

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 ZAGARELLA 1</p> <p><i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CS0794_F0</div>
---	--

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	I	D	C	S	C	S	I	T	R	C	3	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> CS0794_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	11
4 Verifiche del rivestimento dell'alveo	14
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 e gabbioni ed il terreno sottostante	17

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0794_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 1 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> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

A valle della confluenza dei due rami Zagarella, in corrispondenza della via nazionale, si trova un ponte ad arco ribassato su piedritti, di altezza all'intradosso di 1,8 m e larghezza 7 m. La sezione del ponte è in parte ostruita dalla vegetazione. A monte dell'attraversamento (9 m) è presente un salto di fondo di 1 m di altezza.

A valle del ponte l'alveo risulta contenuto fra muri in calcestruzzo e mattoni per un breve tratto, dopo di che prosegue sulla strada adiacente, via Torrente Zagarella.

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	-
ZAG-01	0.00	114.16	0.64	114.80	115.63	12.74	4.03	3.16	9.73	2.81
ZAG-02	46.36	107.50	0.69	108.19	108.85	12.74	3.59	3.55	8.54	1.78
	64.34	106.00	0.71	106.71	107.59	12.74	4.16	3.06	8.43	2.50
ZAG-03	86.69	103.21	0.51	103.72	104.49	12.74	3.88	3.28	9.49	2.11
Briglia monte	93.36	102.40	0.51	102.91	103.68	12.74	3.90	3.27	9.48	2.12
Briglia valle	94.36	97.70	0.62	98.32	98.76	12.74	2.95	4.32	10.78	1.49
	101.55	97.22	0.69	97.91	98.36	12.74	2.98	4.28	9.88	1.45
A3	116.46	96.37	0.74	97.11	97.57	12.74	3.01	4.23	9.00	1.40
A3	144.86	95.06	0.64	95.70	96.29	12.74	3.42	3.73	8.41	1.64
ZAG-04	146.10	95.00	0.61	95.61	96.27	12.74	3.59	3.55	8.12	1.81
	179.53	92.01	0.59	92.60	93.47	12.74	4.12	3.09	7.76	2.08
ZAG-05	196.09	90.00	0.61	90.61	91.49	12.74	4.16	3.06	7.97	2.14
	219.37	87.00	0.64	87.64	89.00	12.74	5.16	2.47	5.28	2.41

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	-
ZAG-06	240.35	83.89	0.63	84.52	85.83	12.74	5.08	2.51	4.82	2.25
	261.09	80.92	0.83	81.75	83.00	12.74	4.96	2.57	5.56	2.98
ZAG-07	275.68	78.92	0.73	79.65	80.38	12.74	3.79	3.36	6.27	2.02
ZAG-08	316.90	74.50	0.53	75.03	75.69	15.58	3.60	4.33	16.15	4.98
ZAG-09	356.64	69.00	0.51	69.51	70.09	15.58	3.39	4.60	12.20	2.00
	378.93	67.00	0.58	67.58	68.48	15.58	4.21	3.70	10.42	2.75
ZAG-10	394.34	64.86	0.51	65.37	65.91	15.58	3.25	4.80	12.88	1.70
	417.22	63.01	0.54	63.55	64.47	15.58	4.25	3.67	8.35	2.65
ZAG-11	462.85	57.80	0.45	58.25	58.90	15.58	3.57	4.36	12.95	1.97
	507.70	53.01	0.41	53.42	54.31	15.58	4.19	3.72	12.20	2.85
ZAG-12	514.58	52.01	0.42	52.43	53.04	15.58	3.45	4.52	11.82	3.67
	580.05	45.95	0.76	46.71	47.07	15.58	2.65	5.88	15.43	2.41
ZAG-13	602.83	43.38	0.68	44.06	45.01	27.39	4.31	6.35	19.90	3.01
	613.64	41.76	0.69	42.45	43.21	27.39	3.86	7.10	20.82	3.23
salto monte	644.15	38.56	0.63	39.19	39.92	27.39	3.79	7.23	20.94	2.06
salto valle	645.15	37.50	0.63	38.13	38.85	27.39	3.76	7.29	20.99	2.09
ZAG-14	649.43	36.54	1.16	37.70	38.74	27.39	4.53	6.05	6.66	1.56

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 Zagarella 1.

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, 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;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- 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, la presenza in alveo di rilevati a sostegno della infrastruttura stradale ha comportato la scelta di prevedere un'inalveazione a sezione rettangolare di base 4,00 m e altezza 2,00 m, realizzata in gabbioni metallici per una lunghezza di circa 144,0 m, mentre nel tratto interessato dalla presenza del rilevato stradale l'attraversamento è previsto con una condotta tipo ARMCO del diametro di 3,0 m per una lunghezza di circa 76,0 m.

In particolare, partendo dalla briglia di monte esistente è prevista la realizzazione di una vasca di dissipazione per una lunghezza di 14,00 m; successivamente inizia l'inalveazione vera e propria in gabbioni per una lunghezza totale di 130,48 m con salti di fondo ogni 3,50, 12,50 e 17,50 m di altezza $h = 1,0$ m. Successivamente è prevista l'opera di imbocco della condotta circolare che termina dopo 76 m; la pendenza media del tratto sistemato risulta essere pari al 3% per il rivestimento in gabbioni (inalveazione) ed al 16% medio per il tratto tombato (tombino circolare). Dall'opera di sbocco e per una lunghezza di circa 21,5 m è prevista una riprofilatura del fosso naturale con una sezione trapezia di base 4,0 m e altezza 2,0 m.

2.2 Intervento in progetto

Il presente progetto Ponte prevede la realizzazione di un'inalveazione con tracciato differente dalla sistemazione DG87, al fine di mantenere il corso d'acqua a cielo aperto per tutto il tratto interferente e per non intervenire a ridosso dei rilevati che si determinano per via dell'ampliamento a valle della sede autostradale. L'inalveazione sarà estesa a valle al fine di poter convogliare nel tratto sistemato anche lo scarico del tombino idraulico ubicato in corrispondenza di un ramo secondario del t. Zagarella 1.

In particolare, si prevede di proseguire la sistemazione a valle del bacino di dissipazione previsto da DG87 con un'inalveazione di lunghezza complessiva di 263,30 m, caratterizzata dalla presenza di 12 salti di fondo di altezza 2,00 m, ubicati a distanza variabile, al fine di seguire il più possibile l'andamento plano-altimetrico del terreno naturale e ridurre i volumi di scavo. Oltre la briglia

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

terminale, è previsto un tratto di circa 54,00 m di raccordo alla sezione naturale.

L'inalveazione prevista presenta sezione rettangolare di 4,00 m di larghezza e 2,00 m di altezza, con pendenza di fondo costante del 3%.

Le briglie o salti di fondo saranno realizzati in gabbioni così come il rivestimento di fondo che è previsto di spessore 0,50 m per i primi 5,00 m a valle di ciascun salto; nella successiva porzione di fondo e nei tratti di raccordo alla sezione naturale di fine e inizio sistemazione saranno viceversa impiegati materassi metallici tipo "Reno" di spessore 0,30 m. 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 Zagarella 1 le portate di progetto risultano le seguenti:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

identificativo bacino		tempo di corrivazione		portate di progetto [m ³ /s]		
codice	nome corpo idrico significativo	media [h]	media [']	Q30	Q100	Q200(*)
06M.1	T. ZAGARELLA 1	0,143	8,6	8,6	10,6	12,74
06V.1	T. ZAGARELLA 1	0,183	11,0	10,5	12,9	15,58
06V.0	T. ZAGARELLA 1	0,221	13,2	16,6	20,4	27,39

(*) 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 è stata descritta sulla base del rilievo topografico costituito da 17 sezioni trasversali che rappresentano in modo esaustivo l'alveo di piena del corso d'acqua

Rispetto alle 14 sezioni impiegate per la simulazione delle condizioni idrauliche ante operam, sono state aggiunte 8 nuove sezioni (ZAG-03A, ZAG-04A, ZAG-04B, ZAG-04C, ZAG-05A, ZAG-05B, ZAG-06A, ZAG-06B), al fine di caratterizzare al meglio l'alveo interessato dalla sistemazione idraulica in progetto e sono state tralasciate 5 delle sezioni ante operam perché non più adatte a rappresentare il tracciato di progetto (ZAG-05, ZAG-06, ZAG-07, ZAG-08, ZAG-09).

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 torrente Zagarella 1 riceve in sinistra idraulica gli apporti del suo affluente Zagarella 2, tra le sezioni denominate ZAG-12 e ZAG-13 e il contributo di un altro ramo secondario, convogliato a valle dell'autostrada dal tombino pk 2+372 tra le sezioni ZAG-06B e ZAG-10.

Il rilievo eseguito copre un'estensione complessiva di corso d'acqua pari a circa 650 m, il profilo di fondo alveo è caratterizzato da una pendenza media pari al 12%.

Si è inoltre valutata la dimensione del materiale di fondo costituente l'alveo, caratterizzata da un d_{50} pari a 10 mm.

Il tratto interessato dalla sistemazione idraulica in progetto, di lunghezza complessiva 263,30 m, presenta una pendenza costante del 3%. L'inalveazione di progetto presenta sezione rettangolare,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

con larghezza di 4,00 m e altezza 2,00 m; è previsto il rivestimento del fondo in materassi metallici tipo “Reno” o gabbioni metallici. Il tratto in progetto è caratterizzato dalla presenza di 12 salti di altezza 2,00 m, realizzati in gabbioni, ubicati a distanza variabile.

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

Il profilo longitudinale del modello Zagarella 1 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 (ZAG-1);
- portata distribuita nel tratto a valle della A3 fino a monte della confluenza dello Zagarella 2 (sezioni ZAG-07- ZAG-12), che rappresenta il contributo del bacino residuo;
- scala di moto uniforme imposta nella sezione terminale di valle del modello (ZAG-14),
- 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 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0

3.3 Rappresentazione dei risultati

Le simulazioni eseguite sul torrente Zagarella 1 mostrano che il deflusso delle piene avviene in corrente veloce data l'elevata pendenza media di fondo alveo.

Le piene sono contenute all'interno dell'alveo inciso e dalle opere di contenimento dei livelli esistenti (muri arginali).

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.

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	-
ZAG-01	0,00	114,16	0,64	114,80	115,63	12,74	4,03	3,16	9,73	2,81
ZAG-02	46,36	107,50	0,69	108,19	108,85	12,74	3,59	3,55	8,54	1,78
	64,09	106,00	0,71	106,71	107,59	12,74	4,16	3,06	8,43	2,50
ZAG-03	88,19	103,21	0,51	103,72	104,49	12,74	3,88	3,28	9,49	2,11
Briglia monte	95,11	102,40	0,51	102,91	103,68	12,74	3,90	3,27	9,48	2,12
Briglia valle	96,11	97,70	0,86	98,56	98,71	12,74	1,72	7,41	15,51	1,40
Monte controbriglia	103,83	97,22	1,27	98,49	98,55	12,74	1,07	11,94	16,74	1,84
	108,91	97,00	0,93	97,93	98,53	12,74	3,42	3,72	4,00	1,13
ZAG03A	115,44	96,80	0,86	97,66	98,37	12,74	3,72	3,42	4,00	1,28
monte salto	133,91	96,25	0,86	97,11	97,81	12,74	3,70	3,44	4,00	1,28
valle salto	134,91	94,25	0,84	95,09	95,82	12,74	3,79	3,36	4,00	1,32
monte salto	143,91	93,95	0,86	94,81	95,51	12,74	3,70	3,44	4,00	1,28
valle salto	144,91	91,95	0,84	92,79	93,52	12,74	3,79	3,36	4,00	1,32
ZAG-04	150,75	91,74	0,86	92,60	93,31	12,74	3,72	3,42	4,00	1,28
ZAG-04A	167,65	91,24	0,86	92,10	92,79	12,74	3,68	3,46	4,00	1,26
ZAG-04B	188,66	90,60	0,86	91,46	92,16	12,74	3,71	3,43	4,00	1,28
ZAG-04C	201,29	90,22	0,86	91,08	91,79	12,74	3,72	3,43	4,00	1,28
ZAG-05A	228,80	89,40	0,86	90,26	90,96	12,74	3,71	3,44	4,00	1,28

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	-
ZAG-05B	254,01	88,65	0,86	89,51	90,20	12,74	3,69	3,45	4,00	1,27
monte salto	259,01	88,50	0,86	89,36	90,05	12,74	3,69	3,45	4,00	1,27
valle salto	260,01	86,50	0,80	87,30	88,10	12,74	3,97	3,21	4,00	1,41
monte salto	264,01	86,35	0,79	87,14	87,96	12,74	4,02	3,17	4,00	1,44
valle salto	265,01	84,35	0,80	85,15	85,95	12,74	3,97	3,21	4,00	1,41
monte salto	269,01	84,20	0,79	84,99	85,81	12,74	4,02	3,17	4,00	1,44
valle salto	270,01	82,20	0,80	83,00	83,80	12,74	3,97	3,21	4,00	1,41
monte salto	274,01	82,05	0,79	82,84	83,66	12,74	4,02	3,17	4,00	1,44
valle salto	275,01	80,05	0,80	80,85	81,65	12,74	3,97	3,21	4,00	1,41
monte salto	279,01	79,90	0,79	80,69	81,51	12,74	4,02	3,17	4,00	1,44
valle salto	280,01	77,90	0,82	78,72	79,48	12,74	3,87	3,29	4,00	1,36
monte salto	286,51	77,67	0,82	78,49	79,26	12,74	3,89	3,27	4,00	1,37
valle salto	287,51	75,67	0,84	76,51	77,25	12,74	3,80	3,35	4,00	1,33
ZAG-06A	290,18	75,56	0,86	76,42	77,12	12,74	3,71	3,43	4,00	1,28
monte salto	294,01	75,45	0,86	76,31	77,00	12,74	3,69	3,45	4,00	1,27
valle salto	295,01	73,45	0,82	74,27	75,03	12,74	3,87	3,29	4,00	1,36
monte salto	301,51	73,22	0,82	74,04	74,81	12,74	3,89	3,27	4,00	1,37
valle salto	302,51	71,22	0,82	72,04	72,81	12,74	3,89	3,27	4,00	1,37
monte salto	309,01	71,00	0,82	71,82	72,58	12,74	3,87	3,29	4,00	1,36
valle salto	310,01	69,00	0,82	69,82	70,58	12,74	3,87	3,29	4,00	1,36
monte salto	316,51	68,77	0,82	69,59	70,36	12,74	3,89	3,27	4,00	1,37
valle salto	317,51	66,77	0,84	67,61	68,35	12,74	3,80	3,35	4,00	1,33
ZAG-06B	320,23	66,64	0,88	67,52	68,19	12,74	3,64	3,50	4,00	1,24
ZAG-10	372,21	64,86	0,51	65,37	65,91	15,58	3,25	4,80	12,88	1,70
	395,09	63,01	0,54	63,55	64,47	15,58	4,25	3,67	8,35	2,65
ZAG-11	440,72	57,80	0,45	58,25	58,90	15,58	3,57	4,36	12,95	1,97
	485,57	53,01	0,41	53,42	54,31	15,58	4,19	3,72	12,20	2,85
ZAG-12	492,45	52,01	0,42	52,43	53,04	15,58	3,45	4,52	11,82	3,67
	557,92	45,95	0,76	46,71	47,07	15,58	2,65	5,88	15,43	2,41
ZAG-13	580,70	43,38	0,68	44,06	45,01	27,39	4,31	6,35	19,90	3,01
	591,51	41,76	0,69	42,45	43,21	27,39	3,86	7,10	20,82	3,23
salto monte	622,02	38,56	0,63	39,19	39,92	27,39	3,79	7,23	20,94	2,06
salto valle	623,02	37,50	0,63	38,13	38,85	27,39	3,76	7,29	20,99	2,09
ZAG-14	627,30	36,54	1,16	37,70	38,74	27,39	4,53	6,05	6,66	1,56

in grigio: inizio e fine sistemazione.

Tabella 3.2 – Risultati della simulazione idraulica di progetto.

In particolare, per il viadotto Zagarella 1, risultano rispettate le prescrizioni minime di progetto, considerando di adottare cautelativamente un franco minimo di 2,00 m rispetto al livello di piena di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0

progetto:

- viadotto Zagarella 1: livello idrico calcolato per Tr 200 = 91,98 m s.l.m.; quota minima di intradosso da considerare = 94,00 m s.l.m.; quota intradosso di progetto = 94,93 m s.l.m. circa; franco idraulico¹ = 2,95 m circa.

I risultati delle simulazioni eseguite sono rappresentati sulle tavole grafiche relative al torrente Zagarella 1: 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. E' possibile fare un confronto solo per le sezioni 4 e 10, poiché il tracciato del corso d'acqua è cambiato significativamente nella fase di progetto e il modello idraulico è stato incentrato sulle nuove sezione inserite ad hoc per descrivere il nuovo andamento del corso d'acqua.

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
ZAG-01	0,00	114.16	0.64	114.80	115.63	4.03	114,16	0,64	114,80	115,63	4,03
ZAG-02	46,36	107.50	0.69	108.19	108.85	3.59	107,50	0,69	108,19	108,85	3,59
ZAG-03	88,19	103.21	0.51	103.72	104.49	3.88	103,21	0,51	103,72	104,49	3,88
ZAG-04	150,75	95.00	0.61	95.61	96.27	3.59	91,74	0,86	92.60	93,31	3,72
ZAG-05	196.09	90.00	0.61	90.61	91.49	4.16					
ZAG-06	240.35	83.89	0.63	84.52	85.83	5.08					
ZAG-07	275.68	78.92	0.73	79.65	80.38	3.79					
ZAG-08	316.90	74.50	0.53	75.03	75.69	3.60					
ZAG-09	356.64	69.00	0.51	69.51	70.09	3.39					
ZAG-10	394.34	64.86	0.51	65.37	65.91	3.25	64,86	0,51	65,37	65,91	3,45
ZAG-11	462.85	57.80	0.45	58.25	58.90	3.57	57,80	0,45	58,25	58,90	4,95
ZAG-12	514.58	52.01	0.42	52.43	53.04	3.45	52,01	0,42	52,43	53,04	4,17
ZAG-13	602.83	43.38	0.68	44.06	45.01	4.31	43,38	0,68	44,06	45,01	4,40
ZAG-14	649.43	36.54	1.16	37.70	38.74	4.53	36,54	1,16	37,70	38,74	4,10

in grigio: inizio e fine sistemazione.

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> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 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 :

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0794_F0

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

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 1 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	0,93	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
27,9	0,14	31,50	20,93	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 1, 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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0794_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 1 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
3,81	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 1 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> CS0794_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 1 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 ($v_b \text{ geotes}$).