



REGIONE LOMBARDIA  
PROVINCIA DI PAVIA  
COMUNE DI CONFENZA



**PROGETTO DEFINITIVO**

**INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE PONTE  
SULLA S.P.197 ROBBIO - CONFENZA  
POSTO ALL'ALTEZZA DEL KM 2+000**

studio di ingegneria  
**lavezzi e grandi**

Via Monte Nero 10/C - TROMELLO (PV) - IT  
Tel. +39.0382.809100 - Fax +39.0382.809874  
P.IVA 01544450180  
amministrazione@studiolavezzigrandi.it  
www.studiolavezzigrandi.it



Allegato n.

**A**

**R E L A Z I O N E   G E N E R A L E**

Rev.	Data	Note	Redatto	Controllato	Approvato
0	08.09.2017	Emissione	R.D.	E.R.	A.G.
1					
Commessa		18CONF17	Fase	PROGETTO DEFINITIVO	
Località		Strada Provinciale S.P.197 - Ponte sulla roggia Biraga		Scala	----

Stazione appaltante

**Amministrazione Comunale di Confenza**

Sede	Corso V.Emanuele 24 - 27030 Confenza (PV)	tel	+39 0384.64032	PEC	confenza@postemailcertificata.it
------	---	-----	----------------	-----	----------------------------------

studio di ingegneria **lavezzi e grandi**

**Studio di Ingegneria  
Lavezzi e Grandi**  
Via Monte Nero 10/C  
27020 Tromello (PV)  
C.F./P.IVA 01544450180

PROGETTISTA RESPONSABILE: ing. Antonio Grandi

ASPETTI ARCHITETTONICI



arch. Anna Moro

STAZIONE APPALTANTE  
AMMINISTRAZIONE COMUNALE

Sindaco Pro Tempore: Michele Zanotti Fragonara

## SOMMARIO

<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>1. CENNI STORICI.....</b>	<b>5</b>
<b>2. STRUTTURA ESISTENTE .....</b>	<b>10</b>
2.1. DESCRIZIONE.....	10
2.2. DESCRIZIONE DELLA PATOLOGIE INDIVIDUATE.....	11
<b>3. INDAGINI EFFETTUATE .....</b>	<b>- 23 -</b>
3.1. RILIEVO TOPOGRAFICO DEL CONTESTO DI INTERVENTO.....	- 23 -
3.2. RILIEVO GEOMETRICO DEL MANUFATTO.....	- 23 -
3.3. INDAGINI IN SITO .....	- 23 -
3.4. INFRASTRUTTURE, IMPIANTI E RETI INTERFERENTI CON IL MANUFATTO.....	- 26 -
<b>4. PROVE E INDAGINI GEOLOGICO, GEOTECNICHE E SISMICHE ....</b>	<b>- 29 -</b>
<b>5. PROVE SUI MATERIALI E ISPEZIONE VISIVA DELL'INTRADOSSO     DELL'ARCO .....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>6. IPOTESI DI RISTRUTTURAZIONE TOTALE DEL PONTE STORICO-</b>	<b>33 -</b>
6.1. ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI DA SONDAGGI E PROVE SUI MATERIALI .....	- 33 -
6.2. RISULTATI OTTENUTI DA VERIFICHE TENSIONALI.....	- 34 -
6.3. LAVORAZIONI DA PORSI IN ESSERE IN MERITO ALLA RISTRUTTURAZIONE TOTALE DEL PONTE STORICO.....	- 35 -
6.4. VALUTAZIONI CIRCA IL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE TOTALE DEL PONTE STORICO.....	- 36 -
6.5. DEMOLIZIONE DEL PONTE STORICO.....	- 37 -
<b>7. DESCRIZIONE PROGETTO PROPOSTO.....</b>	<b>- 39 -</b>

7.1. OPERE PROPEDEUTICHE.....	- 39 -
7.2. NUOVO IMPALCATO (PONTE CATEGORIA 1) .....	- 39 -
7.3. INTERVENTI SUL PONTE STORICO.....	- 41 -
7.4. INTERVENTI SULLA SEDE STRADALE .....	- 42 -
7.5. INTERVENTI SUI MURI D'ALA.....	- 43 -
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>- 46 -</b>

## PREMESSA

Il ponte da assoggettarsi a **interventi di ristrutturazione** è costituito da un arco ribassato che sovrappassa il corso d'acqua denominato Roggia Biraga, la cui gestione è in carico a *EST SESIA consorzio di irrigazione e bonifica*, con sede in Novara. L'infrastruttura, di proprietà dell'ente governativo Provincia di Pavia, è collocata interamente nel territorio comunale di Confienza (PV) e insiste sulla SP 197 Robbio - Confienza, km 2+000.

A seguito della sua chiusura al traffico veicolare, giustificata da un significativo cedimento riscontrato sul manto stradale in corrispondenza della spalla sinistra idrografica (lato Comune di Robbio) il quale ha indotto al sospetto di un sifonamento fondale esercitato dalla roggia, la cui corrente è in battuta sulla spalla del ponte, l'Amministrazione Comunale di Confienza si è fatta carico, in esecuzione della Convenzione, stipulata in data 06 luglio 2017 n.1336 di raccolta con la Provincia di Pavia, del ripristino dello stato dell'arte dell'infrastruttura viaria.

Importante sottolineare come il ponte in oggetto sia stato in grado di adeguarsi alle diverse e mutevoli esigenze nel corso degli anni senza per questo manifestare, nel tempo addietro, la necessità di modifiche strutturali o di crisi di resistenza, mantenendo un elevato livello di efficienza e quindi una capacità di sopportare carichi ben più elevati rispetto a quelli stabiliti durante la progettazione. Ad oggi, però, nonostante la perizia tecnica con la quale il manufatto fu edificato, il suo carattere massivo e le proporzioni generose, si è ritenuto, a seguito degli ultimi accadimenti, questi non sia più in grado di garantire i requisiti minimi, in termini di sicurezza, necessari al fine di affrontare i carichi d'esercizio che la struttura è chiamata a sopportare: l'evoluzione

avvenuta nelle modalità e nei mezzi di trasporto ha implicato un considerevole un aumento, sia dal punto di vista geometrico che da quello dei carichi, delle sollecitazioni.

Con il progetto proposto, come nel seguito analizzato e descritto, si è cercato di perseguire l'equilibrio tra la necessità di conservare la struttura quale pregevole testimonianza storico-architettonica e l'esigenza di adeguare i *punti strategici* della stessa alle sopravvenute esigenze.

In data 04 settembre 2017 è stato trasmesso all'Amministrazione Comunale di Confienza il PROGETTO PRELIMINARE dell'opera la cui relazione illustrativa costituisce elaborato propedeutico alla redazione del presente documento.

## 1. CENNI STORICI

La documentazione storica relativa alla Roggia Biraga e, in particolare, ai manufatti che insistono sul tratto d'alveo d'interesse è custodita presso l'Archivio Storico dell'Associazione Irrigua Est Sesia (AIES), sede generale di Novara.

In data 7 agosto 2017, a seguito di elaborate ricerche eseguite presso il suindicato archivio, sono state recepite utili informazioni circa l'infrastruttura in oggetto, censita e descritta nel Testimoniale di Stato dell'Amministrazione Generale dei Canali Demaniali d'Irrigazione (Canali Cavour), al Volume XIII, dedicato alla Roggia Rizzo Biraga.

Il ponte in esame è catalogato all'opera n.302 alla progressiva (sull'asse della roggia) 35273; dopo la descrizione dello stesso e le interferenze con i sottoservizi dell'epoca sono riportate le dimensioni degli elementi che compongono il manufatto e le opere accessorie. Utile segnalare come le grandezze geometriche indicate nello scritto, allegato al contratto 6 settembre 1883, corrispondano quasi in toto con quelle rilevate in sito, a testimonianza dell'assenza di interventi significativi sulla struttura, eseguiti nel corso degli anni, a meno di quelli relativi al piano viabile e ai parapetti, sicuramente assoggettati a rifacimenti e adeguamenti successivi.

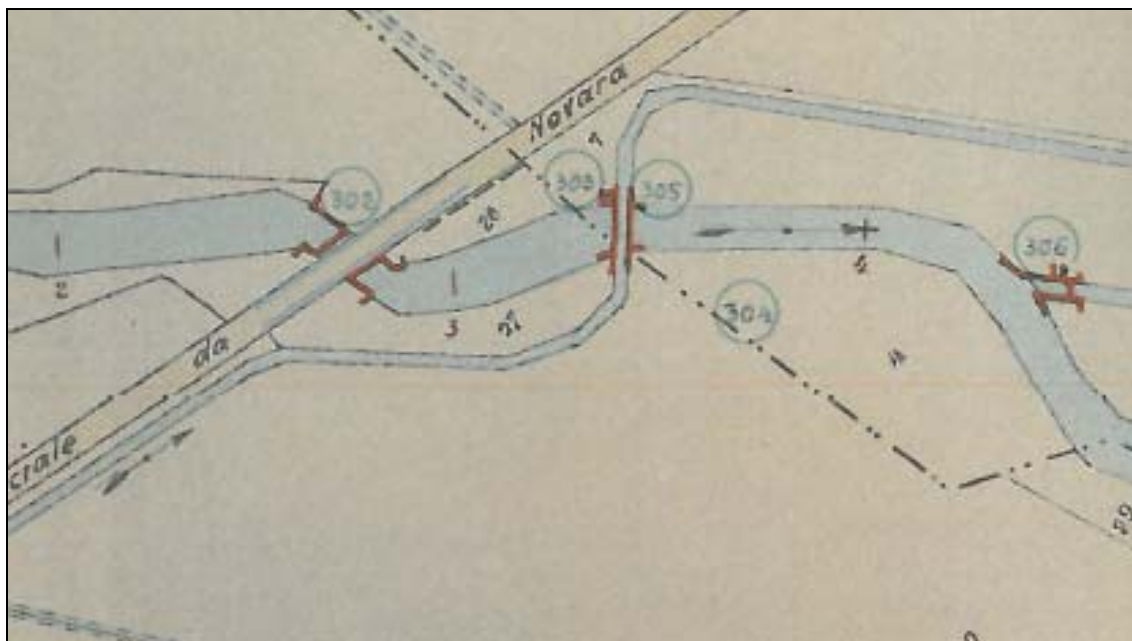
La seguente *Fig.1* riporta la scansione delle pagine 308 e 309 del Testimoniale di Stato con le informazioni descritte mentre la *Fig.2* evidenzia un estratto della cartografia del documento storico.

Le *Fig.3* e *4* riportano la mappa di impianto catastale relativa al Comune di Confienza, Foglio 1/46, Sezione 25°, rilievi eseguiti nei giorni 15 e 16 maggio 1890 ove è ben visibile il ponte in esame.

- 308 -	- 309 - AMMINISTRAZIONE GENERALE DEI CANALI DEMANIALI D'IRRIGAZIONE (Canali Cavour) TESTIMONIALI DI STATO
<p>301 Progressiva 35125 sinistra SB0000 di colature di terreni di proprietà Spe- ziale Pio, Bezzi Antonio ed Altri. Non è coperto da concessione. E' provvisto di doccia in legno, sporgente verso la roggia. E' in stato d'uso, la manutenzione è a carico dei detti Sigg. Speciale e Bezzi.</p> <p>DIMENSIONI</p> <p>Lunghezza della doccia . . . . . m. 4,00 Larghezza della doccia . . . . . m. 0,20</p>	<p>destro che è in cattivo stato. La manutenzione è a carico della Provincia di Pavia. Verso monte vi è attraversamento con linea di energia elettrica a tre fili su pali in legno del- la S.A.V.E.; verso valle altro attraversamento con linea telefonica della Stipel e delle Finanze.</p> <p>DIMENSIONI</p> <p>Larghezza del ponte compresi i parapetti m. 7,20 " " " esclusi " " m. 6,40 Lunghezza di cadun parapetto . . . . . m. 11,40 Altezza di cadun parapetto . . . . . m. 0,75 Corda arco . . . . . m. 10,00 Saetta arco . . . . . m. 1,85 Altezza piedritti . . . . . m. 1,50 Lunghezza muro d'ala a monte sinistra . . m. 12,45 Sviluppo muro d'ala a monte destra . . . m. 5,50 " " " a valle sinistra . . m. 5,80 Lunghezza muro d'ala a valle destra (tratta non demolita) . . . . . m. 3,00 Risolto a monte sponda destra . . . . . m. 2,50 " " " sinistra . . . . . m. 2,15 Risolto a valle sponda sinistra . . . . . m. 2,25</p>
<p>302 Progressiva 35273 attraverso PONTE per il sovrappasso della strada provinciale Robbio-Confienza. Corrisponde al N. 251 del tipo planimetrico al- legato al contratto 6 settembre 1883. E' in muratura di cotto, ad un solo arco a sesto ribassato; muri d'ala a monte e a valle con risvolti, di cui quello a monte destra e valle sinistra sono curvi: quello a valle destra è pressochè demolito. Parapetti in cotto, diritti a monte e a valle, con copertina e pilastri terminali in vivo. E' in stato d'uso, salvo il muro d'ala a valle</p>	<p>303 Progressiva 35339 sinistra</p>

Fig.1: Testimoniale di Stato: consistenza dell'opera





*Fig.2: Testimoniale di Stato: estratto planimetrico*



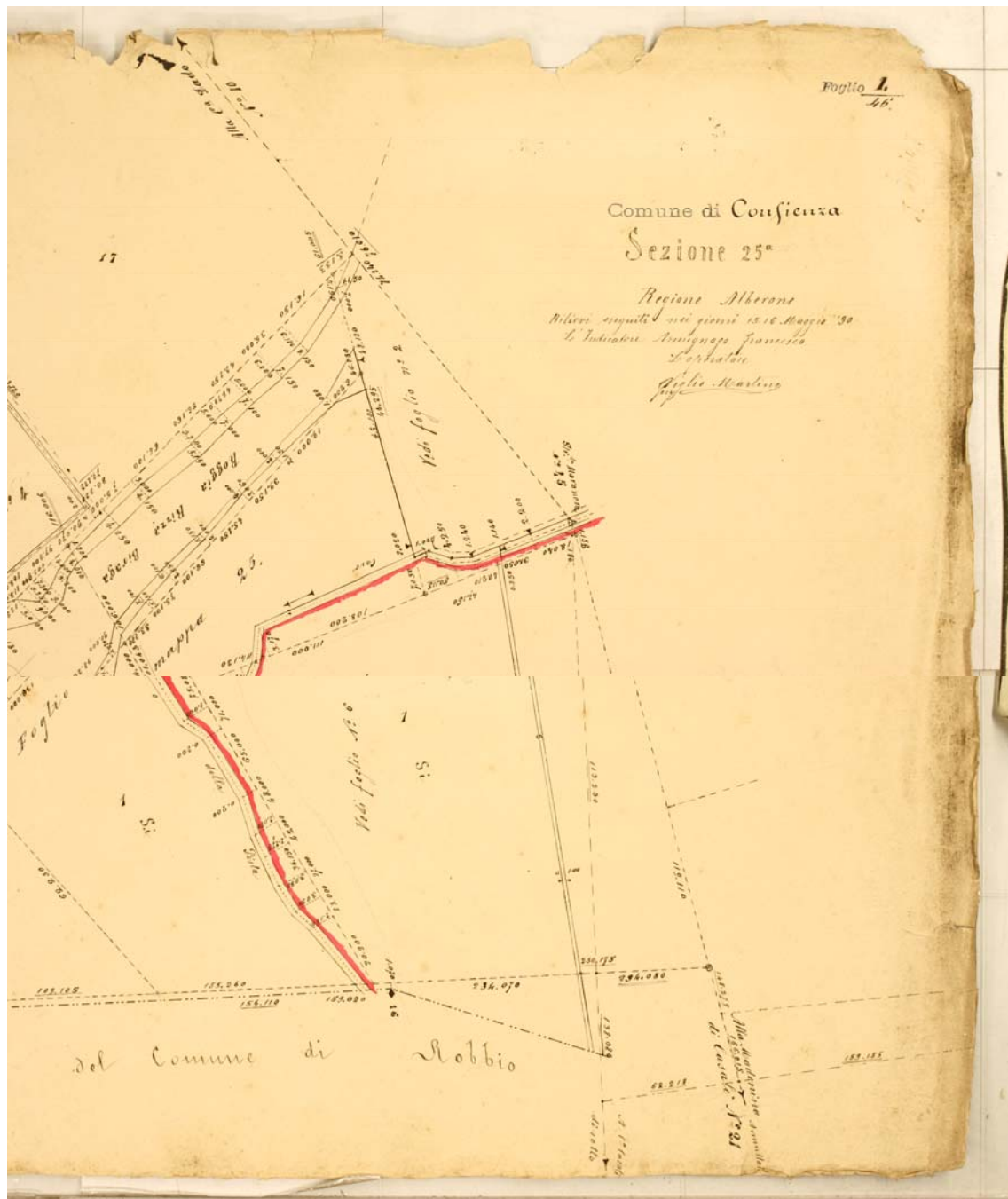
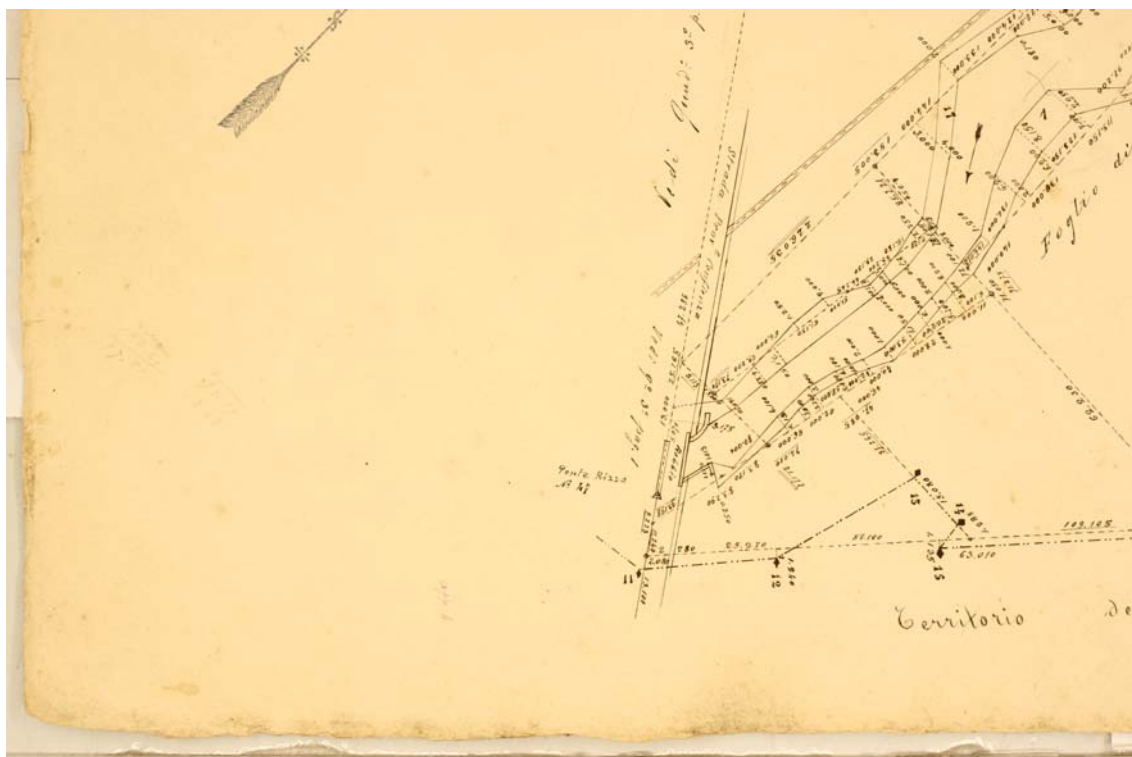


Fig.3: mappa di impianto catastale anno 1890



*Fig.4: mappa di impianto catastale anno 1890: in primo piano il ponte in oggetto*

## 2. STRUTTURA ESISTENTE

Nel seguito della relazione viene descritta la struttura esistente con particolare attenzione al degrado e alle patologie riscontrate.

### 2.1. DESCRIZIONE

Il ponte sulla roggia Biraga, a destinazione carreggiabile ad uso pubblico e privato, è realizzato in mattoni di laterizio, con tipologia ad arco ribassato ( $f/L = 0,17$ ) a una sola arcata, ove il profilo dell'intradosso è rappresentato da una superficie cilindrica con generatrice costituita da un arco di circonferenza nell'arcata stessa con un unico centro ed a raggio costante.

Il manufatto può essere considerato di piccola luce, circa 10,50 m, con spalle regolari, sezione trasversale di larghezza costante e andamento rettilineo obliquo in quanto l'asse stradale interseca il corso d'acqua in modo non perpendicolare allo stesso ma con un'inclinazione di circa  $72^\circ$ . Anche il piano viario possiede andamento rettilineo.

La ghiera dell'arco, con altezza pari a 50 cm, è stata edificata posando i mattoni a coltello mentre le spalle e i timpani (muri andatori) sono stati costruiti con laterizi posati di testa; tra l'estradosso dell'arco e la trave paraghiaia in cemento armato, realizzata sicuramente in tempi successivi, dopo un primo corso di laterizi posati di testa è presente un corso di mattoni posato a coltello, di altezza pari a circa 16 cm, con possibile funzione di rompi goccia essendo collocato a circa 5 cm rispetto alla verticale del timpano.

Il riempimento, al di sotto del piano viabile, è costituito da materiale incoerente, presumibilmente terra e materiale di risulta dallo scavo, come ben visibile nelle successive immagini relative ai sondaggi effettuati. Non sono state reperite informazioni circa il rinfiacco e la cappa né, tanto meno, sono stati rinvenuti sfogatoi di acque piovane per cui parrebbe lecito supporre la presenza del solo riempimento, dal piano viabile all'estradosso della volta, in sostituzione dello

schema classico costituito da rinfiacco - cappa - strato drenante con sfogatoi - riempimento.

Le spalle, aventi funzione di muro di sostegno sia del rilevato di accesso che della volta, sono costituite da un robusto piedritto, nel senso della corrente, con paramento verticale e sezione orizzontale rettangolare (lato minore circa 1,50 m e lato maggiore pari alla larghezza del ponte) e verticale all'incirca trapezia, dovendosi raccordare all'imposta della volta (reni dell'arco). L'arcata, la cui muratura stata è realizzata anch'essa utilizzando mattoni in laterizio, possiede tessitura tale per cui i conci presentano angoli retti e i giunti si intersecano perpendicolarmente, al fine di trasferire le rilevanti azioni verticali e orizzontali alle reni: i conci sono disposti secondo la tessitura retta ossia con file parallele alle generatrici, facendo in modo che in chiave si trovi sempre un concio e non un giunto. Ogni fila è stata posata sfalsando i giunti rispetto a quella precedente.

Le dimensioni dei mattoni in laterizio costituenti l'arcata, i muri andatori rettilinei e le spalle sono tra loro variabili, sicuramente dipendenti dalla materia prima disponibile e dalla tecnologia dell'epoca di costruzione.

La pavimentazione, riservata al traffico veicolare, è in conglomerato bituminoso ed è priva di marciapiedi destinati al transito pedonale; il manufatto è completato da una barriera di protezione in acciaio, sostituita più volte (sulle travi paraghiaia si nota la traccia dei precedenti montanti) mentre originariamente i parapetti erano realizzati in laterizio, altezza 0,75 m e muniti di copertina, come citato nella documentazione storica.

## **2.2. DESCRIZIONE DELLA PATOLOGIE INDIVIDUATE**

Vengono di seguito riportate le principali patologie interessanti i ponti in muratura e, per ognuna di esse, valutata la presenza o meno sul manufatto in esame.

### **Murature di testa - distacco dall'arco portante**

Tale tipologia di quadro fessurativo evidenzia la tendenza dell'arco portante ad innescare un cinematismo liberandosi da ogni tipo di costrizione iperstatica al contorno. È accompagnato dalla formazione di fessure alternate a livello dei conci dell'arco ed è sintomatico quindi di un assestamento, più o meno importante, avvenuto a livello dell'arco, costituendo quindi un valido indicatore di un eventuale stato di sofferenza della struttura portante del ponte. Ulteriori cause di tale manifestazione di faticenza muraria possono essere dovute a spinte orizzontali indotte dall'azione del riempimento contro il muro di testa, infiltrazioni d'acqua e successivi fenomeni di gelo e disgelo.

Come visibile nella seguente immagine, tale fenomeno non interessa la struttura in esame.



*Fig.5: arco portante*

### **Murature di testa - deformazioni trasversali**

Tale tipologia di fenomeno è principalmente riconducibile all'azione destabilizzante esercitata in direzione trasversale dalla spinta attiva dei rinfianchi. I parametri che maggiormente influenzano tali patologie sono:

- caratteristiche meccaniche del materiale di riempimento;

- presenza di un impalcato stradale sufficientemente rigido in grado di distribuire in maniera idonea i carichi dei veicoli;
- entità delle vibrazioni indotte dal transito veicolare;
- snellezza dei muri di testa;
- spessori rinfianchi;
- presenza di elementi trasversali di ritegno (catene metalliche o lignee);
- possibilità di infiltrazione dell'acqua meteorica sotto il piano stradale con conseguente saturazione dei rinfianchi.

Tale fenomeno, non interessante la struttura in esame, si manifesta solitamente con una rotazione verso l'esterno (inflessione del muro di testa con deformata tipo mensola incastrata nell'arco sottostante) ovvero con spanciamento (inflessione del muro di testa con deformata tipo trave appoggiata in corrispondenza dell'arco e dell'estremità superiore del muro).

### **Arco portante - fessure ad andamento radiale**

Come già illustrato nel paragrafo relativo al distacco del muro di testa, tale tipologia di fessurazione deriva dall'innescò di un meccanismo a livello dell'arco consistente nella rotazione relativa di alcuni suoi settori attorno a perni unilaterali posti in maniera alternata sulle sue superfici di intradosso ed estradosso.

Tale meccanismo può essere originato da un cedimento di una o entrambe le imposte o può essere legato ad un meccanismo ad imposte fisse dell'arco.

Come detto, tale fenomeno non interessa la struttura in esame.

### **Volta portante - fessure ad andamento longitudinale**

Tale patologia, assai ricorrente nei ponti murari, si manifesta con la formazione di lesioni ad andamento longitudinale, generalmente a livello dei soli corsi di malta, chiaramente visibili sulla superficie di intradosso della volta portante. Il degrado è solitamente influenzato dai seguenti fattori:

- deterioramento chimico-fisico dei giunti di malta della volta;
- entità delle vibrazioni indotte dal transito veicolare;
- presenza di elementi trasversali di ritegno (catene metalliche o lignee);
- spessori rinfianchi;
- possibilità di infiltrazione dell'acqua meteorica sotto il piano stradale con conseguente saturazione dei rinfianchi;
- caratteristiche meccaniche del materiale di riempimento;
- presenza di nervature longitudinali di estradosso della volta (frenelli);
- eterogeneità fra gli archivolti e la volta interna (archivolti realizzati con tecniche di grande apparecchio e volta interna con tecniche di piccolo apparecchio).

**La degenerazione del fenomeno può determinare l'insorgenza di problemi del secondo ordine nel piano trasversale dell'arco, data la formazione di porzioni isolate e molto irregolari di volta con conseguente netto abbassamento dei margini di sicurezza dell'arco.**

Nella figura seguente è chiaramente visibile l'insorgenza del fenomeno.





*Fig.6: lesione longitudinale volta*

### **Pile e spalle - traslazioni e rotazioni**

Come accennato in precedenza il comportamento ultimo dell'arco è fortemente condizionato dalle caratteristiche delle imposte. Si può dunque verificare un collasso della struttura per cedimento dei piedritti determinato dal superamento della spinta orizzontale sollecitante rispetto a quella resistente.

Il collasso può avvenire per ribaltamento o per scorrimento degli stessi. I fattori che maggiormente influenzano questi tipi di fenomeno sono:

- entità ed inclinazione della spinta dell'arco;
- snellezza delle pile (*fattispecie non presente*);
- simmetria delle spinte nel caso di ponti a più arcate (*fattispecie non presente*);
- caratteristiche fondazioni;
- caratteristiche terreno di fondazione.

La grande maggioranza dei crolli documentati di ponti in muratura è da attribuire a movimenti anomali delle pile e delle spalle.

Le spalle, sottoposte alla spinta della volta da un lato e a quella del terrapieno dall'altro, possono presentare (ove le due azioni non siano in equilibrio) rotazioni non trascurabili che possono indurre dissesti nella sovrastruttura.

Se la spinta dell'arco è superiore a quella del terrapieno si verifica il classico cedimento con apertura della spalla e conseguente abbassamento della chiave che, nel caso di spostamenti eccessivi, dà luogo al collasso della struttura.

Se la spinta del terrapieno supera quella dell'arco la rotazione della spalla determina un avvicinamento delle imposte e una variazione dello stato tensionale nella volta, con modifica della curva delle pressioni.

Le lesioni, in questo secondo caso, si presentano in maniera evidente all'intradosso delle reni, mentre quelle all'estradosso delle zone in chiave rimangono occultate dal materiale di riempimento. Le pile, in presenza di spinte non equilibrate prodotte da due archi adiacenti, possono presentare rotazioni sensibili e, quindi, essere soggette a sollecitazioni flessionali: delle due arcate una presenta allontanamento e l'altra avvicinamento delle imposte.

Dall'analisi della struttura in esame non si individua l'avvenuta formazione di cerniere plastiche all'intradosso delle reni dovute a traslazione verso l'esterno dell'imposta o ad un suo cedimento verticale anche se questi può essere atteso per via della presenza del materiale rinvenuto durante il sondaggio geologico, di cui al successivo capitolo 4.

### **Pile e spalle - schiacciamento**

Il fenomeno dello schiacciamento, accompagnato quasi sempre da problemi di instabilità locale della compagine muraria, si manifesta soprattutto in situazioni caratterizzate da una tessitura irregolare dei paramenti.

Può risultare circoscritto ad aree limitate dell'imposta dell'arco in cui si concentrano elevate compressioni, o può estendersi a zone più ampie dei piedritti o delle spalle per via del deterioramento degli allettamenti causato da vibrazioni e da azioni di degrado fisico-chimico. Seppur non molto frequente, risulta essere un fenomeno di fatiscenza serio in quanto il più delle volte manifesta una progressione molto marcata legata al fenomeno di instabilità correlato.

Tale fenomeno non è stato notato presso la struttura in esame.

## **FENOMENI DI DEGRADO DERIVATI DA AZIONI AMBIENTALI DI NATURA CHIMICA O FISICA**

### **Umidità di risalita**

Si tratta di macchie di colore più o meno uniforme, le quali si manifestano in genere con un tono più scuro del tessuto murario. La loro forma è variabile e può dipendere dalla provenienza dell'umidità che le genera e dal grado di omogeneità del tessuto murario. Queste macchie si trovano, per la maggior parte dei casi, nella parte bassa della muratura e sono conseguenza della risalita capillare di umidità dal suolo. La manifestazione di tale fenomeno dipende dalla posizione della muratura e dalla porosità del materiale: la

diffusione dell'umidità per capillarità è infatti maggiore nei laterizi e in alcune pietre, tra le quali ad esempio le pietre tufacee, talvolta presenti nei paramenti misti.

Tale patologia è visibile sul paramento sull'intradosso voltato.

### **Macchie da dilavamento**

Si tratta di macchie di colorazione diversa a seconda del materiale sul quale si formano; generalmente sono di colore scuro, ma si possono trovare alternate ad altre di colore biancastro, causate da depositi di calcare. La forma della macchia dipende dal percorso intrapreso dall'acqua sulla superficie del ponte; in genere tende ad allargarsi man mano che l'acqua scivola verso il basso lungo le superfici verticali.

Alcuni fattori che possono provocare tale fenomeno sono: presenza di scarichi corti o rotti, o comunque che espellano l'acqua direttamente su parti strutturali, la difettosa tenuta dei giunti e la rottura della scossalina.

### **Porzione di muratura mancante (distacco/rottura)**

Il difetto è determinato dalla mancanza o la rottura di mattoni o pietre che appartengono ad elementi strutturali, quali pile, spalle e archi.

Se le lacune si presentano in corrispondenza di lesioni, le cause sono riconducibili a tensioni o spostamenti che le hanno generate. Mancanze o rotture localizzate possono derivare da:

- urti;
- disfacimento della malta, causato da abrasioni e da cattiva qualità o a piene del fiume;
- lento deterioramento dei materiali da costruzione, in primo luogo dovuto



all'azione degli agenti atmosferici;

- presenza di vegetazione infestante che, associata all'umidità e al gelo, porta ad una disgregazione del tessuto murario.

Nella fattispecie in esame la muratura mancante si rileva in speciale modo nel corso di laterizio, posato di coltello, collocato al di sotto della trave paraghiaia ovvero nel paramento voltato.



*Fig.7: mattoni mancanti in prossimità del piano viario*



*Fig.8: ancora mattoni mancanti in prossimità del piano viario*



*Fig.9: mattoni mancanti intradosso volta assieme a fenomeno esfoliativo*



*Fig.10: ancora mattoni mancanti intradosso volta assieme a fenomeno esfoliativo*

## **Efflorescenze**

Le efflorescenze sono macchie biancastre, cristalline o amorfe, che si possono formare sulla superficie esterna della muratura, o all'interno dei materiali stessi (subefflorescenze). Normalmente tale fenomeno si verifica nelle zone

maggiormente esposte a sole e vento, dove la facilità di evaporazione dell'acqua è maggiore.

Le cause possono essere ricercate nell'acqua di risalita che, passando per capillarità nella muratura, porta in soluzione solfati, carbonati e nitrati. Quando l'acqua raggiunge la superficie esterna della muratura evapora, depositando sulla superficie i cristalli salini.

### **Patina biologica**

La patina biologica, costituita prevalentemente da microrganismi cui possono aderire polvere, terriccio e simili, si presenta come uno strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde.

In particolare è facile riscontrare la presenza di organismi e microrganismi biologici quali alghe, oltre a patine discontinue di colore variabile (verde, nero, grigio) e di spessore pari a pochi millimetri.

Le cause più frequenti sono da ricercare nella presenza di acqua o di umidità sulla muratura o di depositi humiferi.

### **Polverizzazione**

Si tratta della distruzione e della polverizzazione dei giunti di malta o dei materiali lapidei costituenti la muratura stessa, conseguente alla formazione di solfati sulla superficie del laterizio, i quali sono solubili in acqua e quindi dilavabili.

A seguito di analisi visiva della struttura in oggetto tale fenomeno non è stato rilevato.

### **Esfoliazione**



Questo degrado si manifesta attraverso il distacco di croste e di placche di spessore variabile da qualche millimetro a qualche centimetro; lo strato immediatamente sottostante la placca staccatasi spesso è ridotto in polvere.

Il distacco è preceduto da un leggero rigonfiamento del paramento. Si verifica normalmente nelle parti più umide della muratura.

Le cause sono da ricercarsi nell'anidride solforica, contenuta nell'aria che reagisce con l'acqua meteorica trasformandosi in acido solforico. Questo, a sua volta, reagisce con il carbonato di calcio che costituisce i materiali litici producendo gesso (solfato idrato di calcio).

Come nella quasi totalità delle infrastrutture similari, anche in quella in oggetto sono presenti, più o meno marcatamente, i fenomeni di efflorescenze, patina biologica ed esfoliazione.

### **3. INDAGINI EFFETTUATE**

Nel seguito della relazione sono descritte le indagini, le prove, i sondaggi e, in genere, tutte le attività che si sono potute effettuare, ritenute assolutamente necessarie alla conoscenza del manufatto, al fine di poter operare scientemente sullo stesso.

#### **3.1. RILIEVO TOPOGRAFICO DEL CONTESTO DI INTERVENTO**

Nell'ambito della redazione del progetto definitivo è stato implementato e approfondito, mediante l'ausilio di unità GPS, lo studio topografico infittendo i punti caratteristici del ponte, dell'infrastruttura viaria in direzione Robbio e in direzione Confienza ovvero del contesto limitrofo, con particolare attenzione agli accessi alle strade vicinali, campestri e ai fondi agricoli insistenti sulla zona di intervento.

È stato così generato un modello geometrico tridimensionale utilizzato nella progettazione dell'intervento da porsi in opera sulla livelletta stradale necessario, come meglio descritto nel seguito della presente, al fine di raccordare la pavimentazione dell'infrastruttura viaria esistente con quella del ponte, modificatasi a seguito della messa in opera delle opere in progetto.

#### **3.2. RILIEVO GEOMETRICO DEL MANUFATTO**

Assieme alle operazioni di cui al paragrafo precedente è stato altresì perfezionato il rilievo geometrico del manufatto attualmente in essere con lo scopo di implementare il livello di conoscenza dell'opera e del contesto sul quale la stessa insiste, nell'ottica della minimizzazione, per quanto possibile considerata la fattispecie in esame, di imprevisti in fase lavorativa con inevitabile aumenti di costi e tempi.

#### **3.3. INDAGINI IN SITO**

Le indagini eseguite in data 30 giugno 2017 sono state ritenute più che esaustive allo scopo per cui non si è proceduto alla realizzazione di ulteriori. Si riporta, nel seguito, quanto già citato nella Relazione illustrativa di cui al PROGETTO PRELIMINARE.

Omissis ...

*Tramite l'utilizzo di un escavatore, in data 30 giugno 2017, è stata indagata la posizione esatta dello spigolo superiore esterno di ciascuna spalla; in tal modo si è potuto altresì controllare visivamente lo stato di conservazione delle murature. L'operazione è consistita nella scarifica e nel successivo scavo della massicciata stradale fino al rinvenimento del tratto orizzontale, in mattoni, di entrambe le spalle del manufatto; il primo sondaggio (lato Comune di Confienza) è stato realizzato al limite esterno della corsia in direzione Confienza, in sponda idrografica destra, mentre il secondo (lato Comune di Robbio) è stato effettuato al limite esterno della corsia Confienza - Robbio, in sponda idrografica sinistra.*

*Il primo sondaggio ha mostrato la presenza di un cavidotto metallico a sezione rettangolare di cui si dirà al successivo paragrafo a proposito dei sottoservizi.*

*Il secondo sondaggio è stato eseguito in corrispondenza del noto cedimento nel manto stradale, causa della chiusura al traffico dell'infrastruttura, di profondità pari a circa 0,70 m e forma in pianta all'incirca ellittica, con lunghezza asse maggiore pari a circa 0,60 m, come ben visibile nella successiva immagine.*



*Fig.11: cedimento stradale in corrispondenza della spalla lato Robbio*

*A seguito di prime valutazioni si ritiene che la causa del cedimento localizzato nel manto stradale possa ascriversi all'azione dinamica esercitata dal traffico pesante in uscita dal ponte, in presenza sia di una sottostruttura che di una pavimentazione stradale, entrambi irregolari. Il fenomeno è sicuramente stato favorito, nel tempo, dall'azione di infiltrazione della pioggia e non secondario può essere altresì l'effetto della corrente del corso idrico che su tale spalla è in battuta: tale fatto può aver favorito la creazione di vuoti che hanno generato il cedimento, a maggior ragione a seguito della variazione stagionale del carico piezometrico o dei periodi di asciutta.*

*L'estradosso delle spalle del ponte è posizionato ad una profondità pari a circa 1,20 m al di sotto del piano stradale e si estende per circa 1,50 m in direzione asse infrastruttura viaria. La successiva Fig.6 mostra lo spigolo superiore della spalla in muratura (lato Robbio).*

Omissis ...



*Fig.12: spigolo superiore della spalla lato Robbio*

### **3.4. INFRASTRUTTURE, IMPIANTI E RETI INTERFERENTI CON IL MANUFATTO**

A seguito di giusta richiesta, in merito alla presenza di sottoservizi, effettuata dalla stazione appaltante sono pervenute le risposte da parte dei seguenti gestori delle reti infrastrutturali:

- **Telecom Italia S.p.A.** (a mezzo mail in data 07 luglio 2017). Ha confermato la presenza di un cavidotto posto al di sotto della sede stradale. Trattasi di una canalina metallica a sezione rettangolare, di dimensione decimetrica, posta al limite esterno della corsia Robbio - Confienza, a circa 0,60 m dal guard-rail e alla profondità di circa 0,35 m dall'attuale piano viario. Le informazioni geometriche descritte, non indicate nella comunicazione, sono state misurate nel corso del sondaggio eseguito in data 30 giugno 2017 durante il quale è stata riportata alla luce siffatta canalina, documentata nella successiva *Fig.7*. Naturalmente tale manufatto dovrà essere rimosso durante le fasi di cantiere e successivamente riallocato secondo le indicazioni dell'ente gestore.





*Fig.13: canalina Telecom in prossimità della spalla lato Confienza*

- **ASMare Srl** (a mezzo mail pec in data 12 luglio 2017). Presenta una tubazione, staffata sul ponte lato valle, costituita da un tubo, in pressione, di mandata della rete fognaria proveniente da Confienza DN300 inserito in un tubo camicia in acciaio catramato DN500 (quello visibile).
- **Pavia Acque S.c.a.r.l.** (a mezzo pec in data 04 luglio 2017). Fornisce una planimetria nella quale è indicata la traccia di una tubazione in calcestruzzo diametro 600, in fregio al ponte lato monte. L'infrastruttura citata non è stata individuata nel corso delle varie visite e rilievi; la fattispecie dovrà essere verificata in sede di Conferenza dei Servizi.
- **EST SESIA consorzio di irrigazione e bonifica** (a mezzo lettera raccomandata in data 23 agosto 2017). Comunica la presenza delle seguenti interferenze:
  - *linea telefonica, mediante tubo in ferro ancorato a valle del ponte alla prog. 35.273, in carico a Telecom.* Si ritiene la canalina descritta nel comma dedicato a tale infrastruttura possa aver sostituito tale manufatto; la fattispecie dovrà essere verificata in sede di Conferenza dei Servizi;

- *attraversamento con linea gas, mediante tubo in ferro ancorato a valle del ponte alla prog. 35.273, in carico al Comune di Confienza. La fattispecie non è stata confermata dall'Amministrazione Comunale e dovrà essere verificata in sede di Conferenza dei Servizi.*
- **2i Rete Gas S.p.A.** Non è pervenuta risposta alcuna alla richiesta. Si ritiene che la linea gas citata nella lettera EST SESIA e individuata in sito, costituita da tubazione rivestita in materiale plastico, sia in carico a tale gestore. La fattispecie dovrà essere verificata in sede di Conferenza dei Servizi.

In ogni caso le tubazioni di smaltimento delle acque reflue ovvero della rete gas non interferiranno con i lavori di ristrutturazione del manufatto. La successiva *Fig.14* documenta la posizione delle infrastrutture descritte sul lato di valle del ponte; in tale immagine è altresì visibile lo spigolo della recinzione che delimita l'impianto di sollevamento della rete fognaria, dotato di troppo pieno e di scarico vasca i quali recapitano direttamente nella roggia, come documentato dallo schema idraulico di *Fig.15*.



*Fig.14: infrastrutture ASMare e linea gas*



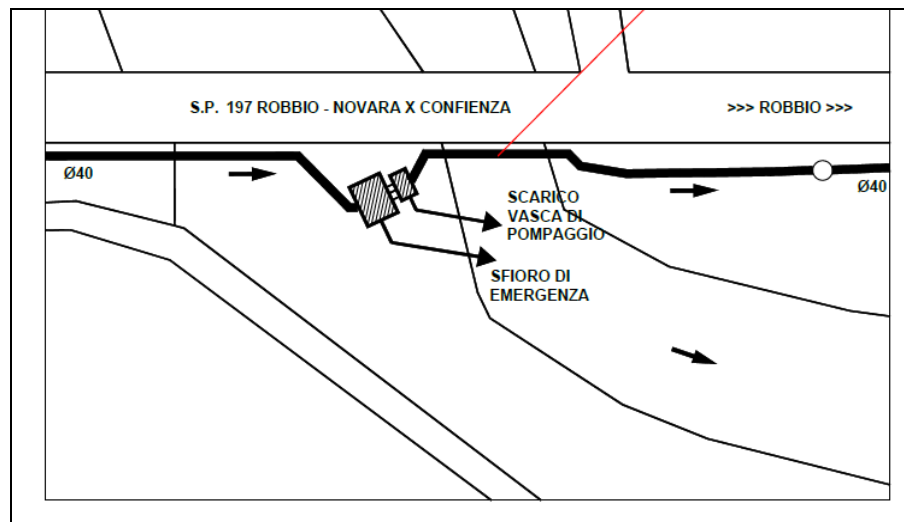


Fig.15: schema idraulico ASMare

#### 4. PROVE E INDAGINI GEOLOGICO, GEOTECNICHE E SISMICHE

Il carotaggio e le prove STP in foro, svolte in data 24 luglio 2017, sono state eseguite in asse strada perforando la spalla del ponte lato Comune di Robbio. La scelta di perforare la spalla è stata dettata dalla necessità di valutarne la profondità ma soprattutto lo stato di conservazione della muratura costituente la stessa, oltre che di esaminare direttamente il terreno sul quale insiste la fondazione. La posizione ottimale per la perforazione è stata individuata a seguito dei sondaggi preliminari descritti nel paragrafo dedicato.

Il carotaggio ha permesso di confermare la posizione dell'estradosso della spalla del ponte a quota circa -1,20 m dal piano stradale ovvero determinare il piano di appoggio della fondazione della spalla stessa a quota circa -5,60 m sempre dal piano viabile: la fondazione può quindi essere definita come semi-profonda.

La trivellazione con il recupero delle carote si è conclusa a -12,00 m dal piano strada e, nel corso del carotaggio, sono state effettuate n.3 prove STP a differenti profondità (-6,50 m, -9,00 m e -12,00 m).

I risultati hanno evidenziato uno strato costituito da mattoni alterati misto a

materiale di natura limosa, molle e senza struttura, posizionato alla base della spalla e avente spessore pari a circa 0,50 m, con caratteristiche meccaniche di gran lunga inferiori a quelle della muratura sovrastante. **Tale peculiarità ha costituito un significativo vincolo in merito alla scelta progettuale proposta.**

La successiva figura riporta la sequenza stratigrafica tra -5 m e -10 m ove, anche da un sommario esame visivo, è possibile notare i circa 0,50 m di materiale alterato.



*Fig.16: cassetta carotaggio tra -5 m e -10 m*

## **5. PROVE SUI MATERIALI E ISPEZIONE VISIVA DELL'INTRADOSSO DELL'ARCO**

In merito ai materiali posti in opera, mattoni e malta, sono state eseguite prove puntuali non distruttive sulla muratura dell'arco assieme al prelievo di alcuni mattoni al fine di valutarne, in laboratorio, la resistenza a compressione. Fondamentale infatti è senza dubbio la definizione dei parametri meccanici che descrivano adeguatamente la risposta globale del materiale, essenzialmente anisotropo, con direzioni di scorrimento preferenziali. Per le murature esistenti si pone l'ulteriore difficoltà di conoscere o stimare la consistenza della malta e dei mattoni impiegati per la costruzione, dipendendo questa da standard produttivi assenti o fortemente dipendenti dalla qualità della materia prima, dall'epoca o dalle abitudini esecutive locali.

In data 3 agosto 2017 sono state effettuate prove penetrometriche sulla malta costituente i giunti con sonda WP-2000, assieme all'estrazione di alcuni mattoni (*Fig.17*), al fine di valutare quanto sopraccitato. Tali accertamenti sono stati eseguiti con estrema difficoltà a causa delle complicate condizioni di accesso al contesto di intervento: la quota del pelo libero del corso d'acqua dista unicamente circa 2,50 m dall'intradosso della sezione sommitale dell'arco e tale misura si riduce a circa 0,80 m in corrispondenza delle spalle. Per tale ragione non è stata in alcun modo possibile l'attuazione delle altre previste prove, sclerometrica su malta con sclerometro a pendolo PM ovvero con martinetti piatti semicircolari.

Nel mentre delle suindicate analisi è stata eseguita un'approfondita ispezione visiva, con report fotografico, sia dell'intradosso dell'arcata che della parte emersa verticale delle spalle, lato acqua, tramite la quale è stato possibile prendere conoscenza del non ottimale stato di conservazione della muratura in molti frangenti, in speciale modo quella che origina dalla spalla lato Robbio, come ben evidenziato nella successiva *Fig.18*.



*Fig.17: prelievo campioni di mattoni da sottoporre a prova. Da notare la significativa fessurazione timpano lato Robbio*



*Fig.18: muratura intradosso arco lato Robbio*

## **6. IPOTESI DI RISTRUTTURAZIONE TOTALE DEL PONTE STORICO**

Nell'elaborato progettuale denominato All.B - RELAZIONE TECNICA E SPECIALISTICA sono riportate le verifiche strutturali attuate sugli elementi portanti costituenti il ponte storico, sulla scorta del livello di conoscenza della struttura acquisito a seguito della campagna di rilievi e di indagini effettuata. Tali verifiche sono state eseguite al fine di accertare l'eventuale possibilità circa la ristrutturazione totale del manufatto per una sua rapida rimessa in servizio.

### **6.1. ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI DA SONDAGGI E PROVE SUI MATERIALI**

A seguito delle indagini eseguite sulle strutture in essere, sono state effettuate le seguenti considerazioni:

- il sondaggio penetrometrico ha misurato con precisione la profondità delle spalle del ponte confermando che le stesse, come già adombrato nella descrizione presente nel Testimoniale di Stato, insistono in corrispondenza del fondo alveo del corso d'acqua. Tale fattispecie le espone direttamente all'azione della corrente oltre che, a seguito dei significativi e ripetuti carichi trasmessi dal traffico, a sollecitazioni non previste dalle buone pratiche edificatorie dell'epoca di costruzione - *metà '800* - con particolare riferimento alle azioni dinamiche;
- il terreno di fondazione alla base delle spalle rivela uno strato estremamente deteriorato - *molle* - avente spessore pari a circa 0,50 m, meccanicamente meno resistente con rischio di elevati cedimenti, il quale necessita assolutamente di adeguato risanamento;
- l'allineamento del piano di fondazione con il fondo alveo, in speciale modo in spalla destra ove la corrente è in battuta, potrebbe aver favorito la creazione di vuoti, in concomitanza con la variazione stagionale del carico



piezometrico o dei periodi di asciutta, concausa del cedimento sul manto stradale;

- l'ormai noto cedimento della sede viaria è presumibilmente anche da ascrivere all'azione dinamica esercitata dal traffico pesante in uscita dal ponte, tenendo altresì in conto di un piano viabile assai irregolare. Tale azione, ripetuta nel tempo e coadiuvata dall'infiltrazione delle acque di pioggia nel foro, ha sicuramente esercitato sul rilevato stradale una continua azione di pompaggio, incrementante sempre più il vuoto formatosi;
- la muratura delle spalle si presenta, in diversi frangenti, in buono stato conservativo; purtroppo altrettanto non può essere affermato in merito alle condizioni dei mattoni costituenti l'intradosso della volta, con particolare attenzione alla fessurazione longitudinale già descritta, assieme alla mancanza di laterizi. Le lesioni superficiali, macroscopicamente evidenti, possono essere imputabili sia agli agenti atmosferici che, più probabilmente, alle azioni dinamiche esercitate dalla sovrastruttura viaria. La conformazione geometrica della struttura ad arco ribassato, unita a un modesto ricoprimento dell'estradosso, limita la diffusione dell'impronta dei carichi pesanti rendendo assai più incisive le sollecitazioni dinamiche.

## **6.2. RISULTATI OTTENUTI DA VERIFICHE TENSIONALI**

Gli stati tensionali generati dal peso proprio della struttura e dal carico previsto dalla normativa vigente per un ponte di prima categoria, valutati sull'arco, sulle spalle e sul terreno di fondazione, paiono compatibili con le risultanze delle prove effettuate sul terreno. Naturalmente tale valutazione non tiene in conto sia del degrado progressivo delle murature che, in speciale modo, di un'importante considerazione da condursi in merito alla presenza dello strato deteriorato, di spessore pari a circa 0,50 m, rinvenuto alla base della fondazione.

Tale strato, anche se meccanicamente non giunge a rottura, in particolari condizioni critiche, potrebbe generare importanti cedimenti, assai dannosi per il

corretto funzionamento dell'arco: si ritiene infatti che tali cedimenti, sicuramente già avvenuti in passato, abbiano generato (favorito o contribuito) la formazione delle lesioni visibili sui muri di testa del ponte. Essendo inoltre la struttura sgheмба a comportamento tridimensionale, un eventuale cedimento su una porzione di spalla può aver generato (favorito o contribuito) la formazione di lesioni come quella visibile circa a metà della spalla sinistra, lato Robbio.

### **6.3. LAVORAZIONI DA PORSI IN ESSERE IN MERITO ALLA RISTRUTTURAZIONE TOTALE DEL PONTE STORICO**

È stata quindi valutata la possibilità di un ripristino totale dell'infrastruttura attraverso le seguenti lavorazioni:

- consolidamento del terreno di sottofondo e, più in generale, dello strato di terreno deteriorato - *molle* - riscontrato alla base della fondazione durante la prova penetrometrica, tramite iniezioni di malta in pressione o jet grouting, necessario al fine di migliorare le caratteristiche geomeccaniche degli strati limosi e sabbiosi evidenziati dal carotaggio. Tale intervento è altresì indispensabile al fine di inibire l'azione erosiva da parte della corrente la quale potrebbe, come detto, addirittura creare vuoti localizzati alla base delle spalle;
- formazione di una calotta di consolidamento dell'estradosso dell'arco tramite la messa in opera di materiale fibrorinforzato, le cui estremità potrebbero essere estese al di sopra delle spalle, allo scopo di consolidare la struttura muraria in essere, ridistribuire su una superficie più ampia dell'arco murario il carico verticale viaggiante in superficie e realizzare una sorta di collegamento tra le due spalle del ponte;
- sistemazione intradosso paramento voltato, con particolare attenzione alle fessurazioni longitudinali e al ripristino della muratura in laterizio, in stato di conservazione non ottimale;



- regolarizzazione della superficie viaria tramite il consolidamento della massicciata stradale (circa 15 m per lato) al fine di minimizzare le sollecitazioni secondarie, indotte dal traffico pesante, sulla struttura del ponte.

#### **6.4. VALUTAZIONI CIRCA IL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE TOTALE DEL PONTE STORICO**

L'intervento descritto nel precedente paragrafo è permeato da significative incertezze, in particolare dettate da:

- difficoltà alla messa in opera delle lavorazioni inerenti il consolidamento dello strato di terreno deteriorato - *molle* - riscontrato alla base della fondazione, a causa della presenza, pressoché costante, di vena liquida nel corpo idrico. Tali problematiche sono da evidenziarsi principalmente sotto l'aspetto tecnico, economico e temporale. Non ultima, anche qualora la roggia Biraga fosse in asciutta (essendo il corso d'acqua un canale di bonifica, una simile eventualità non potrà mai essere completamente garantita, in speciale modo durante gli eventi metereologici della stagione autunnale, con la necessità di significativi costi per aggotamenti, deviazioni varie e altre opere provvisionali), la difficoltà di accesso alla zona di intervento, praticamente in alveo, da parte dei mezzi d'opera;
- il progredire dell'ammaloramento della muratura della volta, in speciale modo le fessurazioni longitudinali, dovuto essenzialmente all'azione dinamica dei carichi superficiali ovvero componente metereologica, potrebbe richiedere ulteriori significativi interventi in tempi successivi abbastanza brevi (5/10 anni), annullando praticamente l'aspetto costo - benefici degli attuali lavori;
- **la considerazione in merito alla vetustà dell'infrastruttura a scavalco del corso d'acqua in riferimento agli elevati livelli di traffico attuali ovvero alla significativa importanza della strada provinciale sulla quale la stessa**

**insiste, fondamentale arteria di collegamento tra la zona produttiva del basso novarese e il pavese.** Unicamente a titolo di curiosità si ricorda che solo il 29 gennaio 1886, *e quindi data ben oltre successiva a quella di costruzione del ponte*, al brevetto “DRP 37435“, l’ingegnere tedesco Karl Benz presentò alla sede di Berlino dell’Ufficio Brevetti dell’allora Impero Germanico la registrazione della “Patent Motorwagen“ la quale, ad oggi, viene riconosciuta in tutto il mondo come la prima autentica automobile costruita nella storia della mobilità. E ancora il primo esemplare di Ford Model T, prima vettura prodotta in grande serie utilizzando la tecnica della catena di montaggio, uscì dallo stabilimento di Piquette (Detroit - USA), il 24 settembre 1908;

- a vantaggio della soluzione è possibile affermare che l’intervento di totale ripristino dell’infrastruttura non comporterebbe alcuna modifica alla livelletta stradale, mantenendosi pressoché inalterate le quote iniziali (stato di fatto) e finali (progetto). Tale aspetto è unicamente economico.

**A fronte delle motivazioni suesposte e dei risultati attesi si è quindi ritenuto che un intervento di totale ripristino del ponte storico non possa essere considerato quale scelta progettuale ottimale, in termini tecnici, temporali ed economici, per la rapida messa in sicurezza del manufatto e il completo ripristino della viabilità stradale.**

## **6.5. DEMOLIZIONE DEL PONTE STORICO**

A seguito della considerazione finale espressa nel precedente paragrafo, è stata valutata l’ipotesi di una totale demolizione del ponte storico. Tale eventualità è stata scartata per le seguenti motivazioni:

- l’art.10, comma 1, del D.Lgs. 22 gennaio 2004 n.42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n.137” testualmente: *Sono beni culturali le cose immobili e mobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali,*

*nonché' ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico.* Sulla scorta di quanto espresso al comma 5 del medesimo articolo ovvero al comma 1 del successivo art.12 (verifica dell'interesse culturale) è fissata a **50 anni** la soglia per considerare vincolato un bene immobile pubblico; tale valore fu innalzato a 70 anni dall'art.4 del D.L. 70/2011, in seguito abrogato, in merito al quale il Mibact, con parere in data 03 agosto 2016, si esprime circa la sussistenza di tale soglia. In ogni caso il bene in oggetto rientra in entrambe le fattispecie;

- la demolizione dell'infrastruttura esistente comporterebbe una modifica della sezione idraulica dell'alveo della Roggia Biraga con necessità di accurate verifiche in merito;
- la demolizione del ponte storico comporterebbe elevati costi e tempi ad oggi difficilmente sostenibili dalle esigenze della comunità, non solo locale ma, come detto, addirittura a livello interregionale.

## **7. DESCRIZIONE PROGETTO PROPOSTO**

Il progetto proposto, come ben visibile negli elaborati grafici allegati, contempla la messa in opera di un nuovo impalcato, al quale sarà affidato il carico stradale, assieme ad alcuni interventi di ripristino del ponte esistente; possiede il duplice scopo di rendere funzionale alle sopraggiunte esigenze l'importante infrastruttura integrando le nuove necessità con quanto già in essere, minimizzando l'impatto visivo, il quale avviene unicamente dai fondi finitimi.

L'intervento comporterà un sopralzo dell'attuale sede viaria, asse ponte, di circa 0,50 m, rendendo necessaria la sistemazione della livelletta stradale, in ingresso e in uscita, per un tratto sufficientemente esteso al fine di rispettare i vincoli imposti dalla normativa vigente in termini di viabilità.

### **7.1. OPERE PROPEDEUTICHE**

Al fine di poter porre in opera il nuovo impalcato saranno realizzate le seguenti lavorazioni:

- rimozione delle barriere di protezione stradali esistenti sul ponte storico e nell'immediato intorno;
- demolizione travi paraghiaia in cemento armato e sovrastruttura stradale. Tale operazione comporterà altresì la rimozione del corso di mattoni, in pessimo stato conservativo, posato in verticale (coltello) tra l'estradosso dell'arco in muratura e l'intradosso della suindicata trave;
- rimozione riempimento volta.

### **7.2. NUOVO IMPALCATO (PONTE CATEGORIA 1)**

Viene prevista la messa in opera di quanto nel seguito descritto:

- realizzazione di un nuovo impalcato costituito da n.5 travi in calcestruzzo, prefabbricate e precomprese, aventi altezza 50 cm e larghezza pari a 120

cm, accostate e rese collaboranti tramite un getto integrativo, anch'esso in calcestruzzo, con spessore pari a 20 cm. La luce libera tra l'estradosso della volta e l'intradosso del nuovo impalcato, pari a circa 15 cm, garantirà l'assenza di interazioni tra i due manufatti;

- realizzazione di nuove spalle, costituite da travi in cemento armato gettato in opera insistenti su fondazioni indirette. Ciascuna trave sarà intestata su n.14 micropali valvolati eseguiti con **trivellazione continua** e disposti su doppia fila sfalsata (quinconce), direttamente nelle spalle del ponte attuale. Ogni micropalo, avente lunghezza pari a 11 m, possiederà un diametro di trivellazione pari a 220 mm con armatura diametro 177,8 mm spessore 8 mm. **La scelta di trivellare i micropali direttamente nelle spalle del ponte storico possiede l'importante duplice scopo di ridurre di circa 1,50 m la luce di calcolo delle travi dell'impalcato (limitando così il sopralzo stradale a 0,50 m e quindi minimizzando il più possibile la modifica della pendenza longitudinale della livelletta stradale, purtroppo necessaria) ovvero, attraverso l'iniezione di miscela cementizia, di consolidare lo strato deteriorato - molle - presente al di sotto delle fondazioni del ponte storico. Così facendo verrà rinforzata anche la struttura muraria esistente la quale, a seguito dell'intervento, sarà resa scarica dalle azioni esterne e soggetta unicamente solo al peso proprio ossia modificata nella configurazione statica originaria;**
- ciascuna trave di testata sarà collegata, tramite adeguata armatura, con l'impalcato, in modo tale questi possa comportarsi alla stregua di diaframma rigido nel proprio piano, nel rispetto, naturalmente, della situazione di vincolo ipotizzata.

La larghezza totale del ponte esistente, misurata all'esterno delle travi paragonata, è pari a 6,78 m; le corsie hanno un ingombro pari a 5,40 m, rispettivamente 2,55 m corsia destra e 2,85 m corsia sinistra. La nuova infrastruttura, pur ovviamente mantenendo inalterata la larghezza delle corsie, dovrà essere dotata di adeguata

barriera protettiva in acciaio per bordo ponte (classe H3, barriera a tre onde), avente un ingombro superiore a quella attualmente esistente; per tale motivazione, al fine di conservare l'attuale franco laterale delle corsie implementando la sicurezza del ponte, la larghezza totale dell'infrastruttura sarà aumentata di 63 cm tramite mensole in calcestruzzo, altezza 30 cm, in continuità con il getto integrativo, sulle quali sarà collocato il nuovo guardrail.

### **7.3. INTERVENTI SUL PONTE STORICO**

In merito al manufatto storico sono previsti interventi di miglioramento dello stato fondale, di consolidamento conservativo dell'estradosso dell'arcata, di ripristino dei vari ammaloramenti e delle lesioni presenti nei muri andatori oltre che di sistemazione del muro d'ala a valle del ponte in sponda idrografica sinistra.

Le attività previste e i relativi scopi perseguiti possono essere così riassunti:

- in merito al consolidamento del terreno di fondazione tramite la messa in opera di micropali valvolati è già stato riferito in maniera esaustiva;
- le spalle in muratura esistenti non necessitano di alcun intervento significativo;
- l'estradosso dell'arco sarà consolidato e protetto, dopo attenta rimozione del riempimento, dell'eventuale cappa del rinfiango e accurata pulizia, tramite la messa in opera di rete in materiale fibrorinforzato polimerico con sovrastante getto di malta. Si ritiene importante la messa in opera di tale lavorazione in modo tale da consolidare e proteggere ulteriormente la struttura muraria esistente la quale, dopo l'intervento, sarà scarica e non più raggiungibile al di sotto del nuovo impalcato;
- tenendo in conto della probabile non presenza della cappa di raccolta delle acque meteoriche al di sotto del riempimento, dell'assenza di sfogatoi, del fatto che il ponte possieda un piano viabile in bitume e non in ballast



(ferroviario) ma soprattutto dell'impermeabilizzazione che sarà messa in opera sull'estradosso delle travi prefabbricate, non sono previsti sfogatoi al di sopra della cappa in materiale fibrorinforzato;

- pulizia e ripristino delle varie lesioni presenti nei muri andatori, con particolare attenzione alla fessurazione collocata a monte in spalla idrografica destra. **Nessun intervento è previsto all'intradosso del paramento voltato;**
- al fine di raccordare i muri andatori, interrotti all'incirca un corso oltre l'estradosso dell'arco a seguito della rimozione dei laterizi posati di coltello prima descritti, con l'intradosso della mensola in cemento armato a sostegno della barriera protettiva, sarà realizzata una nuova muratura a vista, monostrato, in mattoni pieni, costituita da un primo corso posato di testa e da successivi due corsi posati di coltello.

#### 7.4. INTERVENTI SULLA SEDE STRADALE

L'articolo 2 del Codice della Strada identifica le strade extraurbane secondarie come *strade ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine*.

Le *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade* attualmente in vigore (approvate dal D.M. 05.11.2001) ai sensi del Codice della Strada prevedono due tipi di strade extraurbane secondarie: le C1 e le C2 le quali si differenziano per il fatto che le C1 sono strade extraurbane secondarie a *traffico sostenuto* mentre le C2 sono a *traffico limitato*. In conseguenza di ciò la larghezza delle corsie di marcia delle C1 è pari a 3,75 m per le C2 invece è pari a 3,50 metri.

Pur non essendo geometricamente classificabile nelle suindicate categorie, la sede stradale esistente può essere assimilata a una **strada extraurbana secondaria C2**.

La nuova sovrastruttura viaria comporta un sopralzo dell'attuale piano viabile, in asse ponte, pari a 0,50 m; tale incremento di quota, inevitabile, richiederà la risagomatura altimetrica di un tratto di sede stradale, in direzione Confienza e in direzione Robbio assieme al raccordo di quest'ultima con la viabilità secondaria di accesso alle proprietà fondiarie prospicienti e/o di servizio ispettivo per le opere irrigue.

La modifica della livelletta stradale comporterà la rimozione della pavimentazione attuale, la formazione del rilevato stradale, assieme alla riprofilatura delle banchine ovvero la messa in opera della nuova pavimentazione in conglomerato bituminoso negli spessori classici (base 10 cm, collegamento 4 cm, usura 3 cm), completa di segnaletica orizzontale. La barriera di protezione esistente, attualmente in fregio alla stazione di sollevamento lato destro direzione Robbio, sarà sostituita con manufatto a norma, in analogia a quanto previsto per il ponte. Estrema attenzione dovrà essere posta alla formazione del rilevato stradale da realizzarsi in prossimità dell'ingresso e dell'uscita al ponte, al fine di evitare che il formarsi di irregolarità nella massicciata le quali, associate al traffico pesante, possano indurre sollecitazioni secondarie sulle spalle del ponte storico.

## **7.5. INTERVENTI SUI MURI D'ALA**

Particolare attenzione è stata posta in merito ad alcuni interventi inerenti i muri d'ala e le zone finitime, al fine di ovviare a certune significative problematiche. Nella fattispecie:

- **MURO D'ALA SPALLA IDROGRAFICA SINISTRA A MONTE DEL MANUFATTO:** la quota di calpestio dell'estradosso del muro, ad oggi, è inferiore al piano viabile della strada vicinale di circa 0,80 m. Tenendo in conto dell'aumento della quota di tale piano a seguito del raccordo con il nuovo impalcato, sarà posata una fila di prismi in cemento, di forma cubica

con lato pari a 1 m, a protezione della scarpata, per una lunghezza di circa 9 m;

- **MURO D'ALA SPALLA IDROGRAFICA SINISTRA A VALLE DEL MANUFATTO:** tale muro in laterizio, curvo, come chiaramente visibile nella fotografia seguente, è estremamente danneggiato. Si nota una significativa rotazione della parte alta dello stesso verso valle, pur mantenendo la verticalità, a seguito del distacco dalla spalla, probabilmente dovuto all'interazione con la tubazione fognaria e il relativo plinto di fondazione. È presente altresì una fessurazione verticale a circa metà paramento. L'intervento in progetto prevede la demolizione con ricostruzione della parte alta della muratura, probabilmente non collegata alla spalla a causa della presenza delle reni dell'arco, per un'altezza pari a circa 1,60 m, su tutto il fronte assieme al rifacimento del plinto a sostegno della tubazione;



*Fig.19: muro d'ala spalla idrografica sinistra a valle*

- **TRATTO DI ALVEO SUCCESSIVO AL MURO D'ALA SPALLA IDROGRAFICA SINISTRA A VALLE DEL MANUFATTO:** saranno posati massi ciclopici, per un tratto di lunghezza pari a circa 14 m, al fine di porre rimedio all'effetto erosivo della corrente in tale ambito e le cui

infiltrazioni nel substrato potrebbero aver concorso alla formazione del ben noto cedimento.

## BIBLIOGRAFIA

Boothby, T.E. (2001). Analysis of masonry arches and vaults. Prog. Struct. Engng Mater. 3, 246-256

Concrete Srl (2017). Sismicad 12.10, manuale d'uso

Gelfi, P., (2002). "Role of Horizontal Backfill Passive Pressure on the Stability of Masonry Vaults", International Journal for Restoration of Buildings, Aedificatio Verlag, Freiburg, Vol. 8, No 6, pag. 573-589, ISSN 0947-4498

Harvey, W.J., (1988). Application of the mechanism analysis to masonry arches, The Structural Engineer 66(5), 77-84

Heyman J. (1966). The stone skeleton, International Journal of Solids and Structures 2, 249-279

Lorenzo Jurina. Seminario CIAS: Ponti: Sorveglianza, Manutenzione ed Interventi. Verifiche Statiche ed interventi di consolidamento nei ponti in muratura. Bolzano 29 novembre 2002

Confienza (PV), lì 11.09.2017

Il progettista  
ing. Antonio Grandi

