

# Lo stato della ricerca sulla valutazione del rischio e la verifica della sicurezza dei ponti e dei viadotti

## I PONTI FERROVIARI ESISTENTI

Ing. Franco Iacobini

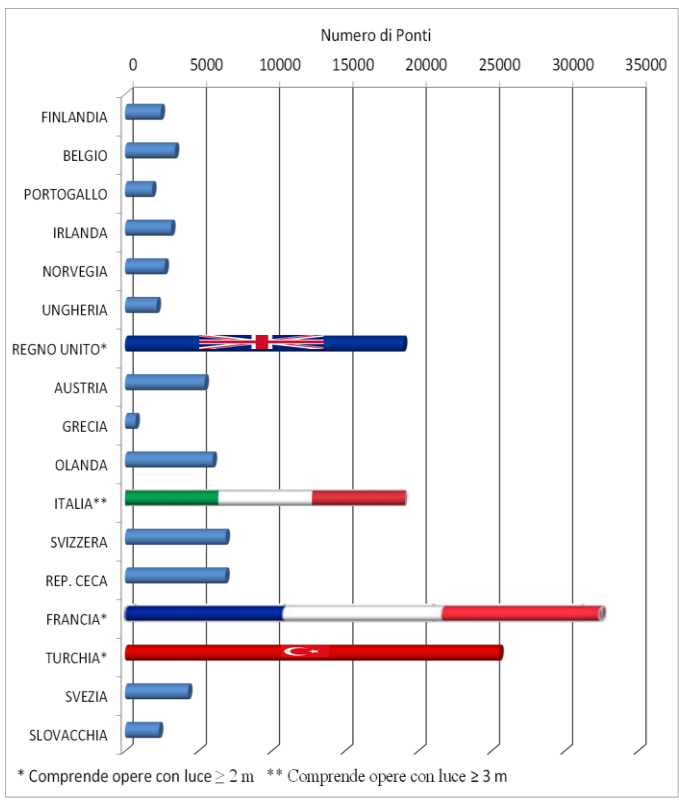
02/09/2021



# OPERE D'ARTE DELL'INFRASTRUTTURA FERROVIARIA



## L'INFRASTRUTTURA FERROVIARIA - OPERE IN CIFRE



I *Ponti gestiti da RFI* costituiscono uno tra i patrimoni di gran lunga più cospicuo tra tutte le *nazioni europee*



In circa **17.000** km di rete ferroviaria gestita da RFI sono presenti:



Viadotti  
n° 1.575

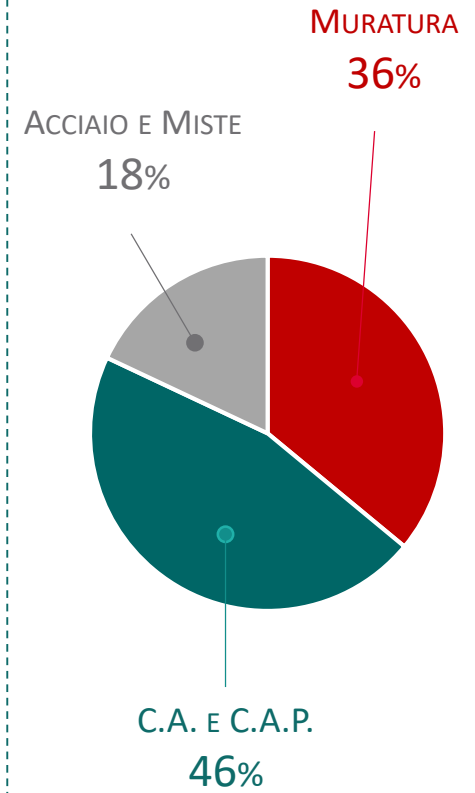
circa **19.000** ponti  
con Luce > 3 m  
circa 570 km di linea

Ponti  
n° 8.085



Sottovia  
n° 10.162

### MATERIALI



# OPERE D'ARTE DELL'INFRASTRUTTURA FERROVIARIA



2000

1900

1800

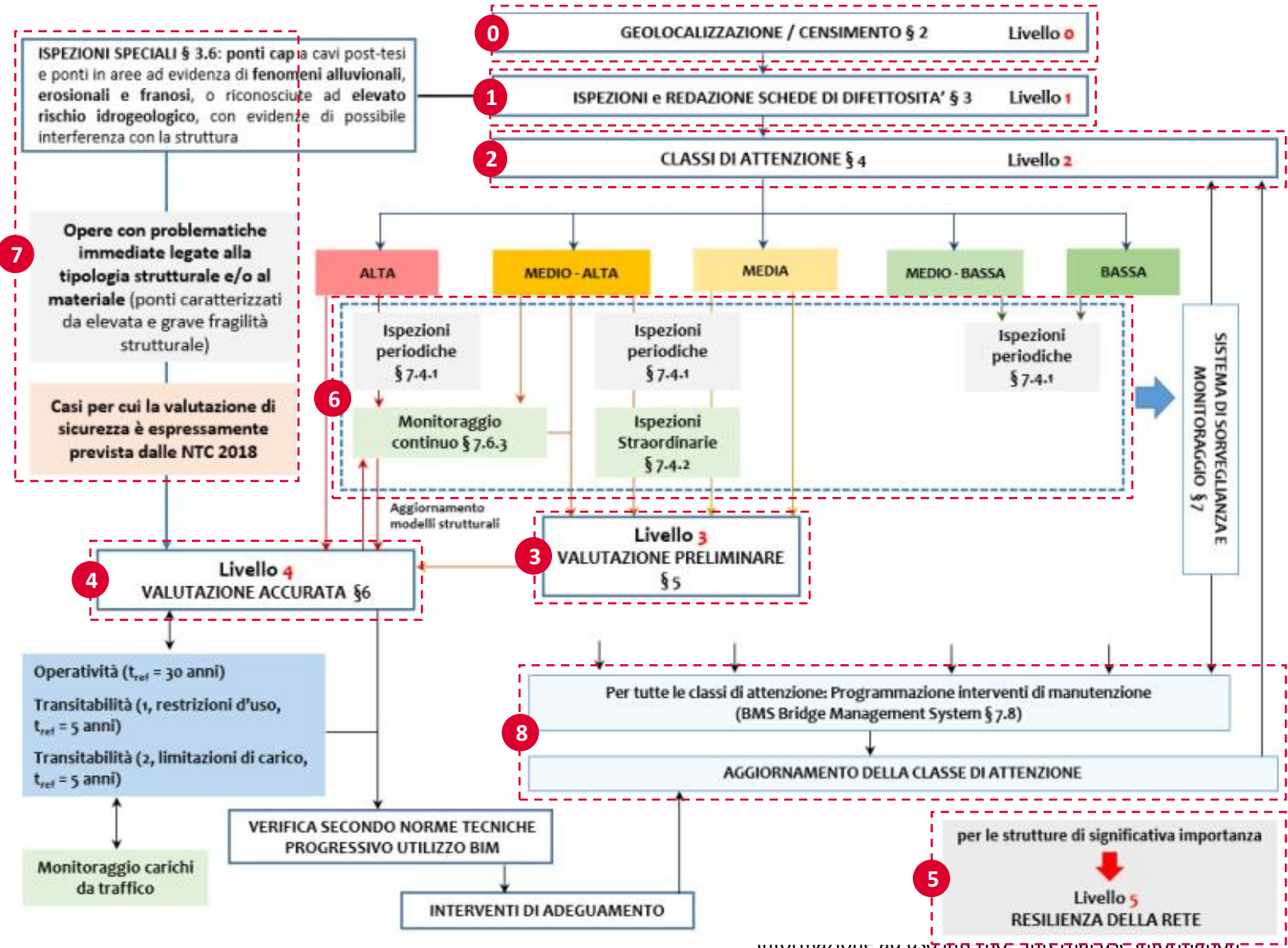


# QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO: LINEE GUIDA CSLLPP



Con seduta del 17/04/2020 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha approvato le *Linee Guida sperimentali per il Monitoraggio, la Valutazione della Sicurezza Strutturale e la Classificazione del Rischio dei Ponti esistenti*.

Il D.M. 578 del 17/12/2020 approva l'adozione delle linee guida, in via sperimentale, su un campione di infrastrutture stradali gestite da Anas S.p.A. o da concessionari autostradali per un periodo non superiore a 24 mesi.



## SCOPO

Affrontare il problema della *gestione dei ponti* esistenti, ai fini di prevenire livelli inadeguati di danno, rendendo *accettabile il rischio*.

## CAMPO DI APPLICAZIONE

- Riguardano tutti i gestori di ponti;
- Ponti e viadotti con **luce complessiva superiore a 6 m**;
- Prima edizione maggiormente focalizzata ed aderente all'ambito stradale;
- Prima applicazione a titolo di sperimentazione (non superiore a 24 mesi dall'approvazione);

**0- Livello 0:** Censimento (All. A linee guida)

**1- Livello 1:** Ispezioni (All. B-C linee guida)

**2- Livello 2:** Analisi dei rischi rilevanti e classificazione

**3- Livello 3:** Valutazione preliminare dell'opera

**4- Livello 4:** Valutazione accurata della sicurezza

**5- Livello 5:** Resilienza della rete

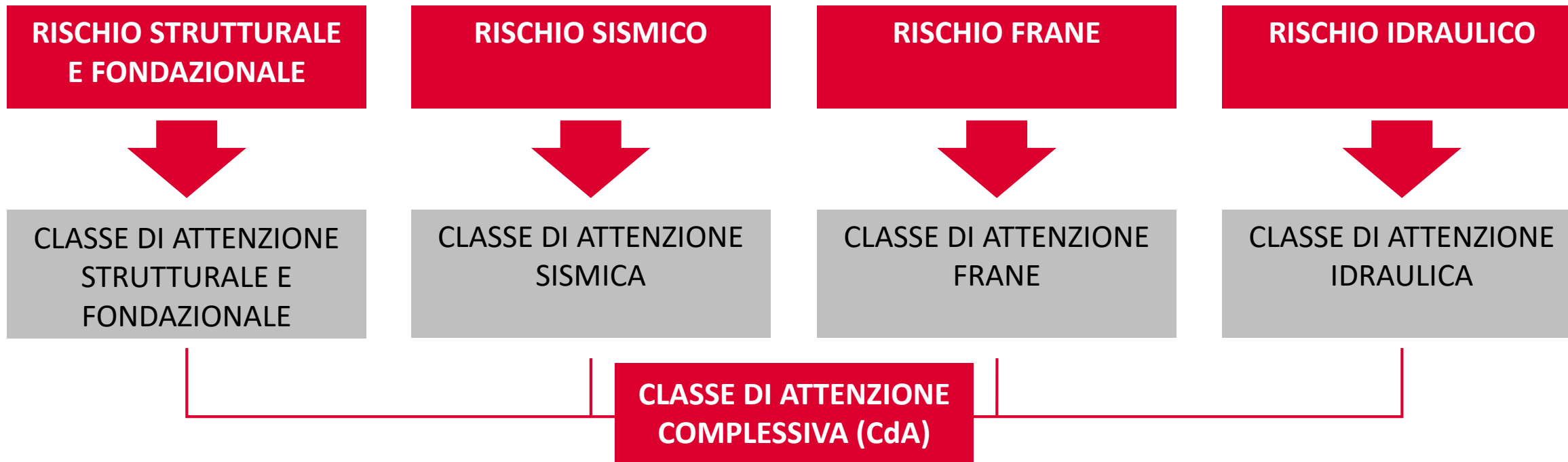
**6- Ispezioni e sistemi di monitoraggio**

**7- Casi di particolare attenzione:** All. D linee guida

**8- Sistema BMS/Modelli di degrado**

# QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO: LINE GUIDA CSLLPP

## Analisi dei rischi rilevanti e classificazione su scala territoriale



Classe di attenzione strutturale/fondazionale **MEDIO - ALTA**

		Classe di attenzione idraulica e frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di attenzione sismica	Alta	Alta		Medio-Alta		
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta			Media
	Media	Medio-Alta			Media	
	Medio-Bassa	Medio-Alta		Media		
	Bassa	Medio-Alta	Media			

Sulla base di questo indice le opere sono classificate e sono decise le successive azioni da intraprendere

# AZIONI DI MITIGAZIONE DEI RISCHI

## Classificazione delle azioni

### Tempo dell'azione



Tempo reale – Durante il corso degli eventi



Tempo differito – Lontano dal corso degli eventi

### Effetti della mitigazione



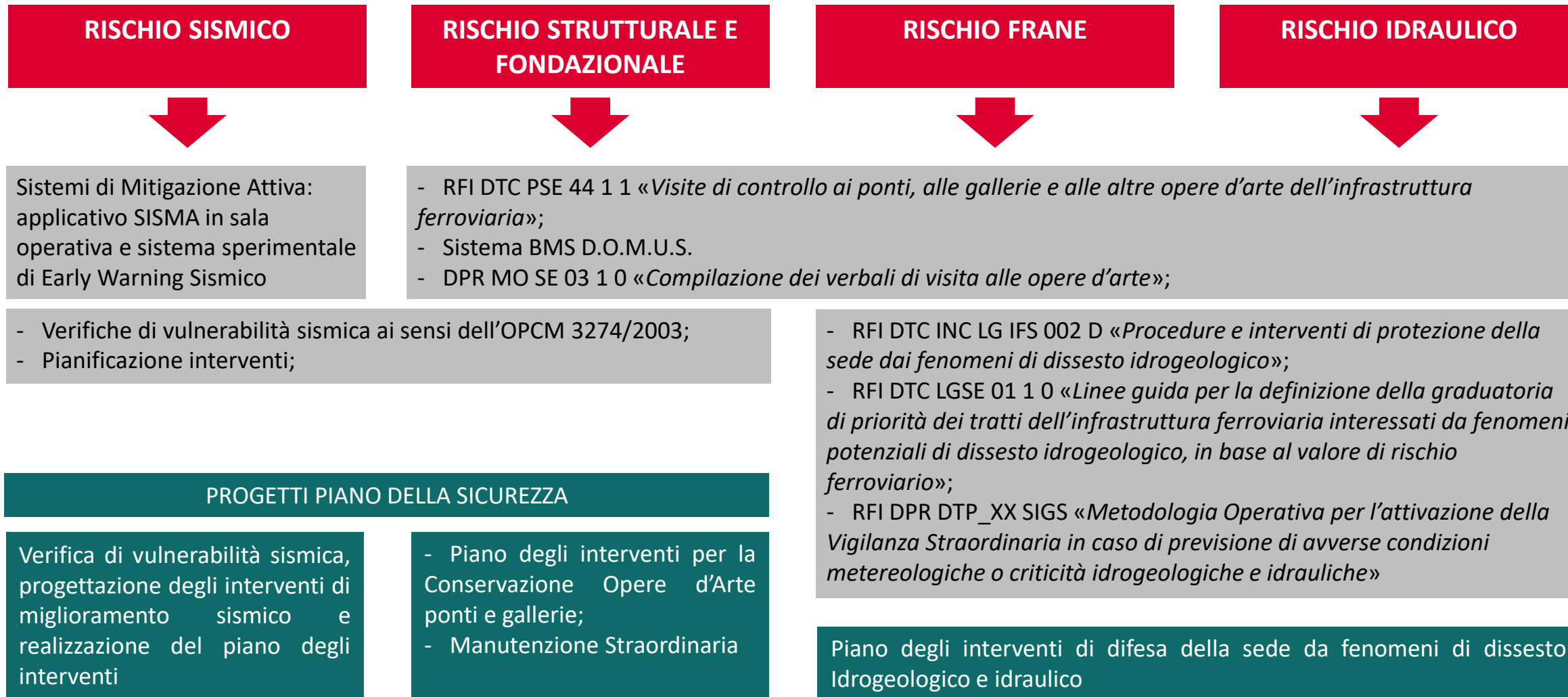
Sicurezza dell'esercizio – interruzione della circolazione



Sicurezza dell'infrastruttura - realizzazione specifici interventi

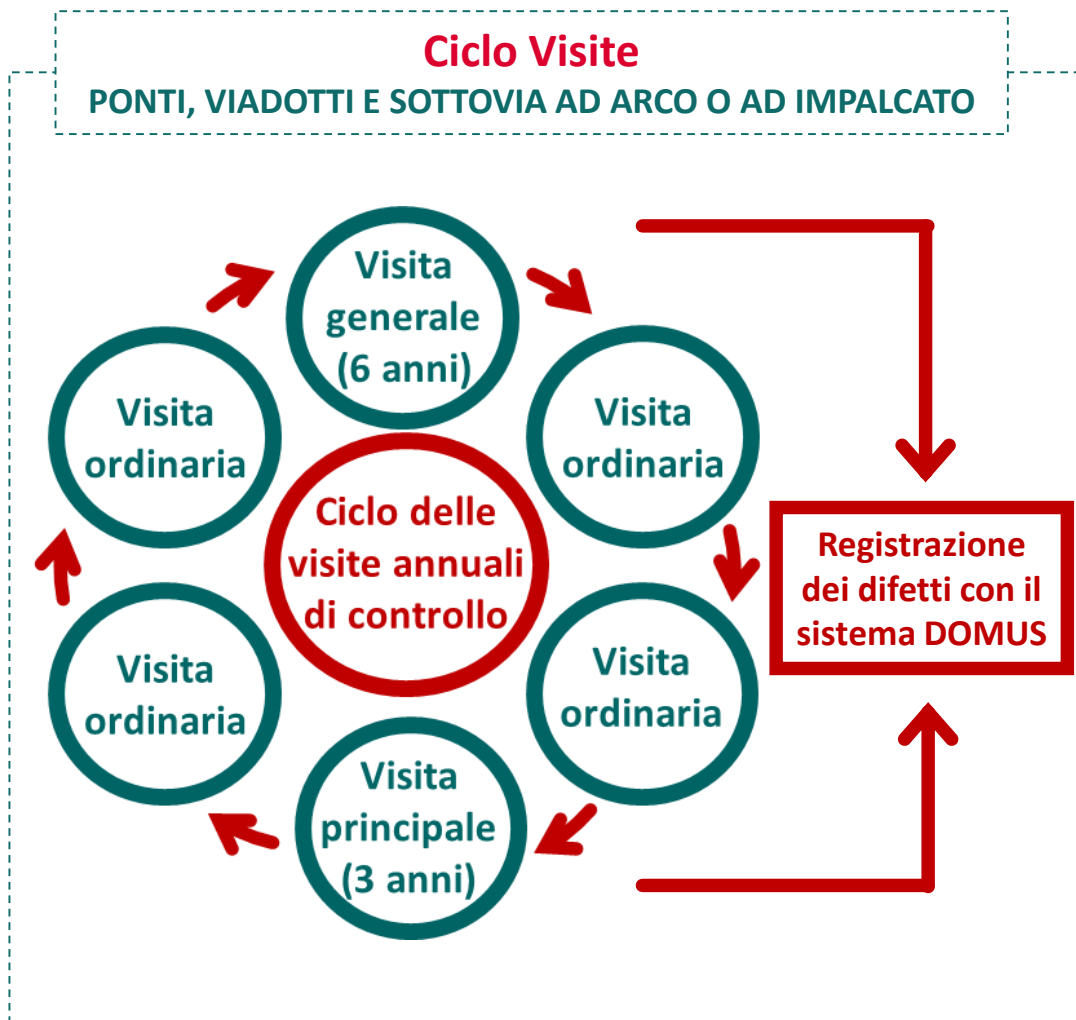
# QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO: PROCEDURE IN RFI

## Analisi dei rischi rilevanti e classificazione su scala territoriale



# ISPEZIONE DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI

## VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE OPERE



### SCOPO DELLE VISITE

*Controllo sistematico delle condizioni statiche dei vari manufatti per i riflessi che le stesse hanno sulla sicurezza e regolarità dell'esercizio.*

Il controllo dovrà fornire probanti *elementi di giudizio* sulle *condizioni di stabilità* e di *conservazione delle opere*, al fine di adottare tutti i provvedimenti atti ad assicurare l'efficienza delle strutture e delle varie parti accessorie, nonché sulle *eventuali modificazioni dello stato dei luoghi, per cause naturali od antropiche, che possono influenzare la stabilità delle opere medesime o comunque comprometterne l'efficienza.*



### PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI

I dati contenuti nelle Relazioni e nei Rapporti di visita saranno riepilogati in un «*Programma dei provvedimenti da adottare per l'eliminazione dei dissesti e delle anomalie riscontrate nelle opere d'arte*». Tale Programma, da aggiornare con cadenza annuale anche in relazione al grado di priorità di ciascun intervento, costruirà la base per la *pianificazione* e *programmazione* nazionale dei lavori di manutenzione e di rinnovo



# ISPEZIONE DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI

## VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE OPERE

IERI

### ISPEZIONE VISIVA

secondo procedure e in caso di eventi eccezionali (sisma)



*Sistemi strumentali di monitoraggio su condizione opere con caratteristiche strutturali particolari opere con stato di conservazione particolare*

OGGI

### ISPEZIONE VISIVA

integrata all'occorrenza da indagini strumentali e prove

**+ DRONI**



*Sistemi strumentali di monitoraggio su condizione opere con caratteristiche strutturali particolari opere con stato di conservazione particolare*

DOMANI

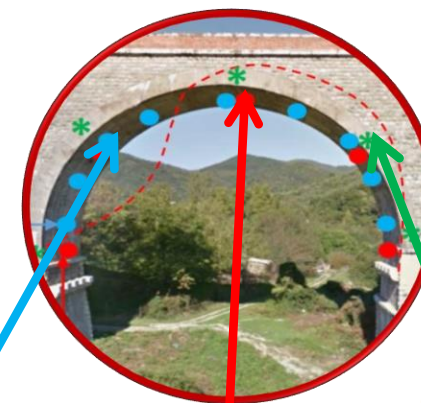


ISPEZIONE VISIVA

DRONI



*Sistemi Strumentali di Monitoraggio su logiche IoT*



Inclinometri



Accelerometri



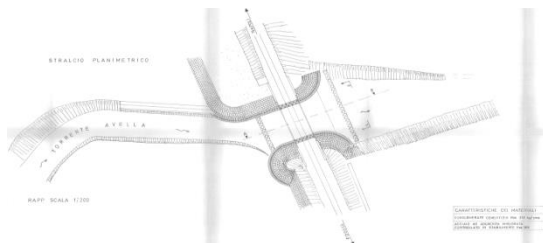
Sensori di deformazione

# ISPEZIONE DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI

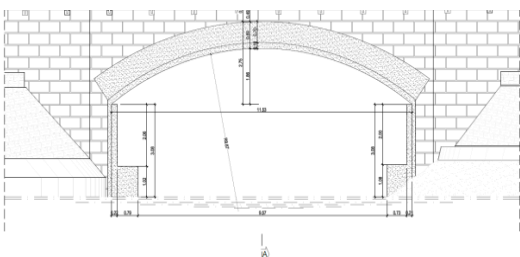
## ANALISI DEI RISCHI RILEVANTI E CLASSIFICAZIONE SU SCALA TERRITORIALE : STRUTTURALE, FRANE E IDRAULICO

### DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE

#### » DISEGNI STORICI



#### » RILIEVI GEOMETRICO-STRUTTURALI



#### » DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



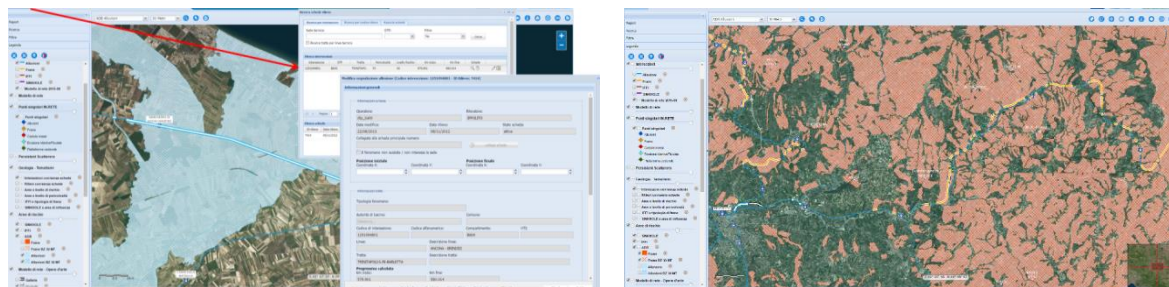
### DOCUMENTI INERENTI EVENTUALI RISCHI IDROGEOLOGICI

#### » PUNTI SINGOLARI FERROVIARI

Tratti di linea soggetti a fenomeni attivi o potenziali di *dissesto idrogeologico* e *idraulico*, classificati sul sistema informatico INRETE2000 come frane, piattaforma cedevole, caduta massi, erosioni fluviali e marine, alluvione. Sono punti specifici che possono necessitare di particolari *controlli* ed *attività* legate alla *manutenzione* e al *monitoraggio*.

#### » PORTALE GEOLOGIA E IDRAULICA WEB

La consultazione delle schede relative alle tratte della linea ferroviaria interessata da *fenomeni di dissesto idrogeologico* ha lo scopo di desumere la tipologia e l'entità del dissesto, ove presente.



#### » M.O. ALLERTA METEO

Verificare se l'opera d'arte se è oggetto di vigilanza straordinaria a causa di criticità idrogeologiche o idrauliche a seguito di *avverse condizioni meteorologiche*.

### VISITE PRECEDENTI E INTERVENTI DI MANUTENZIONE ESEGUITI

#### » VISITE PRECEDENTI

Dovranno essere analizzati, sul sistema informatico INRETE.2000, gli avvisi V1 emessi a seguito delle precedenti visite, al fine anche di valutare nel corso dell'ispezione l'eventuale *evoluzione dello stato di conservazione delle opere d'arte dell'infrastruttura*.

Doc.mis.	Data	Sede tecnica	Avviso
6967971	08.06.2018	TR0610-SD-OA00-PT0-P10	91288688
6757947	11.01.2018	TR0610-SD-OA00-PT0-P10	91238267
6409044	05.06.2017	TR0610-SD-OA00-PT0-P10	91170187
5819896	15.11.2016	TR0610-SD-OA00-PT0-P10	91094959
5436894	12.04.2016	TR0610-SD-OA00-PT0-P10	91044384
3256187	02.10.2013	TR0610-SD-OA00-PT0-P10	90756527

#### » INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Dovranno essere analizzati, sul sistema informatico INRETE.2000, gli avvisi di attività A1 emessi e ricercare la documentazione di eventuali *interventi di manutenzione eseguiti già in precedenza sull'opera*.

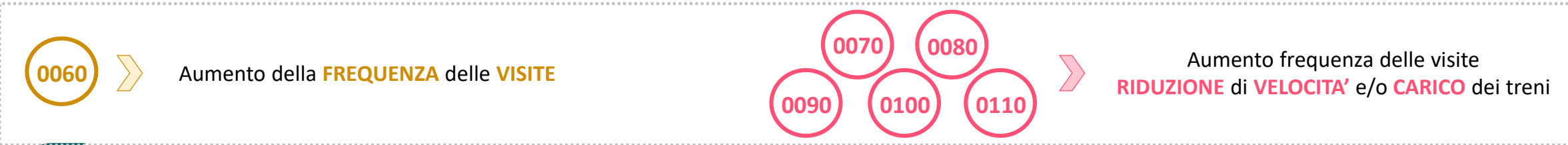
# ISPEZIONE DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI

## VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE OPERE

Tutte le registrazioni sullo *stato di conservazione delle opere* devono contenere per ciascuna opera visitata un *giudizio globale* (ai sensi della DTC PSE 44 1 0) e un *giudizio di dettaglio* (ai sensi della DPR MO SE 03 1 0).

GIUDIZIO GLOBALE DTC PSE 44 1 0	TESTO DICHIARAZIONE - DTC PSE 44 1 0	GIUDIZIO DI DETTAGLIO DPR MO SE 03 1 0
Punti II.5 a)	L'opera è <b>pienamente efficiente</b> nei riguardi della sicurezza e della regolarità della circolazione dei treni.	
Punti II.5 b)	L'opera è pienamente efficiente nei riguardi della sicurezza e della regolarità della circolazione dei treni, con le seguenti <b>limitazioni e cautele</b> (aumento della frequenza delle visite almeno semestrale, riduzione di velocità e/o carico) <b>finché non saranno portati a termine i provvedimenti proposti.</b>	
Punti II.5 c)	L'opera è pienamente efficiente nei riguardi della sicurezza e della regolarità della circolazione dei treni, con le seguenti <b>limitazioni e cautele</b> (aumento della frequenza delle visite almeno semestrale, riduzione di velocità e/o carico).	

AMMALORAMENTI da CODICE



# ISPEZIONE DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI

## LA FORMAZIONE E IL MANTENIMENTO DELLE COMPETENZE IN RFI

Le ispezioni alle opere d'arte sono condotte da **personale formato** per l'attività.

La formazione prevede il possesso di **prerequisiti** e lo svolgimento di **moduli teorici, addestramento e tirocinio**



- Conoscere l'*opera d'arte*;
- Valutare lo *stato di conservazione*;
- Valutare i *provvedimenti necessari*.

Dal 2014 corsi di formazione per circa **700** risorse e circa **80** risorse per le *visite periodiche generali* ai ponti.

Ogni anno vengono organizzati corsi di *mantenimento delle competenze (ritorno di esperienze)*.

### ABILITAZIONI FERROVIARIE

➤ **Livello 1** > Manutentore Opere Civili  
 ≅ 500 abilitati



Visite **ORDINARIE**  
 Visite **PRINCIPALI**  
 Visite **STRAORDINARIE**  
*(eventi eccezionali)*

➤ **Livello 2** > Specialista Opere Civili  
 ≅ 80 abilitati



Visite **GENERALI**  
 Visite **ORDINARIE**  
 Visite **PRINCIPALI**  
 Visite **STRAORDINARIE**

➤ **Livello 3** > Manutentore Opere Metalliche  
 ≅ 60 abilitati



Visite **ORDINARIE**  
 Visite **PRINCIPALI**  
 Visite **STRAORDINARIE**  
*(eventi eccezionali)*

# LE VERIFICHE DI CAPACITÀ PORTANTE

## VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA

- Valutazione della qualità e tipologia dei difetti rilevati al Livello 1 o dalle ispezioni periodiche
- Stima preliminare delle risorse minime garantite dalle diverse normative al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti;

Domanda indotta dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca

$$\frac{D_p}{D_{att}}$$

Domanda indotta dai modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti

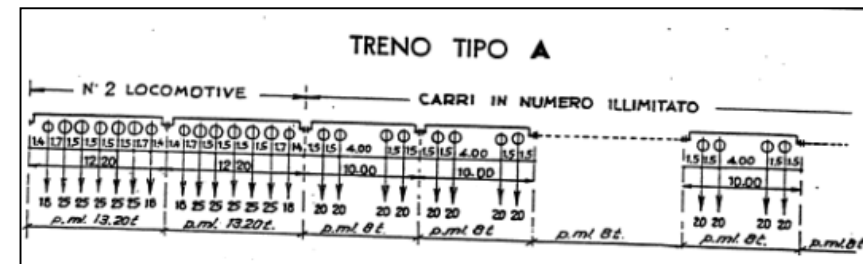
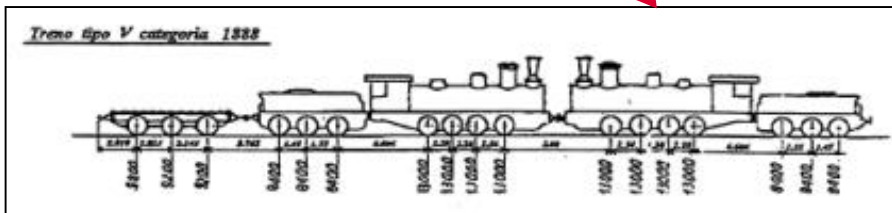
### RFI: CARICHI DI PROGETTO

Dagli inizi del secolo scorso ad oggi il quadro normativo nell'ambito della progettazione dei ponti ferroviari ha subito diversi aggiornamenti, per adeguarsi alle nuove esigenze del traffico ferroviario, a seguito dei quali sono stati introdotti o modificati i carichi di progetto allo scopo di:

- Permettere alle opere di far fronte alle crescenti esigenze del traffico ferroviario in termini di incrementi di velocità e di carico dei convogli, nonché di consentire il transito di convogli costituenti trasporti eccezionali;
- Necessità di uniformare lo standard progettuale dei ponti, con lo spirito di agevolare l'integrazione e la interoperabilità fra le infrastrutture ferroviarie, in ottemperanza alle ultime direttive europee in materia di circolazione ferroviaria;

Principali tappe dell'evoluzione normativa in campo di progettazione ferroviaria:

- Carichi di progetto ante 1916
- Carichi di progetto del 1916
- Carichi di progetto del 1925
- Carichi di progetto del 1926
- Carichi di progetto del 1945
- Carichi di progetto del 1995



# LE VERIFICHE DI CAPACITÀ PORTANTE

## VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA

- Valutazione della qualità e tipologia dei difetti rilevati al Livello 1 o dalle ispezioni periodiche
- Stima preliminare delle risorse minime garantite dalle diverse normative al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti;

Domanda indotta dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca

$$\frac{D_p}{D_{att}}$$

Domanda indotta dai modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti

Categoria	Carico		a [m]	b [m]	c [m]	L [m]
	Per asse Pa [kN]	Per ml p [kN/m]				
A	160	48	1,80	1,50	6,75	13,35
B1	180	50	1,80	1,50	7,80	14,40
B2	180	64	1,80	1,50	4,65	11,25
C2	200	64	1,80	1,50	5,90	12,50
C3	200	72	1,80	1,50	4,50	11,10
C4	200	80	1,80	1,50	3,40	10,00
D2	225	64	1,80	1,50	7,45	14,05
D3	225	72	1,80	1,50	5,90	12,50
D4	225	80	1,80	1,50	4,65	11,25
E4	250	80	1,80	1,50	5,90	12,50
E5	250	88	1,80	1,50	4,75	11,35

Tak. n.1: Categorie delle linee

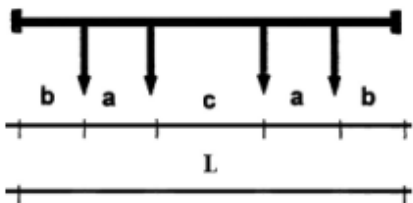


Figura 1: Schema geometrico di un carro



### RFI: CARICHI REALMENTE CIRCOLANTI

Nel contesto ferroviario è noto a priori il carico, la frequenza e la velocità dei carri circolanti. Le linee delle principali reti ferroviarie europee sono state classificate in categorie in base alle UNI EN 15528. In RFI i documenti che costituiscono le «Disposizioni per l'esercizio delle linee» sono la PGOS (Prefazione Generale all'Orario di Servizio), le «Caratteristiche tecnico-funzionali dell'infrastruttura ferroviaria nazionale gestita da RFI» e i Fascicoli Circolazione Linee. A ciascuna Categoria di Linea sono associate delle limitazioni di carico e di velocità. Il limite di carico dei carri, in relazione alla categoria di linea, alle condizioni di circolabilità, e alle caratteristiche costruttive del carro rappresenta il carico realmente circolante.

# LE VERIFICHE DI CAPACITÀ PORTANTE

## VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA

- Valutazione della qualità e tipologia dei difetti rilevati al Livello 1 o dalle ispezioni periodiche
- Stima preliminare delle risorse minime garantite dalle diverse normative al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti;

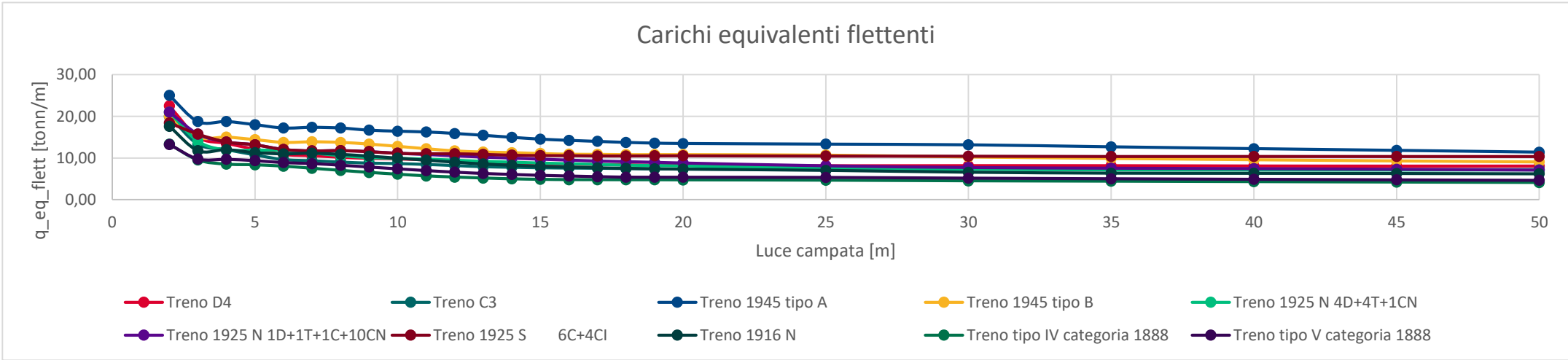
Domanda indotta dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca

$$\frac{D_p}{D_{att}}$$

Domanda indotta dai modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti

### RFI: SOVRA-RESISTENZA

Indica la distanza della capacità di progetto da quella richiesta dal carico «reale», considerata come riferimento e funzione della categoria di linea e calcolata per entrambe gli stati limite di flessione e taglio.



# LE VERIFICHE DI CAPACITÀ PORTANTE

## VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

A seguito delle ispezioni, per CdG elevati (da 70 a 110), oltre a prescrivere un aumento della frequenza delle visite, vengono intrapresi fin da subito i necessari provvedimenti atti a garantire il dovuto livello di sicurezza:

- LIMITAZIONI DI VELOCITA'
- LIMITAZIONI DI CARICO

**DPR MO SE 03 1 0 – Criteri guida per l'assegnazione del giudizio di dettaglio**

CDG	70-80	90	100	110
LIMITAZIONI DI VELOCITA'	$V_r \leq 0.7V_f$	$V_r \leq 0.6V_f$	$V_r \leq 0.5V_f$	$V_r \leq 0.3V_f$
LIMITAZIONI DI CARICO (RIDUZIONE CATEGORIA DI CLASSIFICAZIONE DELLA LINEA)	RIDUZIONE DI ALMENO UNA CATEGORIA (Le riduzioni di carico e velocità saranno da applicarsi in alternativa e/o)	RIDUZIONE DI ALMENO UNA CATEGORIA	RIDUZIONE DI ALMENO UNA CATEGORIA	RIDUZIONE DI ALMENO UNA CATEGORIA



# LE VERIFICHE DI VULNERABILITÀ SISMICA

## ANALISI DEI RISCHI RILEVANTI E CLASSIFICAZIONE SU SCALA TERRITORIALE: SISMICO E STRUTTURALE

### ATTIVITA' di INDAGINE e RILIEVO

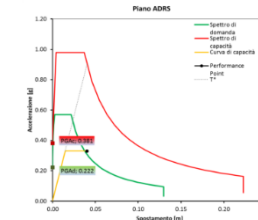
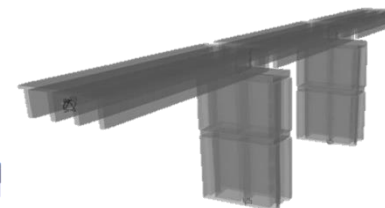
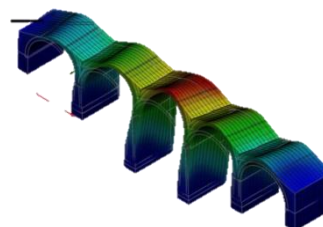
- FASE I (2014-2017): a partire dal 2013 sono state svolte nelle differenti realtà territoriali della Rete Ferroviaria Italia, le necessarie indagini sulle strutture e sui terreni di fondazione di **76** edifici e **859** ponti;
- FASE II (2017-2022): in prosecuzione della fase I, sono in corso indagini su ulteriori circa **3000** opere afferenti al Sistema di Grande Viabilità ferroviaria, di cui completate **2300**;
- FASE III: previsto per il 2022 l'affidamento di ulteriori circa **3000** opere;



Sistema di grande viabilità ferroviaria

### VERIFICHE di VULNERABILITA' SISMICA

- Concluse su **2022** ponti e **49** fabbricati
- In corso di esecuzione VS su ulteriori **294** ponti e **30** fabbricati mediante AQ progettazione

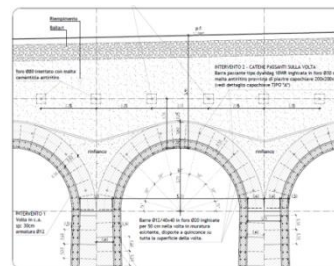


### INTERVENTI di MIGLIORAMENTO SISMICO

- Sono stati avviati n. **156** interventi di miglioramento sismico sui ponti per i quali erano disponibili i relativi progetti definitivi, di cui **82** conclusi



### PROGETTI DEFINITIVI di MIGLIORAMENTO SISMICO e VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA



- Completati per **339** ponti degli **859** che non soddisfano le verifiche ad oggi
- In corso di esecuzione ulteriori **62** progetti mediante AQ progettazione

## REALIZZAZIONI: SCHEDE PER INTERVENTI TIPOLOGICI DI RIPRISTINO DI PONTI ESISTENTI

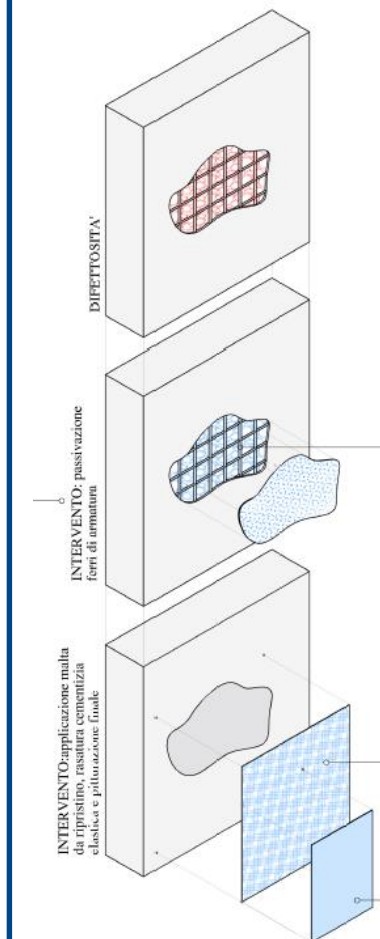
### OBIETTIVI

- *Uniformità* di intervento sul territorio nazionale
- *Conseguenzialità* diretta tra i difetti catalogati nel Bridge Management System (BMS) di RFI e l'intervento previsto
- *Aggiornamento tariffe* legate agli interventi di ripristino
- *Aggiornamento tecnologico* dei materiali impiegati

### METODOLOGIA

- Analisi delle *difettosità* potenzialmente presenti sulle opere d'arte a seconda del *materiale*
- Definizione degli *interventi di ripristino* per ciascun difetto presente sul BMS *in relazione all'estensione e all'intensità dei difetti*
- Definizione di *fasi e microfasi di lavoro* e delle *caratteristiche prestazionali* dei materiali

### CASO APPLICATIVO: RIPRISTINO DI ELEMENTI IN C.A.



#### DIFETTOSITA':

Venature di ruggine, fessure, distacchi e sfogliatura per corrosione armature

#### INTERVENTO (fase 1):

Passivazione dei ferri di armatura

#### INTERVENTO (fase 2):

Applicazione di malta da ripristino, rasatura cementizia elastica ed eventuale pitturazione finale

Le *caratteristiche prestazionali dei prodotti* e *l'aggiornamento delle tariffe* sono stati definiti a seguito di *confronto con diversi produttori di materiali per l'edilizia e per le infrastrutture*:

# INTERVENTI DI RIPRISTINO SULLE STRUTTURE

## REALIZZAZIONI: SCHEDE PER INTERVENTI TIPOLOGICI DI RIPRISTINO DI PONTI ESISTENTI

### CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI DI RFI – PARTE II - SEZIONE 6 - ALLEGATO 4

#### DESCRIZIONE DIFETTI DA RIPRISTINARE

#### CORRELAZIONE DIRETTA TRA TIPO INTERVENTO – CATALOGO DIFETTI DEL BMS DI RFI

#### DESCRIZIONE MACROFASI E MICROFASI DELL'INTERVENTO DI RIPRISTINO

### VENATURE DI RUGGINE, FESSURE, DISTACCHI E SFOGLIATURA PER CORROSIONE ARMATURE (C8-C9-C10-C11-C12)

#### DESCRIZIONE DEI DIFETTI

La natura dei seguenti difetti è legata all'esposizione e all'ossidazione dei ferri di armatura (staffe, armatura longitudinali) che può essere accompagnata da fenomeni fessurativi nel calcestruzzo, dal distacco del copriferro e nei casi più gravi da una riduzione della sezione delle barre di armatura, che avviene quando l'ossidazione dei ferri supera lo strato superficiale. Ovviamente lo stadio ultimo della riduzione della sezione dei ferri è rappresentato dalla rottura delle barre di armatura.

#### SINTESI INTERVENTO

DESCRIZIONE INTERVENTI E MATERIALI		ESTENSIONE				
<b>PFE - PROTEZIONE FERRO ESISTENTE:</b> Passivante ferri di armatura (F), malta cementizia fibrorinforzata (M1 o M2), rasatura cementizia elastica (RC), pittura elastomerica (P).	C11 - C12	K <sub>1</sub> = 0,5	PFE	PFE	PFE	PFE
		K <sub>2</sub> = 1,0	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF
		K <sub>3</sub> = 1,5	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF
		K <sub>4</sub> = 2,0	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF
<b>AF - AGGIUNTA FERRO:</b> Passivante ferri di armatura (F) + barre di armatura, malta cementizia fibrorinforzata (M1 o M2), rasatura cementizia elastica (RC), pittura elastomerica (P). Per i difetti C8, C9, C10 è prevista la sola protezione dei ferri esistenti (PFE). Al soggetto è demandata la scelta della malta da ripristino in funzione dello spessore di applicazione, nonché la valutazione di una possibile reintegrazione dell'armatura esistente per i difetti C11 e C12.	C11 - C12	K <sub>1</sub> = 0,5	PFE	PFE	PFE	PFE
		K <sub>2</sub> = 1,0	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF
		K <sub>3</sub> = 1,5	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF
		K <sub>4</sub> = 2,0	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF	PFE/AF

#### FASI DELL'INTERVENTO:

##### PREPARAZIONE DEL SUPPORTO:

Rimozione del calcestruzzo deteriorato ed in fase di distacco, fino ad arrivare al sottofondo solido, resistente e ruvido, con irregolarità non inferiore a 5 mm. La preparazione del supporto può essere effettuata mediante scarifica meccanica o mediante idroscarifica. Eventuali precedenti interventi di ripristino che non risultino perfettamente aderenti devono essere rimossi; pulire il calcestruzzo ed i ferri di armatura da polvere, ruggine, lattime di cemento, grassi, oli, vernici o pitture precedentemente applicate, mediante sabbatura.

##### PASSIVAZIONE DEI FERRI DI ARMATURA ESISTENTI:

Dopo la rimozione della ruggine, pulire i ferri d'armatura da eventuale polvere presente e trattarli mediante l'applicazione a pennello di malta cementizia anticorrosiva (F). Entrambi i prodotti a base di leganti cementizi, polimeri in polvere e inibitori di corrosione hanno la specifica funzione di impedire la formazione di ossido. Qualora le armature esistenti si trovassero in uno stato di degrado avanzato, prevedere l'integrazione di armatura avendo cura di realizzare successivamente un adeguato copriferro con la malta in piegata nelle lavorazioni di ripristino.

##### APPLICAZIONE DELLA MALTA DA RIPRISTINO:

**Ripristino del calcestruzzo per spessore da 3 a 10 mm (M1):**  
Le superfici in calcestruzzo ammalorati dovranno essere riparate mediante l'applicazione di malta cementizia fibrorinforzata e additivata con inibitore di corrosione a base organica idonea per il ripristino del calcestruzzo in spessore di 3 a 10 mm (M1). Al fine di consentire il corretto e completo sviluppo dei fenomeni espansivi all'aria, il prodotto può essere vantaggiosamente additivato con un additivo stagionante in grado di ridurre la tensione superficiale nei pori capillari con conseguente miglioramento della stabilità dimensionale. La malta può essere applicata a spatola, a cazzuola e ove necessario può essere applicata anche a spruzzo con idonea macchina intoratrice a pistone o a vite senza fine.

**Ripristino del calcestruzzo per spessore da 10 mm a 50 mm (M2):**  
Nel caso in cui gli spessori da ripristinare siano compresi tra 10 mm e 50 mm, la riparazione dovrà essere effettuata mediante l'impiego di malta fibrorinforzata, a ritiro compensato e resistente ai solfati e additivata con inibitori di corrosione organici (M2). L'applicazione di questa malta viene indicata per il ripristino a spruzzo di strutture in calcestruzzo dove, per le caratteristiche dell'opera, per la morfologia delle aree di cantiere e per esigenze organizzative, è richiesta facilità di pompaggio della malta per lunghe distanze e notevoli prevalenze. A seguito della miscelazione con acqua, la malta, deve assumere una consistenza tissotopica e dopo l'indurimento rimanere impermeabile all'acqua aderendo perfettamente alle superfici in calcestruzzo oggetto di ripristino purché opportunamente preparate. Anche in questo caso al fine di consentire il corretto e completo sviluppo dei fenomeni espansivi all'aria, il prodotto può essere vantaggiosamente additivato con un additivo stagionante in grado di ridurre la tensione superficiale nei pori capillari con conseguente miglioramento della stabilità dimensionale. L'applicazione della malta si esegue generalmente a spruzzo, utilizzando intonacatrici a pistone o a vite senza fine.

**Ripristino del calcestruzzo per spessore da 50 mm a 100 mm:**  
Nel caso in cui lo spessore da ripristinare fosse compreso tra 50 e 100 mm, la riparazione dovrà essere effettuata mediante l'impiego di betoncino cementizio elastico, fibrorinforzato e a ritiro compensato, composto da cementi di alta resistenza, aggregati selezionati e fibre sintetiche (B). Una volta effettuata la preparazione del prodotto versare il betoncino da un solo lato nelle casseforme, precedentemente predisposte, avendo cura di favorire la fuoriuscita dell'aria. Al fine di facilitare le operazioni di disarmo, trattare le casseforme con un opportuno disarmante. Per permettere lo svolgimento dei fenomeni espansivi, il prodotto può essere vantaggiosamente additivato con un additivo stagionante riduttore di ritiro in maniera tale da favorire lo sviluppo delle reazioni di idratazione ed impedire la separazione rapida dell'acqua di impasto.

**PROTEZIONE MEDIANTE L'APPLICAZIONE DI RASATURA CEMENTIZIA ELASTICA (RC):**  
A maturazione avvenuta della malta, su sottofondo pulito e umido, effettuare una rasatura elastica della superficie ripristinata mediante l'impiego di malta cementizia elastica (RC), per la protezione della superficie contro la penetrazione di agenti aggressivi.

**EVENTUALE APPLICAZIONE DELLA PITTURA ELASTOMERICA ACRILICA (P):**  
La protezione finale può essere effettuata applicando una pittura elastomerica protettiva (P). La pittura, dopo il completo indurimento, deve fornire un rivestimento elastico, impermeabile all'acqua e agli agenti aggressivi presenti nell'atmosfera ma deve essere permeabile al passaggio di vapore e deve possedere un'ottima resistenza all'invecchiamento, al gelo e formi alle superfici trattate una bassissima ritenzione delle sporc.



C8 - Venatura di ruggine lungo le armature



C9 - Fessure e distacchi per corrosione delle staffe



C10 - Fessure e distacchi per corrosione delle armature longitudinali

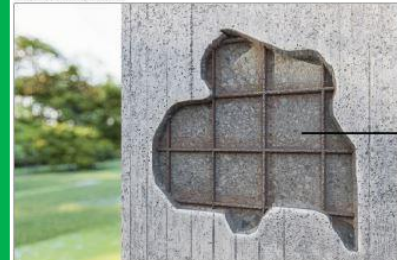


C11 - Sfoigliatura delle staffe



C12 - Sfoigliatura armature longitudinali

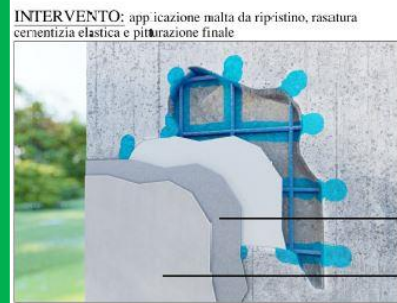
#### DIFETTOSITÀ



Superficie scarificata



Passivante ferri di armatura



Malta da ripristino

Rasatura cementizia elastica

Pittura elastica a base di resine acriliche

RENDER 3D per meglio chiarire i difetti e gli interventi di ripristino

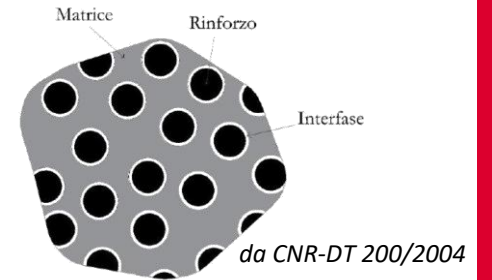
	PROGETTO TIPOLOGICO PER IL RIPRISTINO DI ELEMENTI IN C.A.		Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato
	Scheda n. 5 Difettosità di tipo C8 - C9 - C10 - C11 - C12	Tavola 1 di 2	Luglio 2020	F. Cetra A. S. Chifani A. Tesu T. Padalino	Luglio 2020 F. Carmona M. Servoli	Luglio 2020 A. Vecchi

# INTERVENTI DI RIPRISTINO SULLE STRUTTURE

## RICERCA E PROSPETTIVE: APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA FRCCM ALLE OPERE D'ARTE

### FIBER REINFORCED CEMENTITIOUS MATRIX (FRCCM)

Elementi costituiti da una *matrice* inorganica cementizia in cui è immerso un *rinforzo* costituito da fibre ad elevata resistenza.



### SCOPO DELLA SPERIMENTAZIONE

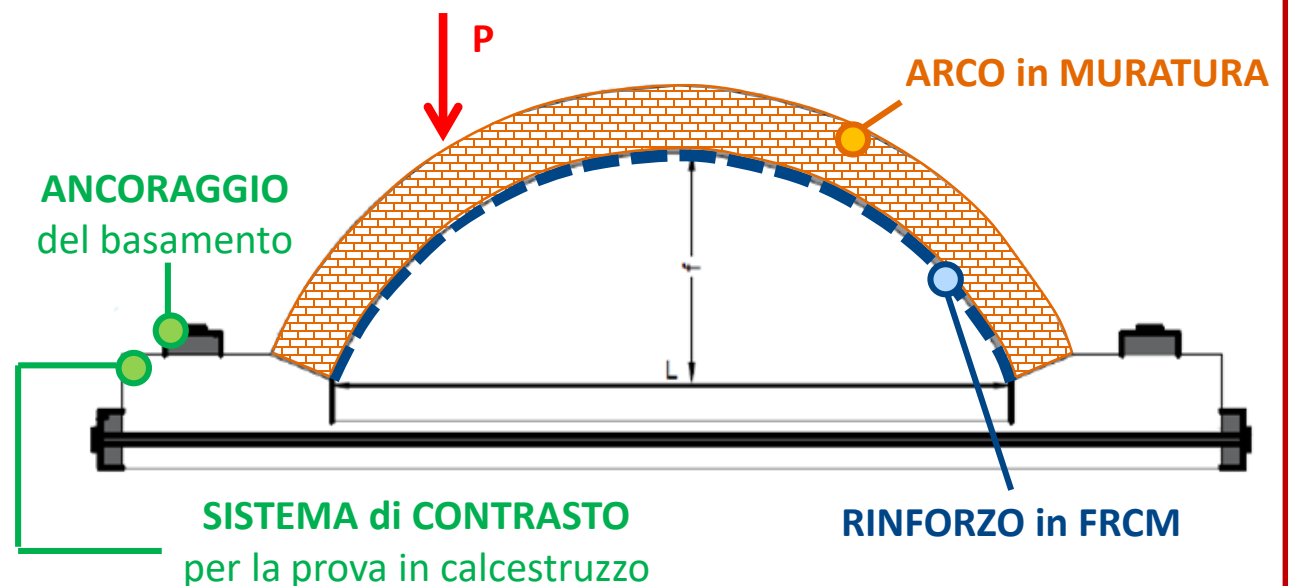
Valutazione dell'*efficacia meccanica* di un *sistema di rinforzo* realizzato tramite l'applicazione di uno strato di materiale composito (malta cementizia + fibra) all'*intradosso delle arcate* di ponti ferroviari in muratura e definizione di *metodi e modelli di calcolo* (in collaborazione con l'Università degli Studi di Padova).

### OPERA D'ARTE OGGETTO DI CONSOLIDAMENTO



Lo scopo dell'intervento è quello di *migliorare il comportamento sismico* dei ponti ad arco in muratura preservandone il *valore storico-architettonico*.

### PROVE SU MODELLI IN SCALA



# MONITORAGGIO DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI: SISTEMI STRUMENTALI



SVILUPPI IN CORSO: GARA EUROPEA PER FORNITURA CON POSA IN OPERA E LAVORI DI INSTALLAZIONE DEI SISTEMI DI MONITORAGGIO STRUTTURALE SU PONTI E VIADOTTI



## ASPETTI SALIENTI

- 3 Lotti Funzionali relativi alle DTP di Napoli, Reggio Calabria ed Ancona per un importo totale di **3,4 Mln€**
- Ciascun lotto è costituito da **3 tipologie di opere**: in cemento armato/c.a.p (2 campate) ad impalcato metallico (2 campate) e ad arco in muratura (5 campate);
- Progettazione secondo **UNI/TR 11634**;
- Definizione e Calibrazione del **modello ad elementi finiti** della struttura;
- Servizio di monitoraggio della durata pari ad **1 anno**;
- **Requisiti premiali**: Utilizzo di algoritmi di I.A., coinvolgimento di figure accademiche esperte del settore



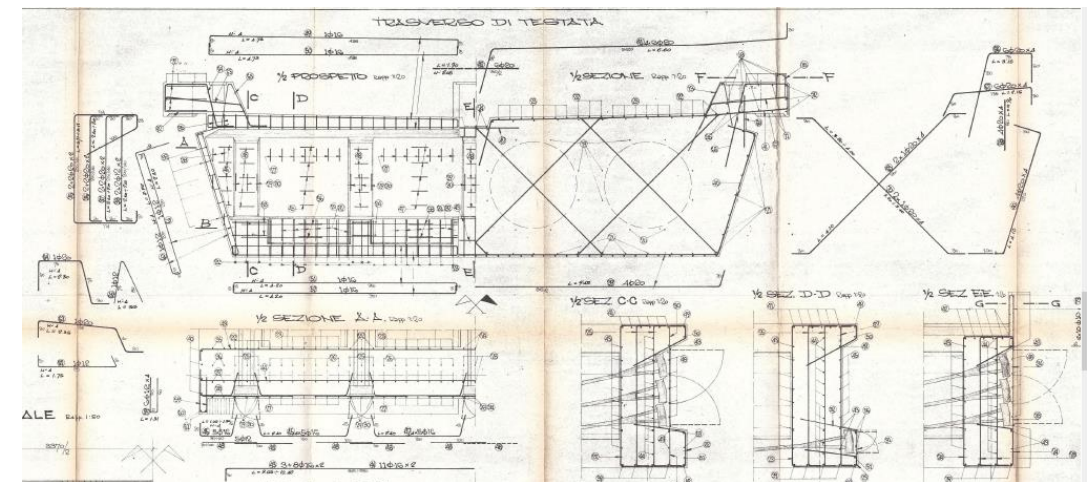
## ALTRE COLLABORAZIONI

Collaborazioni in corso sulla progettazione, implementazione e gestione di sistemi di monitoraggio sui ponti con:



**POLITECNICO  
DI MILANO**

Integrazione con Piattaforma IoT di RFI attraverso contratto con:



# MONITORAGGIO DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI: SISTEMI STRUMENTALI

SVILUPPI IN CORSO: GARA EUROPEA PER FORNITURA CON POSA IN OPERA E LAVORI DI INSTALLAZIONE DEI SISTEMI DI MONITORAGGIO STRUTTURALE SU PONTI E VIADOTTI



## OBIETTIVI

- Creare uno *standard* per la definizione dei *sistemi di monitoraggio* di opere d'arte (ponti e viadotti) ferroviarie;
- Definire le *metodologie standard* per la creazione di un *modello numerico FEM* della struttura monitorata e delle *procedure per la calibrazione e validazione del modello* sulla base dei dati misurati dal sistema di monitoraggio;
- Definire le *metodologie standard* per individuare e calibrare i *valori di soglia per le grandezze misurate e/o grandezze significative* sulle diverse tipologie di opera e le tipologie ed i livelli di allarme generabili dai sistemi (ad esempio a soglia singola, multipla, etc.).

## SENSORISTICA PRINCIPALE

*Impalcato:* Accelerometri, Inclinometri, Strain Gauges/Estensimetri, sistema di stima del carico viaggiante, sistema con fotocellule per la stima della velocità di transito, termocoppie.

*Piedritti:* Accelerometri Triassiali, Inclinometri, estensimetri in corrispondenza dei giunti.

*Altro:* Stazione Meteorologica.



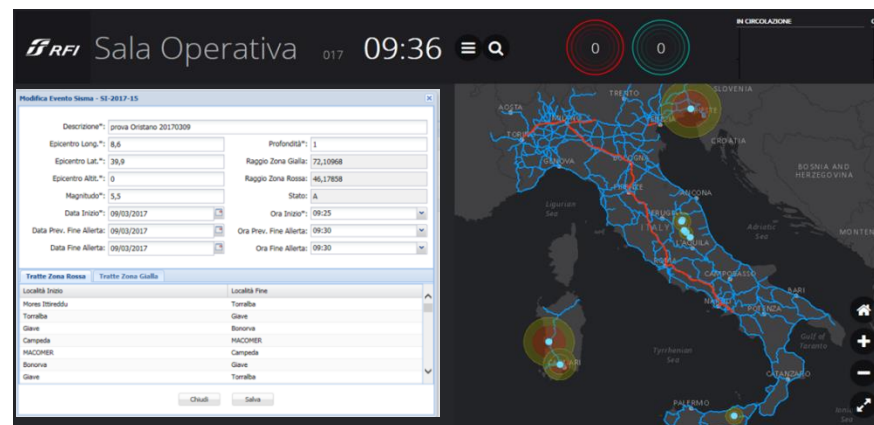
# MONITORAGGIO DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI

## MISURE ATTIVE PER LA GESTIONE DELL'EMERGENZA SISMICA



La *Sala Operativa RFI* riceve dati di input sull'evento sismico da parte di DPC/INGV (*mail entro 2 minuti dall'evento*):

- Coordinate epicentrali
- Magnitudo



Il sistema genera la *mappa della zona interessata dal sisma*

VISITE STRAORDINARIE sulle opere d'arte per accertarne lo STATO DI EFFICIENZA



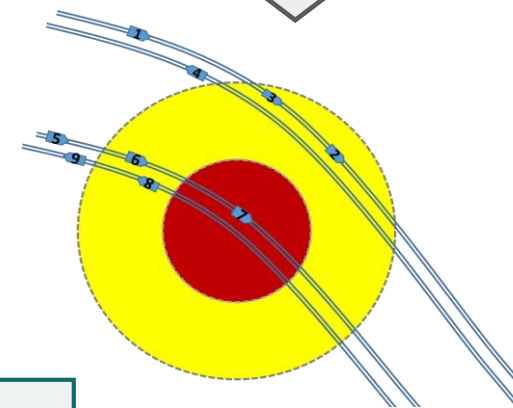
### ZONA ROSSA

Più prossima all'epicentro e potenzialmente interessata da livelli di scuotimento elevati tali da richiedere la sospensione della circolazione

### ZONA GIALLA

Potenzialmente interessata da livelli di scuotimento moderati dove la circolazione viene rallentata.

RIATTIVAZIONE / RIPRISTINO VELOCITÀ DI LINEA



# MONITORAGGIO DEI PONTI E VIADOTTI FERROVIARI: SISTEMI STRUMENTALI



## IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA DI EARLY WARNING SISMICO

Per il miglioramento della mitigazione del rischio sismico, RFI sta progettando, implementando e testando un sistema di *Early Warning* sulla *linea ad alta velocità* tra Roma e Napoli (circa 200 km).

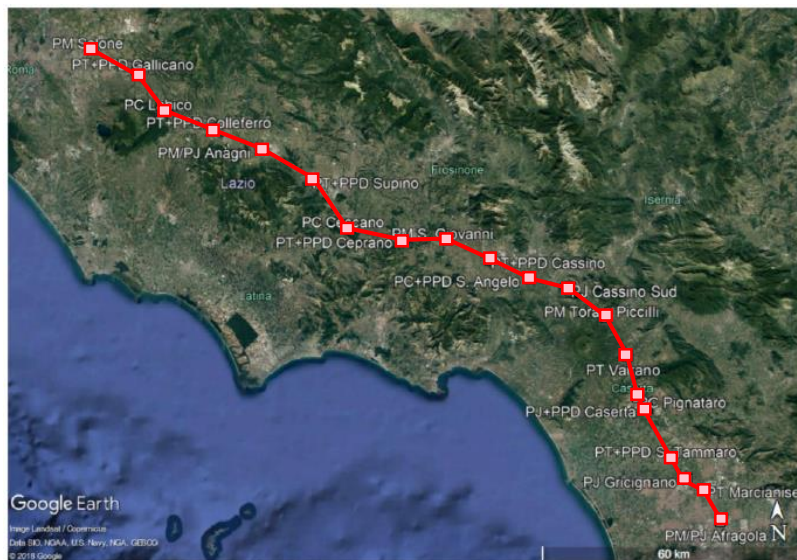
COOPERAZIONE  
INTERNAZIONALE



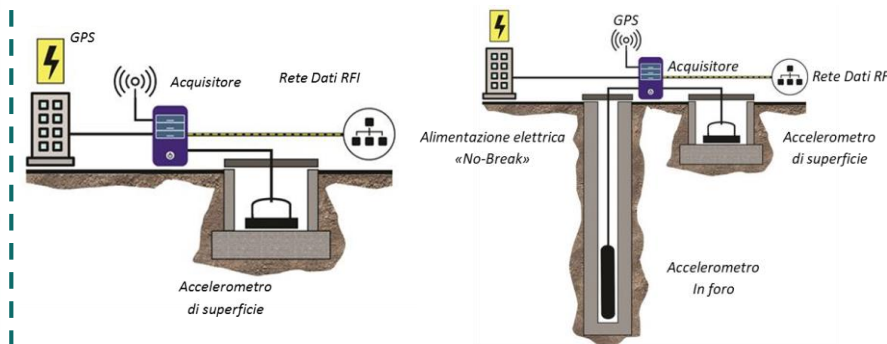
Research Institute  
Railway Technical



UNIVERSITÀ  
SALERNO  
Federico II



Sono previste delle stazioni di misura dotate di un *accelerometro triassiale* installato in un pozzetto a **1 m** sotto il livello del suolo e, in alcuni casi, anche di un accelerometro triassiale aggiuntivo installato in foro a **20 m** sotto il livello del suolo.



## PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



*Stazioni accelerometriche* di RFI installate lungo linea collegate da un sistema di comunicazione su fibra ottica dedicata



In alcuni secondi avvia la *frenatura di emergenza* per ridurre la velocità di marcia.



Stima l'*intensità* di un terremoto a partire dai primi secondi registrati dalle stazioni più prossime all'epicentro



Sistemi di EEW sono presenti ed in corso di sviluppo in:



Giappone



California



Messico



Cina





# Grazie

