

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 <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 IMMACOLATA <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CS0815_F0</div>
--	--

CODICE	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">S</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">S</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">F</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> </div>
--------	--

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> CS0815_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	7
3 Analisi idraulica della configurazione di progetto	8
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	10
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	14
4.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici ed il terreno sottostante	16

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_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 Immacolata 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 Immacolata presenta andamento est-ovest e, in corrispondenza del viadotto autostradale, il suo letto è stato oggetto di alcuni interventi di pulizia, non ancora conclusi. Al momento del sopralluogo, il torrente risulta completamente asciutto, almeno nel tratto di monte.

In corrispondenza del viadotto autostradale, sono presenti 3 briglie, la prima è ubicata circa 20 m a valle della curva della stradina di fondovalle e del termine del muro d'argine, la seconda è posta 10 m a valle del filo dell'impalcato e la terza si trova 20 m a valle della seconda briglia. Tali briglie si intestano su due muri laterali. Tutto il corso d'acqua originariamente era contenuto tra i due muri che individuavano un alveo di circa 10 m di larghezza. La zona di calma tra le briglie

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

rappresentava verosimilmente una vasca di sedimentazione del materiale trasportato.

Successivamente la realizzazione della pista sul lato destro della sezione ha di fatto sottratto una porzione d'alveo utile al deflusso per portate di piena.

Poco a monte dell'abitato di Villa S. Giovanni, è presente una vasca sghiaiatrice in c.a., sagomata a forma di imbuto per far sedimentare il materiale prima dell'ingresso nel tratto tombato. A monte della vasca è presente una briglia. Nel primo tratto la vasca si presenta a sezione rettangolare ampia, in seguito si restringe fino a diventare, nell'ultimo tratto, un canale rivestito, anticipato da uno scivolo. Il manufatto di imbocco presenta sezione rettangolare, di larghezza 4 m e altezza 1,8 m. Dall'indagine visiva la vasca appare in parte riempita di materiale e vegetazione; per ripristinarne la completa funzionalità è necessario prevederne lo svuotamento fino al livello del fondo canale di ingresso. All'interno del canale si osserva una minima quantità d'acqua.

Il tratto tombato, apparentemente pulito e funzionale, presenta una lunghezza complessiva di circa 750 m e una pendenza media del 4,8%.

Lo sbocco del tratto tombato avviene poco a monte dell'attraversamento ferroviario; la sezione risulta ampia e sistemata tra muri in c.a., di larghezza 4-5 m e altezza 1 m circa. Tale sezione canalizzata sbocca in corrispondenza della strada costiera che porta all'imbarcadere; attraverso una griglia che alimenta a caduta una canalizzazione sottostante, le acque vengono recapitate in mare nella zona dell'imbarcadere.

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	-
IMM-01	0.00	74.81	0.80	75.61	76.36	18.44	3.84	4.80	8.34	1.63
IMM-02	22.19	73.66	1.15	74.81	75.92	18.44	4.66	3.96	4.15	1.52
IMM-03	59.51	72.57	0.90	73.47	73.98	18.44	3.16	5.84	9.60	1.29
IMM-04	97.67	71.43	0.97	72.40	72.95	18.44	3.29	5.60	10.79	1.46
	101.49	71.36	0.91	72.27	72.93	18.44	3.61	5.11	11.06	2.00
	121.01	70.07	1.00	71.07	72.19	18.44	4.68	3.94	11.65	2.90
IMM-05	128.29	69.60	0.86	70.46	71.73	18.44	4.98	3.70	4.45	2.97

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0

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	-
IMM-06	149.88	66.56	0.72	67.28	68.84	18.55	5.54	3.35	8.08	2.78
	170.34	64.00	0.89	64.89	65.53	18.75	3.54	5.30	10.12	1.59
IMM-07	207.29	62.83	0.75	63.58	64.43	19.04	4.09	4.65	11.26	2.09
IMM-08	265.13	58.24	1.26	59.50	60.26	19.50	3.85	5.06	6.88	1.46
IMM-09	324.86	56.13	1.24	57.37	58.23	19.79	4.10	4.83	7.90	1.74

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 Immacolata.

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 una nuova inalveazione a margine della strada campestre esistente; partendo da un bacino di dissipazione di monte di modeste dimensioni, in gabbioni, si realizzerà una sezione rettangolare (larghezza di base 4,0 m e altezza 2,0 m) per una lunghezza di 96,50 m e salti di fondo da 1,0 m e 2,0 m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La lunghezza totale dell'intervento è di 120,50 m, la pendenza media dell'1,5%.

2.2 Intervento in progetto

Nel presente progetto Ponte si propone la prosecuzione e l'ampliamento a monte della vasca di accumulo e dissipazione prevista dal progetto DG87, a protezione del tratto di corso d'acqua interessato dalla realizzazione della nuova rampa autostradale che scavalca la sistemazione in viadotto.

In particolare, verranno rimossi i primi 4,00 m di rivestimento di fondo a monte della briglia realizzati da DG87 e verrà costruita una vasca di accumulo che si apre in adiacenza alla strada campestre esistente in destra e si addossa alla scarpata in sinistra, estendendosi a monte per circa 33,50 m in destra e 34,00 m in sinistra. Ad una distanza di 11,00 m a monte della briglia DG87, sarà prevista un'altra briglia di 1,00 m di altezza.

La sezione presenta una forma rettangolare, con sponde di altezza 2,00 m in destra e 3,00 m in sinistra e larghezza decrescente dai circa 16,00 m di monte, agli 8,00 m di valle. La pendenza è pari al 6%, come il primo tratto di sistemazione del progetto DG87.

Le sponde e la briglia saranno realizzati in gabbioni così come il rivestimento di fondo che è previsto di spessore 0,50 m nel tratto tra le due briglie e per i primi 5,00 m a monte della briglia in progetto, per una lunghezza complessiva di 15 m. Si prevede inoltre una fondazione in gabbioni di spessore 50 cm e larghezza di 2,00 m a protezione dei muri di sponda laddove non è previsto il rivestimento di fondo. Tra i gabbioni e il terreno sarà inserito un tessuto geotessile con funzioni di separazione, rinforzo e protezione del terreno naturale.

Relativamente alle opere di intercettazione e scarico delle acque esterne, si prevede lo scarico delle acque di versante intercettate dai fossi di guardia da realizzarsi in corrispondenza del portale della galleria naturale Campanella, direzione Reggio Calabria e del tratto in trincea lungo la rampa D.

Lo scarico in progetto interesserà la sponda destra del torrente Immacolata e giungerà a recapito a monte del viadotto lungo la rampa D, attraversando i muri di sponda in gabbioni metallici

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dell'inallveazione in progetto, mediante un fosso di guardia rivestito in calcestruzzo di larghezza alla base 0,50 m, altezza 0,50 m e pendenza delle sponde 1/1.

3 Analisi idraulica della configurazione di progetto

Per i corsi d'acqua principali, caratterizzati da bacini di dimensioni maggiori e regimati da opere idrauliche di sistemazione, le analisi idrauliche sono state eseguite tramite l'ausilio di modellistica numerica, utilizzando il codice di calcolo MIKE 11 secondo schematizzazione idrodinamica monodimensionale in moto stazionario. Il moto stazionario è quello che meglio rappresenta il deflusso sulle aste principali in studio, in quanto su di esse il deflusso di piena avviene in regime torrentizio (generalmente caratterizzato da un moto in corrente veloce) per effetto di pendenze di fondo alveo elevate e ambiti di esondazione di estensione contenuta, in quanto il fondovalle è 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 Immacolata 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(*)
14M.0	T. IMMACOLATA	0,389	23,3	13,0	16,1	18,44
14V.0	T. IMMACOLATA	0,465	27,9	13,9	17,2	19,79

(*) 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 Immacolata è stata descritta sulla base del rilievo topografico costituito da 11 sezioni trasversali che rappresentano in modo esaustivo l'alveo di piena del corso d'acqua.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Rispetto alle 9 sezioni impiegate per la simulazione delle condizioni idrauliche ante operam, sono state aggiunte 2 nuove sezioni (IMM-01A, IMM-01B), 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 un'estensione complessiva di corso d'acqua pari a circa 325 m, caratterizzato da una pendenza di fondo alveo media pari al 6%.

Il tratto interessato dalla sistemazione idraulica in progetto, di lunghezza complessiva 34,00 m in sponda sinistra e 33,50 m in sponda destra, presenta una pendenza costante del 6%. L'inalveazione presenta sezione rettangolare, con larghezza sul fondo variabile dai 16,00 m di monte agli 8,00 m di valle, altezza 2,00 m in destra idrografica e 3,00 in sinistra. Nel tratto in progetto è previsto un salto di fondo di 1,00 m, posto ad una distanza di 11,00 m dalla briglia di monte della sistemazione DG87.

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

Il profilo longitudinale del modello Immacolata 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 (IMM-01);
- portata distribuita da valle della A3 fino al termine del modello (sezioni IMM-06-IMM-09), che rappresenta il contributo del bacino residuo;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- scala di moto uniforme imposta nella sezione terminale di valle del modello (IMM-09),
- granulometria caratteristica (D_{50}) 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:

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

3.3 Rappresentazione dei risultati

Le simulazioni eseguite sul torrente Immacolata mostrano che il deflusso delle piene avviene in corrente veloce, data l'elevata pendenza media di fondo alveo (circa 6%).

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	-
IMM-01	0,00	74,82	0,88	75,70	76,25	18,44	3,28	5,63	9,83	1,42
	3,43	74,56	1,06	75,62	75,73	18,44	1,44	12,83	12,10	0,45
MM-01A	8,08	74,50	1,12	75,62	75,71	18,44	1,36	13,55	12,10	0,41
IMM-01B	15,44	74,41	1,06	75,47	75,66	18,44	1,93	9,54	9,00	0,60
IMM-02	21,30	74,26	1,18	75,44	75,63	18,44	1,95	9,44	8,00	0,57

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	-
monte salto	23,09	74,26	1,17	75,43	75,63	18,44	1,97	9,36	8,00	0,58
valle salto	24,09	73,31	0,80	74,11	74,53	18,44	2,88	6,40	8,00	1,03
	32,09	73,16	0,83	73,99	74,38	18,44	2,78	6,64	8,00	0,97
monte salto (inizio vasca)	35,09	73,16	0,79	73,95	74,38	18,44	2,92	6,32	8,00	1,05
valle salto (inizio vasca)	36,09	71,66	1,95	73,61	73,74	18,44	1,58	11,70	6,00	0,36
monte controbriglia (fine vasca)	50,09	71,66	1,93	73,59	73,72	18,44	1,59	11,58	6,00	0,37
valle controbriglia (fine vasca)	52,09	71,66	1,73	73,39	73,55	18,44	1,78	10,38	6,00	0,43
IMM-03	58,42	71,56	1,25	72,81	73,50	18,44	3,69	5,00	4,00	1,05
	80,09	71,20	1,12	72,32	73,18	18,44	4,12	4,48	4,00	1,24
monte salto	82,09	71,17	1,12	72,29	73,15	18,44	4,12	4,48	4,00	1,24
valle salto	83,09	70,16	1,29	71,45	72,10	18,44	3,57	5,16	4,00	1,00
IMM-04	96,36	69,97	1,34	71,31	71,91	18,44	3,44	5,36	4,00	0,95
IMM-05	127,22	69,54	1,22	70,76	71,49	18,44	3,78	4,88	4,00	1,09
monte salto	134,59	69,43	1,17	70,60	71,39	18,48	3,95	4,68	4,00	1,17
valle salto	135,59	67,41	0,99	68,40	69,51	18,52	4,68	3,96	4,00	1,50
IMM-06	148,56	67,20	0,88	68,08	69,50	18,59	5,28	3,52	4,00	1,80
	169,02	64,00	0,86	64,86	65,57	18,75	3,72	5,04	10,07	1,78
IMM-07	205,97	62,83	0,75	63,58	64,43	19,04	4,09	4,65	11,26	2,09
IMM-08	263,81	58,24	1,26	59,50	60,26	19,50	3,85	5,06	6,88	1,46
IMM-09	323,54	56,13	1,24	57,37	58,23	19,79	4,10	4,83	7,90	1,74

in grigio: inizio e fine sistemazione.

Tabella 3.2 – Risultati della simulazione idraulica di progetto.

In particolare, per il viadotto Immacolata in progetto, 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 Immacolata: livello idrico calcolato per Tr 200 = 74,03 m s.l.m.; quota minima di intradosso da considerare = 76,03 m s.l.m.; quota intradosso di progetto = 85,83 m s.l.m. circa; franco idraulico¹ = 11,80 m circa.

I risultati delle simulazioni eseguite sono rappresentati sulle tavole grafiche relative al torrente

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> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0

Immacolata: 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
IMM-01	0,00	74.81	0.80	75.61	76.36	3.84	74,82	0,88	75,70	76,25	3,28
IMM-02	21,30	73.66	1.15	74.81	75.92	4.66	74,26	1,18	75,44	75,63	1,95
IMM-03	58,42	72.57	0.90	73.47	73.98	3.16	71,56	1,25	72,81	73,50	3,69
IMM-04	96,36	71.43	0.97	72.40	72.95	3.29	69,97	1,34	71,31	71,91	3,44
IMM-05	127,22	69.60	0.86	70.46	71.73	4.98	69,54	1,22	70,76	71,49	3,78
IMM-06	148,56	66.56	0.72	67.28	68.84	5.54	67,20	0,88	68,08	69,50	5,28
IMM-07	205,97	62.83	0.75	63.58	64.43	4.09	62,83	0,75	63,58	64,43	4,09
IMM-08	263,81	58.24	1.26	59.50	60.26	3.85	58,24	1,26	59,50	60,26	3,85
IMM-09	323,54	56.13	1.24	57.37	58.23	4.10	56,13	1,24	57,37	58,23	4,10

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;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0

- verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in 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 gabbioni metallici.

Per la verifica della stabilità delle sponde si è fatto riferimento alla tensione tangenziale τ_m e alla tensione tangenziale critica τ_s :

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

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

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

Per il torrente Immacolata sono risultati i seguenti parametri:

DATI DI BASE				
peso specifico acqua (kg/m ³)	profondità acqua (m)	pendenza fondo	diámetro medio (m)	peso specifico inerte (kg/m ³)
γ_w	y	i	d_m	γ_s
1000	1,18	0,06	0,2	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
70,8	0,14	42,00	53,10	90,00	25,20

Tabella 4.2 – Tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La condizione di stabilità prevede $\tau_b \leq \tau_c$ e $\tau_m \leq \tau_s$. Nel caso del t. Immacolata, tali condizioni non risultano verificate sia per il rivestimento di fondo che per le sponde; si ammette dunque che si verifichino delle deformazioni.

Si evidenzia la necessità di prevedere un riempimento dei gabbioni metallici con ciottoli o scapoli di pietra di pezzatura media non inferiore a 20 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 gabbione metallico e per velocità limite si intende quella, ancora accettabile, che determina deformazioni contenute per insaccamento del pietrame 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 Immacolata risultano i seguenti valori:

VERIFICA VELOCITA'		
velocità media corrente (m/s)	velocità critica gabbioni (m/s)(*)	velocità limite gabbioni (m/s) (*)
v_m	v_c	v_l
2,04	6,40	8,00

(*): 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 gabbioni metallici.

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 gabbione metallico. Tuttavia, se la differenza tra le tensioni risultanti e le tensioni critiche non superano il 20%, il rivestimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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
50,40	30,24

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

Se la tensione tangenziale aumenta ancora si può avere la perdita di efficacia del rivestimento oppure il raggiungimento di una nuova situazione di equilibrio, nella quale la resistenza della rete metallica esplica maggiormente la sua funzione di contenimento.

Il grado di protezione offerto dal rivestimento resta invariato anche a deformazione avvenuta in quanto la velocità dell'acqua sotto il gabbione metallico non cambia sensibilmente.

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

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

Per il caso in esame (τ_b= 70,80 kg/m², τ_c= 42,00 kg/m², τ_m= 53,10 kg/m², τ_s= 25,20 kg/m²) risultano i seguenti valori:

- C^{*i} = 0,10 per il fondo e C^{*l}= 0,09 per le sponde;
- Dz/d_m = 1,60 per il fondo e Dz/d_m = 1,58 per le sponde.

Le condizioni di verifica sono riportate nella seguente tabella:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0815_F0

VERIFICA DEFORMAZIONI							
coeff. efficace Shields fondo	parametro deformazione fondo	spessore gabbioni fondo (m)	verifica	coeff. efficace Shields sponde	parametro deformazione sponde	spessore gabbioni sponde (m)	verifica
C* _i	Dz/d _m	s	2(s/d _m -1)	C* _i	Dz/d _m	s	2(s/d _m -1)
0,10	1,60	0,50	3,00	0,09	1,58	1,00	8,00

Tabella 4.5 – Verifica delle deformazioni sul fondo e sulle sponde.

Le deformazioni che potranno verificarsi sulle sponde risultano ammissibili e compatibili con il grado di protezione reso dal rivestimento.

4.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in gabbioni metallici 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 Immacolata si ottengono i seguenti risultati:

VERIFICA VELOCITA' CONTATTO				
scabrezza del fondo Manning	pendenza fondo	velocità acqua interfaccia gabbione - fondo (m/s)	velocità ammissibile all'interfaccia (m/s)	velocità acqua interfaccia gabbione - fondo con geotessile (m/s)
n _f	i _f	v _b	v _e	v _b geotes (1/4 v _b)
0,02	0,06	2,64	0,75 - 0,90	0,88

Tabella 4.6 – Verifica della velocità al contatto tra rivestimento e terreno.

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