



PROVINCIA DI RAVENNA
SETTORE LAVORI PUBBLICI
Servizio Infrastrutture viarie e programmazione

**D.M. 49/2018 _ INTERVENTO DI ADEGUAMENTO STATICO E
SISMICO DEL PONTE DELLA CHIUSA SUL FIUME SENIO POSTO AL
KM 10+131 DELLA S.P.306R CASOLANA RIOLESE
CUP J73D18000090001**

PROGETTO ESECUTIVO

Presidente: Sig. Michele De Pascale		Consigliere delegato Strade - Trasporti - Pianificazione Territoriale: Arch. Nicola Pasi			
Dirigente responsabile del Settore: Ing. Paolo Nobile		Responsabile del Servizio.: Ing. Chiara Bentini			
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO :		Ing. Paolo Nobile	_____		
			<i>Documento firmato digitalmente</i>		
PROGETTISTA :		Ing. Ivan Missiroli	_____		
			<i>Documento firmato digitalmente</i>		
COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE :		Ing. Ivan Missiroli	_____		
			<i>Documento firmato digitalmente</i>		
0	EMISSIONE				
Rev.	Descrizione	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data:

TITOLO ELABORATO:

**ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI
ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE**

Elaborato num:	Revisione:	Data:	Scala:	Nome file:
3.5	-		-	

PREMESSA

La presente relazione tecnica illustra le principali tematiche affrontate nella progettazione dei lavori in oggetto.

La SP 306 R Casolana – Riolese, ex strada statale, risulta il principale collegamento viario tra la vallata del fiume Senio e la SS n°9 Via Emilia e quindi con la Pianura Padana, che viene intesa come il più grande sistema intermodale di viabilità dell'Emilia Romagna.

La strada oggetto dell'intervento costeggia il fiume Senio che scorre da Ovest verso Est per dirigersi verso Nord-Est e confluire nel Fiume Reno prima di raggiungere la foce nel Mare Adriatico.

Il livello di traffico veicolare e di mezzi pesanti a cui è sottoposta l'infrastruttura viaria in esame è di notevole entità, sia in termini di numero di veicoli transitanti al giorno, sia in termini di massa degli stessi, in quanto la SP 306 R Casolana serve sia la viabilità globale su tutto il territorio della vallata del Senio, sia la viabilità locale nei singoli paesi che attraversa situati lungo il tracciato.

L'importanza strategica di tale asse viario e la necessità di garantire un servizio idoneo alla sua funzione hanno portato questa Provincia a predisporre più capitoli di intervento sulla SP 306 R Casolana-Riolese, in particolare in corrispondenza dei Comuni di Riolo Terme e Casola Valsenio, al fine di adeguare quanto più possibile, con le risorse economiche a disposizione, l'asse viario alle aumentate necessità di servizio ed a rispondere a requisiti sempre maggiori di sicurezza della viabilità.

Nell'ambito del progetto attuale, si prevede di intervenire sul Ponte Chiusa, uno dei principali attraversamenti del Fiume Senio presenti nel territorio del Comune di Riolo Terme alla PK 10+131, pertanto collocato verso Nord Est rispetto ai due stralci di intervento già effettuati.



1. Corografia dell'intervento sul Ponte della Chiusa



2. Vista aerea 3D della localizzazione del Ponte della Chiusa



3. Vista laterale dell'impalcato del Ponte della Chiusa

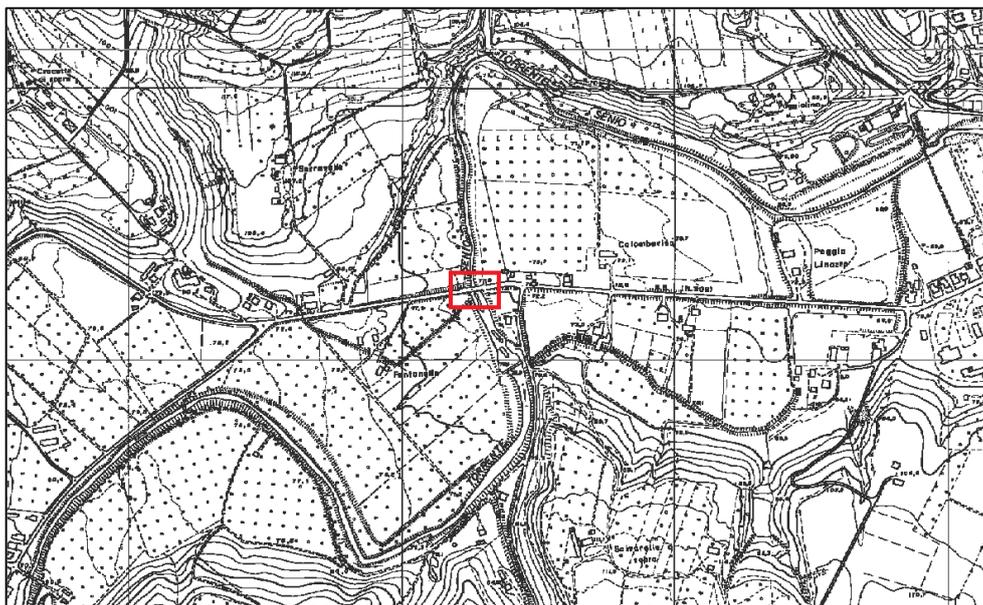
1. INQUADRAMENTO CATASTALE E SU CTR

Il Ponte della Chiusa insiste sui seguenti elaborati catastali del Catasto dei Fabbricati del Comune di Riolo Terme:

Foglio n° 23 , Mappali 74-75-324-325, Foglio n° 33 , Mappali 6-7-11



4. Inquadramento catastale del Ponte della Chiusa



5. Inquadramento su CTR del Ponte della Chiusa

2. DESCRIZIONE DELL'INFRASTRUTTURA ALLO STATO DI FATTO

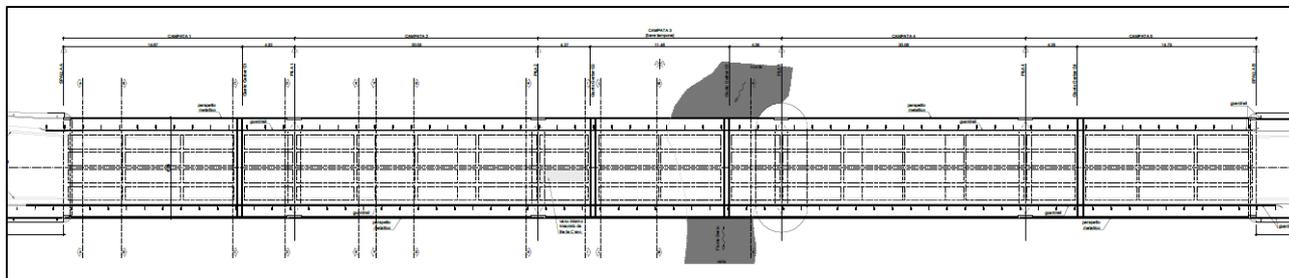
Il ponte in oggetto, ad asse longitudinale rettilineo, presenta due corsie di marcia per una larghezza della piattaforma stradale pari a 6,18 m e marciapiedi laterali di larghezza pari a 1,08 m cadauno, per una larghezza totale dell'impalcato di 8,34 m, mentre la lunghezza complessiva è pari a 98,08 m.

Documenti storici attestano la sua costruzione nella configurazione attuale agli inizi degli Anni '50, a seguito del bombardamento da parte delle truppe tedesche in ritirata oltre il fiume Senio del precedente impalcato, del quale sono rimaste intatte solamente le spalle e pile.

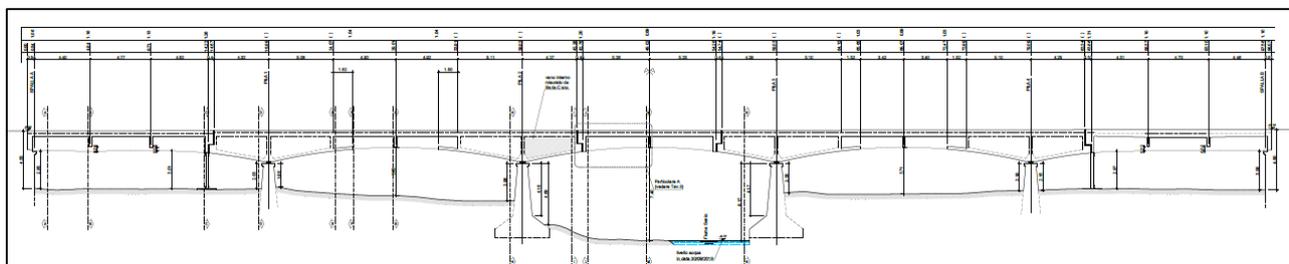
Esso presenta una struttura in conglomerato cementizio armato a 5 travate del tipo Gerber, con luci di circa 20 m ad interasse pile. L'impalcato stradale è costituito da una soletta di spessore di circa 20 cm, gravante su 5 travi principali di spessore medio pari a 30 cm ed altezza crescente dal centro delle campate verso gli appoggi da 90 cm a 230 cm, con traversi intermedi ed in corrispondenza degli appoggi.

Le 4 pile intermedie presentano larghezza variabile da 80 cm a 160 cm ed altezza complessiva di circa 7 m.

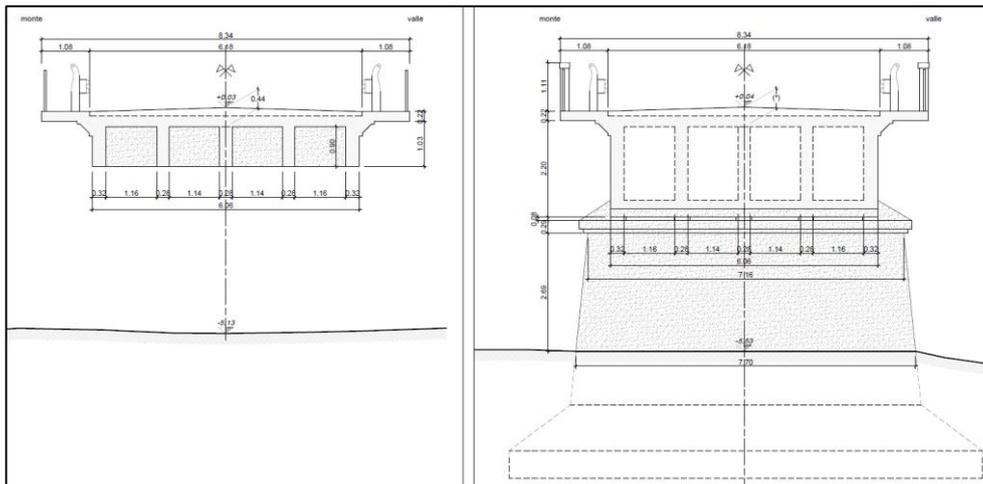
Da documentazione storica rinvenuta presso gli archivi documentali e sulla base di similitudine del presente ponte con altro esistente sul Fiume Lamone, si ritiene che le spalle e le pile, sempre in c.a., siano realizzate a parete sottile, con fondazioni presunte in pali infissi di lunghezza pari a circa 8m.



6. Pianta dell'impalcato



7. Sezione longitudinale



8. Sezioni trasversali tipologiche

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI PROGETTO

Il progetto si configura come una manutenzione straordinaria, in quanto consiste in diversi **interventi che si configurano come INTERVENTO LOCALE ma che portano ad un significativo incremento della resistenza del ponte nei confronti dei carichi verticali** in modo da permetterne l'esercizio nelle condizioni di sicurezza conferite dal rispetto della vigente normativa in materia di strutture e stradale.

La tipologia e morfologia del manufatto di carattere storico assumono valenza testimoniale dell'architettura del secondo dopoguerra, pertanto questo intervento si prefigge l'obiettivo di conservarne le dimensioni trasversali complessive, procedendo prioritariamente alla conservazione, manutenzione e rinforzo delle attuali strutture.

Il consolidamento prevede l'utilizzo di materiali strutturali compatibili con quelli esistenti, come tipologia e comportamento meccanico.

Gli interventi strutturali consistono in:

- **consolidamento estradossale della soletta dell'impalcato con calcestruzzo alleggerito connesso alla soletta esistente mediante barre in acciaio;**
- **ripristino dei copriferrì con malte cementizie ad alta resistenza;**
- **precompressione dei trasversi con tiranti tipo dywidag e piastre in acciaio di riscontro;**
- **aumento della resistenza delle travi in corrispondenza delle selle Gerber mediante posa di armatura esterna;**
- **aumento della resistenza delle sezioni strutturali con utilizzo di materiale in FRP a lamine e tessuti;**
- **cerchiatura in carpenteria metallica della sommità delle pile e realizzazione di telai in acciaio in aderenza alle spalle per garanzia dell' appoggio delle travi.**

Si prevede inoltre di non alterare i materiali di finitura, riproponendo i medesimi materiali oggi esistenti come pavimentazione stradale (calcestruzzo e conglomerato bituminoso) e restaurando il parapetto originario in ferro con disegno geometrico e pilastri in c.a.

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le normative prese come riferimento la progettazione strutturale sono:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"; **NTC 2018**
- **Circolare** del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";
- **Con i documenti 'in riferimento' previsti** dalle NTC vigenti.

5. INDAGINI, RILIEVI E VERIFICHE DELLO STATO DI FATTO

La fase di rilievo conoscitivo del manufatto ha visto i seguenti elementi di indagine:

Verifica sismica di opere infrastrutturali poste al servizio della rete stradale provinciale - Ponte sul Fiume Senio - km 10+081 SP n. 306R "Casolana Rialese" - Comune di Riolo Terme (Ravenna), ing. Baroni, 2015

Comprendente

- I. Caratterizzazione geomorfologica del sito mediante indagine geognostica e prove sulle terre;
- II. Caratterizzazione dei materiali da costruzione;
- III. Rilievo del quadro fessurativo e/o di degrado;
- IV. Rilevazione geometrica georeferita con tecnologia laser-scanner e correlata restituzione grafica.(Setec 2019)

Sono inoltre state prese a riferimento ed implementate con il presente progetto analisi e verifiche effettuate di recente:

Verifica di transitabilità del Ponte della Chiusa sul Fiume Senio posto al km 10+131 della SP 306 Casolana in relazione alle operazioni di trasporto e varo delle travi del realizzando ponte sul Rio Cà Brete e Relazione finale di interpretazione del monitoraggio dello stato deformativo del Ponte della Chiusa sul Fiume Senio ed interpretazione dei dati, ing. Missiroli, 2019.

Rimandando in toto agli elaborati specifici allegati alla presente relazione per quanto riguarda gli elementi I., II., IV. A., si ritiene doveroso soffermarsi su alcune considerazioni, meglio dettagliate negli elaborati specifici allegati, in merito ai documenti III. e Verifica di transitabilità'.

III. Rilievo del quadro fessurativo e di degrado

Il rilievo del quadro fessurativo e di degrado ha mostrato le seguenti criticità:

- ammaloramento/degrado delle spalle del ponte nelle facciate esposte agli agenti atmosferici e ai percolamenti di acque meteoriche (degrado naturale per mancanza o scarsa manutenzione);
- ammaloramento/degrado degli sbalzi della carreggiata (marciapiede) e nelle travi di impalcato con evidenza di ferri esposti;
- ammaloramento/degrado degli appoggi delle travi di impalcato sulle spalle;
- ammaloramento/degrado degli appoggi tipo selle gerber (tra travi di impalcato)

Inoltre ha evidenziato le seguenti vulnerabilità, che hanno dato spunto alle soluzioni progettuali attuate:

- sbalzi laterali dell'impalcato (marciapiedi) caratterizzati da notevole degrado/ammaloramento, in particolare causato dall'inefficienza del sistema di captazione e smaltimento delle acque;
- appoggi di tipo sella Gerber delle travi di impalcato ammalorati e con evidenza di ferri esposti;
- degrado dei parapetti metallici;
- degrado dei sistemi di appoggio tra le travi e pila/spalla;
- espulsione del copriferro in numerose zone con esposizione delle armature.

Verifica di transitabilità

La verifica di transitabilità svolta ha assunto un ruolo fondamentale della decisione di procedere ad un consolidamento del ponte esistente invece che alla sua demolizione e nuova costruzione.

La necessità di transitare sul ponte in oggetto con un trasporto eccezionale ha reso indispensabile uno studio accurato delle sezioni resistenti strutturali e delle tensioni a cui sarebbero state sottoposte col carico noto del mezzo pesante. Tali verifiche, con successivo monitoraggio deformativo delle campate dell'impalcato durante il transito del mezzo, hanno mostrato ottime capacità di risposta strutturale delle sezioni, compatibilmente con le sollecitazioni derivanti dalle normative esistenti all'epoca di costruzione, e risposta elastica delle stesse nei confronti dell'azione eccezionale derivante dal trasporto del mezzo pesante.

Alla luce di tali considerazioni, si ritiene oggi opportuno procedere con un intervento di conservazione del bene, mediante consolidamento strutturale finalizzato alla rispondenza alla normativa strutturale oggi vigente.

6. INTERFERENZE LINEE ESTERNE E LORO RISOLUZIONE

Attualmente all'impalcato del ponte Chiusa sono appese tubazioni e canalette di più enti, che permettono la distribuzione dei servizi essenziali alla vallata del fiume Senio. Tutte le tubazioni sono collocate sul lato della trave esterna dell'impalcato, sia lato monte che lato valle, a quota pari a circa -1m rispetto alla quota della pavimentazione.

Il progetto prevede due tipologie di intervento, classificabili in base alla disponibilità delle aree di cantiere:

- Lavori in intradosso impalcato;
- Lavori in estradosso impalcato.

Gli interventi da eseguirsi sopra l'impalcato, pur comportando interferenze con il traffico veicolare, argomento trattato nei paragrafi successivi della presente relazione, non comportano interferenze con le tubazioni dei servizi, pertanto le fasi di intervento sopra l'impalcato saranno oggetto di valutazioni di altra natura.

Gli interventi in intradosso, relativi al ripristino delle strutture in c.a. deteriorate, poiché comportano la demolizione e rimozione delle parti decoese di calcestruzzo, interessano la totalità delle superfici esposte, pertanto anche le aree in cui sono staffate le tubazioni di cui sopra.

Pertanto, si prevede di operare in maniera alternata sui prospetti del ponte in modo tale da poter rimuovere e riposizionare le tubazioni una volta completato il consolidamento.

In particolare si prevedono le seguenti fasi operative:

- a) Rimozione delle tubazioni dell'Acquedotto Termale non più in uso e spostamento provvisorio delle tubazioni attive dal prospetto di monte a quello di valle, mediante alloggiamento con staffature provvisorie;
- b) Interventi di consolidamento e ripristino del c.a. e predisposizione dei cavi di precompressione sul prospetto di monte, con installazione delle nuove staffe di alloggiamento dei servizi;
- c) Interruzione temporanea delle linee HERA e TELECOM e spostamento definitivo delle tubazioni di acqua e gas e della canaletta Telecom sul prospetto di monte e spostamento provvisorio delle tubazioni dell'Acquedotto Termale dal prospetto di valle a quello di monte in posizione temporanea;
- d) Interventi di consolidamento sul prospetto di valle con realizzazione nuovo alloggiamento dei servizi, secondo la stessa tipologia dell'altro prospetto;
- e) Spostamento definitivo delle tubazioni dell'Acquedotto Termale sul prospetto di valle.

Il collegamento delle nuove tubazioni alle reti esistenti lungo la provinciale, situate sul lato opposto a quello di progetto, avviene mediante attraversamenti sotto la sede stradale.

L'esecuzione delle trivellazioni orizzontali non comporta interferenze con le reti dell'impalcato né con le lavorazioni sullo stesso, pertanto verranno eseguite secondo i tempi definiti dal Cronoprogramma delle lavorazioni.

Anche i restanti interventi sull'intradosso del ponte, non presentano problematiche di gestione interferenze con i servizi di distribuzione sopra citati.

7. FASI OPERATIVE DI INTERVENTO E GESTIONE DEL TRAFFICO VEICOLARE

L'intervento di consolidamento dell'impalcato, come già riportato, riguarda sia l'intradosso che l'estradosso dello stesso.

Oltre alla risoluzione delle interferenze con le reti di distribuzione dei servizi pubblici, l'avanzamento del cantiere deve tener conto anche della necessità di mantenere sempre attivo il traffico veicolare durante il cantiere, limitando la viabilità ad una sola corsia alla volta, mediante l'installazione di un impianto semaforico di cantiere.

Si prevede pertanto di operare su una corsia alla volta, con le seguenti fasi operative:

- installazione di rete di protezione dell'area di cantiere, in modo tale da consentire il transito dei veicoli nella restante porzione di carreggiata disponibile;
- smontaggio dei parapetti in ferro laterali e delle barriere di sicurezza interne;
- demolizione del pacchetto di pavimentazione attuale;
- realizzazione della nuova soletta in c.a.;
- rifacimento della pavimentazione e delle barriere e parapetti rimossi con integrazione o sostituzione;
- spostamento del cantiere nell'altra corsia e riproposizione delle medesime lavorazioni.

8. RACCOLTA E SMALTIMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA E DI PRIMA PIOGGIA

Allo stato di fatto, la raccolta e smaltimento delle acque di prima pioggia sull'impalcato avviene mediante boccacci che attraversano la soletta del marciapiede e disperdono l'acqua a caduta libera e sversamento diretto nell'ecosistema fluviale sottostante.

Nella configurazione di progetto si prevede di raccogliere le **acque di piattaforma** in apposite tubazioni, che corrono parallelamente all'impalcato nell'intradosso dei marciapiedi, e convogliare il flusso verso le estremità del ponte, in cui sono presenti presidi idraulici di recapito finale (scarpate invertite e fossi).

9. Sintesi delle calcolazioni eseguite.

Nell'ordine sono state esaminati:

caratteristiche dei materiali esistenti e nuovi

analisi dei carichi permanenti e carichi mobili

calcolo delle sollecitazioni M,V 'globali' di impalcato

ripartizione (Courbon) e sollecitazioni nella trave di bordo (la più sollecitata)

verifica travi a flessione (comb. Rara e comb fondamentale : trattasi di struttura esistente)

verifica travi a taglio

verifica dei traversi a flessione

verifica dei traversi a taglio

verifica della soletta rinforzata

verifica rinforzo selle gerber

rinfozo zone di appoggio travi in corrispondenza delle spalle.

9.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ESISTENTI E NUOVI

Dalla relazione di vulnerabilità dell' Ing Baroni si trae per il cls e acciaio delle opere esistenti:

- cls C20/25

- Acciaio da c.a. tondo liscio assimilabile a FeB 32k

Si allega di seguito stralcio della relazione Ing Baroni circa le caratteristiche dei materiali esistenti.

6. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DI COSTRUZIONE

Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi duttili o fragili di strutture in c.a. si impiegano le proprietà dei materiali esistenti, determinate secondo la campagna di indagini condotta o sulla base di quanto disponibile dalla documentazione in possesso, divise per i fattori di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto. Per il calcolo della capacità di resistenza degli elementi fragili primari, le resistenze dei materiali si dividono per i corrispondenti coefficienti parziali e per i fattori di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto. Per i materiali nuovi o aggiunti si impiegano le proprietà nominali.

6.1 Sintesi della campagna di indagine e delle prove effettuate

La relazione tecnica "Rilievi e caratterizzazione meccanica degli elementi strutturali" redatta dalla ditta autorizzata TECNO IN Servizi di Ingegneria s.p.a. di Napoli, azienda con sistema di qualità certificato dal RINA ISO 9001-14001, ha evidenziato i seguenti risultati, a valle delle indagini eseguite, di seguito riassunte (la relazione di prova è riportata nell'Allegato 2 alla presente relazione).

Gli interventi effettuati sono i seguenti:

- ✓ n° 2 rilievi di barre d'armatura in strutture in c.a.;
- ✓ n° 3 prelievi di campioni cilindrici di cls comprensivi del ripristino;
- ✓ n° 3 prove di carbonatazione su campioni cilindrici di cls;
- ✓ n° 3 prove di resistenza a compressione su provini cilindrici di cls;
- ✓ n° 18 indagini Sonreb per la stima indiretta della resistenza a compressione del cls;
- ✓ n° 2 prelievi di barre d'armatura comprensivi del ripristino;
- ✓ n° 2 prove di resistenza a trazione sui campioni di barra prelevata;

L'ubicazione delle indagini è riportata nella seguente immagine:



Dai rilievi delle barre di armatura effettuati nella 2° Pila in dx idraulica (RA1) e nella 4° Pila in sx idraulica (RA2) risulta che i ferri hanno diametri compresi tra $\phi 12$ e $\phi 14$ verticali, $\phi 8$ e $\phi 10$ orizzontali. Tali armature sono congruenti con quanto riportato negli elaborati grafici del progetto originario del ponte sul fiume Lamone, indicato dalla committenza come simile al ponte oggetto delle presenti verifiche.

Dalle prove di schiacciamento effettuate sulle 3 carote prelevate (per la caratterizzazione meccanica di calcestruzzo e armatura, identificate come PC1 - Spalla dx idraulica, PC2 - 2° Pila in dx idraulica, PC3 - 4° Pila in sx idraulica) sono stati ricavati i seguenti risultati:

Sigla Carota	Ubicazione	Dimensioni provino [mm]		Direzione carotaggio	R_{carota}	R_{ch}	Massa volumica [kg/m ³]	Velocità ultrasuoni [m/s]
		d	h		[MPa]	[MPa]		
PC1	Spalla in dx idraulica	94,0	187,8	orizzontale	7,0	10,5	2333	3167
PC2	2 ^a Pila (in dx idraulica)	94,0	181,0	orizzontale	14,9	22,2	2380	3803
PC3	4 ^a Pila (in sx idraulica)	94,0	187,6	orizzontale	8,7	13,1	2366	3257

Dalle indagini con il metodo combinato SONREB (indagini sclerometriche e rilievo ultrasonico) su 13 elementi strutturali in c.a. per la determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo sono stati ricavati i seguenti valori:

Sigla	Identificazione	Battute sclerometriche											Ultrasuoni				Tipo di indagine	R_{sonreb} [MPa]		
		Indice di rimbalzo											I	d [cm]	t [μ s]	V_{media} [m/s]			V_{resid} [m/s]	
PC1	Spalla in dx idraulica	30	32	31	30	29	29	33	28	32	30	29	31	30,3	20	79	2532	3167	Superf.	10,5
		20	80	20	78															
		20	78																	

Sigla	Identificazione	Battute sclerometriche											Ultrasuoni				Tipo di indagine	R_{sonreb} [MPa]		
		Indice di rimbalzo											I	d [cm]	t [μ s]	V_{media} [m/s]			V_{resid} [m/s]	
PC2	2 ^a Pila (in dx idraulica)	33	36	31	31	35	30	37	34	30	34	30	35	32,9	20	65	3001	3803	Superf.	22,2
		20	67	20	68															
		20	68																	

caratteristiche di un calcestruzzo C20/25 (Rck250). Si evidenzia che si utilizza lo stesso tipo di materiale per tutti gli elementi del manufatto (travi di impalcato, pile, spalle).

Dalle prove di resistenza a trazione effettuate su 2 barre in acciaio prelevate da 2° Pila in dx idraulica (PA1 - barra liscia $\phi 8$) e 4° Pila in sx idraulica (PA2 - barra liscia $\phi 8$) sono stati ricavati i seguenti valori:

Sigla Barra	Ubicazione	Tipologia barra	Diametro barra equipesante	Tensione di snervamento f_y	Tensione di rottura f_t	Rapporto f_t/f_y	Allungam. Percentuale dopo la rottura A_5
			[mm]	[MPa]	[MPa]		[%]
PA1	2° Pila (in dx idraulica) Barra longitudinale	liscia	8,3	484,3	530,5	1,10	(1)
PA2	4° Pila (in sx idraulica) Barra longitudinale	liscia	7,9	505,7	581,6	1,15	46,3

(1) La rottura è avvenuta al di fuori delle tacole di riferimento

Dalle normative dell'epoca si ricava che il materiale utilizzato può essere assimilato a un acciaio FeB32k, avente le seguenti caratteristiche meccaniche:

3.1.5. *Tensioni ammissibili negli acciai in barre tonde lisce.*

La tensione ammissibile non deve superare i valori indicati nel successivo prospetto 6.

PROSPETTO 6

Tensioni ammissibili negli acciai in barre tonde lisce

TIPO DI ACCIAIO		Fe B 22 k	Fe B 32 k
$\bar{\sigma}_t$	N/mm^2 [kgf/cm ²]	115 [1200]	155 [1600]

DUNQUE

CLS C20/25

ACCIAIO ASSIMILABILE AD FeB32K

Assumendo LC2 cioè $F_c = 1,2$ e $\gamma_m = 1,15$ risulta:

$$f_{yd} = 3200 / (1,20 \times 1,15) = 2318 \sim 2300 \text{ kg/cm}^2$$

che è comunque (Odone Belluzzi vol. II) il valore di snervamento minimo che doveva possedere il ferro omogeneo (quello di caratteristiche più basse all'epoca della costruzione).

Per quanto riguarda i nuovi materiali si rimanda all'apposito elaborato descrittivo (relazione sui materiali) e anche grafico (tav. 4.1).

Sostanzialmente i nuovi materiali sono:

- rinforzo soletta in cls alleggerito $\gamma=2000$ kg/mc (comunque dalle calcolazioni si vede che anche adottando malte speciali $\gamma=2400$ kg/mc nulla cambia sostanzialmente sui pesi permanenti dal momento che stiamo parlando di piccoli spessori).
- acciaio da c.a. B450C
- retina c.a. tipo B450A
- inghisaggi con resine epossidiche e barre classe 8.8
- carpenteria metallica: S355 (anche tubi per micropali)
- bulloni e tirafondi: cl.8.8
- ripristini del cls: malte tixotropiche a ritiro compensato
- barre diwidag per rinforzo selle gerber

Si riportano ora, qui di seguito, le principali sintesi delle calcolazioni effettuate:

ANALISI DEI CARICHI

I pesi propri delle strutture sono stati direttamente calcolati dal programma di calcolo in quanto vengono introdotte le geometrie del ponte procedendo sezione per sezione.

STATO DI PROGETTO

- pesi propri = G1: calcolati dal programma di calcoli mediante input geometrie
 - peso proprio nuova soletta in cls alleggerito: $2000 \times (0,07+0,14) \times 3,09 / 2 \times 2 = 1300$ kg/ml di impalcato
 - pesopavimentazione (cm 5 + 3 = 8 cm): $2000 \times 0,08 \times 6,18$ mt = 988 ~1000 kg/ml di impalcato
 - barriere + parapetti: 150 +150 = 300 kg/ml di impalcato
- Tot G2 (progetto) = 1300 + 1000 + 300 = 2600 kg/ml

Vediamo il confronto con lo stato attuale:

STATO DI PROGETTO

- pesi propri = G1: invariati
- pesopavimentazione (Hmedio = 19 cm): $2000 \times 0,19 \times 6,18$ mt = 2350 kg/ml di impalcato
- barriere + parapetti: invariato

Tot G2 (attuale) = 2350 + 300 = 2650 kg/ml

Praticamente i pesi fra lo stato attuale e lo stato di progetto rimangono invariati.

Anche nell'ipotesi che non si utilizzasse il cls alleggerito per la soletta ma malte speciali si avrebbe:
 $2400 \times (0,07+0,14) \times 3,09 / 2 \times 2 = 1560$ kg/ml di impalcato

Per un tot G2 (progetto) = 2860 kg/ml che significa un aumento dei pesi pari allo 1,6 %

$$(G1+G2)_{\text{PROG}} / (G1+G2)_{\text{ATUALE}} = [(10180+2860)/(10180+2650)] = 1,6 \%$$

Si riportano le principali immagini tratte dal noto programma di calcolo agli elementi finiti sap 2000.

Sap 2000



Schema modello SAP 2000 (1/2 ponte)

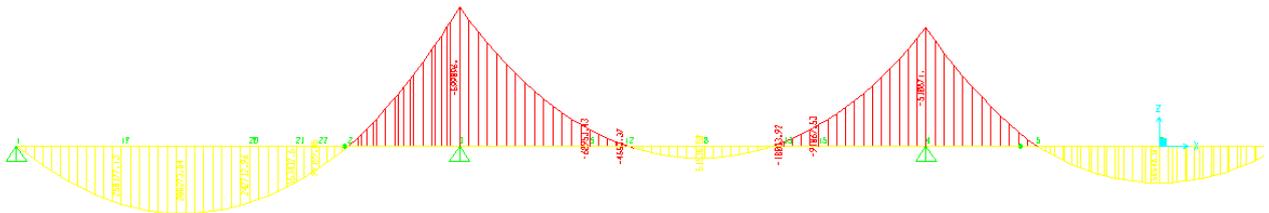


Diagramma momento flettente carichi permanenti (NON coefficientati) (1/2 ponte)

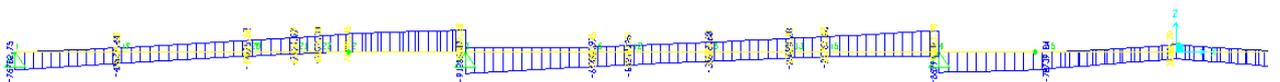


Diagramma taglio carichi permanenti (NON coefficientati) (1/2 ponte)

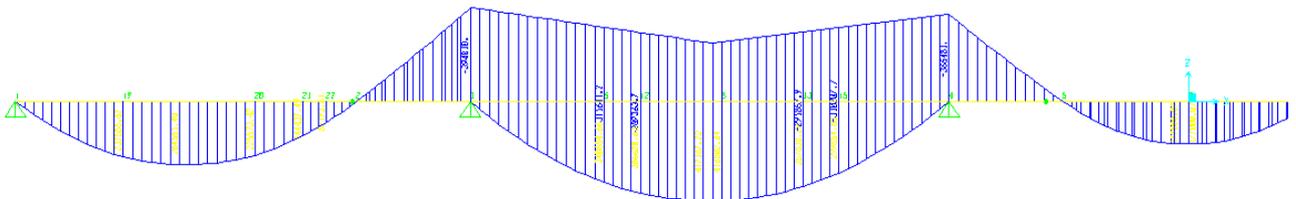


Diagramma momento flettente carichi mobili – 1° colonna NTC'18 (NON coefficientati) (1/2 ponte)

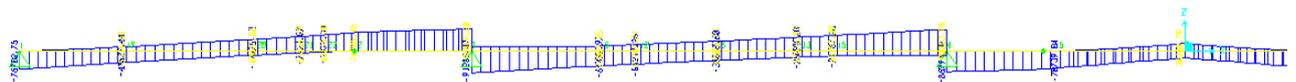


Diagramma del taglio carichi mobili – 1° colonna NTC'18 (NON coefficientati) (1/2 ponte)



Diagramma momento flettente carichi mobili – 2° colonna NTC'18 (NON coefficientati) (1/2 ponte)

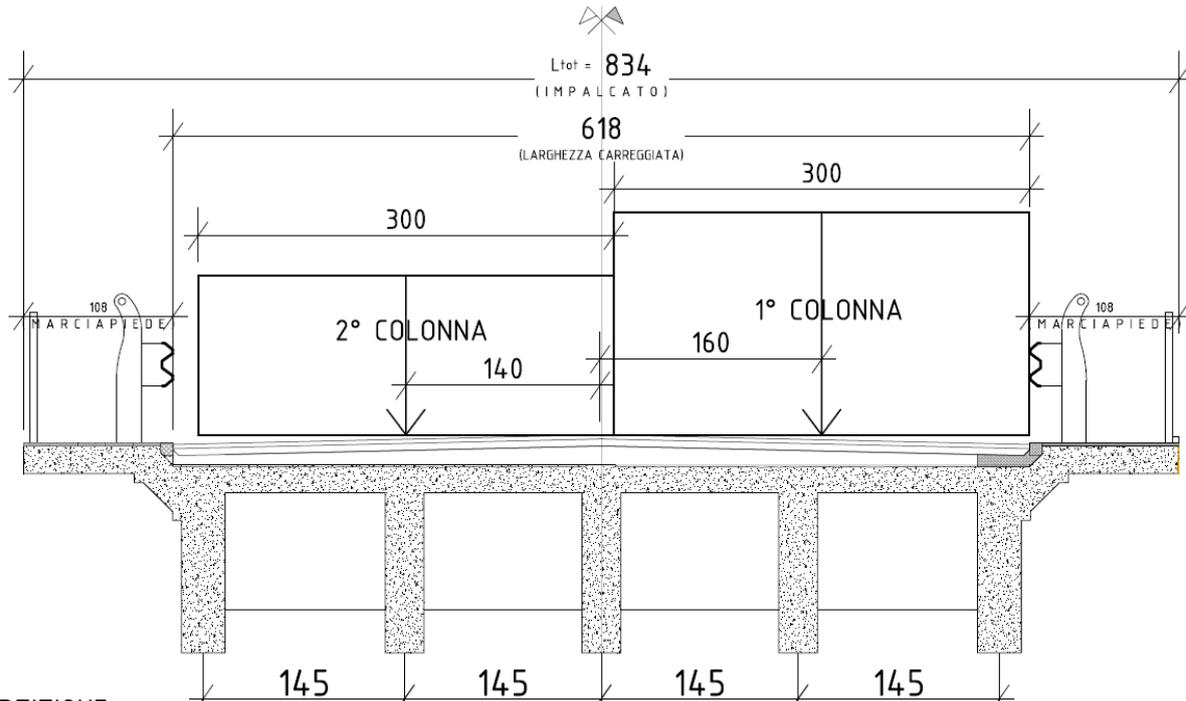


Diagramma del taglio carichi mobili – 2° colonna NTC'18 (NON coefficientati) (1/2 ponte)

Si riporta nella seguente tabella il riassunto delle sollecitazioni dedotte dal modello di calcolo sopra esaminato nelle sezioni più significative del ponte.

nr. sezioni ----->		SPALLA	1°trav.	-L/2	2°trav.	Gerb.	intern.	asse pila	intern.	1°trav.	L/2 (2°trav.)	3°trav.	intern.	asse pila	intern.	Gerb.	intern.	L/2
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Htot sez.sol. Hsez+20+7	(cm)	133	143	141	140	154	187	233	226	145	117	145	171	233	186	148	124	116
x	(mt)	0.00	4.94	7.25	9.70	14.25	16.50	19.00	21.54	24.07	28.30	33.93	35.76	39.00	41.40	43.80	46.38	49.00
PERMANENTI																		
Mglob PERM (no coeff.)	(ton m)	0.000	261.805	288.273	251.593	0.000	-240.071	-599.095	-300.117	-99.769	51.535	-65.415	-182.775	-510.871	-208.805	0.000	119.681	158.548
Tglob PERM (no coeff.)	(ton)	80.167	24.196	1.357	28.459	80.834	123.680	138.562	97.777	61.281	1.209	51.964	76.760	145.635	106.661	71.479	29.451	0.900
CARICHI MOBILI																		
Mglob 1°corsia (no coeff.)	(ton m)	0.000	243.167	264.512	233.763	0.000	-179.467	-394.810	-357.085	-319.510	-250.268	-304.458	-326.844	-366.480	-173.704	0.000	137.187	176.709
Tglob 1°corsia (no coeff.)	(ton)	76.702	20.587	32.979	47.232	76.705	85.309	92.059	77.249	64.128	42.026	62.925	72.330	90.080	80.517	70.739	49.506	30.108
Mglob 2°corsia (no coeff.)	(ton m)	0.000	137.974	149.697	132.686	0.000	-100.137	-215.828	-191.866	-168.000	-124.377	-162.575	-178.355	-206.293	-99.945	0.000	80.592	103.335
Tglob 2°corsia (no coeff.)	(ton)	43.655	12.825	20.049	28.020	43.656	47.030	48.910	41.182	34.531	23.222	34.197	38.945	47.660	45.699	41.647	29.907	18.694
PERMANENTI + CARICHI MOBILI - COMBINAZIONE RARA - CARICHI GLOBALI																		
Mglob,rara PERM+MOB	(ton m)	0.000	504.972	552.785	485.356	0.000	-419.538	-993.905	-657.202	-419.279	-198.733	-369.873	-509.619	-877.351	-382.509	0.000	256.868	335.257
Tglob,rara PERM+MOB	(ton)	156.869	44.783	34.336	75.691	157.539	208.989	230.621	175.026	125.409	43.235	114.889	149.090	235.715	187.178	142.218	78.957	31.008
PERMANENTI + CARICHI MOBILI - COMBINAZIONE RARA - 1° TRAVE																		
M1°trav,rara PERM+MOB Crip,perm=1/5 Crip,mob=0,421	(ton m)	0.000	154.734	169.014	148.733	0.000	-123.570	-286.034	-210.356	-154.468	-95.056	-141.260	-174.156	-256.462	-114.890	0.000	81.692	106.104
T1°trav,rara PERM+MOB Crip,perm=1/5 Crip,mob=0,421	(ton)	48.325	13.506	14.156	25.576	48.460	60.651	66.469	52.077	39.254	17.935	36.884	45.803	67.051	55.230	44.077	26.732	12.855
PERMANENTI + CARICHI MOBILI - COMBINAZIONE FONDAMENTALE (coeff. 1,35) - 1° TRAVE																		
M1°trav,SLU PERM+MOB Crip,perm=1/5 Crip,mob=0,421	(ton m)	0.000	208.891	228.169	200.789	0.000	-166.819	-386.146	-283.981	-208.531	-128.325	-190.701	-235.111	-346.224	-155.102	0.000	110.284	143.241
T1°trav,SLU PERM+MOB Crip,perm=1/5 Crip,mob=0,421	(ton)	65.239	18.234	19.110	34.528	65.420	81.879	89.733	70.304	52.993	24.212	49.794	61.834	90.518	74.560	59.504	36.089	17.355

SEZIONE TRASVERSALE - SCHEMA DEI CARICHI



RIPARTIZIONE
DI COURBON

1° COLONNA	-0,021	0,090	0,200	0,310	0,421
2° COLONNA	0,393	0,297	0,200	0,103	0,007

Si riporta nella seguente tabella l'incremento ΔM_{tot} per le sezioni soggette a $M(+)$.

Sez. x =	Hto t (mt)	Bracci o Lam inf. (mt)	ΔM_{lamina_inf} (ton m)	Bracci o Lam lat (mt)	ΔM_{lamine_lat} (ton m)	ΔM_{tot} (ton m)	Mrd non rinf. (ton m)	Mrd Con rinf. (ton m)	Med (ton m)	F.S. Coe ff sic SLU
4,94 mt (1°trav .)	1,4 3	1,43	1x20,79x1, 43 = 29,730	1,23	2x20,79x1, 23 = 51,143	80,87 3	137,70 0	218,57 3	208,89 1	1,05
7,25mt (L/2)	1,4 1	1,41	1x20,79x1, 41 = 29,314	1,21	2x20,79x1, 21 = 50,311	79,62 5	175,90 0	255,52 5	228,16 9	1,12
24,07 (1° trav.)	1,4 5	1,45	1x20,79x1, 45 = 30,145	1,25	1x20,79x1, 25 = 25,987	82,12 0	174,00 0	230,13 2	154,92 8	1,48
28,30 (L/2)	1,1 7	1,17	1x20,79x1, 17 = 24,324	0,97	1x20,79x0, 97 = 20,166	64,65 6	228,10 0	272,59 0	250,80 4	1,09
49,00 (L/2)	1,1 6	1,16	1x20,79x1, 16 = 24,116	0,96	1x20,79x0, 96 = 19,958	64,03 3	128,40 0	172,47 4	143,24 1	1,20

Essendo i coefficienti di sicurezza tutti maggiori dell'unità, le verifiche risultano soddisfatte.

Si riporta nella seguente tabella l'incremento ΔV_{tot} per le sezioni più significative.

Sez. x =	Htot (mt)	d (mt)	$\Delta T_{\text{tessuto}}$ (ton)	Vrd non rinf. (ton)	Vrd Con rinf. (ton)	Ved (ton)	F.S. Coeff sic SLU
0,00 mt (spalla)	1,33	1,28	29,5	59,2	88,7	65,2	1,36
14,25 mt (gerb.)	1,54	1,49	35,4	68,9	104,3	65,4	1,59
24,07 mt (1°trav.)	1,45	1,40	32,3	66,6	98,9	53,0	1,86
43,80 mt (gerb.)	1,48	1,43	33,0	66,1	99,1	59,5	1,66

Essendo i coefficienti di sicurezza tutti maggiori dell'unità, le verifiche risultano soddisfatte.

VERIFICA DELLA SOLETTA

data 2019-12-12

soletta Lc 1,15 sso 2/ cm carichi NTC'08

Effetto locale

I = interasse travi =	1.45	mt	
Bs = larghezza fungo superiore trave =	0.30	mt	
Ba = larghezza dell'anima trave =	0.30	mt	
Lc = LUCE DI CALCOLO =	1.15	mt	(= I - Ba)
SSO = spessore soletta in opera =	0.27	mt	
SLP = spessore lastra prefabbricata =	0.00	mt	
STS = spessore totale soletta =	0.27	mt	
SPAV = spessore pavimentazione =	0.10	mt	

CARICHI PERMANENTI

Peso proprio soletta =	6.75	KN/m2		
Peso pavimentazione =	2.20	KN/m2	peso spec. 'pavim' =	2200
Carico permanente q_p =	8.95	KN/m2		

CARICHI ACCIDENTALI (MOBILI)

Per tenere conto dell'effetto lastra si ripartisce il carico concentrato su un rettangolo con lati pari a:
 larghezza impronta + 2 SPAV + SSO → nella direzione della luce di calcolo
 larghezza impronta + 2 SPAV + SS1 + Lc/2 → in direzione ortogonale alla luce di calcolo

Schema 1: due ruote da 150 KN	(NTC'08 5.1.3.3.5)	IDEM ntc 2018
carico distribuito 9,0 Kn/m2	(NTC'08)	
a =	0.870	mt (0,40 + 2*SPAV + SSO) sso = 0.27
b =	2.645	mt (1,60 + 2*SPAV + SSO + Lc/2) spav = 0.10
		1,60 = 1,2 + 0,40/2 + 0,40/2 = 1,60
q_a =	139.37	KN/m2 [300/(a*b) + 9,0] Lc/2 = 0.58

Schema 2: una ruota da 200 KN	(NTC'08 5.1.3.3.5)	IDEM ntc 2018
a =	1.070	mt (0,60 + 2*SPAV + SSO)
b =	1.395	mt (0,35 + 2*SPAV + SSO + Lc/2)
q_a =	133.99	KN/m2 [200/(a*b)]

→ assumiamo per i calcoli: $q_{a,max} = 139.37$ KN/m2

MOMENTI FLETTENTI

Si assume in mezzera e all'incastro $M = \pm q * Lc^2 / 12$

q_p =	8.95	→	M_p =	0.99	KN m
q_a =	139.37	→	M_a =	15.36	KN m
			M_{tot} =	16.35	KN m

VERIFICA A FLESSIONE

(progetto alle T.A.)

σ_s =	160.0	N/mm2
B =	100.0	cm
H =	27.0	cm
h =	23.0	cm
n =	15	
A_s =	4.94	cm2/m
x =	5.1	cm
σ_c =	3.0	N/mm2

VERIFICA ALLO SLU

$M_{SLU} = 1635 \times 1,35 = 2207 \text{ KGM /MT}$

$B = 100$

$H = 27$

$RIC \text{ INF} = 2.5 \text{ CM}$

$7 \text{ FI } 12 / \text{MT} = 7,91 \text{ CM}^2 \text{ (} F_{yd} = 2300 \text{ kg/cm}^2 \text{)}$

$RIC.SUP = 4 \text{ CM}$

TRASCURANDO ARMATURA ESISTENTE : $1 \text{ FI } 16 / 20 = 10,05 \text{ CM}^2 \text{ (} B \text{ } 450 \text{ C)}$

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays various input fields and calculation results. The title bar indicates the file name 'verif.soletta'. The menu bar includes 'File', 'Materiali', 'Opzioni', 'Visualizza', 'Progetto Sez. Rett.', 'Sismica', and 'Normativa: NTC 2008'. The interface is divided into several sections:

- Titolo:** A text input field for the title.
- N° strati barre:** A dropdown menu set to '2' and a 'Zoom' button.
- Tables:** Two tables showing bar properties. The first table has columns 'N°', 'b [cm]', and 'h [cm]' with values 1, 100, and 27. The second table has columns 'N°', 'As [cm²]', and 'd [cm]' with values 1, 7.92, 24.5 and 2, 10.05, 4.
- Sollecitazioni:** A section for applying loads, with 'S.L.U.' selected and 'Metodo n' chosen. It includes input fields for N_{Ed} , M_{xEd} , and M_{yEd} in kN and kNm.
- P.to applicazione N:** Options for 'Centro', 'Baricentro cls', and 'Coord.[cm]' with associated input fields for xN and yN.
- Tipo rottura:** A dropdown menu set to 'Lato calcestruzzo - Acciaio snervato'.
- Materiali:** A section for material properties, including 'FeB32k' and 'C20/25'. It lists various parameters like ϵ_{su} , f_{yd} , E_s , E_s/E_c , ϵ_{syd} , $\sigma_{s,adm}$, ϵ_{c2} , ϵ_{cu} , f_{cd} , f_{cc}/f_{cd} , $\sigma_{c,adm}$, τ_{co} , and τ_{c1} .
- Calculated Results:** $M_{xRd} = 45.39 \text{ kN m}$, $\sigma_c = -11.33 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_c = 3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_s = 21.72 \text{ ‰}$, $d = 24.5 \text{ cm}$, $x = 3.401$, $x/d = 0.1388$, and $\delta = 0.7$.
- Metodo di calcolo:** Options for 'S.L.U.+', 'S.L.U.-', and 'Metodo n'.
- Tipo flessione:** Options for 'Retta' and 'Deviata'.
- Buttons:** 'Calcola MRd', 'Dominio M-N', 'L_0' (0 cm), 'Col. modello', and 'Precompresso'.

$M_{rd} = 4539 \text{ kg m /m} > M_{ed} (=2207 \text{ kg m /m})$

→ verifica soddisfatta

Per quanto riguarda la verifica di:

- rinforzo delle selle Gerber
- precompressione trasversi
- verifica telaio in acciaio per rinforzo appoggi spalle

Vedere la relazione di calcolo.