

RELAZIONE CONCLUSIVA SULL'ANALISI STRUTTURALE DEI MANUFATTI DI CONTENIMENTO LATERALI E TRASVERSALI DEL TORRENTE "CARRIONE". VALUTAZIONE DELLO STATO ATTUALE E PROPOSTE DI INTERVENTO

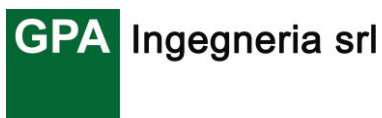
Progetto: **Studio di Fattibilità**
Commessa: **C15003**
Cliente: **REGIONE TOSCANA - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile**
Oggetto: **Analisi Strutturale dei Manufatti di Contenimento Laterali e Trasversali del
torrente "Carrione". Valutazione dello Stato Attuale e Proposte di Intervento.**
N. Elaborato: **02.RG.06.01**

PROGETTISTA RESPONSABILE

Dott. Ing. Giovanni Cardinale

GRUPPO DI LAVORO

Strutture: Ing. Maria Letizia Pecora



**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= UNI EN ISO 9001:2008 =**

0	Emissione	M.L.P.	G.C.	G.C.	22.04.2016
REV	DESCRIZIONE	Eseguito	Controllato	Approvato	DATA

Sommario

1	Premesse	4
2	Scopo	5
3	Generalità.....	6
4	Rischio idraulico: sintesi dello studio specialistico	10
5	Criteri di lettura degli elaborati oggetto di incarico	12
5.1	Note sulle analisi numeriche e di sensibilità svolte sui manufatti esistenti.....	13
5.1.1	Quadro normativo di riferimento.....	13
5.1.2	Considerazioni sul quadro normativo di riferimento e sull'evoluzione normativa	13
5.1.3	Condizioni di carico	14
5.1.4	Verifiche	15
6	Difese spondali e manufatti trasversali: caratteristiche tipologiche e prestazioni strutturali	16
6.1	Generalità.....	16
6.2	Le difese spondali.....	20
6.2.1	I sopralzi	20
6.2.2	Muri in c.a.	24
6.2.3	Muri a gravità.....	27
6.2.4	Argini in terra	29
6.2.5	Berlinesi.....	31
6.2.6	Edifici che fungono da argine.....	32
6.2.7	Principali cause di crisi strutturale riscontrate	33
6.3	Opere trasversali.....	34
6.3.1	Ponte di via Covetta – Tratto 01-02	35
6.3.2	Ponte di via Menconi (Giovannipietro) – Tratto 02-03	36
6.3.3	Ponte di via Marconi (Pontecimato) – Tratto 09-10	37
6.3.4	Ponte di via Stabbio – Tratto 10-11	38
6.3.5	Passerella carrabile privata (sez. 81 – Peghini) – Tratto 11	39
6.3.6	Passerella carrabile privata (sez. 85 – Figaia) – Tratto 11	40
6.3.7	Passerella abbandonata (sez. 93.4) – Tratto 11	41
6.3.8	Passerella abbandonata (sez. 98.1) – Tratto 12.....	42
6.3.9	Passerella carrabile privata (sez. 98.A) – Tratto 12.....	43
6.3.10	Ponte di via San Martino – Tratto 11 – 12	44

6.3.11	Antico ponte romano – ponte di via Groppoli – Tratto 12	45
6.3.12	Ponte Forti – Tratto 13	46
6.3.13	Fabbricato Forti – Tratto 13.....	47
6.3.14	Ponte della Bugia – Tratto 13.....	48
7	Stima dei costi	49
7.1	Valori di stima	49
7.2	Valori unitari presi a riferimento per il costo delle opere al netto delle somme a disposizione.....	50
7.3	Stima sommaria interventi opere arginali	51
7.3.1	Totale stima costi opere arginali	51
7.4	Stima sommaria interventi opere trasversali	52
7.4.1	Totale stima costi opere trasversali.....	56
7.5	Totale stima costi opere arginali + trasversali.....	56
8	Stima delle priorità	57
8.1	Elenco delle priorità.....	58
9	Elenco Elaborati	61
10	Conclusioni.....	62

1 Premesse

In seguito agli eventi alluvionali del 5 novembre 2014 che hanno causato il cedimento strutturale di una porzione dell'argine in destra idraulica del Torrente Carrione di Carrara, si è resa necessaria la messa in sicurezza delle aree colpite dall'evento alluvionale per un tratto complessivo di circa 8,5 km che va dalla foce e arriva fino al centro storico di Carrara.

Ne è seguito un Piano degli interventi, in cui era compreso l'intervento U7-a relativo all' *"Analisi strutturale dei manufatti di contenimento laterale e trasversali del T. Carrione. Valutazione dello stato attuale e proposte d'intervento"*. Il responsabile di questa attività è il Dott. Ing. Giovanni Cardinale Amministratore Delegato della società GPA Ingegneria Srl di Firenze a cui è stato affidato l'incarico dalla Regione Toscana Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile con decreto dirigenziale n. 4242 del 22/9/2015.

Nel seguito, in conformità all'articolo all'art. 2, comma 1, punto 6 del disciplinare di incarico, l'attività in oggetto sarà indicata con il termine "Studio di Fattibilità".



Fig. 1 – Planimetria di riferimento del Torrente Carrione (dalla foce: Marina di Carrara al centro storico di Carrara)

2 Scopo

Il presente studio di fattibilità propone, per la prima volta, un quadro organico delle prestazioni strutturali delle opere di difesa spondale. Quadro organico che, sovrapposto allo “Studio Idraulico del Torrente Carrione con analisi dei possibili interventi per la mitigazione del rischio” redatto dal Prof. Ing. Giovanni Seminara, Prof. Ing. Marco Colombini in collaborazione con la Dott. Ing. Rossella Luchi del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell’Università di Genova, costituisce il primo passo verso una consapevole e mirata programmazione di attività di prevenzione.

Il rischio idraulico, documentato e giustificato nella citata relazione, viene contestualizzato, infatti, nella realtà fisica, meterica, tipologica, strutturale, delle opere che a quel rischio dovrebbero provvedere. Opere costruite dall’uomo nel rispetto, o comunque nel quadro, di normative tecniche, quando esistenti, di conoscenze tecniche, tecnologiche, di modalità costruttive, di risorse economiche assolutamente diverse e non omogenee. Al rischio idraulico si “somma” il rischio sismico nella necessaria visione di insieme che, attingendo alla più moderna cultura del valore della probabilità di rischi contemporanea o meno, propone scenari decisionali. Perché, appunto, il quadro di riferimento è proprio quello della valutazione del rischio e, come è noto, il “rischio” impone decisioni sul **“se, come, dove, quando”**, intervenire.

Dopo una attenta e mirata fase di conoscenza, lo studio procede verso analisi numeriche e di sensibilità svolte per tipologia e con livello di dettaglio proporzionale al livello di conoscenza disponibile.

Sulla scorta degli esiti di queste analisi, completate anche da valutazioni economiche, di larga massima, sarà possibile per la Regione programmare ed individuare le fasi successive.

Nel seguito, anche per coerenza con lo studio idraulico, le analisi sul preesistente, gli interventi possibili, e le valutazioni di merito sul tema delle priorità, sono suddivise in due parti:

- Parte I) Opere di difesa spondale in destra e sinistra idraulica
- Parte II) Opere trasversali (ponti, passerelle, ecc.).

Infine, lo scopo del presente studio di fattibilità è perfettamente coerente con una delle conclusioni dello studio idraulico che dice:

“...La strategia che appare perseguibile consiste nella messa in atto di una duplice classe di interventi:

- *Interventi di rimodellazione e rimozione di ostacoli (intervento quest’ultimo non procrastinabile!) possono e debbono essere messi in atto, come illustrato nella presente relazione, per rendere l’alveo adeguato al deflusso di eventi trentennali;*
- *Gli interventi di sistemazione dell’alveo debbono essere accompagnati da un esame capillare dell’adeguatezza delle difese spondali...”*

Fonte: Relazione Intermedia 1: asta principale fra la confluenza del Gragnana e la Foce (25 Novembre 2015).

3 Generalità

Lo studio di fattibilità ha consentito di acquisire una conoscenza importante della natura, tipologia, consistenza, prestazione strutturale, ecc. delle difese spondali del Torrente Carrione nel tratto che va dalla foce al centro storico di Carrara per una lunghezza totale di circa 8,5 km.

Convenzionalmente la parte del Torrente Carrione oggetto di interesse è stata suddivisa in 13 tratti individuati dalla presenza delle principali opere trasversali (ponti).

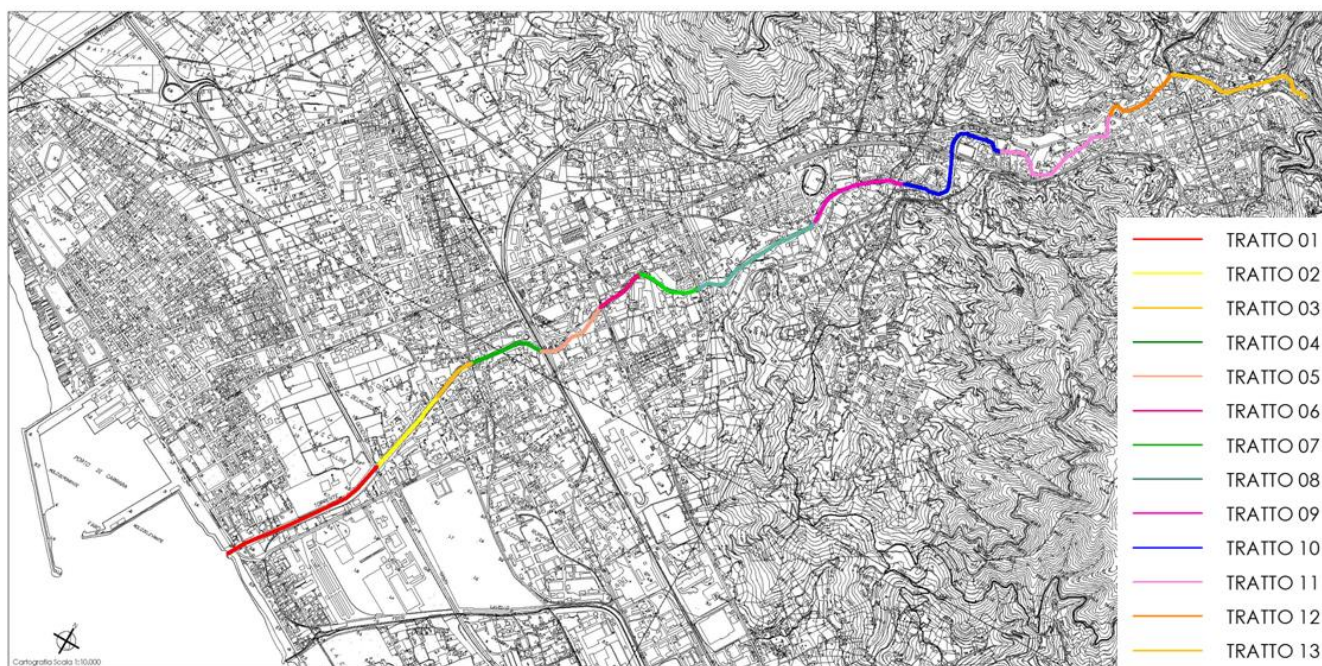


Fig. 2 – Planimetria di riferimento con suddivisione in tratti del Torrente Carrione (lunghezza 8,5 km)

L'analisi di conoscenza si è potuta basare su:

- a. Conoscenza visiva
- b. Conoscenza storica
- c. Conoscenza documentale
- d. Indagini in situ
- e. Prove di laboratorio
- f. Rilievo topografico.

Il punto c. è relativo alla documentazione progettuale ufficiale esistente messa a nostra disposizione; i punti d. e e. sono relativi al lavoro di un laboratorio specializzato che ha eseguito indagini e prove sulla base della pianificazione che attiene a questo studio di fattibilità.

In sintesi sui manufatti esistenti del torrente Carrione sono stati acquisiti i seguenti livelli di conoscenza:

- Conoscenza tipologica acquisita da sopralluoghi e rilievi in situ.
- Conoscenza geometrica acquisita dal rilievo topografico e dai saggi in situ effettuati con indagini invasive sulle fondazioni e sulle connessioni tra strutture diverse.
- Conoscenza documentale acquisita dai progetti delle opere laterali e trasversali reperiti presso i vari enti pubblici.
- Conoscenza materica acquisita da prove anche distruttive in situ e da prove in laboratorio per la determinazione delle caratteristiche dei materiali a seguito dell'applicazione di opportuni metodi di correlazione tra le misurazioni ottenute.
- Conoscenza prestazionale acquisita sulla base dei risultati ottenuti dalle verifiche di sicurezza effettuate sulle strutture esistenti facendo riferimento alla nuova normativa tecnica sulle costruzioni NTC 2008 e tenuto conto delle condizioni di carico agenti durante la vita del manufatto in funzione anche dei risultati dello studio idraulico.
- Conoscenza funzionale acquisita da sopralluoghi in situ e dall'analisi delle attività che si svolgono nell'area di interesse.

Si tratta del primo studio che affronta in modo organico l'intera asta, potremmo dire, ***“in tempo di pace”***, senza cioè l'urgenza imposta dalle emergenze nel quadro di un organico progetto di prevenzione.

La documentazione fotografica dà conto della enorme variabilità di tipologie strutturali, di geometrie, materiali, ecc. che caratterizzano le difese spondali; un dato comune a molti tratti è rappresentato dalla esecuzione della difesa sponale in più fasi successive con sopralzi funzionali ad accrescere la “protezione idraulica” dei singoli tratti.

Da un punto di vista tipologico le difese spondali esistenti possono essere così classificate:

- 1) *Tipologia 1: Muri in c.a.*
- 2) *Tipologia 2: Muri a gravità di cui:*
 - 2.a in cls (alcuni dei quali sopralzati)
 - 2.b in pietra (alcuni dei quali sopralzati)
- 3) *Tipologia 3: Argini in terra (anche armata)*
- 4) *Tipologia 4: Berlinesi*
- 5) *Tipologia 5: Edifici che fungono da argine.*



Fig. 3 – Muri in c.a.



Fig. 4 – Muri a gravità in cls + sopralzo in c.a.



Fig. 5 – Muri a gravità in pietra



Fig. 6 – Argini in terra



Fig. 7 – Berlinesi



Fig. 8 – Edifici che fungono da argine

Da un punto di vista funzionale le opere trasversali possono essere classificate nel seguente modo:

- *Tipologia A: Ponti*
- *Tipologia B: Passerelle private carrabili*
- *Tipologia C: Passerelle pedonali*



Fig. 9 – Ponti



Fig. 10 – Passerelle private carrabili



Fig. 11 – Passerelle pedonali

4 Rischio idraulico: sintesi dello studio specialistico

Lo studio dell'Università di Genova (gruppo coordinato dal Prof. Seminara) ha indagato l'asta con riferimento tanto ad una dettagliata descrizione dello stato di fatto, che delle modificazioni del fondo dell'alveo, che delle criticità esistenti, che, infine, delle potenziali cause di rischio idraulico di vario livello. Sempre in termini diciamo "idraulici" la relazione richiama anche le direzioni in cui individuare le azioni di mitigazione del rischio, in un quadro di interventi "...urgenti, tecnicamente ed economicamente sostenibili...".

In questa ottica, lo studio idraulico, molto utile, individua interventi con "Priorità 1" e interventi con "Priorità 2". In linea generale si individuano:

- A. Interventi di messa in sicurezza per eventi con periodo di ritorno di 30 anni
- B. Riduzione, nella parte montana, delle portate di piena e del trasporto solido utili a laminare le piene con periodo di ritorno di 200 anni in modo da ridurre opportunamente la portata a valle.

Intuitive a tal fine le figure 3.2 e 3.3 della Relazione Idraulica Preliminare (Settembre 2015) che di seguito si riportano.

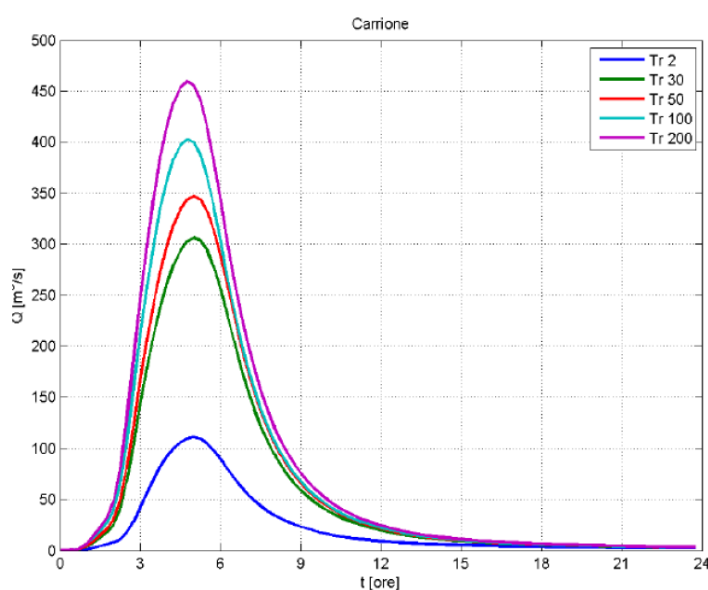


Figura 3.2: Idrogrammi di piena nella sezione di chiusura del Bacino del Carrione per tempi di ritorno da 2 a 200 anni (Castelli et al., 2014)

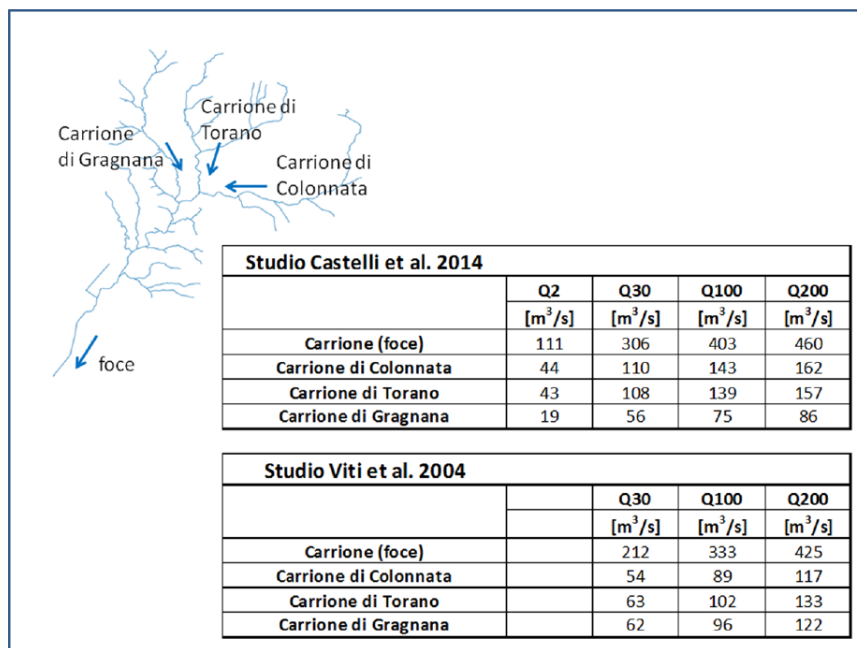


Figura 3.3: Valori massimi delle portate stimate nei rami principali della rete per i diversi periodi di ritorno (Castelli et al., 2014; Viti et al., 2004)

Altro dato importante per le finalità di questo studio è che tutte le simulazioni idrauliche sono state fatte con riferimento, al massimo, al valore trentennale ($Q_{30} = 306 \text{ m}^3/\text{s}$) delle portate, considerando che “...portate superiori alla trentennale non sono contenibili entro l'attuale alveo del corso d'acqua...”.

Infine, assumono ovviamente un importante rilievo le conclusioni cui giunge lo studio idraulico che ritiene “non perseguibile” l'obiettivo di mettere in sicurezza la realtà del costruito nell'area del Torrente Carrione, per le “piene duecentennali”, solo con interventi di “rimodellazione dell'alveo ed eliminazione di ostacoli ai deflussi”. Lo studio idraulico, invece, conferma di ritenere “perseguibile” la messa in atto di una “duplice classe di interventi”:

- Interventi di rimodellazione e rimozione ostacoli per “rendere l'alveo adeguato al deflusso di eventi trentennali”
- Realizzazione di invasi nella parte montana del bacino per le portate “...relative ad eventi duecentennali che eccedono quelle transitabili in sicurezza nell'alveo...”.

5 Criteri di lettura degli elaborati oggetto di incarico

Lo studio di fattibilità, a partire dalle informazioni acquisite riguardanti la realtà fisica, materica, tipologica e strutturale delle opere, procede verso analisi numeriche e di sensibilità finalizzate all'individuazione del grado di sicurezza e alla valutazione del rischio a cui tali opere sono potenzialmente sottoposte: rischio idraulico, rischio statico e rischio sismico. Il carattere di fattibilità a cui fa riferimento il progetto in questione, si completa attraverso l'individuazione degli interventi tipologici possibili e le valutazioni di merito sul tema delle priorità sulla scorta di valutazioni e stime economiche di larga massima.

Tutte le analisi e le valutazioni fatte, fanno riferimento alle seguenti opere separatamente:

- Opere di difesa sponale in destra e sinistra idraulica
- Opere trasversali (ponti, passerelle, ecc.).

La suddivisione nei 13 tratti dell'intera asta del Carrione adottata dalla Regione Toscana, agevola la contestualizzazione dei risultati ottenuti dalle analisi svolte oltre che tipologicamente anche da un punto di vista spaziale.

Lo studio si compone dei seguenti documenti:

- Book grafico redatto in formato A2 / A2+ contenente il quadro conoscitivo specifico per ognuno dei 13 tratti del Torrente con l'individuazione e il rilievo delle diverse tipologie spondali esistenti, la pianificazione delle indagini da eseguire in situ e in laboratorio, la sintesi e la rielaborazione dei risultati ottenuti dalle indagini conoscitive eseguite.
- Relazioni sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti a partire dai risultati ottenuti dalle indagini in situ. Ogni tratto ha una relazione specifica di analisi e verifiche strutturali più o meno approfondite a seconda del livello di conoscenza acquisito: a tal proposito le opere arginali relativamente recenti di cui è stata acquisita la documentazione progettuale, sono corredate da una scheda di dettaglio con riassunte tutte le informazioni a disposizione che hanno permesso di effettuare valutazioni strutturali e proposte di intervento specifiche, con un livello di dettaglio maggiore rispetto ai vecchi muri arginali sui quali il livello di conoscenza risulta limitato.
- Relazione di sintesi sui risultati ottenuti per le opere arginali divise per tratto: nella pratica tale relazione riporta il capitolo "conclusioni" di ognuna delle relazioni sui singoli tratti.
- Book grafico redatto in formato A3 / A3+ contenente le proposte di intervento tipologiche sulle opere laterali correnti e su quei manufatti arginali corredate dalla scheda di dettaglio presente nelle relazioni di cui sopra. Tale book è completato dalle schede di dettaglio di tutte quelle opere trasversali che sono risultate critiche dallo studio idraulico e sulle quali è stata effettuata una valutazione di fattibilità strutturale e funzionale degli interventi proposti analizzando diverse soluzioni tecnologiche.
- Relazione finale conclusiva comprendente gli scopi e le finalità del progetto, la sintesi complessiva dei risultati ottenuti, con la valutazione sommaria della stima dei costi e delle priorità che

consentono, ai livelli di progettazione successiva, di partire da un quadro definito dello “stato di salute” delle opere presenti sul torrente Carrione.

Si intendono poi allegati al presente studio, a formarne parte integrante:

- Certificati del Laboratorio Sigma sulle indagini e prove eseguite
- Rilievo topografico

Convenzionalmente i documenti prodotti fanno riferimento a:

- **Numero del tratto** di torrente che rappresenta la suddivisione convenzionale con la quale il torrente Carrione è stato schematizzato (13 tratti dalla foce al centro storico di Carrara).
- **Numero delle sezioni** topografiche come da rilievo topografico.
- **Numero identificativo delle schede** di ogni manufatto arginale secondo la numerazione adottata nei report delle indagini conoscitive eseguite dal Laboratorio incaricato dalla regione Toscana.

5.1 Note sulle analisi numeriche e di sensibilità svolte sui manufatti esistenti

L'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti, a partire dai risultati ottenuti dalle indagini in sito e dalle informazioni riportate nella documentazione progettuale acquisita, dove disponibile, viene eseguita a livello preliminare, facendo riferimento al carattere di “Studio di Fattibilità” di cui all'incarico ricevuto, tenuto conto delle assunzioni riportate a seguire.

5.1.1 Quadro normativo di riferimento

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 14.01.2008
- Circolare esplicativa Nuove norme tecniche per le costruzioni DM 14.01.2008, n° 617 del 02.02.2009

5.1.2 Considerazioni sul quadro normativo di riferimento e sull'evoluzione normativa

Le verifiche strutturali dei manufatti esistenti vengono eseguite facendo riferimento alla nuova normativa tecnica sulle costruzioni NTC 2008. Le vecchie strutture arginali presenti lungo il Carrione sono state progettate secondo i criteri di normative antecedenti a quella attuale che differisce per:

- Metodi di calcolo: il metodo agli Stati Limite ha definitivamente sostituito il vecchio metodo alle tensioni ammissibili (il DM 09/01/1996 per il calcolo delle strutture in c.a., c.a.p. e acciaio e il DM

16/01/1996 per le costruzioni in zone sismiche, già prevedevano il calcolo agli stati limite pur ammettendo - e generalmente veniva applicato - il metodo delle tensioni ammissibili);

- Regole di progettazione ed esecuzione delle opere: criteri prestazionali, prescrizioni geometriche e di dettaglio, criteri di gerarchia delle resistenze e di duttilità;
- Azioni sismiche e criteri di progettazione antisismica;
- Prescrizioni specifiche legate ai rapporti delle opere con il terreno e in generale agli aspetti geotecnici.

Fondamentalmente, mentre il metodo delle tensioni ammissibili considera solo i coefficienti di sicurezza sulle tensioni ammissibili dei materiali, il metodo degli stati limite implica anche l'aleatorietà delle azioni agenti moltiplicando i valori caratteristici delle stesse con coefficienti di sicurezza variabili a seconda dello stato limite considerato. Con il metodo agli stati limite si distinguono dunque le incertezze legate alle resistenze dei materiali da quelle legate alle azioni.

Pertanto, a partire dalle differenze contenute negli approcci progettuali delle normative precedenti alle NTC 2008, discende la concreta possibilità che i risultati sulle verifiche strutturali delle opere di sostegno possano comportare un grado di sicurezza insufficiente per l'opera verificata alla luce delle nuove NTC 2008.

La finalità dell'analisi strutturale dei manufatti arginali esistenti è quindi quella di avere un quadro conoscitivo dell'opera corredato dall'individuazione di un grado di sicurezza propedeutico alla preliminare definizione delle proposte di intervento da effettuarsi sulla base di una scala delle priorità. Sulla base di tali risultati sarà possibile avviare gli interventi prioritari e passare a un livello di progettazione approfondito a partire dalle verifiche preliminari effettuate coerentemente con le normative attualmente in vigore: le NTC 2008.

5.1.3 Condizioni di carico

Lo stato attuale delle opere arginali deve necessariamente tener conto dei seguenti scenari a cui può trovarsi soggetto nel corso della sua vita utile:

Condizioni di carico statiche	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle; font-size: 3em; line-height: 1;">{</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> 1) Stato di magra: Azioni agenti del terrapieno e dell'eventuale sovraccarico 2) Stato di piena: Azioni idrauliche + eventuale contropinta del terrapieno </div>
Condizioni di carico sismiche	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle; font-size: 3em; line-height: 1;">{</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> 1) Stato di magra </div>

Per le opere arginali che non sono interessate da terrapieno a tergo, l'unica condizione significativa è rappresentata dallo stato idraulico di piena.

Per i vecchi muri arginali a gravità in pietra e cls la verifica sismica perde di significato poiché non ci sono informazioni dettagliate sulla geometria dell'opera (spessore e geometria fondazione) e perché l'opera,

costruita con i requisiti tipologici e le proprietà dei materiali di epoche passate, non è adeguata a sopportare le azioni sismiche in accordo alle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

5.1.4 Verifiche

Le verifiche sui manufatti arginali esistenti vengono condotte con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali del muro, dei pali di fondazione e della paratia di micropali.
- SLU di tipo geotecnico e di equilibrio
 - Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
 - Ribaltamento del muro di sostegno – SLU di equilibrio di corpo rigido (EQU);
 - Scorrimento sul piano di posa del muro di sostegno;
 - Collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera della paratia (atto di moto rigido).

6 Difese spondali e manufatti trasversali: caratteristiche tipologiche e prestazioni strutturali

6.1 Generalità

Utilizzando lo stesso linguaggio dello studio idraulico, l'asta del Carrione, procedendo da valle verso monte, può essere divisa in tre tratti:

- Tratto terminale compreso fra la foce ed il Ponte ferroviario della linea Genova – Pisa: $L = 2350$ m
- Tratto intermedio compreso fra il Ponte ferroviario della linea Genova – Pisa e la sezione 106 localizzata a valle della confluenza Gragnana – Carrione: $L = 5000$ m
- Il tratto cittadino compreso fra la sezione 106 localizzata a valle della confluenza Gragnana – Carrione e il Ponte del Cavatore $L = 1030$ m.

Con riferimento alle tipologie di **opere arginali** individuate:

- 1) *Tipologia 1: Muri in c.a.*
- 2) *Tipologia 2: Muri a gravità di cui:*
 - 2.a in cls (alcuni dei quali sopralzati)
 - 2.b in pietra (alcuni dei quali sopralzati)
- 3) *Tipologia 3: Argini in terra (anche armata)*
- 4) *Tipologia 4: Berlinesi*
- 5) *Tipologia 5: Edifici che fungono da argine*

e considerando uno sviluppo totale in destra e sinistra idraulica di circa 17 km, alcuni dati possono essere utili:

- 1) *Tipologia 1:* ~ 2800 m pari al 17% del totale
- 2) *Tipologia 2:* ~ 7000 m pari al 41% del totale di cui:
 - 2.a in cls ~ 3100 m pari al 44% dei muri a gravità (di questi ~ 2200 m - 72% - risultano sopralzati)
 - 2.b in pietra ~ 3900 m pari al 56% dei muri a gravità (di questi ~ 1750 m - 45% - risultano sopralzati)
- 3) *Tipologia 3:* ~ 3300 m pari al 20% del totale
- 4) *Tipologia 4:* ~ 870 m pari al 5% del totale
- 5) *Tipologia 5:* ~ 2800 m pari al 17% del totale.

Tab. 1: Sviluppo opere arginali classificate per tipologia

Sviluppo in metri lineari delle opere arginali per tipologia [m]								
TRATTI	Muri in c.a.	Muri a gravità in cls		Muri a gravità in pietra		Argini in terra / scogliera	Berlinesi	Edifici che fungono da argine
		No sopralzo	Si sopralzo	No sopralzo	Si sopralzo			
1	75	108			55	1650	200	
2	310		255			560		
3	75		110		65		320	
4	30				480	420		
5	390		390	65	90			
6	20	75	65	85			260	80
7	450		150		90			80
8	300		530		195	340		310
9	280	365	300	60		40	40	200
10	600	300	120	160	90	220		350
11	210	2		810	205	90		560
12	80		270	370				280
13				590	480		50	920
TOT	2820	850	2190	2140	1750	3320	870	2780
%	17%	41%				20%	5%	17%
		44%		56%				
		28%	72%	55%	45%			

Un altro dato acquista una valenza per le finalità del presente studio:

- **Costruiti prima del 1982: ~ 11 km**
- **Costruiti tra il 1982 e il 2008: ~ 6 km**
- **Costruiti dopo il 2008: - km**

Si tratta di date importanti ai fini della storia delle costruzioni:

- 1982: Classificazione del territorio tra le zone e il rischio sismico
- 2008: Entrata in vigore delle Norme Tecniche sulle Costruzioni attualmente vigenti (NTC 2008).

Queste date seguono alcuni passaggi culturali oltre che normativi e procedurali oltre a definire regole progettuali via via sempre più severe.

La classificazione qui adottata relativa ai muri “costruiti dopo il 2008” fa riferimento a quei muri che sono stati progettati secondo le NTC 2008, pertanto anche quei muri che pur essendo stati costruiti dopo il 2008 ma che dalla documentazione acquisita, sono risultati progettati con le norme precedenti alle NTC 2008 (in particolare con il D.M. 1996), sono stati comunque catalogati come muri “costruiti tra il 1982 e il 2008” poiché si fa riferimento non tanto alla data di costruzione quanto alla contestualizzazione temporale delle normative.

La lettura strutturale dei manufatti esistenti, fatta in sovrapposizione alle date di cui sopra, consentirà una opportuna contestualizzazione della prestazione strutturale e della sua eventuale inferiorità rispetto alle valutazioni attuali.

Da tale classificazione, emerge che, allo stato attuale, con la documentazione fin qui acquisita, non è stata rilevata nessuna opera arginale progettata alla luce delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni attualmente vigenti in Italia (NTC 2008). Pertanto, con le informazioni a nostra disposizione, possiamo preliminarmente dire che nessuna opera arginale presente sul Carrione, in questa sede verificata e rilevata sulla base del quadro conoscitivo acquisito, è da ritenersi conforme alle prescrizioni sismiche dettate dalle NTC 2008.

Con riferimento alla classificazione adottata per le **opere trasversali**:

- *Tipologia A: Ponti*
- *Tipologia B: Passerelle private carrabili*
- *Tipologia C: Passerelle pedonali*

possiamo elencarle nel modo seguente.

Nel tratto terminale sono presenti 4 ponti (procedendo da valle verso monte):

- 1) ponte ferroviario
- 2) ponte di viale Giovanni da Verrazzano
- 3) ponte di via Covetta
- 4) ponte di via Menconi (Giovan Pietro)

Nel tratto intermedio sono presenti 10 ponti e 7 passerelle (procedendo da valle verso monte):

- 5) ponte ferroviario linea Genova-Roma
- 6) ponte via Aurelia
- 7) ponte via Brigate Partigiane
- 8) ponte via Piave
- 9) ponte via Marconi
- 10) ponte via XX Settembre
- 11) ponte via Stabbio
- 12) passerella carrabile privata (Peghini – sez.81)
- 13) passerella carrabile privata (Figaia – sez.85)
- 14) ponte di via Elisa (sez.91)
- 15) passerella pedonale in disuso (sez.91.3)
- 16) passerella pedonale in disuso (sez.93.4)
- 17) ponte di via S. Martino



- 18) passerella pedonale in disuso (sez.98.1)
- 19) passerella carrabile privata (sez.98A)
- 20) ponte di Groppoli (antica passerella pedonale in disuso presumibilmente risalente all'epoca romana - sez.102)
- 21) ponte via Cavour

Nel tratto cittadino sono presenti 6 ponti e 1 fabbricato che attraversa l'alveo (procedendo da valle verso monte):

- 22) ponte via Apuana
- 23) ponte del Baroncino (sez. 110)
- 24) ponte delle Lacrime (sez. 113)
- 25) ponte Forti (sez. 115)
- 26) fabbricato Forti (sez. 117)
- 27) ponte della Bugia (sez. 120)
- 28) ponte di via del Cavatore.

6.2 Le difese spondali

Come detto in precedenza le tipologie più significative riscontrabili lungo l'asta nel tratto oggetto di indagine sono:

- 1) *Tipologia 1: Muri in c.a.*
- 2) *Tipologia 2: Muri a gravità di cui:*
 - 2.a *in cls (alcuni dei quali sopralzati)*
 - 2.b *in pietra (alcuni dei quali sopralzati)*
- 3) *Tipologia 3: Argini in terra (anche armata)*
- 4) *Tipologia 4: Berlinesi*
- 5) *Tipologia 5: Edifici che fungono da argine*

A partire dai risultati ottenuti dalle indagini in situ sulla caratterizzazione fisica, tipologica e materica delle opere arginali esistenti e dalle successive analisi strutturali, si possono riassumere le principali caratteristiche prestazionali dei manufatti classificati per tipologia e la valutazione preliminare degli interventi tipologici di rinforzo.

I riferimenti sugli interventi di rinforzo che seguono sono esplicitati nell'elaborato C15003PR_F_04.BK.01.01 Book delle proposte di intervento opere laterali e trasversali.

6.2.1 I sopralzi

Con il termine "sopralzo" si indica un'opera, generalmente in c.a., con cui una difesa sponale preesistente, costruita con una delle tipologie indicate, è stata rialzata per aumentare il volume di acqua contenibile entro le sponde stesse. L'altezza di questo rialzamento è compresa tra 0,50 m e 3,00 m.

La tecnica del "sopralzo" è abbastanza diffusa lungo questo torrente a dimostrazione di una tendenza, ripetuta nel tempo, a ritenere che con questi provvedimenti si poteva ottenere un miglioramento della prestazione di sicurezza idraulica.

Il crollo dell'argine in destra idraulica a valle del ponte di via Covetta, durante l'evento alluvionale del 5 novembre 2015, ha sostanzialmente interessato proprio la porzione di "sopralzo" di quel muro ed ha quindi evidenziato la criticità, reale e potenziale, di queste soluzioni.

Del resto è intuitivo comprendere come, nel caso dei sopralzi, si abbiano più situazioni di potenziale criticità che le figure sottostanti sinteticamente riepilogano.

La corretta costruzione di un sopralzo avrebbe quindi richiesto la preventiva verifica di ciascuna delle criticità richiamate, cosa di cui non si ha evidenza nella documentazione esaminata.

Al tema dei sopralzi quindi si è data una particolare attenzione, nel seguito, con proposte di intervento, coerenti anche con le informazioni desunte nella fase della conoscenza, che hanno tenuto conto sia delle questioni “locali” che di quelle legate alla sicurezza “globale”.

Di questo si parla in sintesi nella parte che segue ed in dettaglio negli elaborati:

- Relazioni sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti tratto per tratto (C15003PR_F_02.RG.04.01 – 13)
- Book delle proposte di intervento opere laterali e trasversali (C15003PR_F_04.BK.01.01).

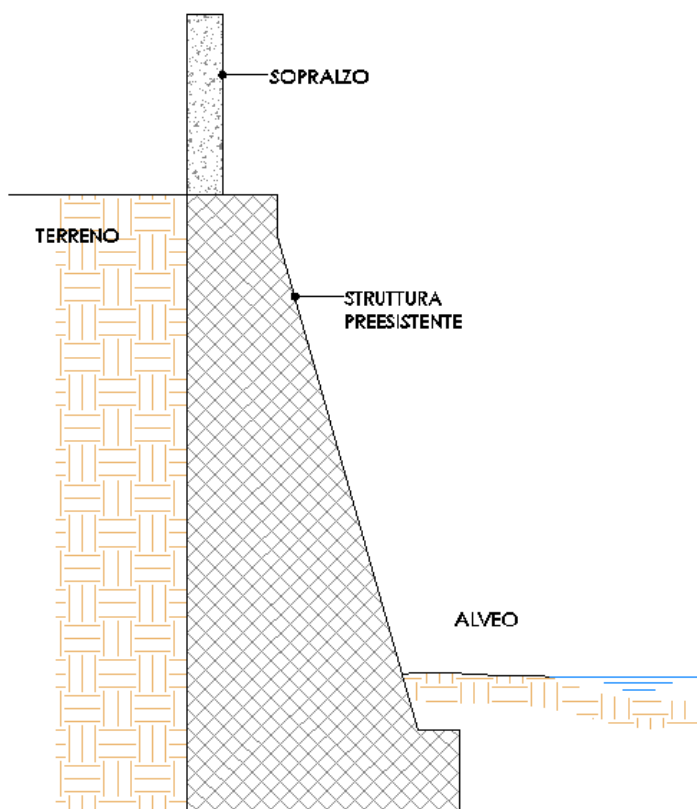


Fig. 12 – Schema di muro sopralzato



Fig. 13 – Foto muri sopralzati

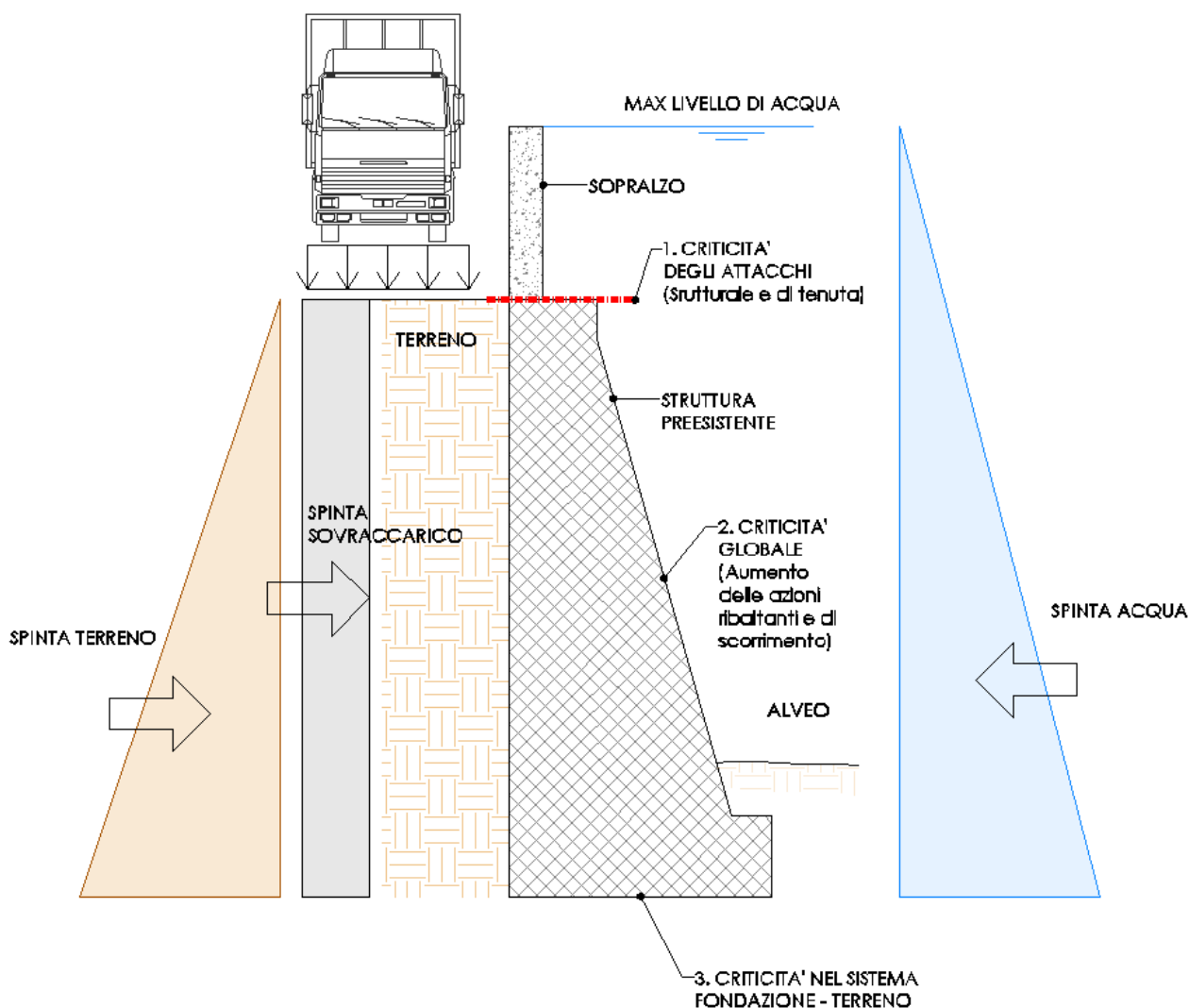


Fig. 14 – Schema delle spinte e delle criticità dei muri sopralzi

Caratteristiche tipologiche: muri in c.a. con sezione a L o con semplice paramento verticale realizzati sopra a muri esistenti in pietra o cls di epoche passate con la funzione di adeguare le quote arginali ai livelli di piena idraulica. I sopralzi per assolvere alla loro funzione strutturale devono essere opportunamente collegati ai muri di base con armature inghisate.

Prestazioni strutturali: la maggior parte dei sopralzi non ha terrapieno a tergo poiché vengono realizzati per sopraelevare muri esistenti. Pertanto l'azione dimensionalmente prevalente è quella dovuta alla spinta dell'acqua. La geometria dell'opera è chiaramente definita, l'armatura di inghisaggio è stata spesso rilevata anche se non l'efficacia dell'ancoraggio.

La valutazione delle prestazioni strutturali di tali opere è legata all'efficacia della sezione di collegamento sopralzo – muro di base e alla resistenza del muro di base.

Il collasso può avvenire nei seguenti scenari:

- Crisi della sezione di ancoraggio del sopralzo al muro di base: crollo del sopralzo, il muro di base non ribalta per la presenza del terrapieno, l'acqua che esonda è limitata all'altezza del sopralzo.
- Crisi del muro di base: la sezione di ancoraggio del sopralzo è efficiente, il muro di base non sostiene un livello di piena superiore alla sua altezza (che con il sopralzo si trova ad essere aumentata), crisi di stabilità del muro di base per ribaltamento o slittamento che si porta dietro anche il sopralzo: il quantitativo di acqua esondabile è maggiore in questo secondo scenario.

Pertanto il problema dell'efficienza strutturale dei muri sopralzati non è solo legata all'efficacia della connessione delle due opere ma anche alla tenuta e resistenza del muro di base a gravità che ha le seguenti criticità:

- si trova a sopportare un livello di carico idraulico superiore rispetto alla sua condizione precedente la sopraelevazione,
- è caratterizzato da proprietà tipologiche e materiche non adeguate alla nuove NTC 2008,
- è stato realizzato con modalità costruttive ormai superate,
- non è chiaramente definita la geometria dell'opera (spessore e conformazione della fondazione),
- quando il muro di base presenta scarse qualità del materiale (come per esempio accade per i muri in pietra), l'ancoraggio del sopralzo al muro di base perde di efficacia.

Criticità riscontrate:

- Inadeguatezza degli ancoraggi tra sopralzo e muro di base.
- Non è chiaramente definita la geometria del muro di base per insufficienza di informazioni reperite in situ.
- Inadeguatezza materica e tipologica del muro di base a gravità.

Interventi:

- Rilievo + indagini di dettaglio sui muri di base + indagini geognostiche sul terreno.
- Verifica strutturale dell'opera muro di base + sopralzo in accordo alle NTC 2008.
- Applicazione delle misure di sicurezza necessarie (stato di emergenza quando viene superato il franco limite).
- Rinforzo strutturale mediante:
 - A) Demolizione e nuova costruzione del sopralzo o ricostruzione affiancata di un nuovo sopralzo a quello esistente, qualora il muro di base sia adeguato alle prescrizioni delle NTC 2008.
 - B) Realizzazione di paratia di micropali a tergo del muro (tirantata o meno) fino alla quota del sopralzo, qualora il muro di base non sia adeguato alle prescrizioni delle NTC 2008.
 - C) Eventuale rinforzo del muro di base in pietra con rete chiodata (intervento da applicarsi non singolarmente ma in accompagnamento all'intervento tipo B)).

6.2.2 Muri in c.a.

Questa tipologia rappresenta il 17% dello sviluppo delle sponde in destra e sinistra idraulica ed interessa opere costruite in un periodo compreso tra il 1990 e l'attuale visto che alcune opere sono in fase di realizzazione.

Nessuna delle opere, con riferimento a quelle già costruite e di cui è stato possibile reperire la documentazione di progetto, è stata progettata secondo le NTC 2008 e, conseguentemente, nessuna opera è in grado di ottenere una prestazione di sismoresistenza pari a quella prevista, oggi, per le nuove costruzioni. In particolare, per esempio, nessun tratto ha prestazioni strutturali in ordine al rischio sismico analoghe a quelle di cui sarà dotato il tratto ricostruito.

Sulle opere di cui non è stato possibile acquisire la documentazione progettuale come per esempio quelle attualmente in costruzione o le opere rimaste incomplete e recentemente sequestrate, non è dato sapere a quale normativa fanno riferimento. Pertanto, limitatamente a quanto acquisito, possiamo affermare che allo stato dei fatti, tra le opere arginali del torrente Carrione, solo il nuovo muro a valle del ponte di via Covetta è stato progettato nel rispetto delle NTC 2008, a seguito del crollo per gli eventi alluvionali del 5 novembre 2014.



Fig. 15 – Foto muri in c.a.

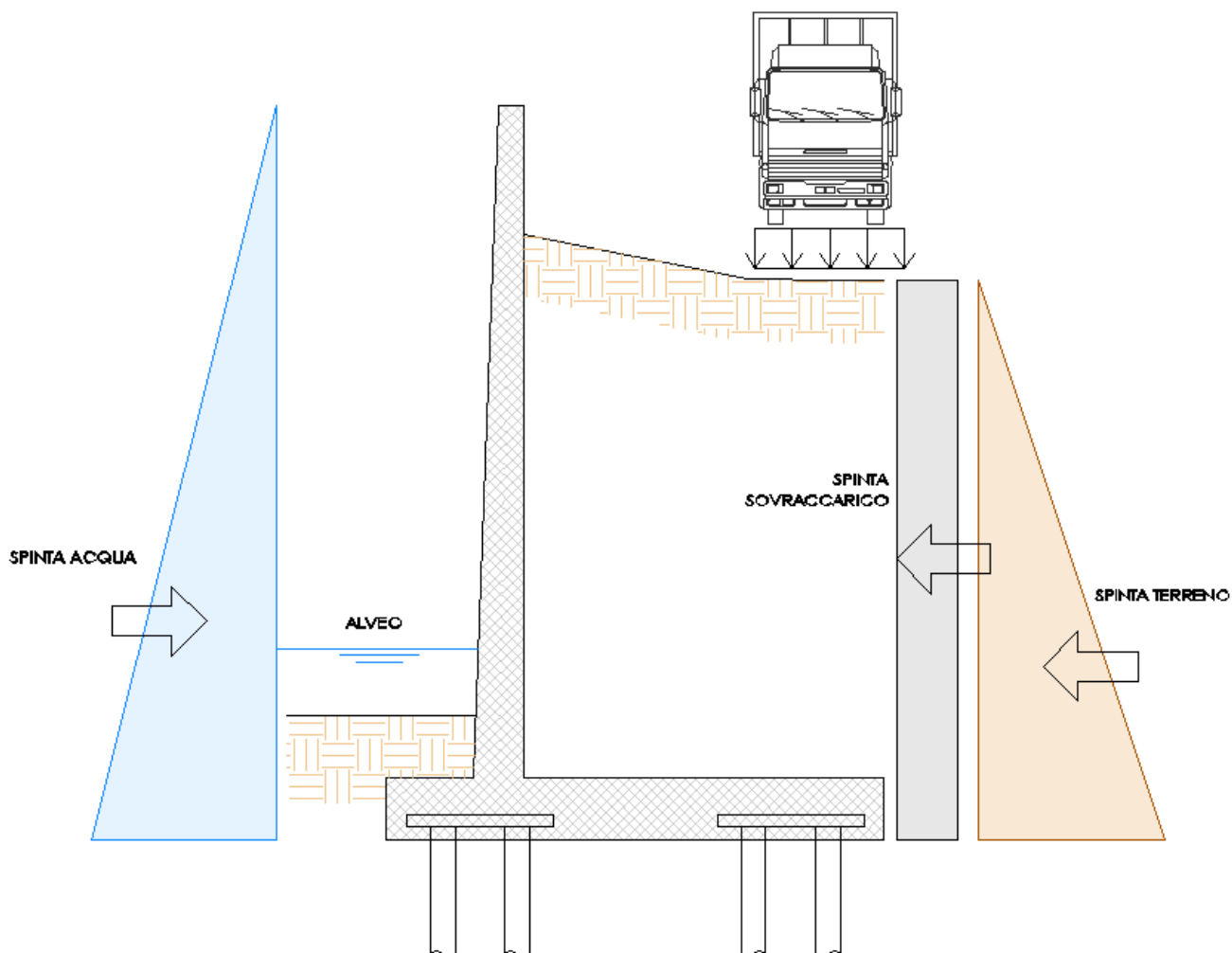


Fig. 16 – Schema delle spinte sui muri in c.a.

Su ciascun tratto sono state eseguite verifiche tanto in relazione alla spinta dell'acqua, che al sisma che, infine all'azione dei terrapieni, ove esistenti.

Gli esiti sono così sintetizzabili.

Caratteristiche tipologiche: muri arginali di recente costruzione che assorbono le sollecitazioni provenienti dal terrapieno o dall'alveo nel caso di piena e le trasferiscono al terreno mediante fondazione diretta con soletta in c.a. o fondazioni profonde realizzate con pali di medio/grande diametro o micropali.

Prestazioni strutturali: la spinta dell'acqua si trova ad essere preponderante nel momento in cui il terrapieno a tergo del muro, con la spinta passiva del terreno, è impostato a una quota sufficientemente inferiore rispetto all'estradosso del muro. Inversamente, qualora la quota del terrapieno è significativa e su di esso

grava un sovraccarico di utilizzo considerevole (strade, piazzali indisustriali per il deposito di merci e il trasposto tramite mezzi pesanti), la condizione più sfavorevole è quella statica e sismica dell'alveo in magra.

La valutazione delle prestazioni strutturali di tali opere, non è chiaramente definita, per i seguenti motivi:

- difformità nella geometria e/o nella disposizione dell'armatura delle opere realizzate rispetto a quanto stabilito in progetto
- insufficienza di informazioni ottenute dalle indagini in sito, a volte per motivi di inaccessibilità (valutazione delle fondazioni profonde, valutazione della ciabatta lato terrapieno, ecc.).

Preliminarmente si può affermare che con le caratteristiche progettuali l'opera si trova ad avere un sufficiente grado di sicurezza, tale grado di sicurezza viene però compromesso in presenza di difformità tra stato realizzato e stato di progetto.

In alcuni casi si riscontra il problema che l'opera è stata dimensionata con un sovraccarico d'uso lato terrapieno inferiore rispetto all'utilizzo che nella realtà viene fatto dell'area adiacente (ad esempio piazzali delle segherie utilizzati come stoccaggio dei blocchi di marmo e transito di mezzi pesanti). Sarà quindi necessario prevedere limitazioni d'uso e limitazioni di sovraccarico.

Criticità riscontrate:

- Difformità nella geometria e/o nella disposizione dell'armatura delle opere realizzate rispetto ai progetti depositati.
- Utilizzo inappropriato delle aree adiacenti al muro lato terrapieno.

Interventi:

- Risultano necessari il rilievo di dettaglio e le indagini di dettaglio propedeutici alla verifica strutturale in accordo alle NTC 2008.
- Applicazione delle misure di sicurezza necessarie (stato di emergenza quando viene superato il franco limite, limitazione sovraccarico d'uso lato terrapieno).
- Interventi di rinforzo specifici in seguito ai risultati delle indagini e delle verifiche di dettaglio (contrafforte in c.a. per insufficienza di armatura – realizzazione micropali di fondazione – realizzazione paratia di micropali a tergo del muro).

6.2.3 Muri a gravità

In questa tipologia rientrano tanto i muri in calcestruzzo che i muri in pietra.

Le verifiche di ordine statico, legate al regime delle spinte, non possono essere condotte in termini esecutivi con le informazioni in nostro possesso. Infatti si renderebbe necessario avere informazioni di dettaglio sulla geometria, sullo spessore, sul peso specifico del materiale, sulla tipologia e natura delle fondazioni; ed anche sulla natura geotecnica dei terrapieni, sul deflusso delle acque di monte, sui sovraccarichi di esercizio dei terrapieni stessi. Informazioni che potranno essere assunte nelle eventuali future fasi di approfondimento diagnostico e progettuale.

Certo sin da ora si può dire che le verifiche legate alle questioni sismiche non potranno essere soddisfatte.

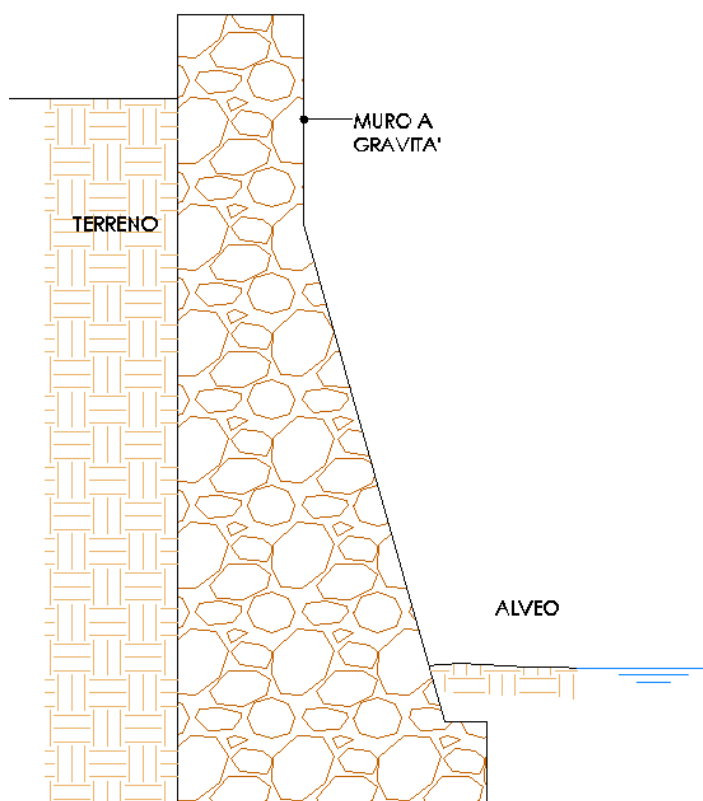


Fig. 17 – Schema di muro a gravità



Fig. 18 – Foto muri a gravità

Caratteristiche tipologiche: muri risalenti a epoche passate e caratterizzati da modalità costruttive, proprietà tipologiche e materiche superate. Il muro resiste per gravità (attraverso il proprio peso) e spesso presenta sezione trapezoidale. Soprattutto i muri in pietra sono caratterizzati da qualità del materiale scadente, che in base alla classificazione delle NTC 2008 può essere identificata come “Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)”.

Prestazioni strutturali: I muri a gravità sono caratterizzati dalla presenza del terrapieno a tergo dell'opera che si oppone alla spinta idraulica dell'acqua. Pertanto l'azione dimensionalmente prevalente è quella dovuta alla spinta del terreno a tergo del muro con l'eventuale sovraspinta dovuta al sovraccarico d'uso: la condizione più sfavorevole è quella statica e sismica dell'alveo in magra.

La valutazione delle prestazioni strutturali di tali opere, non è chiaramente definita, per insufficienza di informazioni ottenute dalle indagini in situ sulla geometria dell'opera: spessore e conformazione della fondazione.

Le prestazioni strutturali di tali opere sono legate alla geometria e alle dimensioni dell'opera che reagisce con il proprio peso. Date le proprietà tipologiche e materiche e le modalità costruttive di tali opere, le capacità sismo-resistenti sono inadeguate nei confronti delle condizioni sancite dalle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

Il collasso può avvenire nei seguenti scenari:

- Capacità sismo-resistente insufficienti
- Scalzamento al piede per la condizione idraulica.

Criticità riscontrate:

- Non è chiaramente definita la geometria del muro per insufficienza di informazioni reperite in situ.
- Inadeguatezza materica, tipologica e costruttiva.

Interventi:

- Rilievo + indagini di dettaglio sul muro + indagini geognostiche sul terreno.
- Verifica strutturale dell'opera in accordo alle NTC 2008.
- Applicazione delle misure di sicurezza necessarie (stato di emergenza quando viene superato il franco limite, limitazione sovraccarico d'uso lato terrapieno).
- Rinforzo strutturale mediante:
 - A) Realizzazione di paratia di micropali a tergo del muro (tirantata o meno) per fronteggiare le scarse capacità sismo-resistenti dell'opera.
 - B) Realizzazione di berlinese di micropali al piede dell'opera contro lo scalzamento in condizioni idrauliche.
 - C) Eventuale rinforzo del muro in pietra con rete chiodata (intervento da applicarsi non singolarmente ma in accompagnamento agli interventi tipo A) e tipo B)).

6.2.4 Argini in terra

Questa tipologia di difesa spondale ha uno sviluppo totale di circa 3300 m pari al 20% del totale.

Caratteristiche tipologiche: sul Carrione sono presenti argini in terra caratterizzati dalla presenza di muri in cls o scogliera alla base degli stessi. La maggior parte degli argini in terra risultano armati (tratto 1 – tratto 2). Gli argini in terra del tratto 8 sono risultati non armati dalle indagini in situ contrariamente a quanto previsto nella pratica sismica N. 696/2013: per tale motivo l'opera in terra, difforme dal progetto, è da valutarsi potenzialmente critica.

Prestazioni strutturali: le terre armate del tratto 1 e del tratto 2, dalle analisi di laboratorio, sono risultate caratterizzate da terreni idonei per la stabilità, ma meno idonei per assolvere alla funzione arginale da un punto di vista idraulico e di permeabilità. E' stata rilevata la presenza della geogriglia il cui risvolto però è spesso insufficiente (il sondaggio effettuato nella parte centrale della terra armata spesso non rileva la geogriglia per mancanza di risvolto approfondito). Le valutazioni preliminari sulla verifica a sifonamento e filtrazione, tenuto conto del coefficiente di permeabilità rilevato e della profondità dell'opera, danno buoni risultati che risultano confermati dall'assenza di lesioni, crepe, dissesti, e segnali di cedimenti sui muri di base e sulle opere a tergo dell'argine in terra armata. Nonostante ciò, le capacità sismo-resistenti dell'opera non sono garantite e si prevedono approfondimenti specifici per la valutazione della sicurezza strutturale. Gli argini in terra non armata risultano invece potenzialmente criticati poiché in difformità dal progetto che prevedeva terre armate, ma non sono sufficienti le informazioni reperite in situ per poter valutare la stabilità dell'opera nel caso in cui la piena raggiunga la quota dell'argine in terra.

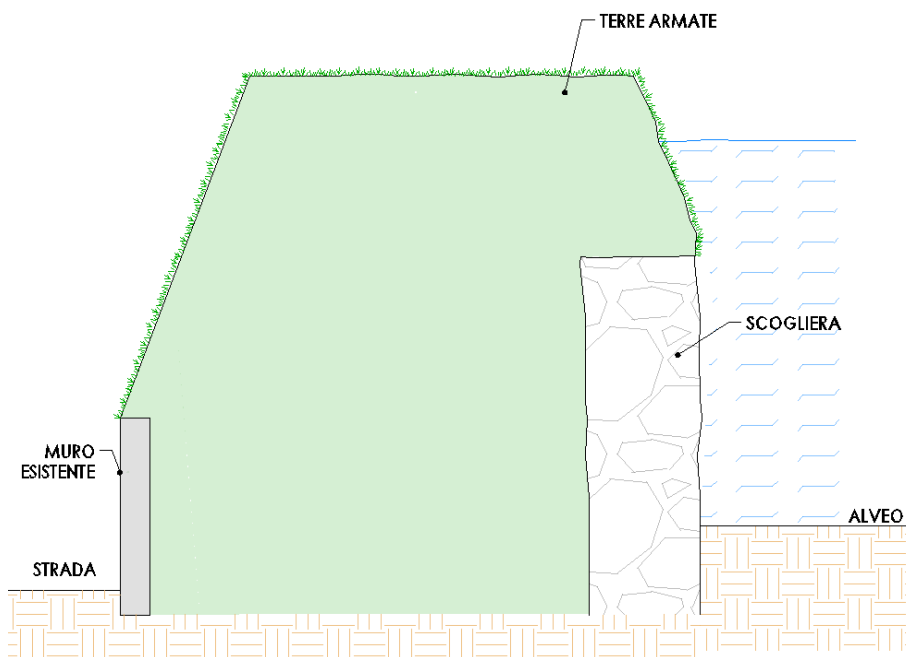


Fig. 19 – Sezione tipologica terre armate tratti 01 - 02



Criticità riscontrate:

- Le terre armate sono caratterizzate dalla presenza della geogriglia che non ha sufficiente risvolto.
- Terreni adeguati per la stabilità, meno appropriati per la tenuta idraulica.
- Alcuni argini in terra sono risultati non armati.

Interventi:

- Rilievo + indagini di dettaglio + indagini geognostiche sul terreno e sulle geogriglie.
- Verifica strutturale dell'opera in accordo alle NTC 2008.
- Intervento di protezione mediante l'applicazione di geostuoie + idrosemina con funzione antierosiva e allo stesso tempo di rinforzo per solidarizzare la geogriglia esistente che presenta delle criticità negli ancoraggi che possono comprometterne la tenuta.

6.2.5 Berlinesi

Caratteristiche tipologiche: le berlinesi presenti sul Carrione sono nuove opere realizzate di recente. Si tratta di berlinesi di micropali, tirantate o meno, con funzione di opera arginale o berlinesi al piede di strutture esistenti realizzate come rinforzo a seguito di interventi di abbassamenti di alveo o a seguito di scalzamenti e erosioni (molte di esse sono in fase di costruzione soprattutto nel tratto di torrente del centro storico di Carrara). Tali opere sono funzionali laddove è presente un terrapieno che fa da contropinta contro le azioni idrauliche.

Prestazioni strutturali: la spinta dell'acqua si trova ad essere preponderante nel momento in cui il terrapieno a tergo del muro, con la spinta passiva del terreno, è impostato a una quota inferiore rispetto all'estradosso della berlinese. Inversamente, qualora il terrapieno raggiunge la massima altezza della berlinese e su di essa grava un sovraccarico di utilizzo considerevole (strade, piazzali industriali per il deposito di merci e il trasposto tramite mezzi pesanti), la condizione più sfavorevole è quella statica e sismica dell'alveo in magra. La valutazione delle prestazioni strutturali di alcune di queste opere, non è stata trattata, per i seguenti motivi:

- insufficienza di informazioni ottenute dalle indagini in sito sulla geometria e sulla profondità di infissione della paratia per motivi di inaccessibilità;
- opere attualmente in corso di realizzazione e in attesa di collaudo statico.

Criticità riscontrate:

- Lavori in corso.

Interventi:

- Per le opere in corso di realizzazione si attende il responso del collaudo statico.
- Per le opere ultimate risultano necessari il rilievo di dettaglio e le indagini di dettaglio propedeutici alla verifica strutturale in accordo alle NTC 2008 per la conferma ai dati di progetto.



Fig. 20 – Berlinese

6.2.6 Edifici che fungono da argine

Lungo il Carrione si trovano molti esempi di edifici che fungono da argine sia nella zona di valle dove gli edifici sono spesso rappresentati da fabbricati industriali sia e soprattutto nella zona di monte nel centro storico dove vecchi edifici in pietra e muratura fanno da sponda al Carrione.

Su tali opere non è possibile entrare in merito poiché non ci sono informazioni sulle tipologie strutturali, sulle caratteristiche distributive interne, sulle proprietà materiche e funzionali. Pertanto si rimanda a studi specifici di dettaglio da effettuarsi a seguito di una campagna di indagini approfondita e una ricerca documentale adeguata.

Criticità: possibili problemi possono essere riscontrati in termini di stabilità, resistenza, scalzamento al piede, infiltrazione e tenuta alle portate del torrente. Possibili criticità se la piena raggiunge le finestre del fabbricato che danno sull'alveo.



Fig. 21 – Edifici che fungono da argine

6.2.7 Principali cause di crisi strutturale riscontrate

Le principali cause di crisi strutturale riscontrate dalle verifiche delle opere arginali sono le seguenti:

- a) Stabilità: Ribaltamento e Slittamento
- b) Resistenza: Scarsa presenza di armature
- c) Assenza / insufficienza di ferri di inghisaggio tra sopralzi in c.a. e opere sottostanti di epoca diversa
- d) Stabilità e tenuta dei vecchi muri a gravità
- e) Scalzamento al piede, erosione
- f) Modalità costruttive
- g) Qualità scadente della muratura per i vecchi muri in pietra.



6.3 Opere trasversali

Dallo studio idraulico dell'Università di Genova (gruppo coordinato dal Prof. Seminara), emergono criticità rilevanti su alcune delle opere trasversali presenti lungo l'asta del Carrione. In particolare vengono individuati interventi a priorità 1 e interventi a priorità 2 necessari ad assicurare il deflusso della portata trentennale con il richiesto franco. Su tali interventi che emergono dallo studio idraulico, viene fatta una valutazione riguardante la fattibilità strutturale e funzionale proponendo soluzioni tecnologiche preliminari comprensive di una stima economica sommaria.

Per i dettagli si rimanda all'elaborato C15003PR_F_04.BK.01.01 Book delle proposte di intervento opere laterali e trasversali.

6.3.1 Ponte di via Covetta – Tratto 01-02

Dati Generali

Oggetto: Ponte via Covetta

Tipo di opera: Ponte di prima categoria

Localizzazione: Tratto 01 - Tratto 02 - centro urbano

Luce: 16 m

Larghezza impalcato: 18,5 m

Pratica sismica di riferimento: N. 624/2003

Anno di costruzione dell'opera: 2004

Tipologia: Sistema misto acciaio - cls con travi in acciaio completamente annegate nel calcestruzzo. Le spalle sono in c.a. fondate su pali trivellati.

Caratteristiche geometriche: Ponte ad unica campata, nessuna pila in alveo: schema statico di trave semplicemente appoggiata agli estremi. Inclinazione di circa 24° rispetto alla normale della sezione longitudinale dell'alveo. Travi a doppio T con altezza travi metalliche ≈ 35 cm. Spessore impalcato in mezzzeria ≈ 50 cm.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 2 - Rimozione restringimento ponte di via Covetta in misura tale da assicurare che il deflusso della portata trentennale avvenga con il richiesto franco. In alternativa a tale intervento lo studio idraulico prevede l'innalzamento del Ponte di via Menconi.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Ripercussioni sulla viabilità di accesso a via Covetta e a via Argine Destro.



Fig. 22 – Ponte via Covetta visto da monte

6.3.2 Ponte di via Menconi (Giovanpietro) – Tratto 02-03

Dati Generali

Oggetto: Ponte via Menconi (Giovanpietro)

Tipo di opera: Ponte di prima categoria

Localizzazione: Tratto 02 - Tratto 03 - centro urbano

Luce: 19 m

Larghezza impalcato: 10,4 m

Pratica sismica di riferimento: N. 192/2005

Anno di costruzione dell'opera: 2007

Tipologia: Sistema misto acciaio - cls con travi in acciaio + soletta collaborante in c.a.. Le spalle sono in c.a. fondate su pali trivellati.

Caratteristiche geometriche: Ponte ad unica campata, nessuna pila in alveo: schema statico di trave semplicemente appoggiata agli estremi.

Travi metalliche a doppio T accostate con altezza pari a 60 cm collaboranti con la soletta in c.a. sp. 25 cm. Spessore impalcato in mezzzeria ≈ 100 cm.

Le travi metalliche longitudinali sono collegate con 4 traversi in c.a. 20x85 cm posizionati 2 in testa e 2 in campata.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 2 - Innalzamento del Ponte di via Menconi in misura tale da assicurare che il deflusso della portata trentennale avvenga con il richiesto franco. In alternativa a tale intervento lo studio idraulico prevede la rimozione del restringimento del ponte di via Covetta.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok mediante sollevamento impalcato con martinetti o in alternativa con rifacimento impalcato più snello.

Fattibilità funzionale dell'intervento: L'intervento di sollevamento dell'impalcato determina criticità sulla viabilità di accesso al ponte.



Fig. 23 – Ponte via Menconi visto da valle

6.3.3 Ponte di via Marconi (Pontecimato) – Tratto 09-10

Dati Generali

Oggetto: Ponte via Marconi (Pontecimato)

Tipo di opera: Ponte di prima categoria

Localizzazione: Tratto 09 - Tratto 10 - centro urbano

Luce: 17,20 m

Larghezza impalcato: 9,60 m

Pratica sismica di riferimento: N. 825/2007

Anno di costruzione dell'opera: 2012

Tipologia: Sistema misto acciaio - cls con travi in acciaio + soletta collaborante in c.a.. Le spalle sono in c.a. fondate su substrato roccioso.

Caratteristiche geometriche: Ponte ad unica campata, nessuna pila in alveo: schema statico di trave semplicemente appoggiata agli estremi.

Travi metalliche a doppio T accostate con altezza pari a 60 cm collaboranti con la soletta in c.a. sp. 25 cm.

Spessore impalcato in mezzzeria \approx 100 cm.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 2 - Adeguamento quota impalcato del Ponte di via Marconi in misura tale da assicurare che il deflusso della portata trentennale avvenga con il richiesto franco.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok mediante sollevamento impalcato con martinetti o in alternativa con rifacimento impalcato più snello.

Fattibilità funzionale dell'intervento: L'intervento di sollevamento dell'impalcato determina criticità sulla viabilità di accesso al ponte.



Fig. 24 – Ponte via Marconi visto da monte

6.3.4 Ponte di via Stabbio – Tratto 10-11

Dati Generali

Oggetto: Ponte via Stabbio

Tipo di opera: Ponte di prima categoria

Localizzazione: Tratto 09 - Tratto 10 - centro urbano

Luce: 16,00 m

Larghezza impalcato: 9,60 m

Pratica sismica di riferimento: Nessuna - Prog. Definitivo 2004

Anno di costruzione dell'opera: dopo il 2004

Tipologia: Ponte in c.a. o c.a.p. (presumibilmente). Le spalle sono in c.a. fondate su substrato roccioso.

Caratteristiche geometriche: Ponte ad unica campata, nessuna pila in alveo: schema statico di trave semplicemente appoggiata agli estremi.

Spessore impalcato = 50 cm.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Innalzamento del Ponte di via Stabbio ($\geq 1,25$ m) + eliminazione del restringimento della sezione a monte del ponte in misura tale da assicurare che il deflusso della portata trentennale avvenga con il richiesto franco.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok mediante sollevamento impalcato con martinetti o in alternativa con rifacimento impalcato più snello.

Fattibilità funzionale dell'intervento: L'intervento di sollevamento dell'impalcato determina criticità sulla viabilità di accesso al ponte e sulle attività presenti nelle aree confinanti.



Fig. 25 – Ponte via Stabbio visto da valle

6.3.5 Passerella carrabile privata (sez. 81 – Peghini) – Tratto 11

Dati Generali

Oggetto: Passerella carrabile privata Peghini

Tipo di opera: Passerella carrabile per accesso privato alla segheria

Localizzazione: Tratto 11 - centro urbano (sez. topogr. 81)

Luce: 10,50 m

Larghezza impalcato: $\approx 4,80$ m

Pratica sismica di riferimento: -

Anno di costruzione dell'opera: -

Tipologia: Ponte ad arco in muratura + struttura metallica di rinforzo.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Eliminazione della passerella carrabile privata (sez. 81) tale da permettere il deflusso della portata trentennale in sicurezza.

Tale intervento va accompagnato da un adeguamento delle quote delle difese spondali.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Da una prima visione sommaria dell'area, la rimozione della passerella carrabile di servizio alla segheria è da ritenersi compatibile ipotizzando di poter sfruttare gli altri accessi presenti.



Fig. 26 – Passerella Peghini vista da valle

6.3.6 Passerella carrabile privata (sez. 85 – Figaia) – Tratto 11

Dati Generali

Oggetto: Passerella carrabile privata Figaia

Tipo di opera: Passerella carrabile per accesso privato alla segheria

Localizzazione: Tratto 11 - centro urbano (sez. topogr. 85)

Luce: 13,00 m

Larghezza impalcato: $\approx 5,00$ m

Pratica sismica di riferimento: -

Anno di costruzione dell'opera: -

Tipologia: Ponte metallico.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Eliminazione della passerella carrabile privata (sez. 85) tale da permettere il deflusso della portata trentennale in sicurezza.

Tale intervento va accompagnato da un adeguamento delle quote delle difese spondali.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Da una prima visione sommaria dell'area, la rimozione della passerella carrabile di accesso alla segheria implica la necessità di dover convogliare a un altro accesso tutto il traffico veicolare.



Fig. 27 – Passerella Figaia

6.3.7 Passerella abbandonata (sez. 93.4) – Tratto 11

Dati Generali

Oggetto: Passerella pedonale

Tipo di opera: Passerella pedonale in disuso

Localizzazione: Tratto 11 - centro urbano (sez. topogr. 93.4)

Luce: ≈ 11 m

Larghezza impalcato: $\approx 3,00$ m

Tipologia: Passerella chiodata.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Eliminazione della passerella abbandonata (sez. 93.4) poiché di forte ostacolo ai deflussi.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Ok.

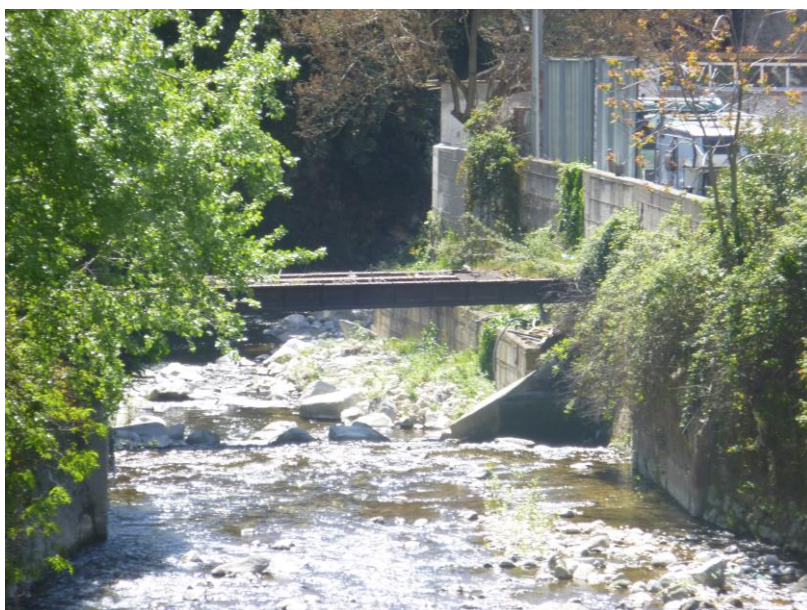


Fig. 28 – Passerella sez. 93.4

6.3.8 Passerella abbandonata (sez. 98.1) – Tratto 12

Dati Generali

Oggetto: Passerella pedonale

Tipo di opera: Passerella pedonale in disuso

Localizzazione: Tratto 12 - centro urbano (sez. topogr. 98.1)

Luce: ≈ 11 m

Larghezza impalcato: -

Tipologia: Passerella chiodata.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Eliminazione della passerella abbandonata (sez. 98.1) poiché di forte ostacolo ai deflussi.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Ok.



Fig. 29 – Passerella sez. 98.1

6.3.9 Passerella carrabile privata (sez. 98.A) – Tratto 12

Dati Generali

Oggetto: Passerella carrabile privata

Tipo di opera: Passerella carrabile per accesso privato alla segheria

Localizzazione: Tratto 12 - centro urbano (sez. topogr. 98A)

Luce: 11,00 m

Larghezza impalcato: $\approx 4,60$ m

Tipologia: Ponte metallico.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Eliminazione della passerella carrabile privata (sez. 98.A) poiché di forte ostacolo ai deflussi.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Da una prima visione sommaria dell'area, la rimozione della passerella carrabile di servizio alla segheria è da ritenersi compatibile ipotizzando di poter sfruttare l'accesso presente nella zona retrostante.



Fig. 30 – Passerella sez. 98.A

6.3.10 Ponte di via San Martino – Tratto 11 – 12

Dati Generali

Oggetto: Ponte via San Martino

Tipo di opera: Ponte di prima categoria

Localizzazione: Tratto 11 - Tratto 12 - centro urbano

Luce: 14,60 m

Larghezza impalcato: 9,5 m

Pratica sismica di riferimento: -

Anno di costruzione dell'opera: -

Tipologia: Ponte ad arco in muratura a più campate.

Caratteristiche geometriche: Ponte ad arco in muratura a più campate: l'alveo del fiume interessa un'unica campata.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 2 - Adeguamento del Ponte di via San Martino tale da assicurare il deflusso della portata trentennale in sicurezza.

Fattibilità strutturale dell'intervento: demolizione campata in alveo e realizzazione di un nuovo ponte a portale o in alternativa mediante rimodellazione dell'alveo con apertura seconda canna del ponte ai deflussi del torrente.

Fattibilità funzionale dell'intervento: L'intervento di sostituzione della campata in muratura con un nuovo ponte a portale non determina criticità sulla viabilità. L'intervento di rimodellazione dell'alveo necessita di approfondimenti congiunti da un punto di vista idraulico, strutturale e funzionale.



Fig. 31 – Ponte via S. Martino visto da monte

6.3.11 Antico ponte romano – ponte di via Groppoli – Tratto 12

Dati Generali

Oggetto: Antico ponte romano

Tipo di opera: Passerella pedonale in disuso

Localizzazione: Tratto 12 - centro urbano (sez. topogr. 102)

Luce: ≈ 9 m

Larghezza impalcato: $\approx 2,40$ m

Tipologia: Ponte ad arco in muratura.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Rimozione o smontaggio del ponte di via Groppoli per consentire il deflusso della portata trentennale in sicurezza. In seguito a tale intervento le difese spondali a valle del ponte richiederanno opportuni adeguamenti.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Impatto sociale per la valenza storica del ponte.



Fig. 32 – Antico ponte romano

6.3.12 Ponte Forti – Tratto 13

Dati Generali

Oggetto: Ponte Forti

Tipo di opera: Ponte carrabile di accesso a una corte su cui si affacciano abitazioni private (attualmente il ponte è utilizzato come parcheggio)

Localizzazione: Tratto 13 - centro urbano (sez. topogr. 115)

Luce: 7,00 m

Larghezza impalcato: $\approx 7,50$ m

Pratica sismica di riferimento: -

Anno di costruzione dell'opera: -

Tipologia: Impalcato a un'unica campata con parapetto in c.a. e spalle in pietra.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Rimozione Ponte Forti per consentire il deflusso della portata massima tollerabile per il centro cittadino.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Possibili criticità sulla viabilità, necessità di garantire il transito e l'accesso pedonale all'area di interesse.



Fig. 33 – Ponte Forti visto da valle

6.3.13 *Fabbricato Forti – Tratto 13*

Dati Generali

Oggetto: Fabbricato Forti - Ex Mulino

Tipo di opera: Edificio che occupa l'intera larghezza dell'alveo

Localizzazione: Tratto 13 - centro urbano (sez. topogr. di rifer. 117)

Luce: 8,26 m

Larghezza solaio: $\approx 15,00$ m

Pratica sismica di riferimento: -

Anno di costruzione dell'opera: -

Tipologia: Porzione di edificio che attraversa l'alveo a sbalzo.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Rimozione o alternatively rialzo primo solaio Fabbricato Forti per consentire il deflusso della portata massima tollerabile per il centro cittadino.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Necessari approfondimenti di dettaglio sull'opera.

Fattibilità funzionale dell'intervento: Impatto funzionale e sociale.



Fig. 34 – Fabbricato Forti visto da valle

6.3.14 Ponte della Bugia – Tratto 13

Dati Generali

Oggetto: Ponte della Bugia

Tipo di opera: Ponte carrabile

Localizzazione: Tratto 13 - centro urbano

Luce: 8,70 m

Larghezza impalcato: 6,60 m

Pratica sismica di riferimento: -

Anno di costruzione dell'opera: precedente al 1960

Tipologia: Ponte ad arco in muratura.

Caratteristiche geometriche: Ponte ad unica campata parzialmente ostruita per effetto dell'edificazione di un fabbricato in destra idraulica.

Interventi previsti dallo studio idraulico:

Intervento di Priorità 1 - Rimozione o alternativamente rifacimento o sollevamento del ponte della Bugia per consentire il deflusso della portata massima tollerabile per il centro cittadino.

Fattibilità strutturale dell'intervento: Ok soluzione di rimozione o in alternativa di rifacimento impalcato. No soluzione di sollevamento.

Fattibilità funzionale dell'intervento: L'intervento di rimozione preclude il collegamento della viabilità trasversale al ponte. L'intervento di rifacimento determina criticità sulla viabilità di accesso e sugli ingressi di strutture private presenti sul ponte.



Fig. 35 – Ponte della Bugia visto da valle

7 Stima dei costi

La stima che segue ha il solo scopo di individuare l'ordine di grandezza delle somme necessarie per l'intervento esteso ai 17 km di difese spondali che esistono in sinistra e destra idrografica.

In molti casi, infatti, il livello di conoscenza non è neanche di tipo "preliminare" e, conseguentemente, l'intervento previsto, ed il relativo costo, sono stati ipotizzati come una delle scelte possibili.

Gli interventi proposti sulle opere arginali sono così riassumibili:

- 1) Sopralzi: demolizione e ricostruzione del sopralzo o in alternativa costruzione di un setto in c.a. affiancato e inghisato al sopralzo esistente.
- 2) Muri a gravità in cls: 2.a) realizzazione di paratia di micropali con o senza tirantatura;
2.b) realizzazione di berlinese di micropali alla base del muro con getto di platea di completamento contro lo scalzamento.
- 3) Muri a gravità in pietra: 3.a) realizzazione di paratia di micropali;
3.b) realizzazione di berlinese di micropali alla base del muro con getto di platea di completamento contro lo scalzamento.
3.c) eventuale rinforzo del muro in pietra con rete chiodata (intervento da applicarsi non singolarmente ma in accompagnamento agli interventi tipo 3.a) e tipo 3.b)).
- 4) Terre armate: applicazione di geostuoie + idrosemina.
- 5) Nuovi muri in c.a.: contrafforti in c.a. affiancati e inghisati al muro esistente / micropali / paratia di micropali.

Elenco interventi proposti sulle opere trasversali:

- 1) Sollevamento impalcato con martinetti
- 2) Rifacimento nuovo impalcato
- 3) Rimozione ponte / passerella

7.1 Valori di stima

Il costo dell'opera viene valutato per ogni tipo di intervento preliminarmente proposto sui manufatti laterali e trasversali del torrente Carrione (si faccia riferimento alle specifiche riportate nel documento C15003PR_F_04.BK.01.01 Book delle proposte di intervento opere laterali e trasversali).

Il costo finale di ogni singolo intervento è ottenuto dal prodotto del costo di costruzione dell'opera (importo lavori) per un coefficiente moltiplicativo che tiene conto di:

- Oneri della sicurezza
- Spese a disposizione dell'amministrazione

- Imprevisti
- Spostamento Sottoservizi
- Progettazione
- Indagini geognostiche
- Espropri / occupazioni temporanee
- I.V.A.

Tale coefficiente è stato assunto pari a 1.6.

7.2 Valori unitari presi a riferimento per il costo delle opere al netto delle somme a disposizione

Stime di riferimento per interventi ponti:

- Sollevamento con martinetti = 50.000 € a impalcato (considerando un costo di 5.000 € a martinetto)
- Nuovo impalcato = 1.200 € / mq
- Demolizione con mezzi meccanici:
Opere c.a. = 90 € / mc + 35 € / mc (trasporto + oneri discarica) = 125 € / mc
Opere muratura = 55 € / mc + 35 € / mc (trasporto + oneri discarica) = 90 € / mc
Muri a secco = 34 € / mc + 35 € / mc (trasporto + oneri discarica) = 70 € / mc
- Demolizione opere in c.a. con mezzi manuali = 350 € / mc
- Muri arginali in c.a. su pali = 6.000 € / m
- Muri arginali in c.a. = 2.800 € / m

Stime di riferimento per interventi argini:

- Opere in c.a. = 600 € / mc
- Demolizione con mezzi meccanici:
Opere c.a. = 90 € / mc + 35 € / mc (trasporto + oneri discarica) = 125 € / mc
Opere muratura = 55 € / mc + 35 € / mc (trasporto + oneri discarica) = 90 € / mc
Muri a secco = 34 € / mc + 35 € / mc (trasporto + oneri discarica) = 70 € / mc
- Demolizione opere in c.a. con mezzi manuali = 350 € / mc
- Muri arginali in c.a. su pali = 6.000 € / m
- Muri arginali in c.a. = 2.800 € / m
- Paratia di micropali = 2.000 € / m
- Tiranti = 150 € / m
- Scogliera = 100 € / mc
- Sigillatura giunti muri prefabbricati = 10 € / m + 1.000 € onere fisso a corpo per cantiere
- Geostuoia per terre armate = 30 € / mq

7.3 Stima sommaria interventi opere arginali

- **Tipologia 1 Muri in c.a.:** ~ **1.500.000 €** (somma degli interventi stimati nelle singole schede tenuto conto degli interventi tipologici proposti per ognuna delle opere analizzate).

- **Tipologia 2 Muri a gravità:**

2.a in cls	Sopralzati: ~ 7.100.000 €
	Non sopralzati: ~ 2.900.000 €

 Tot (muri a gravità in cls) = **10.000.000 €**

La stima degli interventi sui muri a gravità in cls tiene conto della necessità di dover realizzare la paratia di micropali a tergo del muro per inadeguatezza dell'opera nel suo complesso: muro di base + sopralzo.

L'importo degli interventi sui muri a gravità in cls si riduce a ~ 4.400.000 € nel caso in cui i muri sopralzati necessitano di interventi solo sui sopralzi in c.a., poiché in seguito a indagini e verifiche approfondite i muri di base risultano adeguati a sopportare il carico idraulico (interventi sui sopralzi: 1.500.000 € → 1.500.000 € + 2.900.000 € = 4.400.000 €).

2.b in pietra | Sopralzati e non: ~ **12.500.000 €**

La stima degli interventi sui muri a gravità in pietra fa riferimento al costo di realizzazione della paratia di micropali sia per le tipologie sopralzate sia per le tipologie non sopralzate poiché, per il muro di base in pietra che presenta scarsa qualità del materiale, l'ancoraggio del sopralzo al muro di base è inefficace e pertanto è necessario un intervento globale sul muro di base + sopralzo.

- **Tipologia 3 Argini in terra armata:** ~ **500.000 €**

La stima degli interventi sugli argini in terra armata fa riferimento al costo di fornitura e posa in opera della geostuoia con funzione antiersiva.

- *Tipologia 4 Berlinesi: No interventi.*
- *Tipologia 5 Edifici che fungono da argine: No interventi.*

7.3.1 Totale stima costi opere arginali

Sommariamente la previsione di spesa massima per l'adeguamento delle opere arginali laterali risulta pari a 24.500.000 € → ~ **25.000.000 €**.

7.4 Stima sommaria interventi opere trasversali

Il livello di conoscenza acquisito sulle opere trasversali è limitato a:

- caratterizzazione tipologica per quanto possibile rilevata in situ
- dimensioni impalcato da sezioni topografiche
- informazioni di dettaglio acquisite dalla documentazione progettuale dove presente

pertanto, la valutazione dello stato di fatto (viabilità, accessi, ecc...), e quindi la definizione della reale fattibilità agli interventi proposti su alcuni ponti e passerelle dallo studio idraulico, risulta difficoltosa.

Il carattere preliminare delle valutazioni di fattibilità fatte sugli interventi sulle opere trasversali è pertanto legato allo stato di conoscenza acquisito e alla difficoltà di valutare lo stato attuale dei luoghi in termini di funzionalità, servizi, attività, viabilità.

Ponte di via Covetta – Tratto 01-02

Intervento di Priorità 2: Rimozione restringimento ponte di via Covetta adeguando il ponte alla nuova luce richiesta per l'allargamento dell'alveo e prevedendo il rifacimento anche dei muri d'ala del ponte che dovranno raccordarsi alle nuove spalle.

Stima realizzazione nuovo impalcato: $A \text{ impalcato} = 20 \times 18.5 = 370 \text{ mq} \times 1.200 \text{ €/mq} \rightarrow 450.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 720.000 \text{ €}$

Rifacimento muri d'ala: $6.000 \text{ €/m} \times 60 \text{ m} = 360.000 \text{ €} \times 1.6 = 580.000 \text{ €}$

Demolizioni: 120.000 €

Tot $\sim 1.500.000 \text{ €}$.

Ponte di via Menconi (Giovanpietro) – Tratto 02-03

Intervento di Priorità 2: Innalzamento del Ponte di via Menconi \rightarrow 2 soluzioni diverse:

- 1) sollevamento ponte con martinetti e adeguamento impalcato alla quota necessaria + adeguamento strade;
- 2) rifacimento ponte cercando di ottimizzare lo spessore dell'impalcato con soluzioni tipologiche alternative.

Stima intervento sol.1: $50.000 \text{ €} + 200.000 \text{ €}$ per adeguamento viabilità e spalle $\sim 250.000 \text{ €}$

Stima intervento sol.2: $A \text{ impalcato} = 19 \times 10.4 = 200 \text{ mq} \times 1.200 \text{ €/mq} \rightarrow 240.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 400.000 \text{ €}$

Adeguamento spalle: $6.000 \text{ €/m} \times 30 \text{ m} \sim 200.000 \text{ €}$

Demolizioni: 50.000 €

Tot sol.1 $\sim 250.000 \text{ €}$.

Tot sol.2 $\sim 650.000 \text{ €}$.

- Poiché l'intervento del ponte di via Menconi e l'intervento del ponte di via Covetta sono in alternativa l'uno con l'altro, da un punto di vista costi – benefici la scelta più conveniente risulta quella legata a intervenire sul ponte di via Menconi. Da approfondire però i problemi di funzionalità della viabilità che dovrà essere adeguata a una quota di impalcato più alta.

Ponte di via Marconi (Pontecimato) – Tratto 09-10

Intervento di Priorità 2: Adeguamento quota impalcato del Ponte di via Marconi → 2 soluzioni diverse:

- 1) sollevamento ponte con martinetti e adeguamento impalcato alla quota necessaria;
- 2) rifacimento ponte cercando di ottimizzare lo spessore dell'impalcato con soluzioni tipologiche alternative.

Stima intervento sol.1: 50.000 € + 150.000 € per adeguamento viabilità e spalle ~ 200.000 €

Stima intervento sol.2: A impalcato = $17.2 \times 9.6 = 165 \text{ mq} \times 1.200 \text{ €/mq} \rightarrow 200.000 \text{ €} \times 1.6 = 320.000 \text{ €}$

Adeguamento spalle: $6.000 \text{ €/m} \times 30 \text{ m} \sim 200.000 \text{ €}$

Demolizioni: 50.000 €

Tot sol.1 ~ 200.000 €.

Tot sol.2 ~ 600.000 €.

La soluzione n.1 è preferibile perché strutturalmente più conveniente ma ha maggiori problemi di funzionalità per la viabilità di accesso al ponte.

Ponte di via Stabbio – Tratto 10-11

Intervento di Priorità 1: Innalzamento del Ponte di via Stabbio ($\geq 1,25 \text{ m}$) + eliminazione del restringimento della sezione a monte del ponte attraverso il sollevamento del ponte con martinetti e adeguamento impalcato alla quota necessaria; oppure mediante rifacimento ex novo del ponte.

Stima intervento sol.1: 50.000 € + 150.000 € per adeguamento viabilità e spalle ~ 200.000 €

Stima intervento sol.2: A impalcato = $16 \times 9.6 = 160 \text{ mq} \times 1.200 \text{ €/mq} \rightarrow 200.000 \text{ €} \times 1.6 = 320.000 \text{ €}$

Adeguamento spalle: $6.000 \text{ €/m} \times 30 \text{ m} \sim 200.000 \text{ €}$

Demolizioni: 50.000 €

Tot sol.1 ~ 200.000 €.

Tot sol.2 ~ 600.000 €.

La soluzione n.1 è preferibile perché strutturalmente più conveniente ma ha problemi di funzionalità per la viabilità di accesso al ponte. Nel caso specifico l'innalzamento dell'impalcato di 1.25 m è da considerarsi non perseguibile perché troppo elevato.



Passerella carrabile privata (sez. 81 – Peghini) – Tratto 11

Intervento di Priorità 1: Eliminazione della passerella carrabile privata (sez. 81) + adeguamento delle quote delle difese spondali.

Stima intervento rimozione: A impalcato = $10.5 \times 4.8 = 50 \text{ mq} \rightarrow 7.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 11.000 \text{ €}$

Adeguamento difese spondali: 20.000 €

Tot ~ 35.000 €.

Passerella carrabile privata (sez. 85 – Figaia) – Tratto 11

Intervento di Priorità 1: Eliminazione della passerella carrabile privata (sez. 85) + adeguamento delle quote delle difese spondali.

Stima intervento rimozione: A impalcato = $13 \times 5 = 65 \text{ mq} \rightarrow 9.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 15.000 \text{ €}$

Adeguamento difese spondali: 20.000 €

Realizzazione nuova passerella pedonale: A impalcato = $13 \times 5 = 65 \text{ mq} \rightarrow 80.000 \text{ €} \times 1.6 = 130.000 \text{ €}$

Realizzazione nuovi accessi: 80.000 €.

Tot ~ 250.000 €.

Passerella abbandonata (sez. 93.4) – Tratto 11

Intervento di Priorità 1: Eliminazione della passerella abbandonata (sez. 93.4).

Stima intervento rimozione: A impalcato = $11 \times 3 = 33 \text{ mq} \rightarrow 5.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 10.000 \text{ €}$

Passerella abbandonata (sez. 98.1) – Tratto 12

Intervento di Priorità 1: Eliminazione della passerella abbandonata (sez. 98.1).

Stima intervento rimozione: ~ 10.000 €

Passerella carrabile privata (sez. 98.A) – Tratto 12

Intervento di Priorità 1: Eliminazione della passerella carrabile privata (sez. 98.A) + adeguamento delle quote delle difese spondali.

Stima intervento rimozione: A impalcato = $11 \times 4.6 = 55 \text{ mq} \rightarrow 8.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 15.000 \text{ €}$

Adeguamento difese spondali: 20.000 €

Tot ~ 35.000 €.

Ponte di via San Martino – Tratto 11 – 12

Intervento di Priorità 2: Adeguamento del Ponte di via San Martino → 2 soluzioni diverse:

- 1) demolizione campata in alveo e realizzazione di un nuovo ponte a portale che va a collegarsi con le altre campate del ponte in muratura esistente;
- 2) rimodellazione dell'alveo con apertura seconda canna del ponte ai deflussi del torrente. Quest'ultimo intervento deve però confrontarsi con la fattibilità dello studio idraulico.

Stima intervento n.1:

Stima intervento rimozione: A impalcato = $14.6 \times 9.5 = 140 \text{ mq} \rightarrow 40.000 \text{ €} \times 1.6 = 65.000 \text{ €}$

Realizzazione nuovo impalcato: A impalcato = $14.6 \times 9.5 = 140 \text{ mq} \times 1.200 \text{ €/mq} \rightarrow 170.000 \text{ €} \times 1.6 = 280.000 \text{ €}$

Tot ~ 350.000 €.

Antico ponte romano – ponte di via Groppoli – Tratto 12

Intervento di Priorità 1: Rimozione o rilievo di dettaglio smontaggio del ponte di via Groppoli + adeguamento delle difese spondali a valle del ponte.

Stima intervento ricollocamento + adeguamento difese spondali: ~ 250.000 €

Ponte Forti – Tratto 13

Intervento di Priorità 1: Rimozione Ponte Forti.

Stima intervento rimozione: A impalcato = $7 \times 7.5 = 53 \text{ mq} \rightarrow 8.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 15.000 \text{ €}$

Adeguamento difese spondali: 20.000 €

Realizzazione nuova passerella pedonale: A impalcato = $7 \times 7.5 = 53 \text{ mq} \times 1200 \text{ €} \rightarrow 65.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 100.000 \text{ €}$

Tot ~ 135.000 €.

Fabbricato Forti – Tratto 13

Intervento di Priorità 1: Rimozione o alternativamente rialzo primo solaio Fabbricato Forti.

Stima intervento n.1: rimozione fabbricato: $V = 1200 \text{ mc} \rightarrow 180.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 300.000 \text{ €}$

Stima intervento n.2: sollevamento primo solaio: demolizione + ricostruzione solaio = A solaio = $15 \times 8.26 = 130 \text{ mq} \rightarrow \sim 150.000 \text{ €}$.

Tot sol.1 ~ 300.000 €.

Tot sol.2 ~ 150.000 €.

Ponte della Bugia – Tratto 13

Intervento di Priorità 1: Rimozione o alternativamente rifacimento o sollevamento del ponte della Bugia → l'intervento di sollevamento del ponte della Bugia non è strutturalmente perseguibile poichè è un ponte ad arco in muratura. Pertanto l'unica alternativa alla rimozione è quella del rifacimento.

1. **Stima intervento rimozione:** A impalcato = $8.7 \times 6.6 = 58 \text{ mq} \rightarrow 9.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 15.000 \text{ €}$

Adeguamento difese spondali: 20.000 €

Tot ~ 35.000 €.

2. **Stima intervento rimozione:** A impalcato = $8.7 \times 6.6 = 58 \text{ mq} \rightarrow 9.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 15.000 \text{ €}$

Rifacimento: A impalcato = $8.7 \times 6.6 = 58 \text{ mq} \times 1200 \text{ €} \rightarrow 70.000 \text{ €} \times 1.6 \sim 115.000 \text{ €}$

Adeguamento spalle: $6.000 \text{ €/m} \times 25 \text{ m} \sim 150.000 \text{ €}$

Tot ~ 280.000 €.

Tot sol.1 ~ 35.000 €.

Tot sol.2 ~ 280.000 €.

7.4.1 Totale stima costi opere trasversali

Sommariamente la previsione di spesa per l'adeguamento delle opere trasversali secondo quanto emerge dallo studio idraulico risulta pari a:

range ~ [2.500.000 € - 4.500.000 €].

Ovviamente si tratta di dati che non riescono a tenere conto del reale impatto sullo stato attuale dei luoghi.

7.5 Totale stima costi opere arginali + trasversali

Sommariamente la previsione di spesa massima per l'adeguamento delle opere arginali laterali e per i manufatti trasversali risulta pari a:

29.500.000 € → ~ 30.000.000 €.

8 Stima delle priorità

I manufatti arginali del torrente Carrione sono sottoposti a due diversi livelli di pericolosità:

- 1) Pericolosità sismica (condizione di alveo in magra)
- 2) Pericolosità idraulica (condizione di alveo in piena).

Contro le carenze materiche, tipologiche, strutturali e prestazionali riscontrate sulle opere esistenti, vengono valutati una serie di interventi volti a ridurre il rischio a cui l'opera si trova ad essere esposta durante la sua vita utile.

Gli *interventi strutturali*, agendo sulla pericolosità, tendono a ridurre la probabilità di accadimento dei fenomeni potenzialmente dannosi e si possono a loro volta suddividere in opere di tipo diffuso, realizzate alla scala dell'intero torrente, oppure localizzate. Possono, inoltre, avere funzione di difesa passiva di manufatti o infrastrutture, ma in genere sono privilegiati gli interventi di difesa attiva che propongono sistemazioni definitive dei fenomeni che danno origine alle situazioni di rischio.

Gli *interventi non strutturali* comprendono molteplici possibilità di azione, che riguardano soprattutto la fase di potenziamento delle attività conoscitive e di monitoraggio; la definizione di linee guida per le attività che possono influenzare i livelli di rischio presenti; l'introduzione di regolamentazioni a carattere normativo, con carattere di prescrizione a tempo indeterminato o con misure di salvaguardia temporanee.

Appartengono agli *interventi strutturali* tutti quegli interventi che vanno a incrementare o a sostituire le caratteristiche prestazionali dell'opera esistente attraverso la realizzazione di elementi strutturali di rinforzo: contrafforti in c.a., paratie di micropali, tiranti, ecc..

Gli *interventi non strutturali* servono invece ad approfondire la conoscenza del manufatto, a individuare le condizioni di stato di emergenza e a monitorare le possibili criticità riscontrate: approfondimento indagini, attivazione di misure di sicurezza quando viene superato il franco limite stimato, riduzione del sovraccarico di utilizzo dei terrapieni adiacenti le opere arginali, ecc..

Le priorità nella selezione degli interventi sono individuate con l'uso di tecniche di valutazione ritenute appropriate nei diversi casi di applicazione. Nel lavoro in oggetto, si fa riferimento ai seguenti criteri:

- 1) criticità riscontrate,
- 2) analisi costi-benefici,
- 3) valutazione della probabilità di accadimento e del relativo danno causato.

8.1 Elenco delle priorità

Tra le priorità di intervento si individuano:

- 1) Per prima cosa la necessità di procedere a uno studio di reale fattibilità tecnica ed economica di ogni intervento su quelle opere trasversali (ponti e passerelle) risultate inadeguate idraulicamente.
- 2) Interventi individuati dallo studio idraulico e necessari a garantire il deflusso in sicurezza delle portate nell'alveo del Carrione: realizzazione alveo di magra nel tratto di valle, interventi di adeguamento/rimozione di alcune opere trasversali a seguito di necessario approfondimento di cui al punto 1); interventi di adeguamento di alcune difese spondali (altezza e allargamento dell'alveo).
- 3) Criticità e stati di emergenza:
 - lavori in corso da completare,
 - varchi aperti localizzati per crolli / rotture di opere arginali durante eventi alluvionali passati che sono stati chiusi provvisoriamente con geoblocchi e necessitano di interventi strutturali definitivi,
 - lesioni e rotture da richiudere,
 - erosioni e scalzamenti da consolidare.
- 4) Muri a gravità con sopralzi in c.a.: tutte le vecchie opere sopralzate sono da ritenersi una priorità di intervento poiché sono strutture potenzialmente critiche per il fatto che il collasso può avvenire o in corrispondenza della sezione di ancoraggio del sopralzo al muro di base per inadeguatezza dell'inghisaggio, o altrimenti in corrispondenza del muro di base che non sostiene un livello di piena superiore alla sua altezza.
- 5) Muri a gravità in pietra: i muri in pietra sono da considerarsi critici poiché date le proprietà tipologiche e materiche e le modalità costruttive rilevate in situ, le capacità sismo-resistenti sono inadeguate nei confronti delle condizioni sancite dalle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

Sintesi delle priorità specifiche riscontrate tratto per tratto:

- Tratto 01: intervento di rinforzo della sezione in c.a. del muro fondato su palancole (rif. tav. 04.BK.09.01 del book interventi).
- Tratto 02: muro d'ala del ponte di via Covetta: la parte superiore del muro è risultata non armata → si prevede l'intervento di demolizione e ricostruzione del sopralzo (rif. tav. 04.BK.10.01 del book interventi).
- Tratto 05: il tratto è caratterizzato da lavori in corso e lavori da iniziare: monitorare lo stato avanzamento e la realizzazione delle opere come da progetto.

- Tratto 06: nel tratto è presente il cantiere per gli interventi di adeguamento post-alluvione 2003 e 2012. I lavori sono attualmente in corso e il progetto della paratia di micropali è stato sequestrato per accertamenti. Si raccomanda la necessità di richiudere strutturalmente i varchi aperti in sostituzione ai geoblocchi in concomitanza alla conclusione dei lavori delle opere rimaste incompiute: paratie micropali, muri in c.a., sopralzi in c.a..
- Tratto 07:
 - Limitare il sovraccarico d'uso sul terrapieno a tergo dei muri individuati nelle tavole 04.BK.11.01, 04.BK.12.01, 04.BK.13.01 del book interventi.
 - Approfondimento scogliera in destra idraulica (rif. tav. 04.BK.11.01 del book interventi).
 - Rinforzo strutturale della sezione di base del muro in c.a. in destra idraulica (rif. tav. 04.BK.12.01 del book interventi).
 - Rinforzo strutturale della sezione di base del muro in c.a. in destra idraulica (rif. tav. 04.BK.14.01 del book interventi).
- Tratto 08: rinforzo strutturale del muro in c.a. in sinistra idraulica mediante paratia di micropali + limitare il sovraccarico d'uso sul terrapieno a tergo (rif. tav. 04.BK.17.01 del book interventi).
- Tratto 09:
 - Sigillare giunti aperti elementi prefabbricati muro in c.a. in sinistra idraulica (rif. tav. 04.BK.19.01 del book interventi).
 - Intervenire sui muri esistenti sopralzati con gabbioni in lastre di marmo per adeguare l'opera con interventi strutturali.
 - In sinistra rilevato il muro di un fabbricato che presenta una grossa lesione verticale ed è in forti condizioni di instabilità. Si suggerisce un immediato intervento di approfondimento e consolidamento.
- Tratto 10:
 - Presenza di lavori in corso in corrispondenza di discontinuità strutturali.
 - Rinforzo strutturale del muro in c.a. in sinistra idraulica mediante paratia di micropali (rif. tav. 04.BK.20.01 del book interventi).
- Tratto 11: rinforzare il muro in c.a. (difforme dal progetto) in sinistra idraulica con paratia di micropali a tergo del muro esistente + ricostruzione muro come da progetto in corrispondenza del varco aperto chiuso momentaneamente con geoblocchi – tratto lasciato incompleto (rif. tav. 04.BK.21.01 del book interventi).
- Tratto 12: Si segnala un'evidente fessurazione in sinistra idraulica nella parte sottostante del muro d'argine a gravità con sopralzo in c.a. (rif. sez. 105). Le indagini sul muro di base in cls con sopralzo in c.a. in destra idraulica (rif. sez. 105 e scheda n.89) hanno rilevato una scarsa qualità del calcestruzzo che può compromettere la sicurezza strutturale dell'opera (muro disgregato). Si segnalano dunque interventi prioritari su tale tratto (sinistra e destra idraulica).

- Tratto 13:
 - Cantieri in corso, lavori da completare.
 - A monte del fabbricato Forti e a valle del Ponte della Bugia in destra idraulica è presente un varco parzialmente aperto e parzialmente protetto con geoblocchi che va richiuso con un'opera spondale adeguata.
 - Allargamento dell'alveo nel tronco compreso fra le sezioni 123 e 124 portando la larghezza della sezione misurata alla sommità dei muri spondali a 11 m come rilevato dallo studio idraulico.

9 Elenco Elaborati

C15003PR_F_01.EL.01.01 Elenco Elaborati

C15003PR_F_02.RG.01.01 Relazione Generale Pianificazione Indagini

C15003PR_F_02.RG.02.01 Relazione di Sintesi sul Quadro Conoscitivo

C15003PR_F_02.RG.03.01 Relazione sull'analisi e elaborazione dei risultati delle indagini in sito e sulla valutazione della sicurezza strutturale dei manufatti arginali esistenti

C15003PR_F_02.RG.04.01 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 01

C15003PR_F_02.RG.04.02 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 02

C15003PR_F_02.RG.04.03 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 03

C15003PR_F_02.RG.04.04 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 04

C15003PR_F_02.RG.04.05 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 05

C15003PR_F_02.RG.04.06 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 06

C15003PR_F_02.RG.04.07 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 07

C15003PR_F_02.RG.04.08 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 08

C15003PR_F_02.RG.04.09 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 09

C15003PR_F_02.RG.04.10 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 10

C15003PR_F_02.RG.04.11 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 11

C15003PR_F_02.RG.04.12 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 12

C15003PR_F_02.RG.04.13 Relazione sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti esistenti - Tratto 13

C15003PR_F_02.RG.05.01 Relazione di sintesi sull'analisi e verifica strutturale dei manufatti arginali esistenti - Trattati 01 – 13

C15003PR_F_02.RG.06.01 Relazione conclusiva sull'analisi Strutturale dei Manufatti di Contenimento Laterali e Trasversali del TORRENTE "CARRIONE". Valutazione dello Stato Attuale e Proposte di Intervento

C15003PR_F_03.BK.01.01 Book di inquadramento conoscitivo

C15003PR_F_04.BK.01.01 Book delle proposte di intervento opere laterali e trasversali

10 Conclusioni

Lo studio di fattibilità è basato su un'adeguata conoscenza dello stato attuale. Si è già detto che questa "conoscenza" ha indagato vari aspetti:

- Visiva
- Geometrica
- Documentale
- Sperimentale

I dati raccolti hanno consentito lo sviluppo di analisi strutturali di livello preliminare che hanno formato un quadro generale delle prestazioni statiche delle difese spondali.

Questo studio si è pienamente raccordato con lo studio idraulico e, in questa ottica, ha fornito indicazioni per le questioni strutturali connesse alle criticità offerte da ponti e passerelle al rischio idraulico.

La presente relazione di sintesi riepiloga tutto il lavoro svolto richiamando tanto gli aspetti più critici, che i "rimedi" proposti, che, infine, i costi connessi.

Le analisi strutturali hanno considerato l'impegno dei manufatti tanto con riferimento all'azione dell'acqua (rischio idraulico) che con riferimento alle azioni permanenti (es. terrapieno, carico stradale, ecc.) che, infine, all'azione indotta dalla sismicità del sito.

È opportuno sottolineare che le analisi svolte hanno il livello dello "studio di fattibilità"; esse contengono anche indicazioni circa gli approfondimenti diagnostici necessari al corretto svolgimento delle successive fasi di progettazione.

I provvedimenti confortativi indicati nelle schede dello studio hanno ovviamente un valore indicativo e, soprattutto, danno conto delle criticità prestazionali riscontrate.

Analogamente le stime economiche sono utili soprattutto ai fini di individuare l'ordine di grandezza della previsione dei costi.

Infine, assume particolare importanza, anche nell'ottica dello sviluppo futuro che la Regione Toscana vorrà dare al presente studio, l'input che la relazione idraulica dà in tema di opere trasversali (ponti, passerelle). Per alcune di queste infatti ci sono elementi tecnici e di costo che, impattando su aspetti generali che vanno ben oltre il singolo impalcato (viabilità di accesso, codice della strada, accesso ad attività commerciali e residenziali, ecc.), non è stato possibile affrontare con completezza nel presente studio.