

**INTERVENTI DI POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE  
DELLA LINEA BOLOGNA - PADOVA  
SEMINARIO CIFI - 19 APRILE 2017**

Padova, Piazza Salvemini 2  
Ordine degli Ingegneri di Padova

*Ing. Nicolantonio Di Turi – DTP VE*

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

---

**ALL'INIZIO DEGLI ANNI 2000 FU DECISO DI AUMENTARE LA VELOCITA' DELLA LINEA BOLOGNA – PADOVA PORTANDOLA (PER QUANTO POSSIBILE) ALLA VELOCITA' DI FIANCATA (IN RANGO C) A 180 Km/h.**

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

## Requisiti infrastrutturali per l'aumento di velocità

PROCESSO DI DEFINIZIONE DI NUOVE FIANCATE ORARIO  
REQUISITI MINIMI PER LA VERIFICA DELL'INFRASTRUTTURA AI FINI DI NUOVE VELOCIZZAZIONI DI LINEE ESISTENTI

Vmax di linea (km/h)	Tracciato (1)	Armamento Tipo	Intervia	Sentieri lungo linea	Larghezza marciapiedi intermedi H = 25 cm (2)		Larghezza marciapie- di laterali H = 25 cm (m)	Distanza tra striscia gialla e bordo interno rotala più vicina (5)	Segnalamento e blocco compatibili con la velocità di progetto	T.E.	Passaggi a livello non compatibili con le velocità di progetto (6)	
					senza sottopas- saggio (3) (m)	con sottopas- saggio (m)						
150	Si applicano le norme della circolare L.41/3437.1 del 28.4.1987	50 UNI	Si applicano le norme della circolare L.SA. 1/139605 del 22.12.1971	Adeguati alle distanze previste dall'art.6 del D.P.R. n.469/79 ed art.8 Legge n.191/74	Sottopassaggio obbligatorio	3,70 (4)	4,80	2,35	1,65	Blocco FS Blocco Conta Assi Blocco Automatico	Corda non regolata	Semaforizzati (8) Pedonali (8) Aperti incustoditi (8) Automatizzati con barriere complete dotati di segnali di protezione propri (7)
180		60 UNI				5,20	2,50	1,80	Blocco automatico e ripetizio- ne segnali in macchina a 4 codici	Corda regolata	Semaforizzati (8) Pedonali (8) P.L. privati (6) Aperti incustoditi (8) Automatizzati con barriere complete dotati di segnali di protezione propri (7)	
200 <sup>PI</sup>		80 UNI				5,80	2,70	2,00	Blocco automatico e ripetizio- ne segnali in macchina dotato di codice 270/1	Corda regolata	Semaforizzati (8) Pedonali (8) P.L. privati (8) Aperti incustoditi (8) Automatizzati con barriere complete dotati di segnali di protezione propri (7)	

NOTE:

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

---

## INTERVENTI PREVISTI

**Sopraelevazione curve**

**Completamento B.A.B. c.c. (6 codici)**

**Eliminazione deviatori inglesi sui binari di corsa**

**Completamento elettrificazione con fune regolata**

**Potenziamento SSE di Monselice**

**Sistemazione tratti cedevoli**

**Verifica ponti in ferro e in muratura**

**Verifica marciapiedi intermedi**

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna



CORREZIONE DEL TRACCIATO DELLE CURVE

STUDIO PRELIMINARE

CALCOLO

Linea : Bologna - Padova

Binario : Pari

CURVA N° 80-81

Progressive delle tangenti estreme: Km. 81+220.40 57. mli. 319  
Km. 82+154.40

IL COMPILATORE

Visto si approva:

IL CAPO REPARTO  
D. 2-82 5/10. Tecnico  
Galligani Romo, Carlo

**Esecuzione di uno studio preliminare del tracciato portando ove possibile (con la sopraelevazione delle curve) la velocità di fiancata in rango C da 150 Km/h a 180 Km/h. A lato il frontespizio della correzione della curva n. 80 – 81 la cui sopraelevazione fu portata da 10 mm a 16 mm.**



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

## INTERVENTI PREVISTI

Ann.to	attuale / pari	60UNI/CAP(1961)		60UNI/CAP(2001)				
	attuale / dispari	60UNI/CAP(2001)	60UNI(2001)	60UNI(1997)	60UNI(2001)	60UNI(1994)		
	Program.to	60UNI/CAP(2005)						
Linea	attuale	FF2			FF1			
Contatto	Program.to				FF2 (2005)			
	Progetto				FF2			
S.S.E	attuale	Le attuali S.S.E. di Ferrara/PSA-Polesella-Rovigo-monselice-Padova, sono idonee all'aumento della velocità fino a 180KM/H in RANGO "C"						
	Program.to							
	Progetto							
Seg.to Blocco	attuale	B.A. 4 codici (consente v=180kmh senza banalizzazione)			B.A. 6 codici banalizzato			non codificato
	Program.to	B.A. 6 codici (2004)						BNE4codici (2005)
	Progetto							
Opere d'Arte	Ponticelli	Idoneità alla velocità Rango "B" a 180kmh						
	Punti in ferro	[1] Ponte in ferro sostituzione appoggi (anno 2005)		[2] Ponte in ferro Ricostruito prima del 1916- in corso progetto esecutivo per sostituzione (anno 2005)				
	Rilevati	Sulla tratta insistono brevi tratti di rilevati cedevoli per i quali necessita una valutazione puntuale						
Passaggi a livello privati		Non ci sono passaggi livello privati con consegna chiavi agli utenti						
Sentieri e piazzole		Idoneità sull'intera tratta						
P.M.O.		P.M.O. n° 4 Intera tratta						
Sottop. di Stazione		Tutte le stazioni sono dotate di sottopassaggi viaggiatori						

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

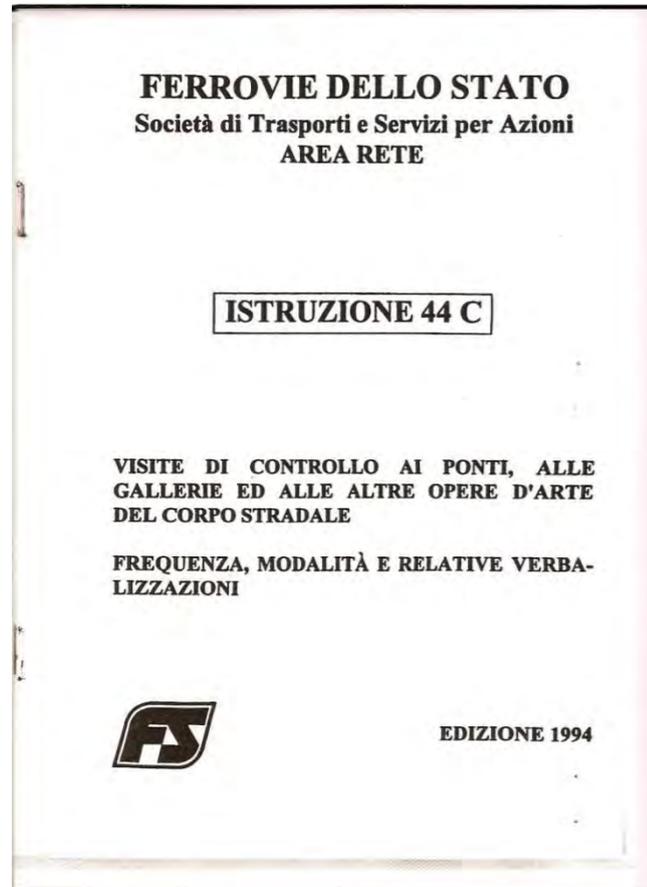
---

## VERIFICA PONTI IN MURATURA

**Esecuzione di verifiche se presenti sollecitazioni di trazione in chiave con necessità di rinforzo strutturale in previsione della maggiore sollecitazione dinamica legata all'aumento di velocità da 150 Km/h a 180 Km/h.**

**Interventi di manutenzione straordinaria previsti su quattro ponti: 68+917, 81+803, 83+803 e 99+866.**

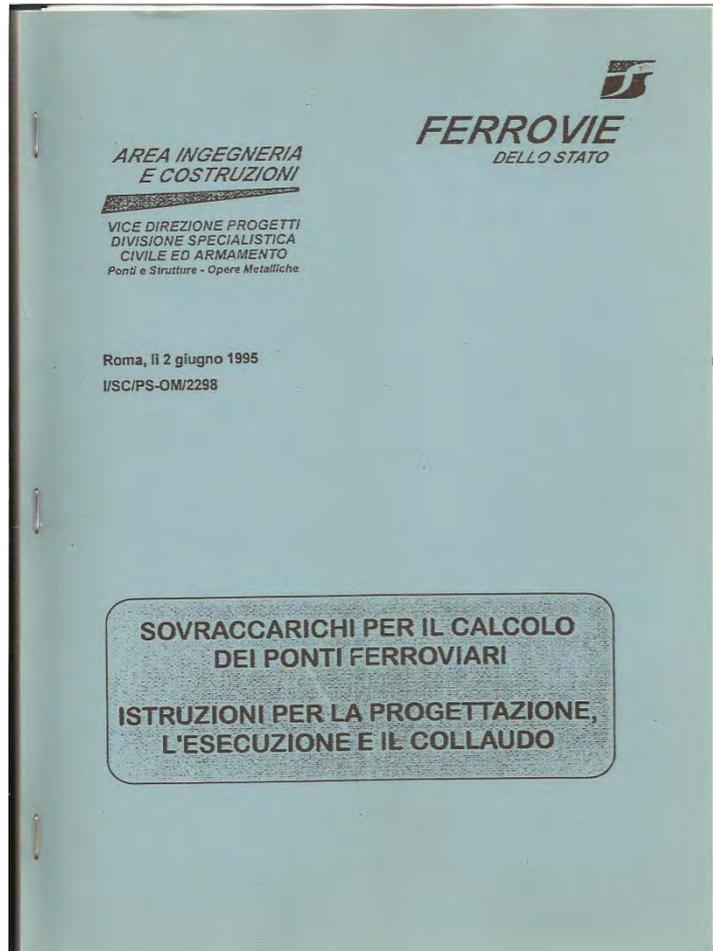
# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna



## GESTIONE E NORMATIVA PONTI

- L'ISTRUZIONE 44 C DEFINISCE :
- LA FREQUENZA,
- LE MODALITÀ DI VISITA,
- LA TENUTA DELLE REGISTRAZIONI  
DEI PONTI FERROVIARI

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna



## GESTIONE E NORMATIVA

- L'ISTRUZIONE PER LA PROGETTAZIONE, L'ESECUZIONE E IL COLLAUDO DEI PONTI FERROVIARI RECEPISCE LA NORMA EUROPEA ENV 1991

- E' RIPORTATA AL 5.2 DELLE NTC 2008.

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

## GESTIONE E NORMATIVA

- L' «ISTRUZIONE PER LA PROGETTAZIONE, L'ESECUZIONE E IL COLLAUDO DEI PONTI FERROVIARI» HA UNIFORMATO LE PROCEDURE DI PROGETTAZIONE DEI NUOVI PONTI E LE VALUTAZIONI DELLE VARIAZIONI DELLE CONDIZIONI DI ESERCIZIO (ES. VARIAZIONI DI VELOCITA').
- NELL'ATTUALE RETE FERROVIARIA SONO ANCORA PREPONDERANTI I PONTI IN MURATURA (OLTRE 50.000) PER UNA ESTESA LINEARE DI OLTRE 400 Km.
- LA VELOCIZZAZIONE DELLE LINEE RICHIEDE VALUTAZIONI SULLO CAPACITA' PORTANTE DEI PONTI IN MURATURA.

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna



## VARIAZIONI DI VELOCITA' INTERESSANTI I PONTI IN MURATURA

**A LATO E' RAPPRESENTATO IL PONTE AL Km 68+917,  
PONTE IN MURATURA AD ARCO RIBASSATO.**

**INTERESSATO DALL'AUMENTO DI VELOCITA' DELLA  
LINEA BOLOGNA – PADOVA DA 150 Km/h A 180 Km/h.**

**•SONO STATE RILEVATE LE DIMENSIONI E I  
MATERIALI COSTITUENTI IL PONTE SITO AL Km  
68+917.**

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

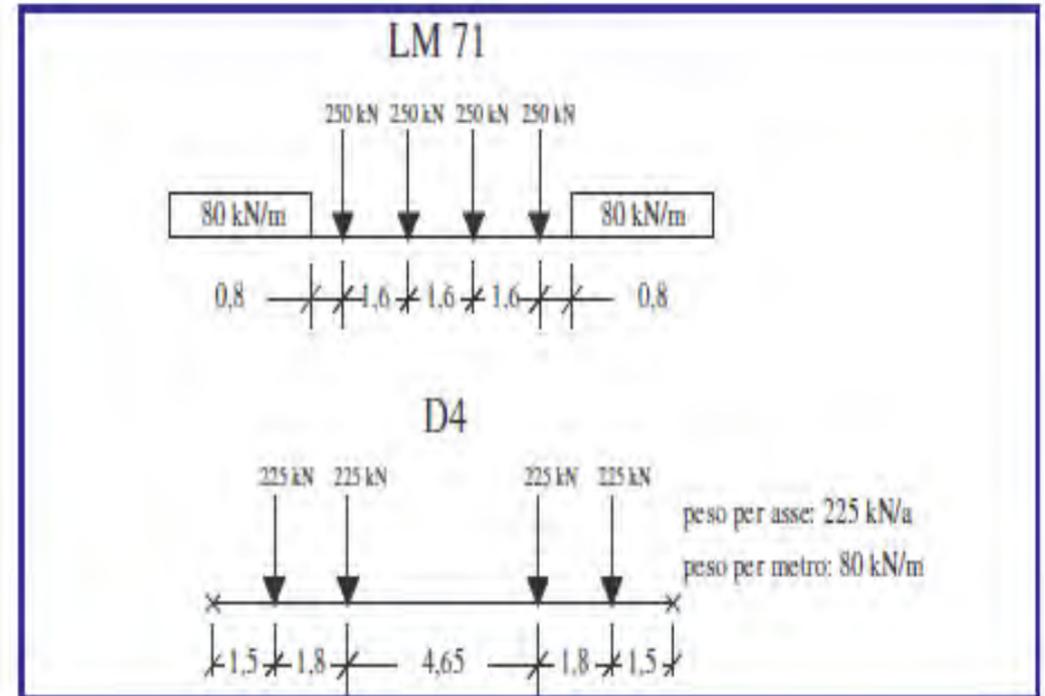
## SEZIONE

LUCE ARCO 11 m; FRECCIA ARCO 2,3 m; SPESSORE ARCO 0,7 m.



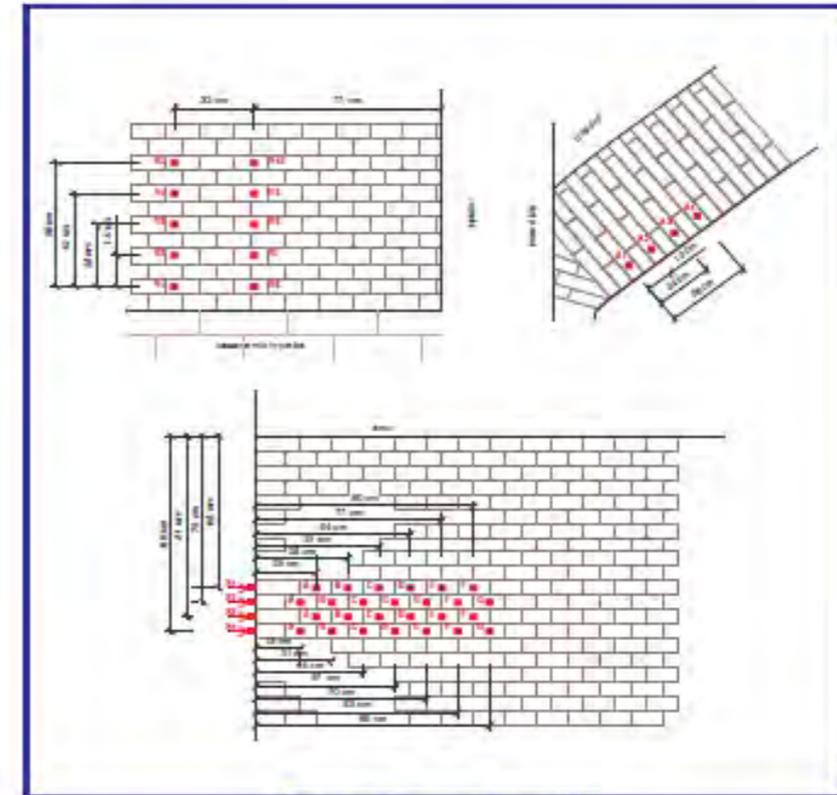
# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- L'AUMENTO DI VELOCITA' RICHIEDE DI CALCOLARE IL COEFFICIENTE DINAMICO REALE DA APPLICARE AI TRENI DI CARICO LM 71 (PER TRAFFICO NORMALE) E AI TRENI DI CARICO D4 (PER TRAFFICO PESANTE).
- SI E' VERIFICATO IL VALORE DELLE TENSIONI INDOTTE DAI CARICHI RISPETTO LA RESISTENZA AMMISSIBILE PER I MATTONI



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- EFFETTUAZIONE DI INDAGINI ULTRASONICHE PER LA DETERMINAZIONE DEL MODULO ELASTICO DINAMICO DEI MATTONI.
- SONO STATE EFFETTUATE MISURE INDIRETTE SULL'ARCO E SUL MURO ANDATORIO E MISURE SEMIINDIRETTE SULLA SPALLA



*Posizione delle prove ultrasoniche*

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- DALLA SPALLA E' STATO PRELEVATO CAMPIONE DI MURATURA PER TESTARNE IL VALORE A COMPRESSIONE.
- IN TABELLA 2 SONO RIPORTATI I VALORI DELLA SOLLECITAZIONE DI ROTTURA A COMPRESSIONE E IL VALORE DELLO SFORZO DI FESSURAZIONE.



*Particolare porzione muratura mancante*

TABELLA 3 – FRECCE MASSIME

CICLO	FILE	FASE	SENSORI POTENZIOMETRICI	
			CH 1 mm	CH 2 mm
I	68+917_1	Carico	0,61	0,47
		Scarico	0,05	0
II	68+917_2	Carico	0,61	0,48
		Scarico	0	0

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- **PROVA DI CARICO STATICA**
- **EFFETTUATA SENZA VENTO CON TEMPERATURA 19 ° C.**
- **UTILIZZATI DUE TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO.**
- **ESEGUITI DUE CICLI DI CARICO CON IL 4° ASSE DEL LOCOMOTORE IN MEZZERIA.**
- **EFFETTUATE LE LETTURE ALLA STABILIZZAZIONE DELLE DEFORMAZIONI.**



*Locomotore E 655*

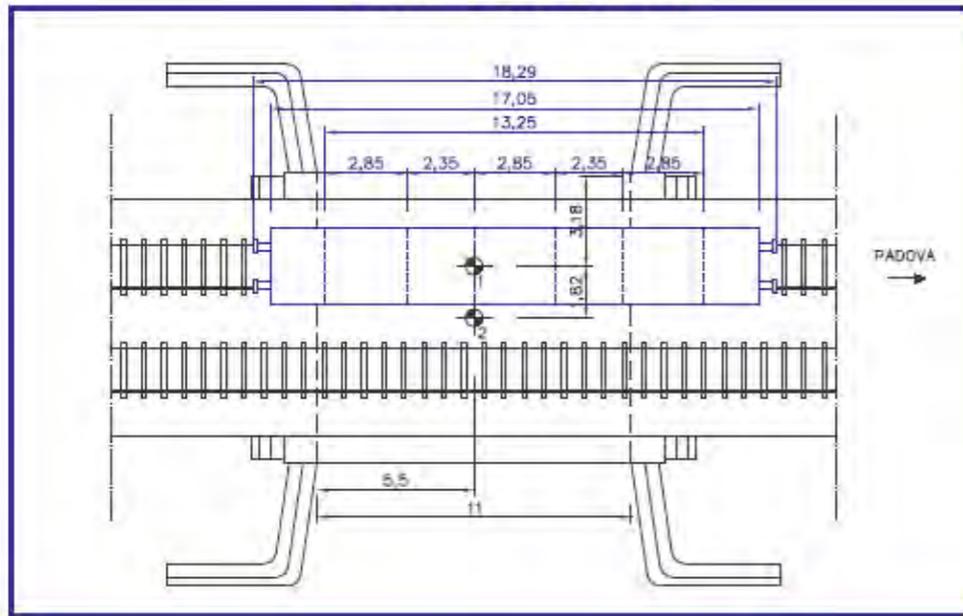
*Caratteristiche locomotore:*

Lunghezza tra i respingenti	18,29 m
Lunghezza cassa	17,05 m
Distanza assi estremi	13,25 m
Passo carrello	2,85 m
Diametro ruote	1,25 m
Velocità massima	150 km/h
Peso per asse	200 kN
Peso totale in servizio	1.200 kN

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- SONO STATE DETERMINATE LE FRECCE DURANTE LA PROVA STATICA NEL PRIMO E NEL SECONDO CICLO (TABELLA 3)

SCHEMA DI CARICO



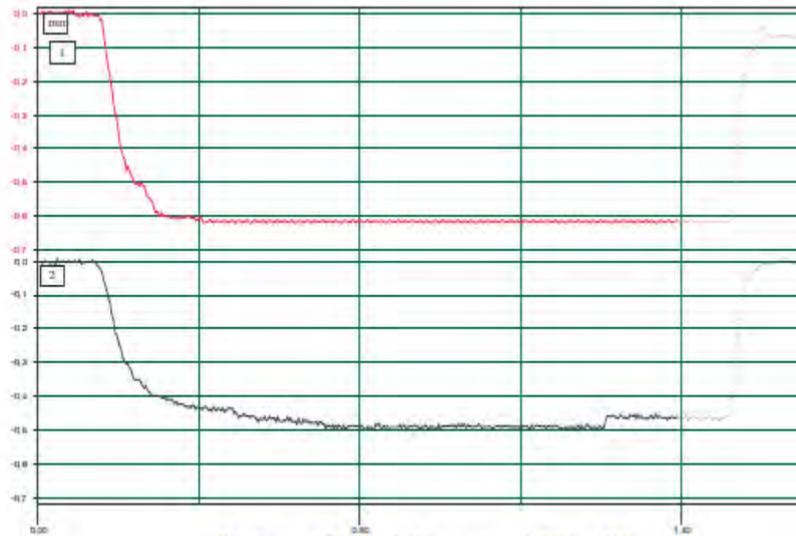
L'acquisizione è stata effettuata con uno scansionamento di 25 Hz.

TABELLA 3 – FRECCE MASSIME

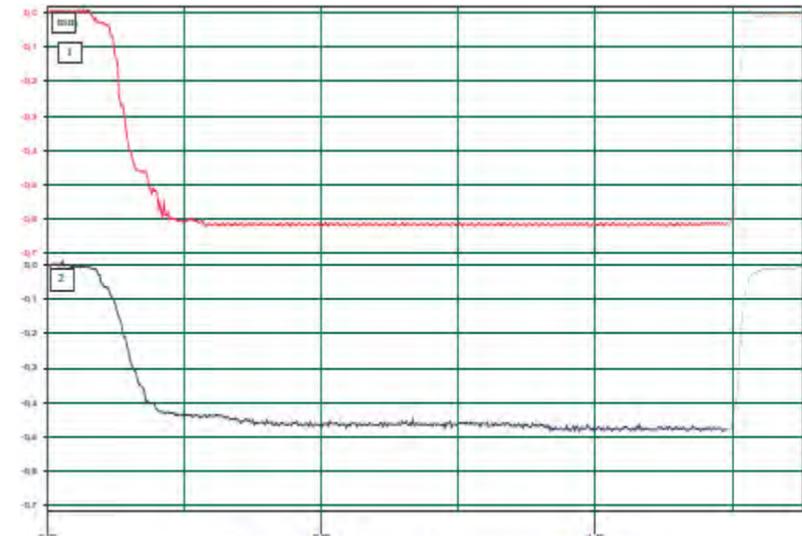
CICLO	FILE	FASE	SENSORI POTENZIOMETRICI	
			CH 1 mm	CH 2 mm
I	68+917_1	Carico	0,61	0,47
		Scarico	0,05	0
II	68+917_2	Carico	0,61	0,48
		Scarico	0	0

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- **ANDAMENTO DEFORMAZIONI NEL TEMPO DURANTE IL PRIMO E IL SECONDO CICLO**



File "68+917\_1" - I ciclo - sensori CH1 e CH2

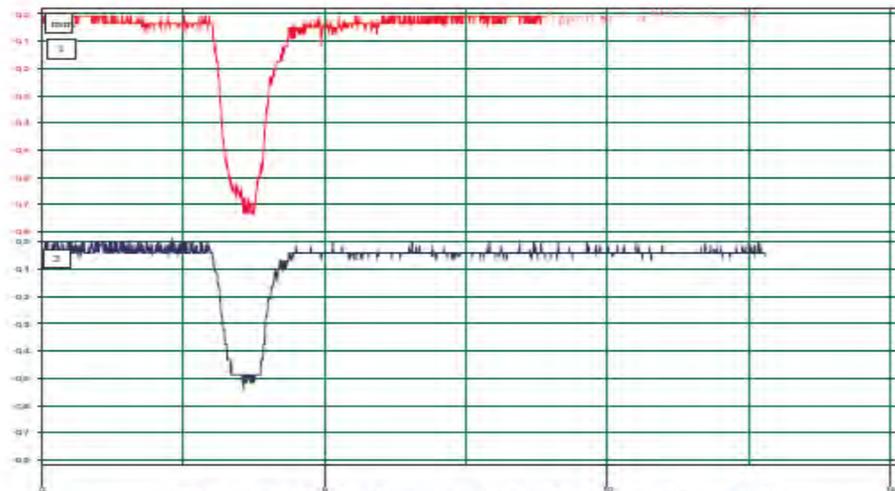


File "68+917\_2" - II ciclo - sensori CH1 e CH2

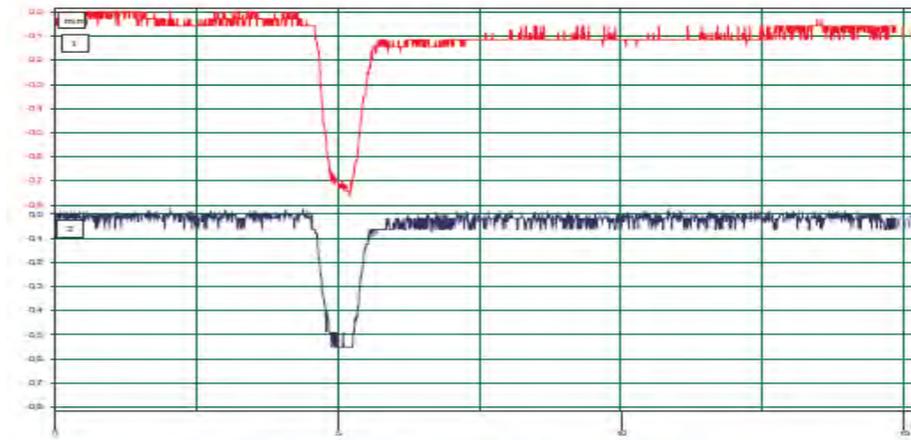
# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

## PROVA DI CARICO STATICA-DINAMICA

SONO STATE ESEGUITE DUE PROVE CON TRANSITO DEL LOCOMOTORE (USATO PER LE PROVE DI CARICO STATICHE) ALLA VELOCITA' DI 73 Km/h E 80 Km/h.



File "68+917\_3" - I prova v = 73 km/h - sensori CH1 e CH2.



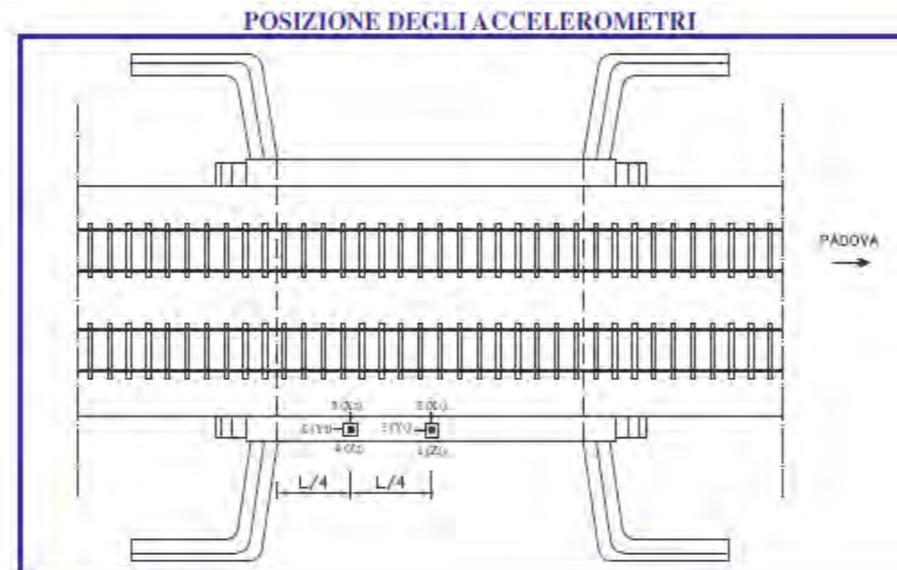
File "68+917\_4" - II prova v = 80 km/h - sensori CH1 e CH2.

TABELLA 4 - FRECCE MASSIME CON CARICO DINAMICO

PROVA	FILE	V [km/h]	SENSORI POTENZIOMETRICI	
			CH 1 mm	CH 2 mm
I	68+917_3	73	0,74	0,54
II	68+917_4	80	0,75	0,55

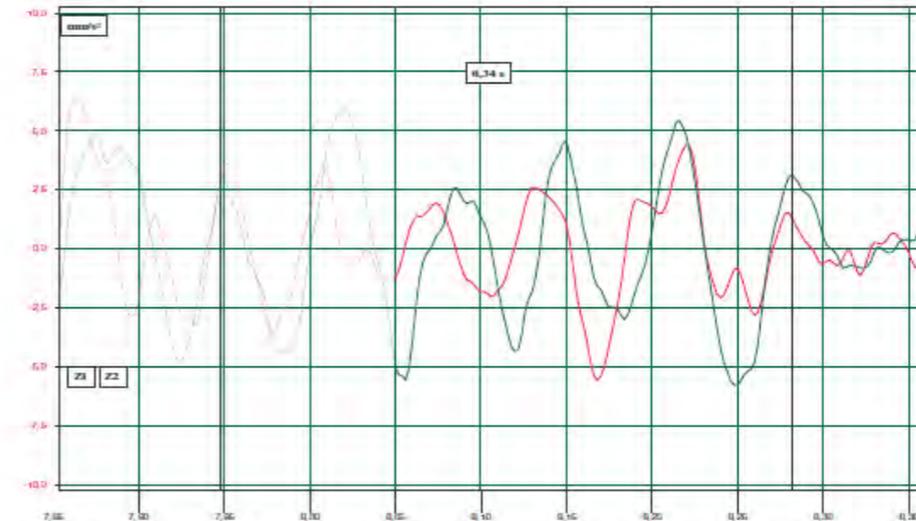
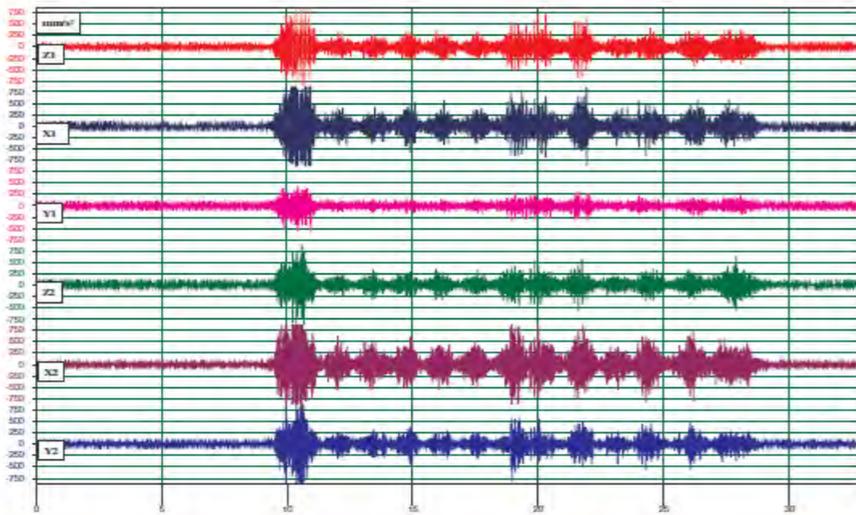
# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- DETERMINAZIONE COEFFICIENTE DINAMICO REALE
- DETERMINAZIONE PRIMA FREQUENZA FLESSIONALE
- PER LA PROVA SONO STATI POSIZIONATI 6 ACCELEROMETRI E SI SONO VALUTATE LE DEFORMAZIONI AL PASSAGGIO DEI TRENI.



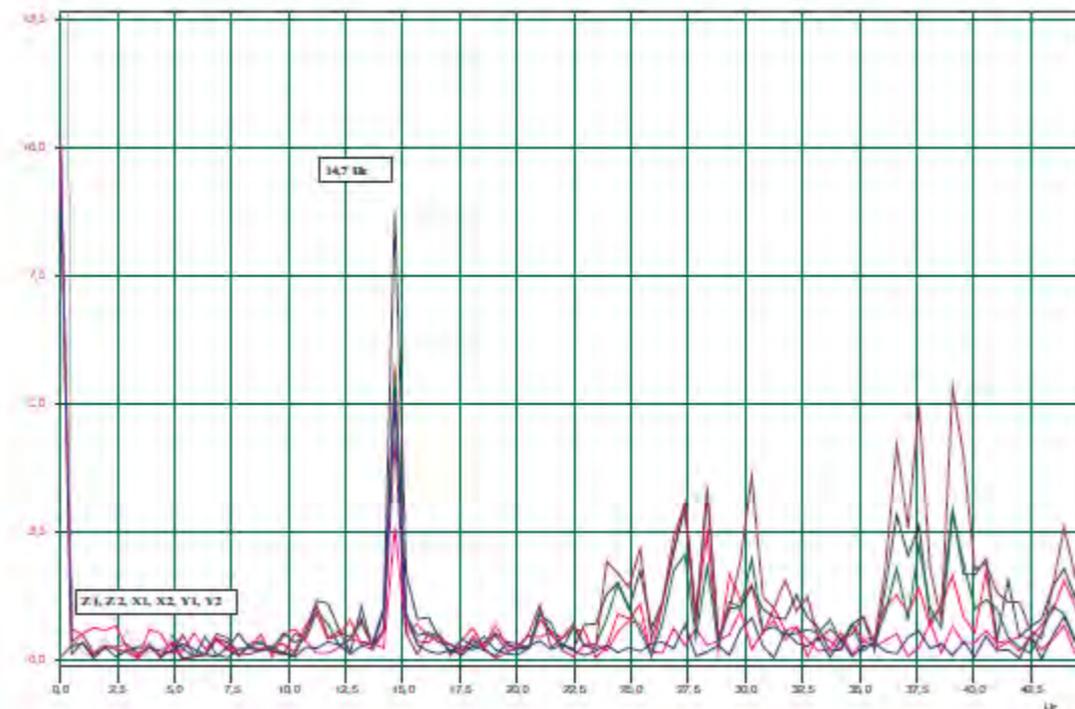
# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- VENGONO RIPORTATI I GRAFICI REGISTRATI DAI SENSORI E IL LORO FILTRAGGIO CON FILTRO PASSA BASSO A 20 Hz.
- SI INDIVIDUA LA PRIMA FREQUENZA FLESSIONALE DEL PONTE IN 14,7 Hz.



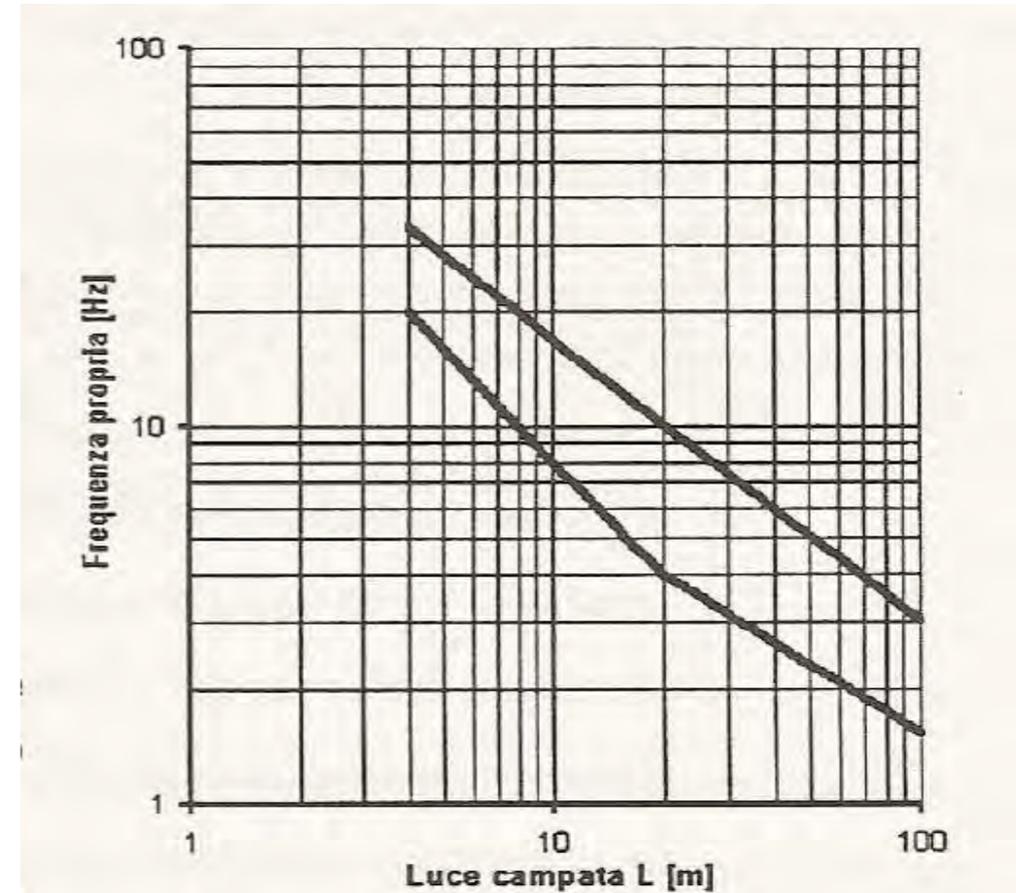
# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- SPETTRO DELLE FREQUENZE DI VIBRAZIONE



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- LA PRIMA FREQUENZA FLESSIONALE DEL PONTE RIENTRA NEL FUSO TRA LE DUE CURVE DEL GRAFICO A LATO (Max  $n_0 = 15,76$  Hz PER LUCI DI 11 m.)
- PER TENER CONTO DELL'AMPLIFICAZIONE DINAMICA DELLE SOLLECITAZIONI SI DOVRA' CALCOLARE IL COEFFICIENTE DI INCREMENTO DINAMICO REALE



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- IL COEFFICIENTE DI INCREMENTO DINAMICO REALE DIPENDE DALLA PRIMA FREQUENZA FLESSIONALE E DALLA VELOCITA' DEL TRANSITO DEI TRENI:
- INTERVIENE NELLA RIDETERMINAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL PONTE.
- A LATO LA MODALITA' DI CALCOLO TEORICO.

$$\varphi_{rate} = 1 + \varphi' + 0,5\varphi''$$

dove:

$$\varphi' = \frac{K}{1 - K + K^4} \quad \text{con} \quad K = \frac{v}{2L \cdot n_0}$$
$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \left[ 56 \cdot e^{-\left(\frac{L\varphi}{10}\right)^2} + 50 \cdot \left( \frac{n_0 L \varphi}{80} - 1 \right) \cdot e^{-\left(\frac{L\varphi}{20}\right)^2} \right]$$

$$\text{se } v \leq 22 \text{ m/s} \Rightarrow \alpha = \frac{v}{22}; \quad \text{se } v > 22 \text{ m/s} \Rightarrow \alpha = 1$$

$v$  = velocità [m/s];

$n_0$  = prima frequenza flessionale del ponte [Hz];

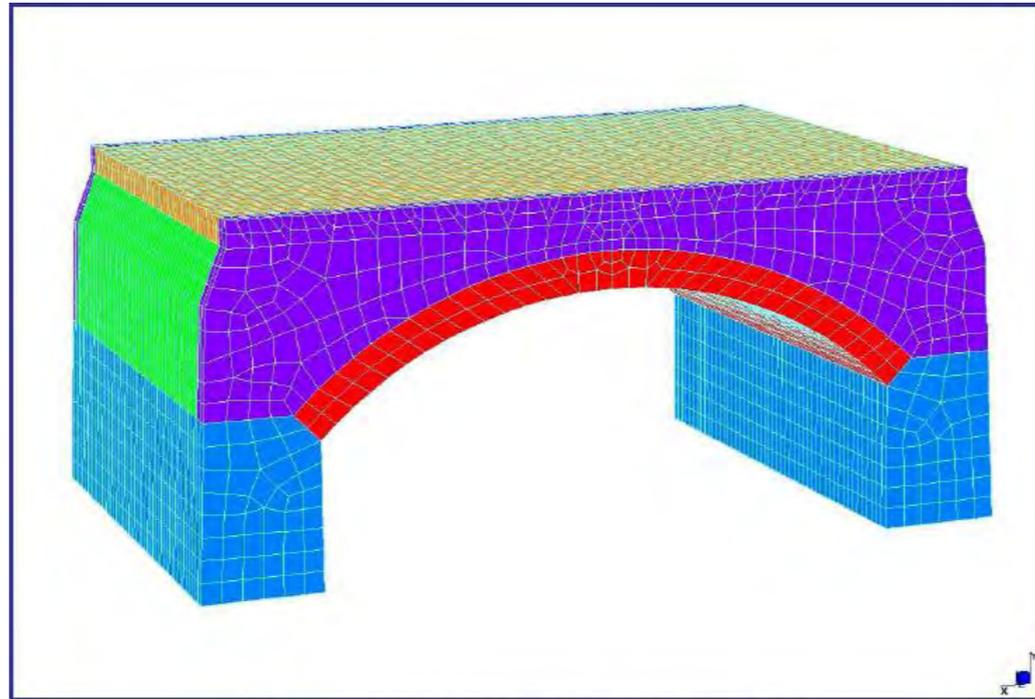
$L_\varphi$  = lunghezza caratteristica [m];

(per i ponti ad arco la lunghezza caratteristica  $L_\varphi$  è pari a due volte la luce libera);

$\alpha$  = coefficiente funzione della velocità del convoglio.

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

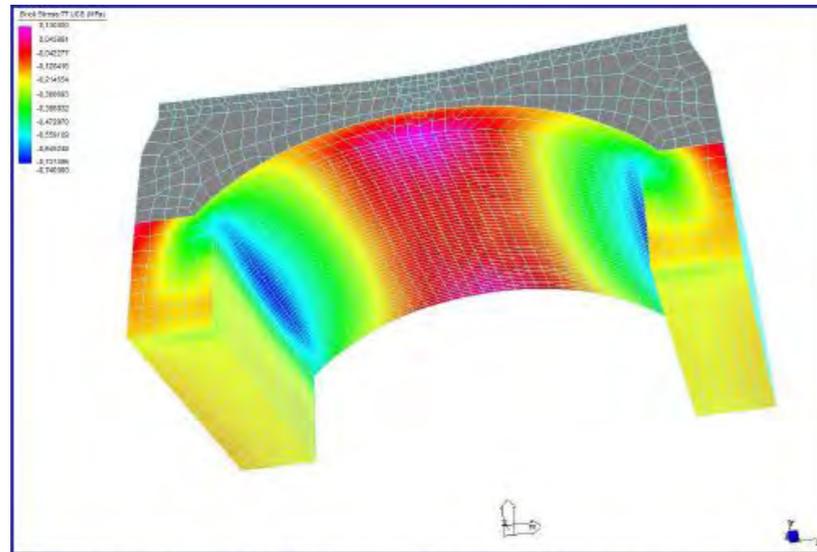
- EFFETTUATA SIMULAZIONE NUMERICA CON IL MODELLO AD ELEMENTI FINITI.
- SI SONO APPLICATI I TRENI DI CARICO TEORICI DETERMINANDO GLI STATI TENSIONALI



*Vista assonometrica del modello agli elementi finiti*

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

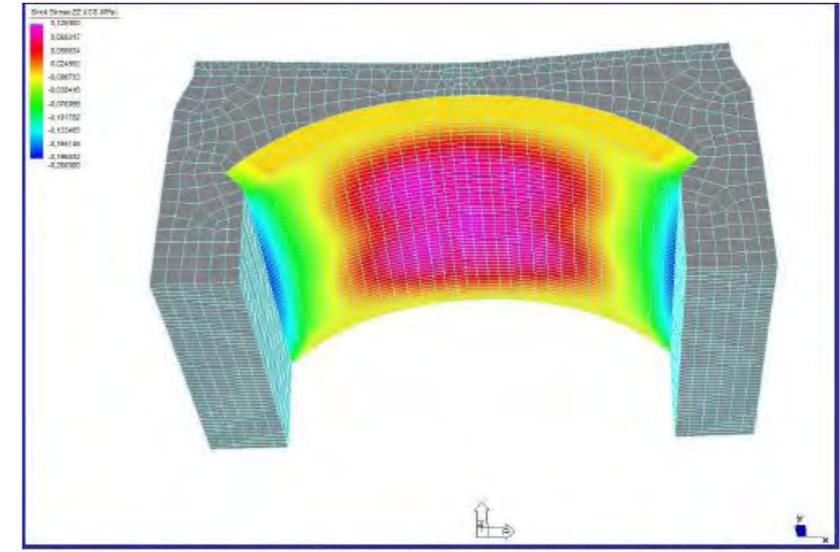
- VENGONO PREVISTI INTERVENTI DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO DELLE MURATURE



Tensioni  $\vartheta - \vartheta$  longitudinali - riferimento cilindrico: combinazione di carico C<sub>2</sub> [MPa]

COMBINAZIONE	AZIONE				
	Permanenti	Treno D4	Serpeggio	Frenatura e avv.	Vento
C <sub>2</sub>	1	1 (*)	1	0,5	0,6

(\*) incluso il coefficiente di amplificazione dinamico reale



Tensioni Z-Z trasversali - riferimento cilindrico: combinazione di carico C<sub>2</sub> [MPa]

Combinazione di carico	COMPRESSIONE	TRAZIONE		Descrizione
	Imposta arco	Arco in chiave		
		Longit.	Trasvers.	
C <sub>2</sub>	-0,74	0,13	0,11	Carichi permanenti + 2 treni di carico D4(*) + azioni orizzontali

(\*) incluso il coefficiente di amplificazione dinamico reale

# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

## DEMOLIZIONE MURATURE DELL'ARCO IN CORRISPONDENZA DEI TIMPANI



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- **PERFORAZIONI DEL VOLTO (MAGLIATURA DI 40x40 cm) INIEZIONI DI CEMENTO FLUIDO E SUCCESSIVAMENTE DI RESINE EPOSSIDICHE**



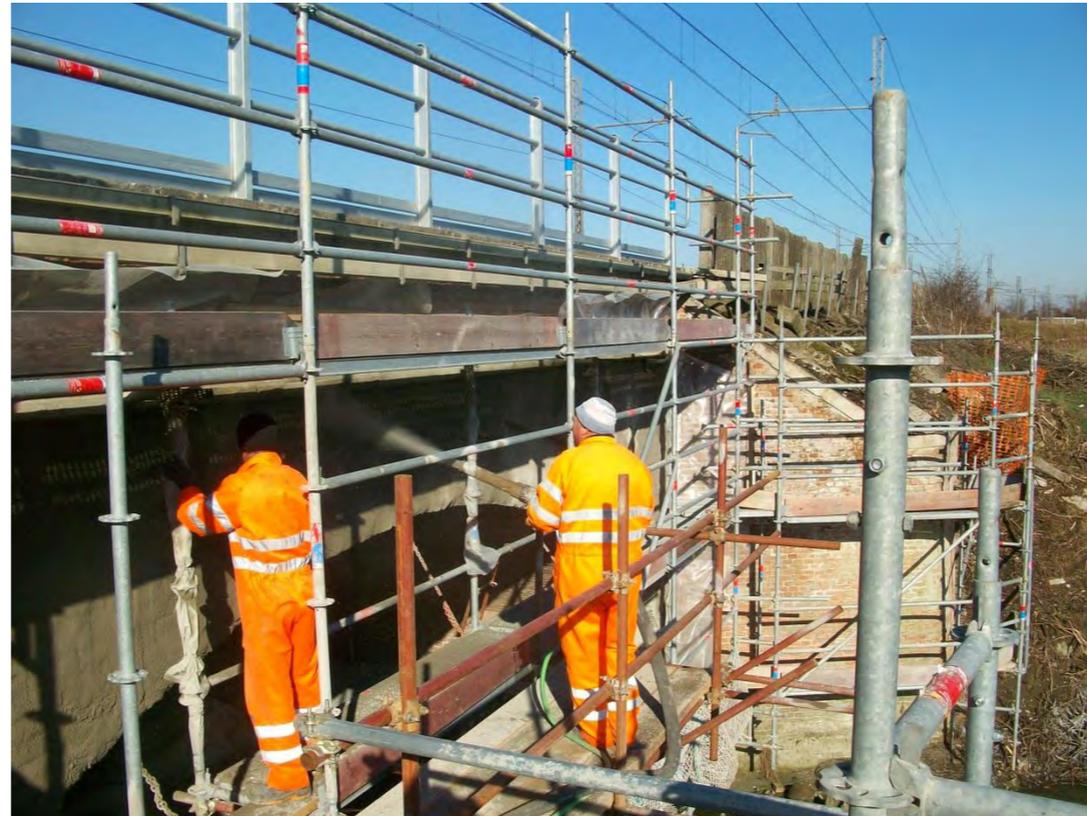
# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- RINFORZO ARCO



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- **APPLICAZIONE BETONCINO A SPRUZZO**



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

- **COMPLETAMENTO INTERVENTO**



# Interventi di potenziamento infrastrutturale della linea Padova - Bologna

---

***GRAZIE PER L'ATTENZIONE***