



POLITECNICO
DI TORINO

Tesi meritoria

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA
COSTRUZIONE CITTÀ

Abstract

**Modellazione agli elementi finiti di torri esistenti in
muratura:
La “Torre degli Asinelli”**

Relatore

Stefano Invernizzi

Candidato

Natalia Elizabeth Lozano Ramírez

Sessione di laurea
Settembre 2015

I recenti sviluppi nelle tecniche d'indagine meccanica non distruttiva e di monitoraggio degli edifici in muratura forniscono, oggi, una mole d'informazioni sino a ieri impensabile. Anche le tecniche di rilievo laser automatizzato permettono una rapida e precisa definizione della geometria dell'edificio, con un livello di dettaglio mai raggiunto in precedenza.



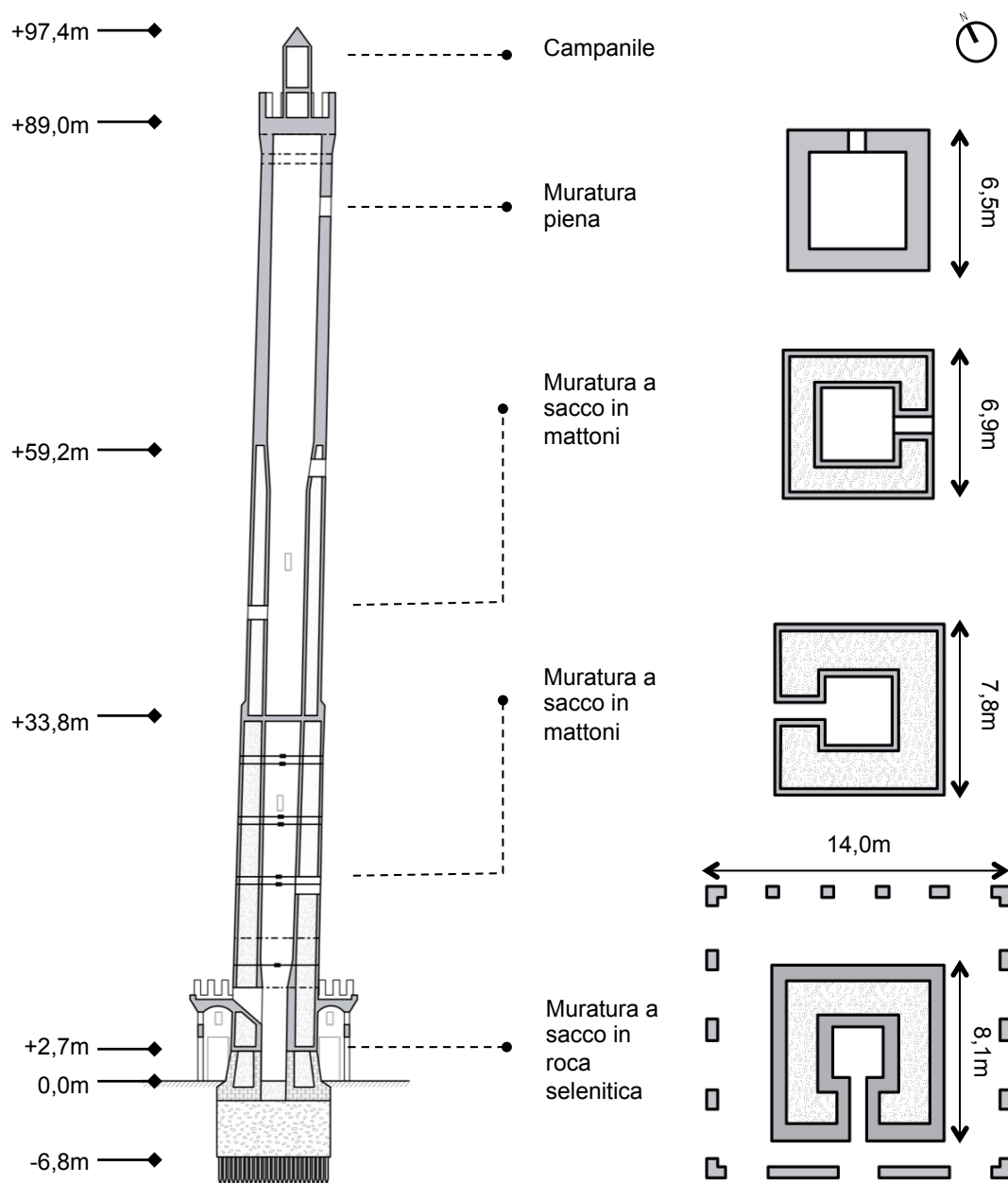
D'altro canto, le applicazioni alla modellazione di complesse strutture storiche in muratura non sono così diffuse, e costituiscono un interessante oggetto di ricerca. Nonostante che, le tecniche di modellazione numerica basate sul metodo degli elementi finiti siano progredite notevolmente, e la potenza di calcolo disponibile sia in costante crescita, le difficoltà che s'incontrano sono molteplici, e risiedono in speciale modo nella mancanza di procedure ben assodate per la definizione del modello e per la gestione delle incertezze.

La Torre degli Asinelli di Bologna è assunta come caso studio per definire una metodologia generale di analisi delle torri storiche in muratura.

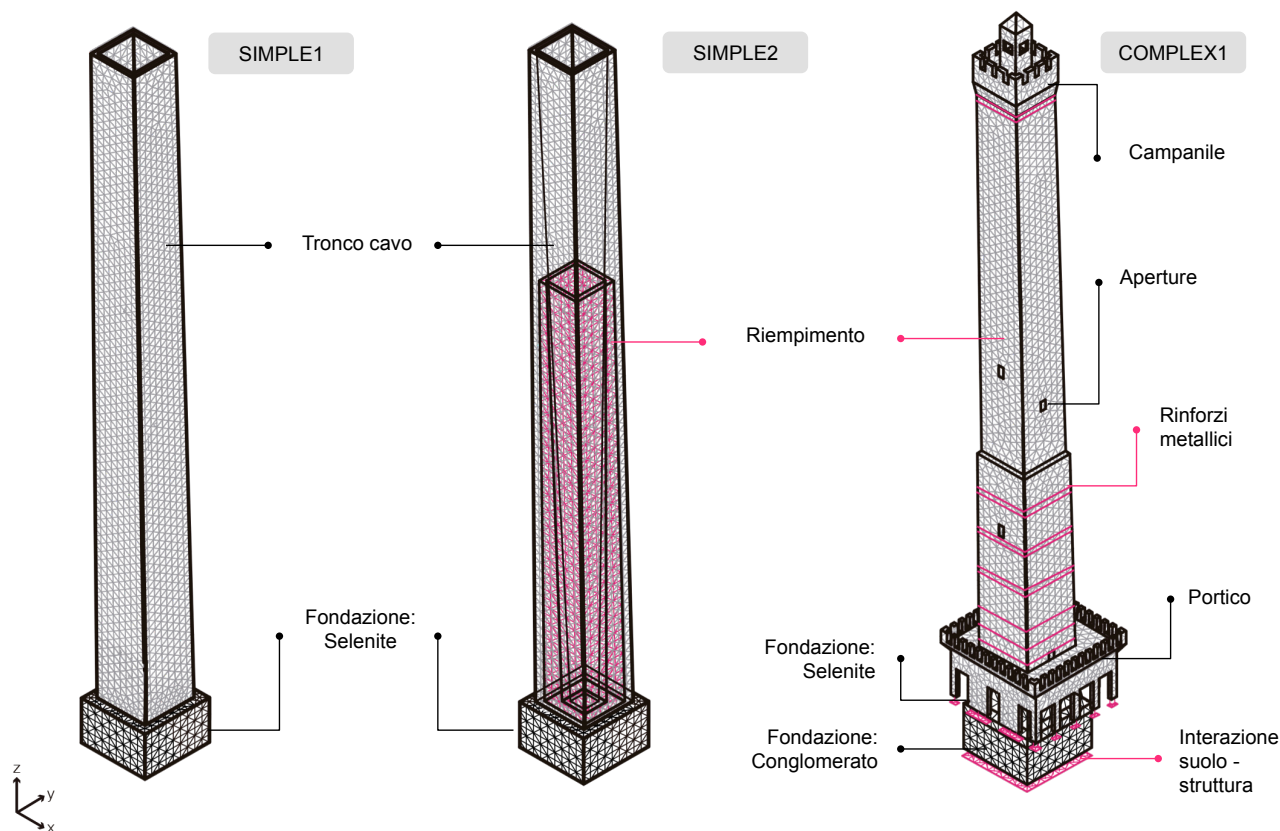
Il caso studio è localizzato nel centro della città di Bologna, Italia. La Torre degli Asinelli è la torre più alta e la più antica struttura in muratura della città (anno 1109). È altresì la torre inclinata più alta in Italia.

Questa costruzione è un punto panoramico dal quale è possibile scrutare ogni parte della città e rappresenta il simbolo di Bologna insieme alla torre della Garisenda.

La torre degli Asinelli è una torre in muratura alta 98m circa, con una fondazione composta da una base in roccia selenitica (circondata da un portico in muratura) e una base in conglomerato. La struttura della torre (Figura 2) si compone da una parte fatta di pareti in muratura a sacco a tre strati, con mattoni in corrispondenza dei paramenti di e un riempimento nella parte interna fatto di residui di mattoni, pietre e malta; e una seconda parte costituita da pareti di muratura piena. La struttura è dotata di una serie di rinforzi metallici sviluppati in due momenti diversi: 1706 e 1913.



Mediante il codice agli elementi finiti DIANA (TNO Diana, Olanda) sono affrontate le difficoltà che tipicamente s'incontrano nel costruire modelli di complessità crescente, proponendo una procedura generale (Figura 3). Questi tre modelli sono stati scelti per valutare la differenza tra le procedure di modellazione, l'efficienza di calcolo e l'esattezza dei risultati.



Successivamente alla modellazione, i tre modelli si sottopongono a una serie di analisi.

I tre modelli con materiali isotropi sono usati in un'analisi lineare statico e un'analisi modale per ricavare la risposta statica lineare per la comparazione con i risultati di modelli teorici precedenti e misure sperimentali fatti recentemente.

Lo studio della torre, pur non essendo rivolto alla formulazione di un giudizio esplicito sulla stabilità, ha condotto alla formulazione di un modello anisotropo della muratura fessurata, in grado di rappresentare il comportamento dinamico della torre con maggiore efficacia rispetto a quanto reperibile nella letteratura scientifica. Questo schema anisotropo del materiale è stato proposto per il modello più complesso con l'obiettivo di considerare il danneggiamento dovuto a fessurazioni prevalentemente verticali attualmente presenti nella muratura.

Inoltre, solitamente l'analisi lineare potrebbe non essere rappresentativa del comportamento reale della struttura, e quindi vi è la necessità di fare un'analisi non lineare per ricavare la risposta allo stato limite ultimo. Le normative europee e italiane prevedono l'implementazione di analisi non lineari per strutture in cui la resistenza e rigidità residuali sono influenzate dal danneggiamento presente, in questo caso, le strutture storiche. In tale ottica, si è sviluppato un'analisi di tipo non lineare statico basato sull'applicazione di un'accelerazione proporzionale al primo modo di vibrare della struttura per ricavare le curve di capacità e il modello di fessurazione.