



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



CORSO FORMATIVO

**DAL TERREMOTO DI MESSINA AL
CROLLO DEL PONTE MORANDI**

07 novembre 2019, Hotel Baia Taormina

**GESTIONE DI PONTI E
VIADOTTI ESISTENTI
IN ZONA SISMICA**

Prof. Ing. Carlo Pellegrino

Ordinario di Tecnica delle Costruzioni e docente di Progetto di Ponti
Direttore del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale – ICEA

Università degli studi di Padova

carlo.pellegrino@unipd.it

Quali sono gli obiettivi principali per un ente gestore di un'infrastruttura?

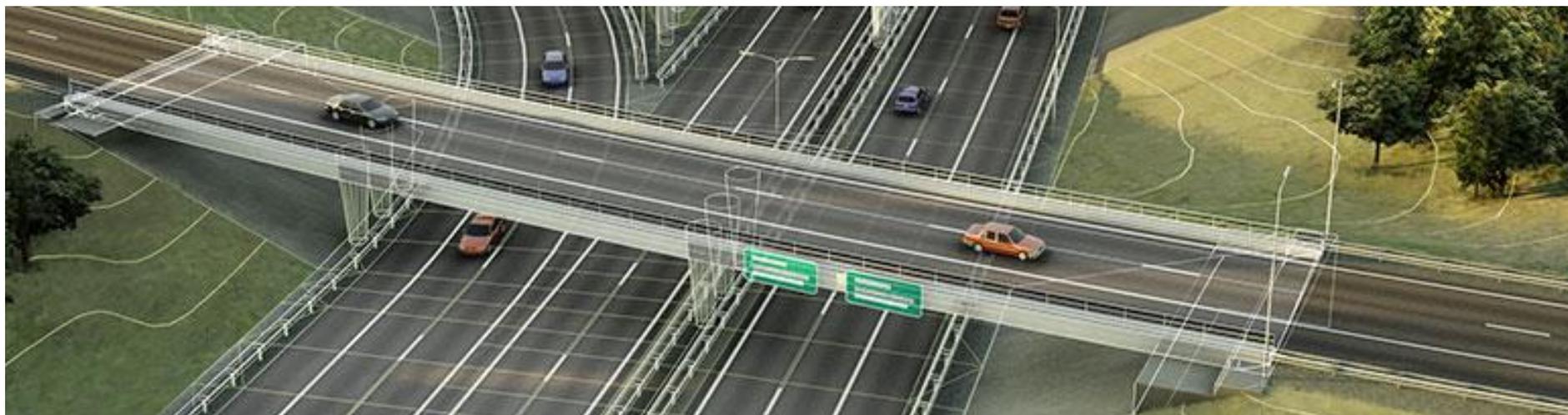
- Mantenere un adeguato livello di sicurezza per gli utenti
- Razionalizzare i costi di gestione ed esercizio dell'infrastruttura





E in riferimento ai ponti e viadotti?

- Garantire la sicurezza strutturale sia in condizioni ordinarie, che in condizioni eccezionali (eventi naturali, o di natura antropica)
- Razionalizzare i costi di manutenzione tramite un'adeguata pianificazione degli interventi abbinata a un programma di sorveglianza dello stato di condizione
- Minimizzare l'impatto sulla funzionalità dell'infrastruttura di tali interventi manutentivi



Nonostante ciò, la situazione di molti manufatti risulta compromessa da fenomeni di deterioramento avanzati...



PRIMA DELLA
CORROSIONE

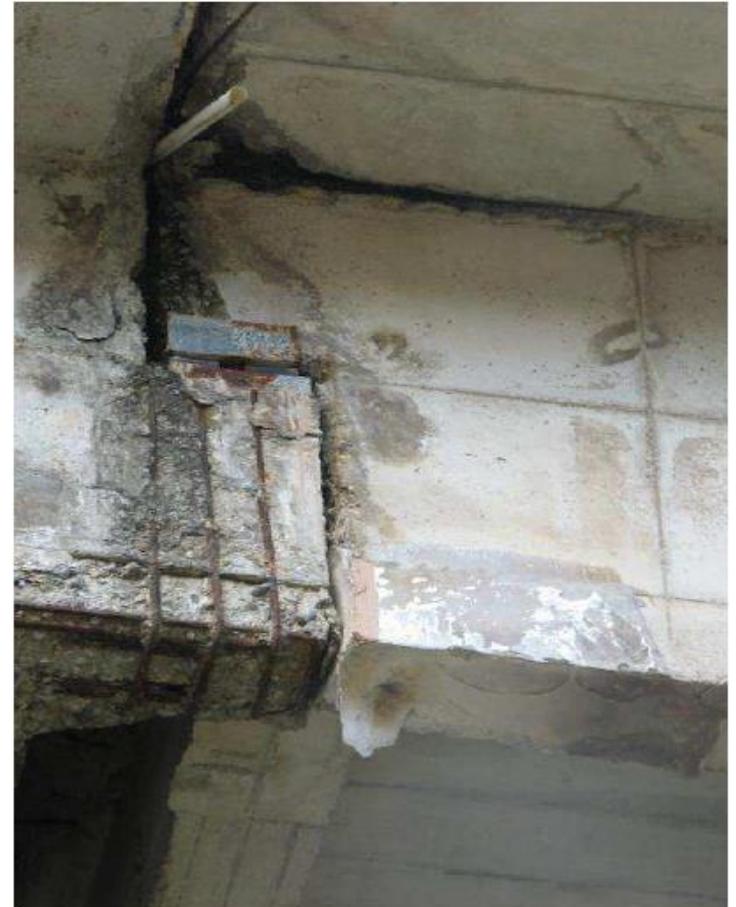
INNESCO
DELLA CORROSIONE

FESSURAZIONI E
MACCHIE SUPERFICIALI

ESPLOSIONE DEL FERRO
FORMAZIONE SPALLING



Nonostante ciò, la situazione di molti manufatti risulta compromessa da fenomeni di deterioramento avanzati...





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

... e le conseguenze!

Annone Brianza (LC) – 28/10/2016





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

... e le conseguenze!

Fossano (CN) – 19/04/2017

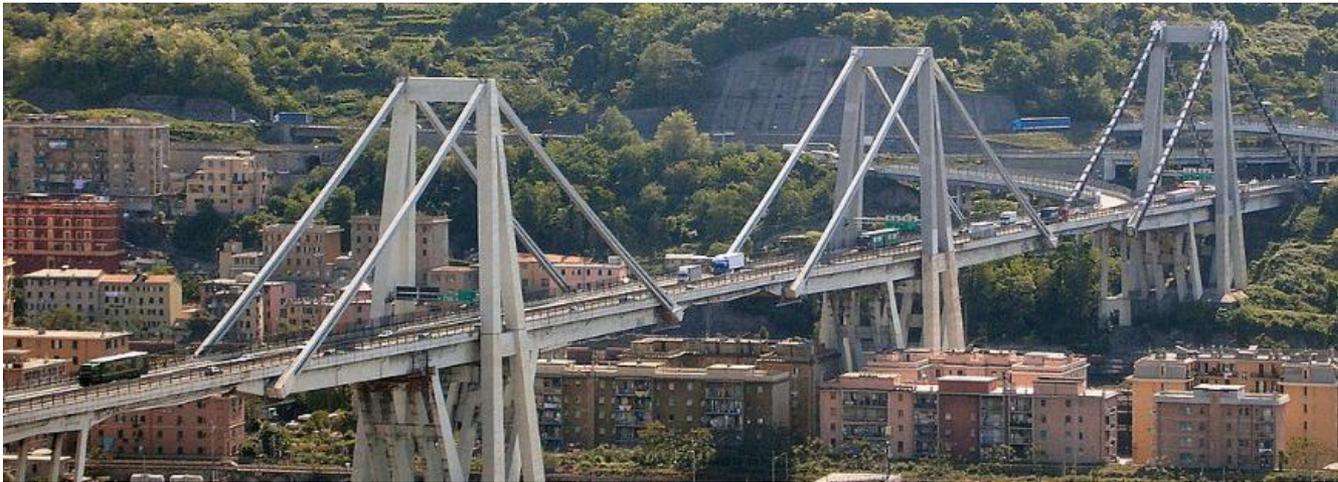




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

... e le conseguenze!

Genova – 14/08/2018





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

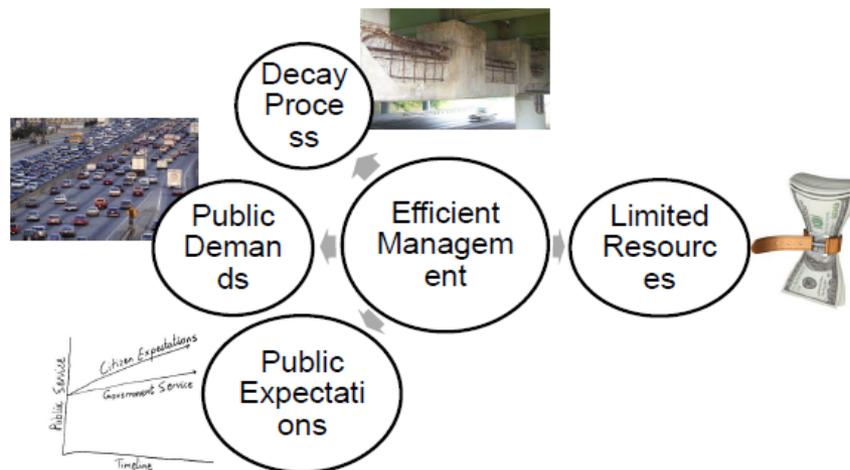
... e le conseguenze!

Genova – 14/08/2018



Questi fatti continuano a verificarsi poiché:

- Non si hanno informazioni di dettaglio su molti ponti e viadotti esistenti
- Manca un razionale piano di sorveglianza dei manufatti
- Mancano le risorse economiche per svolgere ispezioni e rilievi a tutto il parco opere
- I rischi e le conseguenze spesso vengono sottostimati
- Manca la cultura della prevenzione, si interviene solo in emergenza

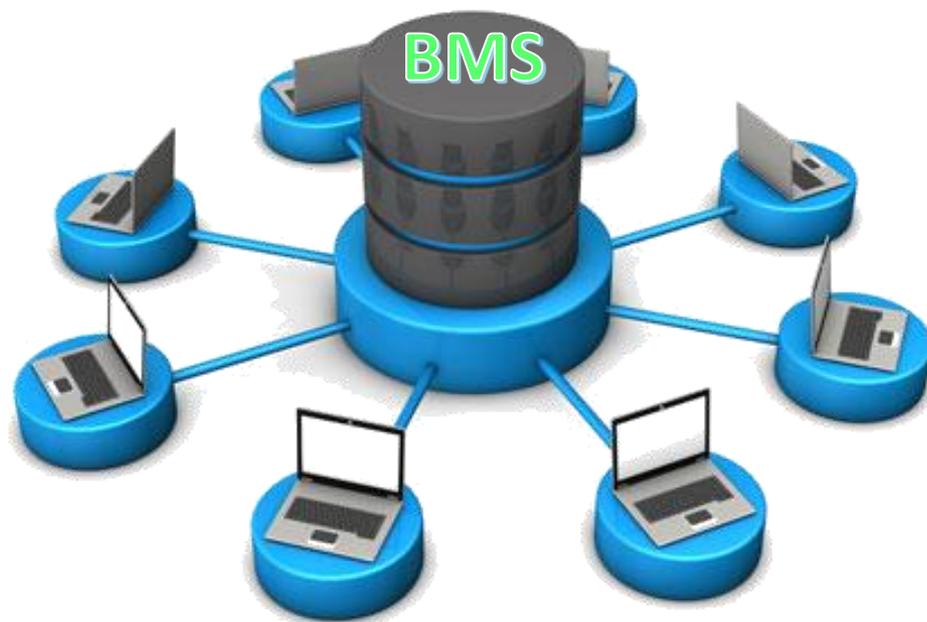




Bridge Management System (BMS)

Un Sistema di Gestione dei Ponti (BMS) è uno strumento utile per gestire i ponti durante le loro fasi di progettazione, costruzione, funzionamento e manutenzione.

La carenza di fondi disponibili per interventi manutentivi, e il progressivo invecchiamento del patrimonio infrastrutturale esistente fanno sì che **gli enti gestori necessitino di strumenti come i BMS per una pianificazione degli investimenti in manutenzione per le opere di competenza, eseguendo interventi ove essi siano necessari, e garantendo al contempo un adeguato livello di sicurezza per gli utenti.**





Bridge Management System (BMS)

Un Sistema di Gestione dei Ponti (BMS) permette di costruire **inventari** delle opere in gestione e **database** di ispezione, **prevedere futuri scenari di ammaloramento** tramite l'utilizzo di modelli di deterioramento, e conseguentemente **pianificare gli interventi** di manutenzione, riparazione e riabilitazione strutturale con **ordine di priorità** stabilito in maniera razionale.





Componenti di un Bridge Management System (BMS)

1. Piattaforma di archiviazione dei dati



2. Modello di stima dei costi di manutenzione

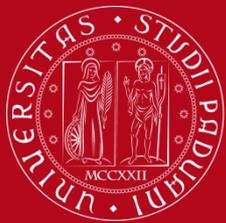


3. Modello di previsione del deterioramento



4. Modello ottimale di allocazione delle risorse economiche





BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati – l'esperienza del Dipartimento ICEA dell'Università di Padova con CAV – Concessioni Autostradali Venete

303. Viadotto Svincolo MI

Dati generali **Caratteristiche geometrico-strutturali** Caratteristiche elementi non strutturali Documentazione di archivio Ispezioni manutentive

ID MANUFATTO:	303
NOME UFFICIALE:	Viadotto Svincolo MI
NOME CONVENZIONALE:	Viadotto Svincolo MI

SCHEMA STRUTTURALE IMPALCATO:	Trave continua
MATERIALE IMPALCATO:	Travi in acciaio con soletta in c.a.
ANDAMENTO PLANIMETRICO:	Curvilineo (R=268 m)
LUNGHEZZA TOTALE [m]:	122
LARGHEZZA IMPALCATO [m]:	13

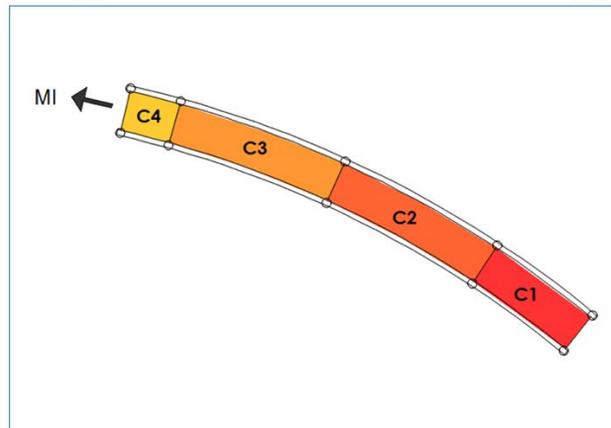
NUMERO CAMPATE:	4
LUCI CAMPATE [m]:	12 - 41 - 41 - 28
LARGHEZZA PIANO VIABILE [m]:	9.5
NUMERO CORSIE:	1
MARCIAPIEDE DI SERVIZIO SX [m]:	0.69
MARCIAPIEDE DI SERVIZIO DX [m]:	0.69
ALTEZZA UTILE MINIMA [m]:	-

SCHEMA STRUTTURALE PILE:	A telaio
MATERIALE PILE:	Calcestruzzo armato
SEZIONE PILE:	Circolare
NUMERO PILE:	3
ALTEZZA MAX PILE [m]:	8.22
TIPOLOGIA APPOGGI:	Mobili su spalla S1 e fissi su spalla S2
TIPOLOGIA GIUNTI:	-
TIPOLOGIA FONDAZIONI PILE:	Fondazioni su pali
TIPOLOGIA FONDAZIONI SPALLE:	Calcestruzzo armato

Foto generale

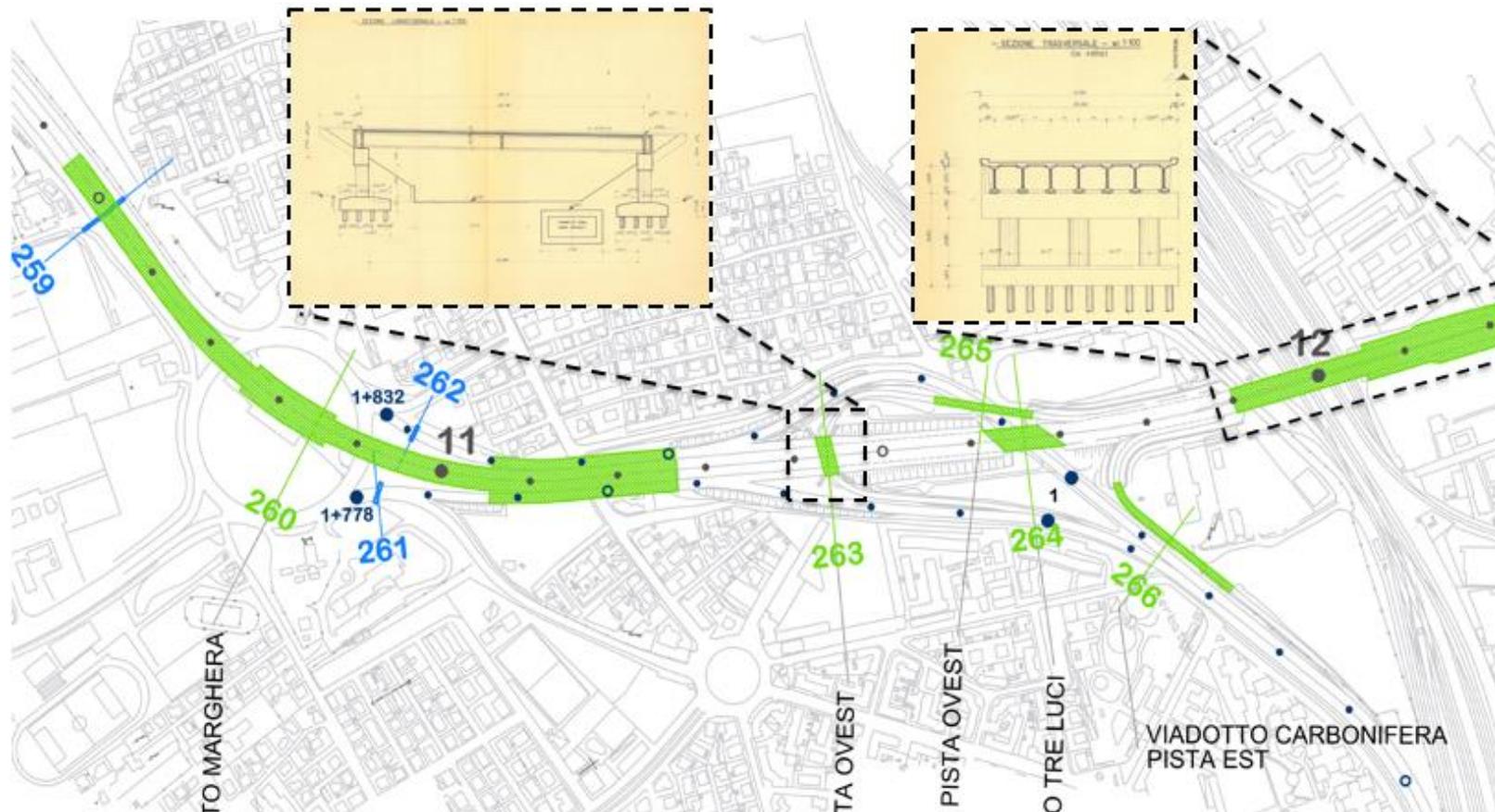


Schema campate



BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

Elaborati del progetto originario.

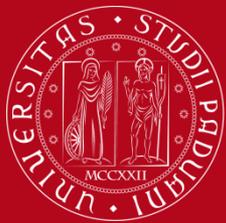




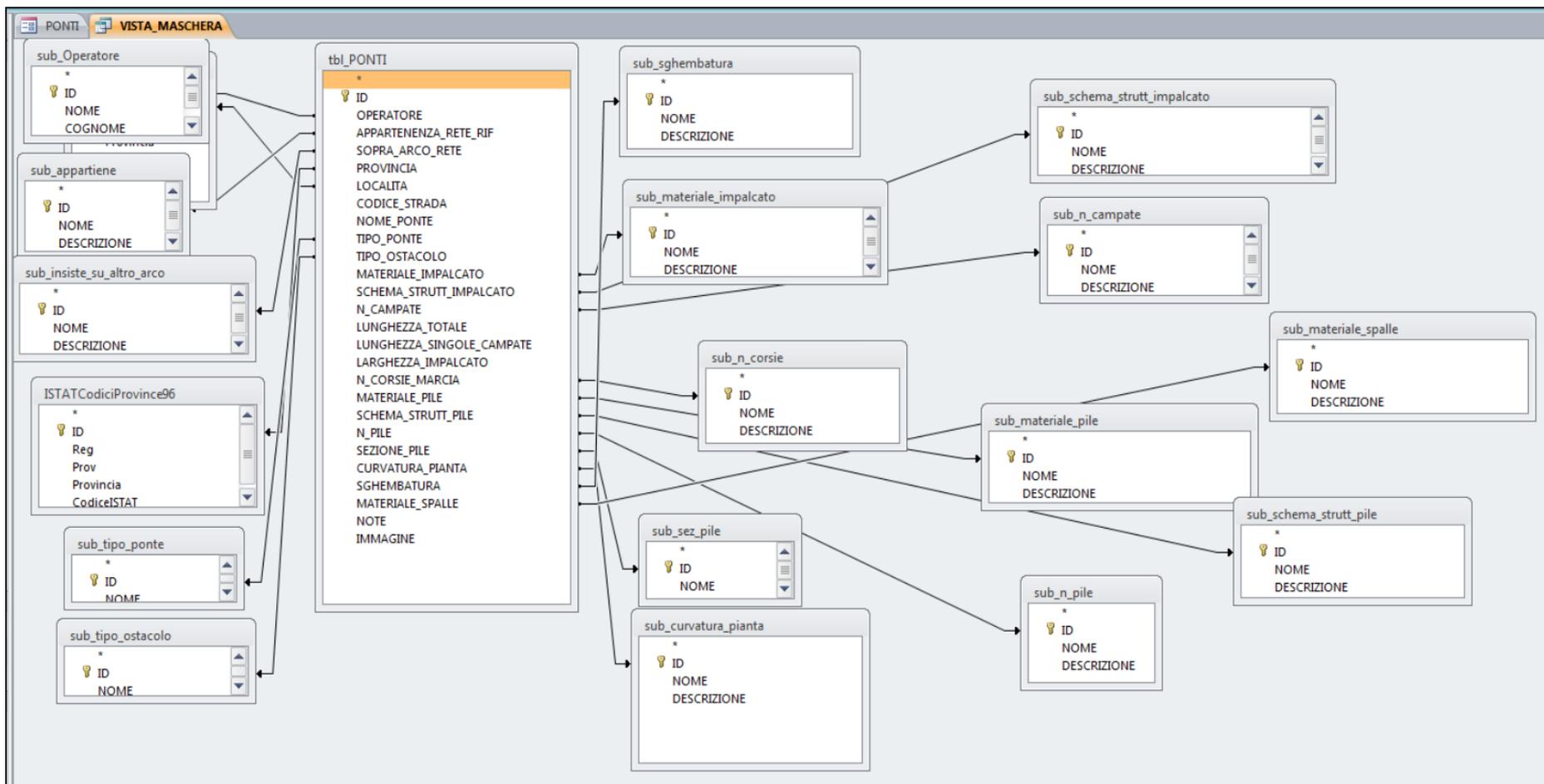
BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

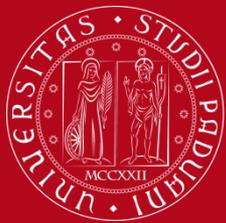
Anche esiti di prove in-situ. Collaudi.





BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati





BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

Le ispezioni più rapide ed economiche sono normalmente basate sul metodo visivo.

- Vantaggi: semplicità operativa, economicità
- Svantaggi: difficoltà nella rilevazione di difetti latenti, soggettività valutazione

Costruzione di gruppi di schede per la determinazione quanto più possibile oggettiva dello stato di condizione di ogni elemento. I gruppi possono essere divisi sulla base del materiale della sovrastruttura.



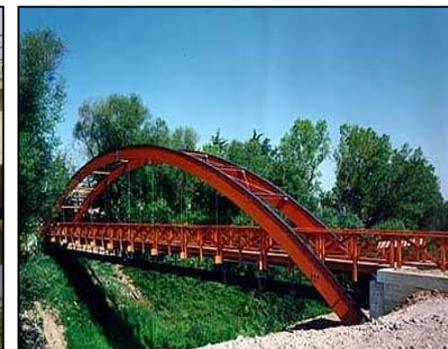
A) Muratura



B) Acciaio o struttura mista



C) C.A. - C.A.P.



D) Legno



BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

La struttura è divisa nei suoi elementi costitutivi (strutturali, accessori).

La condizione di ogni elemento può essere espressa tramite un indice chiamato **CONDITION VALUE (CV)**.

Si possono definire 5 livelli di condizione per ogni elemento:

CV Condition Value	
Nessun giudizio formulato	0
Nessun difetto significativo	1
Difetti minori che non portano danni	2
Difetti moderati che potrebbero causare danni	3
Difetti severi che causano danni	4
Elemento non funzionale o non esistente	5



BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

Ad ogni elemento strutturale/accessorio è attribuito un CV e un peso per la determinazione del fattore di efficienza complessivo del manufatto.

L'obiettivo di tale procedura è quello di ridurre al minimo la soggettività legata al metodo dell'ispezione visiva dei vari elementi strutturali.

B) Materiale della sovrastruttura: Acciaio o struttura mista acciaio-calcestruzzo

B1)	ELEMENTI LONGITUDINALI	B11)	FONDAZIONI DELLA PILA
B2)	PILA	B12)	MEMBRANA DI IMPERMEABILIZZAZIONE
B3)	ELEMENTI TRASVERSALI	B13)	PAVIMENTAZIONE
B4)	SOLETTA	B14)	GUARD-RAIL
B5)	APPARECCHIO DI APPOGGIO	B15)	GIUNTO
B6)	DISPOSITIVO ANTISISMICO	B16)	MARCIAPIEDE
B7)	SPALLA	B17)	PARAPETTO
B8)	TERRAPIENO DI ACCESSO	B18)	SMALTIMENTO DELLE ACQUE
B9)	MURO DI SOSTEGNO	B19)	ACCESSORI
B10)	FONDAZIONI DELLA SPALLA		



Table 4. Example of a datasheet for condition value (CV) definition for concrete piers.

Material	Description	Visual aspects	Possible causes	CV
Concrete	No judgement			0
Concrete	No significant defects	No defects		1
Concrete	Minor defects not related to damage	Superficial defects of concrete Superficial removing of previous repair	Construction errors Freeze-thaw phenomena, run-off, infiltration of water, overload, river current actions (for piers in river), shrinkage, temperature variations, localized tension on abutments, absence or lack of functionality of supports	2
		Regular grid of thin cracks ($w < 0.3$ mm) No deep cracks on the top ($w < 0.3$ mm) Some exposed bars Moisture traces on the top Any protective elements corroded Accidental superficial damages (only concrete cover involved)	Insufficient rebars Lack of waterproofing, no drainage Physical or chemical agents Impact of vehicles, impact of vessels, solid transport (piers in river)	
Concrete	Defects that could cause moderate damage	Extensive and deep cracks ($w > 0.3$ mm)	Freeze-thaw phenomena, shrinkage, temperature variation, carbonation, chloride attacks, alkali-aggregate (AAR) or alkali-silicate (ASR) reaction, overloads, high localized tensions Initial sulphur attack	3
		Network of horizontal and vertical cracks with branches around the aggregate's particles Concrete discoloration, rust stains Infiltrations of water, efflorescence, scaling, traces of salts Non negligible accidental damages (concrete cover involved until rebars)	Carbonation, chlorides, problems in the drainage system and waterproofing, poor quality of concrete, deposits of salts Impact of vehicles, impact of vessels, solid transport (piers in river)	
Concrete	Severe defects that cause damage	Craters, detachments, delamination	Freeze-thaw phenomena, insufficient rebars, carbonation, problems in the drainage system and waterproofing, chlorides, alkali-aggregate reaction Poor quality or porous concrete	4
		Exposed corroded bars (loss of section $< 20\%$) Percolation of water, salt deposits, stalactites Accidental significant damages (damaged rebars)	Lack of waterproofing, no drainage, use of chlorides Impact of vehicles, impact of vessels, solid transport (piers in river)	
Concrete	Non-functional or non-existent element	Great detachment of concrete	Freeze-thaw phenomena, insufficient rebar, problems in the drainage system and waterproofing, attack of chlorides, alkali-aggregate reaction	5
		Exposed corroded bars (loss of section $> 20\%$) Great percolation of water, large deposits of salts and stalactites Absolutely significant damages (cut rebars)	Lack of waterproofing, no drainage, use of chlorides Impact of vehicles, impact of vessels, solid transport (piers in river)	

Esempio di scheda per la classificazione del danneggiamento e la valutazione dello stato di condizione di un pila in c.a.



BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

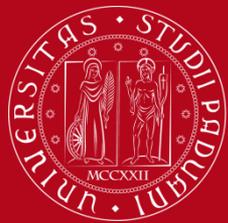
Si stabiliscono 4 livelli di efficienza inversamente collegati a 4 livelli di urgenza di intervento per gli elementi del ponte:

Livello di efficienza	Livello di urgenza di intervento	ESR
1	Massima urgenza di intervento	1 – 10
2	Intervento a breve termine	11 – 20
3	Intervento a medio termine	21 – 30
4	Intervento a lungo termine	31 – 100

L'efficienza della struttura è calcolata sulla base della media pesata delle condizioni dei singoli elementi, tenendo conto dei fattori penalizzanti l'efficienza che caratterizzano il Network Level Bridge Management

$$TSR_{reale} = \frac{\sum_{i=1}^t CF_i \times W_i}{\sum_{i=1}^t W_i} \times PF \times 10$$

CF_i: Condition Factor dell'*i*-esimo elemento
W_i: peso dell'*i*-esimo elemento valutato
PF = (RF x NBI x AF): Penalty Factor
t = numero di elementi valutati



BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

Table 5. Road type (RT) factors.

Road	RT
Highway	0.80
National road	0.90
Provincial road	0.95
Secondary road	1.00

Table 6. Traffic index (TI). (Vpd is vehicles per day.)

Traffic	ADTV	TI
High	> 20000 vpd	0.90
Middle	6000–20000 vpd	0.95
Low	< 6000 vpd	1.00

$$RF = RT \times TI.$$

Table 7. Network bridge importance (NBI).

Situation	NBI
Situation 1: long deviation on unsuitable alternative road	0.96
Situation 2: short deviation on unsuitable alternative road or long deviation on suitable alternative road	0.98
Situation 3: short deviation on suitable alternative road	1.00

Table 8. Age factor (AF).

Year of construction	AF
Before 1900	0.97
1900–1945	0.98
1946–1970	0.99
1971–present	1.00



BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

Si stabiliscono 4 livelli di efficienza inversamente collegati a 4 livelli di urgenza di intervento per l'intero ponte:

Livello di efficienza	Livello di urgenza di intervento	TSR
1	Massima urgenza di intervento	1 – 30
2	Intervento a breve termine	31 – 40
3	Intervento a medio termine	41 – 60
4	Intervento a lungo termine	61 – 100

- deficienze strutturali diffuse ed efficienza ridotta di alcuni elementi accessori oppure deficienze di molti elementi accessori e problemi per alcuni componenti strutturali
- deficienze strutturali diffuse e deficienze importanti di molti elementi accessori
- alcune deficienze strutturali oppure lacune in alcuni elementi accessori
- piccoli problemi limitati a pochi elementi o nessun problema



BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati

Esempio di analisi del TSR per un ponte.

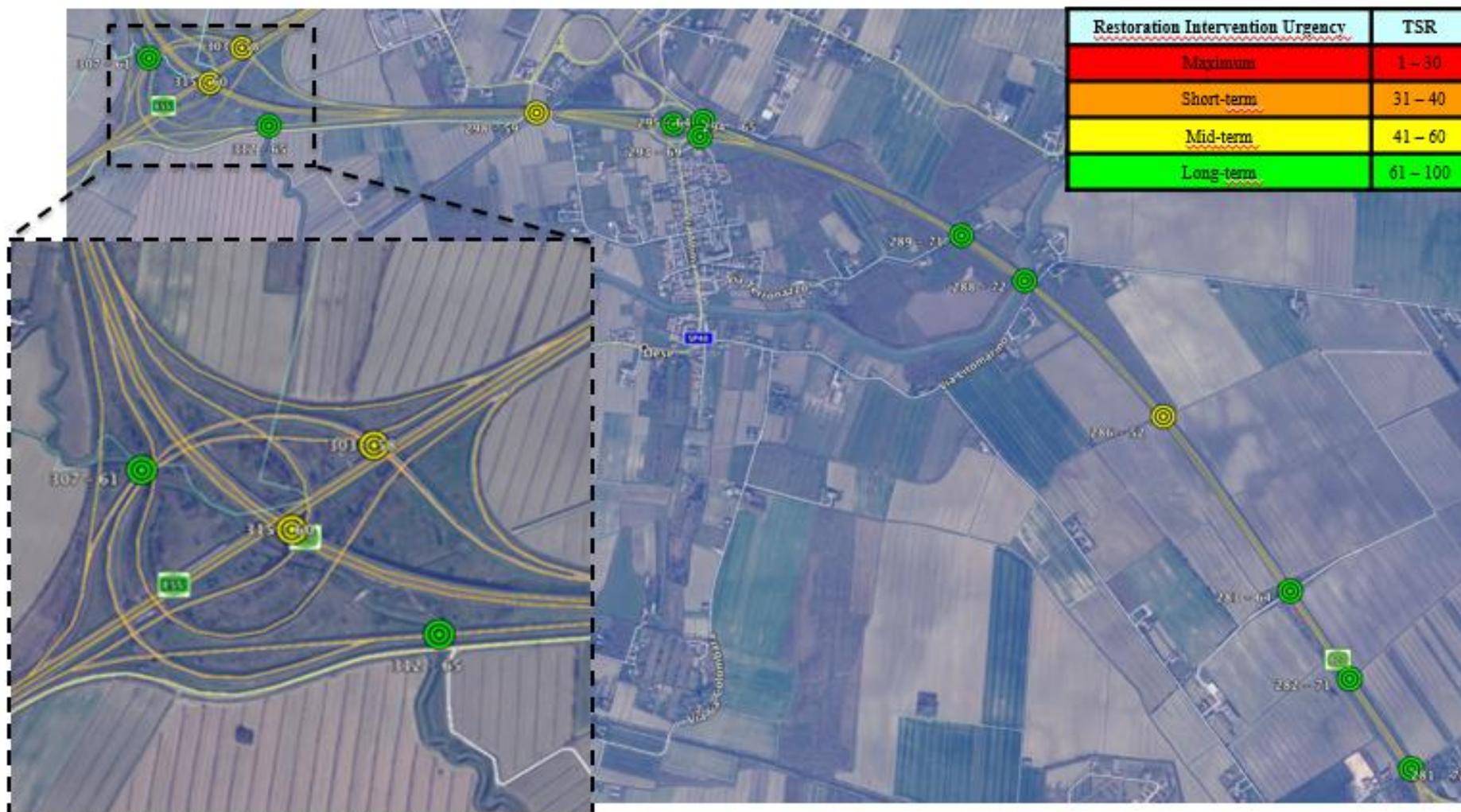
YEAR OF VISUAL INSPECTION SURVEY									2014
Code	Elements	Condition Value (CV)	Condition Factor (CF)	Location Factor (LF)	Weight (W _i)	Evaluated? (YES/NO)	Traffic Index (TI)	Age Factor (AF)	Element Sufficiency Rating (ESR)
1	Longitudinal elements	2	75	5	12	YES	1	1	38
2	Arches	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Pillars	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Piers	3	50	5	12	YES	1	1	25
5	Transversal elements	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Slabs	3	50	5	12	YES	1	1	25
7	Support equipment	0	50	6	10	NO	1	1	30
8	Seismic devices	-	-	6	-	-	-	-	-
9	Abutments	0	50	7	8	NO	1	1	35
10	Approach embankments	1	100	7	8	YES	1	1	70
11	Wing walls	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Joints	3	50	9	6	YES	1	1	45
13	Drainage system	3	50	9	6	YES	1	1	45
14	Pavement	2	75	10	4	YES	1	1	75
15	Curbs	4	25	10	4	YES	1	1	25
16	Sidewalk	-	-	10	-	-	-	-	-
17	Guardrails	-	-	10	-	-	-	-	-
18	Lighting	3	50	10	4	YES	1	1	50
19	Utilities	-	-	-	-	-	-	-	-

$\sum W_i m$ elements	68
$\sum W_i n$ elements	86

TSR _{REAL}	43
TSR _{NV}	36

TSR
41

BMS – 1. Piattaforma di archiviazione dei dati – Individuazione delle situazioni più critiche



Approfondimenti di indagine sui manufatti più critici

Ispezioni mediante prove in sito e in laboratorio

Ponti in c.a. Estrazione di carote.





Ispezioni mediante prove in sito e in laboratorio

Ponti in c.a. Rilievi con pacometro.





Ispezioni mediante prove in sito e in laboratorio

Ponti in c.a. Estrazione di barre di armatura.





Ispezioni mediante prove in sito e in laboratorio

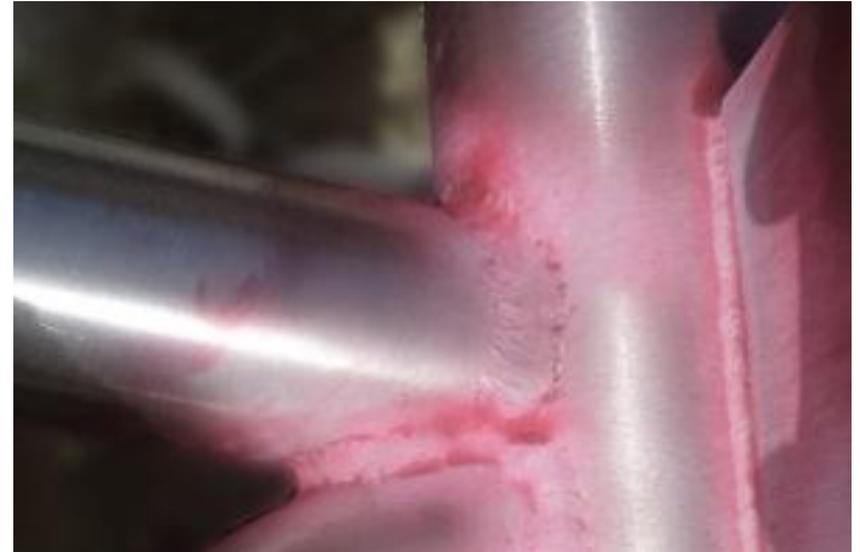
Ponti in acciaio. Controlli sui giunti bullonati.





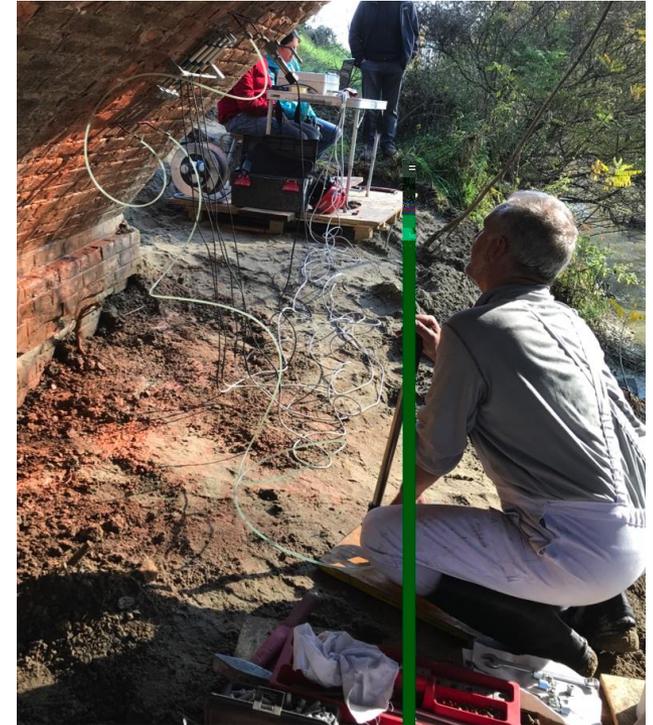
Ispezioni mediante prove in sito e in laboratorio

Ponti in acciaio. Controlli sui giunti saldati.

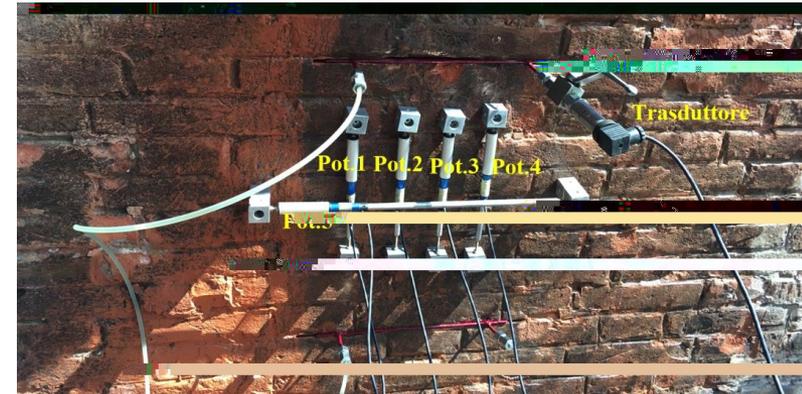
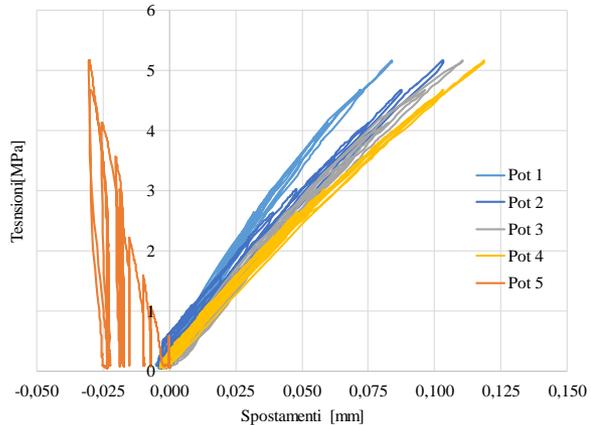


Ispezioni mediante prove in sito e in laboratorio

Ponti in muratura.
Prove con martinetti
piatti.

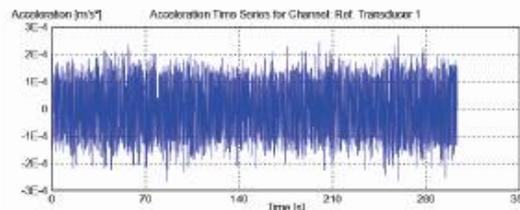


Test Martinetto doppio: "Test1_Arco"



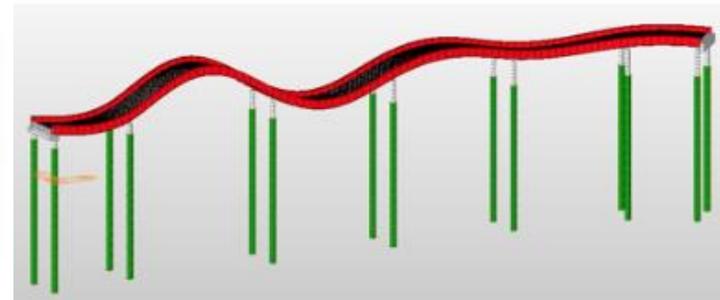
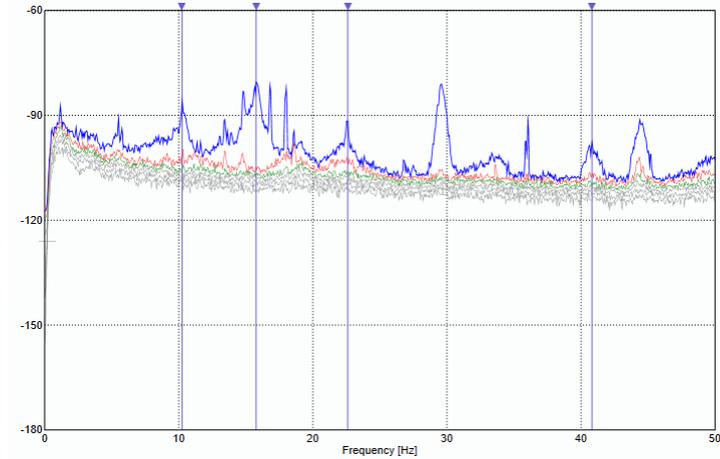
Ispezioni mediante prove in sito e in laboratorio

Prove di caratterizzazione dinamica.



Cursor Values
Time = -
Acceleration = -

Statistics
Maximum = 2.816E-4 [m/s²]
Minimum = -2.578E-4 [m/s²]
Std = 5.862E-5 [m/s²]
Median = -7.122E-5 [m/s²]
Mean = 2.082E-5 [m/s²]
Variance = 3.435E-9 [m/s⁴]
Skewness = 2.207E-2
Kurtosis = 3.993E0





BMS – 2. Modello di stima dei costi di manutenzione

Tramite gli esiti di una visita ispettiva è possibile effettuare una prima stima dei costi di manutenzione per il ripristino di un ponte.

La stima di costo degli interventi manutentivi necessari, dipende dallo stato di ammaloramento del ponte, e viene effettuata tramite l'utilizzo di un modello di stima dei costi di manutenzione.

Il modello di stima dei costi si basa sulla definizione di protocolli di intervento manutentivo per le varie tipologie strutturali presenti e per ciascuno dei possibili stati di ammaloramento riscontrabili.



Visita Ispettiva



Rilievo degrado



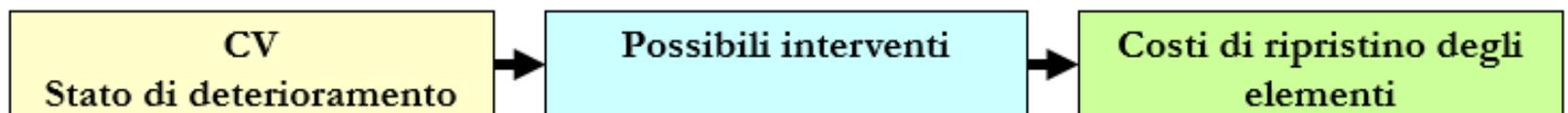
Identificazione protocollo
intervento



Stima sommaria costi



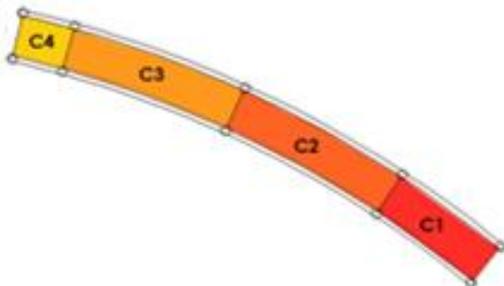
BMS – 2. Modello di stima dei costi di manutenzione



CV	Stato di deterioramento	Possibili interventi	Costo di ripristino (euro/ml)
2	Difetti superficiali del calcestruzzo, rimozione di precedenti interventi di riparazione, reticolo regolare di sottili fessure, tracce di umidità, danni accidentali superficiali.	<p>Pulizia superficiale del calcestruzzo per spessori minimi, da eseguirsi nelle sole zone chiazze mediante sabbiatura e/o spazzolatura, allo scopo di ottenere superfici pulite in maniera di renderle prive di elementi estranei ed eliminare zone corticalmente deboli per successive riprofilature. Sono compresi: il carico, il trasporto, lo scarico e il rifiuto dell' eventuale materiale di risulta.</p> <p style="text-align: right;">euro/ml di trave 70,00</p> <p>Getto di riprofilatura superficiale con betoncino, compresa altresì nel prezzo la bagnatura partendo da 24 ore prima del getto, la soffiatura dell'acqua eccedente, il mantenimento della bagnatura del getto per almeno 48 ore, compresi altresì ponteggi, la cassetta ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte</p> <p style="text-align: right;">euro/ml di trave 60,00</p>	130,00

Elementi	CV=1	CV=2	CV=3	CV=4	CV=5	unità di misura
<i>C1 – Travi in c.a.</i>	-	130	200	370	1300	euro/ml
<i>C2 – Pila in c.a.</i>	-	75	100	130	170	euro/m ²
<i>C3 – Traversi in c.a.</i>	-	130	200	200	800	euro/ml

BMS – 2. Modello di stima dei costi di manutenzione



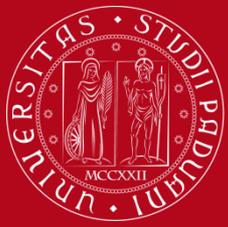
ISPEZIONE 11/08/2015												
Campate	Travi	Traversi	Soletta	Pile	Appoggi	Spalle	Disp. antisismici	Muri andatori	Smalt. acque	Giunti	Pavimentazione	Guard-rail
1	1	1	2	1	5	2	-	2	4	1	1	2
2	1	1	1	1	0	-	-	-	-	-	1	2
3	1	1	1	2	3	-	-	-	-	-	1	2
4	1	1	1	-	4	2	-	1	2	-	1	2

ISPEZIONE 11/08/2015												
Campate	Travi	Traversi	Soletta	Pile	Appoggi	Spalle	Disp. antisismici	Muri andatori	Smalt. acque	Giunti	Pavimentazione	Guard-rail
1	0	0	18.534	0	59.003	3.488	0	483	116	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	3.153	220	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	12.052	904	0	0	0	0	0	0

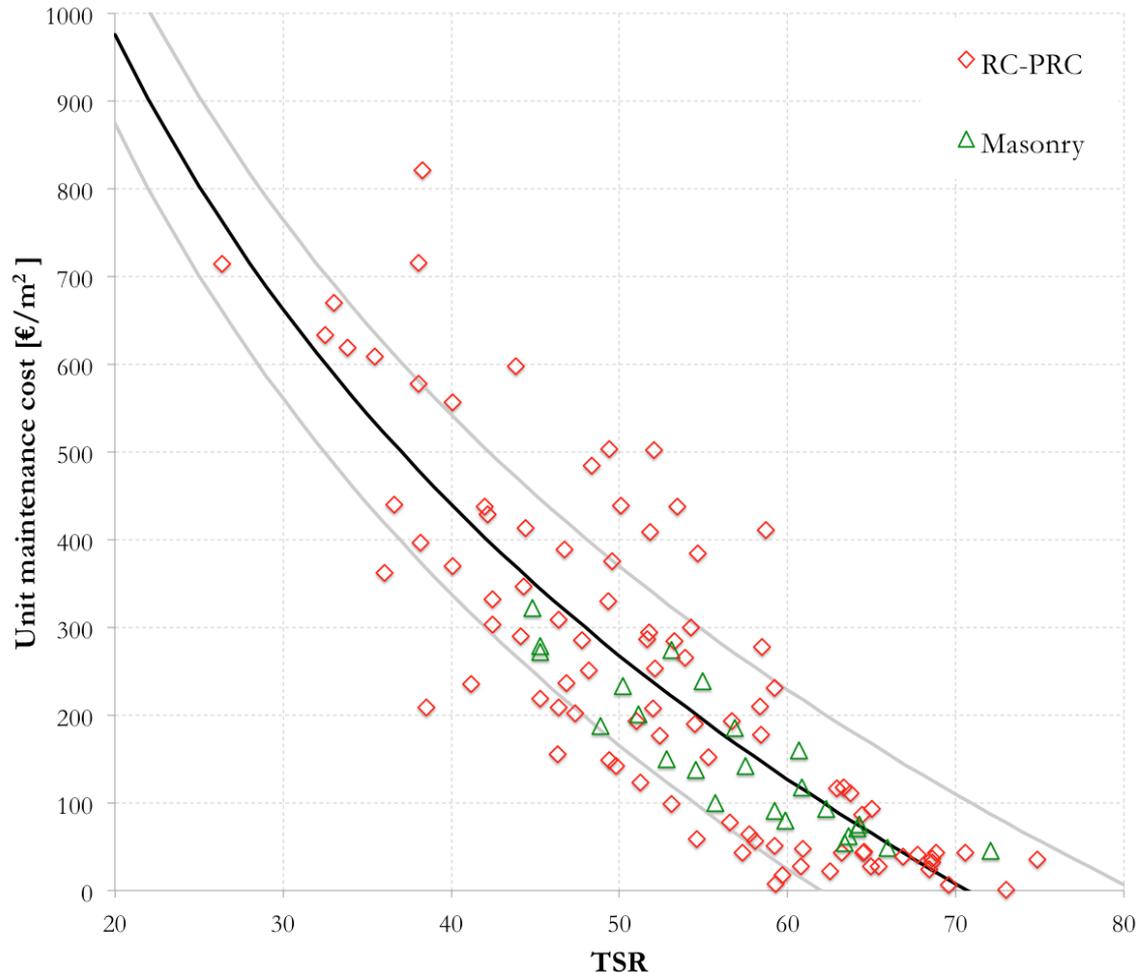
DATA ISP.	ISPETTORE	ESITO ISP. (TSR)	NOTE
11/08/2015	Ing.	58	Affiancamento Ing.

TOTALE SPESA PER RIPRISTINO MANUFATTO [€]	97.953	EURO / MQ DI MANUFATTO	61,76
--	---------------	-------------------------------	--------------

	Travi	Traversi	Soletta	Pile	Appoggi	Spalle	Disp. antisismici	Muri andatori	Smalt. acque	Giunti	Pavimentazione	Guard-rail
Tot. [€]	0	0	18.534	3.153	71.275	4.392	0	483	116	0	0	0

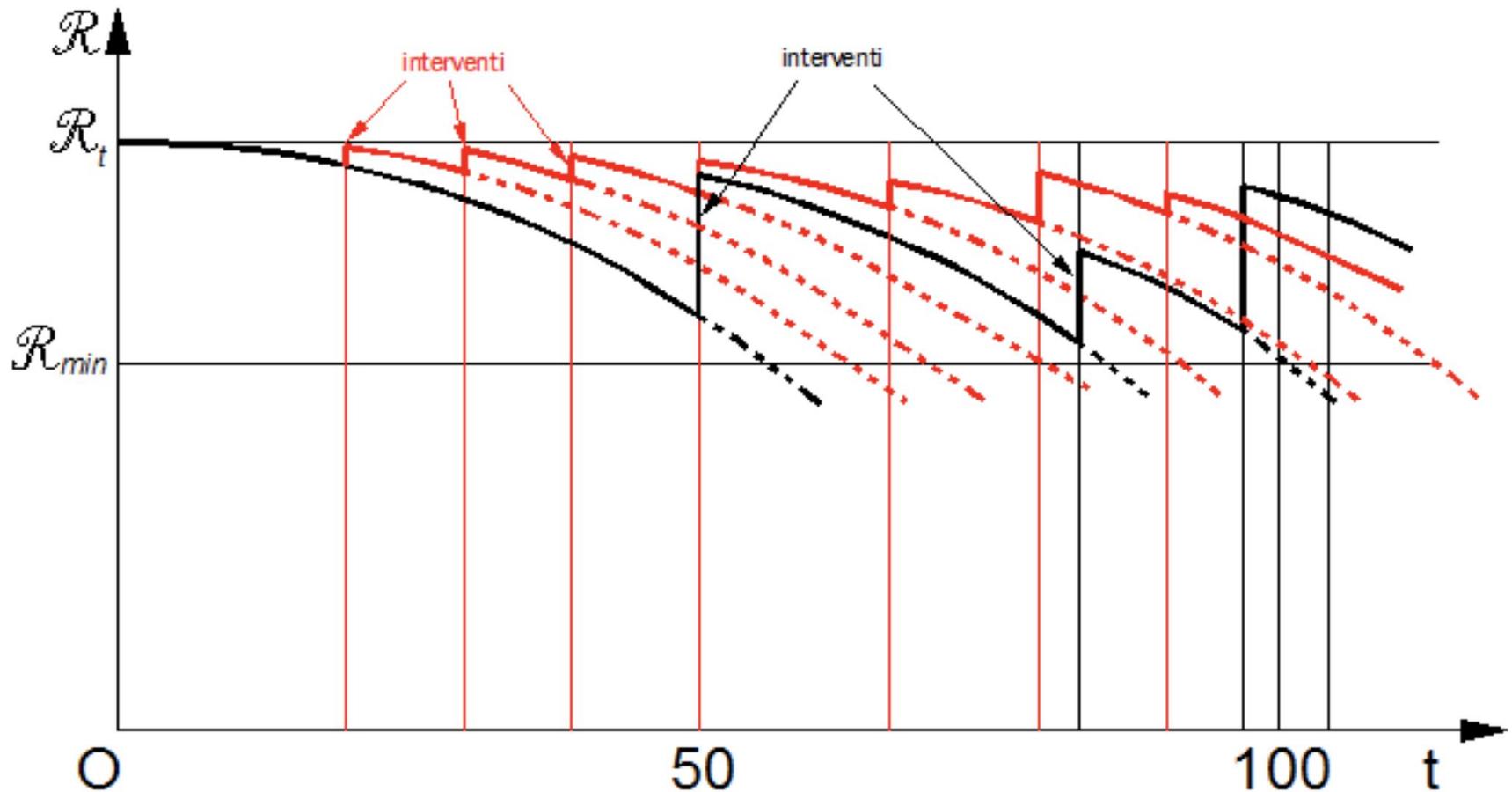


BMS – 2. Modello di stima dei costi di manutenzione



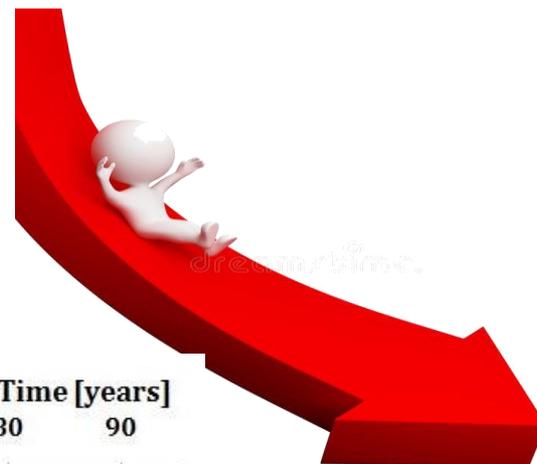
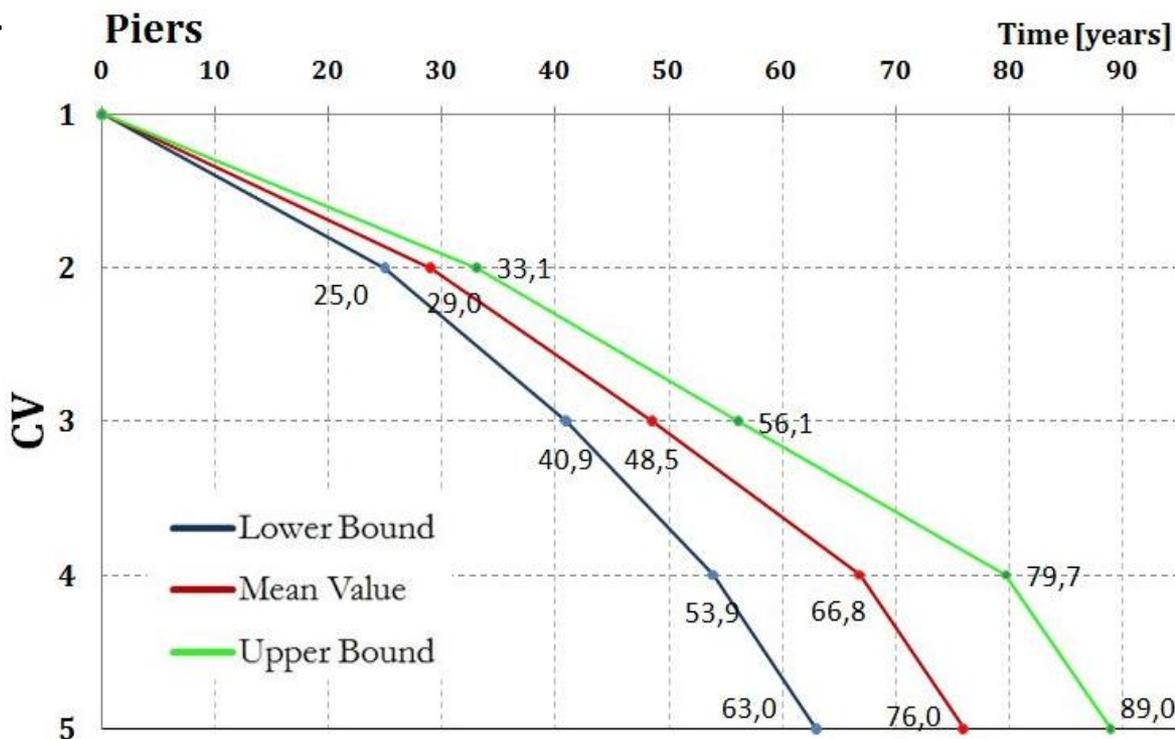


BMS – 3. Modello di previsione del deterioramento



BMS – 3. Modello di previsione del deterioramento

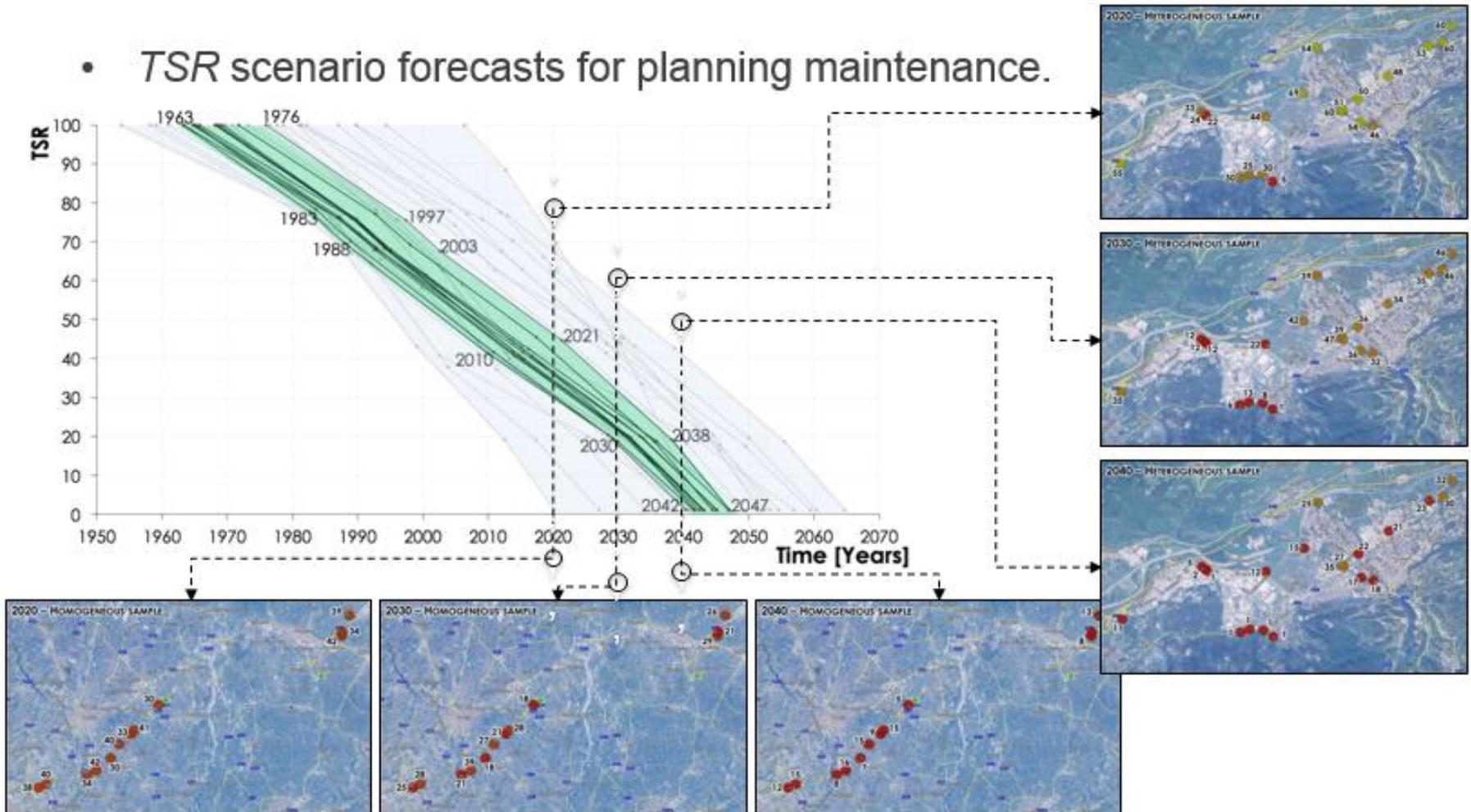
E' possibile effettuare delle previsioni su base statistica del trend di deterioramento. Utile per pianificare intervalli temporali delle future ispezioni.



Curve di deterioramento per l'elemento pila in calcestruzzo armato

BMS – 3. Modello di previsione del deterioramento

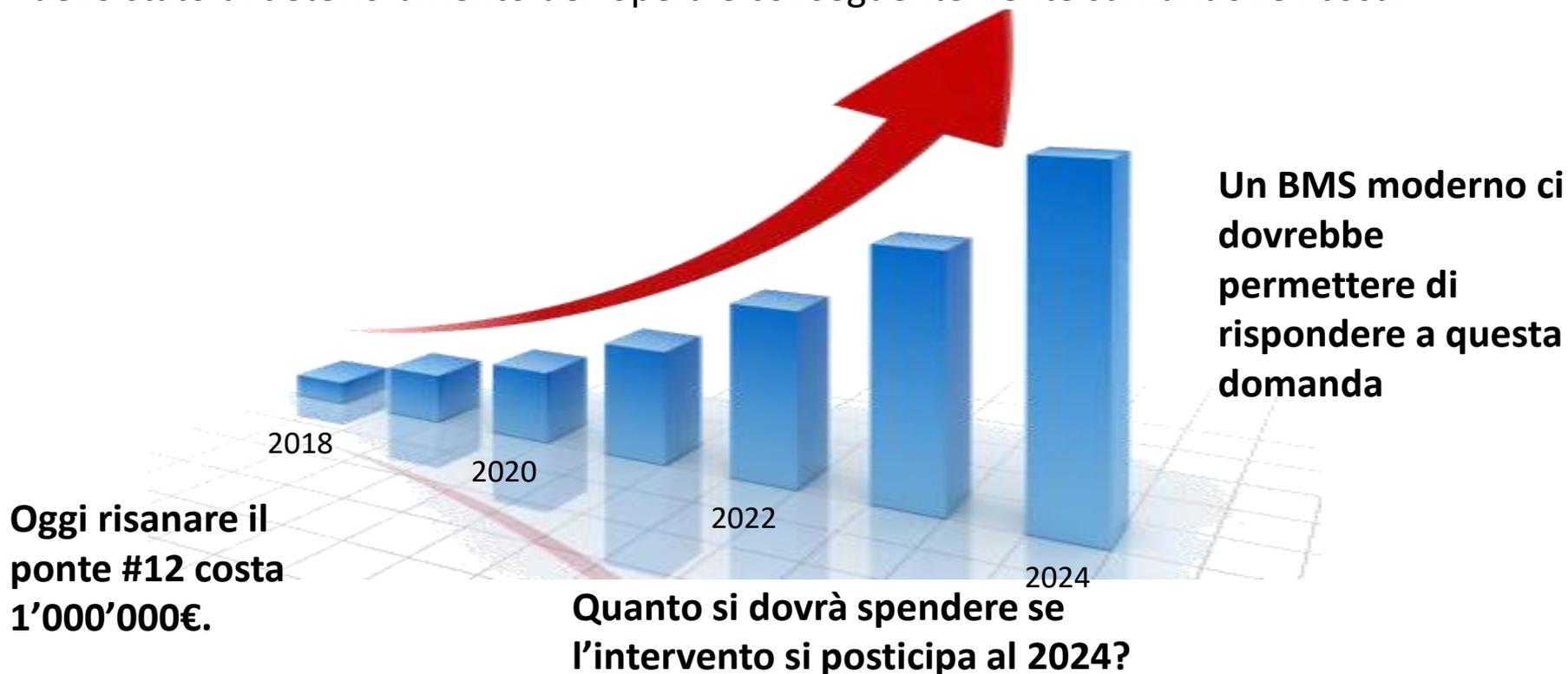
- *TSR* scenario forecasts for planning maintenance.





BMS – 3. Modello di previsione del deterioramento

Il modello di deterioramento unito a quello di costo permette di fare valutazioni anche economiche dei futuri costi di manutenzione, simulando la più probabile evoluzione dello stato di deterioramento dell'opera e conseguentemente stimandone i costi.





BMS – 4. Modello ottimale di allocazione delle risorse economiche

Sulla base delle simulazioni dei modelli di deterioramento e di stima dei costi, note le risorse economiche annualmente disponibili per interventi di manutenzione, il BMS permette di **definire il piano di interventi** tramite l'uso di modelli di ottimizzazione.



Il Rischio Sismico come l'unità di misura per fare prevenzione

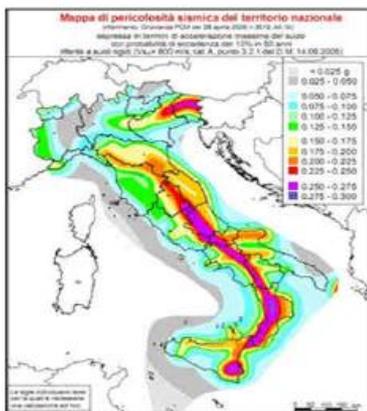
Il Rischio Sismico: è la misura ingegneristica per valutare il danno (perdita) atteso a seguito di un possibile evento sismico. Dipende da un'interazione di fattori.

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Esposizione}$$

Pericolosità: probabilità che si verifichi un sisma (terremoto atteso): zone sismiche

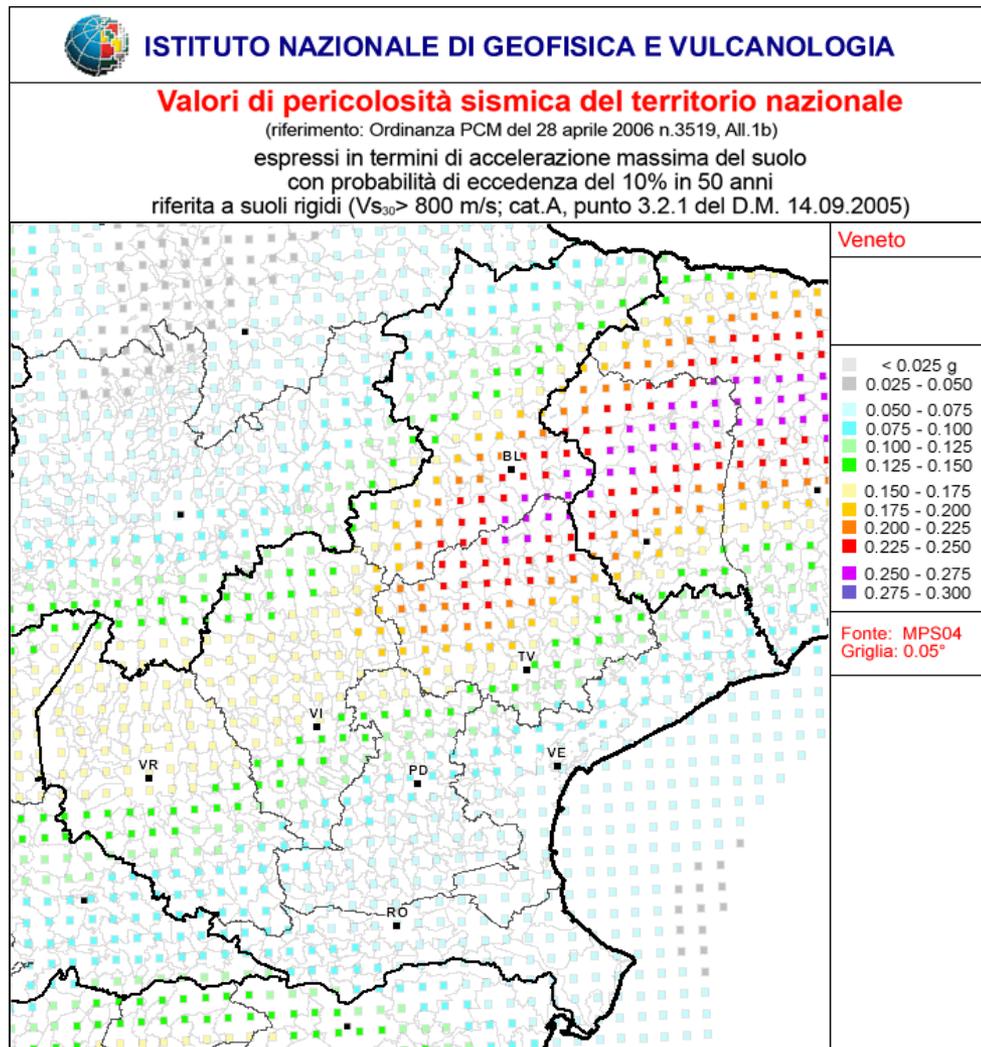
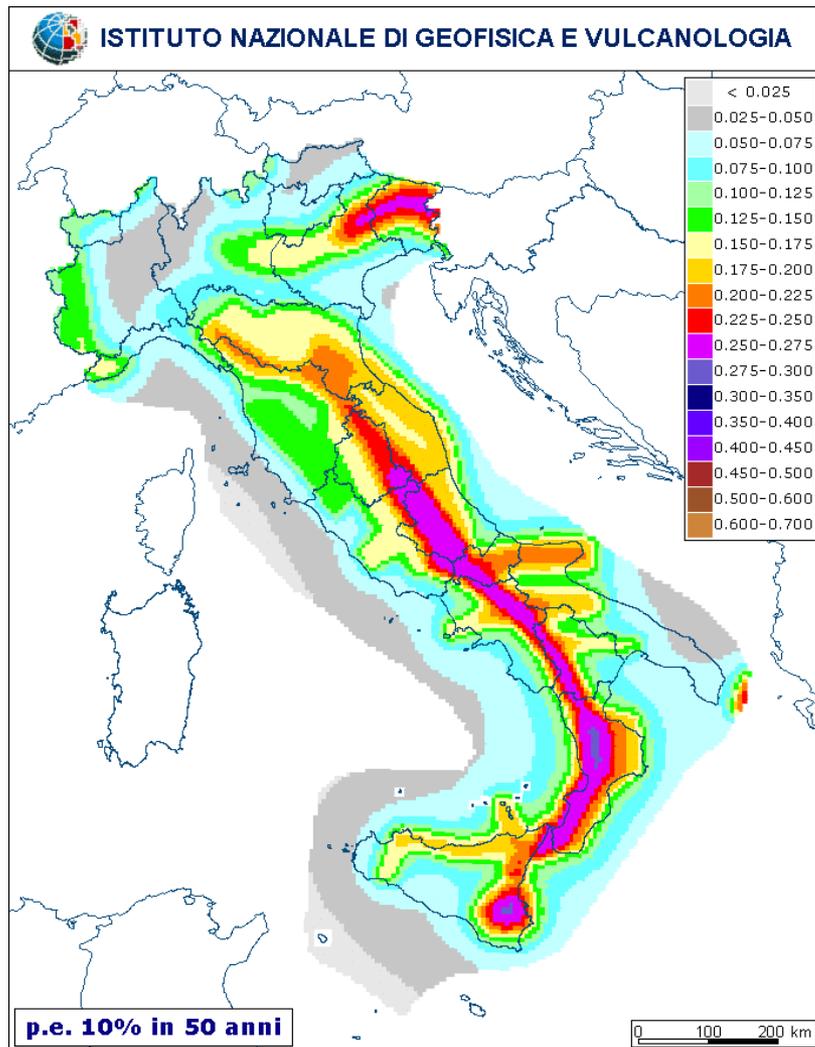
Vulnerabilità: valutazione degli effetti del sisma: capacità delle infrastrutture

Esposizione: conseguenze socio/economiche: contesti delle comunità





La pericolosità sismica

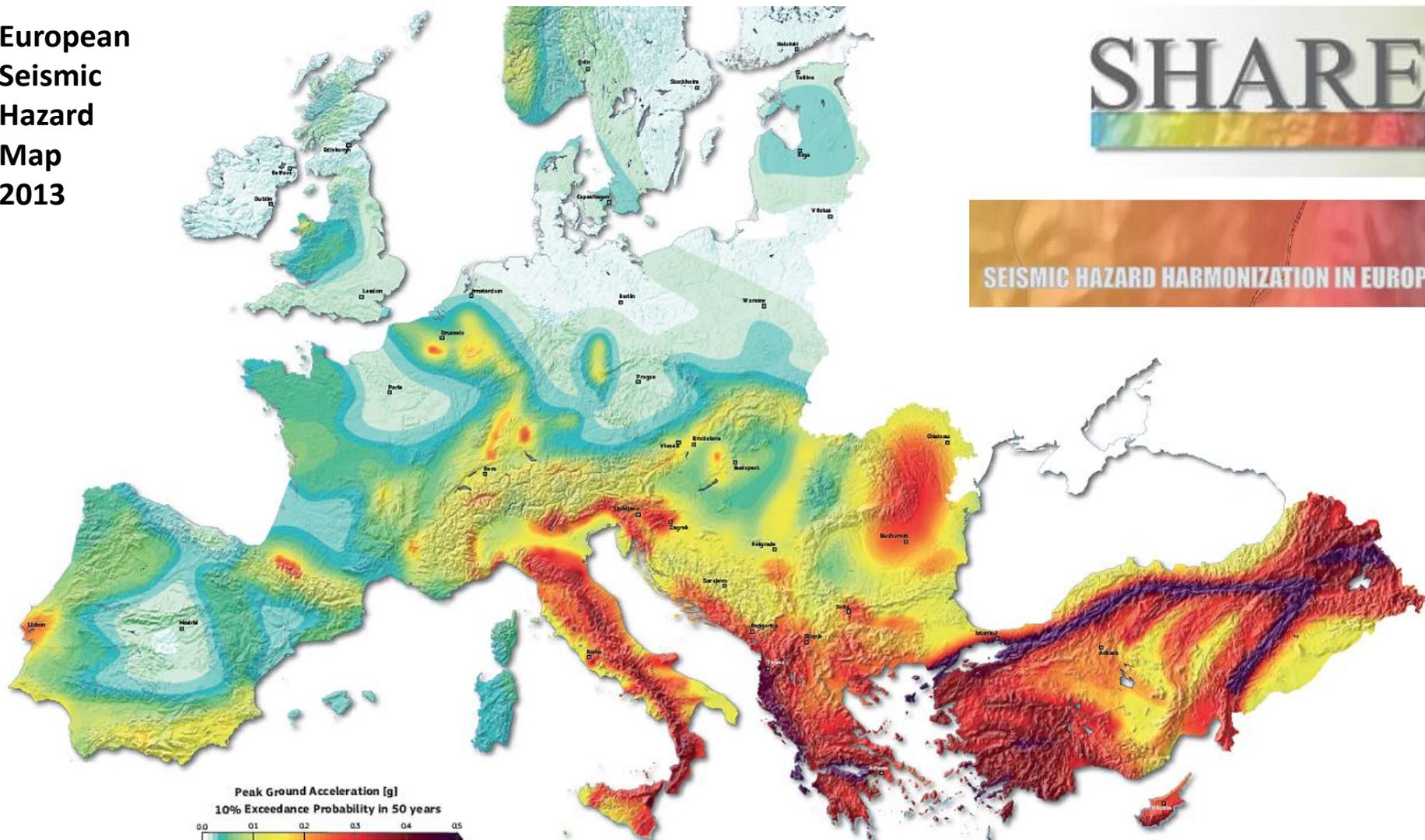




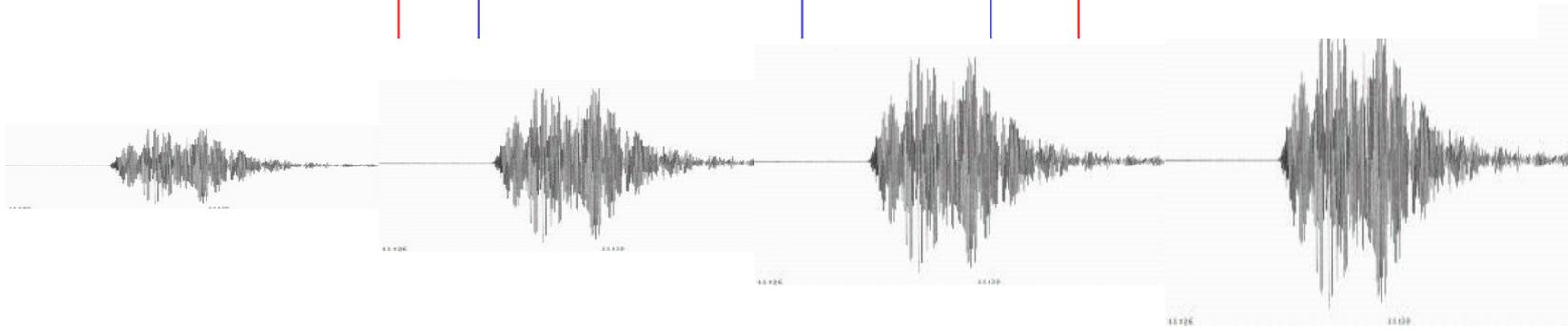
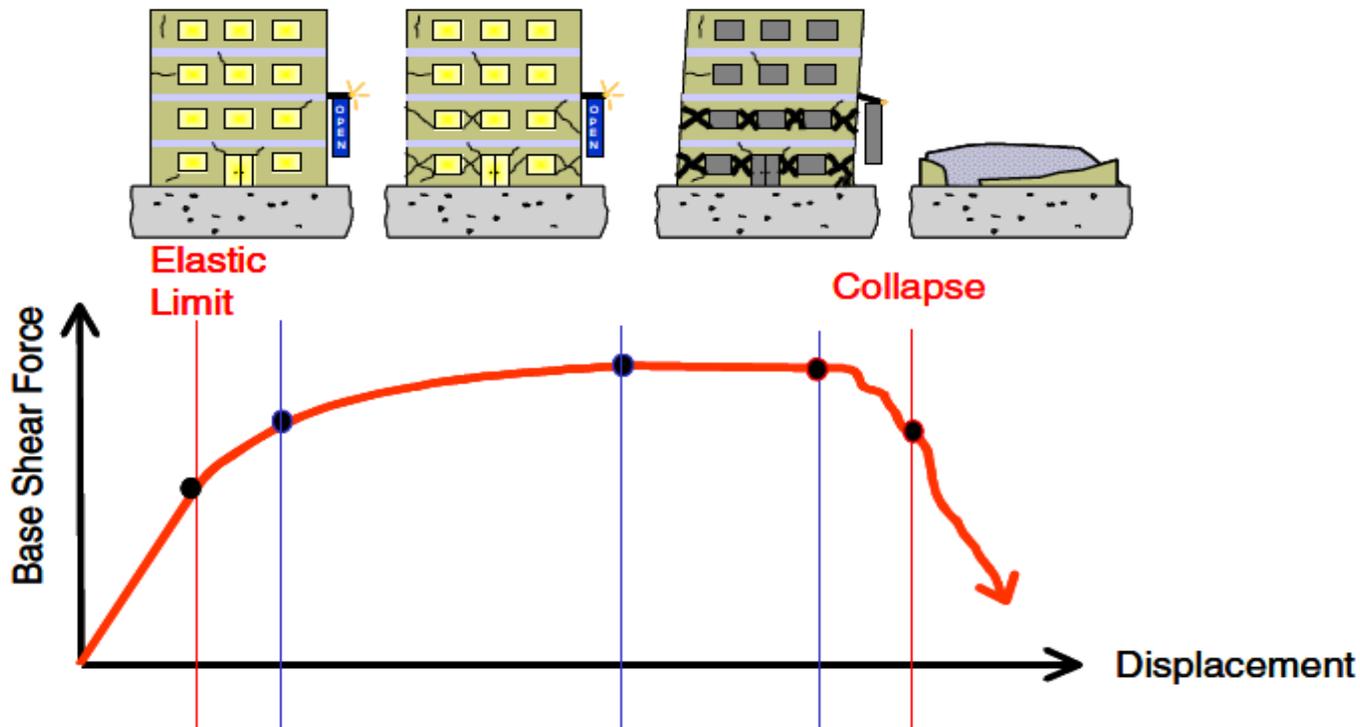
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

La pericolosità sismica

European
Seismic
Hazard
Map
2013



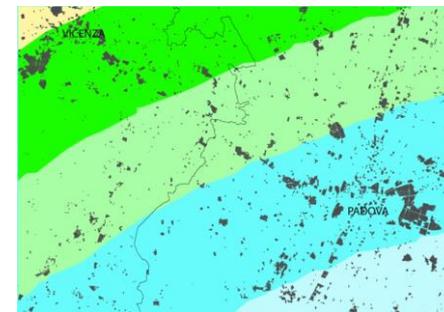
Misura della propensione di una struttura a subire danni per effetto di un terremoto.



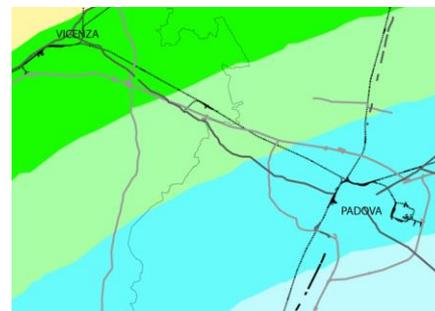


L'esposizione o valore esposto

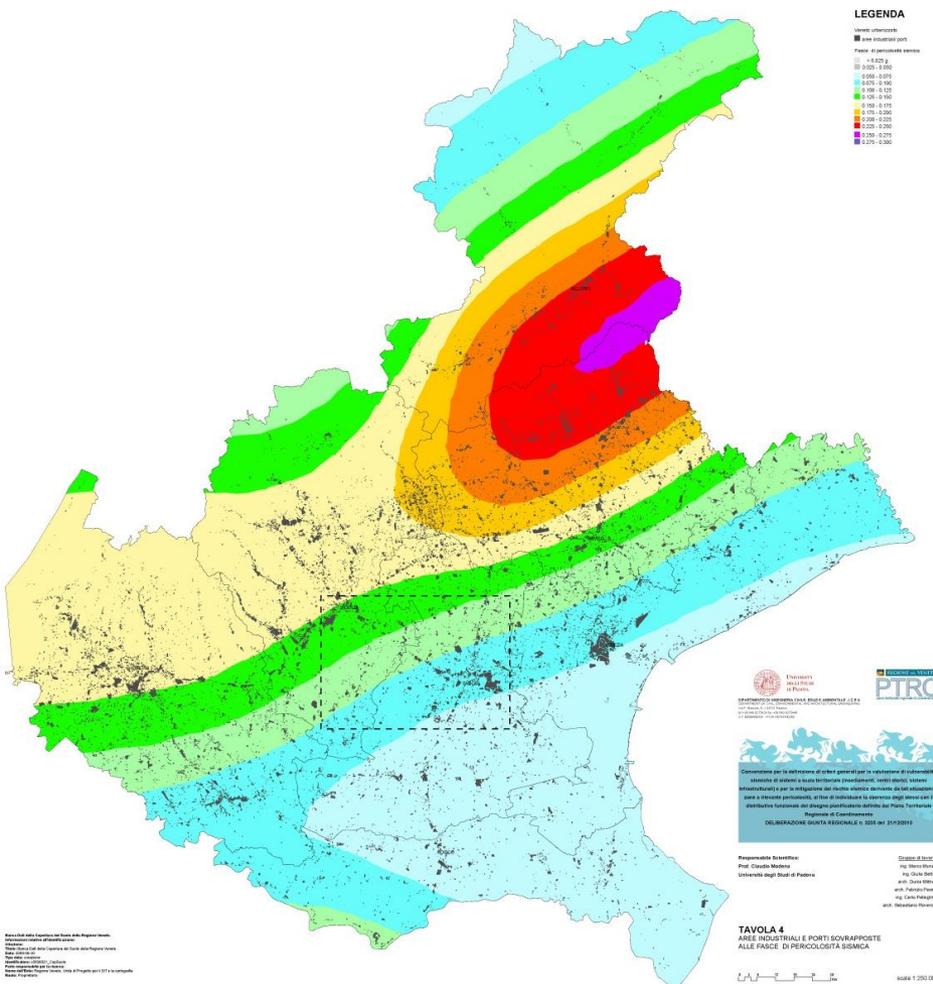
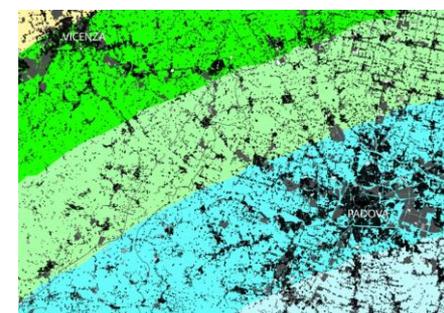
Aree produttive



Infrastrutture



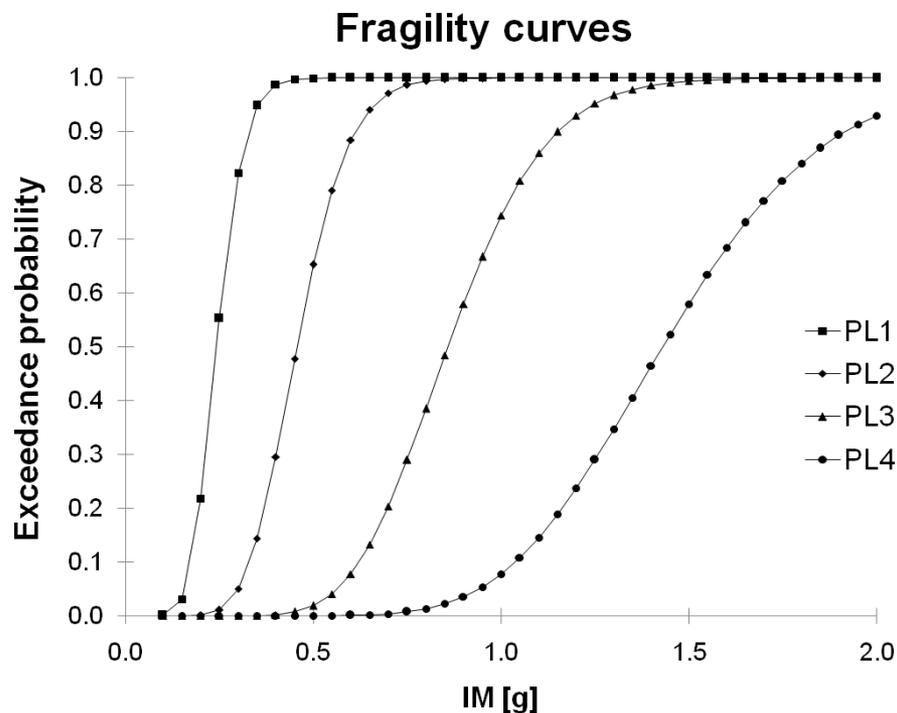
Patrimonio edilizio





La stima della vulnerabilità sismica si effettua spesso tramite la costruzione delle **CURVE DI FRAGILITÀ'**

Le curve di fragilità sono correlazioni analitiche tra l'intensità sismica di un possibile evento sismico e la probabilità che si verifichino determinati **STATI DI DANNO** per la strutture soggette all'azione sismica.



Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali

Stati di danneggiamento convenzionalmente considerati

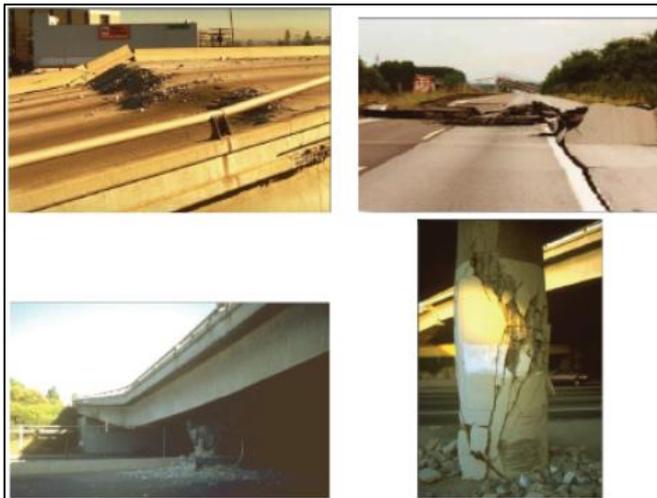
Danno
lieve
(minor)



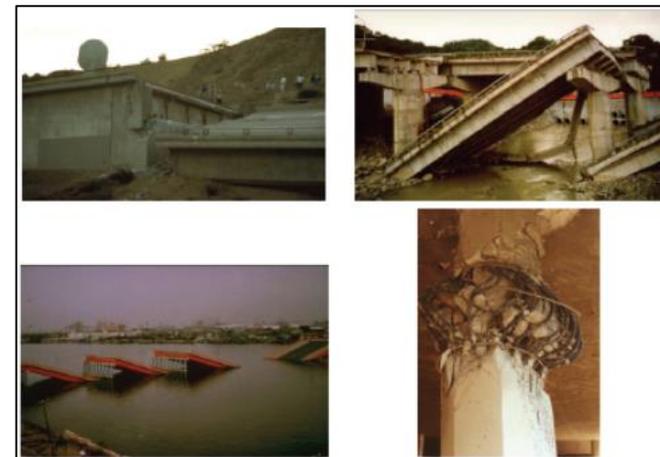
Danno
moderato
(moderate)



Danno
esteso
(extensive)



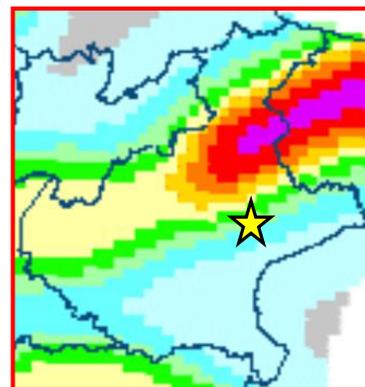
Collasso
(complete)





CASO STUDIO

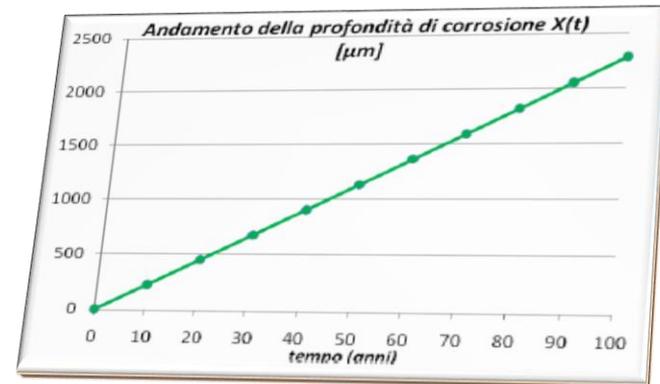
Cavalcavia A27 (VE-BL)

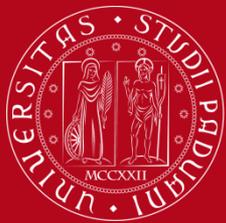


Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali



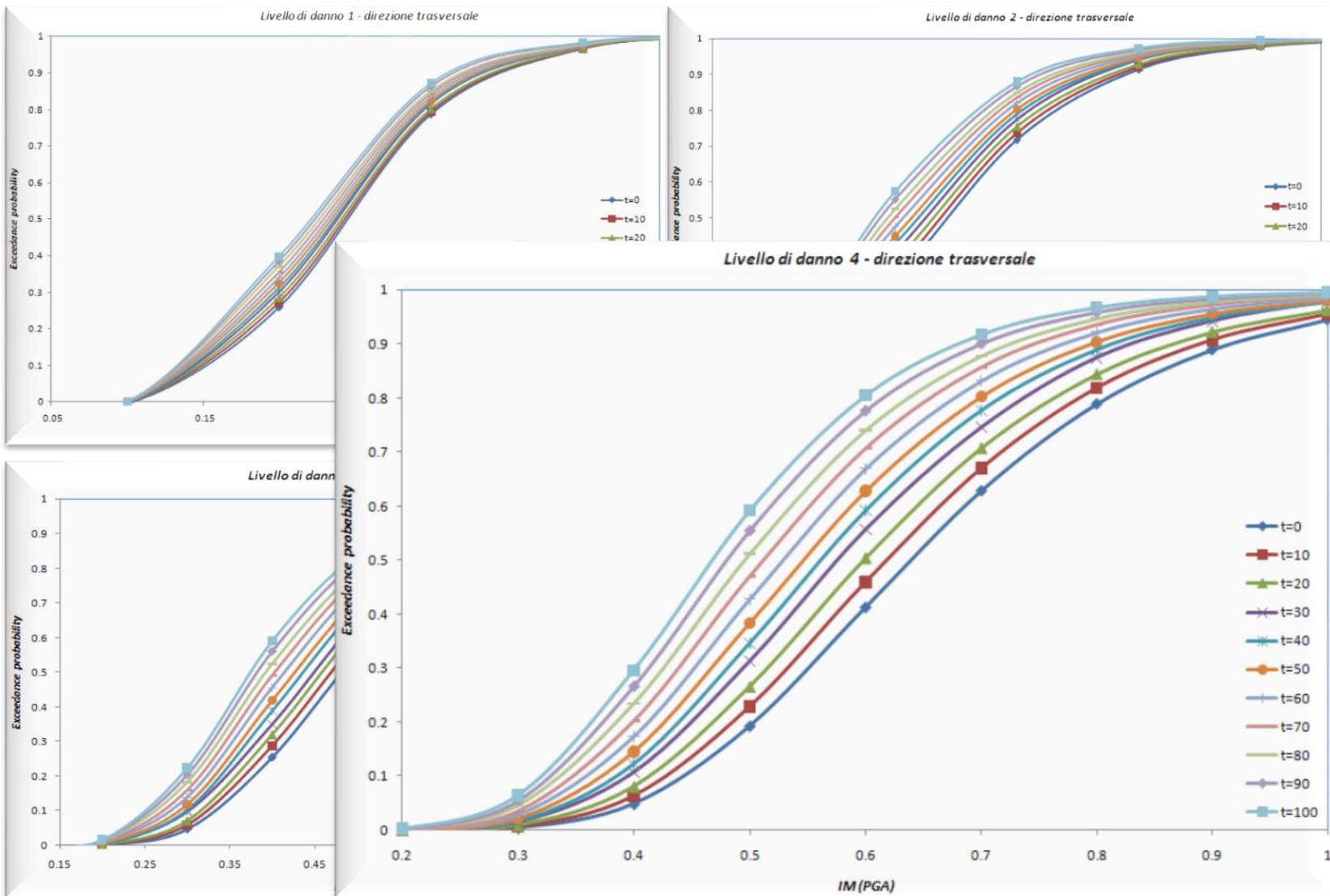
- Simulazione del processo corrosivo
- Scenari di degrado decennali
- Analisi dinamiche non lineari in time history





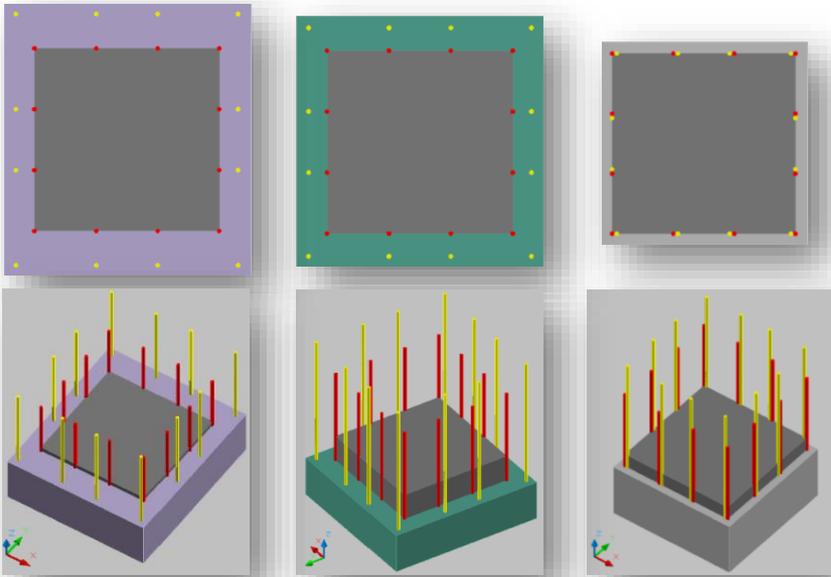
Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali

Risultati

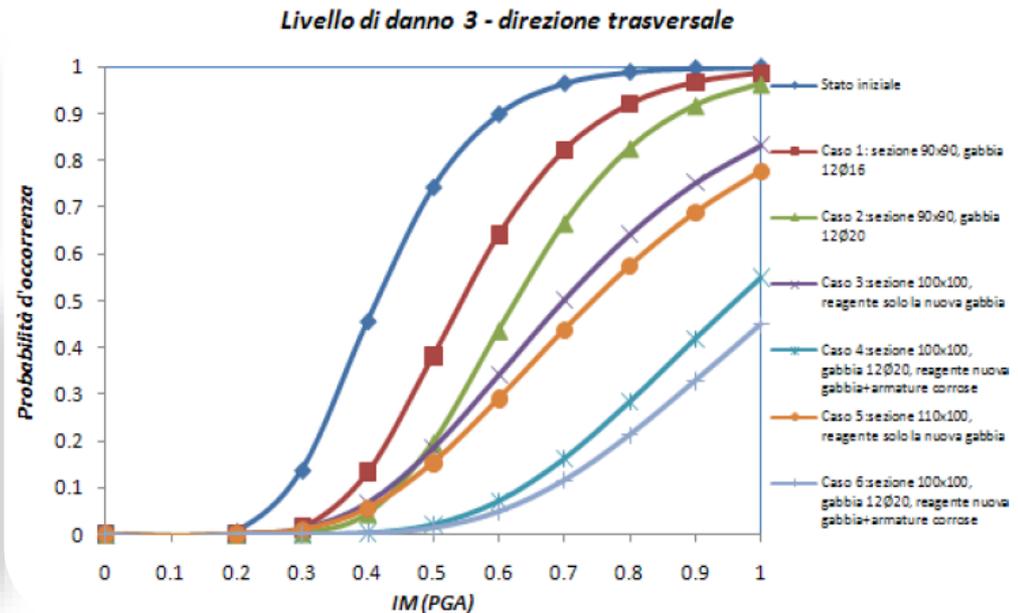


Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali

Ipotesi di possibili interventi di adeguamento sismico con incamiciature in calcestruzzo



Valutazione dei benefici in termini di riduzione della vulnerabilità





Valutazione della vulnerabilità sismica di reti infrastrutturali soggette a scenari sismici nel Triveneto

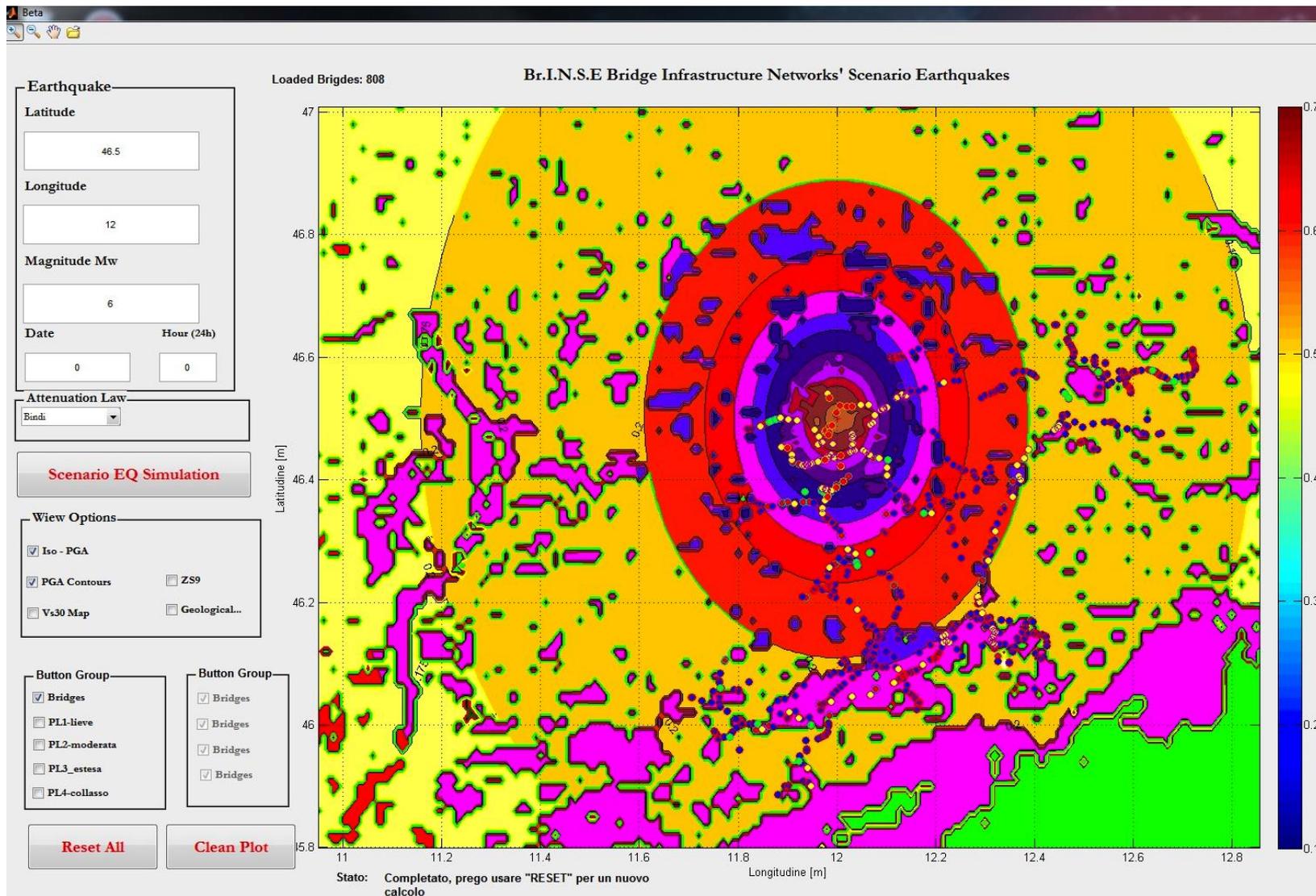
Sulla base del catalogo dei ponti è possibile valutare gli effetti di un sisma (in termini di stati di danno) caratterizzato da una specifica intensità ed epicentro sui ponti delle reti stradali e ferroviarie.

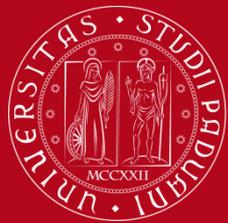
Una volta definita la geolocalizzazione dell'evento sismico si computano i valori di PGA in corrispondenza del punto dove sono localizzati i ponti e, sulla base curve di fragilità specifiche per ciascuna tipologia di ponte, si valutano le probabilità di occorrenza dei possibili livelli di danneggiamento sui ponti (danni lievi, moderati, estesi, collasso).

I risultati ottenuti possono essere rappresentati sulla mappa tramite gradazioni cromatiche.

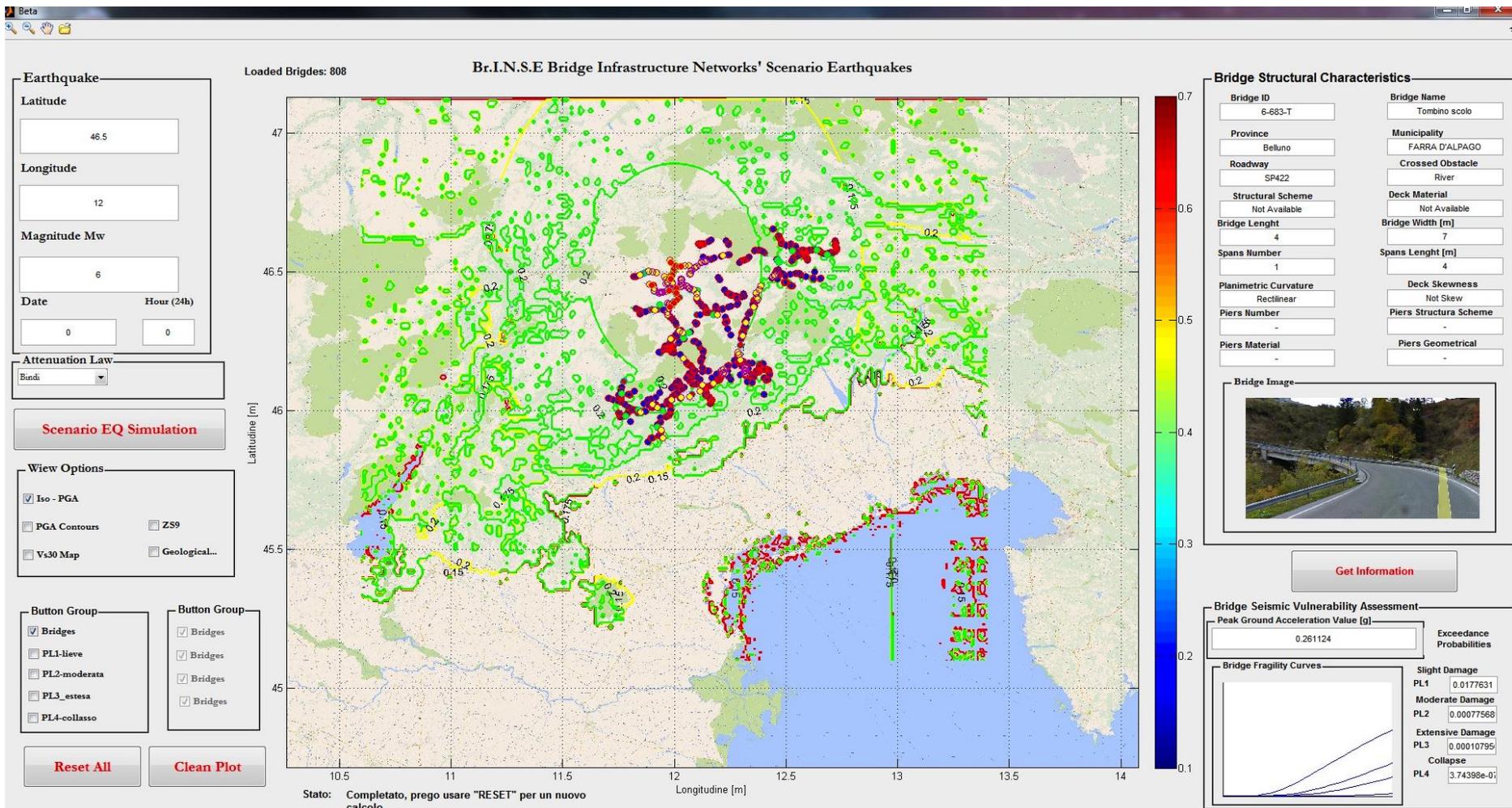


Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali





Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali





- Il database di ponti
- le relative curve di fragilità per la valutazione della vulnerabilità sismica
- la simulazione degli scenari sismici

permettono di ottenere elementi per:

- la gestione della fase di emergenza post-sisma
- la stima dei costi su scala territoriale dovuti ad evento sismico
- la definizione della priorità degli interventi di miglioramento/adeguamento dei manufatti

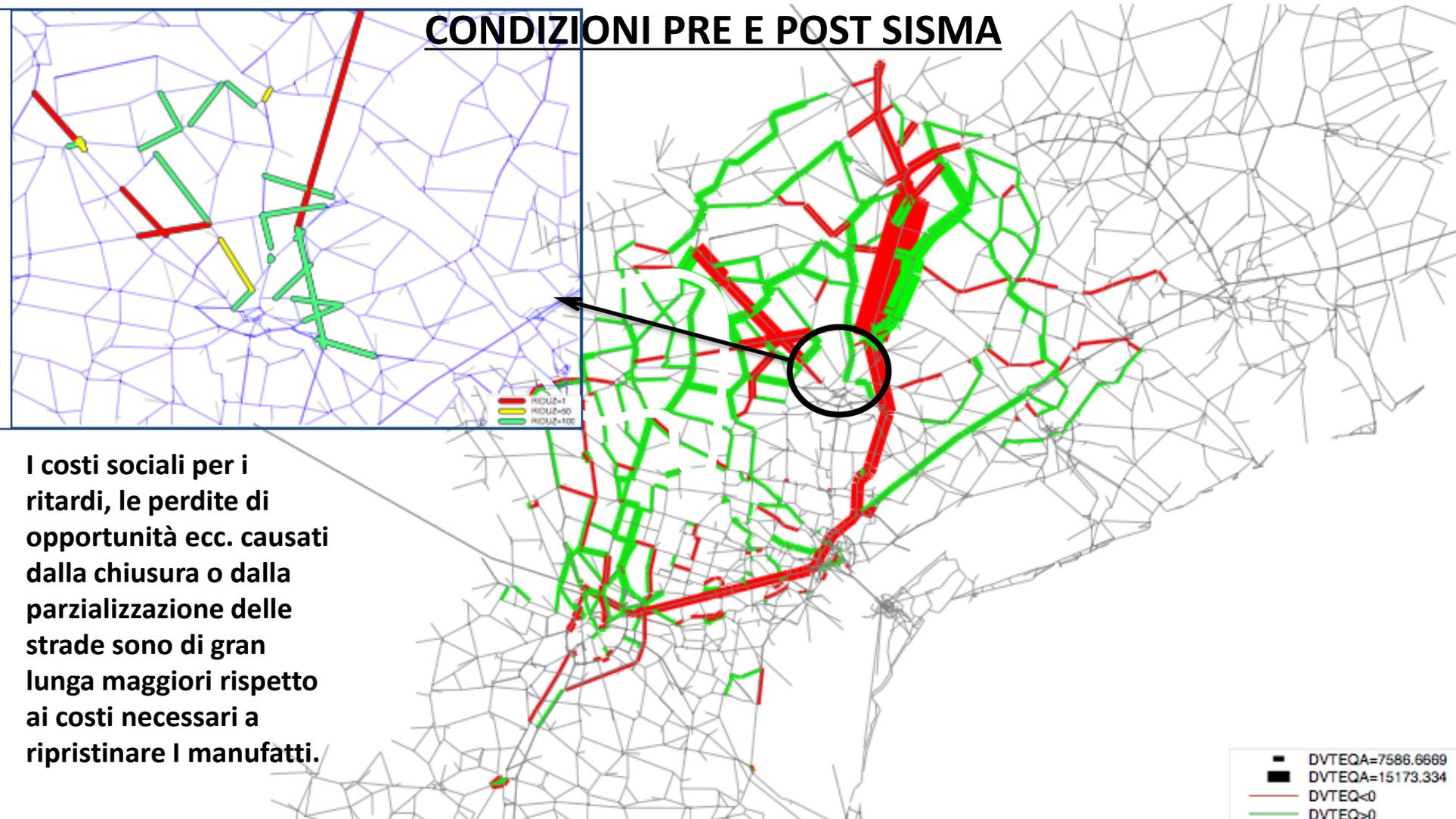


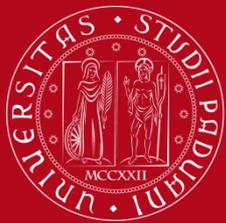
Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali



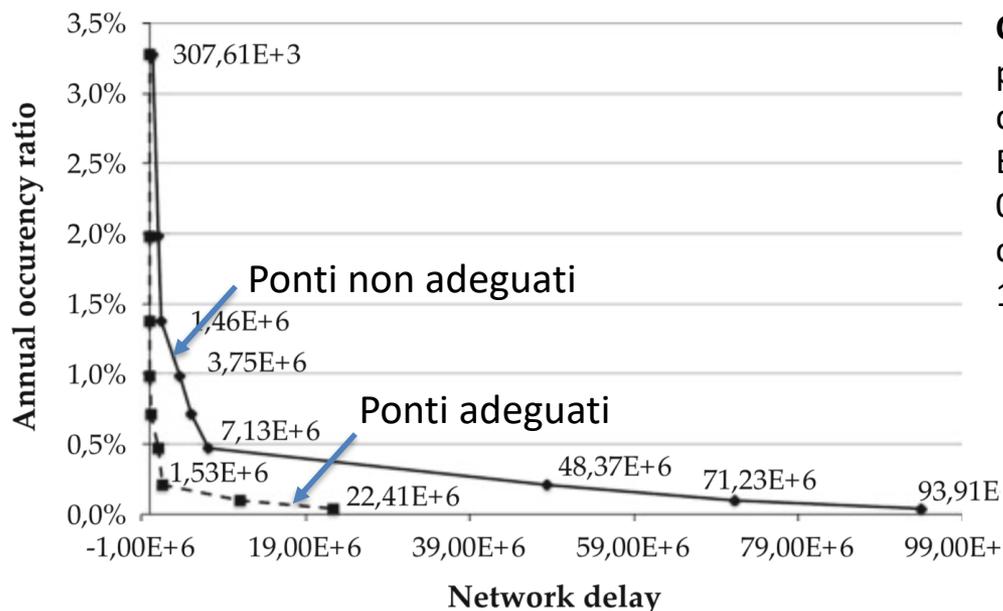
Stima della priorità di adeguamento tenendo conto della **risposta della rete stradale al possibile danneggiamento dei ponti dovuto al sisma**

ASSEGNAZIONE DELLA DOMANDA DI TRASPORTO IN CONDIZIONI PRE E POST SISMA



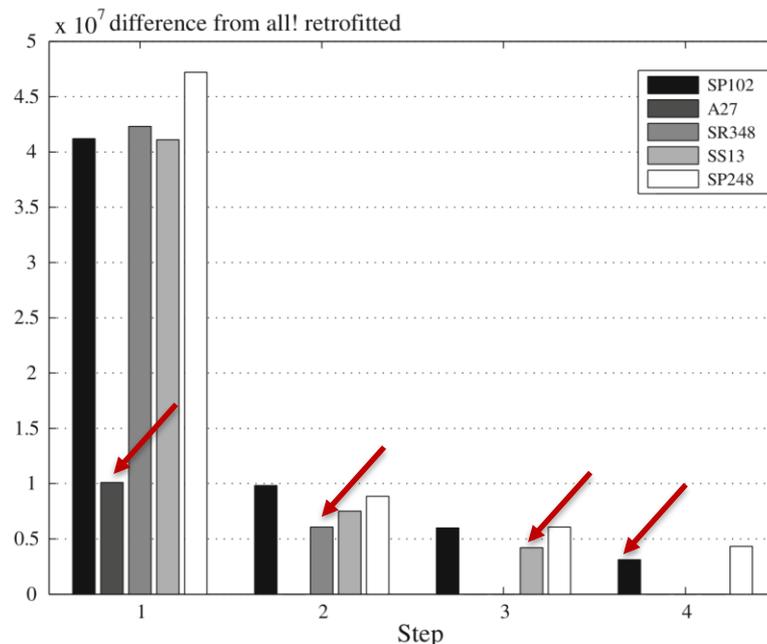


Vulnerabilità sismica di ponti e reti infrastrutturali



Curva del rischio sismico espressa in termini di perdita economica (ritardo nella rete) in funzione della probabilità di accadimento del sisma.

Es. Per un sisma con probabilità di accadimento dello 0.2% (tempo di ritorno di circa 475 anni) il ritardo complessivo sarebbe di 48,37 milioni di secondi (circa 13400 ore) al giorno.



Calcolo della differenza in termini di ritardo nella rete rispetto al caso in cui si abbiano tutti i ponti adeguati (la freccia indica l'arteria stradale con la **priorità di adeguamento**).



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



GESTIONE DI PONTI E VIADOTTI ESISTENTI IN ZONA SISMICA

Prof. Ing. Carlo Pellegrino

Ordinario di Tecnica delle Costruzioni e docente di Progetto di Ponti
Direttore del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale – ICEA

Università degli studi di Padova

carlo.pellegrino@unipd.it