



Analisi della vulnerabilità sismica del ponte storico ad arco in muratura SS Filippo e Giacomo ad Ascoli Piceno

Michele Morici¹, Fabrizio Gara², Graziano Leoni¹

¹ *Università di Camerino*

² *Università Politecnica delle Marche*



Outline

- **Il ponte dei SS Filippo e Giacomo**
- **Conoscenza del ponte**
- **Modello Strutturale**
- **Valutazione della capacità**
- **Conclusioni**



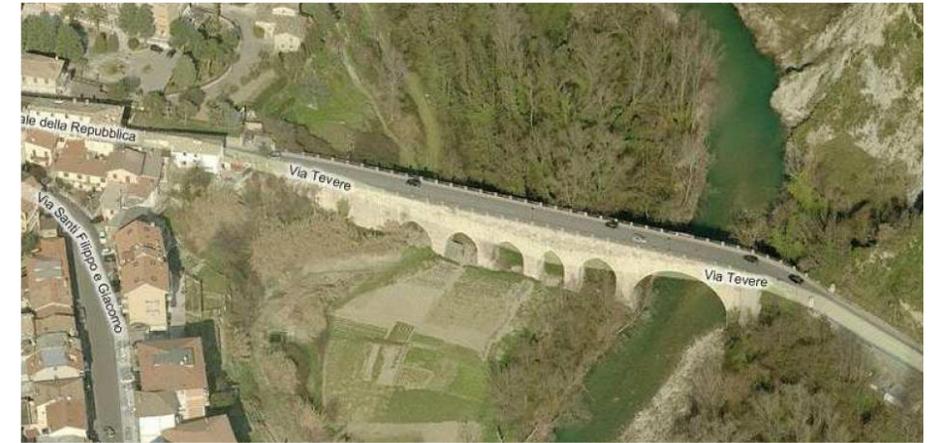
Outline

- **Il ponte dei SS Filippo e Giacomo**
- **Conoscenza del ponte**
- **Modello Strutturale**
- **Valutazione della capacità**
- **Conclusioni**



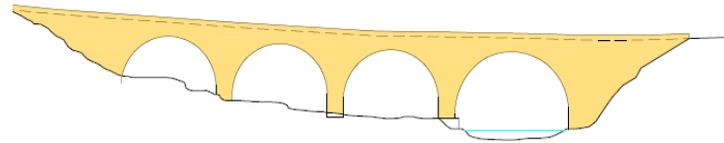
Ponte di SS Filippo e Giacomo

- Lunghezza totale di 146 m
- Altezza massima arco principale superiore a 20 m
- 1 arco principale (arco a tutto sesto) con luce di 25 m
- 5 archi secondari (archi a sesto acuto) con luce di 8 m
- Pile collocate sul banco di riporto e fondate sul substrato di arenaria
- Andamento rettilineo con tratto in curva sulla spalla sinistra
- Doppia corsia di marcia con carreggiata di 6 m
- Marciapiedi laterali di larghezza 1 m
- Archi pensili semicircolari, con campate di circa 4 m, sostenuti da mensoloni in pietra
- Gli elementi principali sono realizzati con blocchi in travertino
- Elementi secondari e vani interni realizzati in muratura di mattoni



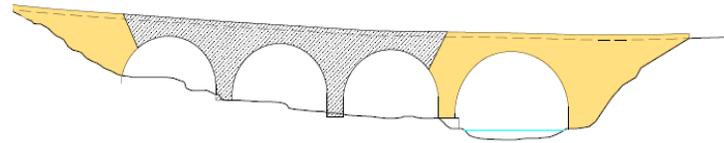
Vicissitudini storiche del ponte

- Probabilmente in origine il ponte era costituito da 4 arcate



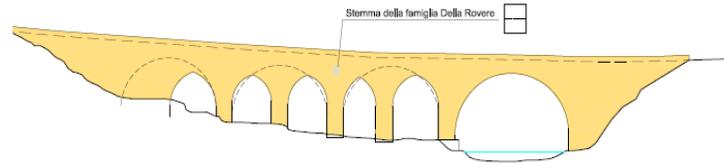
1373-1418

- Collasso delle arcate centrali a seguito di una piena nel 1453



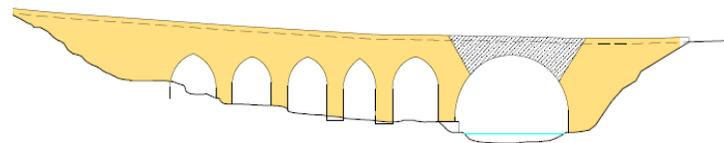
1453

- Ricostruzione delle arcate crollate che non hanno subito modificazioni sino ad oggi

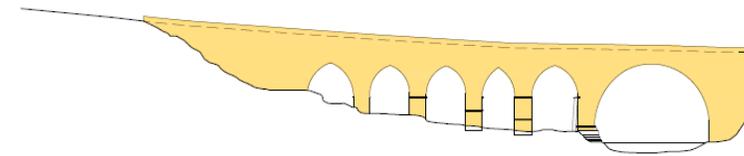
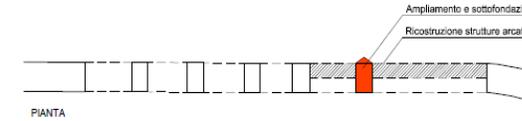


1464-1477

- Collasso dell'arco principale a seguito della piena del 1528 e ricostruzione tramite sistema voltato interno

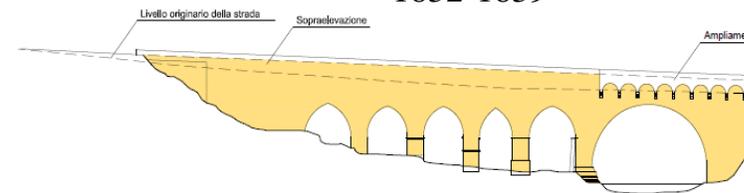


1528



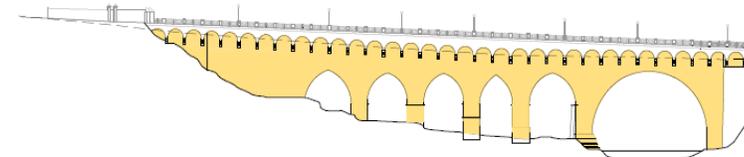
1832-1839

- Realizzazione di uno sperone a protezione della pila in alveo



1849-1850

- Lavori di riduzione della pendenza ed ampliamento parziale del piano viario con la realizzazione di archi pensili



1932

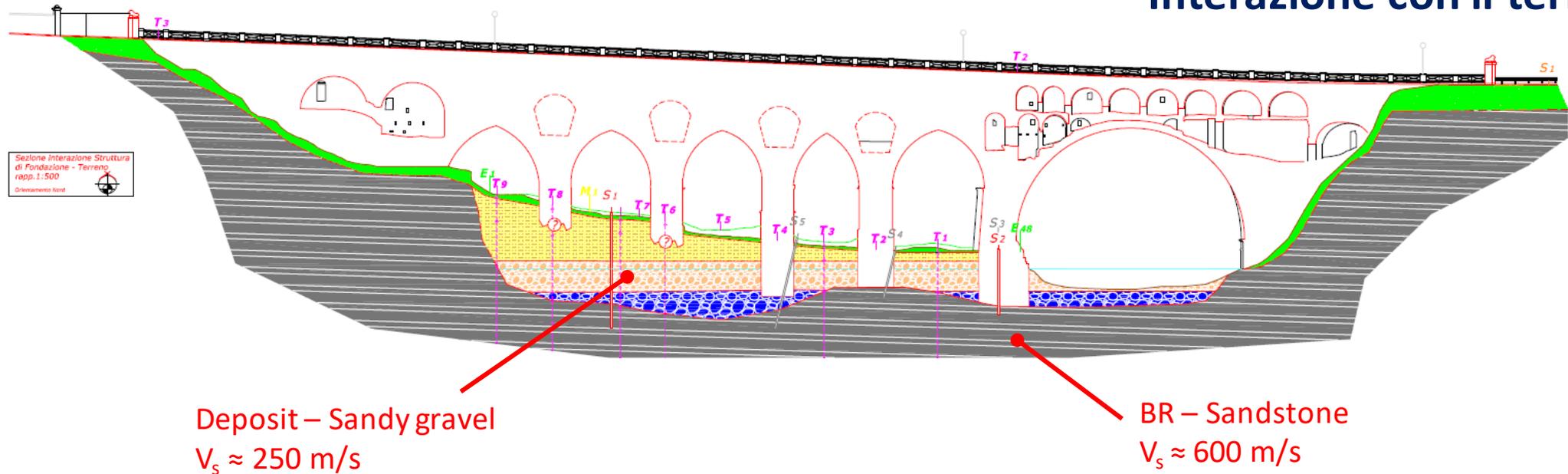
- Ampliamento della restante parte della via con la stessa soluzione adottata per l'arcata centrale

Rilievo Geometrico



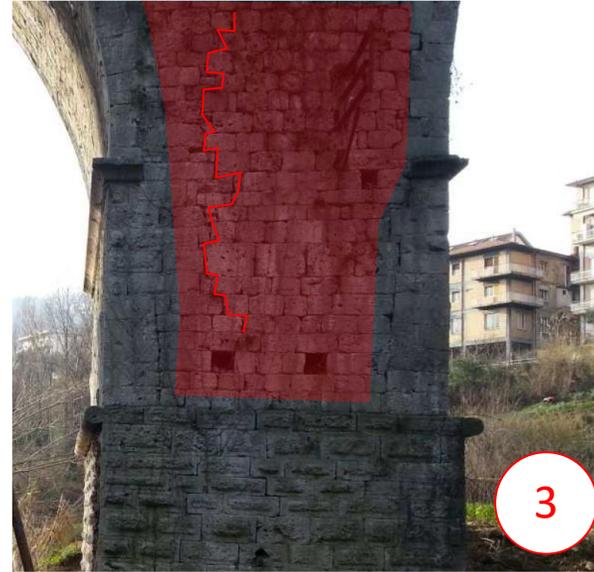
- Rilievo geometrico basato sulle tecniche 3D-TOF laser scanner technique
- Geometria dei vari ambienti interni voltati sopra l'arco principale, in sommità delle pile e delle spalle
- Tiranti in acciaio (nelle zone accessibili)
- Post-processing del rilievo per ottenere un modello geometrico 3D utilizzato per generare il modello strutturale

Interazione con il terreno

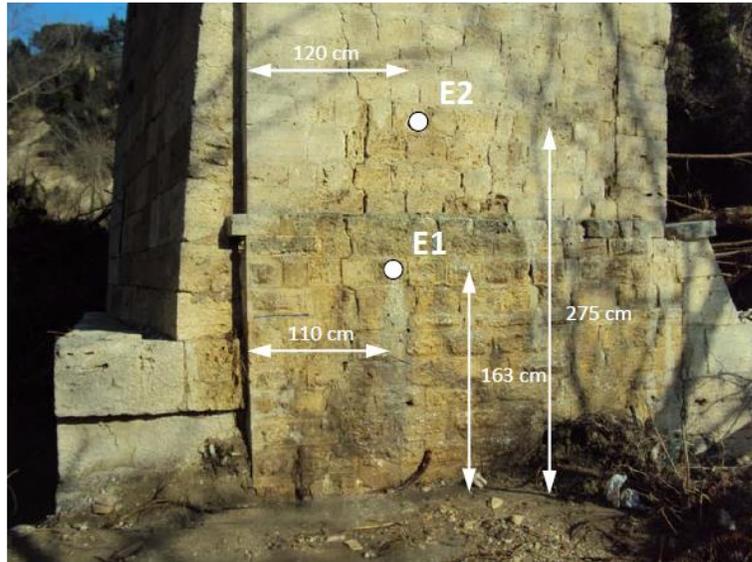


- Il ponte si attesta tra due scarpate rocciose
- Deposito di ghiaia sabbiosa sulla sponda destra del fiume (spessore variabile fino a 10 m)
- Roccia arenaria affiorante sulla sponda sinistra del fiume
- Le fondazioni poggiano direttamente sul substrato roccioso orizzontale di arenaria.

Quadro fessurativo pile



- Fessure verticali poste in corrispondenza dei giunti di malta della sezione di base delle pile P1, P2 e P3 (stati tensionali dovuti ai carichi verticali associati al cedimento delle murature ampiamente caratterizzati da giunti di malta deteriorati)

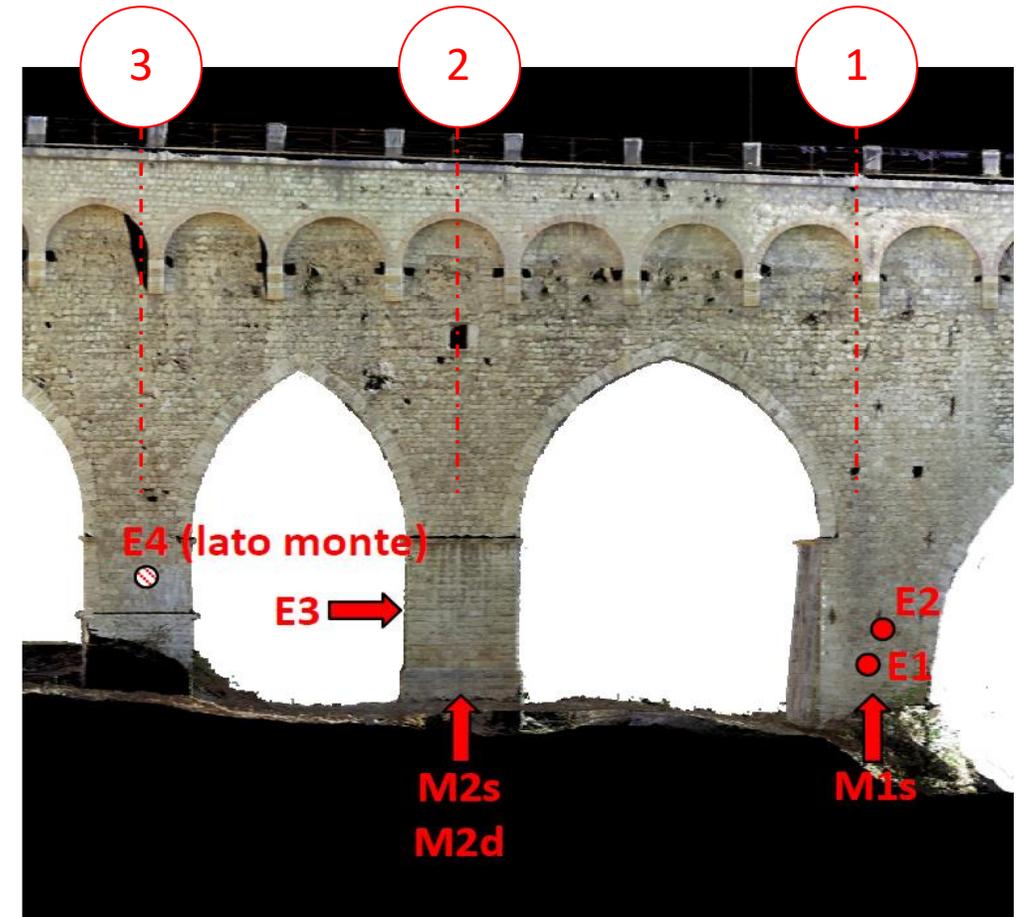


Prove sui materiali

- La struttura delle pile è caratterizzata da una cortina esterna di spessore variabile e realizzata con blocchi squadrati di travertino “Ascoli Piceno”
- Riempimento interno in pietrisco irregolare caratterizzato dalla presenza di acqua nelle parti inferiori
- Le prove di compressione effettuate sui tre provini hanno fornito risultati sparsi con resistenza minima di 16.9 MPa

Prove sui materiali

- 4 carotaggi (E1, E2 - Pier 1; E3 - Pier 2; E4 - Pier 3)
- 3 prove di compressione su provini di travertino prelevati carotaggio (E2, E3, E4)
- 2 prove con martinetto piatto singolo (M1s, M2s) → valutazione delle tensioni sulla cortina in pietra
- 1 prova con martinetto piatto doppio (M2d) → valutazione dei parametri meccanici della cortina in pietra



Prove di identificazione dinamica

Dynamic tests

Misurazione delle vibrazioni dovute principalmente al traffico, vento, microtremori

Strumentazione

8 low-noise accelerometri uniassiali
24-bit data acquisition system

Parametri di Acquisizione

Record time length: 1000s ($\approx 2500 T_1$)
Samplingrate: 2048 Hz (equipment)



Experimental Modal parameters (f, ϕ, ξ)

Operational Modal Analysis con Covariance-Driven Stochastic Subspace Identification (SSI-Cov)



Validation and calibration of F.E.M. model

Model updating

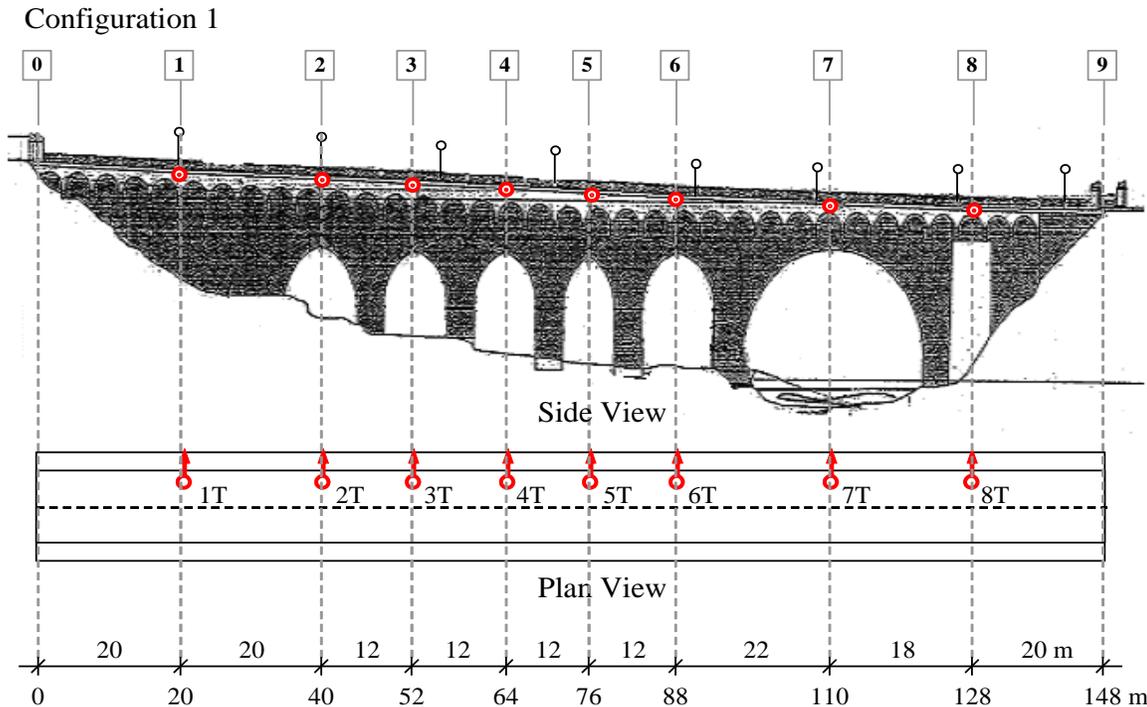


Ricampionamento del segnale a 51.2 Hz previo filtraggio con filtro cut-off di frequenza di 25Hz (aliasing phenomena)

Prove di identificazione dinamica

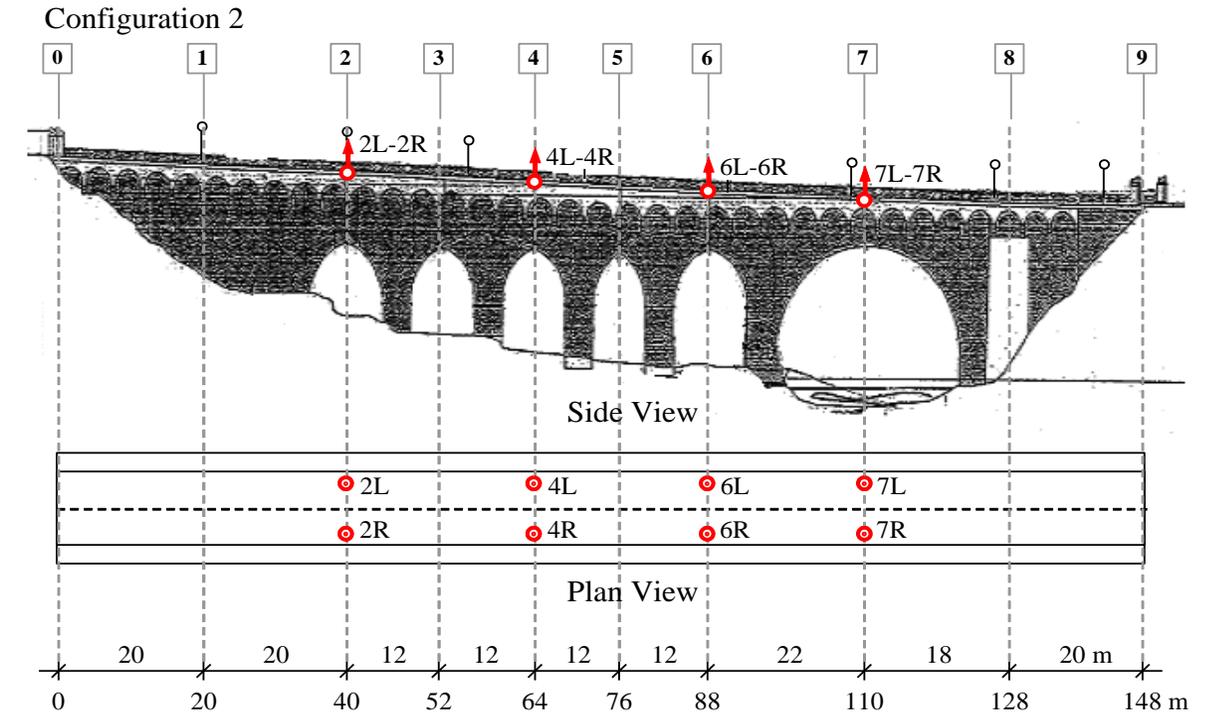
Comportamento trasversale:

8 accelerometri, posti in mezzera di ogni campata, con asse di misura trasversale



Comportamento verticale:

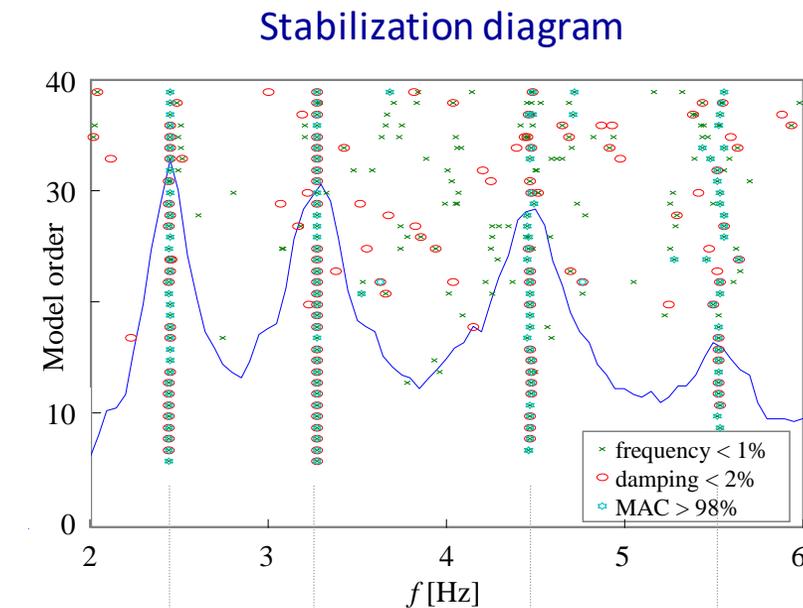
8 accelerometri, posti in mezzera di ogni campata, con asse di misura verticale



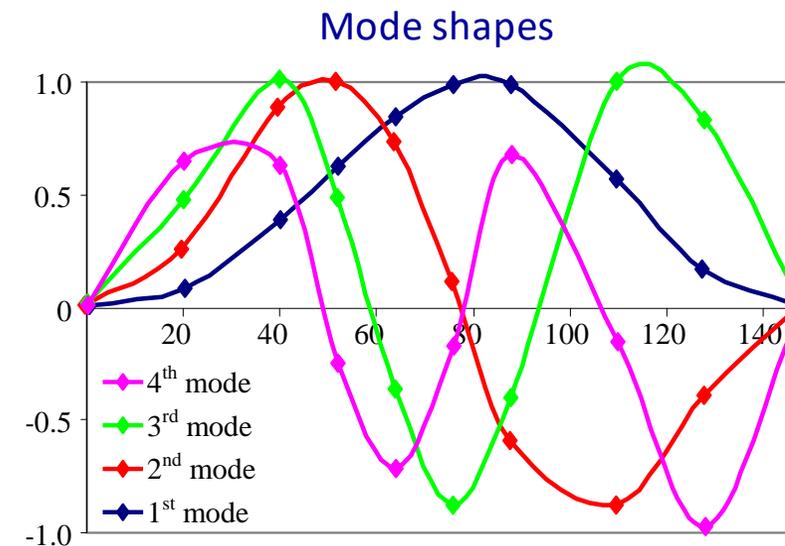
Prove di identificazione dinamica

Comportamento trasversale:

Parametri modalali sperimentali stimati con tecnica SSI-COV



f [Hz]	2.46	3.30	4.54	5.61
ξ [%]	2.11	2.97	2.54	2.50
Mode	1	2	3	4



I modi trasversali individuati sono quelli tipici di ponte in muratura

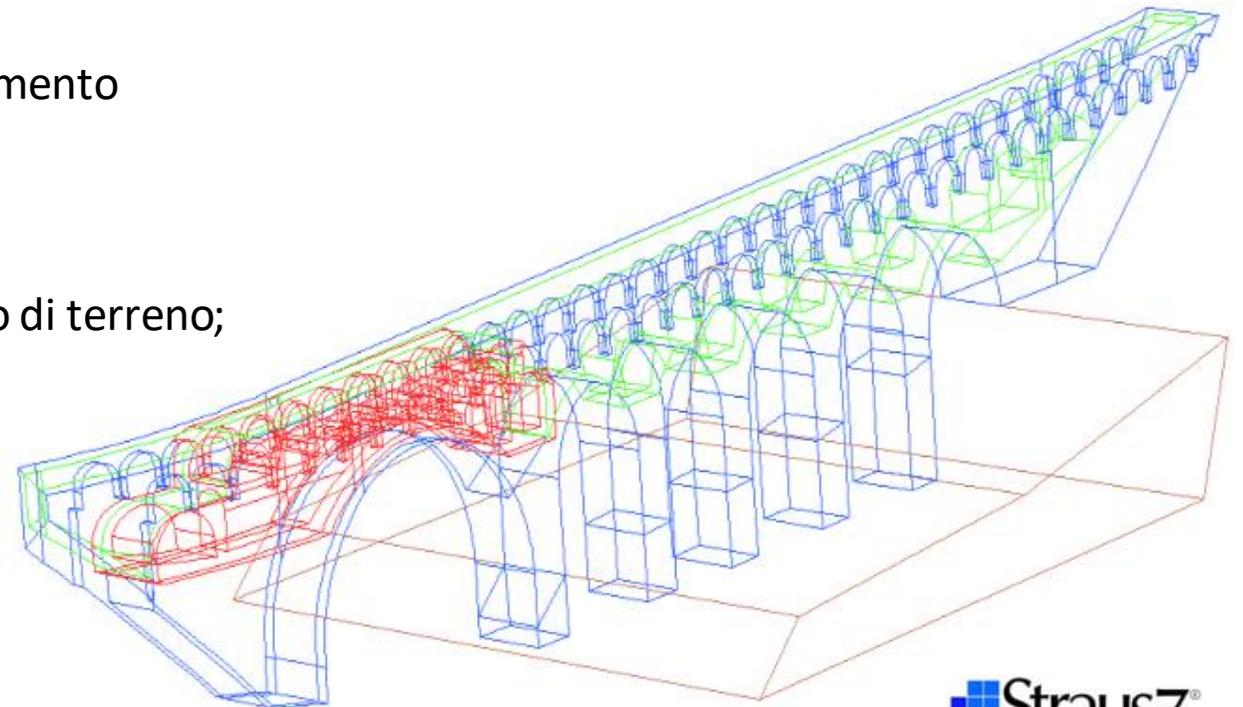
Outline

- Il ponte dei SS Filippo e Giacomo
- Conoscenza del ponte
- **Modello strutturale**
- Valutazione della capacità
- Conclusioni

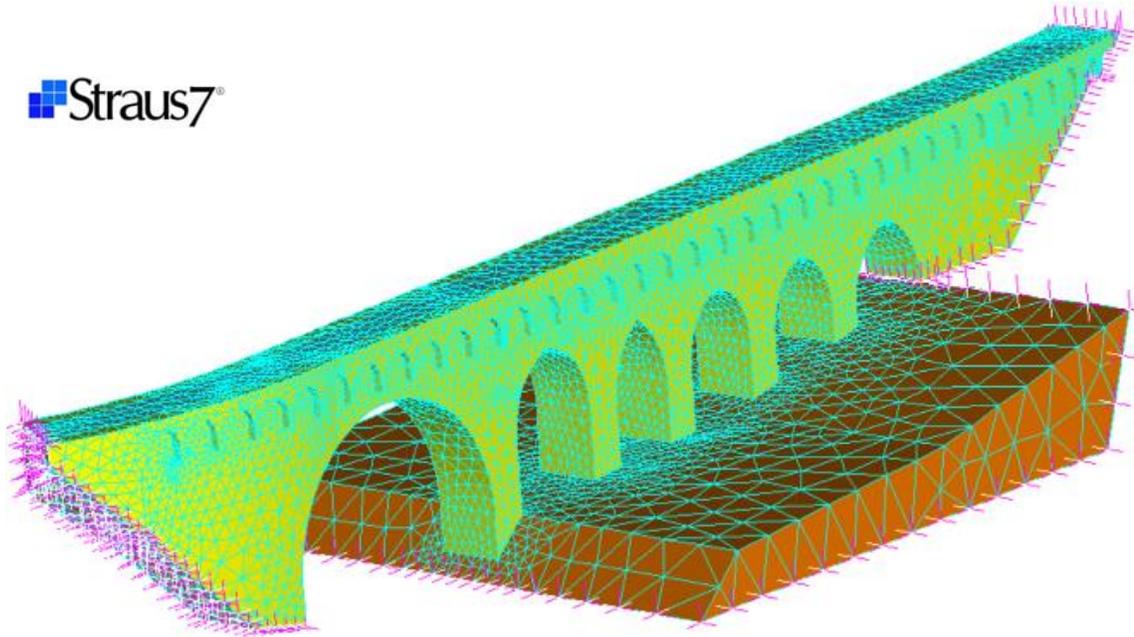


Modello strutturale

- Closed poly-surface costruita approssimando la geometria ottenuta dal rilievo con laser scanner
- Geometria semplificata per evitare un eccessivo raffittimento della mesh a causa di dettagli che in realtà non influiscono sul comportamento complessivo del ponte;
- E' stata inclusa una porzione adeguata del deposito di terreno;
- Vengono modellati tutti i locali interni e dei riempimenti delle volte



 Straus7®



Modello strutturale

120,545 elements

75,204 DoFs

Non-Linear Mohr Coulomb criterion

Materials	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)	c (N/mm ²)	φ [°]
Travertine masonry	7000	2414	22	0.256	76.0
Brick masonry	1282	427	18	0.214	72.0
Earth infill material	666	238	18	0.010	42.5
Base soil deposit	666	243	19	0.010	32.0

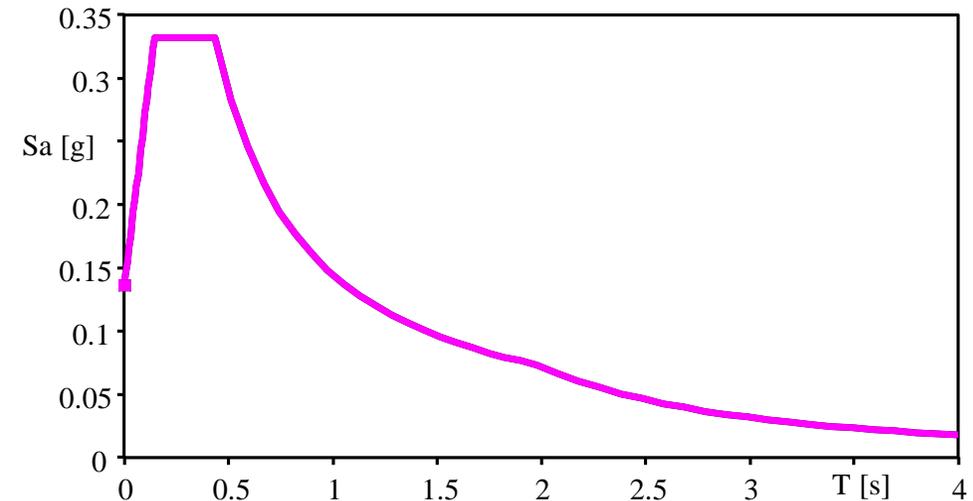
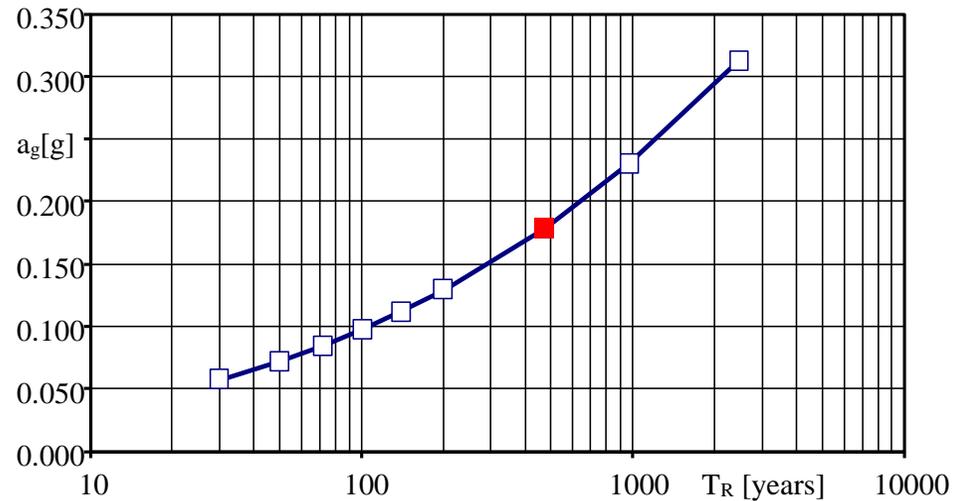
- Maglia di elementi tetraedrici a 4 nodi con funzioni di forma di interpolazione lineare (Tetra4)
- Dimensione massima degli elementi
 - 1.0 m per la struttura del ponte
 - 4.5 m per il deposito di terreno
- Vincoli fissi alla base del deposito e di tutta la parte di struttura che interagisce con la formazione di arenaria

Outline

- Il ponte dei SS Filippo e Giacomo
- Conoscenza del ponte
- Modello strutturale
- **Valutazione della capacità**
- Conclusioni



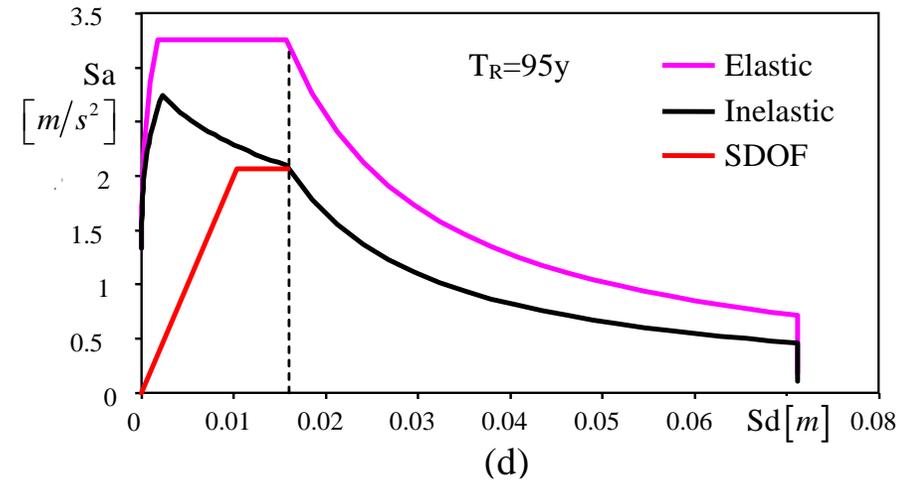
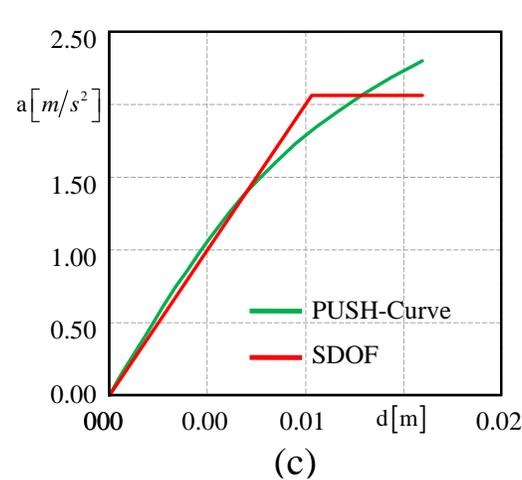
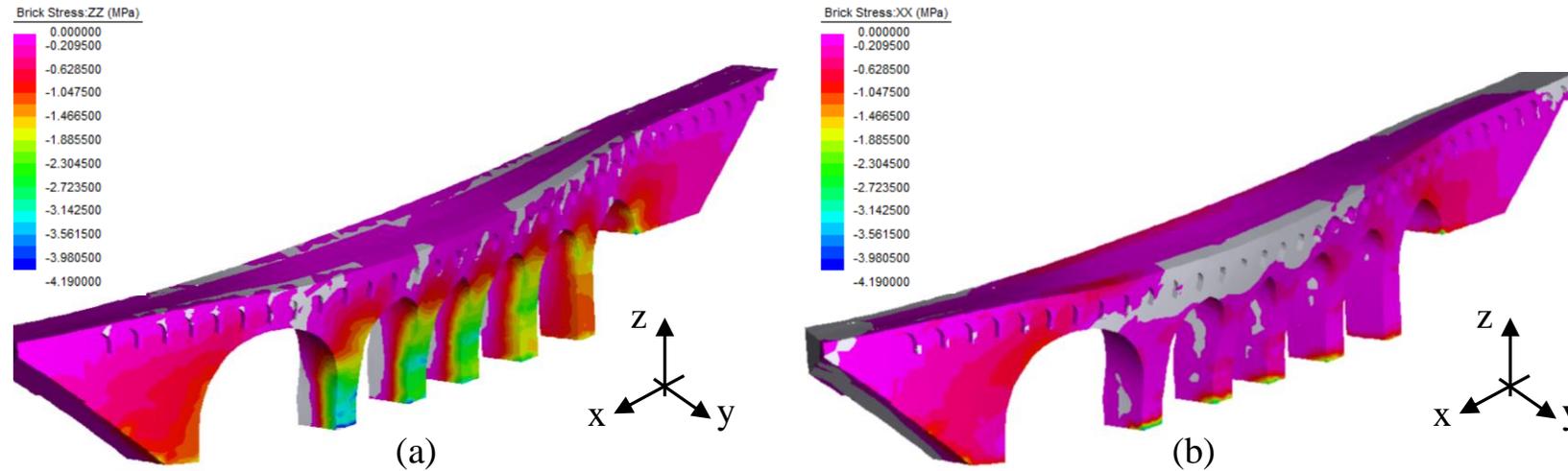
Domanda sismica



- L'area in cui è ubicato il ponte ricade in una zona di media pericolosità sismica
- La pericolosità sismica è stata selezionata in accordo con la Normativa Sismica Italiana
- È stata assunta una categoria di sottosuolo B e categoria topografica T2

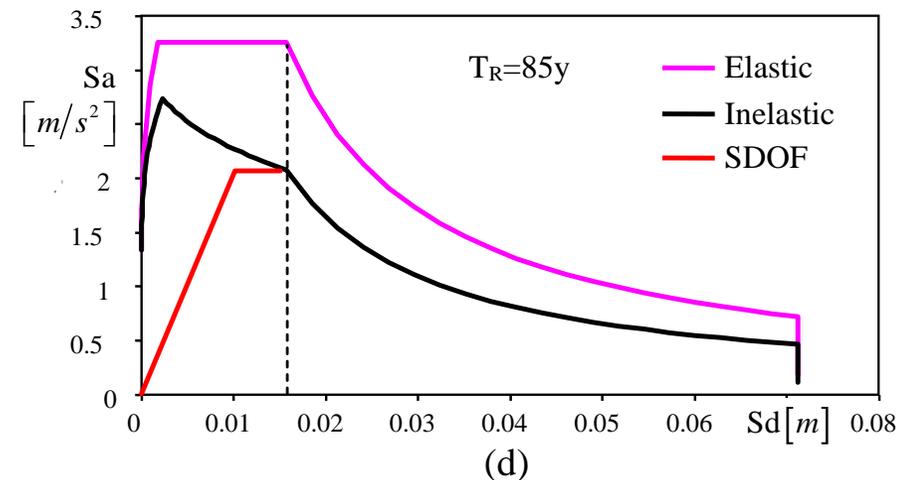
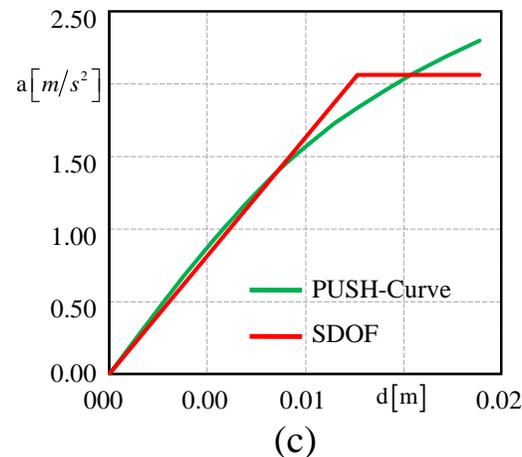
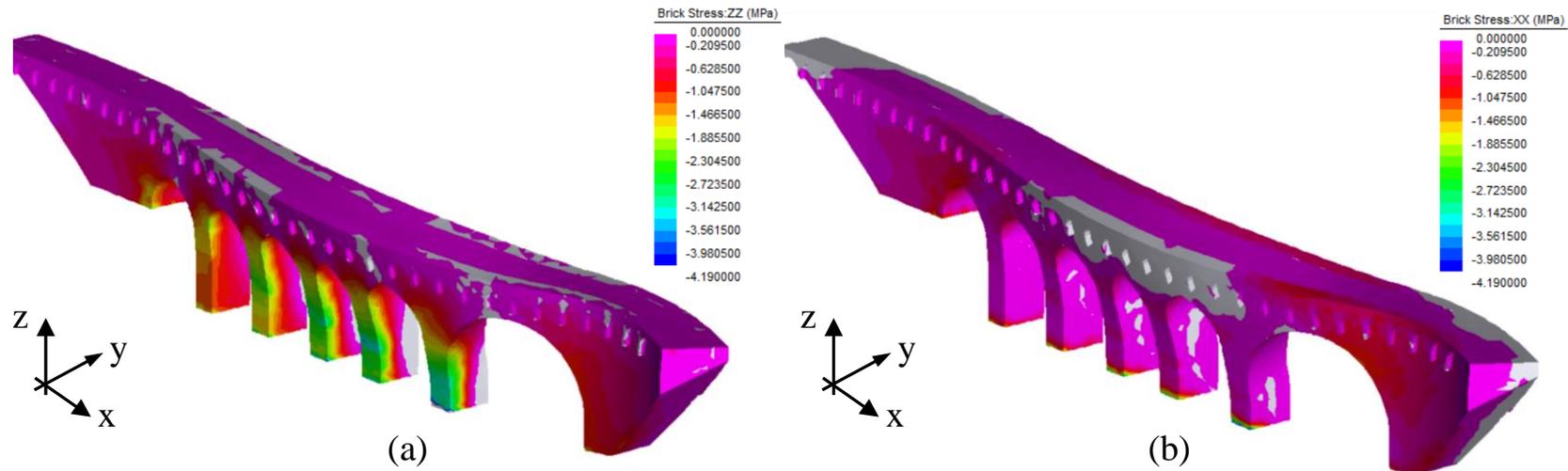
Risultati delle analisi

Carico laterale proporzionale alla prima forma modale (direzione Y+)



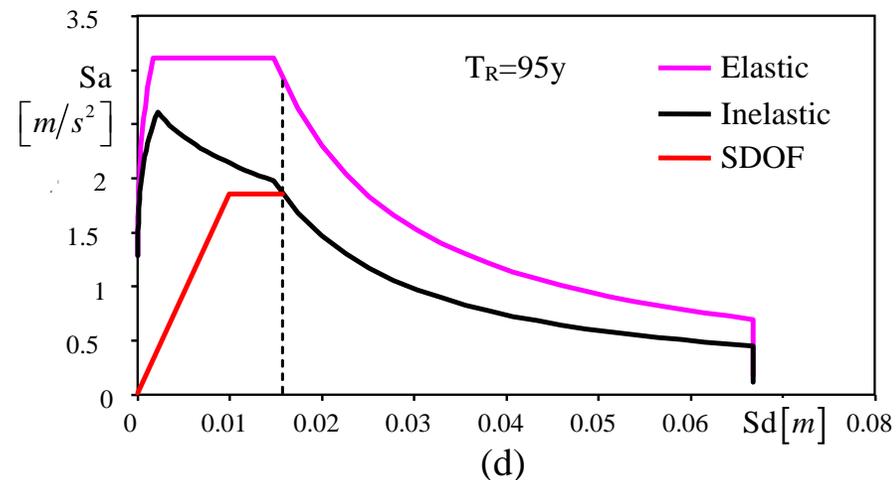
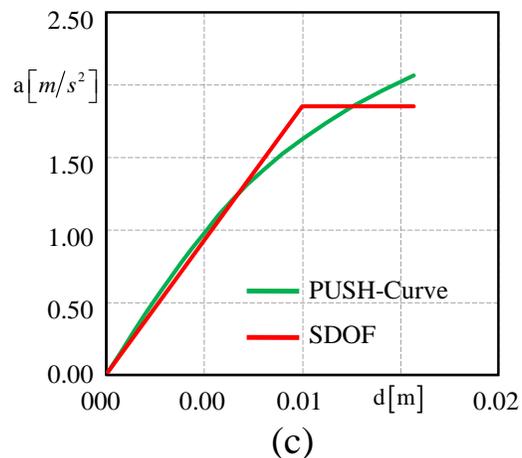
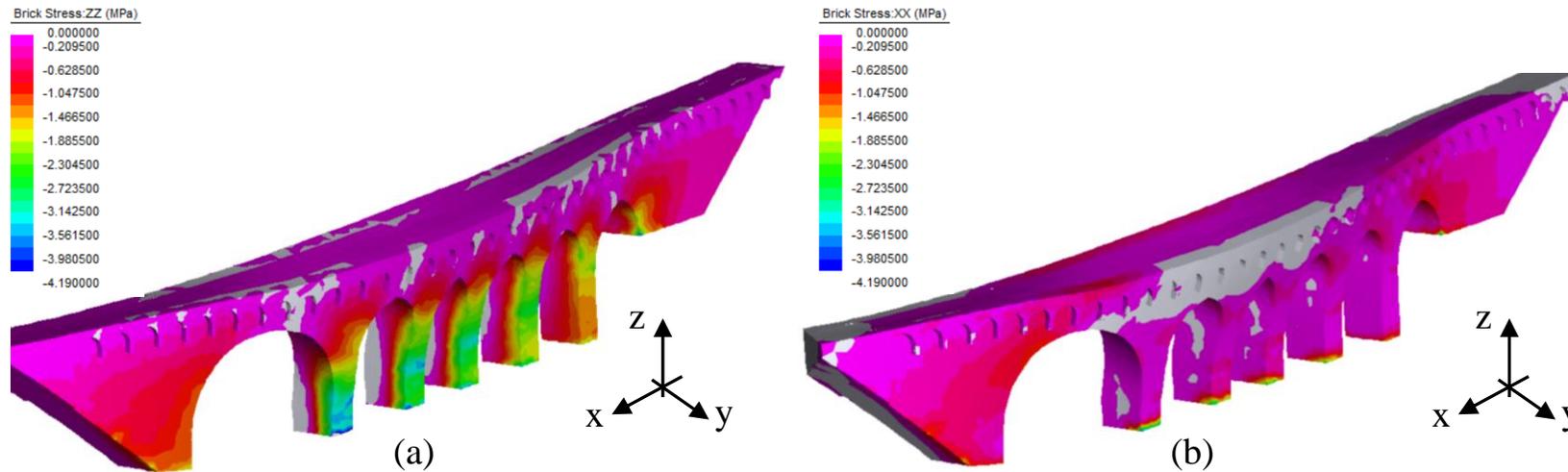
Carico laterale proporzionale alla prima forma modale (direzione Y-)

Risultati delle analisi



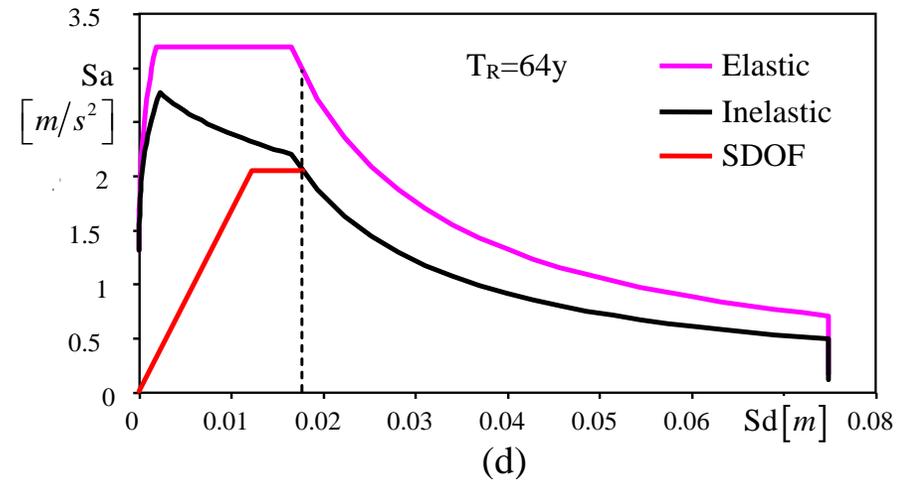
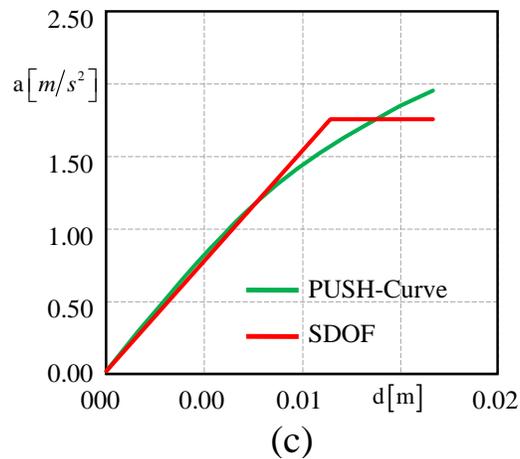
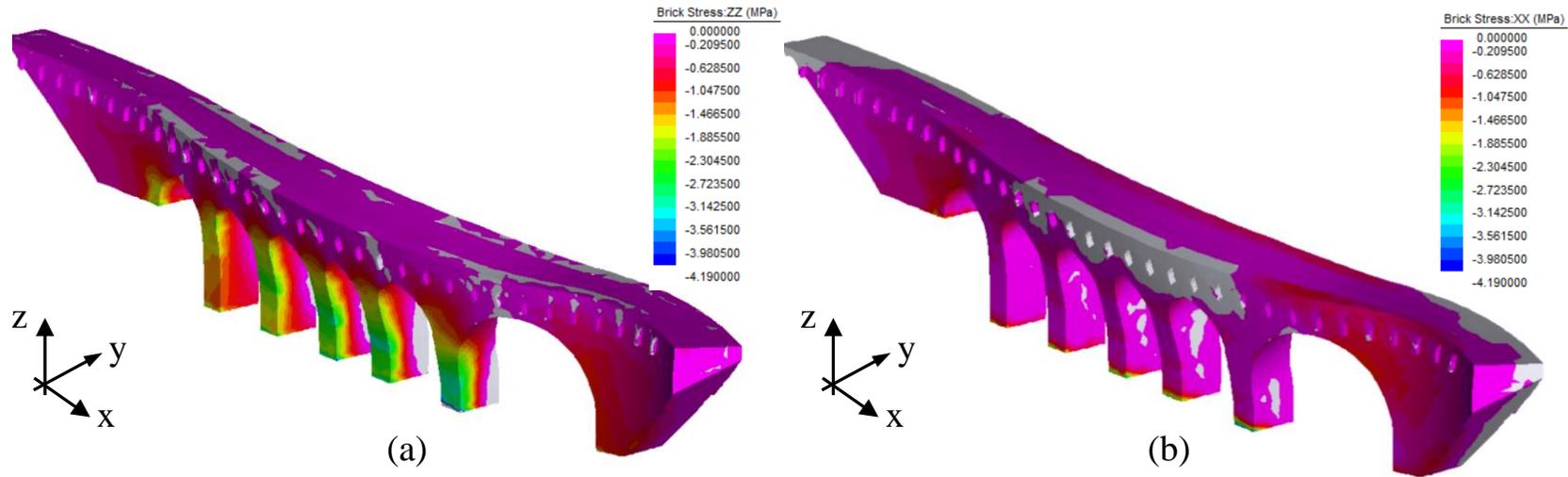
Carico laterale proporzionale alla distribuzione di massa (direzione Y+)

Risultati delle analisi



Carico laterale proporzionale alla distribuzione di massa (direzione Y-)

Risultati delle analisi



Indice di rischio

- La valutazione della sicurezza è stata effettuata calcolando l'Indice di Rischio

$$I_R = \frac{T_R}{T_R^*}$$

dove

T_R Periodo di ritorno di riferimento (475 anni)

T_R^* Periodo di ritorno ridotto

Analysis	I_R
MODE Y+	0.20
MODE Y-	0.20
MASS Y+	0.18
MASS Y-	0.13

Outline

- Il ponte dei SS Filippo e Giacomo
- Conoscenza del ponte
- Modello Strutturale
- Valutazione della capacità
- **Conclusioni**



Conclusioni

- Il rilievo tramite laser scanner è stato fondamentale per ottenere un modello che racchiudesse tutte le caratteristiche principali della struttura reale come i locali interni, la geometria irregolare, così come gli archi pensili costruiti per allargare la carreggiata;
- Le prove in loco hanno consentito di valutare le principali caratteristiche meccaniche dei materiali e di stimare lo stato tensionale nei tratti critici delle pile;
- La valutazione della capacità del ponte ad arco in muratura è stata valutata seguendo le modalità previste dalle normative europee, basate sul metodo N2;
- Per ogni caso di analisi, l'Indice di Rischio è inferiore a 1, pertanto il ponte necessita di un intervento per garantire un livello di sicurezza adeguato.



Analisi della vulnerabilità sismica del ponte storico ad arco in muratura SS Filippo e Giacomo ad Ascoli Piceno

Michele Morici¹, Fabrizio Gara², Graziano Leoni¹

¹ *Università di Camerino*

² *Università Politecnica delle Marche*

