

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> <i>Tipo di sistema</i> <i>Raggruppamento di opere/attività</i> <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> <i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI CALABRIA INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI SISTEMAZIONI IDRAULICHE TORRENTE LATICOGNA RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> CS0775_F0 </div>
---	--	--

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_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	15

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_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 Laticogna 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 Laticogna presenta orientamento sud-est nord-ovest ed è caratterizzato da un tratto montano ad elevata pendenza e da un tratto, in prossimità della costa, a pendenza e velocità più ridotte.

Il tratto a monte, in corrispondenza dell'attraversamento autostradale, risulta molto vegetato e la sezione d'alveo appare sovralluvionata e priva di opere di sistemazione idraulica.

Nei pressi della SS n. 18, il torrente Laticogna risulta essere sistemato e la sezione è rettangolare, di larghezza 4,3 m circa, tra muri in c.a.. In corrispondenza dell'antica strada nazionale, ancora

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

visibile a monte della viabilità attuale, in prossimità di alcuni giardini coltivati, è presente un manufatto di attraversamento ad arco ribassato in muratura, di larghezza 4 m e altezza libera all'estradosso di 2,3 m. In corrispondenza di tale manufatto si riscontra una notevole quantità di materiale di deposito che parzializza la sezione utile di oltre il 50%.

Il corso d'acqua risulta sistemato tra muri sino all'intersezione con la strada provinciale e con il rilevato ferroviario, anche se la sezione appare quasi interamente riempita di vegetazione. L'attraversamento della SP avviene mediante un ponticello a sezione semicircolare in c.a. di 2 m di larghezza e 1 m di altezza. Tale apertura risulta tuttavia ostruita da un notevole deposito di materiale. Sul lato di valle, il parapetto del ponticello sulla SP è dotato di tre aperture rettangolari, due a sezione chiusa e quella centrale a tutta altezza. La strada in questo punto presenta una corda molle e, in caso di piena, l'acqua e il materiale trasportato passa oltre la strada attraverso la sagomatura del muretto precedentemente descritta.

L'attraversamento ferroviario risulta viceversa libero e molto grande, ad arco ribassato su piedritti di 0,8 m, di larghezza 6 m e altezza complessiva all'intradosso di 2 m.

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	-
Lat1	0.00	144.33	0.97	145.30	148.28	6.50	7.65	0.85	1.75	2.48
Lat2	61.94	119.00	0.53	119.53	123.07	6.50	8.33	0.78	1.62	3.65
	69.08	115.00	0.71	115.71	117.40	6.50	5.75	1.13	2.14	2.18
Lat3	106.75	108.00	0.72	108.72	110.01	6.50	5.04	1.29	2.97	1.90
	144.97	101.60	0.96	102.56	105.34	6.50	7.39	0.88	1.83	2.41
Lat4	151.29	99.10	1.01	100.11	102.96	6.50	7.47	0.87	1.72	2.37
	177.40	89.26	0.57	89.83	92.68	6.50	7.47	0.87	1.81	3.16
Lat5	183.41	87.00	0.61	87.61	89.08	6.50	5.37	1.21	2.13	2.20
Lat6	205.46	83.00	0.49	83.49	86.34	6.50	7.47	0.87	2.35	3.41
	233.73	70.00	0.81	70.81	73.59	6.50	7.39	0.88	1.78	2.62
Lat7	248.12	64.00	1.01	65.01	67.21	6.50	6.57	0.99	1.71	2.09
	264.41	59.03	1.01	60.04	61.42	6.50	5.20	1.25	2.13	1.65
Lat8	314.78	51.32	0.68	52.00	55.13	6.50	7.83	0.83	6.36	3.03

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> CS0775_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 Laticogna.

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

Il Progetto Esecutivo di competenza DG87 prevede la realizzazione di un'inalveazione a sezione trapezia di base 4,00 m e altezza 2,00 m, per una lunghezza di 52,50 m, con salti di fondo ogni 7,50 m (ad eccezione dei primi 2, che distano 5 m) di altezza 2,0 m (1°, 4°, 5° e 7° briglia) e 3,0 m (2°, 3° e 6° briglia) e relativo ammorsamento a valle alla briglia in c.a. esistente; la pendenza del tratto sistemato è prevista pari al 3%.

2.2 Intervento in progetto

Il progetto Ponte prevede il raccordo a monte e 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- a monte, la sistemazione in progetto è costituita da 1 briglia di altezza 2,00 m e da due tratti di rivestimento di fondo, a monte di 10 m e a valle di 3 m; complessivamente la lunghezza dell'intervento è pari a 15,00 m;
- a valle della briglia esistente su cui si ammorsa l'inalveazione DG87, di altezza 2,00 m, sono previste nel presente progetto Ponte ulteriori 6 briglie di altezza 2,00 m e 1 briglia di 0,50 m, poste a una distanza di 5,00 m, con eccezione del tratto tra la 5° e la 6° briglia, di 7,00 m; la lunghezza del nuovo tratto di valle è pari a 42,50 m.

L'inalveazione prevista presenta sezione trapezia di 4,00 m di larghezza alla base e 2,00 m di altezza, con pendenza delle sponde 3/2 e pendenza di fondo costante del 3%. In considerazione della peculiare morfologia del terreno, il tratto terminale di collegamento alla sezione naturale presenta una forma trapezia ridotta a 2,00 m di larghezza di fondo e 2,00 m di altezza con pendenza delle sponde 1/1. Il raccordo tra le due tipologie di sezione inizia a valle dell'ultima briglia.

Le briglie saranno realizzate in gabbioni, così come il rivestimento di fondo per il quale è previsto uno spessore di 50 cm; limitatamente ai tratti di raccordo alla sezione naturale di inizio e fine della sistemazione saranno viceversa impiegati i materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm. 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, 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 Laticogna 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(*)
02M.0	T. LATICOGNA	0,083	5,0	3,4	4,2	6,50

(*) 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 Laticogna 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.

Rispetto alle 8 sezioni impiegate per la simulazione delle condizioni idrauliche ante operam, sono state aggiunte 3 nuove sezioni (LAT-03A, LAT-06A, LAT06B), 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il rilievo introdotto nel modello di simulazione copre un'estensione complessiva di corso d'acqua pari a circa 315 m, caratterizzato da una pendenza di fondo alveo media pari al 30%.

Nel corso dei sopralluoghi eseguiti si è rilevato che il tratto di monte, in corrispondenza dell'attraversamento autostradale, risulta molto vegetato e la sezione d'alveo appare sovralluvionata. Si è inoltre valutata la dimensione del materiale di fondo costituente l'alveo, caratterizzata da un d_{50} pari a 50 mm.

Il tratto interessato dalla sistemazione idraulica in progetto, di lunghezza complessiva 108,60 m, presenta una pendenza media del 3%. L'inalveazione presenta sezione trapezia, con larghezza sul fondo di 4 m, altezza 2 m e inclinazione delle sponde 3/2. Il tratto in progetto è caratterizzato dalla presenza di 16 salti di altezza variabile tra 1 m e 3 m, realizzati in gabbioni metallici.

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

Il profilo longitudinale del modello Laticogna 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 (LAT1);
- scala di moto uniforme imposta nella sezione terminale di valle del modello (LAT8),
- granulometria caratteristica (D_{50}) nel tratto simulato pari a 50 mm.

3.2.2 Coefficienti di scabrezza

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

- $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

tipo "Reno" prevista;

- da 15 a 20 m^{1/3}s⁻¹ per le aree di piano campagna esterne all'alveo caratterizzate da copertura vegetale di tipo arbustivo o arboreo.

3.3 Rappresentazione dei risultati

Le simulazioni eseguite sul torrente Laticogna mostrano che il deflusso delle piene avviene in corrente veloce, data l'elevata pendenza media di fondo alveo (circa 30%).

Il corso d'acqua, nel tratto simulato, si presenta molto inciso con la quasi assenza di aree golenali di potenziale allagamento, per effetto dei ripidi versanti che terminano in prossimità delle sponde.

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 dei corsi d'acqua simulati, 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 sensibilità 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	-
Lat1	0,00	144,33	0,97	145,30	148,28	6,50	7,65	0,85	1,75	2,48
Lat2	61,94	119,00	0,53	119,53	123,07	6,50	8,33	0,78	1,62	3,65
	69,08	115,00	0,71	115,71	117,40	6,50	5,75	1,13	2,14	2,18
Lat3	106,75	108,00	0,70	108,70	110,06	6,50	5,16	1,26	2,93	1,97
	135,27	103,01	0,71	103,72	103,88	6,50	1,78	3,66	6,17	0,67
Lat3A	144,82	102,72	0,72	103,44	103,60	6,50	1,78	3,66	6,17	0,67
monte salto	147,27	102,65	0,72	103,37	103,53	6,50	1,78	3,66	6,17	0,67
valle salto	148,27	100,65	0,68	101,33	101,52	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
Lat4	151,29	100,54	0,68	101,22	101,40	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
monte salto	152,21	100,50	0,68	101,18	101,37	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74

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	153,21	98,50	0,68	99,18	99,37	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
monte salto	157,14	98,35	0,68	99,03	99,22	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
valle salto	158,14	95,35	0,69	96,04	96,22	6,50	1,87	3,47	6,07	0,72
monte salto	164,59	95,12	0,69	95,81	95,99	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
valle salto	165,59	92,12	0,70	92,82	92,99	6,50	1,84	3,53	6,09	0,70
monte salto	172,06	91,90	0,69	92,59	92,77	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
valle salto	173,06	89,90	0,69	90,59	90,77	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
monte salto	179,56	89,67	0,70	90,37	90,54	6,50	1,84	3,53	6,09	0,70
valle salto	180,56	87,67	0,70	88,37	88,54	6,50	1,84	3,54	6,1	0,70
Lat5	181,90	87,62	0,70	88,32	88,50	6,50	1,84	3,53	6,09	0,70
monte salto	187,06	87,45	0,70	88,15	88,32	6,50	1,84	3,53	6,09	0,70
valle salto	188,06	84,45	0,69	85,14	85,32	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
monte salto	194,53	84,22	0,69	84,91	85,09	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
valle salto	195,53	82,23	0,69	82,92	83,10	6,50	1,87	3,48	6,1	0,72
Lat6	201,15	82,03	0,69	82,72	82,90	6,50	1,87	3,48	6,09	0,72
monte salto	202,02	82,00	0,69	82,69	82,87	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
valle salto	203,02	80,00	0,73	80,73	80,89	6,50	1,75	3,72	6,18	0,65
monte salto	208,02	79,85	0,73	80,58	80,74	6,50	1,75	3,72	6,18	0,65
valle salto	209,02	77,85	0,68	78,53	78,72	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
monte salto	212,96	77,70	0,68	78,38	78,57	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
valle salto	213,96	75,70	0,68	76,38	76,57	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
monte salto	217,90	75,55	0,68	76,23	76,42	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
valle salto	218,90	73,55	0,68	74,23	74,42	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
Lat6A	220,93	73,47	0,68	74,15	74,34	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
monte salto	222,83	73,40	0,68	74,08	74,27	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
valle salto	223,83	71,40	0,68	72,08	72,27	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
monte salto	227,77	71,25	0,68	71,93	72,12	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
valle salto	228,77	69,25	0,69	69,94	70,12	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
monte salto	234,71	69,04	0,69	69,73	69,91	6,50	1,87	3,48	6,08	0,72
valle salto	235,71	67,04	0,68	67,72	67,91	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
Lat6B - monte salto	239,65	66,89	0,68	67,57	67,76	6,50	1,91	3,41	6,03	0,74
valle salto	240,65	66,39	0,32	66,71	67,73	6,50	4,48	1,45	4,95	2,53
Lat7	244,19	64,51	0,37	64,88	65,62	6,50	3,80	1,71	5,12	2,00
	260,49	59,03	1,01	60,04	61,42	6,50	5,20	1,25	2,13	1,65
Lat8	310,86	51,32	0,68	52,00	55,13	6,50	7,83	0,83	6,36	3,03

in grigio: inizio e fine sistemazione.

Tabella 3.2 – Risultati della simulazione idraulica di progetto.

In particolare, per il viadotto Laticogna, risultano rispettate le prescrizioni minime di progetto,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

considerando di adottare cautelativamente un franco minimo di 2,00 m rispetto al livello di piena di progetto:

- viadotto Laticogna: livello idrico calcolato per Tr 200 = 85,27 m s.l.m.; quota minima di intradosso da considerare = 87,30 m s.l.m.; quota intradosso di progetto = 108,77 m s.l.m. circa; franco idraulico¹ = 23,50 m circa.

I risultati delle simulazioni eseguite sono rappresentati sulle tavole grafiche relative al torrente Laticogna: 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
Lat1	0,00	144,33	0,97	145,30	148,28	7,65	144,33	0,97	145,30	148,28	7,65
Lat2	61,94	119,00	0,53	119,53	123,07	8,33	119,00	0,53	119,53	123,07	8,33
Lat3	106,75	108,00	0,72	108,72	110,01	5,04	108,00	0,70	108,70	110,06	5,16
Lat4	151,29	99,10	1,01	100,11	102,96	7,47	100,54	0,68	101,22	101,40	1,91
Lat5	181,90	87,00	0,61	87,61	89,08	5,37	87,62	0,70	88,32	88,50	1,84
Lat6	201,15	83,00	0,49	83,49	86,34	7,47	82,03	0,69	82,72	82,90	1,87
Lat7	244,19	64,00	1,01	65,01	67,21	6,57	64,51	0,37	64,88	65,62	3,80
Lat8	310,86	51,32	0,68	52,00	55,13	7,83	51,32	0,68	52,00	55,13	7,83

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

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> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 :

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

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

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 Laticogna sono risultati i seguenti parametri:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0775_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	0,73	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
21,9	0,14	31,50	16,43	33,69	16,82

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. Laticogna, 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 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 Laticogna risultano i seguenti valori:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0

VERIFICA VELOCITA'				
velocità media corrente (m/s)	velocità critica materassi (m/s)(*)	velocità limite materassi (m/s)(*)	velocità critica gabbioni (m/s)(**)	velocità limite gabbioni (m/s) (**)
V_m	V_c	V_l	V_c	V_l
2,06	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	20,19

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

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

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0775_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per il torrente Laticogna 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 ($v_b \text{ geotes}$).