

## La sperimentazione delle Linee Guida per i ponti esistenti

**Accordo tra il CSLP ed il Consorzio ReLUIIS  
attuativo dei DM 578/2020 e DM 204/2022**

**Roma  
24 e 25 ottobre 2023**

**Sessione 2 – La valutazione della sicurezza dei ponti esistenti: modelli e prove sperimentali**  
**I PONTI CON STRUTTURA DI ACCIAIO E MISTA ACCIAIO-CLS**  
**Raffaele Landolfo**

# Contenuti

## Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-clc

- Tipologie
- Numerosità e vita di servizio

## Problematiche tipiche dei ponti metallici e misti acciaio-clc

- Degrado dei materiali – Corrosione
- Fatica e criticità dei collegamenti
- Sistemi di connessione per impalcati misti
- Criticità delle prove di identificazione distruttive

## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

- Unità coinvolte
- Aspetti salienti delle ricerche

## Considerazioni conclusive

# Contenuti

## Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-clc

- Tipologie
- Numerosità e vita di servizio

## Problematiche tipiche dei ponti metallici e misti acciaio-clc

- Degrado dei materiali – Corrosione
- Fatica e criticità dei collegamenti
- Sistemi di connessione per impalcati misti
- Criticità delle prove di identificazione distruttive

## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

- Unità coinvolte
- Aspetti salienti delle ricerche

## Considerazioni conclusive

# Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-cl

## Tipologie – Classificazione per ente scavalcato

Viadotto Caffaro, Lauria (PZ)  
**Viadotto metallico/misto**



Discontinuità  
orografica



Corso  
d'acqua



Altra via di  
comunicazione

Ponte Cadore, Pieve di Cadore (BL)  
**Ponte metallico/misto**

Cavalcavia sv. A30, Nola (NA)  
**Cavalcavia metallico/misto**



# Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-cl

## Tipologie – Classificazione per tipologia strutturale

**Struttura a cassone**



Viadotto Capodichino, Napoli

**Struttura strallata**



Ponte Garigliano, Minturno (LT)



Immissione C.so Malta, Napoli



**Struttura a travata**

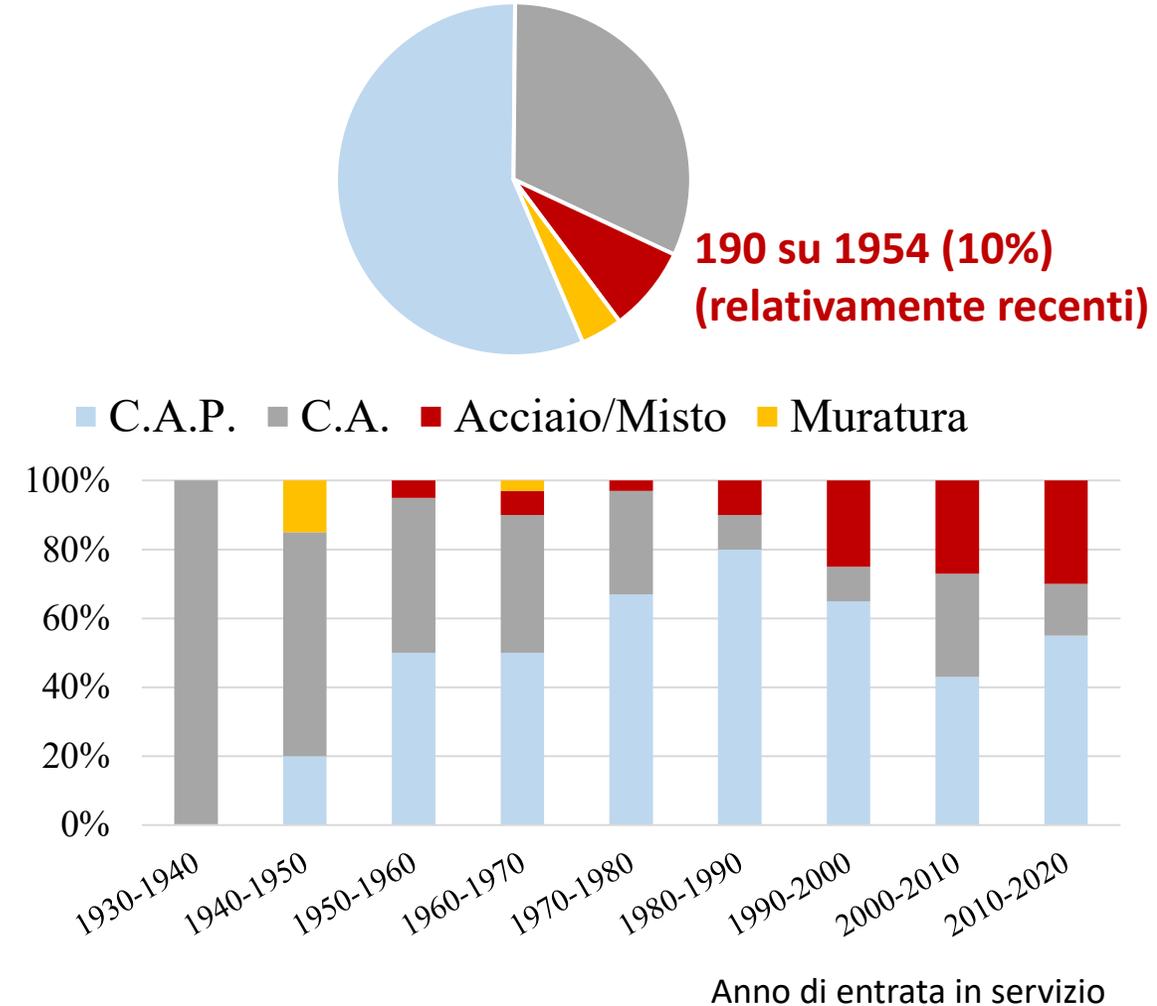
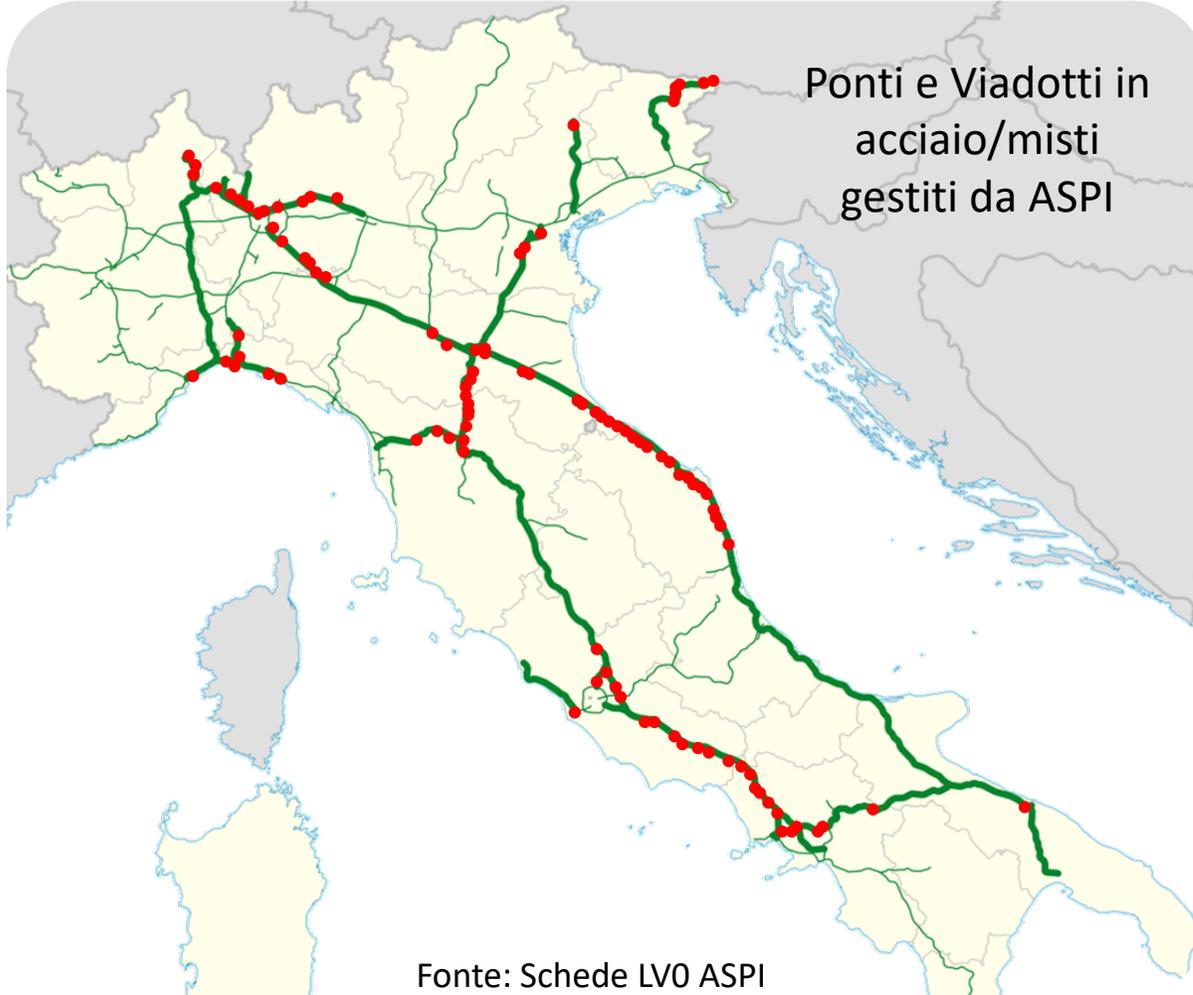
Cavalcavia Cavallera, Castegnato (BS)



**Struttura ad arco**

# Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-cl

## Numerosità e vita di servizio – Ponti e viadotti esistenti



# Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-cls

## Numerosità e vita di servizio – Cavalcavia esistenti



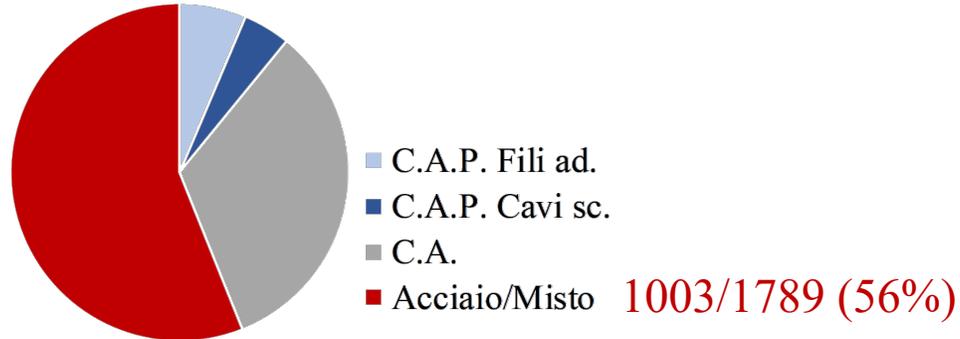
La maggior parte dei cavalcavia gestiti da ASPI è in acciaio/misto,

**Luce:** moderata (20-40 m)

**Vita di servizio:** compresa tra i 30 e i 40 anni

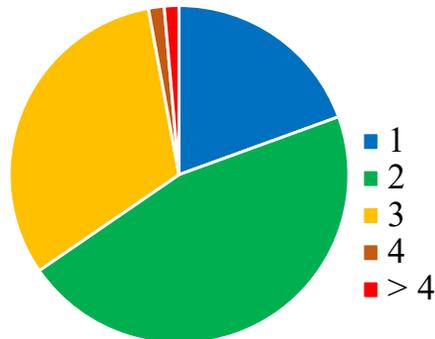
Fonte: Schede LV0 ASPI

### Cavalcavia gestiti da ASPI (1798)

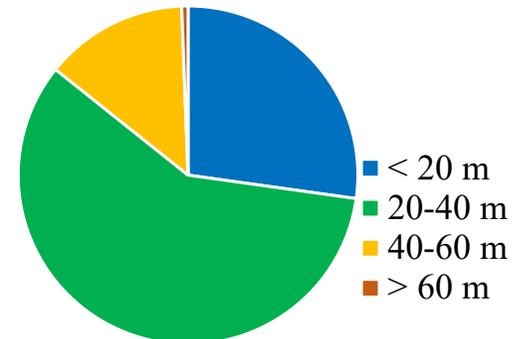


### Cavalcavia ASPI in acciaio/misti

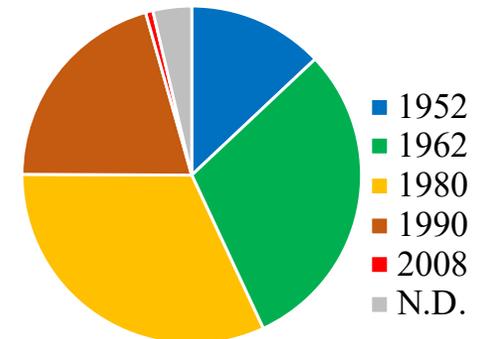
Numero di campate



Luce media delle campate



Norma di progettazione



# Contenuti

Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-clc

- Tipologie
- Numerosità e vita di servizio

**Problematiche tipiche dei ponti metallici e misti acciaio-clc**

- Degradamento dei materiali – Corrosione
- Fatica e criticità dei collegamenti
- Sistemi di connessione per impalcati misti
- Criticità delle prove di identificazione distruttive

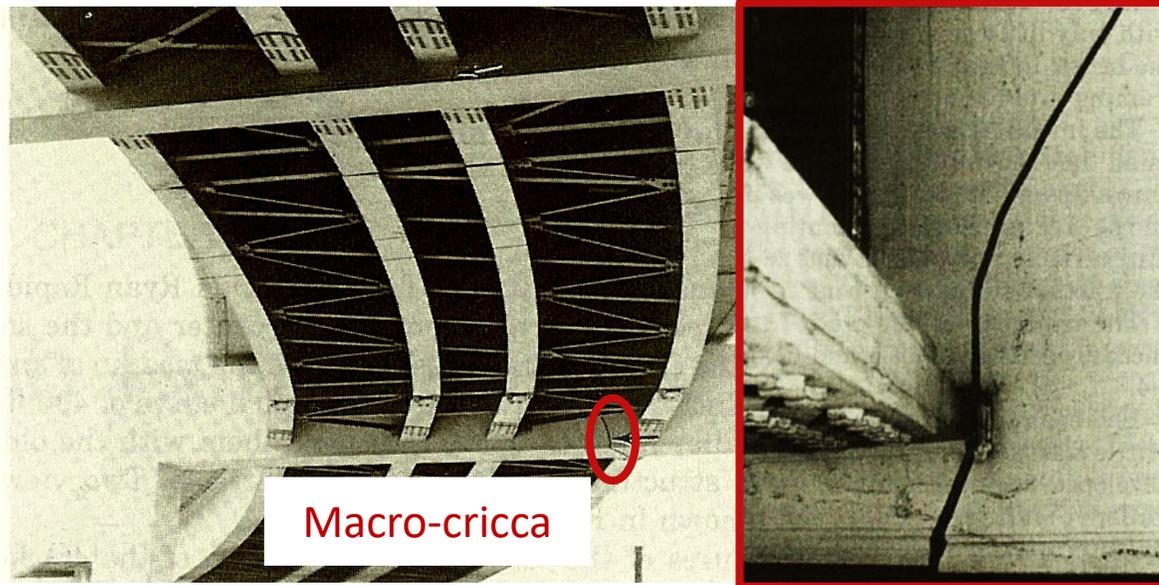
Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

- Unità coinvolte
- Aspetti salienti delle ricerche

Considerazioni conclusive

# Problematiche tecniche dei ponti metallici e misti acciaio-clc

## Fatica e criticità dei collegamenti



Dan Ryan Line Elevated Bridge, Illinois, USA



Rappahannock River Bridge, Virginia, USA

Il fenomeno della fatica rappresenta una notevole criticità per i ponti a struttura metallica o mista acciaio/clc. Le crisi di tipo fragile sono localizzate nei collegamenti e nelle zone di forte concentrazione tensionale, quali i brucchi cambi di sezione e le zone di appoggio. Sono particolarmente critici i giunti *saldati* e i giunti *bullonati non precaricati*.

## Problematiche tecniche dei ponti metallici e misti acciaio-clc

# Degrado dei materiali – Corrosione



I-19 Highway Bridge, New York, USA



Albany Railway Bridge, New York, USA

Il degrado dei materiali rappresenta un'altra fondamentale criticità per i ponti metallici e misti, in particolare sotto forma di corrosione (spesso fortemente localizzata). L'interazione di degrado e fatica può ulteriormente peggiorare la performance di ponti esistenti conducendo ad un loro rapido deterioramento. Tale problematica è ulteriormente critica in caso di strutture difficilmente ispezionabili.

## Problematiche tecniche dei ponti metallici e misti acciaio-clt

### Sistemi di connessione per impalcati misti



Connettori a taglio a T

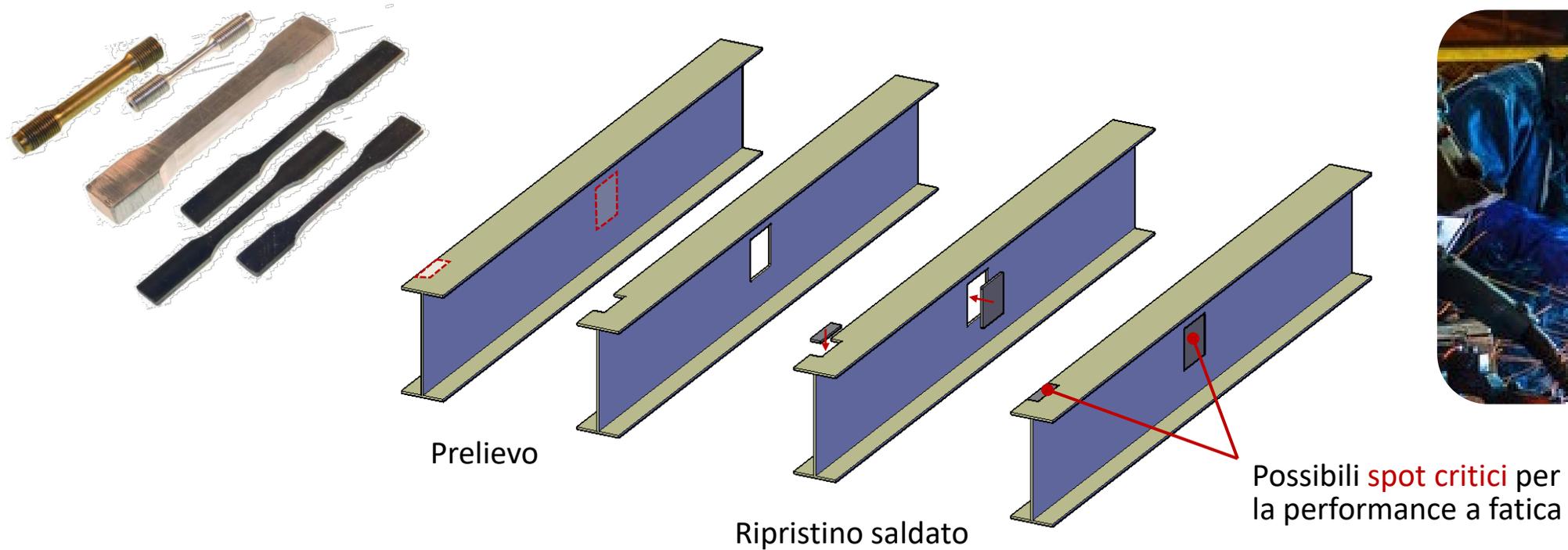


Connettori a piolo tipo Nelson

L'efficienza dei sistemi di connessione rappresenta una evidente criticità per i ponti a struttura mista acciaio/clt. Prima dell'avvento delle correnti disposizioni normative, sono state impiegate diffusamente *numerose tipologie di connettori* la cui identificazione e valutazione rappresentano una complessa problematica per le strutture esistenti.

# Problematiche tipiche dei ponti metallici e misti acciaio-clc

## Criticità delle prove di identificazione distruttive



L'identificazione del materiale acciaio attraverso prove distruttive rappresenta una problematica delicata. Il prelievo dei campioni e successivo ripristino in opera richiede un'esecuzione e controllo a regola d'arte. La numerosità prescritta per tali prove appare inoltre non commisurata alla specificità del materiale investigato, specialmente in virtù della necessità di raggiungere una conoscenza estesa (LC3).

# Contenuti

## Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-clc

- Tipologie
- Numerosità e vita di servizio

## Problematiche tipiche dei ponti metallici e misti acciaio-clc

- Degrado dei materiali – Corrosione
- Fatica e criticità dei collegamenti
- Sistemi di connessione per impalcati misti
- Criticità delle prove di identificazione distruttive

## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

- Unità coinvolte
- Aspetti salienti delle ricerche

## Considerazioni conclusive

## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

### Unità coinvolte



#### **Università degli Studi di Napoli Federico II**

UR Landolfo

UR Nigro

UR Pecce



#### **Università di Salerno**

UR Rizzano



#### **Università di Genova**

UR Repetto



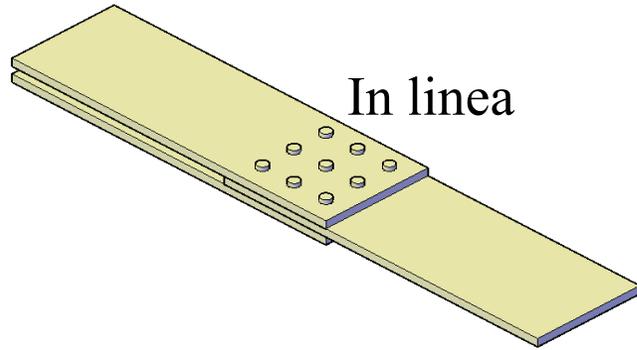
#### **Università di Trento**

UR Bursi

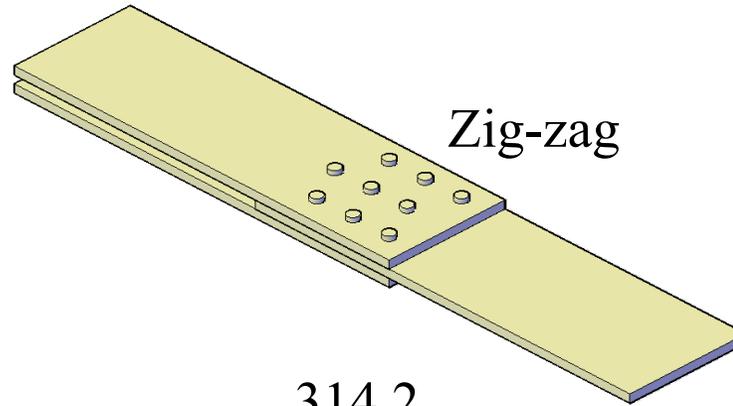
# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNINA Landolfo

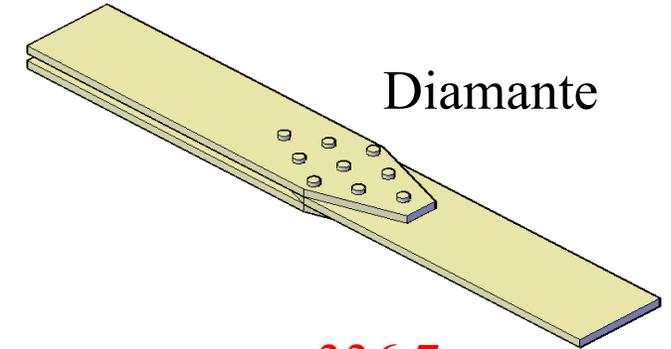
L'UR affronta il tema della fatica in collegamenti bullonati tipici di ponti metallici o misti acciaio-clc, studiando l'influenza di fattori quali la configurazione dei collegamenti ed il precarico applicato.



In line



Zig-zag

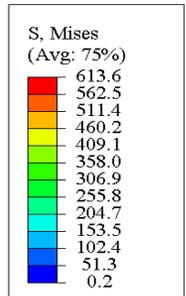


Diamante

$\sigma_{\text{Von Mises,MAX}}$  314.8  
 $\sigma_{\text{XX,MAX}}$  288.9

314.2  
 283.9

336.7  
 312.7

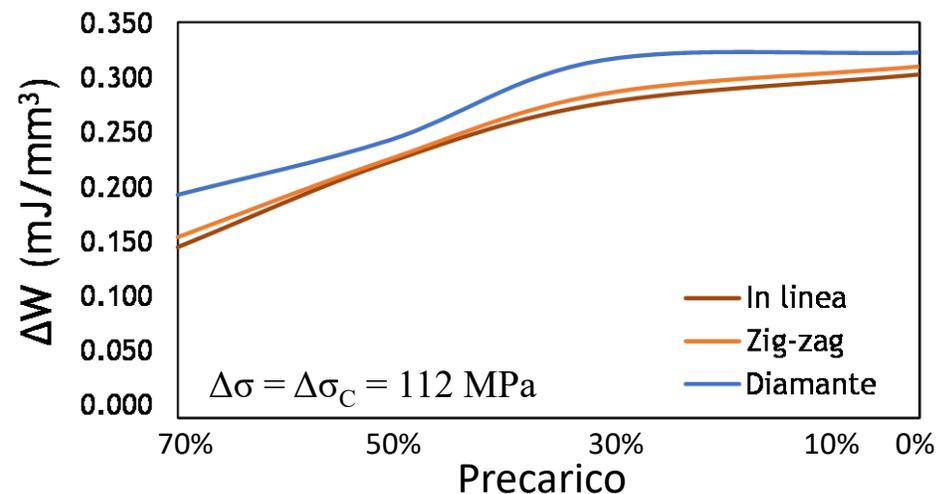
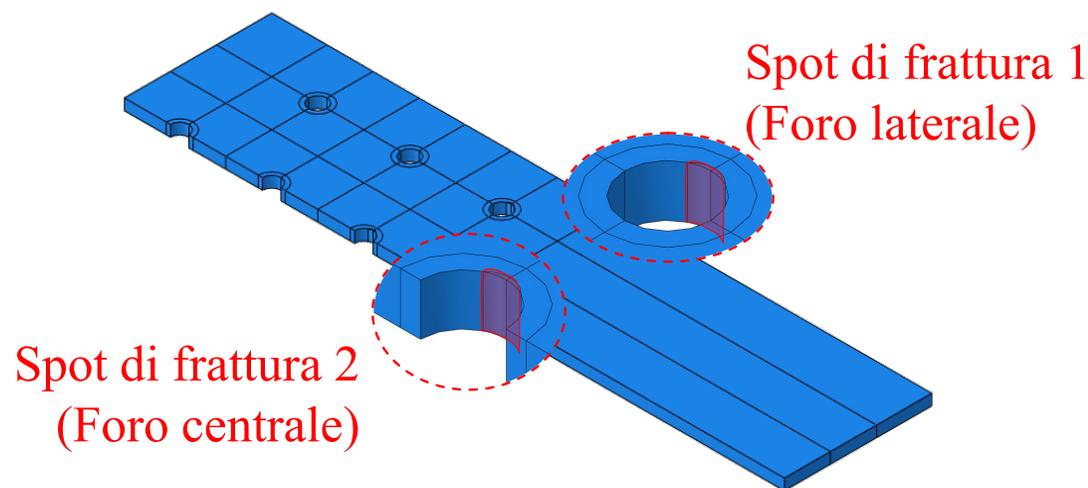


$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_C = 112 \text{ MPa}$$

Benché più performante dal punto di vista statico (più efficiente nei confronti delle crisi per area netta), la configurazione a «diamante» (impiegata nei ponti metallici più datati) è critica nei confronti della fatica

## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP UR UNINA Landolfo

L'UR affronta il tema della fatica in collegamenti bullonati tipici di ponti metallici o misti acciaio-clc, studiando l'influenza di fattori quali la configurazione dei collegamenti ed il precarico applicato.



**Metodo Strain Energy Density: (Berto & Lazzarin 2014)**  
La performance a fatica è assunta governata dalla variazione della densità di energia elastica mediata ( $\Delta W$ ) su un volume di controllo centrato all'apice del foro.

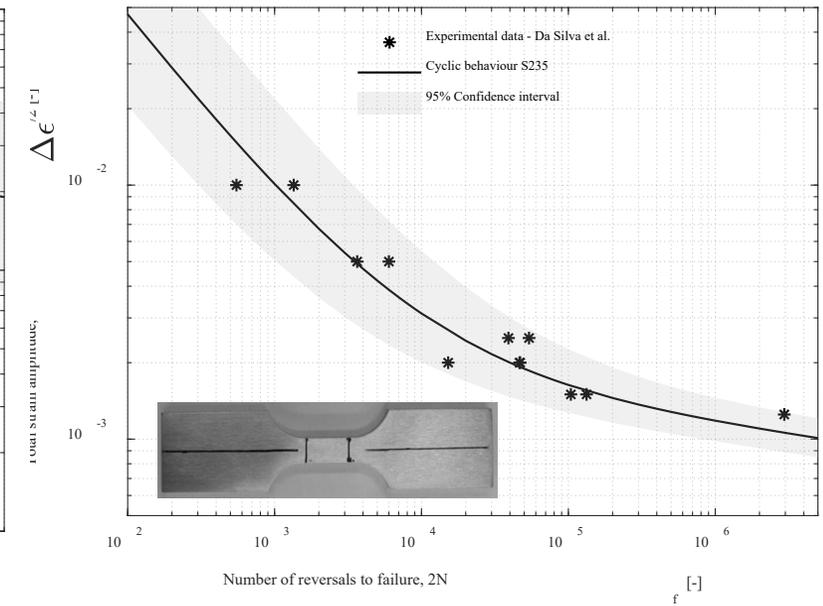
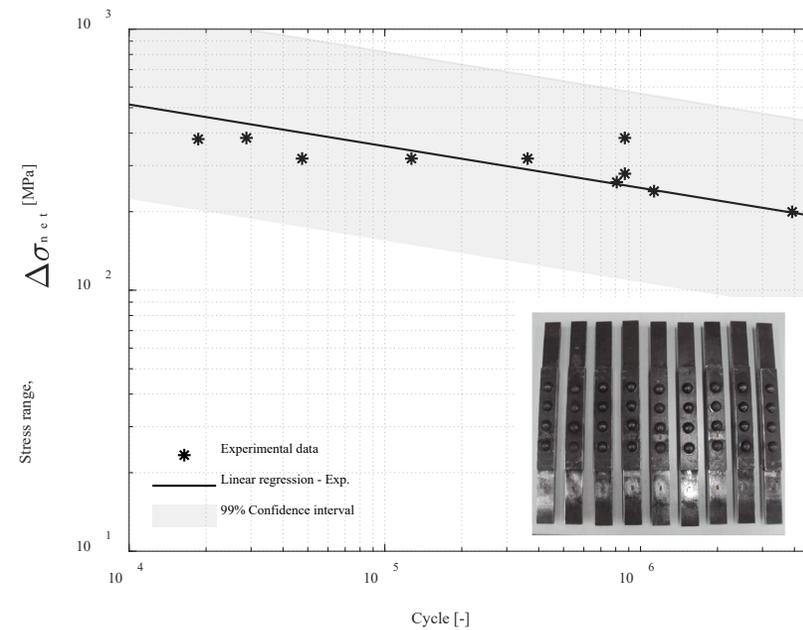
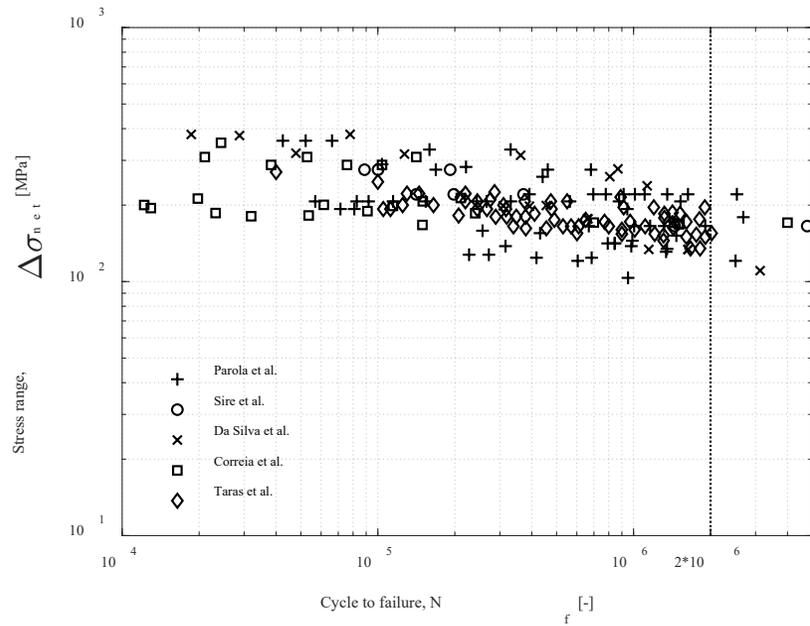
La perdita di precarico appare avere un effetto determinante (+64% in termini di  $\Delta W$  tra collegamenti precaricati al 70% e non precaricati) per tutte le configurazioni.  
**Ciò si traduce in una potenziale riduzione di  $\approx 70\%$  della vita a fatica attesa.**

# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNISA Rizzano

L'UR affronta il tema della fatica in collegamenti chiodati tipici di ponti metallici storici, studiando l'influenza di fattori quali la configurazione e la geometria dei collegamenti.

### Catalogazione di dati sperimentali sulla caratterizzazione della resistenza a fatica di unioni chiodate

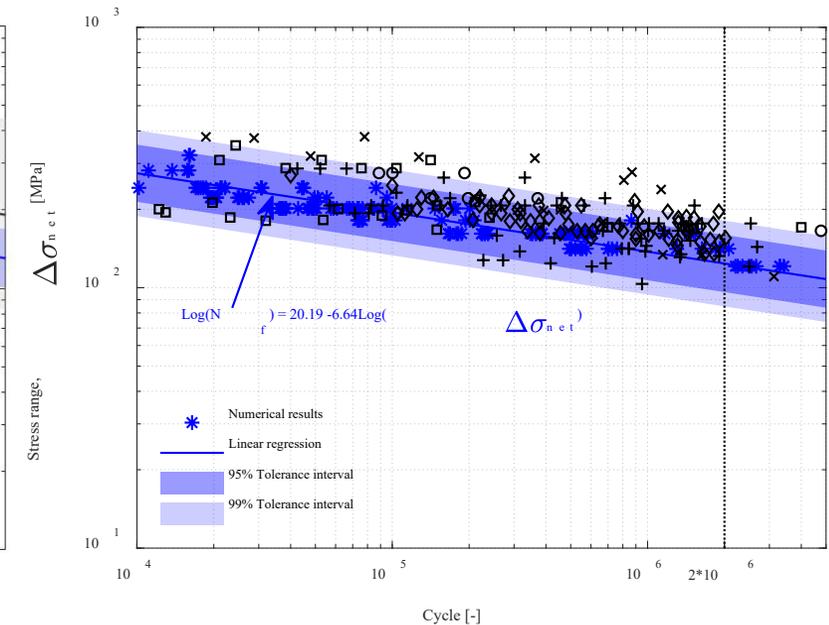
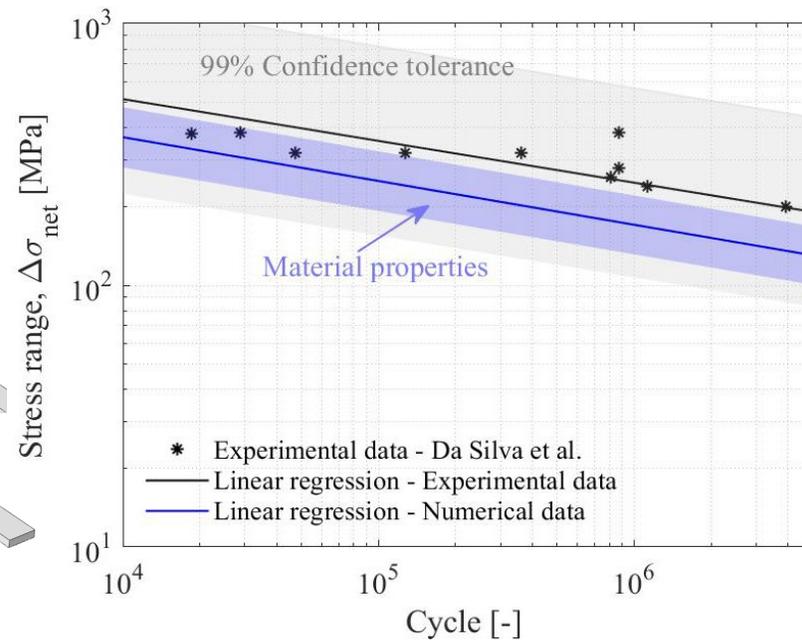
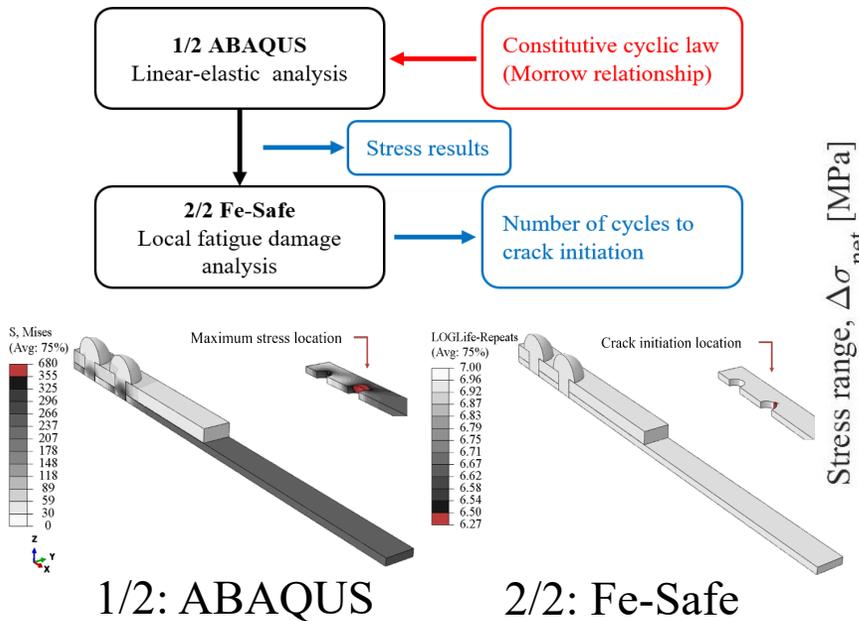


# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNISA Rizzano

L'UR affronta il tema della fatica in collegamenti chiodati tipici di ponti metallici storici, studiando l'influenza di fattori quali la configurazione e la geometria dei collegamenti.

Sviluppo di una procedura numerica per la valutazione della resistenza a fatica di unioni chiodate



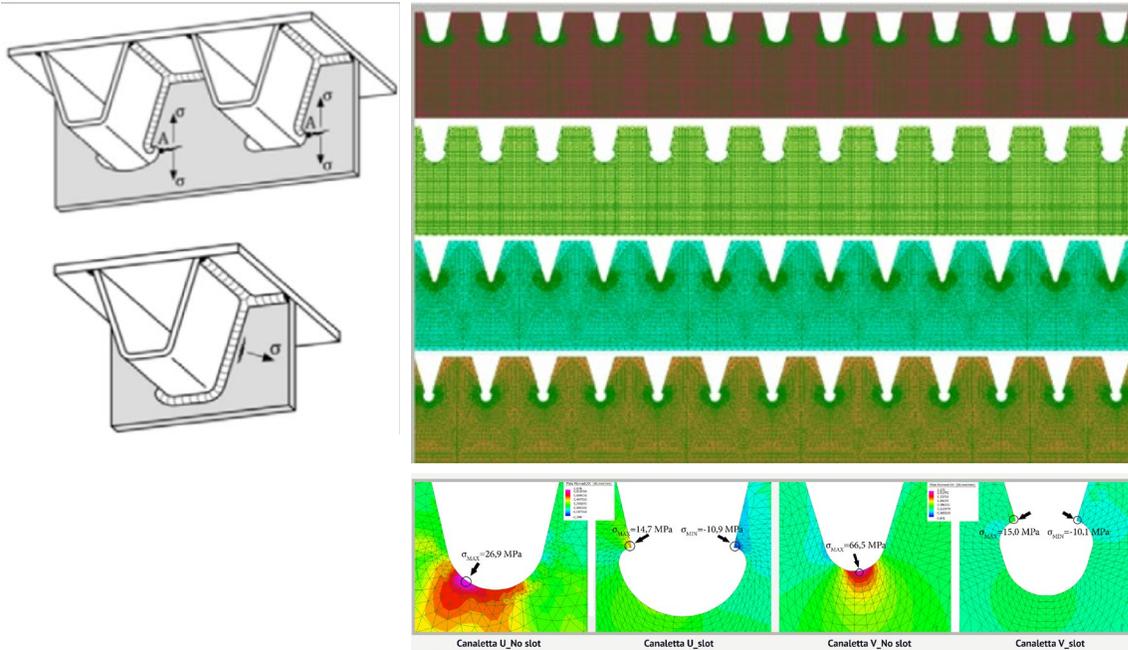
## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

# UR UNIGE Repetto

L'UR affronta i problemi relativi alla performance delle piastre ortotrope in acciaio in ponti a struttura mista, con particolare riferimento a dettagli critici saldati.

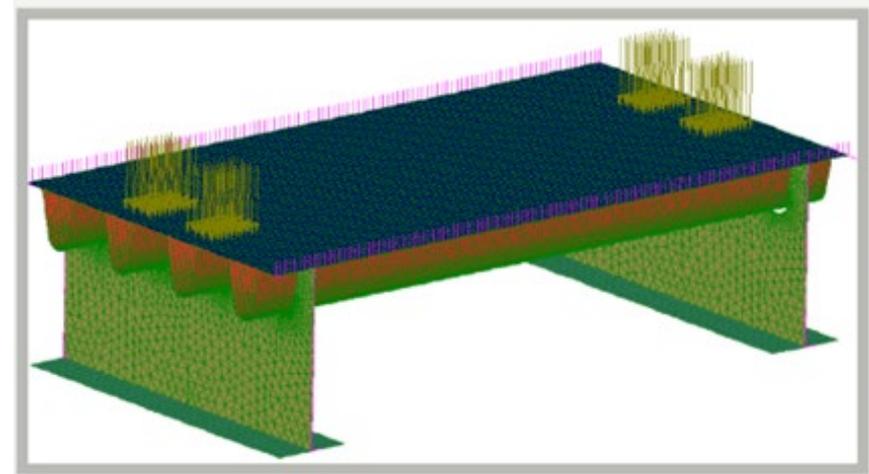
### *Studio del dettaglio di collegamento dei traversi in acciaio in impalcati a piastra ortotropa*

- 4 diversi modelli di diaframma
- Con e senza slot per saldature



### Progetto di un provino per prove a fatica

- Definizione della geometria
- Analisi FEM propedeutica



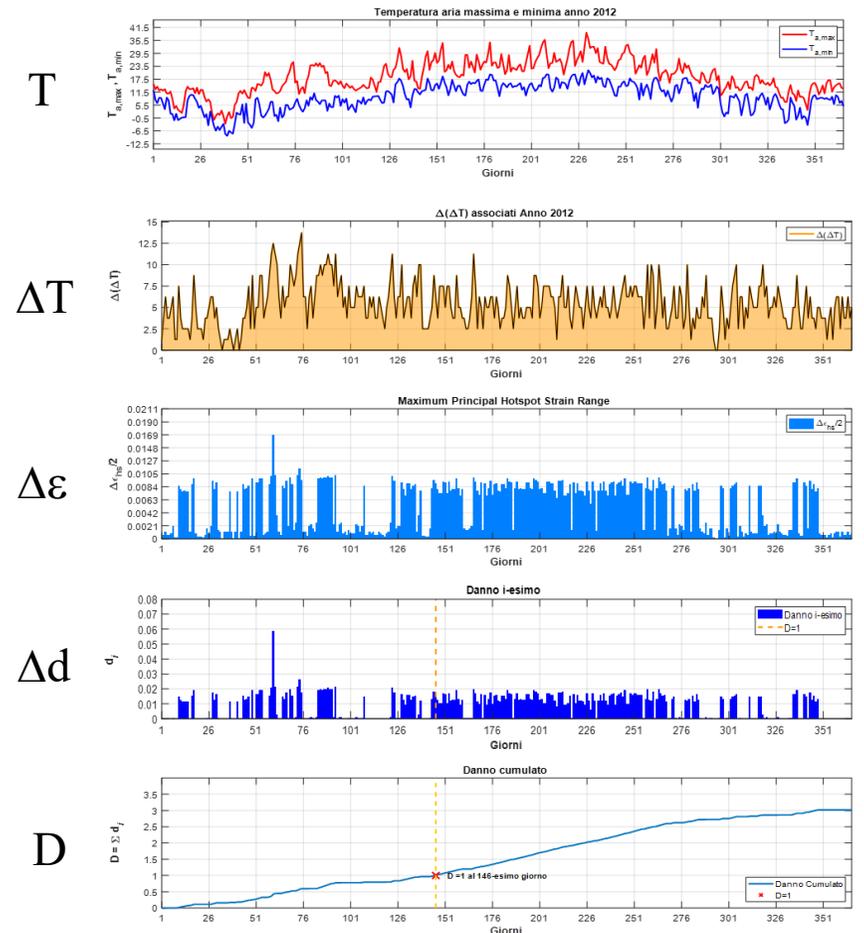
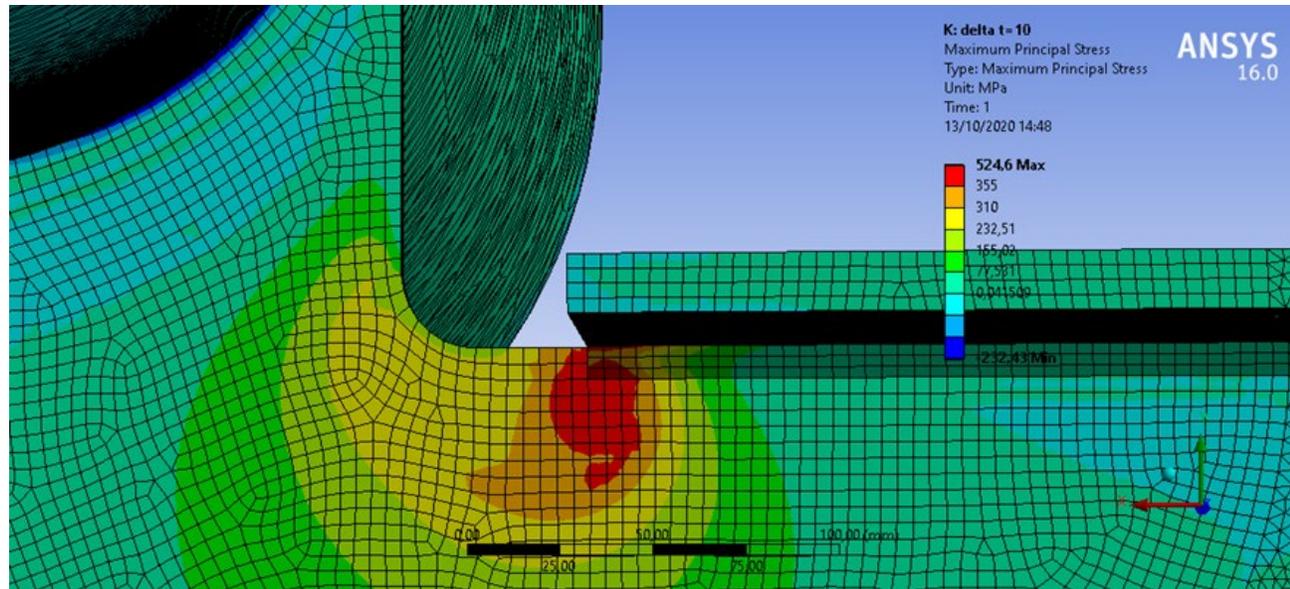
# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNIGE Repetto

L'UR affronta i problemi relativi alla performance delle piastre ortotrope in acciaio in ponti a struttura mista, con particolare riferimento a dettagli critici saldati.

### *Fatica oligociclica da variazioni termiche*

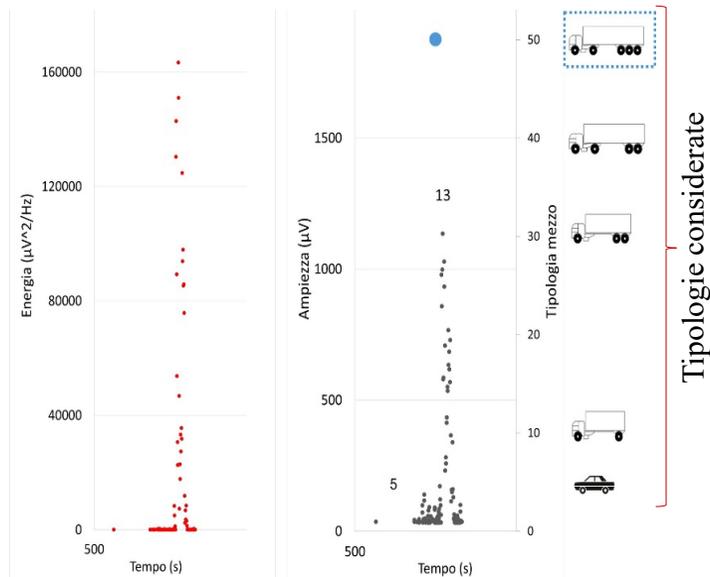
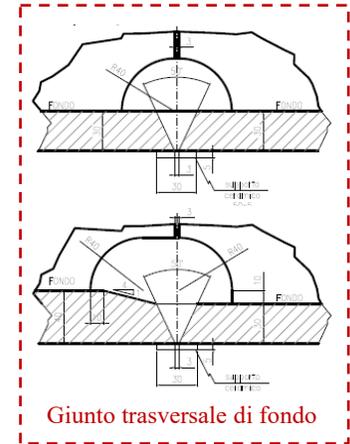
Evoluzione del danno a partire dalla storia temporale di temperatura



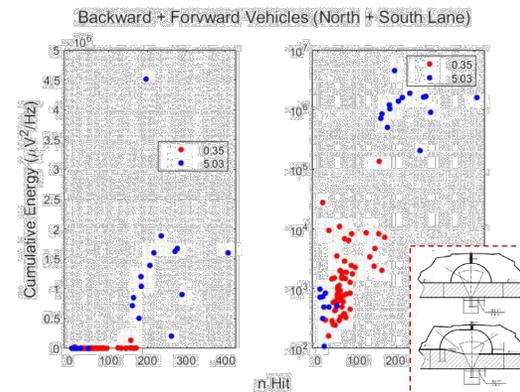
# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNITN Bursi

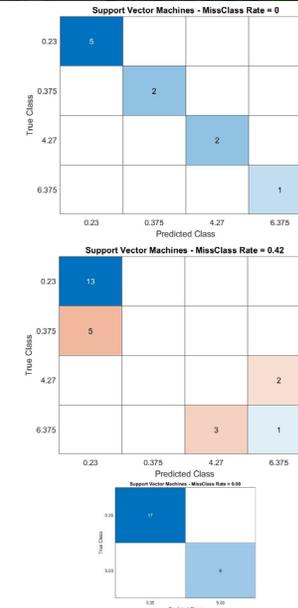
L'UR affronta la tematica della determinazione della domanda tensionale a fatica in ponti a struttura metallica e mista tramite l'interpretazione di emissioni acustiche (AE).



Identificazione di singole tipologie di veicolo



Classificazione via analisi AE degli hit



isi dell'accuratezza del metodo

# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNINA Pecce

L'UR affronta la problematica delle connessioni a taglio in ponti esistenti, investigando l'effetto della geometria dei pioli (presenza o meno della testa) e della disposizione delle armature nelle solette.

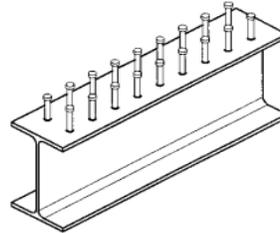
### *Analisi di letteratura e normativa su diversi tipi di connettori*



Connettore a C



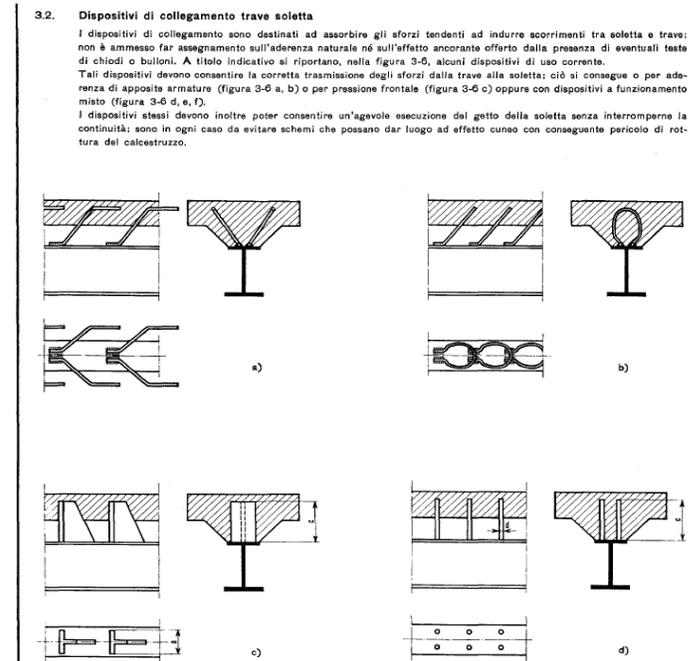
Connettore a L



Connettore a piolo  
senza testa

### *Normative italiane utilizzate per i ponti esistenti*

Unificazione italiana		2 <sup>a</sup> Ed. - Marzo 1972
Travi composte di acciaio e calcestruzzo Istruzioni per il calcolo e l'esecuzione		CNR - UNI 10016-72
Composite beams of steel and concrete - Instructions for design and construction		
Le presenti istruzioni del CNR sono state elaborate dalla Commissione per lo studio delle norme sulle costruzioni di acciaio.		



*Non ci sono indicazioni sulla resistenza della connessione ma solo il calcolo della sollecitazione in campo lineare*

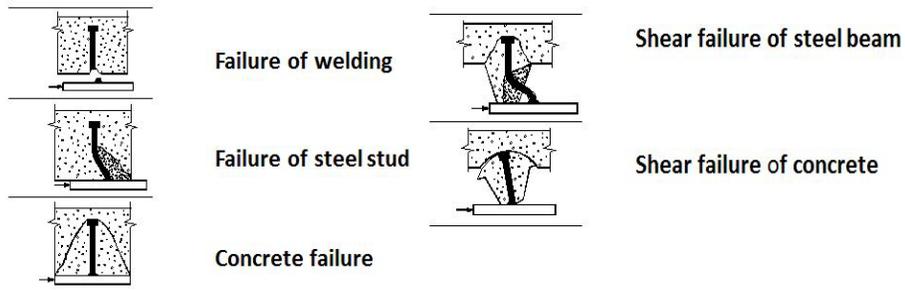
# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNINA Pecce

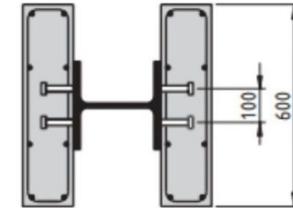
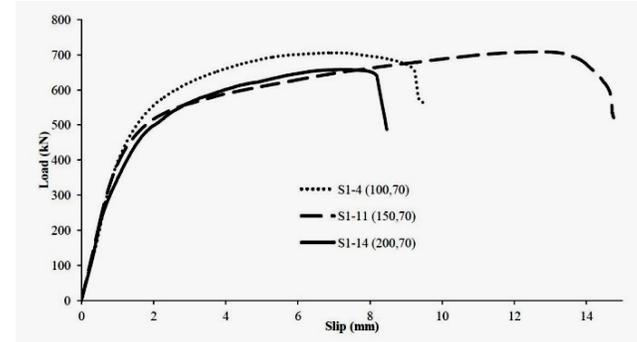
L'UR affronta la problematica delle connessioni a taglio in ponti esistenti, investigando l'effetto della geometria dei pioli (presenza o meno della testa) e della disposizione delle armature nelle solette.

### *Studio del comportamento di connettori a taglio esistenti in ponti a struttura mista*

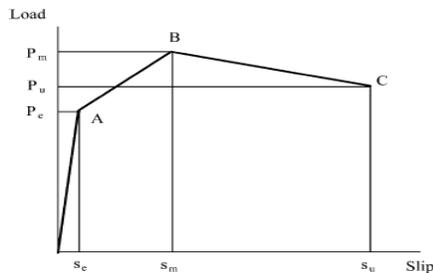
#### *Modalità di rottura dei connettori a piolo*



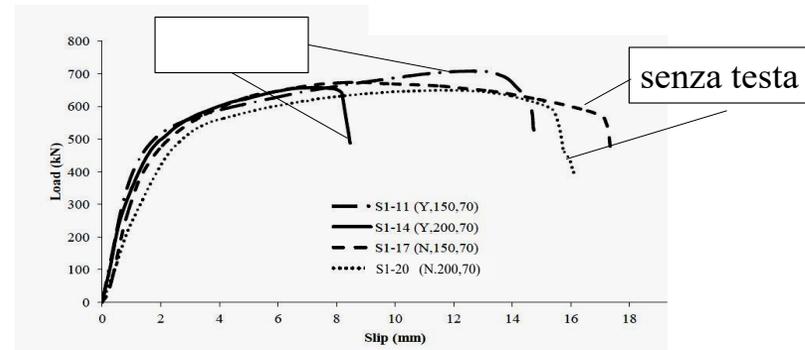
#### *Effetto della testa e della posizione nella rete in acciaio nella soletta*



*I connettori a piolo utilizzati in molti ponti esistenti sono costituiti da barre senza testa*



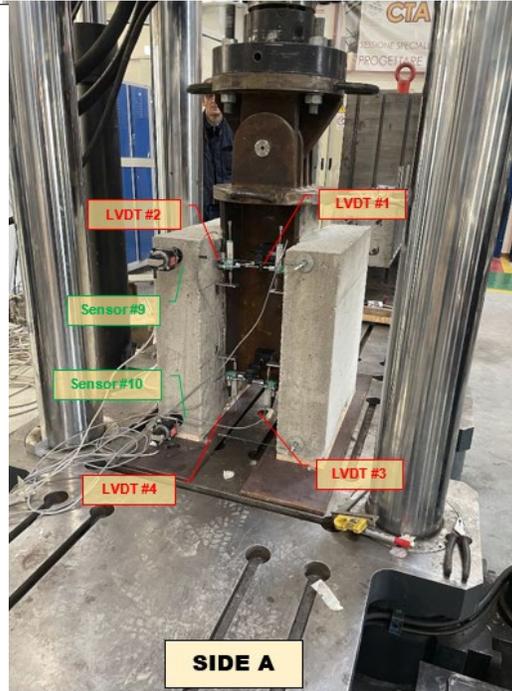
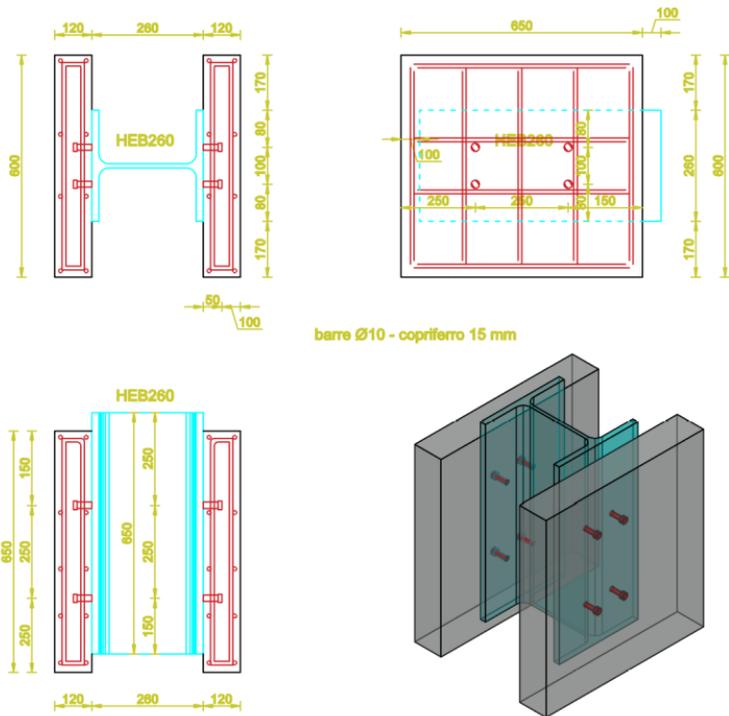
*Schematizzazione legame taglio-scorrimento*



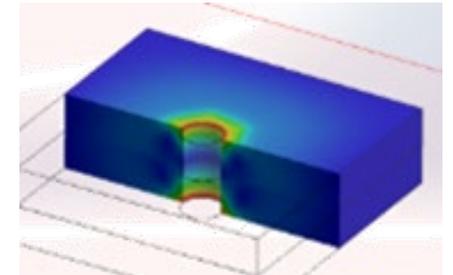
# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP UR UNINA Nigro (Martinelli, Lima)

L'UR affronta il tema della performance dei connettori a taglio in strutture miste realizzate con solette ad alte prestazioni (UHPC).

## Esecuzione prove sperimentali



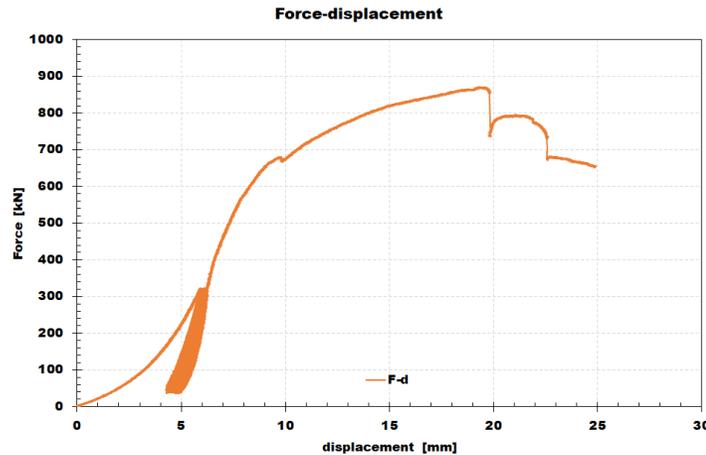
*...future elaborazioni e modellazioni numeriche...*



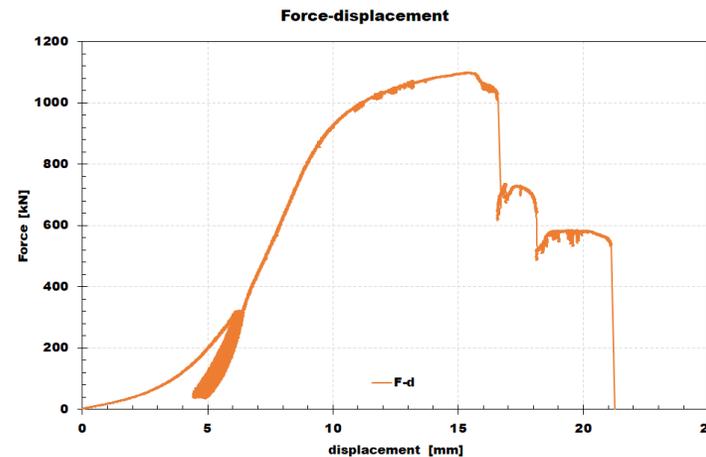
# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP UR UNINA Nigro (Martinelli, Lima)

L'UR affronta il tema della performance dei connettori a taglio in strutture miste realizzate con solette ad alte prestazioni (UHPC).

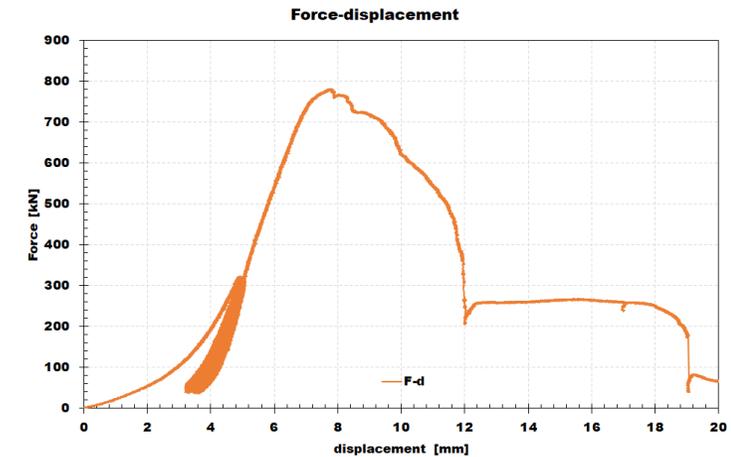
pioli in solette di CLS ordinario  
(C35/45)



pioli in solette di CLS a media  
resistenza (C60/75)



pioli in solette di CLS ad alta  
resistenza (HPC M130)



## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

### UR UNITN Bursi

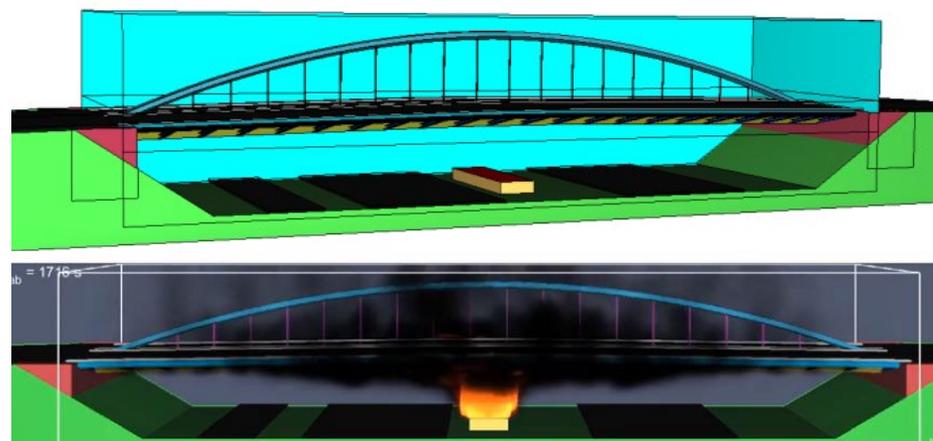
L'UR affronta l'analisi tramite modellazione numerica avanzata degli scenari da incendio in ponti a struttura metallica e mista acciaio/cls.



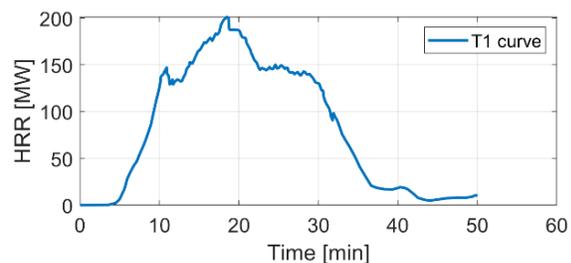
Modello BIM



Modello CFD agli elementi finiti – Ambiente FDS



Curva di rilascio termico considerata



*Sovrappasso n°113 Mantova Sud*

# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNINA Nigro

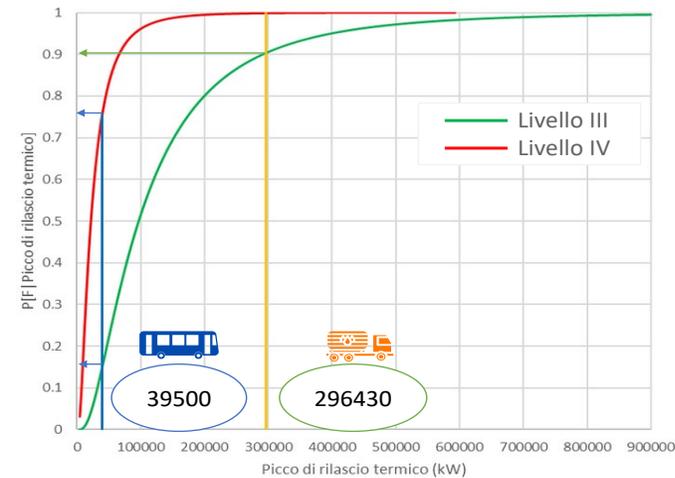
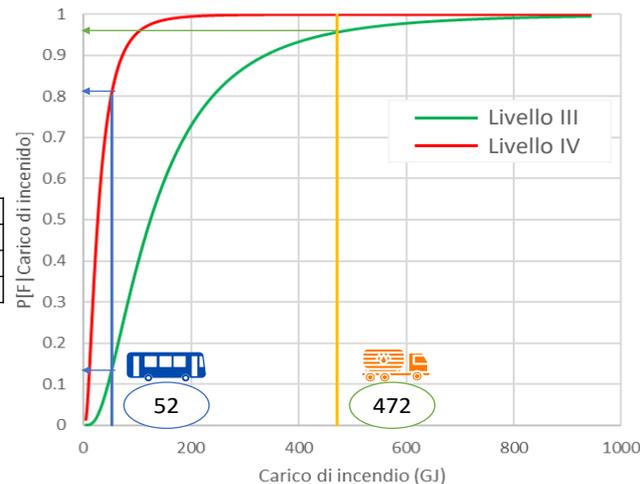
L'UR affronta il tema della vulnerabilità dei ponti a struttura mista in scenari di incendio tramite un approccio di tipo probabilistico.

### Metodologia

- ▶ Definizione delle caratteristiche geometriche e meccaniche di un ponte tipo
- ▶ Individuazione degli scenari di incendio più probabili
- ▶ Analisi termiche e meccaniche della struttura
- ▶ Determinazione delle curve di fragilità attraverso regressione lineare e modello log-normale di fragilità.

Livello di Performance (PL)	Descrizione	IF	Grado di rischio incendio
I	il ponte deve resistere per il tempo necessario all'evacuazione	0,8	Basso
II	il ponte deve resistere per tutta la durata dell'incendio	1,0	Medio
III	gli spostamenti devono essere limitati a L/100 per tutta la durata dell'incendio	1,2	Alto
IV	gli spostamenti devono essere limitati a L/250 per tutta la durata dell'incendio	1,5	Critico

	Carico (GJ)	P[F Carico] Livello III (%)	P[F Carico] Livello IV (%)
BUS	52	12.94	80.26
TANKER	472	95.67	99.99

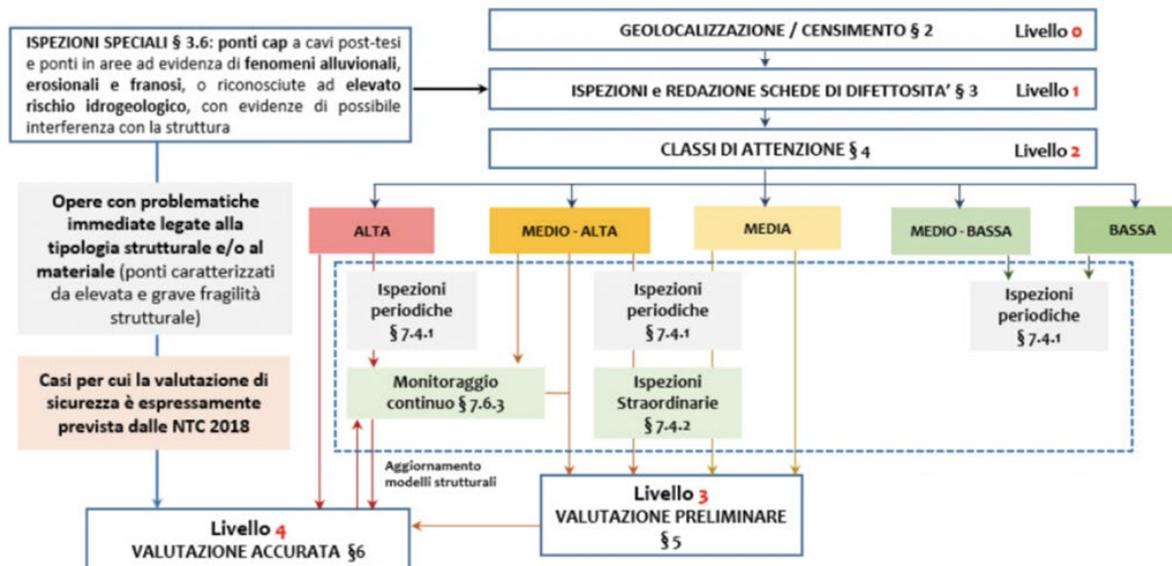


	Picco (kW)	P[F Picco] Livello III (%)	P[F Picco] Livello IV (%)
BUS	39500	14.94	75.46
TANKER	296430	90.34	99.88

# Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

## UR UNIGE Repetto

L'UR affronta il tema della manutenzione risk-based delle infrastrutture da ponte metalliche o miste, confrontandone gli esiti con le prescrizioni delle LG2022.

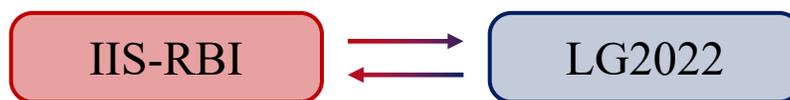


LOF - Likelihood Category	5									
	4									
	3									
	2									
	1									
		A	B	C	D	E				
		COF - Consequence Category								

ALTA
MEDIO-ALTA
MEDIA
BASSA

Categoria di rischio



Correlazione tra l'approccio per CDA delle LG2022 e approcci tipici di manutenzione risk-based suggeriti da IIS per altre strutture metalliche (ad es. impianti industriali)

# Contenuti

## Introduzione: I ponti esistenti con struttura di acciaio e mista acciaio-clc

- Tipologie
- Numerosità e vita di servizio

## Problematiche tipiche dei ponti metallici e misti acciaio-clc

- Degradamento dei materiali – Corrosione
- Fatica e criticità dei collegamenti
- Sistemi di connessione per impalcati misti
- Criticità delle prove di identificazione distruttive

## Ricerca: Le attività del Task 4.5 del Progetto ReLUIS-CSLLPP

- Unità coinvolte
- Aspetti salienti delle ricerche

## Considerazioni conclusive

## Considerazioni conclusive

- I ponti con struttura metallica o mista acciaio-clc rappresentano una aliquota consistente delle infrastrutture di trasporto esistenti in Italia, con particolare riferimento ai cavalcavia (56% del totale, dati ASPI);
- Tali opere sono in generale caratterizzate da una vita di servizio relativamente ridotta (30-40 anni), e presentano pertanto limitate criticità;
- Ciò nonostante, non possono essere sottovalutate le problematiche tipiche di tali opere, in quanto esse si rivelano insidiose da identificare (ad es. nel caso delle crisi a fatica e della performance dei sistemi di connessione) e da trattare adeguatamente;
- Vi è inoltre il problema dell'identificazione invasiva dei materiali strutturali, la quale è senz'altro possibile ma richiede esecuzione e controllo a regola d'arte. Inoltre, la numerosità di tali prove andrebbe commisurata alla tipologia di materiale investigato;
- Restano ancora aperte varie e vaste aree di ricerca, quali l'interazione di fenomeni di degrado e fatica e la definizione di modelli di capacità accurati per i sistemi di connessione.