



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 ZAGARELLA 2 <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CS0803_F0</div>
---	--

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_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	6
2.2 Intervento in progetto	6
3 Analisi idraulica della configurazione di progetto	7
3.1 Portate di progetto	8
3.2 Schematizzazione del modello numerico	8
3.2.1 Condizioni al contorno	9
3.2.2 Coefficienti di scabrezza	9
3.3 Rappresentazione dei risultati	10
4 Verifiche del rivestimento dell'alveo	12
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> CS0803_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 Zagarella 2 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

I torrenti Zagarella 1 e Zagarella 2 scorrono all'incirca in parallelo nella parte alta e confluiscono in un unico corso d'acqua poco a monte della SS n.18. Essi presentano orientamento sud-est nord-ovest e sono caratterizzati da un tratto montano ad elevata pendenza e da un tratto, in prossimità della costa, a pendenza e velocità più ridotte. I due corsi d'acqua, al momento del sopralluogo, si presentano completamente asciutti.

Il torrente Zagarella 1, a monte del viadotto autostradale presenta una sezione delimitata da muri in c.a., notevolmente invasa dalla vegetazione. Una decina di metri a monte dell'impalcato è presente una briglia in c.a. di circa 10 m di larghezza, 4,7 m di altezza e 1,6 m di altezza della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0

sommità rispetto alla gaveta. In questa sezione affluisce tutta la portata che si genera dal bacino a monte.

A valle, l'alveo prosegue arginato fra muri in pietrame e al suo interno è presente una strada sterrata.

Il torrente Zagarella 2, a monte dell'autostrada, risulta più pendente e più vegetato dello Zagarella 1. Verso monte è presente una briglia, piuttosto nascosta dalla vegetazione, verso valle la sezione è delimitata da muri in calcestruzzo ed è ricoperta di vegetazione.

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 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	-
ZA2-01	0.00	105.00	0.20	105.20	105.63	11.19	2.89	3.87	15.36	1.84
	19.19	102.00	0.35	102.35	102.71	11.19	2.64	4.24	16.60	1.67
Monte briglia	34.45	100.67	0.36	101.03	101.38	11.19	2.63	4.26	18.89	1.77
Valle briglia	35.50	98.30	0.33	98.63	99.08	11.19	2.97	3.77	18.09	2.07
	54.60	95.01	0.72	95.73	97.07	11.19	5.13	2.18	6.10	2.74
ZA2-03	67.94	92.01	0.83	92.84	93.97	11.19	4.70	2.38	5.41	2.26
	81.90	90.02	0.88	90.90	91.95	11.19	4.55	2.46	5.54	2.18
ZA2-04	99.00	88.00	0.61	88.61	89.37	11.19	3.87	2.89	6.33	1.83
ZA2-05	123.70	86.00	0.36	86.36	86.85	11.19	3.10	3.61	9.35	2.09
ZA2-06	154.34	81.21	0.84	82.05	83.15	14.70	4.64	3.17	7.36	2.25
ZA2-07	204.46	74.00	0.39	74.39	75.45	14.70	4.57	3.22	8.31	2.34
ZA2-08	253.59	66.00	0.81	66.81	67.70	14.70	4.19	3.51	6.68	1.84
	276.07	64.00	0.76	64.76	65.88	14.70	4.70	3.13	5.73	2.03
ZA2-09	296.36	62.00	0.52	62.52	63.43	14.70	4.22	3.48	7.61	1.99
	323.61	59.00	0.65	59.65	60.73	14.70	4.61	3.19	6.69	2.13
ZA2-10	350.17	55.48	0.71	56.19	56.96	14.70	3.88	3.79	8.63	1.87
	374.76	53.00	0.65	53.65	54.51	14.70	4.12	3.57	9.52	2.14
ZA2-11	397.98	50.00	0.52	50.52	51.33	14.70	3.99	3.68	7.99	1.88
ZA2-12	429.40	46.89	0.58	47.47	47.82	14.70	2.60	5.65	14.03	1.31
	445.12	45.95	0.76	46.71	46.87	14.70	1.79	8.21	14.04	0.75

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2 Interventi di sistemazione idraulica in progetto

Il presente capitolo descrive sinteticamente gli interventi di sistemazione idraulica previsti sul torrente Zagarella 2.

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

Nel Progetto Esecutivo di competenza DG87 è prevista un'inalveazione a sezione trapezia di base 4,00 m e altezza 2,00 m, in materasso tipo Reno per una lunghezza di 65,00 m, con salti di fondo di altezza $h = 1,00$ m; la pendenza del tratto sistemato è prevista pari al 3%.

2.2 Intervento in progetto

Il 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 terminale dell'inalveazione DG87, di altezza 1,00 m, sono previste ulteriori 2 briglie di altezza 2,00 m e 1 briglia di 1,00 m, poste a una distanza di 10,00 m,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

seguite da un tratto di raccordo alla sezione naturale di 12,50 m. La sponda sinistra è prevista a ridosso del muro esistente e presenta una lunghezza in asse di 10,00 m, la sponda destra presenta invece una lunghezza di 42,50 m e il successivo ammorsamento al muro d'argine esistente.

L'inalveazione prevista presenta sezione rettangolare di larghezza variabile dagli 11,00 ai 9,00 m e 2,00 m di altezza, con pendenza di fondo costante del 3%.

Le briglie saranno realizzate in gabbioni, così come il rivestimento di fondo per il quale è previsto uno spessore di 0,50 m per i successivi 5,00 m dal salto; limitatamente al tratto di raccordo alla sezione naturale di fine sistemazione saranno viceversa impiegati i materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm. Si prevede inoltre un rivestimento in gabbioni di spessore 0,50 m e larghezza di 1,50 m a protezione del muro di sponda in sinistra, per una lunghezza in asse di circa 32,50 m e un rivestimento in gabbioni di spessore 0,50 m e larghezza di 1,00 m in destra a protezione del breve tratto di muro al termine della sistemazione (2,50 m). Tra i gabbioni e il terreno sarà inserito un tessuto geotessile con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale.

Dall'esame complessivo delle caratteristiche del bacino in oggetto, risulterebbe opportuna l'eventuale realizzazione a monte del tracciato autostradale di una area di accumulo del materiale solido trasportato sullo Zagarella 2, al fine di frenare e eventualmente arrestare colate detritiche che potrebbero innescarsi nel settore di testata del bacino. Considerata tuttavia la modesta (o pressoché nulla) interferenza aggiuntiva che l'allargamento della carreggiata autostradale comporta rispetto alle condizioni di progetto di DG87, tale opera non è stata considerata nella presente progettazione definitiva.

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> CS0803_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 Zagarella 2 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(*)
06M.2	T. ZAGARELLA 2	0,142	8,5	7,5	9,2	11,19
06V.2	T. ZAGARELLA 2	0,182	10,9	9,8	12,1	14,7

(*) 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 Zagarella 2 è stata descritta sulla base del rilievo topografico costituito da 14 sezioni trasversali che rappresentano in modo esaustivo l'alveo di piena del corso d'acqua.

Rispetto alle 12 sezioni impiegate per la simulazione delle condizioni idrauliche ante operam, sono state aggiunte 2 nuove sezioni (ZAG2-06A, ZAG2-06B), 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 eseguito copre una un'estensione complessiva di corso d'acqua pari a circa 445 m, il profilo di fondo alveo è caratterizzato da una pendenza media pari al 13%.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il tratto interessato dalla sistemazione idraulica in progetto, di lunghezza complessiva 42,50 m, presenta una pendenza costante del 3%. L'inalveazione presenta sezione rettangolare, con larghezza variabile tra gli 11,00 m e i 9,00 m e altezza 2,00 m ed è previsto il rivestimento in materassi metallici tipo "Reno" e gabbioni metallici. Il tratto in progetto è caratterizzato dalla presenza di 3 salti di altezza variabile tra i 2,00 m e 1,00 m, realizzati in gabbioni, ubicati a distanza di 10,00 m.

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

Il profilo longitudinale del modello Zagarella 2 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.

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 (ZAG2-01);
- portata concentrata dell'affluente di sinistra idraulica a valle della A3;
- livello di piena prodotto dallo Zagarella 1 nella sezione di confluenza;
- granulometria caratteristica (D50) nel tratto simulato pari a 10 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:

- $23 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per l'alveo inciso in condizioni naturali;
- $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per l'alveo inciso interessato dalla sistemazione in gabbioni e 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

copertura vegetale di tipo arbustivo o arboreo.

3.3 Rappresentazione dei risultati

Le simulazioni eseguite sul torrente Zagarella 2 mostrano che il deflusso delle piene avviene in corrente veloce, data la elevata pendenza media di fondo alveo del tratto simulato è circa pari al 13%.

Le piene sono contenute all'interno dell'alveo inciso e dalle opere esistenti (muri arginali), localizzate in corrispondenza della confluenza in Zagarella 1.

Il livello idrico e il carico totale definiti per il tempo di ritorno di riferimento Tr 200 anni risultano sempre contenuti all'interno della sistemazione idraulica in progetto.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle simulazioni eseguite per la configurazione di progetto riferite al tempo di ritorno di 200 anni.

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	-
ZAG2-01	0,00	105,00	0,20	105,20	105,63	11,19	2,89	3,87	15,36	1,84
	19,19	102,00	0,35	102,35	102,71	11,19	2,64	4,24	16,60	1,67
Monte briglia	34,45	100,67	0,36	101,03	101,38	11,19	2,63	4,26	18,89	1,77
Valle briglia	35,50	98,30	0,33	98,63	99,08	11,19	2,97	3,77	18,09	2,07
	54,60	95,01	0,72	95,73	97,07	11,19	5,13	2,18	6,10	2,74
ZAG2-03	67,94	92,01	0,81	92,82	94,09	11,19	5,00	2,24	5,25	2,45
	84,40	89,42	0,72	90,14	90,62	11,19	3,06	3,65	6,15	1,15
monte salto	91,84	89,19	0,66	89,85	90,44	11,19	3,40	3,29	5,97	1,34
valle salto	92,84	88,19	0,70	88,89	89,40	11,19	3,17	3,54	6,10	1,21
ZAG2-04	99,00	87,98	0,65	88,63	89,19	11,19	3,30	3,39	6,42	1,31
monte salto	99,35	87,97	0,63	88,60	89,16	11,19	3,31	3,38	5,89	1,33

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	-
valle salto	100,35	86,97	0,69	87,66	88,19	11,19	3,22	3,47	6,07	1,24
monte salto	106,85	86,74	0,63	87,37	88,03	11,19	3,59	3,12	5,89	1,44
valle salto	107,85	85,74	0,69	86,43	86,96	11,19	3,22	3,48	6,08	1,24
monte salto	114,35	85,52	0,63	86,15	86,81	11,19	3,59	3,12	5,89	1,44
valle salto	115,35	84,52	0,79	85,31	85,69	11,19	2,73	4,10	6,37	1,09
ZAG2-05	123,70	84,23	0,85	85,08	85,63	14,70	3,28	4,48	6,54	1,14
monte salto	131,85	83,99	0,78	84,77	85,45	14,70	3,65	4,03	6,33	1,32
valle salto	132,85	82,99	0,85	83,84	84,39	14,70	3,28	4,48	6,55	1,14
monte salto	149,31	82,47	0,76	83,23	83,95	14,70	3,76	3,91	6,29	1,38
valle salto	150,31	81,47	0,69	82,16	83,07	14,70	4,23	3,47	6,07	1,63
ZAG2-06	154,34	81,31	0,54	81,85	82,21	14,70	2,67	5,51	10,20	1,16
monte salto	159,31	81,16	0,52	81,68	82,16	14,70	3,07	4,78	9,20	1,36
valle salto	160,31	79,16	0,55	79,71	80,14	14,70	2,91	5,06	9,20	1,25
monte salto	169,31	78,86	0,48	79,34	79,86	14,70	3,19	4,61	9,60	1,47
valle salto	170,31	76,86	0,55	77,41	77,81	14,70	2,78	5,28	9,60	1,20
ZAG2-06A	177,56	76,62	0,52	77,14	77,58	14,70	2,94	4,99	9,60	1,30
monte salto	179,31	76,56	0,51	77,07	77,55	14,70	3,08	4,77	9,35	1,38
valle salto	180,31	75,56	0,54	76,10	76,53	14,70	2,91	5,05	9,35	1,26
	191,76	75,19	0,42	75,61	76,43	14,70	4,02	3,65	8,70	1,98
ZAG2-07	204,46	74,00	0,39	74,39	75,45	14,70	4,57	3,22	8,31	2,34
ZAG2-08	253,59	66,00	0,81	66,81	67,70	14,70	4,19	3,51	6,68	1,84
	276,07	64,00	0,76	64,76	65,88	14,70	4,70	3,13	5,73	2,03
ZAG2-09	296,36	62,00	0,52	62,52	63,43	14,70	4,22	3,48	7,61	1,99
	323,61	59,00	0,65	59,65	60,73	14,70	4,61	3,19	6,69	2,13
ZAG2-10	350,17	55,48	0,71	56,19	56,96	14,70	3,88	3,79	8,63	1,87
	374,76	53,00	0,65	53,65	54,51	14,70	4,12	3,57	9,52	2,14
ZAG2-11	397,98	50,00	0,52	50,52	51,33	14,70	3,99	3,68	7,99	1,88
ZAG2-12	429,40	46,89	0,58	47,47	47,82	14,70	2,60	5,65	14,03	1,31
	445,12	45,95	0,76	46,71	46,87	14,70	1,79	8,21	14,04	0,75

in grigio: inizio e fine sistemazione.

Tabella 3.2 – Risultati della simulazione idraulica di progetto.

In particolare, per il viadotto Zagarella 2, 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:

- viadotto Zagarella 2: livello idrico calcolato per Tr 200 = 79,62 m s.l.m.; quota minima di intradosso da considerare = 81,70 m s.l.m.; quota intradosso di progetto = 87,52 m s.l.m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0

circa; franco idraulico¹ = 7,90 m circa.

I risultati delle simulazioni eseguite sono rappresentati sulle tavole grafiche relative al torrente Zagarella 2: 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
ZAG2-01	0,00	105.00	0.20	105.20	105.63	2.89	105,00	0,20	105,20	105,63	2,89
Monte briglia	34,45	100.67	0.36	101.03	101.38	2.63	100,67	0,36	101,03	101,38	2,63
Valle briglia	35,50	98.30	0.33	98.63	99.08	2.97	98,30	0,33	98,63	99,08	2,97
ZAG2-03	67,94	92.01	0.83	92.84	93.97	4.70	92,01	0,81	92,82	94,09	5,00
ZAG2-04	99,00	88.00	0.61	88.61	89.37	3.87	87,98	0,65	88,63	89,19	3,30
ZAG2-05	123,70	86.00	0.36	86.36	86.85	3.10	84,23	0,85	85,08	85,63	3,28
ZAG2-06	154,34	81.21	0.84	82.05	83.15	4.64	81,31	0,54	81,85	82,21	2,67
ZAG2-07	204,46	74.00	0.39	74.39	75.45	4.57	74,00	0,39	74,39	75,45	4,57
ZAG2-08	253,59	66.00	0.81	66.81	67.70	4.19	66,00	0,81	66,81	67,70	4,19
ZAG2-09	296,36	62.00	0.52	62.52	63.43	4.22	62,00	0,52	62,52	63,43	4,22
ZAG2-10	350,17	55.48	0.71	56.19	56.96	3.88	55,48	0,71	56,19	56,96	3,88
ZAG2-11	397,98	50.00	0.52	50.52	51.33	3.99	50,00	0,52	50,52	51,33	3,99
ZAG2-12	429,40	46.89	0.58	47.47	47.82	2.60	46,89	0,58	47,47	47,82	2,60

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

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> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 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 Zagarella 2 sono risultati i seguenti parametri:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0

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	0,69	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
20,7	0,14	31,50	15,53	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. Zagarella 2, tali condizioni risultano verificate sia per il rivestimento di fondo, sia per le sponde.

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 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 Zagarella 2 risultano i seguenti valori:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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
3,18	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

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

Si verifica che per il t. Zagarella 2 le tensioni tangenziali non superano del 20% le tensioni critiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0803_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 Zagarella 2 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 ($v_b \text{ geotes}$).