

Introduzione

Tutte le tipologie murarie sono accomunate da un'elevata e durevole resistenza a compressione, da un efficiente meccanismo resistivo a taglio, e da una modesta, incerta e poco durevole resistenza a trazione.

Benché oggi elementi architettonici come volte e cupole abbiano funzione principalmente ornamentale, in passato ricorrere a queste tipologie strutturali era piuttosto una necessità che garantiva solidità, evitava l'insorgere di tensioni di trazione e assicurava un efficace scarico delle forze agli elementi portanti.

L'interesse verso edifici di interesse storico e architettonico non può prescindere dallo studio di questi elementi; e alla luce delle recenti normative introdotte risulta indispensabile una metodologia che consenta la valutazione del comportamento non lineare di queste strutture ma ne garantisca al tempo stesso l'impiego in ambito professionale, con costi computazionali ragionevoli.

I software attualmente disponibili in commercio per la verifica delle strutture ad arco o delle volte sono basati su semplici metodi di statica grafica o dell'analisi limite che non consentono di indagare l'evoluzione del comportamento non lineare della struttura né, soprattutto, l'interazione dell'elemento strutturale col resto dell'edificio. I più avanzati programmi agli elementi finiti non lineari, il cui costo computazionale è tale da renderli inapplicabili in ambito professionale, consentono modellazioni accurate in ambito statico non lineare, tuttavia non con-

sentono una modellazione attendibile della risposta non lineare di tali tipologie strutturali sia in ambito statico che dinamico.

Questo lavoro si pone l'ambizioso obiettivo di introdurre uno strumento, impiegabile sia nell'ambito della ricerca che in ambito professionale, per la valutazione del comportamento non lineare di strutture voltate, quale punto di partenza per giungere alla possibilità di modellare interi edifici storici di interesse monumentale mediante un nuovo approccio che possa costituire una valida alternativa alle modellazioni agli elementi finiti nonlineari. A tal fine viene proposto un approccio per macro-elementi, particolarmente indicato per lo studio delle strutture in muratura.

L'idea di base consiste nell'introduzione di un modello discreto equivalente a una porzione della muratura in grado di simulare, per assemblaggio, la risposta nonlineare di elementi in muratura a geometria curva .

Lo studio del comportamento d'insieme di un intero edificio può essere valutato attraverso una discretizzazione per macro-elementi, seguendo la stessa logica della modellazione per elementi finiti ma con un onere computazionale notevolmente ridotto e con una semplificazione nella lettura e nella interpretazione dei risultati. La riduzione dell'onere computazionale è associata ad una riduzione dei gradi di libertà del sistema insieme ad una semplificazione nella definizioni dei legami costitutivi nonlineari.

Nella letteratura esistono diversi approcci per macro-elementi (Braga, Liberatore et al. 1990,1997; Brancich e Lagomarsino 1997; D'Asdia e Viskovic 1996, Magenes e Calvi 1996, Caliò et al. 2004), tuttavia gli studi proposti sono tutti limitati alla valutazione della risposta non lineare di edifici il cui comportamento possa assumersi scatolare. Non si riscontrano inoltre esempi di macro-modellazione estesi allo studio di strutture a geometria curva.

Il modello proposto in questa tesi prende spunto e vuole essere un'estensione di un macro-modello sviluppato presso l'Università di Catania, che ha preso spunto da una Tesi di Laurea (Pantò, 2003), e poi approfondito ed ampliato con successivi lavori (Caliò et al., 2004, 2005 e

2008, Pantò, 2007), per lo studio di edifici in muratura composti da pareti piane.

Lo studio delle strutture murarie piane presenta già notevoli difficoltà, legate alla sensibilità dei parametri che ne determinano il comportamento non lineare, ma quello delle strutture murarie voltate ne esibisce certamente anche altre legate alla complessità della geometria, che nel presente lavoro sono state affrontate preservando una filosofia di modellazione semplice ed intuitiva, che tuttavia appare efficace.

Il modello è stato validato con risultati disponibili in letteratura, sia in campo lineare che in quello non lineare.

La tesi è organizzata in quattro capitoli. Il primo è dedicato alla descrizione dello stato dell'arte dei metodi di modellazione degli edifici in muratura, con specifiche attenzioni per quelli a carattere storico e monumentale.

Il secondo e il terzo capitolo sono dedicati al modello proposto. In particolare, nel secondo sono descritte le linee generali dell'approccio di modellazione, ed è introdotto il modello cinematico. Nel terzo capitolo invece si riporta nel dettaglio la formulazione delle procedure di taratura del modello proposto.

L'ultimo capitolo, il quarto, è incentrato sulle applicazioni numeriche che hanno consentito di verificare l'attendibilità del modello sia in campo lineare che in quello non lineare. I confronti sono stati condotti con soluzioni esatte e il metodo agli elementi finiti per la validazione del modello in campo lineare, e con risultati disponibili in letteratura ottenuti da prove sperimentali o simulazioni numeriche condotte con altri approcci per la validazione in campo non lineare.