

LOTTO FUNZIONALE PRIORITARIO –  
TRATTO DA SAN ROCCO AL PORTO (LO)  
A STAGNO LOMBARDO (CR) – DELLA  
CICLOVIA TURISTICA NAZIONALE VENTO

**VENTO**<sup>®</sup>

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**  
**Ponte SP196 di Maccastorna - Crotta d'Adda**

**COMMITTENTE:**

Agenzia Interregionale per il fiume Po  
Ufficio operativo di Cremona

R.U.P. : Ing. Alessio Picarelli

D.E.C. : Geom. Fernando Altobello

Coordinatore dei progetti: Dott. Christian Farioli

CUP : B17C20000070002

**RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Lino Pollastri

**Progettisti:**

Arch. Enrico Costa  
Arch. Renato Da Re  
Ing. Elena Guerzoni  
Ing. Elettra Lowenthal  
Arch. Gianluca Parcianello  
Arch. Lio Parcianello  
Ing. Mauro Perini (DT)  
Ing. Alessandro Placucci  
Ing. Lino Pollastri  
Ing. Francesco Seneci

**Progettista strutturale:**

Ing. Lorena Ragnacci

**Geologo:**

Dott. Geol. Mirko Demozzi



MATE Soc. Coop.va  
C.F./p.IVA 03419611201  
pec mateng@legalmail.it  
mateng@mateng.it

Via S.Felice 21  
40122 Bologna (BO)  
T +39 051 29 12 911



Parcianello & Partners engineering s.r.l.

C.F./p.IVA 01041760255  
pec studio@pec.studioparcianello.com  
studio@studioparcianello.com

Via G. Matteotti 30/d  
32016 Alpage - Farra (BL)  
T +39 043 74 6100



Coopprogetti Soc. Coop.  
C.F./p.IVA 00424850543  
pec coopprogetti@pec.it  
staff@coopprogetti.it

Via della Piaggiola 152  
06024 Gubbio (PG)  
T +39 075 92 3011



NetMobility s.r.l.  
C.F./p.IVA 03184140238  
pec netmobility@pec.it  
netmobility@netmobility.it

Via G. Morgagni 24  
37135 Verona (VR)  
T +39 045 82 50 176

**OGGETTO:**

**ELABORATI GRAFICI**

**ANALISI STORICO CRITICA E SUI  
MATERIALI**

**AIPO20050**

cod. commessa

DATA:

SCALA:

REVISIONE:

**D 1 5**

num. elaborato

Aprile 2022

-

0

REDATTO: LR

APPROVATO: LP

VERIFICATO: MP

## **SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI STORICO CRITICA .....</b>	<b>2</b>
2.1	Documentazione disponibile .....	2
<b>3</b>	<b>VERIFICA IN SITU – SOPRALLUOGO E RILIEVO FOTOGRAFICO .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>VERIFICA GEOMETRIA .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE MATERIALI E LIVELLO DI CONOSCENZA .....</b>	<b>5</b>
5.1	Caratteristiche materiali di progetto .....	5
5.2	Livello di conoscenza e fattore di confidenza .....	8

## 1 INTRODUZIONE

La **valutazione della sicurezza** di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni (statiche e sismiche) che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla vigente normativa.

Nella valutazione della sicurezza deve essere esplicitato, esprimendolo in termini di **rapporto fra capacità e domanda**, il livello di sicurezza della struttura al suo stato attuale.

Nell'ambito della determinazione dei vari livelli di sicurezza, gioca un ruolo certamente fondamentale il **livello di conoscenza** della struttura in termini di materiali, procedimenti progettuali originari e stato di degrado delle opere. Per poter avere un adeguato livello di conoscenza dello stato di consistenza delle varie opere, oltre che reperire tutto il materiale originario di progetto (sia esso composto da elaborati di progetto, elaborati di contabilità e quant'altro disponibile) è necessario effettuare una adeguata campagna di indagini materiche prevedendo prove di natura sia invasiva che non, ubicando le stesse in ambiti sensibili determinati dal progettista, fondamentali per la staticità dell'opera, nell'obiettivo di un corretto dimensionamento strutturale. Nei paragrafi che seguono, quindi, viene riportata un'analisi storico critica della struttura in oggetto.

## 2 ANALISI STORICO CRITICA

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modifiche subite nel tempo della costruzione, nonché gli eventi che l'hanno interessata.

Si riporta di seguito quanto descritto nella Circolare del 2019 al punto C8.5.1 in merito all'analisi storico-critica:

### **C8.5.1 ANALISI STORICO-CRITICA**

La conoscenza della storia di un fabbricato è elemento indispensabile, sia per la valutazione della sicurezza attuale, sia per la definizione degli interventi e la previsione della loro efficacia.

L'analisi storica deve essere finalizzata a comprendere le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, i cimenti subiti dall'edificio e, particolarmente frequenti nelle costruzioni in muratura, le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario. In tal senso l'indagine storica diventa indagine critica e fonte, per eccellenza, di documentazione e conoscenza finalizzate all'interpretazione del comportamento strutturale.

L'analisi inizia con il reperire tutti i documenti disponibili sulle origini del fabbricato quali, ad esempio, elaborati e relazioni progettuali della prima realizzazione della costruzione e di eventuali successivi interventi, elaborati e rilievi già prodotti, eventuali relazioni di collaudo e riguarda:

- l'epoca di costruzione;
- le tecniche, le regole costruttive e, se esistenti, le norme tecniche dell'epoca di costruzione;
- la forma originaria e le successive modifiche;
- i traumi subiti e le alterazioni delle condizioni al contorno;
- le deformazioni, i dissesti e i quadri fessurativi, con indicazioni, ove possibile, della loro evoluzione nel tempo;
- gli interventi di consolidamento pregressi;
- gli aspetti urbanistici e storici che hanno regolato lo sviluppo dell'aggregato edilizio di cui l'edificio è parte.

Risulta, in generale, utile anche la conoscenza delle patologie o delle carenze costruttive evidenziate da edifici simili per tipologia ed epoca di costruzione.

### 2.1 Documentazione disponibile

Il primo passo per ricostruire la storia della struttura è stato il recupero, presso gli archivi della Provincia, di tutta la documentazione disponibile sulle origini della struttura quali, ad esempio, elaborati grafici e relazioni progettuali originali della realizzazione del viadotto e i successivi interventi di modifica o manutenzione.

- Profilo longitudinale
- Spalle armatura metallica
- Spalle relazione di calcolo
- Pianta palificata
- Pile carpenteria
- Pile (2 – 5) armatura metallica – pali – traverso – pilastri
- Pile (2 – 5) armatura metallica del capitello
- Pile (1,6) armatura metallica – pali – traverso – pilastri
- Pile (1,6) armatura metallica del capitello
- Impalcato in CAP L = 29.90 m
- Impalcato in CAP L = 29.90 m travi di bordo tracciamento cavi
- Impalcato in CAP L = 29.90 m travi centrali tracciamento cavi
- Impalcato in CAP L = 29.90 m armatura metallica
- Appoggi impalcato – relazione di calcolo
- Certificato di prova
- Relazione geotecnica

### **3 VERIFICA IN SITU – SOPRALLUOGO E RILIEVO FOTOGRAFICO**

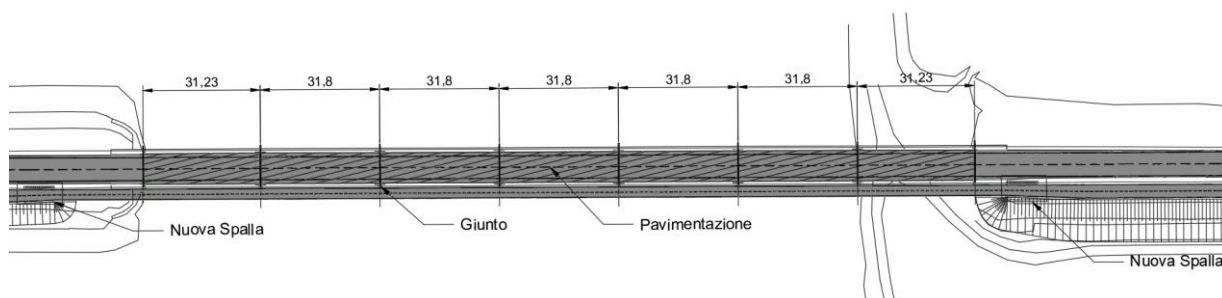
L'analisi del viadotto riportata in questo documento si basa sui dati raccolti durante un sopralluogo fatto dai progettisti, da un rilievo visivo a campione e dalla verifica dell'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.





#### 4 VERIFICA GEOMETRIA

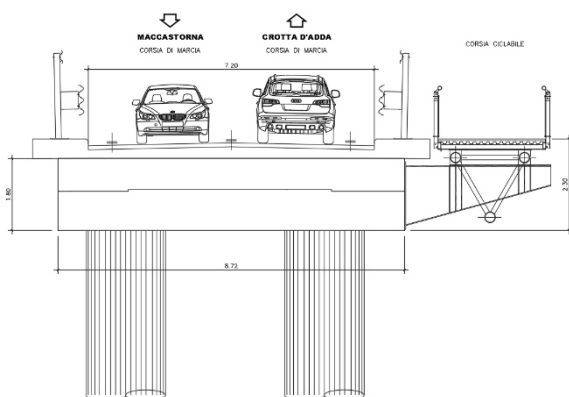
La geometria del modello generale dell'opera è stata costruita sulla base di un rilievo topografico.



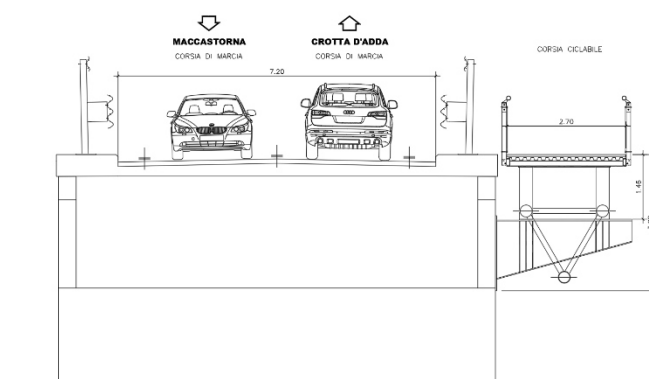
**Planimetria dell'intervento**

E da questo rilievo sono stati individuate le seguenti sezioni trasversali tipo.

**SEZIONE CORRENTE SULLE PILE**

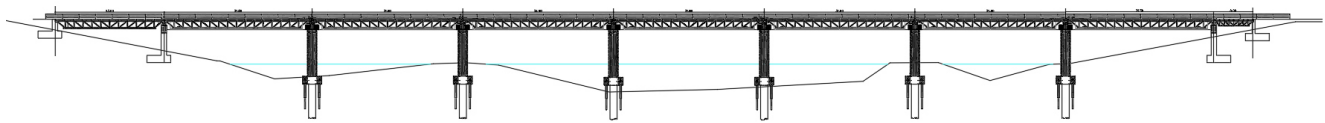


**SEZIONE CORRENTE SULLE SPALLE**



**Sezioni trasversali**

PROSPETTO



Prospetto dell'intervento postoperam

## 5 CARATTERIZZAZIONE MATERIALI E LIVELLO DI CONOSCENZA

### 5.1 Caratteristiche materiali di progetto

Il progetto prevede la realizzazione della nuova passerella sul Fiume Adda che collega i Comuni di Maccastorna a Crotta d'Adda. La nuova opera verrà realizzata in adiacenza alla struttura del ponte esistente della SP196 denominato "Ponte Maccastorna" sul lato di valle ancorandola all'impalcata viabile del ponte.

Per quanto riguarda l'opera esistente è previsto l'adeguamento statico dell'impalcato e sismico di tutta la struttura.

A seguito di quanto sopra detto si ritiene lecito assumere un fattore di confidenza **FC=1,00**, pari cioè ad un **livello di conoscenza LC3**.

Per determinare i parametri di resistenza dei materiali che compongono le sezioni oggetto di verifica si procede a individuare i valori ottenuti dalle indagini secondo le indicazioni riportate all'interno delle "Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti" allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019.

Il valore di calcolo per i materiali prima riportato viene determinato come il minimo tra il valore medio diviso per il fattore di confidenza F.C. e il fattore parziale e il valore caratteristico diviso per il fattore di confidenza F.C.

$$f_{yd} = \min(f_{ym}/(FC \cdot \gamma) ; f_{yk}/FC)$$

$$f_{cd} = \min(f_{cm}/(FC \cdot \gamma) ; f_{ck}/FC)$$

Per la valutazione del valore caratteristico, le Linee Guida consigliando di usare la seguente modalità, basata nelle seguenti ipotesi:

- Numero limitato di campioni (n)
- Distribuzione log-normale dei parametri

In base a queste due ipotesi si procede a calcolare la media e la deviazione standard campionarie dei logaritmi con le seguenti equazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

Dopodiché alla media stimata  $\mu$  viene sottratto l'errore standard dello stimatore, ottenendo una stima del sedicesimo percentile della distribuzione media campionaria:

$$\bar{\mu}_{0.16} = \bar{\mu} - \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

E per calcolare il valore caratteristico considerando la distribuzione log-normale si utilizza la seguente equazione.

$$\hat{x}_{0.05} = e^{\bar{\mu}_{0.16} - 1.64\bar{\sigma}}$$

I calcoli per i valori caratteristici per ogni caso vengono riportate nelle seguenti tabelle sia per la resistenza unitaria a compressione che per la tensione di snervamento.

Si riportano nella tabella seguente le caratteristiche meccaniche dei materiali ottenute a seguito del piano indagini svolto sull'opera:

RESISTENZA A COMPRESSIONE DI CAROTE DI CALCESTRUZZO		
Provino	Elemento Strutturale	Resistenza (MPa)
S2-C1	Spalla	55,7
P1-C1	Pila	61,5
P3-C1	Pila	52,7
P5-C1	Pila	40,3
F1-C1	Fondazione	63,1
T1-C1	Pulvino	58,8
T4-C1	Pulvino	61,2
T5-C1	Pulvino	58,4
IMP1-C2	Impalcato	46,8
IMP2-C1	Impalcato	60,6
IMP2-C2	Impalcato	59,4
IMP3-C2	Impalcato	51,8
IMP4-C1	Impalcato	54,1
IMP4-C2	Impalcato	67,8

RESISTENZA A TRAZIONE BARRE DI ARMATURA			
Campione	Elemento Strutturale	Snervamento (MPa)	Rottura (MPa)
S2-A1	Spalla	500,7	731,5
P1-A1	Pila	466,9	678,9
P3-A1	Pila	400,6	582,6
P5-A1	Pila	349,1	498,0
F1-A1	Fondazione	473,6	689,9
T1-A1	Pulvino	431,8	671,0
T4-A1	Pulvino	467,0	718,0
T5-A1	Pulvino	466,4	703,5
IMP1-A2	Impalcato	500,0	760,4
IMP2-A1	Impalcato	432,4	672,2
IMP2-A2	Impalcato	498,1	759,8

Per l'analisi della resistenza dei materiali vengono individuate due gruppi di provini sia per il calcestruzzo che per le barre di armatura. Il primo gruppo è composto dalle prove fatte su le sottostrutture (spalle, pile, fondazioni e pulvini) mentre che il secondo gruppo è composto dalle prove fatte sull'impalcato.

RESISTENZA DEI MATERIALI SOTTOSTRUTTURE

Valutazione della resistenza del cls  
secondo le linee guida per ponti

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

$\mu$	4,03	
$\sigma$	0,14	
$\mu_{0,16}$	3,97	
$x_{0,05}$	42	MPa

$$\bar{\mu}_{0,16} = \bar{\mu} - \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

$$\hat{x}_{0,05} = e^{\bar{\mu}_{0,16} - 1.64\bar{\sigma}}$$

Valutazione della tensione di  
snervamento linee guida per ponti

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

$\mu$	6,09	
$\sigma$	0,12	
$\mu_{0,16}$	6,05	
$x_{0,05}$	350	MPa

Valutazione della tensione di rottura  
linee guida per ponti

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

$\mu$	6,48	
$\sigma$	0,13	
$\mu_{0,16}$	6,44	
$x_{0,05}$	505	MPa

RESISTENZA DEI MATERIALI IMPALCATO

Valutazione della resistenza del cls  
secondo le linee guida per ponti

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

$\mu$	4,03	
$\sigma$	0,13	
$\mu_{0,16}$	3,98	
$x_{0,05}$	43	MPa

$$\bar{\mu}_{0,16} = \bar{\mu} - \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

$$\hat{x}_{0,05} = e^{\bar{\mu}_{0,16} - 1.64\bar{\sigma}}$$

Valutazione della tensione di  
snervamento linee guida per ponti

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

$\mu$	6,16	
$\sigma$	0,08	
$\mu_{0,16}$	6,12	
$x_{0,05}$	396	MPa

Valutazione della tensione di rottura  
linee guida per ponti

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2} \end{array} \right.$$

$\mu$	6,59	
$\sigma$	0,07	
$\mu_{0,16}$	6,55	
$x_{0,05}$	623	MPa

I parametri meccanici relativi all'acciaio ed al calcestruzzo utilizzati nelle verifiche per gli elementi esistenti sono:

Sottostrutture			
Calcestruzzo	$f_{ck}$	42	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio (snervamento)	$f_{yk}$	350	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio (rottura)	$f_{uk}$	505	N/mm <sup>2</sup>
Impalcato			
Calcestruzzo	$f_{ck}$	43	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio (snervamento)	$f_{yk}$	396	N/mm <sup>2</sup>
Acciaio (rottura)	$f_{uk}$	623	N/mm <sup>2</sup>

## 5.2 Livello di conoscenza e fattore di confidenza

Le conoscenze attuali per il viadotto in oggetto, sulla base di quanto esposto nel paragrafo precedente, permettono di assumere un fattore di confidenza **FC=1,00**, pari cioè ad un **livello di conoscenza LC3**.