

**Problemi di modellizzazione e di analisi limite delle costruzioni in muratura**

di Armando Icardi

Relatore: Mario Alberto Chiorino

Co-relatore: Giulio Ventura

La maggiore sensibilità verso la conservazione del patrimonio architettonico esistente, edilizio e monumentale, ha portato recentemente ad un rinnovato interesse verso lo studio del comportamento murario, stimolando la ricerca in direzioni d'indagine specifiche che hanno legittimato a partire dai pionieristici suggerimenti di Castigliano, il ricorso alla modellazione numerica, basata su efficaci metodi di calcolo, come la metodologia F.E.M. I risultati di tali ricerche, sono state oggetto di varie pubblicazioni scientifiche ed hanno costituito la base per la stesura della presente tesi.

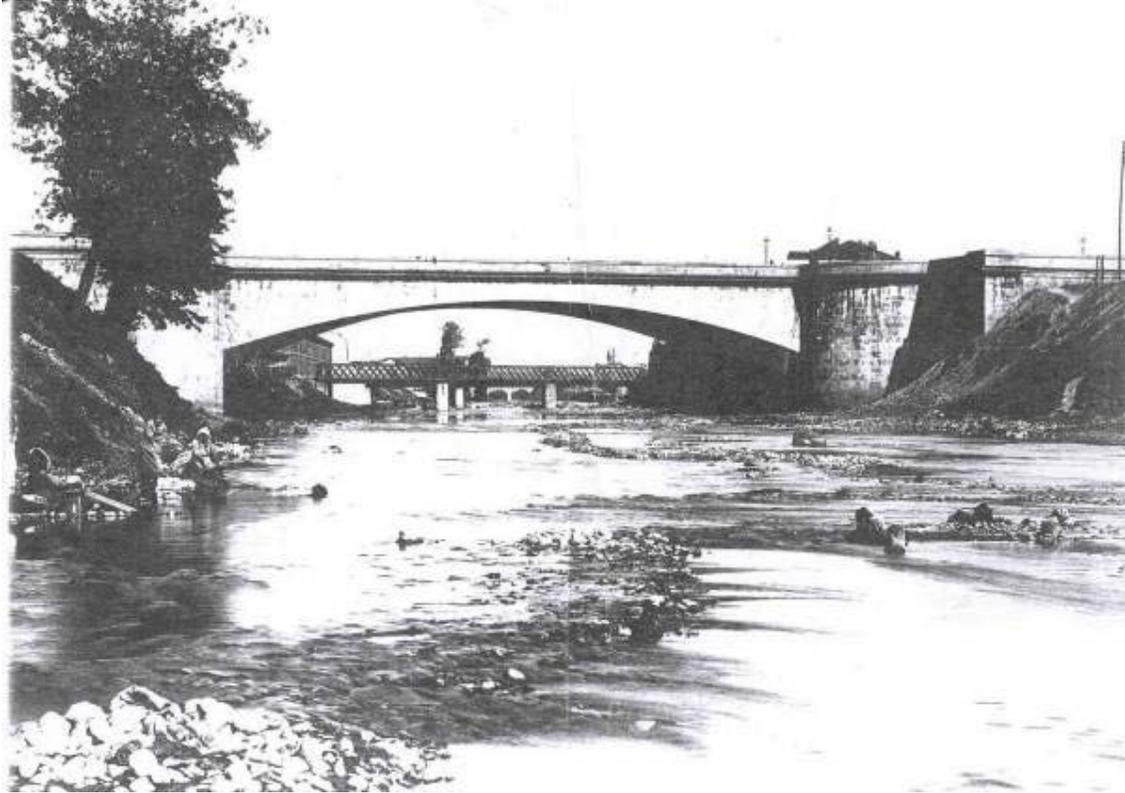
La tesi è stata articolata in tre parti, nella prima è presentata la **teoria relativa alla meccanica delle murature**. La maggior parte degli argomenti qui trattati, fanno riferimento alla teoria elastica e sono:

- meccanica della rottura per compressione (H.K. Hilsdorf)
- analisi teorica sul fenomeno di instabilità (J.C. Chapman, J. Stalford)
- meccanica della rottura per taglio-compressione (V. Tursenk, F. Cacovic)
- teoria dell'analisi limite (Druker-Prager, Heyman)
- normativa ed eurocodici

Gli argomenti trattati nella seconda parte, fanno invece riferimento **all'applicazione della metodologia F.E.M. per lo studio del comportamento murario**, che conduco il problema nel campo del calcolo numerico; la soluzione si ottiene in tal modo, attraverso l'elaborazione di un sistema di equazioni algebriche lineari, assumendo un modello approssimato di schematizzazione del continuo come insieme finito di elementi.

Nell'applicare il metodo degli elementi finiti (F.E.M.), per lo studio delle strutture in muratura, possono essere seguite numerose procedure, ma tutte riconducibili a due strade alternative e complementari che sono costituite da un lato, dalla modellazione del solido murario come mezzo discontinuo, eterogeneo e direzionalmente non reagente a trazione, e dall'altro come mezzo continuo ma pur sempre non omogeneo.

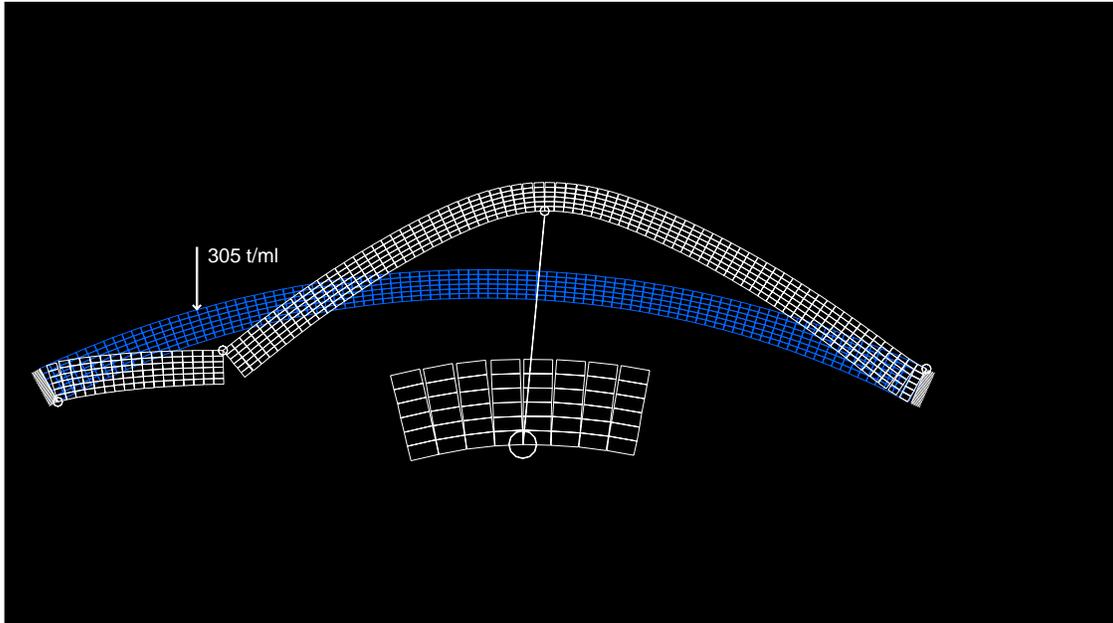
Lo scopo della terza ed ultima parte della tesi, consiste nel **mettere in pratica una delle tecniche di analisi F.E.M. applicata alle murature, e verificarne la validità attraverso la teoria dell'analisi limite**. L'oggetto di analisi a cui si è fatto riferimento è il Ponte Mosca, progettato da Carlo Bernardo Mosca nel 1818-23, costruito negli anni successivi sulla Dora a Torino, è costituito da un arco in pietra ribassato e rappresenta certamente, come è stato unanimemente riconosciuto, un'opera di avanguardia e al tempo stesso, un punto di arrivo nella storia della costruzione dei ponti in pietra.



Ponte Mosca, Torino

Per la definizione del modello matematico ad Elementi Finiti, essendo il ponte in questione costituito da una struttura a blocchi, si è assunto che le potenziali sezioni di crisi si manifestino nei giunti di contatto tra i blocchi stessi, per cui la modellazione FEM è stata eseguita riproducendo i conci in pietra con elementi SHELL, mentre per simulare il contatto unilatero malta-pietra, si è adottato l'elemento finito GAP.

Questi ultimi sono stati appunto disposti in corrispondenza dei letti di malta, tra concio e concio.

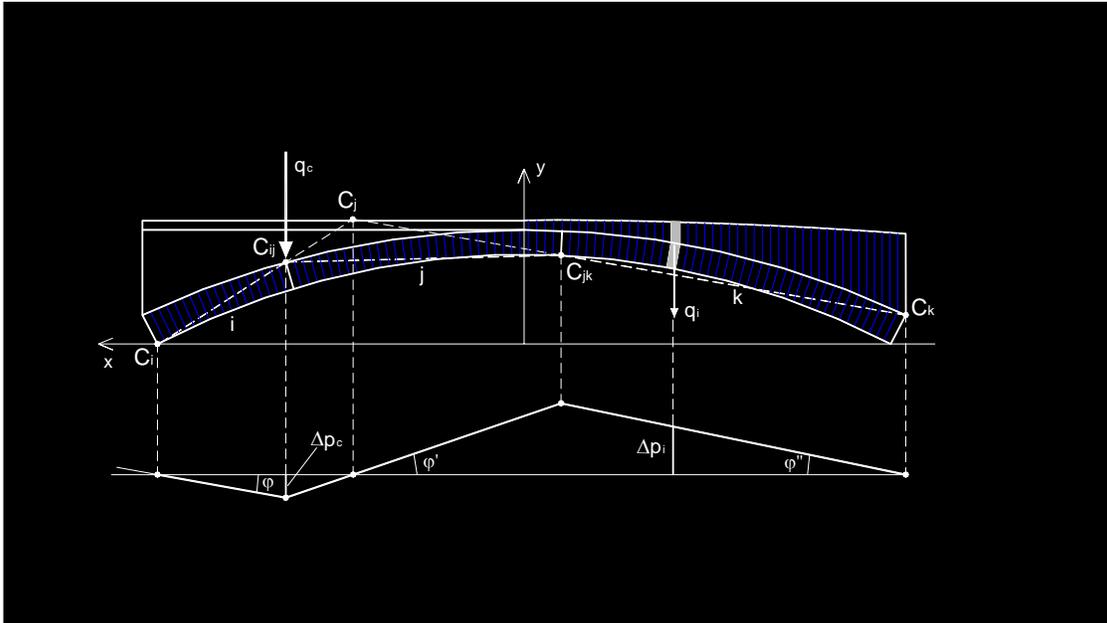


Modello F.E.M. con deformata dell'arco al collasso (fattore di amplificazione: 20)

Per ultimo si è messo a punto un modello di calcolo semplificato, implementato su foglio elettronico, per valutare i moltiplicatori di collasso dei carichi ultimi, facendo riferimento al teorema cinematico della teoria della plasticità, in accordo con le ipotesi semplificative formulate da Heyman, per adattare l'analisi limite alle strutture non reagenti a trazione.

A partire da questi assunti, operativamente si è calcolato il valore incognito del carico concentrato che, posto in una determinata posizione (inizialmente a  $\frac{1}{4}$  della luce) e agente direttamente sull'estradosso dell'arco, origina un ipotetico cinematisimo a quattro cerniere. Il minimo valore trovato, determina la posizione del meccanismo reale di collasso.

Attraverso questa procedura analitica molto semplice, è stato possibile verificare la validità del metodo FEM, che altrimenti non sarebbe stato possibile verificare.



Spostamenti virtuali relativi al meccanismo di collasso

Un ulteriore approfondimento nell'applicazione dell'analisi limite, è stato condotto introducendo l'effetto di plasticizzazione del materiale in corrispondenza della parte compressa che si genera nella formazione delle cerniere di apertura, facendo riferimento in prima approssimazione ad un comportamento del materiale elastico perfettamente plastico, e ad una distribuzione rettangolare delle tensioni, in accordo ai lavori presentati da Crisfield (1987).

Per ulteriori informazioni, e-mail: [M.lcardi@infinito.it](mailto:M.lcardi@infinito.it)