

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 CAMPANELLA <i>Titolo del documento</i> RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CS0809_F0</div>
--	--

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	I	D	C	S	C	S	I	T	R	B	7	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> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE	3
Premessa	4
1 Sintesi dell'analisi sullo stato di fatto	4
2 Interventi di sistemazione idraulica in progetto	6
2.1 Intervento di competenza DG 87	7
2.2 Intervento in progetto	7
3 Analisi idraulica della configurazione di progetto	8
3.1 Portate di progetto	8
3.2 Schematizzazione del modello numerico	9
3.2.1 Condizioni al contorno	10
3.2.2 Coefficienti di scabrezza	10
3.3 Rappresentazione dei risultati	10
4 Verifiche del rivestimento dell'alveo	13
4.1 Verifica in termini di tensione di trascinamento	13
4.2 Verifica in termini di velocità	14
4.3 Valutazione delle deformazioni	15
4.4 Verifica delle velocità al contatto tra il rivestimento in materassi Reno e gabbioni ed il terreno sottostante	16

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_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 Campanella 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 Campanella presenta andamento prevalente est-ovest, anche se a monte dell'autostrada esso scorre secondo la direzione nord-sud. Alla base del viadotto autostradale, il corso d'acqua non è al momento riconoscibile per via della presenza del cantiere per la realizzazione delle gallerie della nuova autostrada Salerno - Reggio Calabria. Al momento del sopralluogo, il torrente risulta completamente asciutto, almeno nel tratto di monte.

Poco a valle rispetto al viadotto autostradale, sono presenti 2 briglie in c.a., di 13-14 m di larghezza e il corso d'acqua risulta sistemato tra muri in c.a. almeno fino ai primi fabbricati presenti in sinistra. Successivamente l'alveo prosegue lungo la strada.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA	<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0

A valle, in corrispondenza del cimitero, e poco a monte dell'abitato di Villa S. Giovanni, è presente sul lato destro della strada, una vasca sghiaiatrice in c.a., sagomata a forma di imbuto per far sedimentare il materiale prima dell'ingresso nel tratto canalizzato. Il 50% della vasca si sviluppa al di sotto della strada. La vasca è alimentata a caduta da 3 tubi affiancati in c.a. di diametro interno 0,5 m, che raccolgono l'acqua attraverso una serie di griglie poste a monte lungo la strada. La porzione di vasca sotto la strada è divisa da 3 pilastri in c.a. ma risulta completamente accessibile all'acqua. Dall'indagine visiva la vasca appare in parte riempita di materiale e vegetazione. All'interno del canale si osserva una minima quantità d'acqua. La sezione di imbocco del tratto canalizzato presenta sezione rettangolare, in c.a., di larghezza 3,8 m e altezza 2 m.

A partire dalla vasca sghiaiatrice il tratto di canalizzazione tombato si sviluppa al di sotto della strada per una lunghezza di circa 814 m e una pendenza media del 5,3%.

Lo sbocco avviene al di sotto del ponte ferroviario, mediante una sezione rettangolare in c.a. di larghezza 4 m e altezza 1,73 m. Il corso d'acqua risulta sistemato fino al termine del ponte, dopo di che esso prosegue lungo una strada tra fabbricati che si affacciano sull'imbarcadero. Al termine del tratto sistemato è presente unicamente una griglia che alimenta a caduta una canalizzazione di dimensioni 1 m x 1 m e che scarica direttamente in mare. All'interno del canale si osserva una discreta quantità d'acqua.

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	-
CAM-01	0.00	92.84	0.66	93.50	94.24	23.04	3.81	6.05	15.29	1.93
CAM-02	34.58	89.38	0.92	90.30	91.80	23.04	5.43	4.24	8.50	2.46
	51.24	87.00	1.13	88.13	89.35	23.04	4.90	4.70	8.16	2.06
CAM-03	78.73	84.81	0.92	85.73	87.19	23.04	5.36	4.30	6.30	2.08
inizio impalcato A3	193.17	79.25								
fine impalcato A3	213.67	78.25								
briglia esistente	229.10	77.50								
briglia esistente	229.20	75.00								
CAM-04	232.82	74.04								

Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
briglia esistente	239.51	72.98								
base briglia	239.55	72.00	1.07	73.07	73.98	23.04	4.23	5.45	8.08	1.64
CAM-05	278.73	70.00	1.05	71.05	72.02	23.04	4.37	5.27	8.02	1.72
CAM-06	327.28	67.40	0.88	68.28	69.27	23.04	4.41	5.22	9.27	1.95
	349.65	65.66	1.09	66.75	67.86	23.98	4.66	5.15	10.10	2.08
CAM-07	369.21	63.63	1.29	64.92	65.71	23.98	3.92	6.11	8.89	1.51
CAM-08	413.00	61.41	1.15	62.56	63.36	23.98	3.96	6.06	9.87	1.61
CAM-09	459.30	58.90	1.20	60.10	61.44	23.98	5.12	4.68	10.19	2.43
	506.48	55.48	0.98	56.46	57.55	23.98	4.62	5.19	9.67	2.02
CAM-10	522.56	54.04	1.02	55.06	55.73	23.98	3.63	6.61	9.50	1.47
	566.36	52.00	1.15	53.15	54.51	25.43	5.17	4.92	8.46	2.16
CAM-11	605.78	48.43	1.36	49.79	51.50	25.43	5.79	4.39	5.90	2.14

in grigio: area cantiere.

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 Campanella.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2.1 Intervento di competenza DG 87

Il Progetto Esecutivo di competenza DG87 prevede la realizzazione di un'inalveazione che sottopassa le nuove sedi autostradali, costituita da una sezione rettangolare in calcestruzzo di base 4,00 m e altezza 2,00 m; in particolare verrà realizzato un primo tratto di lunghezza 32,40 m e pendenza 3,3%, un secondo tratto di lunghezza 20,0 m e pendenza 20,15% ed un terzo tratto di lunghezza 92,30 m e pendenza 1%, fino alla quota della briglia esistente.

La sistemazione viene inoltre proseguita tra le due briglie esistenti mediante l'inserimento di un ulteriore salto di fondo. Complessivamente la lunghezza dell'intervento previsto da DG87 è di circa 155,00 m.

2.2 Intervento in progetto

Il presente progetto Ponte prevede la prosecuzione a valle della sistemazione DG87, per il tratto di corso d'acqua esteso fino oltre lo scarico della vasca di trattamento delle acque di piattaforma.

In particolare, a valle della briglia esistente su cui si ammorsa l'inalveazione DG87, è prevista la demolizione del tratto di lunghezza 7,70 m rivestito in materassi metallici di raccordo alla sezione naturale e la prosecuzione della sistemazione di monte per ulteriori 32,00 m. Segue dunque un tratto di raccordo alla sezione naturale di quasi 6,00 m. Non sono previste briglie o salti di fondo.

Complessivamente, il progetto di sistemazione idraulica Ponte presenta una lunghezza di 38,00 m.

L'inalveazione proposta prevede la realizzazione di una sezione rettangolare con rivestimento di fondo e sponde in gabbioni di 4,00 m di larghezza e 2,50 m di altezza, con pendenza di fondo costante del 6%. Il tratto di raccordo con la sezione naturale sarà realizzato con materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm. Tra i gabbioni e i materassi metallici 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, gli interventi previsti riguardano gli scarichi delle acque di versante intercettati dai fossi di guardia da realizzarsi in corrispondenza delle trincee lungo le rampe B e M e sul portale della galleria Pian di Lastrico, direzione Reggio Calabria.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tali scarichi interesseranno entrambe le sponde del torrente Campanella e giungeranno a recapito attraversando i muri di sponda in c.a. della sistemazione idraulica di competenza DG87 e le sponde in gabbioni dell'inalveazione in progetto, mediante fossi di guardia rivestiti in calcestruzzo di larghezza alla base 0,50 m, altezza 0,50 m e pendenza delle sponde 1/1. In particolare si prevedono i seguenti scarichi:

- in destra e in sinistra idrografica, a monte del viadotto sulla rampa M;
- in destra idrografica, a monte del viadotto sulla rampa B;
- in destra idrografica, a valle del viadotto sulla rampa B e del rilevato della rampa L;
- in sinistra idrografica, a valle del viadotto sulla rampa M.

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 Campanella le portate di progetto risultano le seguenti:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_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(*)
13M.1	T. CAMPANELLA	0,397	23,8	16,2	20,0	23,04
13V.1	T. CAMPANELLA	0,458	27,5	17,8	22,1	25,43

(*) 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 Campanella è stata descritta sulla base del rilievo topografico costituito da 13 sezioni trasversali che rappresentano in modo esaustivo l'alveo di piena del corso d'acqua.

Rispetto alle 11 sezioni impiegate per la simulazione delle condizioni idrauliche ante operam, sono state aggiunte 2 nuove sezioni (CAM-04A, CAM-04B), 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 torrente Campanella nel tratto in corrispondenza degli attraversamenti dell'autostrada A3 è attualmente interrotto dalla presenza di un cantiere, destinato alla realizzazione delle gallerie legate all'ampliamento della stessa autostrada. Il corso d'acqua in questo tratto, di estensione pari a circa 161 m, è indefinito cioè privo di una sezione d'alveo incisa; data questa discontinuità morfologica i calcoli idraulici sono stati eseguiti a monte e a valle del cantiere esistente, spezzando il modello numerico in due tronchi.

Il rilievo eseguito copre una un'estensione complessiva di corso d'acqua pari a circa 606 m, il profilo di fondo alveo è caratterizzato da una pendenza media pari al 7%.

Il tratto interessato dalla sistemazione idraulica in progetto, di lunghezza complessiva 38,00 m, presenta una pendenza costante del 6%. L'invalveazione presenta sezione rettangolare, con larghezza sul fondo di 4 m, altezza 2,50 m ed è previsto il rivestimento in gabbioni e materassi metallici tipo "Reno". Nel tratto in progetto non sono presenti salti di fondo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Il profilo longitudinale del modello Campanella 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 (CAM-01);
- scala di moto uniforme imposta nella sezione terminale di valle del modello (CAM-11),
- 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 tipo "Reno" prevista;
- da 18 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.

3.3 Rappresentazione dei risultati

Le simulazioni eseguite sul torrente Campanella mostrano che il deflusso delle piene avviene in corrente veloce, data l'elevata pendenza media di fondo alveo (circa 7%).

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	-
CAM-01	0,00	92,84	0,66	93,50	94,24	23,04	3,81	6,05	15,29	1,93
CAM-02	34,58	89,38	0,92	90,30	91,80	23,04	5,43	4,24	8,50	2,46
	58,88	85,46	1,68	87,14	87,41	23,04	2,30	10,02	11,01	1,05
CAM-03	78,00	84,98	1,96	86,94	87,38	23,04	2,94	7,84	4,00	0,67
	87,49	84,98	1,93	86,91	87,36	23,04	2,98	7,72	4,00	0,69
	88,49	82,98	1,33	84,31	85,27	23,04	4,33	5,32	4,00	1,20
	119,89	82,01	1,04	83,05	84,61	23,04	5,54	4,16	4,00	1,73
	139,89	77,98	1,42	79,40	80,24	23,04	4,06	5,68	4,00	1,09
	147,89	77,54	1,45	78,99	79,79	23,04	3,97	5,80	4,00	1,05
	232,19	76,99	1,32	78,31	79,28	23,04	4,36	5,28	4,00	1,21
	233,19	74,98	1,31	76,29	77,28	23,04	4,40	5,24	4,00	1,23
	235,08	74,82	1,45	76,27	77,07	23,04	3,97	5,80	4,00	1,05
	236,08	72,83	1,12	73,95	75,30	23,04	5,14	4,48	4,00	1,55
	242,84	72,35	1,17	73,52	74,76	23,04	4,92	4,68	4,00	1,45
CAM-04A	256,15	71,58	1,41	72,99	73,84	23,04	4,09	5,64	4,00	1,10
CAM-04B	270,55	70,69	1,33	72,02	72,98	23,04	4,33	5,32	4,00	1,20
	275,74	70,37	1,24	71,61	72,71	23,04	4,65	4,96	4,00	1,33
CAM-05	281,65	70,00	1,05	71,05	72,02	23,04	4,37	5,27	8,02	1,72
CAM-06	330,20	67,40	0,88	68,28	69,36	23,98	4,59	5,22	9,27	1,95
	352,57	65,66	1,09	66,75	67,86	23,98	4,66	5,15	10,10	2,08
CAM-07	372,13	63,63	1,29	64,92	65,71	23,98	3,92	6,11	8,89	1,51
CAM-08	415,92	61,41	1,15	62,56	63,36	23,98	3,96	6,06	9,87	1,61
CAM-09	462,22	58,90	1,20	60,10	61,44	23,98	5,12	4,68	10,19	2,43
	509,40	55,48	0,98	56,46	57,55	23,98	4,62	5,19	9,67	2,02
CAM-10	525,48	54,04	1,02	55,06	55,81	25,43	3,85	6,61	9,50	1,47
	569,28	52,00	1,15	53,15	54,51	25,43	5,17	4,92	8,46	2,16
CAM-11	608,70	48,43	1,36	49,79	51,50	25,43	5,79	4,39	5,90	2,14

in grigio: inizio e fine sistemazione.

Tabella 3.2 – Risultati della simulazione idraulica di progetto.

In particolare, per i viadotti Campanella, risultano rispettate le prescrizioni minime di progetto,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_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 calcolato:

- viadotto Campanella – ramo M: livello idrico calcolato per Tr 200 = 83,40 m s.l.m.; quota minima di intradosso da considerare = 85,40 m s.l.m.; quota intradosso di progetto = 92,00 m s.l.m. circa; franco idraulico¹ = 8,60 m circa;
- viadotto Campanella – ramo B: livello idrico calcolato per Tr 200 = 78,45 m s.l.m.; quota minima di intradosso da considerare = 80,45 m s.l.m.; quota intradosso di progetto = 89,05 m s.l.m. circa; franco idraulico¹ = 10,60 m circa.

I risultati delle simulazioni eseguite sono rappresentati sulle tavole grafiche relative al torrente Campanella: 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
CAM-01	0,00	92.84	0.66	93.50	94.24	3.81	92,84	0,66	93,50	94,24	3,81
CAM-02	34,58	89.38	0.92	90.30	91.80	5.43	89,38	0,92	90,30	91,80	5,43
CAM-03	78,00	84.81	0.92	85.73	87.19	5.36	84,98	1,96	86,94	87,38	2,94
CAM-05	281,65	70.00	1.05	71.05	72.02	4.37	70,00	1,05	71,05	72,02	4,37
CAM-06	330,20	67.40	0.88	68.28	69.27	4.41	67,40	0,88	68,28	69,36	4,59
CAM-07	372,13	63.63	1.29	64.92	65.71	3.92	63,63	1,29	64,92	65,71	3,92
CAM-08	415,92	61.41	1.15	62.56	63.36	3.96	61,41	1,15	62,56	63,36	3,96
CAM-09	462,22	58.90	1.20	60.10	61.44	5.12	58,90	1,20	60,10	61,44	5,12
CAM-10	525,48	54.04	1.02	55.06	55.73	3.63	54,04	1,02	55,06	55,81	3,85
CAM-11	608,70	48.43	1.36	49.79	51.50	5.79	48,43	1,36	49,79	51,50	5,79

in grigio: inizio e fine sistemazione. La sez. CAM-04 è stata omessa perché ubicata in un tratto interessato dal cantiere DG87 e sarà oggetto della sistemazione idraulica prevista dal progetto DG87 stesso.

Tabella 3.3 – Confronto tra i risultati delle simulazioni idrauliche ante operam e post operam.

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> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 :

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

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

dove θ è l'angolo di inclinazione della sponda sull'orizzontale e ϕ è l'angolo di attrito del pietrame

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

che costituisce il rivestimento (pari a 41° sulla base delle esperienze riportate in bibliografia).

Per il torrente Campanella 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	1,41	0,06	0,24	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
84,6	0,14	50,40	63,45	90,00	30,24

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. Campanella, 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 24 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Facendo riferimento ai valori di velocità critica e di velocità limite dedotti sperimentalmente e pubblicati da alcune ditte produttrici, per il torrente Campanella 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
4,47	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
60,48	36,29

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

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 ($\tau_b = 84,60 \text{ kg/m}^2$, $\tau_c = 50,40 \text{ kg/m}^2$, $\tau_m = 63,45 \text{ kg/m}^2$, $\tau_s = 30,24 \text{ kg/m}^2$) risultano i seguenti valori:

- $C^* = 0,10$ per il fondo e $C^* = 0,09$ 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:

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^*	Dz/d_m	s	$2(s/d_m - 1)$	C^*	Dz/d_m	s	$2(s/d_m - 1)$
0,10	1,60	0,50	2,17	0,09	1,58	1,00	6,33

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 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 Campanella si ottengono i seguenti risultati:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE IDRAULICA E DESCRITTIVA		<i>Codice documento</i> CS0809_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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	$v_b \text{ geotes } (1/4 v_b)$
0,02	0,06	2,98	0,75 - 0,90	0,74

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 ($v_b \text{ geotes}$).