemente contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 24.0%; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 55.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
4.00	0.04	2.62	0.10	1.78	0.18	0.06	2.882	0.20
8.00	0.08	2.74	0.21	2.78	0.58	0.18	3.205	0.47
12.00	0.12	2.86	0.32	3.57	1.15	0.34	3.400	0.77
16.00	0.16	2.98	0.44	4.25	1.86	0.53	3.540	1.08
20.00	0.20	3.10	0.56	4.86	2.72	0.75	3.648	1.40
24.00	0.24	3.22	0.69	5.40	3.71	0.99	3.735	1.73
55.00	0.55	4.15	1.83	8.57	15.68	3.80	4.124	4.30

**Tabella 5.23 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di monte alla pk 2+021.**

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

Il tratto di valle del fosso viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.5 m, larghezza in sommità di 5.5 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari al 17.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 28.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 56.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
4.67	0.05	2.64	0.12	1.56	0.19	0.08	2.342	0.17
9.33	0.09	2.78	0.25	2.43	0.60	0.23	2.602	0.39
14.00	0.14	2.92	0.38	3.11	1.18	0.43	2.757	0.63
18.67	0.19	3.06	0.52	3.70	1.92	0.67	2.868	0.88
23.33	0.23	3.20	0.67	4.22	2.80	0.95	2.953	1.14
28.00	0.28	3.34	0.82	4.68	3.83	1.27	3.022	1.40
56.00	0.56	4.18	1.87	6.87	12.85	3.92	3.279	2.97

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

**Tabella 5.24 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle alla progressiva km 2+021.**

#### 5.4.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	$y$	$i$	$d_m$	$\gamma_s$
MONTE TOMBINO	1000	0,25	0,27	0,18	2500
VALLE TOMBINO	1000	0,28	0,17	0,15	2500

**Tabella 5.25 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	$C^*$	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
MONTE TOMBINO	67,5	0,14	37,80	50,63	33,69	22,68
VALLE TOMBINO	47,6	0,14	31,50	35,70	33,69	18,90

**Tabella 5.26 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, per i tratti di monte e di valle, tali requisiti non risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; si ammette dunque che si possano verificare delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore ai 18 cm di diametro ( $d_m$ ). Per il tratto di valle con rivestimento in materassi metallici, la pezzatura media può essere prevista di dimensione non inferiore a 15 cm.

#### 5.4.6 Verifica in termini di velocità

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

VERIFICA VELOCITA'					
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s) (*)	velocità critica gabbioni (m/s)(**)	velocità limite gabbioni (m/s) (**)
	V <sub>m</sub>	V <sub>c</sub>	V <sub>l</sub>	V <sub>c</sub>	V <sub>l</sub>
MONTE TOMBINO	5,58			6,40	8,00
VALLE TOMBINO	4,68	5,00	6,40		

(\*): materassi tipo Reno, spessore 0,30 m, pietrame di riempimento con pezzatura 100-150 mm, d<sub>50</sub> = 0,125 m;

(\*\*): gabbioni, spessore 0,50 m, pietrame di riempimento con pezzatura 120-250 mm, d<sub>50</sub> = 0,190 m.

**Tabella 5.27 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici e gabbioni.**

#### 5.4.7 Valutazione delle deformazioni

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 5.4.5 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo (kg/m <sup>2</sup> )	controllo deformazioni sponde (kg/m <sup>2</sup> )
	1,2 τ <sub>c</sub>	1,2 τ <sub>s</sub>
MONTE TOMBINO	45,36	27,22
VALLE TOMBINO	37,80	22,68

**Tabella 5.28 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il materasso metallico o sotto il gabbione non cambia sensibilmente.

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

Le condizioni di verifica per il caso in esame sono riportate nella seguente tabella:

TRATTO	VERIFICA DEFORMAZIONI							
	coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore rivestim. fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore rivestim. sponde (m)	verifica
	$C^*i$	$Dz/d_m$	s	$2(s/d_m-1)$	$C^*i$	$Dz/d_m$	s	$2(s/d_m-1)$
MONTE TOMBINO	0,11	1,62	0,50	3,56	0,10	1,60	0,50	3,56
VALLE TOMBINO	0,07	1,50	0,30	2,00	0,07	1,50	0,30	2,00

**Tabella 5.29 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Le deformazioni che potranno verificarsi sul fondo e sulle sponde nei tratti di sistemazione idraulica di monte e di valle del tombino risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

#### **5.4.8 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e gabbioni e il terreno sottostante**

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

TRATTO	VERIFICA VELOCITA' CONTATTO				
	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	$n_f$	$i_f$	$v_b$	$v_e$	$v_b \text{ geotes } (1/4 v_b)$
MONTE TOMBINO	0,025	0,27	4,17	0,75 - 0,90	1,04
VALLE TOMBINO	0,02	0,17	3,67	0,75 - 0,90	0,92

**Tabella 5.30 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità  $v_b$  risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base  $v_e$ , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato ( $v_b \text{ geotes}$ ).

Nel tratto a monte, considerata l'elevata velocità di contatto che si verifica tra il rivestimento e il terreno, si prevede di inserire un filtro in geotessile accoppiato ad un sottile strato di ghiaietto (5 - 10 cm).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.5 Fosso Contrada di Pirgo bacino residuo II (PK 1+921)

### 5.5.1 Intervento in progetto

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 1+921; essa verrà attraversata da un tombino circolare in c.a. di lunghezza 129,50 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne DN 1500 mm;
- pendenza di fondo 2,5%;
- l'opera è divisa in 5 tratte da 4 pozzetti di salto, rispettivamente di: 3,44 m (89,24 m s.l.m. – 85,80 m s.l.m.), 3,35 m (85,06 m s.l.m. – 81,71 m s.l.m.), 3,75 m (81,58 m s.l.m. – 77,83 m s.l.m.) e 5,00 m (77,35 m s.l.m. – 72,35 m s.l.m.)

Il tombino in esame è funzionale allo scarico delle acque di piattaforma per l'ampliamento autostradale SA-RC di competenza DG87. Tale opera non intercetta alcun bacino idrografico e al suo interno non si prevedono ulteriori scarichi di acque di piattaforma derivanti dal presente progetto Ponte.

A valle del manufatto di attraversamento è previsto lo sbocco in una canaletta trapezia che inizia in corrispondenza del piede del rilevato, intercetta le acque di scarico e le recapita nella sistemazione di valle del tombino ubicato a pk 1+863 (cfr. paragrafo 5.6.1).

#### Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 0,80 m, altezza 0,80 m e pendenza delle sponde 1/1, rivestita in calcestruzzo di spessore 15 cm;
- lunghezza dell'intervento: 27,0 m a monte dello sbocco lungo il rilevato autostradale, 3,45 m dallo sbocco del tombino alla confluenza del tratto di monte, 58,0 m dalla confluenza alla sistemazione dell'opera a pk 1+863.

### 5.5.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale del bacino residuo del fosso Contrada di Pirgo è costituito da un tombino circolare di diametro 1500 mm. L'opera ha una pendenza di fondo pari al

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2.0%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 0.90 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 32% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 0.75 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m2)	(m/s)	(m3/s)	(m3/s)	-	(m)	(m)	-
32.00	0.48	1.40	0.49	3.55	1.73	0.90	1.919	1.12	0.19	0.75

**Tabella 5.31 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 1+921.**

### **5.5.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto**

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite la realizzazione di una canaletta in cls. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 0.8 m, larghezza in sommità di 2.4 m, altezza di 0.8 m e pendenza di fondo pari a circa il 2.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 53.75 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sezione di progetto con uno riempimento sempre pari al 53.75%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00%	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
8.96%	0.07	0.94	0.06	0.67	0.04	0.05	0.827	0.09
17.92%	0.14	1.09	0.14	0.99	0.13	0.15	0.893	0.19
26.88%	0.22	1.23	0.22	1.22	0.27	0.29	0.928	0.29
35.83%	0.29	1.37	0.31	1.42	0.44	0.46	0.951	0.39
44.79%	0.36	1.52	0.42	1.59	0.66	0.68	0.969	0.49
53.75%	0.43	1.66	0.53	1.74	0.92	0.94	0.983	0.58

**Tabella 5.32 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle alla pk 1+921.**

## **5.6 Fosso Contrada di Pirgo 1 (PK 1+863 - cfr. bacino 07M.2)**

### **5.6.1 Intervento in progetto**

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 1+863; essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 136,25 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 2,0 x 2,0 m;
- pendenza di fondo 2,5%;
- l'opera è divisa in 5 tratte da 5 pozzetti di salto, rispettivamente di: 2,67 m (92,96 m s.l.m. – 90,29 m s.l.m.), 4,09 m (89,74 m s.l.m. – 85,65 m s.l.m.), 2,81 m (85,28 m s.l.m. – 82,47 m s.l.m.), 3,70 m (81,76 m s.l.m. – 78,06 m s.l.m.) e 3,80 m (77,42 m s.l.m. – 73,62 m s.l.m.).

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

Nella sistemazione di valle converge la canaletta a sezione trapezia rivestita in cls che raccoglie le acque provenienti dal tombino a pk 1+921 (cfr. paragrafo 5.5.1) e le acque al piede del rilevato. La stessa sistemazione si congiunge, dopo un tratto in circa di 16,70 m di lunghezza, con l'inalveazione di valle del tombino a pk 1+805 (cfr. paragrafo 5.7.1)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Nel dettaglio si prevedono i seguenti interventi:

Tratto a monte dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 2,50 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da gabbioni metallici di spessore 50 cm;
- lunghezza dell'intervento 15,00 m;
- quota di inizio sistemazione 94,15 m s.l.m.; quota di immissione nel pozzetto di imbocco del tombino 92,96 m s.l.m.;
- la pendenza di progetto è definita pari a 14,8% per i primi 7,3 m e pari a 1,3% per i successivi 7,7 m;
- nelle sezioni iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 1,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo con gabbioni metallici di spessore 1,00 m per garantire un migliore ammorsamento 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/m<sup>2</sup>.

Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 2,00 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da gabbioni metallici di spessore 50 cm;
- lunghezza dell'intervento 16,70 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 16%;
- nella sezione iniziale è prevista, su uno sviluppo di 2,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo con gabbioni metallici di spessore 1,00 m per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

## 5.6.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale del bacino del fosso Contrada di Pirgo 1 è costituito da un tombino scatolare di dimensioni BxH=2.0x2.0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 2.5%.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 3.8 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 36% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 1.08 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
36	0.72	2.00	1.44	5.31	7.64	3.83	2.00	2.16	0.43	1.08

**Tabella 5.33 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 1+863.**

### **5.6.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a monte dell'autostrada in progetto**

Il tratto di monte del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in materassi metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.5 m, larghezza in sommità di 5.5 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa l'1.3 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme utilizzando l'espressione di Chezy; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è abbondantemente contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 59.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

pari al 59.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
9.83	0.10	2.80	0.26	0.69	0.18	0.25	0.725	0.12
19.67	0.20	3.09	0.55	1.05	0.58	0.73	0.799	0.25
29.50	0.30	3.39	0.87	1.33	1.16	1.38	0.841	0.39
39.33	0.39	3.68	1.22	1.57	1.91	2.19	0.871	0.52
49.17	0.49	3.98	1.59	1.77	2.82	3.15	0.894	0.65
59.00	0.59	4.27	2.00	1.95	3.90	4.28	0.912	0.78

**Tabella 5.34 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di monte a pk 1+863.**

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

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.0 m, larghezza in sommità di 5.0 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 16.2 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 32.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 62.00%. Nel tratto a valle della confluenza con la sistemazione del tombino 1+921 (Q Tr200 = 0,9 m<sup>3</sup>/s), la portata complessiva duecentennale di 4,7 m<sup>3</sup>/s determina un tirante idrico di 0,39 m e un grado di riempimento del 39%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
5.33	0.05	2.16	0.11	1.65	0.18	0.08	2.327	0.19
10.67	0.11	2.32	0.23	2.54	0.59	0.23	2.576	0.44
16.00	0.16	2.48	0.36	3.24	1.16	0.43	2.722	0.70

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
21.33	0.21	2.64	0.49	3.83	1.90	0.67	2.825	0.96
26.67	0.27	2.80	0.64	4.35	2.78	0.96	2.904	1.23
32.00	0.32	2.96	0.79	4.81	3.82	1.29	2.968	1.50
62.00	0.62	3.86	1.82	6.87	12.48	3.90	3.196	3.02

**Tabella 5.35 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle a pk 1+863.**

### 5.6.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	y	i	d <sub>m</sub>	$\gamma_s$
MONTE TOMBINO	1000	0,59	0,148	0,24	2500
VALLE TOMBINO	1000	0,39	0,16	0,20	2500

**Tabella 5.36 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	C*	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
MONTE TOMBINO	87,32	0,14	50,40	65,49	33,69	30,24
VALLE TOMBINO	62,4	0,14	42,00	46,80	33,69	25,20

**Tabella 5.37 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, per i tratti di monte e di valle, tali requisiti non risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; si ammette dunque che si possano verificare delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore ai 24 cm di diametro (d<sub>m</sub>) per il tratto di monte e ai 20 cm per il tratto di valle.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.6.6 Verifica in termini di velocità

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

VERIFICA VELOCITA'			
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica gabbioni (m/s)(*)	velocità limite gabbioni (m/s) (*)
	$V_m$	$V_c$	$V_l$
MONTE TOMBINO	5,58	6,40	8,00
VALLE TOMBINO	5,41	6,40	8,00

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

**Tabella 5.38 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per gabbioni metallici.**

### 5.6.7 Valutazione delle deformazioni

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 5.6.5 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo (kg/m <sup>2</sup> )	controllo deformazioni sponde (kg/m <sup>2</sup> )
	$1,2 \tau_c$	$1,2 \tau_s$
MONTE TOMBINO	60,48	36,29
VALLE TOMBINO	50,40	30,24

**Tabella 5.39 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il gabbione metallico non cambia sensibilmente.

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

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

Le condizioni di verifica per il caso in esame sono riportate nella seguente tabella:

TRATTO	VERIFICA DEFORMAZIONI							
	coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore rivestim. fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore rivestim. sponde (m)	verifica
	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)
MONTE TOMBINO	0,10	1,60	0,50	2,17	0,10	1,60	0,50	2,17
VALLE TOMBINO	0,07	1,50	0,50	3,00	0,09	1,50	0,50	3,00

**Tabella 5.40 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Le deformazioni che potranno verificarsi sul fondo e sulle sponde nei tratti di sistemazione idraulica di monte e di valle del tombino risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

### 5.6.8 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici e il terreno sottostante

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

TRATTO	VERIFICA VELOCITA' CONTATTO				
	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	n <sub>f</sub>	i <sub>f</sub>	v <sub>b</sub>	v <sub>e</sub>	v <sub>b</sub> geotes (1/4 v <sub>b</sub> )
MONTE TOMBINO	0,025	0,148	3,74	0,75 - 0,90	0,94
VALLE TOMBINO	0,02	0,16	3,59	0,75 - 0,90	0,90

**Tabella 5.41 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità v<sub>b</sub> risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base v<sub>e</sub>, è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato (v<sub>b</sub> geotes).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nel tratto a monte, considerata l'elevata velocità di contatto che si verifica tra il rivestimento e il terreno, si prevede di inserire un filtro in geotessile accoppiato ad un sottile strato di ghiaietto (5 - 10 cm).

## **5.7 Fosso Contrada di Pirgo bacino residuo (PK 1+805)**

### **5.7.1 Intervento in progetto**

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 1+805; essa verrà attraversata da un tombino circolare in c.a. di lunghezza 136,25 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne DN 1500 mm;
- pendenza di fondo 2,0%;
- l'opera è divisa in 6 tratte da 5 pozzetti di salto, rispettivamente di: 3,79 m (94,89 m s.l.m. – 91,10 m s.l.m.), 3,75 m (90,58 m s.l.m. – 86,83 m s.l.m.), 3,65 m (86,32 m s.l.m. – 82,67 m s.l.m.), 4,69 m (82,11 m s.l.m. – 77,42 m s.l.m.) e 3,51 m (76,62 m s.l.m. – 73,11 m s.l.m.).

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

Nella sistemazione di valle converge l'inalveazione di valle del tombino a pk 1+863 (cfr. paragrafo 5.6.1)

Nel dettaglio si prevedono i seguenti interventi:

#### Tratto a monte dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 2,50 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da gabbioni metallici di spessore 50 cm;
- lunghezza dell'intervento 22,00 m;
- quota di inizio sistemazione 105,36 m s.l.m.; quota di immissione nel pozzetto di imbocco del tombino 94,89 m s.l.m.;
- la pendenza di progetto è definita pari a 47%;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- nelle sezioni iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 1,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo con gabbioni metallici di spessore 1,00 m per garantire un migliore ammorsamento 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/m<sup>2</sup>.

Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 2,00 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da gabbioni metallici di spessore 50 cm;
- lunghezza dell'intervento 30,00 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 12,7%;
- nella sezione iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 2,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo con gabbioni metallici di spessore 1,00 m per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

### 5.7.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale del bacino residuo del fosso compreso tra i fossi Contrada di Pirgo e Contrada di Pirgo 1 è costituito da un tombino circolare di diametro 1500 mm. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 2.0%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 1.0 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 34.0% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 0.80 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
34.00	0.51	1.42	0.53	3.66	1.94	1.01	1.916	1.19	0.21	0.80

**Tabella 5.42 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 1+805.**

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

Il tratto di monte del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in materassi metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.5 m, larghezza in sommità di 5.5 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 47.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme utilizzando l'espressione di Chezy; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è abbondantemente contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 10.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 25.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
1.67	0.02	2.55	0.04	1.33	0.06	0.02	3.305	0.11
3.33	0.03	2.60	0.09	2.09	0.18	0.05	3.694	0.26
5.00	0.05	2.65	0.13	2.72	0.35	0.09	3.937	0.43
6.67	0.07	2.70	0.17	3.27	0.57	0.14	4.114	0.61
8.33	0.08	2.75	0.22	3.76	0.82	0.19	4.254	0.80
10.00	0.10	2.80	0.27	4.21	1.12	0.26	4.370	1.00
25.00	0.25	3.25	0.72	7.30	5.24	1.06	4.954	2.96

**Tabella 5.43 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di monte a pk 1+805.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.0 m, larghezza in sommità di 5.0 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa all'12.7 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}^{-1}$ .

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 16.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 29.33%. Nel tratto a valle della confluenza con la sistemazione del tombino 1+863 ( $Q \text{ Tr}200 = 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la portata complessiva duecentennale di  $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$  determina un tirante idrico di 0,47 m e un grado di riempimento del 47% circa.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
2.67	0.03	2.08	0.05	0.94	0.05	0.03	1.850	0.07
5.33	0.05	2.16	0.11	1.46	0.16	0.08	2.061	0.16
8.00	0.08	2.24	0.17	1.89	0.32	0.15	2.189	0.26
10.67	0.11	2.32	0.23	2.25	0.52	0.23	2.281	0.36
13.33	0.13	2.40	0.29	2.58	0.76	0.32	2.352	0.47
16.00	0.16	2.48	0.36	2.87	1.03	0.43	2.410	0.58
29.33	0.29	2.88	0.72	4.06	2.91	1.12	2.601	1.13
47.00	0.47	3.13	1.09	5.28	5.74	2.19	2.622	1.89

**Tabella 5.44 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle alla progressiva km 1+805.**

#### 5.7.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	y	i	d <sub>m</sub>	$\gamma_s$
MONTE TOMBINO	1000	0,1	0,47	0,15	2500
VALLE TOMBINO	1000	0,47	0,127	0,20	2500

**Tabella 5.45 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	C*	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
MONTE TOMBINO	47	0,14	31,50	35,25	33,69	18,90
VALLE TOMBINO	59,69	0,14	42,00	44,77	33,69	25,20

**Tabella 5.46 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto tali requisiti non risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; si ammette dunque che si possano verificare delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore ai 15 cm di diametro (d<sub>m</sub>) per il tratto di monte e non inferiore ai 20 cm per il tratto di valle.

### 5.7.6 Verifica in termini di velocità

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

VERIFICA VELOCITA'			
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica gabbioni (m/s)(*)	velocità limite gabbioni (m/s) (*)
	V <sub>m</sub>	V <sub>c</sub>	V <sub>l</sub>
MONTE TOMBINO	4,21	6,40	8,00
VALLE TOMBINO	5,28	6,40	8,00

(\*): gabbioni, spessore 0,50 m, pietrame di riempimento con pezzatura 120-250 mm, d<sub>50</sub> = 0,190 m.

**Tabella 5.47 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per gabbioni metallici.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

### 5.7.7 Valutazione delle deformazioni

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 5.7.5 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo (kg/m <sup>2</sup> )	controllo deformazioni sponde (kg/m <sup>2</sup> )
	1,2 τ <sub>c</sub>	1,2 τ <sub>s</sub>
MONTE TOMBINO	37,80	22,68
VALLE TOMBINO	50,40	30,24

**Tabella 5.48 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il gabbione metallico non cambia sensibilmente.

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

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

Le condizioni di verifica per il caso in esame sono riportate nella seguente tabella:

TRATTO	VERIFICA DEFORMAZIONI							
	coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore rivestim. fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore rivestim. sponde (m)	verifica
	C <sup>*i</sup>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)	C <sup>*i</sup>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)
MONTE TOMBINO	0,07	1,50	0,50	4,67	0,07	1,50	0,50	4,67
VALLE TOMBINO	0,06	1,48	0,50	3,00	0,07	1,50	0,50	3,00

**Tabella 5.49 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le deformazioni che potranno verificarsi sul fondo e sulle sponde nei tratti di sistemazione idraulica di monte e di valle del tombino risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

### 5.7.8 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici e il terreno sottostante

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

VERIFICA VELOCITA' CONTATTO					
TRATTO	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	$n_f$	$i_f$	$v_b$	$v_e$	$v_b \text{ geotes } (1/4 v_b)$
MONTE TOMBINO	0,025	0,47	4,88	0,75 - 0,90	1,22
VALLE TOMBINO	0,02	0,127	3,49	0,75 - 0,90	0,87

**Tabella 5.50 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità  $v_b$  risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base  $v_e$ , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato ( $v_b \text{ geotes}$ ).

Nel tratto a monte, considerata l'elevata velocità di contatto che si verifica tra il rivestimento e il terreno, si prevede di inserire un filtro in geotessile accoppiato ad un sottile strato di ghiaietto (5 - 10 cm).

## 5.8 Torrente Polistena (PK 1+729 - cfr. bacino 08M.1)

### 5.8.1 Intervento in progetto

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 1+729; essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 107,80 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 4,0 x 4,0 m;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- pendenza di fondo 3,0%;
- l'opera è divisa in 2 tratte da 1 pozzetto di salto di 2,50 m (92,22 m s.l.m. – 89,72 m s.l.m.).

A monte e a valle sono previsti due tratti di sistemazione in gabbioni metallici e in materassi metallici tipo "Reno" con lo scopo di raccordare l'opera all'incisione naturale e, 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 una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 1,00 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm;
- lunghezza dell'intervento 10,0 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 6,2%;
- nella sezione iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 2,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo in materassi metallici con gabbioni metallici di spessore 0,50 m per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 4,00 m, altezza 1,50 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm e da gabbioni metallici di spessore 50 cm a valle dei salti;
- lunghezza dell'intervento 65,0 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 13%;
- nella sezione terminale è prevista, su uno sviluppo di 2,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo in materassi metallici con gabbioni metallici di spessore 0,50 m per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.8.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale del bacino torrente del Polistena è costituito da un tombino scatolare di dimensioni BxH=4.0x4.0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 3.0%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 3.5 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari all' 11% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 0.45 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
11	0.43	4.00	1.72	5.20	8.94	3.53	2.53	1.81	0.41	0.45

**Tabella 5.51 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 1+729.**

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

Il tratto di monte del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in materassi metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 1.0 m, larghezza in sommità di 4.0 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 6.2 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme utilizzando l'espressione di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Chezy; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è abbondantemente contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 54.0%; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 75.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
9.00	0.09	1.27	0.10	1.35	0.14	0.09	1.524	0.18
18.00	0.18	1.54	0.23	2.00	0.46	0.28	1.658	0.38
27.00	0.27	1.81	0.38	2.49	0.94	0.54	1.735	0.59
36.00	0.36	2.08	0.55	2.89	1.60	0.90	1.790	0.79
45.00	0.45	2.35	0.75	3.25	2.45	1.34	1.834	0.99
54.00	0.54	2.62	0.98	3.58	3.50	1.87	1.871	1.19
75.00	0.75	3.25	1.59	4.26	6.79	3.50	1.941	1.67

**Tabella 5.52 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di monte a pk 1+729.**

#### **5.8.4 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto**

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 4.0 m, larghezza in sommità di 8.5 m, altezza di 1.5 m e pendenza di fondo pari a circa il 3.0 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 22.67 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 27.33%.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
3.78	0.06	4.17	0.23	0.75	0.17	0.17	1.019	0.09
7.56	0.11	4.34	0.47	1.17	0.55	0.49	1.135	0.18
11.33	0.17	4.51	0.72	1.51	1.09	0.91	1.205	0.29
15.11	0.23	4.68	0.98	1.80	1.77	1.41	1.255	0.39
18.89	0.28	4.85	1.25	2.06	2.58	2.00	1.294	0.50
22.67	0.34	5.02	1.53	2.29	3.52	2.65	1.325	0.61
27.33	0.41	5.23	1.89	2.56	4.84	3.56	1.358	0.74

**Tabella 5.53 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle a pk 1+729.**

### 5.8.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	y	i	d <sub>m</sub>	$\gamma_s$
MONTE TOMBINO	1000	0,54	0,062	0,1	2500
VALLE TOMBINO	1000	0,34	0,13	0,15	2500

**Tabella 5.54 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	C*	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
MONTE TOMBINO	33,48	0,14	21,00	25,11	33,69	12,60
VALLE TOMBINO	44,2	0,14	31,50	33,15	33,69	18,90

**Tabella 5.55 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, per i tratti di monte e di valle, tali requisiti non risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; si ammette dunque che si possano verificare delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei materassi metallici con ciottoli o scapoli

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

di pietra di pezzatura media non inferiore ai 10 cm di diametro ( $d_m$ ). Per il tratto di valle, con rivestimento in gabbioni metallici, la pezzatura media può essere prevista di dimensione non inferiore a 15 cm.

### 5.8.6 Verifica in termini di velocità

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

VERIFICA VELOCITA'					
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s) (*)	velocità critica gabbioni (m/s)(**)	velocità limite gabbioni (m/s) (**)
	$V_m$	$V_c$	$V_l$	$V_c$	$V_l$
MONTE TOMBINO	3,58	5,00	6,40		
VALLE TOMBINO	2,29	5,00	6,40	6,40	8,00

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

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

**Tabella 5.56 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici e gabbioni.**

### 5.8.7 Valutazione delle deformazioni

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 5.8.55.3.5 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo ( $kg/m^2$ )	controllo deformazioni sponde ( $kg/m^2$ )
	$1,2 \tau_c$	$1,2 \tau_s$
MONTE TOMBINO	25,20	15,12
VALLE TOMBINO	37,80	22,68

**Tabella 5.57 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

quanto la velocità dell'acqua sotto il materasso metallico o sotto il gabbione non cambia sensibilmente.

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

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

Le condizioni di verifica per il caso in esame sono riportate nella seguente tabella:

TRATTO	VERIFICA DEFORMAZIONI							
	coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore rivestim. fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore rivestim. sponde (m)	verifica
	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)
MONTE TOMBINO	0,08	1,55	0,30	4,00	0,08	1,55	0,30	4,00
VALLE TOMBINO	0,06	1,48	0,30	2,00	0,06	1,48	0,30	2,00

**Tabella 5.58 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Le deformazioni che potranno verificarsi sul fondo e sulle sponde nei tratti di sistemazione idraulica di monte e di valle del tombino risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

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

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

TRATTO	VERIFICA VELOCITA' CONTATTO				
	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	n <sub>f</sub>	i <sub>f</sub>	v <sub>b</sub>	v <sub>e</sub>	v <sub>b</sub> geotes
MONTE TOMBINO	0,02	0,062	1,69	0,75 - 0,90	0,56 (1/3 v <sub>b</sub> )
VALLE TOMBINO	0,02	0,13	3,21	0,75 - 0,90	0,80 (1/4 v <sub>b</sub> )

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 5.59 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità  $v_b$  risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base  $v_e$ , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato ( $v_b$  geotes).

## **5.9 Torrente Polistena (PK 1+573 - cfr. bacino 08M.2)**

### **5.9.1 Intervento in progetto**

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 1+573; essa verrà attraversata da un tombino circolare in c.a. di lunghezza 138,70 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne DN1500 mm;
- pendenza di fondo 2,0%;
- l'opera è divisa in 5 tratte da 4 pozzetti di salto, rispettivamente di: 12,85 m (106,62 m s.l.m. – 93,77 m s.l.m.), 2,34 m (93,23 m s.l.m. – 90,89 m s.l.m.), 3,74 m (90,43 m s.l.m. – 86,69 m s.l.m.) e 5,72 m (85,97 m s.l.m. – 80,25 m s.l.m.).

A monte e a valle sono previsti due tratti di sistemazione in gabbioni metallici e in materassi metallici tipo "Reno" con lo scopo di raccordare l'opera all'incisione naturale e, 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 nel tratto iniziale di una difesa di sponda con funzione di ammorsamento a monte di altezza 1,00 m, con fondazione di 0,50 m, costituita da gabbioni metallici per una lunghezza in destra di 7,50 m e in sinistra di 10,00 m;
- realizzazione nel tratto successivo di una sezione rettangolare di larghezza 2,00 m, altezza 1,00 m, costituita da sponde e rivestimento di fondo in gabbioni metallici di spessore rispettivamente pari a 1,0 m e 50 cm per una lunghezza di 40,50 m, preceduto da 4,50 m di sezione rettangolare a larghezza variabile;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- quota di inizio sistemazione 127,45 m s.l.m. in sponda destra e 126,30 m s.l.m. in sponda sinistra; quota di immissione nel pozzetto di imbocco del tombino 106,62 m s.l.m.;
- la pendenza di progetto è definita pari al 35,8%;
- nella sezione terminale è prevista, su uno sviluppo di 1,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo con gabbioni metallici di spessore 1,0 m per garantire un migliore ammorsamento 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/m<sup>2</sup>.

#### Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 2,00 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm;
- lunghezza dell'intervento 10,0 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 11,4%;
- nella sezione iniziale e terminale è prevista, la sostituzione del rivestimento di fondo in materassi metallici con gabbioni metallici rispettivamente di spessore 0,50 m per uno sviluppo di 2,00 m e di 1,00 m per 1,00 m, per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

#### **5.9.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento**

Il manufatto di attraversamento autostradale del bacino dell'affluente del torrente Polistena è costituito da un tombino circolare di diametro pari a 1500 mm. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 2.0%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 2.3 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

- il suo riempimento, in corrispondenza della  $Q_{critica}$  è pari al 52% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 1.20 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
52.00	0.78	1.50	0.93	4.49	4.16	2.29	1.819	1.81	0.31	1.20

**Tabella 5.60 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 1+573.**

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

Il tratto di monte del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in materassi metallici. La sezione di progetto ha forma rettangolare caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.0 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa il 40.0%. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}^{-1}$ .

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme utilizzando l'espressione di Chezy; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è abbondantemente contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 20.0%; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 52.0%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
3.33	0.03	2.00	0.07	1.92	0.13	0.04	3.362	0.22
6.67	0.07	2.00	0.13	2.99	0.40	0.11	3.695	0.52
10.00	0.10	2.00	0.20	3.84	0.77	0.20	3.873	0.85

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
13.33	0.13	2.00	0.27	4.56	1.21	0.30	3.983	1.19
16.67	0.17	2.00	0.33	5.19	1.73	0.43	4.055	1.54
20.00	0.20	2.00	0.40	5.75	2.30	0.56	4.102	1.88
52.00	0.52	2.00	1.04	9.28	9.65	2.35	4.109	4.91

**Tabella 5.61 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di monte a pk 1+573.**

#### **5.9.4 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto**

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 2.0 m, larghezza in sommità di 5.0 m, altezza di 1.0 m e pendenza di fondo pari a circa l'11.4 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 27.0 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari al 46.00%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
4.50	0.05	2.14	0.09	1.24	0.12	0.06	1.902	0.12
9.00	0.09	2.27	0.19	1.92	0.37	0.18	2.109	0.28
13.50	0.14	2.41	0.30	2.46	0.73	0.33	2.232	0.44
18.00	0.18	2.54	0.41	2.91	1.19	0.51	2.319	0.61
22.50	0.23	2.68	0.53	3.31	1.74	0.73	2.386	0.78
27.00	0.27	2.81	0.65	3.67	2.39	0.98	2.440	0.96
46.00	0.46	3.38	1.24	4.92	6.08	2.34	2.595	1.69

**Tabella 5.62 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle a pk 1+573.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

### 5.9.5 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	$y$	$i$	$d_m$	$\gamma_s$
MONTE TOMBINO	1000	0,2	0,358	0,2	2500
VALLE TOMBINO	1000	0,24	0,114	0,1	2500

**Tabella 5.63 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	$C^*$	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
MONTE TOMBINO	71,6	0,14	42,00	53,70	33,69	25,20
VALLE TOMBINO	27,36	0,14	21,00	20,52	33,69	12,60

**Tabella 5.64 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, per i tratti di monte e di valle, tali requisiti non risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; si ammette dunque che si possano verificare delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore ai 20 cm di diametro ( $d_m$ ). Per il tratto di valle, con rivestimento in materassi metallici, la pezzatura media può essere prevista di dimensione non inferiore a 10 cm.

### 5.9.6 Verifica in termini di velocità

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

VERIFICA VELOCITA'					
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s) (*)	velocità critica gabbioni (m/s)(**)	velocità limite gabbioni (m/s) (**)
	V <sub>m</sub>	V <sub>c</sub>	V <sub>l</sub>	V <sub>c</sub>	V <sub>l</sub>
MONTE TOMBINO	5,75			6,40	8,00
VALLE TOMBINO	3,51	5,00	6,40		

(\*): materassi tipo Reno, spessore 0,30 m, pietrame di riempimento con pezzatura 100-150 mm, d<sub>50</sub> = 0,125 m;

(\*\*): gabbioni, spessore 0,50 m, pietrame di riempimento con pezzatura 120-250 mm, d<sub>50</sub> = 0,190 m.

**Tabella 5.65 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici e gabbioni.**

### 5.9.7 Valutazione delle deformazioni

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 5.9.5 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo (kg/m <sup>2</sup> )	controllo deformazioni sponde (kg/m <sup>2</sup> )
	1,2 τ <sub>c</sub>	1,2 τ <sub>s</sub>
MONTE TOMBINO	50,40	30,24
VALLE TOMBINO	25,20	15,12

**Tabella 5.66 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il materasso metallico o sotto il gabbione non cambia sensibilmente.

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

Le condizioni di verifica per il caso in esame sono riportate nella seguente tabella:

TRATTO	VERIFICA DEFORMAZIONI							
	coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore rivestim. fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore rivestim. sponde (m)	verifica
	$C^*i$	$Dz/d_m$	s	$2(s/d_m-1)$	$C^*i$	$Dz/d_m$	s	$2(s/d_m-1)$
MONTE TOMBINO	0,10	1,60	0,50	3,00	0,10	1,60	0,50	3,00
VALLE TOMBINO	0,04	1,38	0,30	4,00	0,05	1,42	0,30	4,00

**Tabella 5.67 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Le deformazioni che potranno verificarsi sul fondo e sulle sponde nei tratti di sistemazione idraulica di monte e di valle del tombino risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

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

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

TRATTO	VERIFICA VELOCITA' CONTATTO				
	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s) ( $1/4 v_b$ )
	$n_f$	$i_f$	$v_b$	$v_e$	$v_b \text{ geotes}$
MONTE TOMBINO	0,02	0,358	6,45	0,75 - 0,90	1,61
VALLE TOMBINO	0,02	0,114	2,29	0,75 - 0,90	0,57

**Tabella 5.68 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità  $v_b$  risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base  $v_e$ , è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce ad  $1/3-1/4$  rispetto al valore calcolato ( $v_b \text{ geotes}$ ).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.10 Torrente Lupo (PK 1+442 - cfr. bacino 09M.0)

### 5.10.1 Intervento in progetto

Il corso d'acqua in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 1+442; essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 114,40 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 4,0 x 3,0 m;
- pendenza di fondo 4,0%;
- l'opera è divisa in 3 tratte da 1 pozzetto di salto di 5,42 m (88,10 m s.l.m. – 82,68 m s.l.m.).

A monte è presente un intervento di sistemazione idraulica di competenza DG87 che non interferisce con le opere autostradali in progetto. A valle è previsto un tratto di sistemazione in materassi metallici tipo "Reno" con lo scopo di raccordare l'opera all'incisione naturale e di proteggere la sezione attuale da erosioni o scalzamenti localizzati.

Nel dettaglio si prevede il seguente intervento:

#### Tratto a valle dell'autostrada:

- realizzazione di una sezione trapezia di larghezza sul fondo di 4,00 m, altezza 1,33 m e pendenza delle sponde 3/2, costituita da materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm;
- lunghezza dell'intervento 16,0 m;
- la pendenza di progetto è definita pari al 9,2%;
- nella sezione iniziale e terminale è prevista, su uno sviluppo di 2,0 m, la sostituzione del rivestimento di fondo in materassi metallici con gabbioni metallici di spessore 0,50 m per garantire un migliore ammorsamento della sistemazione nel terreno sottostante;
- lungo l'intero sviluppo della sistemazione le opere previste poggeranno su un telo geotessile di peso non inferiore di 400 g/m<sup>2</sup>.

### 5.10.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento

Il manufatto di attraversamento autostradale che interferisce con l'asta del torrente Lupo è

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

costituito da un tombino scatolare di dimensioni BxH=4.0x3.0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari al 4.0%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 3.9 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della Qcritica è pari al 15.33% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);
- il rapporto H/D è pari a 0.81 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
15.33	0.46	4.00	1.84	6.23	11.46	3.91	2.932	2.44	0.59	0.81

**Tabella 5.69 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 1+442.**

### **5.10.3 Verifica idraulica della sistemazione d'alveo nel tratto a valle dell'autostrada in progetto**

Il tratto di valle del corso d'acqua viene sistemato tramite interventi di riprofilatura dell'alveo inciso e di rivestimento in gabbioni metallici. La sezione di progetto ha forma trapezoidale caratterizzata da una larghezza di base pari a 4.0 m, larghezza in sommità di 8.0 m, altezza di 1.33 m e pendenza di fondo pari a circa il 9.2 %. Nel calcolo idraulico si è assunta una resistenza distribuita pari a 30 m<sup>1/3</sup>/s<sup>-1</sup>.

La schematizzazione di calcolo utilizzata è quella di moto uniforme; i risultati ottenuti mostrano che

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

la portata di progetto è contenuta all'interno della sezione d'alveo sistemata, con un riempimento pari al 19.55 %; va evidenziato che se in occasione del transito della portata duecentennale si generasse l'altezza di moto critico, essa sarebbe ancora contenuta interamente all'interno della sezione di progetto con un riempimento pari circa al 31.00%.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)
0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
3.26	0.04	4.13	0.18	1.11	0.19	0.11	1.710	0.11
6.52	0.09	4.26	0.36	1.73	0.62	0.32	1.907	0.24
9.77	0.13	4.39	0.55	2.24	1.22	0.60	2.028	0.39
13.03	0.17	4.52	0.74	2.68	1.98	0.93	2.115	0.54
16.29	0.22	4.65	0.94	3.07	2.88	1.32	2.184	0.70
19.55	0.26	4.78	1.14	3.43	3.91	1.75	2.239	0.86
30.08	0.40	5.20	1.84	4.42	8.13	3.43	2.370	1.39

**Tabella 5.70 – Scala di moto uniforme per la sistemazione di valle a pk 1+442.**

#### 5.10.4 Verifica in termini di tensione di trascinamento

Per il tombino in esame sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m <sup>3</sup> )	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m <sup>3</sup> )
	$\gamma_w$	y	i	d <sub>m</sub>	$\gamma_s$
VALLE TOMBINO	1000	0,26	0,092	0,1	2500

**Tabella 5.71 - Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.**

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m <sup>2</sup> )	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )	tensione tangenziale sponde (kg/m <sup>2</sup> )	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m <sup>2</sup> )
	$\tau_b$	C*	$\tau_c$	$\tau_m$	$\theta(^{\circ})$	$\tau_s$
VALLE TOMBINO	23,92	0,14	21,00	17,94	33,69	12,60

**Tabella 5.72 - Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.**

La condizione di stabilità prevede  $\tau_b \leq \tau_c$  e  $\tau_m \leq \tau_s$ . Nel caso del tombino in oggetto, tali requisiti non risultano verificati, sia relativamente al fondo, sia per le sponde; si ammette dunque che

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

possano verificarsi delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei materassi metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore ai 10 cm di diametro ( $d_m$ ).

### 5.10.5 Verifica in termini di velocità

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

VERIFICA VELOCITA'			
TRATTO	velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s) (*)
	$v_m$	$v_c$	$v_l$
VALLE TOMBINO	3,49	5,00	6,40

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

**Tabella 5.73 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per gabbioni metallici.**

### 5.10.6 Valutazione delle deformazioni

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 5.10.45.3.5 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo ( $\text{kg/m}^2$ )	controllo deformazioni sponde ( $\text{kg/m}^2$ )
	$1,2 \tau_c$	$1,2 \tau_s$
VALLE TOMBINO	25,20	15,12

**Tabella 5.74 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Se le tensioni tangenziali aumentano ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento 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 rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il materasso metallico non cambia sensibilmente.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>	<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0

Per evitare che il sottofondo e le sponde restino senza protezione e risultino esposti direttamente all'azione della corrente deve essere verificata la seguente relazione:

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

Le condizioni di verifica per il caso in esame sono riportate nella seguente tabella:

VERIFICA DEFORMAZIONI								
TRATTO	coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore rivestim. fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore rivestim. sponde (m)	verifica
	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)	C* <sub>i</sub>	Dz/d <sub>m</sub>	s	2(s/d <sub>m</sub> -1)
VALLE TOMBINO	0,02	1,15	0,30	4,00	0,04	1,38	0,30	4,00

**Tabella 5.75 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.**

Le deformazioni che potranno verificarsi sul fondo e sulle sponde nel tratto di sistemazione idraulica di valle del tombino risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

### 5.10.7 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi metallici e il terreno sottostante

Per il tombino in esame si ottengono i seguenti risultati:

VERIFICA VELOCITA' CONTATTO					
TRATTO	scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia rivestimento. - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	n <sub>f</sub>	i <sub>f</sub>	v <sub>b</sub>	v <sub>e</sub>	v <sub>b</sub> geotes (1/3v <sub>b</sub> )
VALLE TOMBINO	0,02	0,092	2,06	0,75 - 0,90	0,69

**Tabella 5.76 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.**

Poiché la velocità v<sub>b</sub> risulta superiore alla velocità ammissibile all'interfaccia col materiale di base v<sub>e</sub>, è necessario prevedere l'inserimento di un filtro in geotessile. La velocità che ne risulta si riduce

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ad 1/3-1/4 rispetto al valore calcolato ( $v_b$  geotes).

## **5.11 Tombino PK 2+832 (asse T)**

### **5.11.1 Intervento in progetto**

Il fosso in esame interferisce con l'autostrada in progetto alla pk 2+832 (asse T); essa verrà attraversata da un tombino scatolare in c.a. di lunghezza 50,55 m circa avente le seguenti caratteristiche:

- dimensioni interne 2,0 x 2,0 m;
- pendenza di fondo 1,0%;
- l'opera si compone di un'unica tratta e inizia in corrispondenza di un pozzetto di salto di 7,67 m (70,20 m s.l.m. – 62,53 m s.l.m.).

Il tombino, di competenza DG87, presenta nel pozzetto di una condotta di scarico DN1000 mm. Non sono previsti ulteriori interventi di sistemazione idraulica.

### **5.11.2 Verifica idraulica del manufatto di attraversamento**

Il manufatto di attraversamento autostradale che interferisce con l'asta del rio minore alla PK 2+832.17 è costituito da un tombino scatolare di dimensioni BxH=2.0x2.0 m. L'opera ha una pendenza di fondo pari all'1.0%.

La portata Tr 200 anni generata dal bacino idrografico chiuso a monte dell'autostrada è pari a 3.6 m<sup>3</sup>/s.

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

Il manufatto di attraversamento è risultato adeguato in quanto:

- il suo riempimento, in corrispondenza della  $Q_{critica}$  è pari al 35.00% (inferiore al 70% imposto come condizione di verifica);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</b>		<i>Codice documento</i> CS0830_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- il rapporto H/D è pari a 0.63 e si mantiene inferiore a 1.5 (valore imposto come condizione di verifica).

Di seguito si allegano i calcoli di moto uniforme eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Larghezza superficie libera	Area deflusso	Velocità	Portata	Portata critica	Numero Froude	Carico totale	Perdita concentrata (dh)	Rapporto di verifica H/D
%	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	-	(m)	(m)	-
35.00	0.70	2.00	1.40	3.32	4.65	3.67	1.267	1.26	0.17	0.63

**Tabella 5.77 – Verifica di moto uniforme per il manufatto di attraversamento pk 2+832.**