

PROGETTO ESECUTIVO

OPERE DI CONTENIMENTO DEI LIVELLI DI PIENA IN SPONDA SINISTRA DEL FIUME ADDA IN COMUNE DI LODI (LO)

II FASE DI INTERVENTO FUNZIONALE

CIG - 82254808D2
CUP - B13H19000480002

DICEMBRE 2022

Studio HYDRA s.r.l.

Via Fermi 20 - 20057 ASSAGO (MI)
tel: (02) 23185801 - e-mail: studiohydra.srl@studiohydra.it

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. SILVIO ROSSETTI
Dott. Ing. ALESSANDRA BERTOGLIO

REDAZIONE	Paolo Galli	Aspetti strutturali:	Aspetti ambientali e catastali:
VERIFICA	Pier Giorgio Malerba	 <p>STUDIO MALERBA STUDIO DI INGEGNERIA viale Abruzzi, 17 - 20131 MILANO - tel: (02) 29526561 fax: (02) 29526561 - e-mail: mail@studiomalerba.net</p>	<p>GEOLAMBDA Engineering S.r.l. Sede operativa: via A. Diaz, 22 - 26845 Codogno (LO) tel: (+39) 0377.433021 fax (+39) 0377.402035 www.geolambda.eu - pec: geolambda@geolambda.viapec.it e-mail: laura.pezzoni@geolambda.it</p>
APPROVAZIONE	Silvio Rossetti	Prof. Ing. PIER GIORGIO MALERBA	Dott. Ing. LAURA PEZZONI

REVISIONI	N.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
	1					
	2					
	3					

TITOLO:

**ANALISI STORICO CRITICA DELLA STRUTTURA DEL
PONTE STORICO
(da PD dicembre 2021)**

ELABORATO:

FASE

PE

TIPO

ASP

COMMESSA

250-06

NUMERO

A.02.06

REV

00

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. CENNI STORICI SUI PRIMI ATTRAVERSAMENTI DEL FIUME ADDA IN LODI.....	2
3. IL PONTE ESISTENTE.....	3
4. INTERVENTI ESEGUITI NEGLI ANNI SUL PONTE ESISTENTE	4
4.1 ESAME DELLA DOCUMENTAZIONE ESISTENTE.....	4
4.2 INTERVENTI REALIZZATI STORICAMENTE SUL PONTE STORICO DI LODI	4
4.2.1 Lavori di rinforzo delle fondazioni delle pile (1947)	4
4.2.2 Interventi sull'impalcato (1970-71)	5
4.3 INTERVENTI DEL 2000	7
4.4 INCREMENTO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DELLE FONDAZIONI (2007)	7
5. MATERIALI COSTITUENTI IL PONTE.....	14

RELAZIONE DI INDAGINE STORICO-CRITICA DEL PONTE STORICO SULL'ADDA A LODI

1. PREMESSA

La presente relazione costituisce il documento di indagine storico – critica del Ponte Storico di Lodi, allegato al Progetto Esecutivo dell'intervento di “*Realizzazione della campata aggiuntiva in sinistra idraulica*” del ponte.

Con l'analisi storico – critica si è intenso ripercorrere, per quanto possibile, la storia del ponte dalla sua nascita sino ai giorni nostri.

L'analisi eseguita costituisce un vero e proprio studio, che comprende le principali tappe dell'evoluzione dell'infrastruttura e che è stato eseguito sulla scorta di ogni sorta di documentazione sia stato possibile reperire durante le ricerche, disegni, relazioni di progetto, o elaborati di tipo amministrativo propri della direzione lavori o delle fasi di collaudo.

Nell'ambito di tale studio, durante i sopralluoghi eseguiti sul posto, è stato possibile riconoscere la conformazione strutturale dell'opera permettendone una lettura filologica finalizzata alla conservazione della stessa.

Allo steso tempo, l'analisi è stata fondamentale per conoscere le condizioni al contorno a partire dalle quali l'opera è nata, guidando il progettista degli interventi, sia architettonici che strutturali, verso soluzioni rispettose dei reali limiti dell'opera stessa. Di questa analisi fa parte un inquadramento storico dell'opera e delle sue varianti all'interno dell'evolversi del quadro normativo, e della storia della scienza e della tecnica nel campo delle costruzioni.

2. CENNI STORICI SUI PRIMI ATTRAVERSAMENTI DEL FIUME ADDA IN LODI

Il primo attraversamento stabile documentato del fiume Adda risale al 1158, quando *Federico Barbarossa*, fattosi promotore della ricostruzione di *Laus Pompeia*, scelse di edificare la nuova città sul *Monte Guzzone*, lungo l'Adda, dove già sorgevano un porto fluviale e un ponte detto del *Fangazzo*. La costruzione di questo primo attraversamento fu affidata all'architetto *Muzio della Gatta*.

Nel 1454, *Francesco Sforza*, duca di Milano e signore di Lodi, fece ricostruire il ponte, con due fortificazioni ai capi; distrutto all'inizio del Cinquecento, l'attraversamento fu successivamente più volte ricostruito come ponte di barche.

Nel XVI secolo, durante il periodo del dominio spagnolo, venne edificato un ponte ligneo, formato da 57 campate (31 delle quali poggiavano nel corso principale del fiume e altre 5 in un ramo secondario, le rimanenti poggiavano su terra) per una lunghezza totale di circa 200 m e una larghezza di 8 m.

È su questo manufatto che, il 10 maggio 1796, venne combattuta “la battaglia del ponte di Lodi”, tra *Napoleone Bonaparte* e l'esercito austriaco.

Il 10 giugno 1859, durante la seconda guerra di indipendenza, il ponte in legno fu bruciato dalle truppe austriache in ritirata.

3. IL PONTE ESISTENTE

Nel 1864, su progetto dell'ingegner *Gualini* di Milano, fu costruito il ponte esistente in muratura, 15 metri più a monte rispetto al precedente.

Il ponte è costituito da nove campate di luce 18.90 m ognuna, per una lunghezza totale di 175 m.

La struttura è realizzata con archi ribassati di tipo classico a mattoni pieni e a direttrice circolare.

La sottostruttura è realizzata con pile di tipo massiccio in muratura piena di mattoni così come è stato rilevato da perforazioni eseguite nel passato.

Analogamente, si ritiene che siano state realizzate le spalle per le quali, però, non si è mai provveduto ad effettuare sondaggi di tipo diretto.

4. INTERVENTI ESEGUITI NEGLI ANNI SUL PONTE ESISTENTE

4.1 ESAME DELLA DOCUMENTAZIONE ESISTENTE

Per la redazione del presente Progetto Esecutivo si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

1. Documenti conservati nell'archivio del Prof. *Francesco Martinez y Cabrera*, dai quali è stato possibile ricostruire la successione degli studi e degli interventi di cui è stato oggetto il Ponte;
2. “*Studio degli Effetti dell’abbassamento di quota della Briglia sulla Stabilità del Ponte sull’Adda, Traversa Interna S.S.235 di Orzinuovi – Relazione Idraulica*”, redatta dal Prof. Ing. *Pier Giorgio Malerba* e dal Dott. Ing. *Silvio Rossetti* nel Maggio 2006;
3. “*Studio Geologico di Prima Analisi per la Valutazione della Compatibilità Idraulica del Ponte Ottocentesco di Lodi con l’Abbassamento dell’Esistente Briglia di Valle. Relazione Geologica*”, redatta dal Dott. Geologo *Giovanni Bassi* nel Febbraio 2007.

4.2 INTERVENTI REALIZZATI STORICAMENTE SUL PONTE STORICO DI LODI

Nel corso degli anni, il Ponte è stato oggetto di lavori di adeguamento e di consolidamento. In particolare, si ricordano:

- gli interventi di consolidamento delle fondazioni dell'anno 1947;
- gli adeguamenti dell'impalcato del 1970;
- la realizzazione di passerelle pedonali a sbalzo del 2000;
- l'adeguamento delle fondazioni e gli interventi sul paramento murario del 2007.

4.2.1 Lavori di rinforzo delle fondazioni delle pile (1947)

L'intervento è consistito nella cerchiatura delle preesistenti fondazioni con pali trivellati accostati, a mutuo contatto. Di questi, N.12 pali portanti furono spinti fino alla profondità di 12 m a partire dalla base della pila (a 10 m stando alla contabilità dei lavori), mentre i rimanenti, spinti alla profondità di soli 2 m sotto la base, rivestivano una funzione di presidio contro il pericolo di erosioni della base stessa.

Nelle spalle si sarebbe invece prevista una semitura, a tergo, e N.13 pali portanti infissi.

Il collegamento dei pali fu realizzato attraverso un dente continuo che correva lungo tutto il perimetro della pila. Le parti del dente in corrispondenza degli opposti pali portanti furono collegate da tiranti, costituiti da tondi in acciaio.

Costruito il dente, attraverso fori disposti in doppia fila furono eseguite iniezioni al fine di consolidare il terreno contenuto tra i pali sino alla profondità di 4 m.

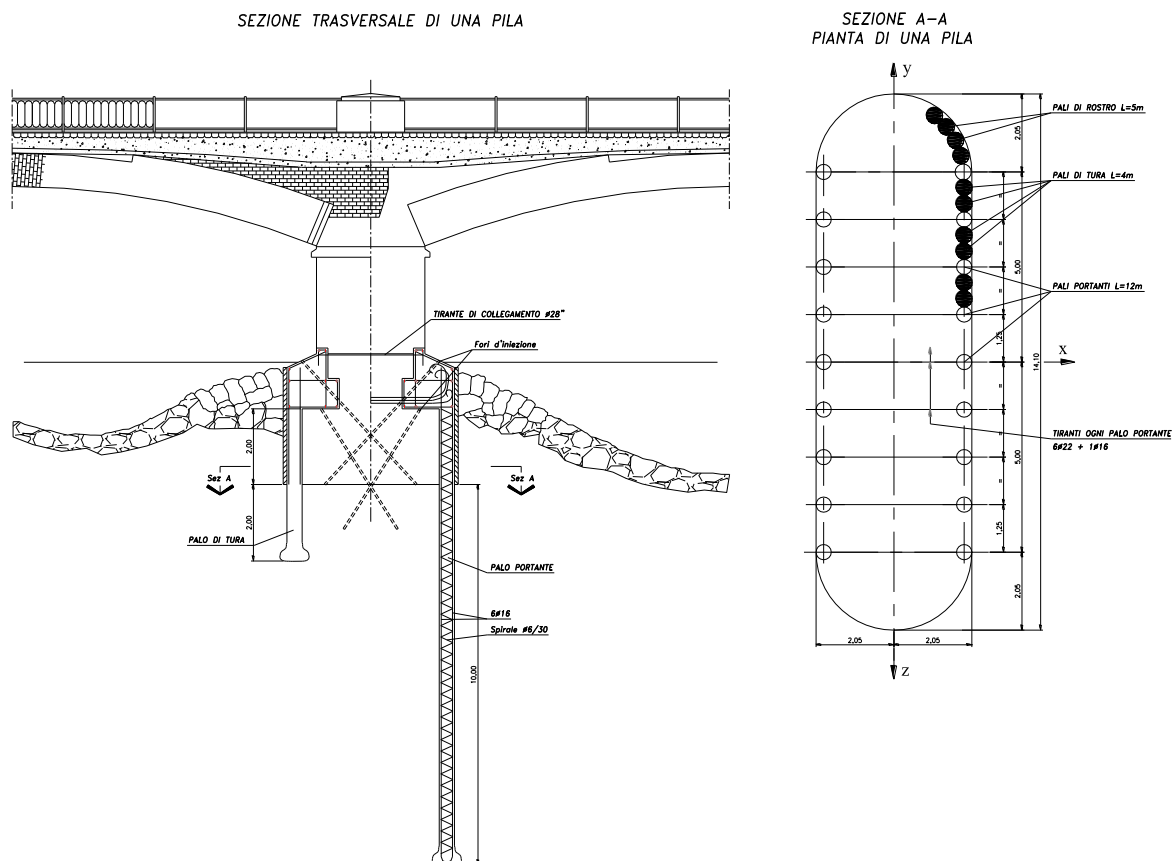


Fig.1 Lavori di rinforzo delle fondazioni delle pile (1947)

4.2.2 Interventi sull'impalcato (1970-71)

Nel 1970 il Comune di Lodi nominò una Commissione Tecnica, la quale, dopo una serie di sopralluoghi e sentiti i pareri del Prof. Ing. *Francesco Martinez y Cabrera* e Prof. Ing. *Meardi* del Politecnico di Milano, indicò all'Amministrazione comunale la necessità di eseguire alcuni lavori di ripristino sul Ponte.

Con deliberazione n. 447 del 05/05/1970 il Comune di Lodi affidò al Prof. *Martinez* l'incarico di progettazione dei lavori di consolidamento del Ponte.

Il 20 agosto 1970 furono comunicati al Prof. *Martinez* i risultati di una livellazione topografica

del ponte, sulla quale erano inoltre indicate le posizioni dei sondaggi eseguiti dalla *Società Fondedile*.

Il 28 settembre 1970, durante una riunione della Commissione Tecnica, l'Arch. *De Poli* della *Società Fondedile* riferì che solo poche tracce delle iniezioni di calcestruzzo previste dal progetto di ripristino del 1947 erano effettivamente state riscontrate nei blocchi di fondazione. Lo stato di degrado delle arcate, abbastanza spinto in alcune zone e comunque vario da punto a punto di una medesima arcata, e da arcata ad arcata, avrebbe reso estremamente laborioso e di esito incerto un loro recupero integrale ed un loro rinforzo. Questo, insieme alla necessità di mantenere integra la vecchia struttura esistente (in quanto inserita storicamente nell'ambiente e sotto controllo della Sovrintendenza dei Monumenti) portò all'elaborazione di una soluzione mirata a rendere indipendenti, da un punto di vista statico, l'impalcato dalle arcate, attribuendo a queste ultime unicamente il compito di portare se stesse e una parte del rifianco che non fu possibile demolire.

Venne così realizzata una nuova struttura portante, costituita da travi prefabbricate in c.a.p. rettilinee, adeguatamente mascherate e poggianti (con opportuni adattamenti) sulle pile esistenti, montate sulla luce di 18,90m, ad interasse 1,11m; assemblate alla soletta gettata in opera, le travi in c.a.p. realizzano un impalcato a sezione mista del tutto indipendente, sotto l'aspetto statico, dalle arcate.

La sede dell'impalcato così ottenuto risultò essere di qualche centimetro più alta rispetto alla quota originale, lasciando un'intercapedine longitudinale tra vecchia e nuova struttura, che, realizzando una zona d'ombra, rende indipendenti le due parti strutturali.

Per quanto riguardava le pile, il Prof. *Martinez* giudicò discrete le loro condizioni, mentre, stante la completa assenza di tracce di iniezioni effettuate nel 1947, espresse dubbi sull'efficacia statica delle fondazioni.

Il 16 settembre 1971 i lavori di ripristino del ponte furono affidati all'*Impresa Maggioni S.p.A.* di Milano.

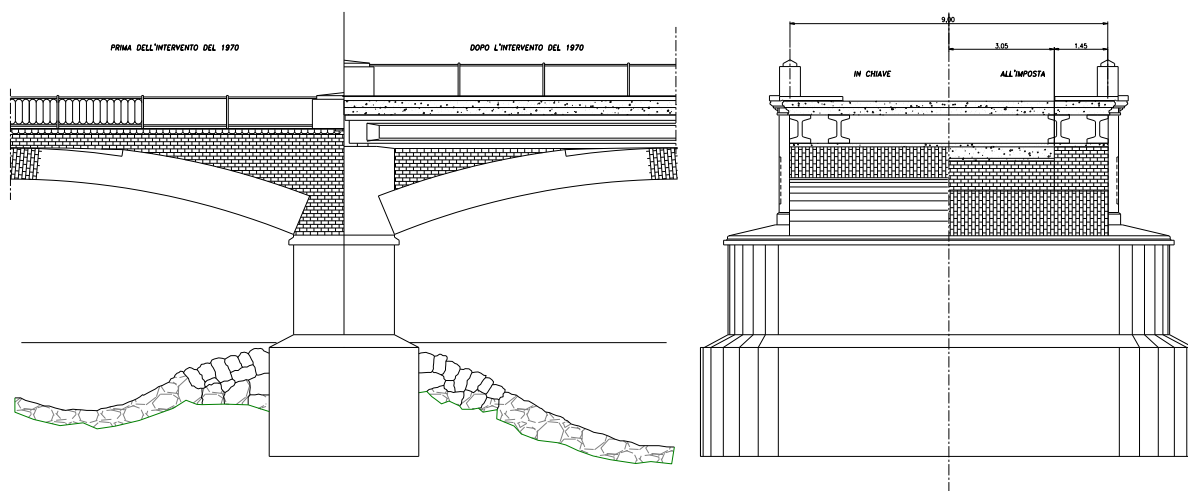


Fig.2 Interventi di adeguamento dell'impalcato (1970)

4.3 INTERVENTI DEL 2000

Nel 2000 furono realizzate due passerelle ciclopedonali, una sul lato di monte e una sul lato di valle, a sbalzo dell'impalcato esistente.



Fig.3 Passerelle ciclopedonali – viste da valle (sx) e da monte (dx) (2000)

4.4 INCREMENTO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DELLE FONDAZIONI (2007)

Nel 2006, su incarico dell'Amministrazione comunale di Lodi, venne redatto uno Studio, condotto dal Dott. Ing. *Silvio Rossetti* per la parte Idraulica e dal Prof. Ing. *Pier Giorgio*

Malerba per la parte strutturale, finalizzato alla valutazione della compatibilità del Ponte Storico di Lodi con il regime idraulico del F. Adda, in relazione ai possibili scenari di abbassamento dell'esistente briglia di valle.

Tale Studio permise di concludere che gli effetti del proposto abbassamento di 1m della quota di coronamento della briglia idraulica a valle del Ponte avrebbe comportato, sulla stabilità del ponte, effetti positivi a grande scala, con modestissimi effetti negativi locali.

Lo stesso studio permise di evidenziare anche che, indipendentemente dagli effetti dell'abbassamento della briglia, il ponte presentava comunque problemi di stabilità delle fondazioni. Emergeva quindi la necessità di eseguire sulle strutture del ponte opere di rinforzo e di risanamento consistenti in:

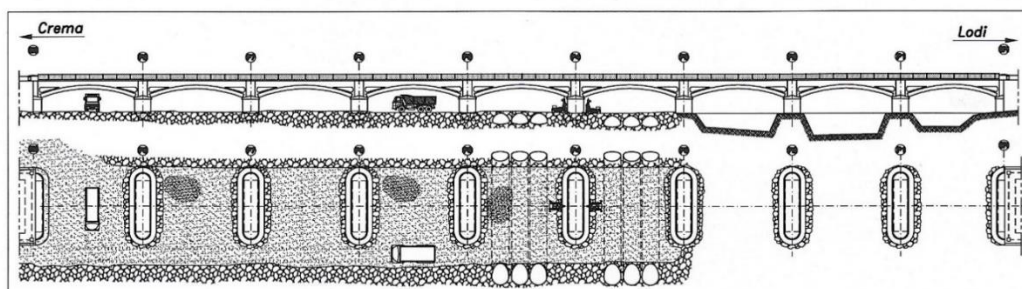
- interventi strutturali, mirati al rinforzo delle fondazioni esistenti mediante la realizzazione di micropali portanti, adeguatamente collegati al corpo delle pile e delle spalle in muratura.
- interventi di ripristino murario, volti invece a sistemare la muratura localmente danneggiata e a ripristinare i sistemi di scolo e dreno delle acque, causa di percolazioni lungo le strutture.

Pertanto, con lettera del 06 settembre 2006 Prot. n. 27822, il Comune di Lodi, Settore 6 – Pianificazione e Gestione del Territorio, affidava l'incarico per la *“Progettazione Definitiva ed Esecutiva degli Interventi di Consolidamento Statico–Strutturale delle Fondazioni del Ponte Storico sul Fiume Adda, di Abbassamento della Quota di coronamento della Briglia Fluviale a Valle del Ponte medesimo e di Consolidamento delle Sponde dell'Isolotto a Valle della Briglia Fluviale”* all'A.T.I. formata dal Prof. Ing. *Pier Giorgio Malerba* (per gli aspetti strutturali) e l'Associazione Professionale *Studio Paoletti Ingegneri Associati* e la Società *ETATEC S.r.l.* (per gli aspetti idraulici).

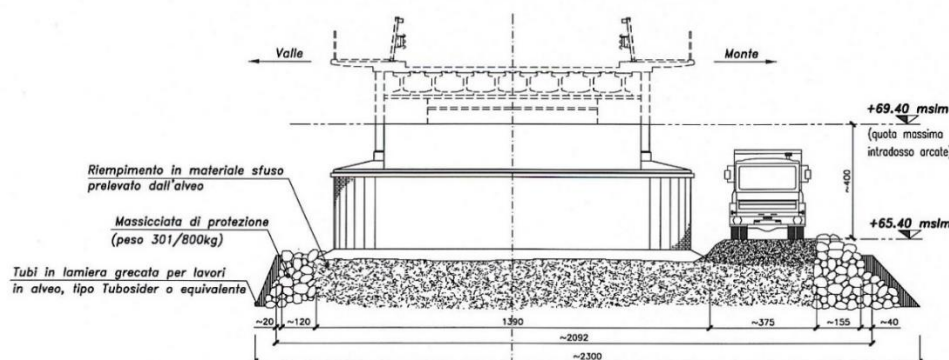
L'incremento della capacità portante della fondazione di ciascuna pila fu realizzato mediante la formazione di 20 micropali portanti, aventi lunghezza totale di 24 m e un carico massimo di esercizio/ammissibile di 889 kN ciascuno.

Una volta completati i micropali, i vecchi cordoli sono stati demoliti e sostituiti da nuovi cordoli in c.a.. Al fine di garantire un collegamento efficace tra la nuova fondazione e la pila in muratura, sono stati disposti tiranti orizzontali realizzati con barre INOX tipo DYWIDAG 1080/1230, post-tese. Per i getti localizzati sono stati utilizzati casseri a perdere.

L'intervento strutturale di consolidamento con i pali è stato coordinato con un intervento di sistemazione dell'alveo; infatti, per sua natura il micropalo garantisce buone prestazioni in termini di carichi verticali, ma in generale ciò non vale per azioni orizzontali. È stato quindi necessario stabilizzare la base della singola pila con mantellate in massi di media/grossa pezzatura, alle quali è stata affidata la protezione nei confronti dello scalzamento della pila stessa.



MODALITA' D'ESECUZIONE AREA DI LAVORO



SEQUENZA LAVORAZIONI STRUTTURALI

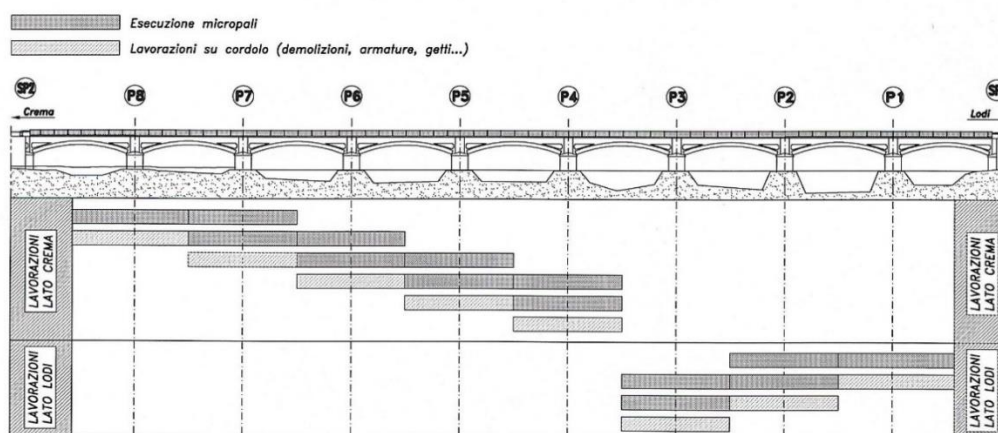


Fig.4 Intervento per l'aumento della capacità portante delle pile (2007) – Modalità esecutive

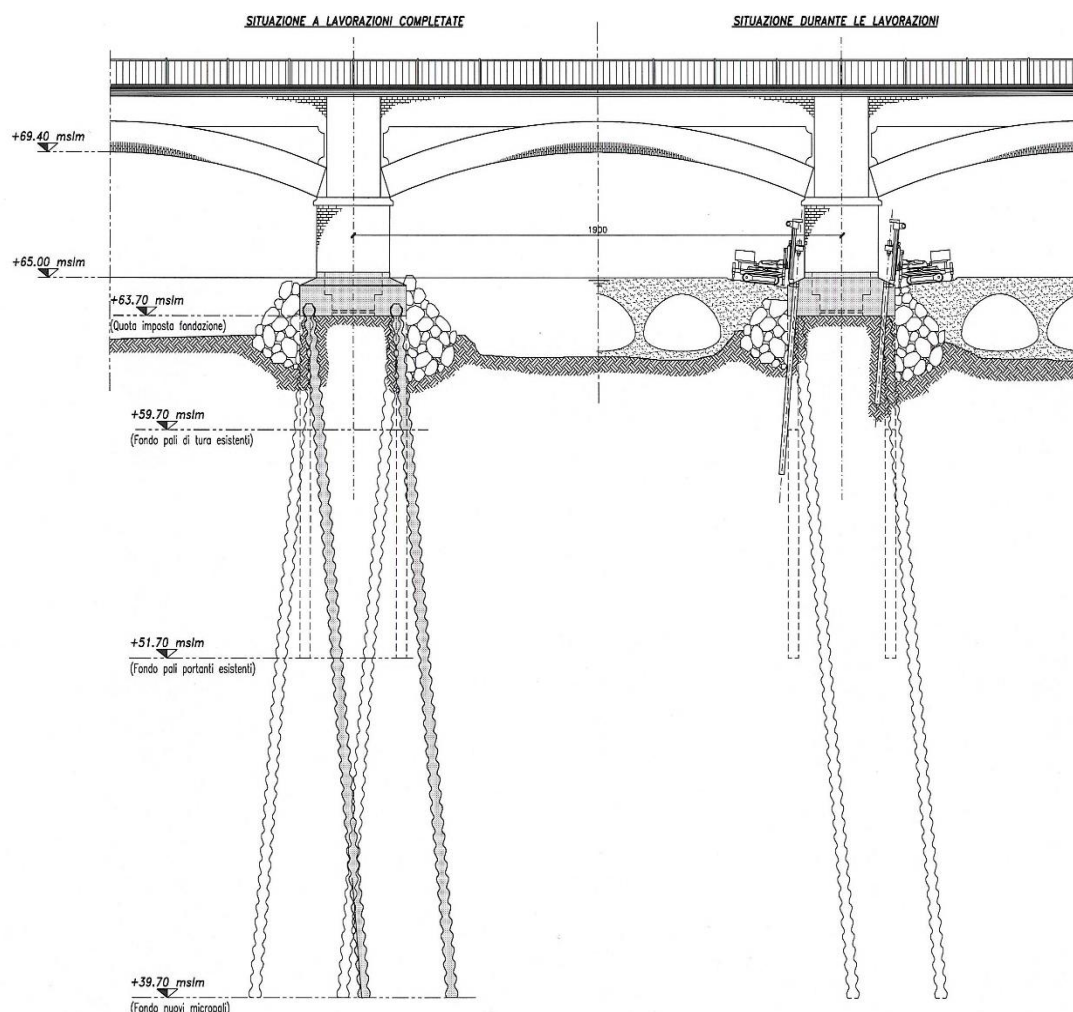


Fig.5 Intervento per l'aumento della capacità portante delle pile (2007)
Disposizione e lunghezza dei micropali

Essendo prevista, per ciascuna pila, la demolizione del cordolo esistente, per ridurre al minimo la diminuzione della capacità portante dovuta alla parzializzazione della fondazione, si è seguita la seguente procedura:

- suddivisione del cordolo in 6 conci;
- inizio delle demolizioni sul 1° concio;
- fine delle demolizioni sul 1° concio;
- inizio perforazioni orizzontali sul 1° concio;
- inizio delle demolizioni sul 2° concio;
- posa armature, tiranti orizzontali in barra e casseri per il 1° concio;
- fine delle demolizioni sul 2° concio;

- posa armature, tiranti orizzontali in barra e casseri per il 2° concio;
- getto 1° concio;
- getto 2° concio.

Le demolizioni sono state eseguite con mezzi meccanici e/o a mano, e comunque con modalità non così invasive da poter pregiudicare la stabilità della struttura.

I tiranti orizzontali sono stati realizzati con barre INOX tipo DYWIDAG 1080/1230, post-tese, che garantiscono elevata durabilità ad un elemento strutturale fondamentale nel collegamento tra la nuova fondazione e la pila in muratura.

Le specifiche costruttive sono state definite per garantire un'adeguata durabilità alla struttura, anche nei confronti di un ambiente aggressivo come quello caratteristico di un alveo fluviale.

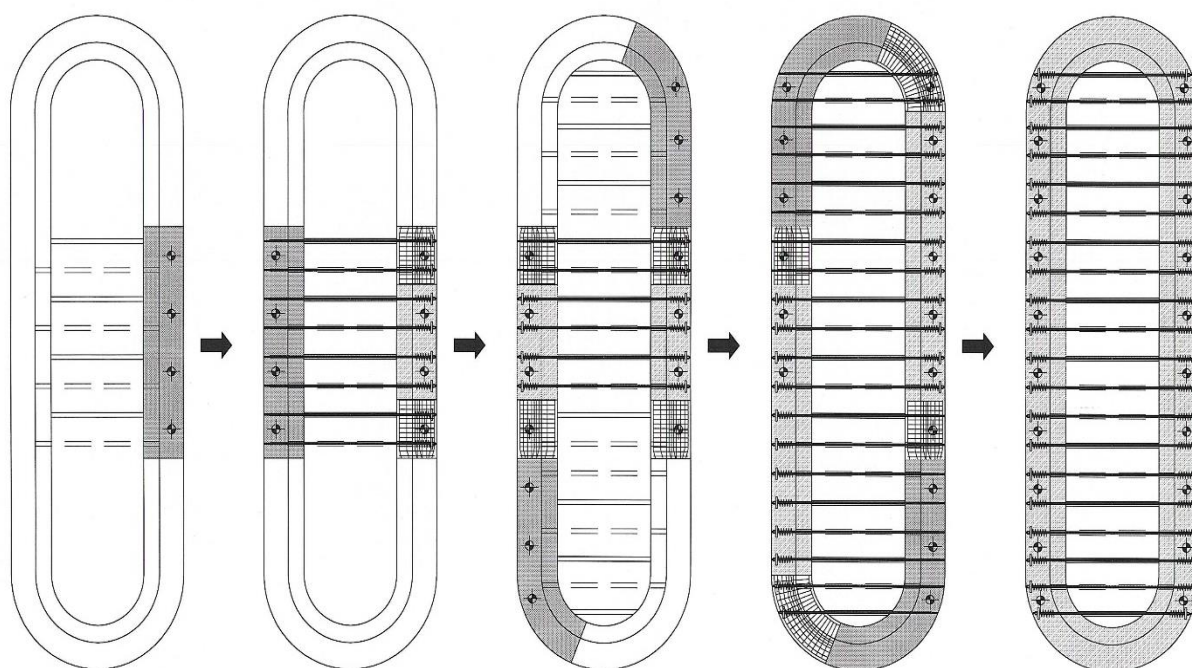


Fig.6 Sequenze di avanzamento delle lavorazioni sul cordolo (dopo l'esecuzione dei micropali).

Le operazioni strutturali sono state integrate con una serie di interventi sulle murature, volti a risanare parti di superfici danneggiate e a migliorare la funzionalità dei sistemi di drenaggio della struttura, sostituendo quelli esistenti ed integrandoli con altri nuovi.



Fig.7 Intervento per l'aumento della capacità portante delle pile (2007)
Fase di cantiere relativa agli interventi sulle pile verso la sponda sinistra



Fig.8 Intervento per l'aumento della capacità portante delle pile (2007) – rifacimento colpetto



Fig.9 Intervento per l'aumento della capacità portante delle pile (2007) – rifacimento colpetto



Fig. 10: Intervento per l'aumento della capacità portante delle pile (2007) – rifacimento colpetto Fase di cantiere relativa agli interventi sulle pile verso la sponda sinistra

5. MATERIALI COSTITUENTI IL PONTE

Come detto, il Ponte Storico di Lodi è stato costruito, interamente in muratura, nel 1864, su progetto dell'ingegner Gualini di Milano.

Tutta la sottostruttura del ponte, costituita dalle N.8 pile in alveo e dai N.9 archi ribassati di campata di tipo classico e a direttrice circolare è realizzata in muratura piena di mattoni così come è stato rilevato da perforazioni eseguite in passato a carico delle pile.

Le recenti indagini geognostiche, eseguite nel luglio 2021 (*BEDUSCHI GEOTECNICA di Beduschi Giovanni e C. S.r.l.*), hanno confermato che anche la spalla sinistra è stata realizzata in muratura piena di mattoni.

L'impalcato, anch'esso originariamente in muratura di mattoni pieni, è stato modificato, su progetto del Prof. Ing. *Francesco Martinez y Cabrera*, che elaborò una soluzione mirata a rendere indipendenti, da un punto di vista statico, l'impalcato dalle arcate, attribuendo a queste ultime unicamente il compito di portare se stesse e una parte del rinfiango che non fu possibile demolire.

Venne così realizzata una nuova struttura portante, costituita da travi prefabbricate in c.a.p. rettilinee, adeguatamente mascherate e poggianti (con opportuni adattamenti) sulle pile esistenti, montate sulla luce di 18,90m, ad interasse 1,11m; assemblate alla soletta gettata in opera, le travi in c.a.p. realizzano un impalcato a sezione mista del tutto indipendente, sotto l'aspetto statico, dalle arcate.

Le fondazioni delle N.8 pile in alveo e delle spalle destra e sinistra sono costituita da plinti in calcestruzzo, aventi base più ampia rispetto all'impronta a terra delle pile e delle spalle stesse, rinforzati a più riprese (1947 – 2007) mediante infissione di pali portanti.

Dalle citate indagini geognostiche del luglio 2021 e più in particolare dall'esame delle carote, è emersa una condizione di sostanziale integrità dei materiali costituenti la spalla: calcestruzzo per il basamento di fondazione e muratura di mattoni pieni per la parte sovrastante (Fig. 5.1).



Fig. 11: Carote di materiale estratte durante i sondaggi

Per il dettaglio delle indagini eseguite e dei risultati si rimanda alla *Relazione sulle indagini diagnostiche sulla spalla sinistra del Ponte Storico* (a cura di BEDUSCHI GEOTECNICA di Beduschi Giovanni S.r.l.) allegata al presente Progetto (Elaborato n. A.02.04).

Assago, dicembre 2022

I PROGETTISTI

Dott. Ing. Silvio Rossetti

Dott. Ing. Alessandra Bertoglio

IL CONSULENTE PER LA PARTE STRUTTURALE

Prof. Ing. Pier Giorgio Malerba