

# Traditional bell towers: knowledge and safety in two compared areas

Attilio Mondello\*

---

## Highlights

Traditional bell towers represent a distinctive heritage of historical European centres. These buildings have a high cultural value but also a great seismic vulnerability. In the light of the recent earthquake experiences, the empirical method for structural analysis allows us to detect qualitatively the health of these important buildings. The present research aims to study traditional bell towers by investigating geometric configurations, building techniques and degradations in order to identify which liabilities can conceal these peculiar characters. A comparison will be made between the same types of buildings in geographically distant areas.

---

## Abstract

The paper summarizes the main aspects of the in-progress PhD research that wants to provide supporting empirical-experimental analyses, deepening the aspects that can affect structural behaviour. The research will study emblematic cases in the Etna area, after having carried out a census and a typological classification never pursued previously. To validate the obtained results, the thesis will compare these buildings with the bell towers in the Valladolid area. The comparison will check whether similar buildings (located in different geographical areas) are characterized by a different durability from that on our national territory.

---

## Keywords

Traditional bell towers, Damage mechanisms, Digital survey, Eastern Sicily, Castilla y León

---

## 1. INTRODUCTION

The geometric configuration with the strong verticality, the considerable weight induced by the masonry and the lack of an accurately planned maintenance have always exposed the traditional bell towers to a high seismic risk. Studying these buildings only from an architectural point of view or highlighting only the structural aspects, as well as defining computational mathematical models that oversimplify reality, has led to incorrect design choices in the recovery actions of the past, which often proved to be unnecessary, overly invasive and not very compatible with the traditional building. To overcome these problems, the *Guidelines for the assessment and mitigation of seismic risk of the cultural heritage* of the 2011 explicitly indicate the preferable use of the empirically kinematic method as opposed to the global and stressing approaches to evaluate the safety of historic buildings. Masonry structures are not made

### Attilio Mondello

DICAR - Dipartimento di  
Ingegneria Civile e Architettura,  
Università di Catania, Via Santa  
Sofia 64, Catania, 95123, Italia

\* Corresponding author  
Tel.: +39-095-7382500;  
fax: +39-095-330309;  
e-mail: amondello@dar.unicat.it

with tensile resistant materials such as steel or reinforced concrete, so this limited resistance does not allow for a distribution of stresses throughout the structure that, in case of seismic actions, presents local damage mechanisms. The kinematic approach, detailed firstly by A. Giuffrè [1] and F. Doglioni [2], studies these mechanisms based on the observation of the damages that occurred after the recent earthquakes. Applying these reflections to the ancient bell towers of our historic centres, the full knowledge of the *corpus* of traditional buildings, the geometrical aspects, the building stages (which were often diluted in time, conditioning materials and building techniques employed by the various craftsmen that followed each other) and their state of health are crucial and necessary premises for each kinematic evaluation. Starting from the study of recurring seismic pathologies in traditional belfries, catalogued by the Guidelines and by the empirical-kinematic studies, this paper summarizes the main aspects of the research that the author is developing in the XXXI cycle of Ph.D. course in *Evaluation and mitigation of urban and land risks* of the DICAR at the University of Catania. In view of the above, the thesis, under the supervision of Professor Angelo Salemi, wants to study traditional bell towers investigating geometric configurations, building techniques and decay of the bell towers to detect which inherent liabilities can be hidden behind these peculiar characters. Studies about traditional belfries that combine architectural, structural and kinematic aspects together have not yet been entirely pursued. Therefore, this research will analyse these aspects on the bell towers of the Etna area (never counted and studied in a systematic way before now). This study will also compare them with those detectable in a different geographic context but with many similarities such as the bell towers of the Valladolid province in Castile and León. The choice of the comparison with the Valladolid area has historical reasons because it has a common cultural matrix linked to the centuries-old Aragonese domination in Sicily. King Alfonso V of Aragon founded the University of Catania in 1434. Especially after the extremely violent earthquake of 1693, military engineers from the kingdom of Castile instructed the Sicilian worker corporations for the reconstruction. This explains many formal analogies between architectural types or Castilian and Sicilian masonry equipment [3].

## 2. STATE OF THE ART: THE EMPIRICAL METHOD

It is important to deepen, in the first instance, the issues related to the empirical method for the evaluation of the kinematic motions and of the seismic vulnerability of masonry buildings. This approach is based on empirical knowledge primarily derived from the dictates of the static walls

### 1. INTRODUZIONE

*La conformazione geometrica dalla spiccata verticalità, il notevole peso proprio indotto dalla muratura e la mancanza di una rigorosa manutenzione programmata espongono da sempre le torri campanarie di fattura tradizionale ad un elevato rischio sismico. Affrontare lo studio di questi manufatti dal solo punto di vista architettonico o evidenziarne esclusivamente gli aspetti strutturali, definendo modelli matematici computazionali che semplificano eccessivamente la realtà, ha portato in passato ad errate interpretazioni progettuali negli interventi di recupero, rivelatisi spesso superflui, eccessivamente invasivi e poco compatibili con la fabbrica tradizionale. Per ovviare a questi problemi, le Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale del 2011 indicano esplicitamente il preferibile ricorso al metodo empirico-cinematico piuttosto che agli approcci globali e tensionali per le verifiche di sicurezza degli edifici storici. Poiché le strutture in muratura non sono realizzate con materiali resistenti a trazione come acciaio o c.a., questa limitata resistenza non permette una distribuzione delle sollecitazioni su tutta la struttura che, in caso di azioni sismiche, presenta meccanismi locali di dissesto. L'approccio cinematico, portato avanti innanzitutto dalle ricerche di A. Giuffrè [1] e F. Doglioni [2], studia tali meccanismi sulla base dell'osservazione dei dissesti verificatisi in seguito ai recenti terremoti. Applicando queste riflessioni alle antiche torri campanarie dei nostri centri storici, la conoscenza completa del corpus dell'edificio, delle configurazioni geometriche, delle fasi di realizzazione (spesso diluite nel tempo condizionando materiali e tecniche costruttive impiegati dalle diverse maestranze alternatesi) e del suo stato di salute risultano di fondamentale interesse e necessaria premessa per ogni valutazione cinematica. A partire dallo studio delle patologie sismiche ricorrenti nei campanili tradizionali, catalogate dalle Linee Guida e dalle ricerche empirico-cinematiche, questo paper illustra gli aspetti salienti della ricerca che l'autore sta conducendo nell'ambito del XXXI ciclo del Corso di Dottorato in Valutazione e mitigazione dei rischi urbani e territoriali presso il DICAR dell'Università degli Studi di Catania. Alla luce di ciò, la tesi, sotto la guida del professore Angelo Salemi, vuole studiare i campanili di fattura tradizionale indagando configurazioni geometriche, tecniche costruttive e degradi presenti nelle torri campanarie per individuare quali labilità intrinseche possano celarsi dietro questi caratteri peculiari. Ritenendo che non siano stati ancora del tutto sviscerati studi su tali campanili, che coniughino insieme aspetti architettonici, tecnico-costruttivi e cinematici, la ricerca analizzerà questi aspetti sulle torri campanarie dell'areale etneo (mai censite e studiate in modo organico prima d'ora) e le porrà a confronto con altre rilevabili in un contesto geografico differente ma con molte analogie come quello delle torri campanarie della provincia di*

of the pre-nineteenth-century art rule. According to these dictates, believed by G. Giovannoni as well, the traditional masonry buildings are characterized by *resource schemes*, or equilibrium states, which in their configuration hide mechanisms that can cause instability but also the ways to contain it through mutual contrast [4]. Masonry is not characterized by a global behaviour that enables the spread of the stresses, so *these structures under seismic action reach the point of collapse due to the loss of equilibrium of limited portions called macroelements*. The kinematic models describing the process of the macroelement discretization and the related displacements are known as *damage mechanisms*. From this, follows the need for a careful study of recurring seismic pathologies in the historic factories, mainly based on direct observation of the phenomena. The *Empiricism* invoked is *not an intuitive process but a rigorous operating practice based on meditated experimental knowledge of a large series* [5]. Security in these artefacts will be evaluated based on qualitative judgments, which incorporate the empirical assessments and cultural relevance, still accompanied by the necessary quantitative numerical evaluation of the structural analysis. As for traditional bell towers, since the Friuli earthquake of 1976, empirical studies have pointed out two macroelements: *the tower* and *the bell cell* [2]. For each of these there are many recurring damage mechanisms, proposed also in special schedules in the 2011 Guidelines (fig.1) and in subsequent studies that have examined the whole historic urban fabric [4].

The macroelement tower can count different mechanisms, such as rotations or translations to the outside of the top or of one or more corners. As for the bell cell, the main damage mechanisms are especially overturnings caused by rotating, sliding of the uprights, overturning of the summit parts of the spires for shear failure or buckling [4]. The damage mechanisms are also influenced by the position of the bell towers compared to the church. Many empirical studies typologically classify the bell towers as [2,6]: isolated, with no contact with other parts of the building; leaning bell towers, whose contact zones are extended to a maximum of two sides; merged bell towers, with contact zones extended to three or in all contact areas; and overlapped to the building church.

An emblematic study that systemizes all the topics dealt with here for bell towers is represented by recent research on the census, the structural efficiency and vulnerability of the bell towers of Venice [7]. Having detected the systems of cracks, the Venetian study aimed at recognizing the damage mechanism able to provide an explanation for the kinematic instabilities, as well as identifying the causes and possible actions of rehabilitation.

Valladolid in Castilla y León. La scelta del confronto con l'areale vallisoletano trova motivazioni storiche nelle comuni matrici culturali legate alla dominazione aragonese in Sicilia, alla quale si deve anche la fondazione dell'Ateneo catanese nel 1434. Inoltre, le corporazioni delle maestranze siciliane, incaricate della ricostruzione dopo il violentissimo sisma del 1693, vennero istruite da ingegneri militari inviati dal regno di Castiglia; ciò spiega molte analogie formali tra tipologie architettoniche o apparecchiature murarie castigliane e siciliane [3].

## 2. STATO DELL'ARTE: L'APPROCCIO EMPIRICO SPERIMENTALE

Si è ritenuto fondamentale approfondire in prima battuta le tematiche relative al metodo empirico sperimentale per la valutazione dei cinematismi e della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Tale approccio si basa sulle conoscenze empiriche derivanti innanzitutto dai dettami della statica delle murature della regola dell'arte pre-ottocentesca secondo la quale, come riteneva anche G. Giovannoni, gli edifici tradizionali in muratura sono caratterizzati da schemi risorsa, o stati di equilibrio, che nella loro configurazione nascondono cinematismi che possono provocare il dissesto ma anche i modi per contenerlo tramite il contrasto reciproco [4]. Poiché le murature non sono caratterizzate da un comportamento globale che consenta la diffusione delle sollecitazioni, sotto azione sismica le strutture di questo tipo raggiungono il collasso per perdita di equilibrio di porzioni limitate chiamate macroelementi. I modelli cinematici che descrivono il processo di discretizzazione del macroelemento ed i relativi spostamenti sono detti meccanismi di danno. Da ciò segue la necessità di uno studio attento delle patologie sismiche ricorrenti nelle fabbriche storiche, basata soprattutto su un'osservazione diretta dei fenomeni. L'empirismo invocato non è un procedimento "ad occhio" ma una rigorosa prassi operativa basata su meditate conoscenze sperimentali su un'ampia casistica [5]. La sicurezza in questi manufatti sarà valutata in base a giudizi qualitativi in cui confluiscono le valutazioni empiriche e le istanze culturali del bene, affiancate comunque dalle necessarie valutazioni numeriche quantitative del calcolo strutturale. Per i campanili tradizionali, a partire dal terremoto del Friuli del 1976, sono stati definiti due macroelementi distinti costituiti dalla torre vera e propria e dalla cella campanaria [2]. Per ognuno di questi sono stati studiati diversi meccanismi di danno ricorrenti, proposti in appositi abachi anche nelle Linee Guida 2011 (fig.1) e in successivi studi che hanno preso in esame interi tessuti storici urbani [4].

Per il macroelemento torre si possono annoverare diversi meccanismi quali rotazioni o traslazioni verso l'esterno della parte superiore o di una o più angolate. Per quanto riguarda la cella campanaria, i principali meccanismi di danno riscontrati sono soprattutto ribaltamenti per rotazione o scorrimento dei piedritti o ribaltamenti

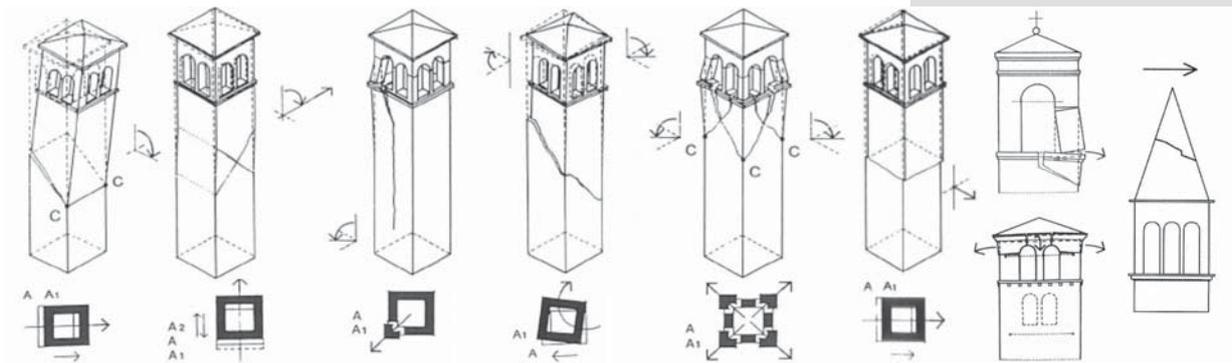


Figure 1 Schemes of damage mechanisms of the tower and bell cell (Doglioni et al, 1994; Guidelines, 2011).

### 3. METHODOLOGY

The thesis deals with the study of specialized traditional buildings with great cultural relevance, with the aim of improving the knowledge about the evaluation of seismic vulnerability. This is exclusively possible starting from the geometric and technical-constructive aspects that can condition the health of a building's corpus and therefore also the structural behaviour behind the empirical kinematic analysis. As already mentioned in the previous paragraph, at first I closely examined the bibliographic research to define the state of the art, regarding both the empirical method and recurring damage mechanisms in bell towers, as well as regarding other study experiences about traditional Italian and Spanish belfries. Moreover, I conducted a census of existing bell towers in the Sicilian town centres of the Etna area; each of them is also classified typologically according to the empirical studies criteria. I also investigated the issues related to the survey of the historic built heritage and its more innovative methods such as the acquisition of point clouds with a laser scanner or photo-modelling methods, through a dedicated fast photographic survey campaign. I am also pursuing the substantive aspects of the Masonry Buildings Mechanics; through the acquired knowledge, the study will try to identify the inherent liabilities, which may influence the choice of the realistic computational model. These surveys will allow me to analyse better building techniques and recurring materials in the areas of Catania and Aragon. Therefore, I will outline a general knowledge framework that will lead to the choice of emblematic case studies in the two areas. After selecting the Sicilian case studies, emblematic for their type and technological aspects, I will carry out a careful anamnesis on the clinical history of a building's corpus by investigating materials, techniques, heterogeneous building phases, subsequent restoration and consolidation processes. To do this, I will carry out the necessary archival studies, direct surveys, indirect and non-destructive investigations thanks to the help of instruments supplied to the *Mediterranean*

delle parti sommitali delle guglie per rottura a taglio o a pressoflessione [4]. I cinematismi sono inoltre influenzati anche dalla posizione dei campanili rispetto all'edificio di culto di pertinenza. Proprio rispetto alle reciproche posizioni, molti studi empirici [2,6] classificano tipologicamente le torri campanarie in: campanili isolati, senza alcun contatto con altri corpi di fabbrica; campanili addossati, con zone di contatto estese a massimo due lati; campanili accorpate, con zone di contatto estese a tre o a tutte le zone di contatto; campanili sovrapposti al corpo di fabbrica della chiesa. Uno studio emblematico, che mette a sistema tutti gli argomenti qui trattati per le torri campanarie, è rappresentato dalla recente ricerca sul censimento, l'efficienza strutturale e la vulnerabilità dei campanili di Venezia [7]. Rilevati i quadri fessurativi, lo studio veneziano ha puntato al riconoscimento del meccanismo di danno in grado di fornire una spiegazione cinematica dei fenomeni di dissesto, identificandone le cause ed i possibili interventi riabilitativi.

#### 3. METODOLOGIA

La ricerca tratta lo studio di architetture specialistiche di fattura tradizionale e dalla grande istanza culturale, con l'obiettivo di contribuire a migliorare i percorsi conoscitivi relativi allo studio della vulnerabilità sismica, a partire dall'analisi degli aspetti geometrici e tecnico-costruttivi che possono condizionare lo stato di salute del corpus della fabbrica e quindi anche i comportamenti strutturali alla base delle analisi cinematiche di carattere empirico sperimentale. Come già illustrato nel precedente paragrafo, inizialmente è stata effettuata una attenta ricerca bibliografica per la definizione dello stato dell'arte, sia in merito al metodo empirico sperimentale e ai meccanismi di danno ricorrenti nelle torri campanarie, sia per ciò che concerne altre esperienze di studio sui campanili a livello nazionale e spagnolo. Contestualmente, si è condotto il necessario censimento delle torri campanarie esistenti nei centri storici siciliani dell'areale etneo; ciascuna di esse è stata classificata tipologicamente secondo i criteri proposti dagli studi empirici. Non è stato trascurato anche lo

*Laboratory of Architecture Surveying and Diagnostics* of the DICAR of Catania, such as thermal imaging cameras and a 3D laser scanner. The survey and study of constructive techniques will also allow for an empirical structural analysis of the wall panels to be able to verify the existence of possible existing cinematics or lack thereof. I will take the same procedures in the Valladolid area, identifying some emblematic examples to be examined in the same way thanks to a period of study at the *Escuela Técnica Superior de Arquitectura* of the University of Valladolid under the supervision of Professor José Ignacio Sánchez Rivera, within the activities of the *Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica*. Finally, I will deal with a comparative synthesis of the data collected in the two areas in terms of typological characteristics, building techniques and durability of the bell towers. In this way, I will be able to verify whether similar typological buildings, in various territories, are characterized by a different durability compared to that found in the Italian area and if the lability investigation method for the Italian case can generally apply and therefore in the Spanish context as well.

#### 4. FIRST RESULTS

In order to study the bell towers distributed around Etna, in the first place, it was necessary to carry out a census of all the specimens in the area; the reference context is made up of 43 historic centres of the municipalities at the Etna slopes. A first useful tool for the identification of these monuments is represented by the georeferenced database *BEweb*, published online by the Italian Episcopal Conference and created by the National Office for Ecclesiastical Cultural Heritage [8]. This systematically and continuously updated virtual archive is the result of a cataloguing of the historical, artistic, archival, and library heritage of Italian dioceses and ecclesiastical cultural institutions. I consulted the site for each vicariate of Catania and Acireale dioceses and I compared the data with those of the diocesan yearbooks; therefore, it was possible to identify all religious buildings present in the considered area. I selected from this archive the churches with bell towers thanks to the photographic documentation provided by *BEweb* and satellite images. I typologically classified each of the 190 recognized belfries, according to the criteria proposed by Doglioni and Di Tommaso. Later, I extrapolated only traditional bell towers (about 150) from the list suitably identified also following an expeditious photo-survey of the exterior elevations. The first analysis of this large sample revealed that 70% is made up of bell towers leaning against the church, while the overlapping specimens make up only 20% and the merged bell towers are just under 10% (fig. 2).

*studio delle tematiche connesse al rilievo del patrimonio storico architettonico e ai relativi metodi più innovativi, come l'acquisizione di nuvole di punti con laser scanner o metodi di foto-modellazione (anche tramite un'apposita campagna di rilievo fotografico speditivo). Si stanno approfondendo inoltre gli aspetti sostanziali della meccanica delle strutture murarie e, sulla base delle conoscenze così acquisite, si cercherà di individuare quali siano le labilità che possono influenzare la scelta del modello di calcolo più aderente alla realtà. Queste indagini permetteranno di analizzare meglio le tecniche costruttive ed i materiali ricorrenti negli areali catanese ed aragonese, delineando così un quadro conoscitivo generale utile ai fini della scelta dei casi di studio emblematici nei due ambiti territoriali considerati. Selezionati i casi di studio siciliani, significativi per tipologia ed aspetti tecnologici, verrà condotta su di essi un'attenta anamnesi sulla storia clinica del corpus, indagando materiali, tecniche, fasi costruttive eterogenee e successivi interventi di restauro e consolidamento. A tale scopo, saranno eseguiti i necessari studi archivistici, rilievi diretti, indiretti e indagini non distruttive grazie anche all'ausilio delle strumentazioni in dotazione al Laboratorio Mediterraneo di Rilievo e Diagnostica per l'Architettura del DICAR di Catania, quali termocamere e laser scanner 3D. Il rilievo e lo studio delle tecniche costruttive consentiranno anche un'empirica analisi strutturale dei pannelli murari per poter verificare l'esistenza o meno di possibili cinematismi esistenti. Lo stesso percorso indagativo verrà intrapreso in ambito vallisoleitano, individuando anche lì alcuni esemplari emblematici da esaminare grazie ad un periodo di studio presso l'Escuela Técnica Superior de Arquitectura dell'Università di Valladolid sotto la guida del professore José Ignacio Sánchez Rivera, nell'ambito delle attività del Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica. Infine, si affronterà una sintesi comparativa dei dati raccolti nei due areali in termini di caratteri tipologici, tecniche costruttive e durabilità dei campanili. In tal modo si riuscirà a verificare se, dinanzi a tecniche costruttive e contesti geografici differenti, edifici tipologicamente analoghi siano connotati da una diversa durabilità rispetto a quella riscontrata nel territorio nostrano e se il metodo di indagine delle labilità proposto per i casi italiani possa avere validità generale riuscendo ad essere applicato anche in ambito spagnolo.*

#### 4. PRIMI RISULTATI

*Per poter studiare le torri campanarie dell'areale etneo in primo luogo è stato necessario condurre un censimento di tutti gli esemplari presenti nel territorio; il contesto di riferimento è costituito da 43 centri storici dei comuni alle pendici dell'Etna. Un primo utile strumento per l'individuazione di questi monumenti è rappresentato dalla banca dati georeferenziata *BEweb*, pubblicata on-line dalla Conferenza Episcopale Italiana e realizzata dall'Ufficio Nazionale per*

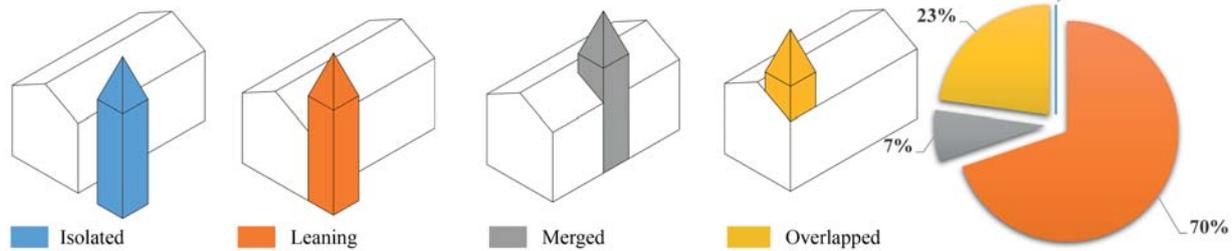


Figure 2. Bell tower types in Etna area.

Considering the construction ages of traditional belfries, the distribution in the Etna area is not homogeneous. This consequently affects the stylistic and technological aspects. The areas not affected by the earthquake of 1693 earthquake, located along the north-western slopes of Etna, are characterized by bell towers dating back to the thirteenth century, while the eastern and southern part of the volcano area, devastated by this earthquake, mostly provide specimens of the eighteenth and nineteenth centuries (fig.3).

*i Beni Culturali Ecclesiastici [8]. L'archivio virtuale è il risultato di una catalogazione, sistematica in continuo aggiornamento, del patrimonio storico e artistico, architettonico, archivistico e librario portato avanti dalle diocesi italiane e dagli istituti culturali ecclesiastici sui beni di loro proprietà. Consultando il portale per ogni vicariato delle Diocesi di Catania ed Acireale e confrontando i dati con quelli degli annuari diocesani, è stato possibile individuare tutti gli edifici religiosi presenti nell'areale considerato. Da questo archivio*



Figure 3. Some catalogued bell towers in Etna area.

*From the left: Randazzo: S. Martino (13th century.), S. Nicolò (1783). Bronte: S. Giovanni (16th century), SS. Trinità (1579), SS. Annunziata (1625). Adrano: SS. Salvatore (1583), S. Pietro (15th century). Catania (18th century): S.M. dell' Aiuto, SS. Sacramento al Borgo, S. Agata al Borgo, S.M. Monserrato, S. Orsola, S. Francesco d'Assisi.*

To refine the cataloguing and classification process and reflect upon the building techniques and materials used, in addition to considerations regarding direct observations of the not plastered outer wall faces and related vertical envelope, I am also referring to the *GIS Risk Map of Cultural Heritage* by ICR. Between 2006 and 2009, ICR promoted a fast screening on seismic *Vulnerability and seismic Hazard of cultural heritage of Sicily* [9]. This screening was made on some structural characteristics and mechanisms of damage for each class of buildings (1-palaces, 2-tower/bell tower, 3-church/theatres/building

*sono state selezionate le chiese dotate di torri campanarie grazie all'ausilio della documentazione fotografica fornita da BEweb e delle immagini satellitari. Ognuno dei 190 campanili riconosciuti è stato classificato tipologicamente secondo i criteri proposti da Doghioni e Di Tommaso. Successivamente sono state estrapolate dall'elenco le sole torri di fattura tradizionale (circa 150), opportunamente individuate anche grazie ad una campagna speditiva di rilievo fotografico dei prospetti esterni. Le prime analisi su questo vasto campionario rivelano come il 70% sia costituito da campanili addossati all'edificio di culto di*

complexes), to determine new computational models of seismic risk that are closer to reality; for each of these buildings, the screening catalogued building techniques and damage mechanisms in order to determine new more realistic seismic risk computations. These data do not regard all detected bell towers in this research, but they represent a bivalent valuable aid. On the one hand, the attached pictures will facilitate the evaluation of building techniques and decay of inaccessible belfries; on the other hand, the hazard and vulnerability assessments and the detected damage mechanisms will aim to define the framework of the possible mechanisms existing in the belfries.

The photographic survey of Etna bell towers, in many cases, also gives the possibility to define expeditious data sets to create three-dimensional models using digital photogrammetry. Starting from a sequence of photo shoots portraying the building, the *Structure from Motion algorithms can recreate the camera's internal parameters and the spatial position of homologous points* [10]; from captured frames, the web-based package *Recap* (by Autodesk) generates a 3D model consisting of a dense textured mesh or a point cloud, like the results that would be achieved with the help of 3D laser scanners with high times and costs [11]. The mesh or cloud management allows us to analyse many aspects of the building more comfortably in a post-processing phase, following the inspection. The potential of this instrument has enabled the relief of seismic damage in historic buildings affected by the 2009 earthquake in L'Aquila [12,13]. In those cases, it was critical to operate quickly and in maximum safety. This is a no-cost procedure, almost completely automated, relying on the use of photographs. The final result is conditioned by the features of the digital camera and can be reached through a photographic project preview. A good dataset is characterized by frames shot around the architectural object from multiple angles and with a reciprocal overlap of about 70% [11]. As in other experiments on towers in other areas [14], the expeditious photographic survey of the Etna bell towers provides photos that have a better overlap at the bottom of the tower and a minor definition in the upper parts of the bell cells and spires, due to the shooting from far and far. Therefore, the obtained 3D models have a greater detail in the lower part of the belfries and a relative approximation at the head (fig.4).

Nevertheless, three-dimensional survey is very useful for collecting geometric information on the envelope; we can also trim the model horizontally, acquire the outer profiles of the planimetric system and, for example, verify the reciprocal orthogonality of the surrounding walls. From the model, we can also extract the orthophoto of the prospects to obtain meticulous two-dimensional surveys, mapping of systems of cracks and decays or more easily detecting

appartenenza, mentre gli esemplari sovrapposti rappresentano solo il 20% e quelli accorpati poco meno del 10% (fig. 2).

Considerando le epoche di realizzazione dei campanili tradizionali, la distribuzione nel territorio etneo non risulta omogenea; ciò incide di conseguenza sia sugli aspetti stilistici che su quelli tecnico-costruttivi. Le aree risparmiate dal tragico sisma del 1693, situate lungo il versante nord-occidentale dell'Etna, sono caratterizzate da torri campanarie risalenti anche al XIII secolo mentre i territori ad est e a sud del vulcano, sconvolti da questo terremoto, sono soprattutto provvisti di esemplari del XVIII e XIX secolo (fig.3).

Per affinare il processo di catalogazione e classificazione e riflettere su tecniche costruttive e materiali impiegati, oltre a considerazioni in merito ad osservazioni dirette dei paramenti murari esterni non intonacati e delle relative apparecchiature lapidee di facciata, si è fatto ricorso anche al Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, a cura dell'ICR che, tra il 2006 e il 2009, ha promosso una schedatura sulla Vulnerabilità e Pericolosità sismica del patrimonio culturale della Regione Siciliana [9]. Lo screening è stato condotto su un campione di monumenti appartenenti a tre diverse categorie di beni (quali 1-palazzi, 2-torri/campanili, 3-chiese/teatri/sistemi edilizi complessi); per ognuno di questi edifici sono stati censiti caratteristiche costruttive e cinematiche di danno al fine di determinare nuovi modelli di calcolo del rischio sismico più aderenti alla realtà. Nonostante ciò, tali schede non coprono la totalità dei campanili rilevati da questa ricerca ma rappresentano in ogni caso un valido aiuto bivalente; da un lato il materiale fotografico allegato agevolerà la possibilità di individuare tecniche costruttive e degradi di torri campanarie dalla difficile accessibilità e dall'altro le valutazioni di pericolosità e vulnerabilità e i meccanismi di danno rilevati consentiranno di definire meglio il quadro dei possibili cinematicismi esistenti nelle torri campanarie dell'areale.

Il rilievo fotografico dei campanili etnei in molti casi dà anche la possibilità di definire veri e propri datasets speditivi da sfruttare per la realizzazione di modelli tridimensionali grazie alla fotogrammetria digitale. A partire da una sequenza di scatti fotografici ritraenti l'edificio, gli algoritmi delle procedure di Structure from Motion riescono a ricostruire i parametri interni dello strumento fotografico e la posizione nello spazio di punti omologhi [10]; dai fotogrammi acquisiti, il sistema web-based Recap di Autodesk genera un attendibile modello 3D, costituito da una densa mesh texturizzata o da una nuvola di punti, del tutto analogo ai risultati che si otterrebbero con l'ausilio di laser scanner 3D a tempi e costi elevati [11]. La gestione della mesh o della nuvola permette di attenzionare così molti aspetti del manufatto edilizio più comodamente in una fase di post-elaborazione successiva al sopralluogo. Le potenzialità di questo



Figure 4. 3D models from SFM techniques. Catania, SS. Sacramento al Borgo: Solid and textured mode. Gravina di Catania: Mother Church. Pedara: S. Antonio Abate. Bronte: SS. Annunziata. Pedara, Mother Church: Detail of point cloud by SFM.

abnormalities in geometric configurations. However, two critical points must be stressed. SFM algorithms are not rebuilding parts that are not visible from photo shooting points that will consequently be missing or untrusted in the 3D model; it is also not easy to make a photographic survey of this type of bell towers in overly narrow streets due to the impossibility of running around the building appropriately and because the use of over-wide focal lenses would cause aberrations in the frames.

In view of the above, from the geometric-formal point of view, it is noticed that the planimetric planks of the Etna bell towers are mostly rectangular, except for sporadic circular cases.

The outer fronts of the oldest traditional belfries are often characterized by large plastered surfaces. They are marked horizontally by stringcourses in basaltic ashlar, and bordered by cantonal corners in squared basaltic ashlar. The bell towers that date back to the eighteenth and nineteenth centuries are frequently characterized by a masonry base in roughly squared basaltic ashlar and by a more elaborate stone envelope. In certain cases, this consists of pilasters and corner pilasters with basaltic stone masonry base and a shaft and entablature in limestone ashlar; in the courtliest cases, the towers have a coating in richly moulded limestone ashlar and slabs. About the bearing masonry of these monuments, the direct observation of the not plastered façades or the photographic material attachment to Risk Map vulnerability sheets and the 3D models confirm the use of the typical techniques of Etna area, characterized by walls with a thickness of 70 cm or 100 cm, masonry in basaltic unformed stone or roughly squared basaltic ashlar, possibly filled with fragments of brick.

As for the horizontal elements, in the courtliest cases the tower is divided into several levels by cross vaults in concretion, while in the simplest bell towers a barrel vault is located on the highest part as the floor of the bell cell. Over the centuries, these vaults have often been replaced by wooden floors or floors with iron girders or concrete-masonry floors.

strumento hanno permesso il rilievo di danni sismici in edifici storici aquilani colpiti dal terremoto del 2009 [12,13], nei quali era fondamentale operare rapidamente ed in condizioni di massima sicurezza. Trattandosi di una procedura a costo zero, quasi completamente automatizzata ed affidata all'elaborazione di immagini fotografiche, il risultato finale è condizionato dalle caratteristiche della fotocamera digitale ed è raggiungibile attraverso un preventivo progetto di rilievo fotografico per ottenere un buon dataset caratterizzato da fotogrammi scattati intorno all'oggetto architettonico da più angolazioni e con una reciproca sovrapposizione di circa il 70% [11]. Come in altre sperimentazioni su edifici turriti in altri contesti geografici [14], il rilievo fotografico speditivo dei campanili etnei fornisce immagini con sovrapposizione più ravvicinata nella parte inferiore del fusto e con una definizione minore delle parti sommitali delle celle campanarie e delle cuspidi, a causa delle riprese effettuate da lontano e di scorcio. Ciò comporta la realizzazione di modelli che presentano un dettaglio maggiore nella parte bassa dei campanili e una relativa approssimazione in alto (fig.4). Nonostante ciò, il rilievo tridimensionale ottenuto risulta molto utile per raccogliere informazioni geometriche sull'involucro, potendo anche sezionare orizzontalmente il modello, acquisire i profili esterni dell'impianto planimetrico e, ad esempio, verificare la reciproca ortogonalità dei muri d'ambito. Dal modello è possibile estrarre anche ortofoto dei prospetti per ricavare minuziosi rilievi bidimensionali, mappare dei quadri fessurativi e delle manifestazioni visibili di degrado o individuare più facilmente anomalie nelle configurazioni geometriche. Bisogna però sottolineare due criticità. Gli algoritmi SFM non sono in grado di ricostruire fedelmente le cosiddette "zone d'ombra", ovvero le parti non visibili dai punti di ripresa delle foto che di conseguenza nel modello risulteranno assenti o non attendibili; non è inoltre agevole effettuare un rilievo fotografico di questo tipo per torri campanarie site in strade eccessivamente strette a causa dell'impossibilità di girare intorno all'edificio in modo adeguato e perché l'utilizzo di lenti focali eccessivamente grandangolari comporterebbero aberrazioni nei fotogrammi. Alla luce di tutto ciò, dal punto di vista geometrico-formale, si nota

A varied repertoire is made up of the vertical communication elements. There are masonry stairs with steps in squared basaltic blocks, rampant concretion vaults or rampant brick vaults (placed at the perimeter of the tower); spiral staircases in basaltic ashlar embedded in the walls and overlapping on each other in order to create a central support column; spiral staircases (of evident Spanish style) with a central eye and limestone steps. There are also cases in which the original staircases have been replaced with new wooden structures, iron or, in the worst case, in reinforced concrete.

The roofs of the less significant towers consist of four pitches with a wooden bearing structure and Sicilian tiles. The most important belfries are crowned by variable spires for their morphology, finishes and technical realization. The spires of the most ancient belfries have a conical or pyramidal geometry, while domes and spires with geometric configuration bulb dominate the eighteenth-century bell towers. These are often in concretion, with pumice stone or bullous basalt and gypsum mortar, or, in some cases, with the top part in the pressed-brick masonry. The top surface is usually plastered, although there are examples of coatings in glazed bricks with a highly decorative impact. The majolica spires belong mainly to the building tradition of western Sicily (fig.5). A specific study of them, led by G. Fatta and C. Vinci [15], noted the constructive complexity of these macroelements in which the glazed bricks are not simply decorative finish but real bearing masonry. Often, these spires hide elementary wooden chains or real iron reinforcements with the empirical intention to counteract horizontal actions (due to earthquakes or winds) that are generated at the base of the spires (especially if the bell cells have arches that refer the stabilizing action only to the masonry present at the edges of the bell tower). The most elaborate metal reinforcements are placed vertically along the conical spire generators; these are secured by locks closed externally by anchor-plates and they are prolonged below the impost plan to ensure the best possible connection between spire and masonry of the bell tower. The vertical reinforcements can also be linked to each other by metallic band positioned at different dimensions of the inner surface of the spires [16].

*come gli impianti planimetrici dei campanili etnei siano in grande maggioranza di forma rettangolare, ad esclusione di sporadici casi a pianta circolare. I fronti esterni degli esemplari più antichi sono spesso caratterizzati da grandi superfici intonacate, scanditi orizzontalmente da marcapiani e marcavadanzali in conci di pietra lavica, e delimitati da cantonali angolari in conci basaltici ben squadri. Le torri campanarie risalenti al XVIII e XIX secolo sono invece più frequentemente contraddistinte da un basamento in muratura di conci di pietra lavica rozzamente squadri e da un'apparecchiatura lapidea di facciata più elaborata. In alcuni casi quest'ultima è costituita da paraste o lesene angolari con basamento in muratura di pietrame lavico rozzamente squadro e fusto e trabeazioni in conci di calcarenite intagliati; nei casi più aulici, i campanili presentano un intero rivestimento in conci e lastre di calcarenite riccamente lavorati. Per quanto riguarda le murature portanti di questi monumenti, l'osservazione diretta dei fronti non intonacati e l'analisi del materiale fotografico allegato alle schede di vulnerabilità della Carta del Rischio e dei modelli 3D confermano l'impiego delle tecniche tipiche dell'areale etneo, caratterizzate da massi murari di 70 cm o 100 cm di spessore con murature o in pietrame lavico informe, di qualità inferiore, o in conci di pietra lavica rozzamente squadri eventualmente rinzeppati con frammenti di laterizio. In merito agli orizzontamenti, nei casi più aulici il campanile risulta suddiviso in più livelli da volte generalmente a conchiglia di geometria a crociera, mentre nelle torri campanarie più semplici è presente soltanto una volta a botte posta nella parte più alta, che funge da piano di calpestio della cella campanaria. Nel corso dei secoli, alle volte reali spesso sono stati sostituiti solai in legno o con putrelle in ferro o solai latero-cementizi. Un vasto repertorio è costituito anche dagli elementi di comunicazione verticale tra i quali si annoverano: scale a pozzo in muratura con gradini in blocchi squadri di pietra lavica o su voltine rampanti a conchiglia o in mattoni pressati; scale a chiocciola in conci di pietra lavica incastrati nei muri d'ambito e sovrapposti l'uno sull'altro in modo da creare al centro una colonna di sostegno; scale a chiocciola (di evidente matrice spagnola) con occhio centrale e gradini in calcarenite. Non mancano*



Figure 5. Some building elements: conical spire, hipped roofs, spiral staircases and stairs on rampant vaults [9].

The research project here briefly presented is also investigating the typological and morphological characteristics of the Aragonese towers, with particular attention to the Castilla y León region. The Spanish bell tower tradition dates back to Romanesque and Gothic culture but develops even more at the end of the 15th century. During this period, known as of the *Catholic Kings*, the unification of the crowns of Castile and Aragon strengthened the Aragonese power in southern Italy, and opened the great era of conquest in America. In Castile and León, there was economic growth, which also involved the urban development in many towns and the expansion of its parochial churches, which were equipped with large bell towers. These can be divided into several types [17].

The first consists of square towers with prospects with buttresses, located either on the sides or at the corners, to offset the thrust of the inner cross-vaults ribs. The most common type is square-shaped without buttresses, with moulded stringcourses that horizontally divide the faces and hide the progressive reduction of the wall section as the height of the tower increases. These bell-façades often have spiral staircases (*Caracol de Mallorca*), semi-recessed in half-cylinder masonry, called *garitones*; the apex walls, hiding the four-sided roofing system, are often decorated with pinnacles and dots, reproducing animalesque figures (*gárgolas*). The third type consists of *double-proportioned* towers, a natural evolution of the original bell sail, in which the wall panels are thickened to create a rectangular plan volume at the beginning of the church nave. In addition, the *tower espadaña*, or the bell tower-sail is characterized by the former type and the simple sails; this is crowned by a sail bell with the only entrance from the outside of the building. The last type is the *arcade-tower*, which in the features of the first three categories adds to the function of a real arcade on the ground floor, allowing for either the passage on the street or the entrance to the church (fig.6).

The towers of the sixteenth century conceal several rooms placed on different levels inside [18]. On the ground floor is the *under-choir*, with a cross vault with a lowered arch; upstairs there is the *choir*, cross vault with ribs and a richly decorated balcony overlooking the nave. The *cámara oculta* is not connected to the liturgical spaces and it is positioned between the choir and the *bell cell*.

This space was a technical room for the hanging weights of the clock placed on the upper floors. Above, the bell tower is characterized by pairs of windows on each side. In each of them, there are heavy bells and therefore these bows have very sturdy piers. Above the bell tower there is a mechanical clock, often hidden by walls and pinnacles [18].

anche casi in cui le originali scale sono state sostituite con nuove strutture in legno, in ferro o, nel peggiore dei casi, in calcestruzzo armato. Le coperture delle torri più modeste sono costituite da quattro falde inclinate con una semplice struttura portante lignea e manto in coppi e canali alla siciliana. I campanili più rilevanti sono invece coronati da cuspidi variabili per morfologia, finiture e tecniche realizzative. Le cuspidi dei campanili più antichi hanno una geometria conica o piramidale, mentre quelle settecentesche sono caratterizzate prevalentemente da cupolini o cuspidi con configurazione geometrica bulboida. Queste sono spesso realizzate a concrezione, con scheletro in pietra pomice o basalto bolloso e malta di calce e azolo, o, in alcuni casi, con la parte sommitale in muratura di mattoni pressati. L'estradosso è generalmente intonacato, anche se esistono esempi di rivestimenti in elementi in laterizio maiolicato dal forte impatto decorativo. Le cuspidi maiolicate appartengono prevalentemente alla tradizione costruttiva della Sicilia occidentale ma è stata riscontrata una discreta presenza anche nell'area orientale dell'isola (fig.5). Uno specifico studio su di esse, condotto da G. Fatta e C. Vinci [15], ha rilevato la complessità costruttiva di questi particolari macroelementi, nei quali i laterizi maiolicati fungono di sovente non da semplice finitura ma da vera e propria muratura portante. Spesso queste guglie presentano all'intradosso o elementari tralicci di irrigidimento in legno o vere e proprie armature in ferro disposte con l'empirico intento di contrastare le azioni orizzontali (dovute ai sismi o al vento) che si generano in corrispondenza dei piani di imposta delle cuspidi (soprattutto se le celle campanarie sono caratterizzate da finestre ad arco che demandano l'azione stabilizzante alla sola muratura presente agli spigoli del campanile). Le armature metalliche più elaborate sono disposte verticalmente lungo le generatrici della guglia conica, fissate tramite zanche chiuse esternamente da capichiaie e si prolungano al di sotto del piano di imposta per garantire il miglior collegamento possibile tra guglia e muratura della cella campanaria. Le armature verticali possono anche essere legate tra loro tramite cerchiature in ferri piatti disposte a diverse quote della superficie di intradosso delle guglie [16].

Il progetto di ricerca qui brevemente esposto sta indagando anche sui caratteri tipologici e morfologici delle torri campanarie in ambito aragonese, con particolare attenzione per la regione della Castilla y León. La tradizione campanaria spagnola affonda le proprie radici nella cultura romanica e gotica ma si sviluppa ancora di più alla fine del XV secolo. In questo periodo, detto dei Re Cattolici, con l'unificazione delle corone di Castiglia e di Aragona, si rafforzò il potere aragonese in Italia meridionale e si aprì la grande epoca delle conquiste in America. In Castiglia e León tutto ciò si tradusse in una ripresa economica che coinvolse anche lo sviluppo urbanistico dei numerosi centri abitati e l'ampliamento delle relative



Figure 6. Bell tower types in Castile y León: square towers with buttresses, square-shaped without buttresses, double-proportioned towers, espadaña tower, arcade-tower. Images taken from J. I. Sanchez Rivera [17].

## 5. CONCLUSIONS

The thesis wants to bridge the gap in knowledge, conservation and safety of Sicilian bell towers and to help to define which aspects should be better analysed in the kinematic studies of seismic vulnerability. The first research results have thus confirmed the importance of developing a comprehensive framework of knowledge both of the most common damage mechanisms and the constructive characteristics. The next steps will help us to identify building techniques and materials used in these buildings more accurately also with the help of specific ND investigations the inherent liabilities and to study any emblematic cases to compare. Unfortunately, the latest seismic events in Central Italy have demonstrated the great attention paid to the issue, making the bell towers of Norcia, Accumoli and Amatrice symbols of almost invaluable heritage.

## 6. AKNOWLEDGEMENT

The research was partially funded by PO FESR SICILIA 2007-2013, *Progetto Mednetna*.

## 7. REFERENCES

- [1] Giuffrè A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Bari, Editori Laterza, 2006;
- [2] Doglioni F., Moretti A., Petri V., *Le chiese e il terremoto. Dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione*. Trieste: Ed. LINT, 1994.
- [3] Mondello A., *Una ricerca a supporto del metodo empirico sperimentale per lo studio delle torri campanarie in Sicilia orientale e in Castilla y León*. In: ReUSO 2016, Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e per la tutela paesaggistica, a cura di S. Parrinello, D. Besana. Firenze: Edifir - Edizioni Firenze, 2016, p. 294-303.
- [4] Blasi C., *Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*. Milanofiori Assago: Wolters Kluwer Italia, 2013.
- [5] Blasi C., *Sicurezza e responsabilità: due termini da ripensare alla luce delle norme vigenti per la salvaguardia degli edifici storici*. «Bollettino ingegneri», 6 (2014), p. 5-10.
- [6] Di Tommaso A., Casacci S., *Sopravvivenza di torri e campanili in ambiente*

chiese parrocchiali che si dotarono di grandi campanili. Questi elementi architettonici possono essere distinti in diverse tipologie [17]. La prima di esse è rappresentata da torri a pianta quadrata con prospetti scanditi verticalmente da contrafforti situati o sui lati o in corrispondenza delle angolate, per controbilanciare le spinte delle nervature delle volte a crociera poste all'interno. La tipologia più diffusa è però a pianta quadrata senza contrafforti, con marcapiani modanati che suddividono orizzontalmente i fronti e dissimulano la progressiva diminuzione della sezione muraria all'aumentare dell'altezza della torre. Questi esemplari presentano spesso scale a chiocciola (a caracol de Mallorca), semi-incassate nella muratura in volumi semicilindrici detti garitones; muretti d'attico celano il sistema di copertura a quattro falde e sono spesso decorati con pinnacoli e doccioni riproducenti figure animalesche (gárgolas). La terza tipologia è costituita dalle torri di proporzione doppia, naturale evoluzione di originarie vele campanarie, nelle quali i pannelli murari sono ispessiti fino a creare un volume a pianta rettangolare posto all'inizio della navata della chiesa. Inoltre, la torre espadaña, ovvero la torre-vela campanaria, ha caratteristiche comuni sia alla precedente tipologia che alle semplici vele; questa è coronata da una vela campanaria alla quale si accede solo dall'esterno dell'edificio. L'ultima tipologia è quella della torre portico, che alle caratteristiche delle prime tre categorie aggiunge la funzione di vero e proprio portico al piano terra, permettendo o il passaggio su strada o l'ingresso in chiesa (fig.6).

Le torri del XVI secolo celano all'interno un'articolata scansione di ambienti collocati a diverse quote [17]. Al piano terra si trova il sottocoro, voltato a crociera con arco ribassato; al piano superiore trova posto la cantoria, con volta a crociera nervata e con una balaustra riccamente decorata che si affaccia sulla navata. La cámara oculta non è messa in comunicazione con gli spazi liturgici ed è posizionata tra il coro e la cella campanaria. Questo spazio rappresentava un locale tecnico che ospitava i pesi pendenti dell'orologio posto ai piani superiori. Superiormente, la cella campanaria è caratterizzata da coppie di finestre su ogni lato. Ognuna di esse ospita le pesanti campane e perciò tali aperture presentano piedritti molto robusti.

- sismico. In Atti del Seminario Internazionale sull'evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni (CIAS 2013), Creta: 2013, p. 95-118.
- [7] Lionello A., *Tecniche costruttive, dissesti e consolidamenti dei campanili di Venezia*. Venezia: Corbo e Fiore, 2013.
- [8] <http://www.beweb.chiesacattolica.it/edificidiculto> (Last consulted: 01/05/2017)
- [9] <http://www.cartadelrischio.it> (Last consulted: 25/03/2017)
- [10] Inzerillo L., Santagati C., *Il progetto del rilievo nell'utilizzo di tecniche di modellazione dense stereo matching*. In: «Disegnare Idee Immagini», 47 (2013), p. 82-91.
- [11] Inzerillo L., Santagati C., Galizia M., *Il Portico meridionale della Cattedrale di Palermo: sperimentazioni di rilievo attraverso l'utilizzo di tecniche Structure from Motion*. In: Italian survey & International experience, a cura di P. Giandebiaggi, C. Vernizzi, Roma: Gangemi editore, 2014, p. 877-886.
- [12] Bartolomucci C., Trizio I., *Dal rilievo del danno sismico al disegno per il progetto di restauro: un'applicazione di documentazione speditiva in condizioni di emergenza*. In: Disegnare Con, Vol 8, 14 (2015), p. 24.1-24.8.
- [13] Giannangeli A., Marchetti A., Trizio I., *SISMA 2009 - Dalla fotogrammetria digitale ai Pdf 3D: considerazioni sulle potenzialità offerte dalle metodologie di rilievo speditivo basate sullo SfM*. In: Atti XVI Convegno ANIDIS, 13-17 settembre 2015, L'Aquila, 2015.
- [14] Mirabella Roberti G., *Diagnosi dei dissesti e conoscenza costruttiva dell'edificio: una dialettica produttiva*. In: RICerca/REStauo, a cura di D. Fiorani. Roma: Edizioni Quasar, 2017, p. 390-397.
- [15] Fatta G., Vinci C., *Laterizi maiolicati nella costruzione delle cuspidi in area siciliana*. In: «Costruire in laterizio», 123 (2008), p. 46-51.
- [16] Fatta G., Vinci C., *Armature e complementi in ferro nelle cuspidi maiolicate dei campanili in Sicilia*. In: Scienza e Beni Culturali XXXI 2015: metalli in architettura: conoscenza, conservazione, innovazione, Bressanone, 30 giugno - 4 luglio 2015, a cura di G. Biscontin, G. Driussi, Marghera-Venezia: Edizioni Arcadia Ricerche, 2015, p. 327-337.
- [17] Sánchez Rivera J. I., *Métrica y proporción de las torres en el tiempo de los Reyes Católicos*. In: «Estudios del Patrimonio Cultural», 7 (2011), p. 55-68.
- [18] San Jose Alonso, J. I., Sánchez Rivera J. I., *Torres del Siglo XVI en Burgos*. In: Proceedings of International Workshop - V Jornadas De Fotogrametría Arquitectónica Las Nuevas Experiencias De Fotogrametría En El Panorama Actual 25/26 De Octubre De 2012, Valencia, España, 2012.
- [19] Vallucci S., Quagliarini E., Lenci S. *Costruzioni storiche in muratura. Vulnerabilità sismica e progettazione degli interventi*. Milanofiori Assago: Wolters Kluwer Italia, 2014.

*Sopra la cella campanaria è presente l'orologio meccanico, spesso nascosto da muri d'attico e pinnacoli [18].*

## 5. CONCLUSIONI

*Alla luce di quanto sintetizzato, la tesi vuole colmare la lacuna esistente in materia di conoscenza, conservazione e sicurezza dei campanili siciliani e contribuire a definire quali siano gli aspetti da considerare in modo più rilevante negli studi cinematici della vulnerabilità sismica. I primi risultati hanno così confermato l'importanza della definizione di un completo quadro conoscitivo dei più ricorrenti cinematicismi e dei caratteri geometrici e tecnico-costruttivi delle torri campanarie. Le fasi successive della ricerca permetteranno di caratterizzare più accuratamente le tecniche costruttive ed i materiali impiegati in queste fabbriche anche grazie all'ausilio di specifiche indagini ND ed individuare le labilità intrinseche legate ai più ricorrenti meccanismi di danno. In tal modo si potranno scegliere, studiare e confrontare i casi emblematici nei due areali considerati. Purtroppo, i più recenti eventi sismici in Italia centrale hanno dimostrato l'attualità del tema trattato facendo divenire i campanili di Norcia, Accumoli e Amatrice i simboli di un patrimonio inestimabile andato perduto.*

## 6. RICONOSCIMENTO

*La ricerca è stata parzialmente finanziata dal PO FESR SICILIA 2007-2013, Progetto Mednetna.*