

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

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

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI CALABRIA</p> <p><i>Tipo di sistema</i> INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> SISTEMAZIONI IDRAULICHE</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> TORRENTE ACCIARELLO</p> <p><i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CS0824_F0</div>
--	--

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	I	D	C	S	C	S	I	T	R	A	5	0	0	0	0	0	1	F	0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	S. OSSESIA	F. BERTONI	F. COLLA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE	3
Premessa	4
1 Sintesi dell'analisi sullo stato di fatto	4
2 Interventi di sistemazione idraulica in progetto	6
2.1 Intervento di competenza DG 87	7
2.2 Intervento in progetto.....	7
3 Analisi idraulica della configurazione di progetto.....	8
3.1 Portate di progetto	9
3.2 Schematizzazione del modello numerico	9
3.2.1 Condizioni al contorno	11
3.2.2 Coefficienti di scabrezza	11
3.3 Rappresentazione dei risultati.....	11
4 Verifiche del rivestimento dell'alveo	13
4.1 Verifica in termini di tensione di trascinamento	14
4.2 Verifica in termini di velocità	15
4.3 Valutazione delle deformazioni	16
4.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi Reno ed il terreno sottostante.....	16

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_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 sul torrente Acciarello e riporta i risultati delle verifiche sui manufatti e sui materiali previsti e 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.

Il corso d'acqua oggetto di studio risulta interferente con:

- l'autostrada A3 "Salerno – Reggio Calabria" attualmente in ampliamento (progetto DG 87),
- le future rampe autostradali di raccordo al Ponte sullo Stretto nel versante Calabria.

Mentre lo studio dello stato attuale è stato condotto tenendo in considerazione la conformazione dell'alveo e i manufatti esistenti al momento della stesura del progetto, l'analisi di progetto esamina le sistemazioni idrauliche esistenti e in progetto (Progetto Esecutivo di competenza DG87 e Progetto Ponte) e si estende a monte e a valle delle opere di attraversamento per un tratto d'alveo sufficientemente esteso al fine di rappresentare correttamente la funzionalità idraulica del sistema fluviale.

Si specifica che i dati relativi al progetto DG 87 risultano indicativi e da verificare in sito.

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

1 Sintesi dell'analisi sullo stato di fatto

Il torrente Acciarello presenta un orientamento topografico indicativo est-ovest; immediatamente dopo aver attraversato l'autostrada con un tombino scatolare di dimensioni 6,0 m x 4,0 m, esso compie una curva di 90°, si riporta nuovamente in direzione est-ovest solo parecchie centinaia di metri a valle. Al momento del sopralluogo il torrente Acciarello risulta completamente asciutto, almeno nella sua parte alta. A valle dell'autostrada, la sezione del corso d'acqua è compresa tra muri di c.a., anche se il letto è in buona parte invaso dalla vegetazione.

Dopo un primo tratto di circa 200 m l'alveo si sviluppa lungo una strada di accesso ad alcune proprietà private e presenta un inizio di canalizzazione sul lato sinistro (procedendo verso valle),

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

regolato da una serie di salti di fondo che ne riducono la pendenza; circa 300 m a valle dell'autostrada la canalizzazione imbecca un tombino scatolare.

Tale manufatto consiste in una vasca in c.a., recintata, con il fondo sagomato ad imbuto verso una sezione rettangolare di larghezza 1,5 m, altezza libera 2 m e soletta piana sovrastante di 0,5 m. La vasca, così come tutto il tratto canalizzato, interessa solo il 50% dell'alveo. Il restante 50% della sezione è caratterizzato dalla strada sopraccitata, la cui continuità è garantita dalla presenza di scivoli in corrispondenza dei salti di fondo. A margine della strada e della vasca si osserva la presenza di due muri in c.a.; essi rappresentano gli argini originari del torrente.

A monte e a valle dell'incrocio della SS n. 18 con via Francesco Crispo sono presenti delle griglie a caduta sulla canalizzazione sottostante.

Il tratto tombato si sviluppa per circa 506 m con una pendenza media del 6,6%; lo sbocco del tratto tombato avviene poco a valle della SS n. 18, in corrispondenza di un ponticello a soletta piana in c.a. di 3 m di larghezza e 2 m di altezza libera. Segue un tratto canalizzato fra muri in c.a., all'interno del quale si osserva la presenza significativa di depositi e vegetazione.

In corrispondenza della linea ferroviaria è presente un manufatto di imbocco in c.a. a sezione rettangolare che immette le acque in una condotta scatolare tombata che recapita direttamente in mare.

I risultati della simulazione idraulica eseguita per la configurazione geometrica ante operam (stato attuale) riferita al tempo di ritorno di 200 anni sono riportati nella

Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
ACC-01	0.00	77.86	0.68	78.54	79.20	5.94	3.60	1.65	3.40	1.67
	11.08	77.00	0.85	77.85	78.24	5.94	2.75	2.16	3.74	1.16
	36.76	76.37	0.73	77.10	77.79	5.94	3.69	1.61	3.40	1.70
ACC-02	47.43	75.73	0.66	76.39	77.21	5.94	4.01	1.48	3.60	1.99
	66.58	73.93	0.63	74.56	75.00	5.94	2.94	2.02	5.30	1.52
ACC-03	96.12	72.52	0.41	72.93	73.07	5.94	1.68	3.54	14.19	1.07
monte scatolare A3	112.60	72.00	0.36	72.36	72.75	5.94	2.75	2.16	6.00	1.46
valle scatolare A3	131.10	71.10	0.33	71.43	71.89	5.94	3.00	1.98	6.00	1.67
ACC-04	146.05	70.10	0.34	70.44	71.00	5.94	3.30	1.80	8.36	2.35

Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
	179.11	65.00	0.55	65.55	66.18	6.15	3.51	1.75	6.69	2.30
ACC-05	189.32	63.43	0.65	64.08	64.50	6.43	2.88	2.23	6.99	1.69
	213.09	61.70	0.62	62.32	63.04	6.64	3.75	1.77	3.23	1.72
ACC-06	258.50	57.79	0.86	58.65	59.44	7.08	3.93	1.80	3.76	1.92
	277.30	56.00	0.81	56.81	57.85	7.49	4.51	1.66	3.42	2.10
ACC-07	315.76	51.75	0.65	52.40	53.58	7.61	4.82	1.58	3.63	2.37

Tabella 1.1 seguente.

Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
ACC-01	0.00	77.86	0.68	78.54	79.20	5.94	3.60	1.65	3.40	1.67
	11.08	77.00	0.85	77.85	78.24	5.94	2.75	2.16	3.74	1.16
	36.76	76.37	0.73	77.10	77.79	5.94	3.69	1.61	3.40	1.70
ACC-02	47.43	75.73	0.66	76.39	77.21	5.94	4.01	1.48	3.60	1.99
	66.58	73.93	0.63	74.56	75.00	5.94	2.94	2.02	5.30	1.52
ACC-03	96.12	72.52	0.41	72.93	73.07	5.94	1.68	3.54	14.19	1.07
monte scatolare A3	112.60	72.00	0.36	72.36	72.75	5.94	2.75	2.16	6.00	1.46
valle scatolare A3	131.10	71.10	0.33	71.43	71.89	5.94	3.00	1.98	6.00	1.67
ACC-04	146.05	70.10	0.34	70.44	71.00	5.94	3.30	1.80	8.36	2.35
	179.11	65.00	0.55	65.55	66.18	6.15	3.51	1.75	6.69	2.30
ACC-05	189.32	63.43	0.65	64.08	64.50	6.43	2.88	2.23	6.99	1.69
	213.09	61.70	0.62	62.32	63.04	6.64	3.75	1.77	3.23	1.72
ACC-06	258.50	57.79	0.86	58.65	59.44	7.08	3.93	1.80	3.76	1.92
	277.30	56.00	0.81	56.81	57.85	7.49	4.51	1.66	3.42	2.10
ACC-07	315.76	51.75	0.65	52.40	53.58	7.61	4.82	1.58	3.63	2.37

Tabella 1.1 - Simulazione Tr 200 anni nella configurazione geometrica di stato attuale.

2 Interventi di sistemazione idraulica in progetto

Il presente capitolo descrive sinteticamente gli interventi di sistemazione idraulica previsti sul torrente Acciarello.

I principi generali considerati nella progettazione sono i seguenti:

- dove possibile, prosecuzione delle sistemazioni idrauliche presenti nel progetto di competenza DG87, mantenendo inalterati forma della sezione, tipologia dell'in-alveazione,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

materiali impiegati e pendenza del fondo scorrevole; cambi di forma di sezione o di pendenza sono giustificati dalla conformazione del territorio e dalle conseguenti esigenze realizzative;

- adeguamento degli interventi di competenza DG87 al rilievo fotogrammetrico realizzato per il progetto Ponte;
- profilo della sistemazione studiato in modo tale da limitare al massimo l'entità degli scavi e dei riporti di terra e da agevolare per quanto possibile le fasi costruttive;
- lunghezza della sistemazione ampliata fino a circa 5-10 m oltre lo scarico dei fossi di guardia e delle vasche di trattamento delle acque di piattaforma, al fine di proteggere il corso d'acqua da potenziali fenomeni di erosione.

2.1 Intervento di competenza DG 87

Il Progetto Esecutivo DG 87 prevede il prolungamento a monte di un tombino scatolare 6,0 x 4,0 m esistente per una lunghezza di 31,00 m. L'imbocco viene realizzato tramite un salto di fondo (h = 2,50 m) disposto a 3,4 m di distanza dal tombino.

E' prevista a monte un'inalveazione di lunghezza 10 m circa, realizzata con una sezione trapezia in materassi metallici tipo "Reno" con larghezza di base 3,0 m e altezza 1,0 m.

2.2 Intervento in progetto

Il presente progetto Ponte prevede la demolizione del manufatto di imbocco, la realizzazione di un nuovo pozzetto, il prolungamento a monte del tombino scatolare come da progetto DG87 e la costruzione di un nuovo pozzetto di imbocco, per una lunghezza complessiva di 40,51 m.

A monte del pozzetto di imbocco è prevista una sistemazione idraulica di lunghezza in asse 20,00 m, a sezione trapezia con larghezza alla base di 3,00 m, altezza di 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2. Non sono previste briglie o salti di fondo e l'inalveazione presenta una pendenza di fondo di circa 3,3%.

L'intervento in progetto sarà realizzato in materassi metallici tipo Reno di spessore 0,30 m e in corrispondenza dell'inizio e della fine del rivestimento di monte verranno previsti dei gabbioni di ammorsamento di dimensioni 1,00 x 1,00 m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

L'inalveazione proposta a valle prevede invece la realizzazione di un rivestimento di fondo in materassi metallici tipo Reno di spessore 0,30 m, con relativi gabbioni di ammorsamento a monte e a valle di 1,0 x 1,0 m, per uno sviluppo in asse pari a 15,00 m. La sezione presenta una larghezza variabile da 7,60 m a 8,80 m e risulta contenuta tra i muri spondali esistenti. Non sono previste briglie o salti di fondo e l'inalveazione presenta una pendenza di fondo del 7% circa.

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

In corrispondenza della sistemazione idraulica di monte verranno realizzati gli scarichi delle acque di versante intercettate dai fossi di guardia da realizzarsi in testa alla trincea in direzione SA.

Tali scarichi, previsti a sezione trapezia di larghezza alla base 0,50 m e altezza 0,50 m rivestiti in calcestruzzo, interesseranno entrambe le sponde del torrente Acciarello e si inseriranno nella sistemazione d'alveo in progetto attraverso le sponde in materassi metallici.

Relativamente alle opere di intercettazione e scarico delle acque esterne gli interventi previsti riguardano gli scarichi delle acque di versante intercettati dai fossi di guardia da realizzarsi in corrispondenza della sistemazione idraulica di monte.

Tali scarichi interesseranno entrambe le sponde del torrente Acciarello e giungeranno a recapito attraversando le sponde in materassi metallici, mediante fossi di guardia rivestiti in calcestruzzo di larghezza alla base di 0,50 m, altezza 0,50 m e pendenza delle sponde 1/1.

3 Analisi idraulica della configurazione di progetto

Per i corsi d'acqua principali, caratterizzati da bacini di dimensioni maggiori e regimati da opere idrauliche di sistemazione, le analisi idrauliche sono state eseguite tramite l'ausilio di modellistica numerica, utilizzando il codice di calcolo MIKE 11 secondo schematizzazione idrodinamica monodimensionale in moto stazionario. Il moto stazionario è quello che meglio rappresenta il deflusso sulle aste principali in studio, in quanto su di esse il deflusso di piena avviene in regime torrentizio (generalmente caratterizzato da un moto in corrente veloce) per effetto di pendenze di fondo alveo elevate e ambiti di esondazione di estensione contenuta, in quanto il fondovalle è

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

generalmente stretto, limitato da versanti adiacenti alle sponde dei corsi d'acqua. L'analisi modellistica ha consentito di rappresentare la propagazione della piena in termini di parametri idrodinamici e di aree di allagamento per tempo di ritorno assegnato.

3.1 Portate di progetto

Per quanto riguarda la situazione di progetto per la determinazione dei profili idraulici e dei parametri idrodinamici per le piene si è fatto riferimento alla sola portata Q Tr200, incrementata della componente dovuta al trasporto solido, in quanto tale dato risulta essere quello di riferimento per il dimensionamento delle opere.

Per il torrente Acciarello le portate di progetto risultano le seguenti:

identificativo bacino		tempo di corrivazione		portate di progetto [m ³ /s]		
codice	nome corpo idrico significativo	media [h]	media [']	Q30	Q100	Q200(*)
16M.1	T. ACCIARELLO	0,240	14,4	4,1	5,1	5,94
16M.1.1	RIO	0,083	5,0	0,6	0,8	0,9
16V.0	T. ACCIARELLO	0,229	13,7	5,3	6,5	7,61

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

Tabella 3.1 - Portate idrologiche per tempo di ritorno assegnato inserite nel modello.

3.2 Schematizzazione del modello numerico

La geometria del torrente Acciarello è stata descritta sulla base del rilievo topografico costituito da 7 sezioni trasversali che rappresentano in modo esaustivo l'alveo di piena del corso d'acqua.

Nel modello sono state introdotte tutte le opere di sistemazione idraulica e di attraversamento presenti (tombino sotto autostrada A3) allo stato attuale e tutte le opere previste nel Progetto Esecutivo di competenza DG87 e nel Progetto Ponte.

Il rilievo introdotto nel modello di simulazione copre un'estensione complessiva di corso d'acqua pari a circa 316 m, caratterizzato da una pendenza di fondo alveo media pari all' 8%.

La sistemazione idraulica in progetto prevede un tratto a monte del tombino di lunghezza di 20,00 m e una pendenza costante del 3,3% e un tratto di valle di lunghezza 15,00 m e pendenza 6%.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

L'inalveazione di monte presenta sezione trapezia, con larghezza sul fondo di 3 m, altezza 1,00 m e pendenza delle sponde 3/2; a valle si prevede il solo rivestimento di fondo di larghezza variabile dai 7,60 m agli 8,80 m. In entrambi i casi, il rivestimento sarà realizzato in materassi metallici tipo "Reno".

Per la descrizione dettagliata dell'intervento in progetto si rimanda al Paragrafo 2.2.

Il profilo longitudinale del modello Acciarello in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota e pendenza di fondo (thalweg) e posizione dei manufatti presenti in alveo è riportato in Tabella 3.2. In corrispondenza dei manufatti (briglie, attraversamenti ecc.) la sezione è stata duplicata per esigenze di modellizzazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3.2.1 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno inserite nel modello di simulazione sono le seguenti:

- portata costante per tempo di ritorno assegnato (Tabella 3.1) in entrata nel modello (ACC-01);
- portata distribuita da valle attraversamento A3 fino al termine del modello, che rappresenta il contributo del bacino residuo;
- scala di moto uniforme imposta nella sezione terminale di valle del modello (ACC-07);
- granulometria caratteristica (D_{50}) nel tratto simulato pari a 50 mm.

3.2.2 Coefficienti di scabrezza

Sulla base delle caratteristiche granulometriche, di copertura vegetale e morfologiche dell'asta si è assunta una scabrezza di:

- $26 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per l'alveo inciso in condizioni naturali;
- $50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per il tombino scatolare in calcestruzzo;
- $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per l'alveo inciso interessato dalla sistemazione in materassi metallici tipo "Reno" prevista;
- da 18 a $22 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree di piano campagna esterne all'alveo caratterizzate da copertura vegetale di tipo arbustivo.

3.3 Rappresentazione dei risultati

Le simulazioni eseguite sul torrente Acciarelo mostrano che il deflusso delle piene avviene in corrente veloce, data la elevata pendenza media di fondo alveo.

Il livello idrico e il carico totale definiti per il tempo di ritorno di riferimento Tr 200 anni risultano sempre contenuti all'interno dell'alveo inciso e della sistemazione idraulica in progetto; nella tabella seguente si riportano i risultati delle simulazioni eseguite.

Va specificato che, date le caratteristiche torrentizie del corso d'acqua simulato, il moto avviene sempre in corrente veloce (influenzata da azioni idrodinamiche di monte) e quindi la validità della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0

condizione al contorno assunta a valle è garantita. Nella sezione di valle, tuttavia, si è sempre eseguita un'analisi di sensitività rispetto al livello idrico, imponendo l'altezza critica di moto uniforme; tale imposizione, per tutti i casi considerati, non influenza il profilo idraulico di monte.

Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
ACC-01	0	77,86	0,65	78,51	79,27	5,94	3,86	1,54	3,33	3,33
	12,82	77,04	0,52	77,56	78,02	5,94	3,02	1,97	4,57	1,34
	32,89	76,37	0,53	76,90	77,35	5,94	2,96	2,01	4,58	1,30
	33,89	71,67	0,44	72,11	72,37	5,94	2,25	2,64	6,00	1,08
	37,12	71,67	0,42	72,09	72,37	5,94	2,36	2,52	6,00	1,16
ACC-02	46,12	71,59	0,42	72,01	72,29	5,94	2,36	2,52	6,00	1,16
	73,44	71,36	0,42	71,78	72,06	5,94	2,36	2,52	6,00	1,16
ACC-03	82,58	71,27	0,41	71,68	71,98	5,94	2,41	2,46	6,00	1,20
	99,34	71,1	0,44	71,54	71,80	5,94	2,25	2,64	6,00	1,08
	117,56	71,1	0,43	71,53	71,80	5,94	2,30	2,58	6,00	1,12
ACC-04	132,56	70,09	0,19	70,28	70,92	5,94	3,56	1,67	8,10	2,61
	165,57	65,00	0,55	65,55	66,18	6,15	3,51	1,75	6,69	2,30
ACC-05	175,78	63,43	0,65	64,08	64,50	6,43	2,88	2,23	6,99	1,69
	199,55	61,70	0,62	62,32	63,04	6,64	3,75	1,77	3,23	1,72
ACC-06	244,96	57,79	0,86	58,65	59,44	7,08	3,93	1,80	3,76	1,92
	263,76	56,00	0,81	56,81	57,85	7,49	4,51	1,66	3,42	2,10
ACC-07	302,22	51,75	0,65	52,40	53,58	7,61	4,82	1,58	3,63	2,37

in grigio: sistemazione idraulica.

Tabella 3.2 – Risultati della simulazione idraulica di progetto.

In particolare, per il tratto di tombino, risultano rispettate le prescrizioni minime di progetto, considerando di adottare cautelativamente un franco minimo di 2,00 m rispetto al livello di piena di progetto:

- Tombino Acciarello (pk 1+567 asse T): tirante idrico massimo calcolato per Tr 200 = 0,43 m; altezza minima di intradosso da considerare = 2,43 m; altezza intradosso di progetto = 3,00 m circa; franco idraulico = 2,57 m circa.

I risultati delle simulazioni eseguite sono rappresentati sulle tavole grafiche relative al torrente Acciarello: profili di rigurgito post operam, sezioni trasversali post operam e planimetria delle aree di esondazione post operam.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nella tabella seguente si riassumono i risultati delle simulazioni idrauliche nelle condizioni ante operam e post operam.

Sezione	Progr.	Situazione ante operam					Situazione post operam				
		Quota fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Velocità	Quota fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Velocità
-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m/s	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m/s
ACC-01	0	77.86	0.68	78.54	79.20	3.60	77,86	0,65	78,51	79,27	3,86
ACC-02	46,12	75.73	0.66	76.39	77.21	4.01	71,59	0,42	72,01	72,29	2,36
ACC-03	82,58	72.52	0.41	72.93	73.07	1.68	71,27	0,41	71,68	71,98	2,41
ACC-04	132,56	70.10	0.34	70.44	71.00	3.30	70,09	0,19	70,28	70,92	3,56
ACC-05	175,78	63.43	0.65	64.08	64.50	2.88	63,43	0,65	64,08	64,50	2,88
ACC-06	244,96	57.79	0.86	58.65	59.44	3.93	57,79	0,86	58,65	59,44	3,93
ACC-07	302,22	51.75	0.65	52.40	53.58	4.82	51,75	0,65	52,40	53,58	4,82

Tabella 3.3 – Confronto tra i risultati delle simulazioni idrauliche ante operam e post operam.

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

Qui di seguito verranno dunque effettuate le seguenti verifiche:

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0

4.1 Verifica in termini di tensione di trascinamento

La verifica della tensione di trascinamento sul fondo viene effettuata confrontando il valore di tensione tangenziale che viene esercitata sul rivestimento di fondo τ_b con la tensione tangenziale critica τ_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.

Per la verifica della stabilità delle sponde si è fatto riferimento alla tensione tangenziale τ_m e alla tensione tangenziale critica τ_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 θ è l'angolo di inclinazione della sponda sull'orizzontale e φ è l'angolo di attrito del pietrame che costituisce il rivestimento (pari a 41° sulla base delle esperienze riportate in bibliografia).

Per il torrente Acciarello sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE VERIFICA DELLE TENSIONI					
TRATTO	peso specifico acqua (kg/m ³)	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diámetro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m ³)
	γ_w	y	i	d_m	γ_s
MONTE TOMBINO	0,53	0,03	0,1	2500	0,53
VALLE TOMBINO	0,43	0,06	0,12	2500	0,43

Tabella 4.1 – Dati di base per verifica della tensione di trascinamento.

TRATTO	STABILITA' FONDO			STABILITA' SPONDE		
	tensione tangenziale al fondo (kg/m ²)	coefficiente Shields	tensione tangenziale critica (kg/m ²)	tensione tangenziale sponde (kg/m ²)	angolo sulla sponda (°)	tensione tangenziale critica (kg/m ²)
	τ_b	C^*	τ_c	τ_m	$\theta(^{\circ})$	τ_s
MONTE TOMBINO	15,9	0,14	21,00	11,93	33,69	12,60
VALLE TOMBINO	25,8	0,14	25,20			

Tabella 4.2 – Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La condizione di stabilità prevede $\tau_b \leq \tau_c$ e $\tau_m \leq \tau_s$. Nel caso del t. Acciarelo, tali condizioni risultano verificate sia per il rivestimento di fondo che per le sponde del tratto di monte; per la sistemazione di valle si ammette viceversa che 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 a 10 cm di diametro (d_m) per il tratto di monte e di 12 cm per il tratto di valle.

4.2 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 metallico e per velocità limite si intende quella, ancora accettabile, che determina deformazioni contenute per insaccamento del pietrame.

Facendo riferimento ai valori di velocità critica e di velocità limite dedotti sperimentalmente e pubblicati da alcune ditte produttrici, per il torrente Acciarelo 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
MONTE TOMBINO	2,74	5,00	6,40
VALLE TOMBINO	2,93	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 4.3 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0824_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.3 Valutazione delle deformazioni

Quando le tensioni tangenziali (τ_b e τ_m) superano i valori critici di "primo movimento" (τ_c e τ_s) parte del pietrame si sposta verso valle all'interno di ciascuna tasca del materasso Reno. 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.

I valori di tensione tangenziale critica sul fondo e sulle sponde incrementati del 20% rispetto al valore calcolato al paragrafo 4.1 risultano:

DEFORMAZIONI		
TRATTO	controllo deformazioni fondo (kg/m ²)	controllo deformazioni sponde (kg/m ²)
	1,2 τ_c	1,2 τ_s
MONTE TOMBINO	25,20	15,12
VALLE TOMBINO	30,24	-

Tabella 4.4 – Controllo delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.

Si verifica che per il tratto di valle le tensioni tangenziali non superano del 20% le tensioni critiche di primo movimento.

4.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi Reno ed il terreno sottostante

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

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

Per il torrente Acciarelo si ottengono i seguenti risultati:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0824_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 ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia rivestimento - fondo con geotessile (m/s)
	n_f	i_f	v_b	v_e	$v_b \text{ geotes } (1/3v_b)$
MONTE TOMBINO	0,02	0,03	1,18	0,75 - 0,90	0,39
VALLE TOMBINO	0,02	0,06	1,88	0,75 - 0,90	0,63

Tabella 4.5 – 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 ($v_b \text{ geotes}$).