

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 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 <i>Tipo di sistema</i> INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI <i>Raggruppamento di opere/attività</i> SISTEMAZIONI IDRAULICHE <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> TORRENTE PIRIA <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CS0787_F0</div>
---	--

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	I	D	C	S	C	S	I	T	R	1	C	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> CS0787_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	8
3.2 Schematizzazione del modello numerico	9
3.2.1 Condizioni al contorno	10
3.2.2 Coefficienti di scabrezza	10
3.3 Rappresentazione dei risultati	10
4 Verifiche del rivestimento dell'alveo	13
4.1 Verifica in termini di tensione di trascinamento	13
4.2 Verifica in termini di velocità	14
4.3 Valutazione delle deformazioni	15
4.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi Reno e gabbioni ed il terreno sottostante	16

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0787_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 Piria 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 Piria presenta orientamento sud-est nord-ovest ed è caratterizzato da un tratto montano ad elevata pendenza e da un tratto, in prossimità della costa, a pendenza e velocità più ridotte. Il corso d'acqua, al momento del sopralluogo, si presenta completamente asciutto.

Nella parte alta, l'alveo risulta a tratti sovralluvionato, a tratti notevolmente inciso (1,5-2 m) e la sezione è interessata da una notevole quantità di materiale solido trasportato, della dimensione delle sabbie e delle ghiaie fino alla dimensione di veri e propri ciottoli granitici, molti dei quali con spigoli appuntiti e taglienti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0

Nel tratto più a monte rispetto al viadotto autostradale, sono presenti due briglie in c.a. di altezza 3 m e larghezza 8-9 m, poste ad una distanza di 10 m circa.

Negli ultimi 80 m circa prima dell'attraversamento, la sezione risulta contenuta tra muri in c.a. ed è presente una briglia o salto di fondo in c.a., quasi interamente ricoperta di materiale alluvionale. In destra idrografica, il muro prosegue a valle del viadotto per ulteriori 80 m circa, in sinistra si osserva la presenza di un muro di contenimento dei giardini limitrofi in pietra. In corrispondenza dell'ansa verso sinistra si interrompe il muro di c.a. in destra e ne compare viceversa un tratto sull'altro lato, per una lunghezza di 60 m circa.

A valle del viadotto autostradale sono presenti 2 briglie in c.a. di circa 1-1,5 m di altezza e 4 m di larghezza, in gran parte invase dalla vegetazione.

Poco oltre l'ansa, l'alveo del torrente risulta sistemato a sezione rettangolare, tra gabbioni, con una larghezza di 2,5 m e altezza delle sponde di 0,5 m, con una strada sterrata per lato. In corrispondenza di un grande edificio in sinistra è presente un salto di fondo di 1,5 m e di qui verso valle, la sezione risulta compresa tra muri in c.a., sovrastati da una recinzione. Prima della SS n. 18, in corrispondenza delle strade laterali di accesso alle abitazioni, sono presenti 3 ponticelli di altezza 0,8 m all'intradosso.

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

seguinte.

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	-
briglia base salto	0.00	125.59	0.52	126.11	127.01	15.37	4.20	3.66	7.54	1.92
PIR-01 monte	12.30	124.32	0.51	124.83	125.75	15.37	4.25	3.62	7.53	1.95
PIR-01 valle	13.70	121.44	0.61	122.05	122.99	15.37	4.29	3.58	7.43	1.97
PIR-02	78.01	114.00	0.97	114.97	116.18	15.37	4.88	3.15	5.63	2.08
PIR-03	144.51	106.25	0.83	107.08	107.80	15.37	3.76	4.09	11.37	2.01
PIR-04	214.94	97.20	1.35	98.55	99.43	15.37	4.15	3.70	7.22	1.85
briglia ciglio sfiorante	235.05	95.25	1.40	96.65	97.46	15.37	3.99	3.85	7.95	1.83

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	-
PIR -05	239.47	95.15	1.15	96.30	96.98	15.37	3.66	4.20	13.11	2.14
	248.65	94.00	1.09	95.09	96.03	15.37	4.31	3.57	9.28	2.21
PIR -06	261.66	92.58	0.88	93.46	94.62	15.37	4.77	3.22	7.27	2.29
	270.20	91.26	0.93	92.19	93.76	15.37	5.55	2.77	6.04	2.62
PIR-07	280.98	89.40	1.07	90.47	91.71	15.37	4.94	3.11	4.74	2.16
monte briglia	282.24	89.29	1.03	90.32	91.69	15.37	5.19	2.96	4.71	2.49
valle briglia	283.24	87.60	1.24	88.84	89.61	15.37	3.88	3.96	5.00	1.77
PIR-08	304.14	85.86	1.43	87.29	88.60	15.39	5.08	3.03	3.60	1.77
PIR-09	328.97	83.00	1.93	84.93	85.54	15.43	3.45	4.47	7.06	1.39
monte briglia	358.44	81.14	1.92	83.06	83.70	15.47	3.53	4.38	7.05	1.43
valle briglia	359.44	79.04	1.56	80.60	82.76	15.49	6.51	2.38	3.70	2.57
PIR-10	373.07	76.65	0.91	77.56	78.81	15.51	4.96	3.13	4.76	1.95
PIR-11	429.94	70.38	1.05	71.43	72.32	15.56	4.17	3.73	8.84	2.20
PIR-12	485.58	64.95	0.97	65.92	66.90	15.65	4.40	3.56	7.67	2.07
monte salto	526.50	61.28	0.96	62.24	63.25	15.73	4.46	3.53	7.59	2.09
valle salto	527.50	60.71	1.00	61.71	62.61	15.76	4.19	3.76	8.20	1.98
monte salto	546.08	59.24	1.00	60.24	61.15	15.78	4.23	3.73	8.14	1.99
valle salto	547.08	58.72	0.97	59.69	60.69	15.79	4.44	3.56	7.67	2.08
PIR-13	556.80	57.90	0.91	58.81	59.67	15.80	4.10	3.85	7.00	2.00
monte salto	559.71	57.59	0.91	58.50	59.35	15.81	4.09	3.87	7.00	2.00
valle salto	560.71	57.22	0.96	58.18	58.90	15.81	3.75	4.22	7.00	1.83
monte salto	573.82	56.11	0.96	57.07	57.79	15.81	3.75	4.22	7.00	1.82
valle salto	574.82	55.50	0.90	56.40	57.28	15.81	4.16	3.80	7.00	2.03
PIR-14	611.12	51.47	0.97	52.44	53.22	15.81	3.90	4.05	9.85	1.97

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 Piria.

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'infilazione, 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 di competenza DG87 prevede la realizzazione di un'inalveazione in gabbioni metallici a sezione rettangolare di base 6,00 m e altezza 2,00 m; partendo dalla briglia di monte esistente si sviluppa per una lunghezza di 47,30 m con salti di fondo ogni 17,50 m di altezza $h = 2,0$ m. L'intervento termina in corrispondenza della briglia esistente a valle. La pendenza del tratto sistemato è prevista pari al 3%, l'inalveazione così come realizzata risulta essere contenuta entro i muri in cls esistenti a protezione della strada campestre che si sviluppa parallela all'attuale fosso.

2.2 Intervento in progetto

Il presente progetto Ponte prevede la prosecuzione a valle della sistemazione DG87, per il tratto di corso d'acqua interessato dall'ampliamento a valle della sede autostradale e dallo scarico della vasca di trattamento delle acque di piattaforma.

In particolare, a valle della briglia esistente su cui si ammorsa l'inalveazione DG87, di altezza 2,00 m, la sistemazione viene addossata in destra idrografica al muro esistente e si prevede la realizzazione di un'altra briglia di altezza 2,00 m, posta ad una distanza di 25,00 m da quella esistente. Oltre la briglia, è previsto un tratto di circa 8,00 m di raccordo alla sezione naturale.

Complessivamente, il progetto di sistemazione idraulica Ponte presenta una lunghezza di quasi 33,00 m.

L'inalveazione prevista presenta sezione rettangolare di 6,00 m di larghezza e 3,00 m di altezza, con pendenza di fondo costante del 3%.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La briglia sarà realizzata in gabbioni così come il rivestimento di fondo che è previsto di spessore 50 cm per i primi 5,00 m a valle della briglia; nella successiva porzione di fondo e nel tratto di raccordo alla sezione naturale di fine sistemazione saranno viceversa impiegati materassi metallici tipo “Reno” di spessore 30 cm. Tra i gabbioni o i materassi e il terreno sarà inserito un tessuto geotessile con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale.

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 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 Piria 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(*)
05M.0	T. PIRIA	0,154	9,2	10,4	12,8	15,37
05V.1	T. PIRIA	0,192	11,5	10,7	13,1	15,81

(*) 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

3.2 Schematizzazione del modello numerico

La geometria del torrente Piria è stata descritta sulla base del rilievo topografico costituito da 16 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.

Rispetto alle 14 sezioni impiegate per la simulazione delle condizioni idrauliche ante operam, sono state aggiunte 2 nuove sezioni (PIR-07A, PIR-08A), al fine di caratterizzare al meglio l'alveo interessato dalla sistemazione idraulica in progetto.

Nel modello sono state introdotte tutte le opere di sistemazione idraulica e di attraversamento presenti (viadotti 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 una un'estensione complessiva di corso d'acqua pari a circa 610 m, caratterizzato da una pendenza di fondo alveo media pari al 12%.

Si è inoltre valutata la dimensione del materiale di fondo costituente l'alveo, caratterizzata da un d_{50} pari a 25 mm.

Il tratto interessato dalla sistemazione idraulica in progetto, di lunghezza complessiva 33,00 m, presenta una pendenza costante del 3%. L'inalveazione presenta sezione rettangolare, con larghezza sul fondo di 6,00 m, altezza 3,00 m; il tratto in progetto è caratterizzato dalla presenza di 1 salto di fondo di altezza 2,00 m, realizzato in gabbioni metallici.

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

Il profilo longitudinale del modello Piria 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> CS0787_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 (PIR1);
- scala di moto uniforme imposta nella sezione terminale di valle del modello (PIR148),
- granulometria caratteristica (D_{50}) nel tratto simulato pari a 25 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:

- $22 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per l'alveo inciso in condizioni naturali;
- $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per l'alveo inciso interessato dalla sistemazione in gabbioni o materassi metallici tipo "Reno" prevista;
- da 15 a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree di piano campagna esterne all'alveo caratterizzate da copertura vegetale di tipo arbustivo o arboreo.

3.3 Rappresentazione dei risultati

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

Tutte le piene nei tratti ad assetto naturale defluiscono all'interno dell'alveo inciso, nei tratti artificializzati rimangono contenute all'interno delle opere di contenimento dei livelli o di difesa in alveo presenti; pertanto le esondazioni hanno una ampiezza limitata.

Il livello idrico e il carico totale definiti per il tempo di ritorno di riferimento T_r 200 anni risultano sempre contenuti all'interno 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 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	-
briglia base salto	0,00	125,59	0,52	126,11	127,01	15,37	4,20	3,66	7,54	1,92
PIR-01 monte	12,30	124,32	0,51	124,83	125,75	15,37	4,25	3,62	7,53	1,95
PIR-01 valle	13,70	121,44	0,61	122,05	122,99	15,37	4,29	3,58	7,43	1,97
PIR-02	78,01	114,00	0,97	114,97	116,18	15,37	4,88	3,15	5,63	2,08
PIR-03	144,51	106,25	0,83	107,08	107,80	15,37	3,76	4,09	11,37	2,01
PIR-04	214,94	97,20	1,31	98,51	99,60	15,37	4,62	3,33	6,59	2,07
monte briglia	234,95	95,48	0,59	96,07	97,03	15,37	4,34	3,54	6,00	1,79
valle briglia	235,95	94,50	0,80	95,30	95,82	15,37	3,20	4,80	6,00	1,15
PIR-05	238,95	94,37	0,82	95,19	95,69	15,37	3,12	4,92	6,00	1,10
	248,42	94,07	0,83	94,90	95,39	15,37	3,09	4,98	6,00	1,08
monte briglia	252,44	93,95	0,83	94,78	95,27	15,37	3,09	4,98	6,00	1,08
valle briglia	253,44	91,95	0,80	92,75	93,27	15,37	3,20	4,80	6,00	1,15
PIR-06	261,18	91,69	0,80	92,49	93,01	15,37	3,20	4,80	6,00	1,15
monte briglia	269,95	91,39	0,80	92,19	92,71	15,37	3,20	4,80	6,00	1,15
valle briglia	270,95	89,39	0,81	90,20	90,71	15,37	3,16	4,86	6,00	1,11
monte briglia	283,24	89,00	0,81	89,81	90,32	15,37	3,16	4,86	6,00	1,11
valle briglia	284,24	87,60	0,82	88,42	88,92	15,37	3,12	4,92	6,00	1,10
PIR-07	284,51	87,59	0,82	88,41	88,91	15,38	3,13	4,92	6,00	1,10
PIR-07A	293,15	87,32	0,82	88,14	88,64	15,38	3,13	4,92	6,00	1,10
PIR-08	304,05	86,98	0,82	87,80	88,30	15,39	3,13	4,92	6,00	1,10
monte briglia	308,24	86,85	0,82	87,67	88,17	15,39	3,13	4,92	6,00	1,11
valle briglia	309,24	84,85	0,91	85,76	86,17	15,41	2,82	5,46	6,00	0,95
PIR-08A	313,24	84,70	0,97	85,67	86,03	15,42	2,65	5,82	6,00	0,86
	316,18	84,61	1,00	85,61	85,93	15,42	2,49	6,20	6,20	1,52
PIR-09	328,51	83,00	1,93	84,93	85,54	15,43	3,45	4,47	7,06	1,39
monte briglia	357,98	81,14	1,92	83,06	83,70	15,47	3,53	4,38	7,05	1,43
valle briglia	358,98	79,04	1,56	80,60	82,76	15,49	6,51	2,38	3,70	2,57
PIR-10	372,61	76,65	0,91	77,56	78,81	15,50	4,95	3,13	4,76	1,95
PIR-11	429,48	70,38	1,05	71,43	72,32	15,56	4,17	3,73	8,84	2,20
PIR-12	485,12	64,95	0,97	65,92	66,90	15,65	4,40	3,56	7,67	2,07
monte salto	526,04	61,28	0,96	62,24	63,25	15,73	4,46	3,53	7,59	2,09
valle salto	527,04	60,71	1,00	61,71	62,61	15,76	4,19	3,76	8,20	1,98
monte salto	545,62	59,24	1,00	60,24	61,15	15,78	4,23	3,73	8,14	1,99
valle salto	546,62	58,72	0,97	59,69	60,69	15,79	4,44	3,56	7,67	2,08
PIR-13	556,34	57,90	0,91	58,81	59,67	15,80	4,10	3,85	7,00	2,00
monte salto	559,25	57,59	0,91	58,50	59,35	15,81	4,09	3,87	7,00	2,00
valle salto	560,25	57,22	0,96	58,18	58,90	15,81	3,75	4,22	7,00	1,83
monte salto	573,36	56,11	0,96	57,07	57,79	15,81	3,75	4,22	7,00	1,82
valle salto	574,36	55,50	0,90	56,40	57,28	15,81	4,16	3,80	7,00	2,03
PIR-14	610,66	51,47	0,97	52,44	53,22	15,81	3,90	4,05	9,85	1,97

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0

in grigio: inizio e fine sistemazione.

Tabella 3.2 – Risultati della simulazione idraulica di progetto.

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

- viadotto Piria: livello idrico calcolato per Tr 200 = 88,32 m s.l.m.; quota minima di intradosso da considerare = 90,40 m s.l.m.; quota intradosso di progetto = 98,82 m s.l.m. circa; franco idraulico¹ = 10,50 m circa.

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

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
PIR-01 monte	12,30	124.32	0.51	124.83	125.75	4.25	124,32	0,51	124,83	125,75	4,25
PIR-01 valle	13,70	121.44	0.61	122.05	122.99	4.29	121,44	0,61	122,05	122,99	4,29
PIR-02	78,01	114.00	0.97	114.97	116.18	4.88	114,00	0,97	114,97	116,18	4,88
PIR-03	144,51	106.25	0.83	107.08	107.80	3.76	106,25	0,83	107,08	107,80	3,76
PIR-04	214,94	97.20	1.35	98.55	99.43	4.15	97,20	1,31	98,51	99,60	4,62
PIR-05	238,95	95.15	1.15	96.30	96.98	3.66	94,37	0,82	95,19	95,69	3,12
PIR-06	261,18	92.58	0.88	93.46	94.62	4.77	91,69	0,80	92,49	93,01	3,20
PIR-07	284,51	89.40	1.07	90.47	91.71	4.94	87,59	0,82	88,41	88,91	3,13
PIR-08	304,05	85.86	1.43	87.29	88.60	5.08	86,98	0,82	87,80	88,30	3,13
PIR-09	328,51	83.00	1.93	84.93	85.54	3.45	83,00	1,93	84,93	85,54	3,45
PIR-10	372,61	76.65	0.91	77.56	78.81	4.96	76,65	0,91	77,56	78,81	4,95

¹ Il franco idraulico è stato misurato all'intradosso dell'impalcato, in corrispondenza dell'asse dell'opera di attraversamento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0

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
PIR-11	429,48	70.38	1.05	71.43	72.32	4.17	70,38	1,05	71,43	72,32	4,17
PIR-12	485,12	64.95	0.97	65.92	66.90	4.40	64,95	0,97	65,92	66,90	4,40
PIR-13	556,34	57.90	0.91	58.81	59.67	4.10	57,90	0,91	58,81	59,67	4,10
PIR-14	610,66	51.47	0.97	52.44	53.22	3.90	51,47	0,97	52,44	53,22	3,90

in grigio: inizio e fine sistemazione.

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 gabbioni metallici e il terreno sottostante.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0

metallici e dei gabbioni.

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 Piria sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE				
peso specifico acqua (kg/m ³)	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diametro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m ³)
γ_w	y	i	d_m	γ_s
1000	0,97	0,03	0,15	2500

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

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	θ	τ_s
29,1	0,14	31,50	21,83	90,00	18,90

Tabella 4.2 – 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 t. Piria, tali condizioni risultano verificate soltanto per il rivestimento di fondo; per le sponde si ammette dunque che si verifichino delle deformazioni.

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

4.2 Verifica in termini di velocità

La verifica è stata effettuata confrontando la velocità media lungo la sistemazione con la velocità

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 o del gabbione e per velocità limite si intende quella, ancora accettabile, che determina deformazioni contenute per insaccamento del pietrame nel materasso Reno o nel gabbione metallico.

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

VERIFICA VELOCITA'				
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
2,87	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 4.3 – Verifica della velocità media, ammissibile e limite per materassi metallici e gabbioni.

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 o del gabbione metallico. 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	
controllo deformazioni fondo (kg/m ²)	controllo deformazioni sponde (kg/m ²)
1,2 τ_c	1,2 τ_s
37,80	22,68

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0787_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Si verifica che per il t. Piria le tensioni tangenziali non superano del 20% le tensioni critiche.

4.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi Reno e gabbioni 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 Piria si ottengono i seguenti risultati:

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

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 ($v_b \text{ geotes}$).