



Memoria e Innovazione

Il progetto ADRISEISMIC: ricognizione delle tecniche costruttive nei centri storici dell'area Adriatico-Ionica

The ADRISEISMIC Project: a survey on the building techniques in the historic centres of the Adriatic-Ionian area

G. Predari^{1*}, L. Stefanini²

^{1*} Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Bologna, giorgia.predari@unibo.it

² Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Bologna, lorenzo.stefanini2@unibo.it

Abstract

The research herein presented was carried out within the issues of the Adriseismic project, funded by the Interreg Adrion program, to address seismic vulnerability through a multidisciplinary approach. The project aims at developing new integrated approaches to innovate and harmonise the normative, technical and training frameworks in the ADRION area, providing ready-to-use methods, tools and procedures that will be integrated into the existing policies and practices, thus strengthening local responses and reducing vulnerability to natural hazards.

The starting point of the activities was to deepen the knowledge of the built heritage in each country involved in the project, especially the local building techniques in the historic centres of the Adriatic-Ionian area, then qualitatively correlate them to possible seismic weaknesses. The typical construction characteristics of the buildings present in these Countries, both traditional and more recent ones, were analysed. In the first phase, the investigations were conducted by collecting all possible data in the six countries involved in the project: Italy, Croatia, Albania, Serbia, Slovenia and Greece. Then, the building techniques were divided according to their structural function, defining four macro-categories: vertical masonry structures, vertical reinforced concrete structures, horizontal structures and foundation structures. In the last phase, the results collected for each country were compared, highlighting a common general framework with substantial similarities between the various countries' construction characteristics, despite different historical-cultural events and distant regulatory practices. This result demonstrates how the availability of the same building material governs construction solutions, even though human events are very different.

Keywords: ADRISEISMIC Project, construction techniques, seismic vulnerability, Adriatic-Ionian area, historic centres

1. Introduzione

L'immagine del costruito storico è legata indissolubilmente alle tecniche costruttive che lo caratterizzano, imponendo forme, dimensioni e caratteristiche ricorrenti. Dall'edilizia di base a quella monumentale, i modi di costruire sono il prodotto della tradizione, del sapere tecnico, delle specificità ambientali e materiche di un luogo. La convivenza di questi ambiti apparentemente differenti, ma in qualche misura complementari, ha prodotto l'eterogeneo panorama delle tecniche costruttive tradizionali oggi conosciute. Nel Novecento, l'avvento di nuovi materiali da costruzione, quali l'acciaio e il calcestruzzo armato, ha in parte falsato questo equilibrio storico, generando nuove forme e soluzioni che hanno trovato sempre più spazio nell'ambito dell'edilizia e dell'architettura, anche all'interno dei tessuti storici dei centri abitati.

I paesi dell'area Adriatico-Ionica sono accomunati dalla pericolosità sismica più alta d'Europa; gli eventi sismici che qui si sono susseguiti ciclicamente hanno comportato perdite economiche ed umane assai rilevanti, influenzando il modo di concepire e realizzare gli edifici, ed in particolar modo la loro componente strutturale. Le trasformazioni avvenute sul patrimonio edilizio di questi territori nel corso degli anni rappresentano la testimonianza del progressivo adattamento alle esigenze abitative e tecnologiche che si sono avvicendate. In questo modo, i centri urbani si sono nel tempo stratificati, acquisendo un valore testimoniale e divenendo, al contempo, luogo di memoria storica e di auto-riconoscimento per la popolazione locale.

In generale, la messa in sicurezza del patrimonio edilizio, e dei centri urbani di origine storica nello specifico, appare pertanto ancora più rilevante e non può prescindere da un percorso conoscitivo approfondito e rigoroso, fondato sulla comprensione delle tecniche costruttive impiegate in una determinata area. Conoscere le peculiarità di un sistema costruttivo, che siano positive o negative, significa porre le basi per la comprensione del comportamento sotto sisma di quel sistema e di un conseguente intervento di miglioramento sismico consapevole, capace di apportare un beneficio reale alla struttura senza snaturarne i tratti distintivi.

A partire dalle esperienze di Antonino Giuffrè, il tema della sicurezza sismica nei centri storici permea l'attività di ricerca sul costruito storico da ormai trent'anni; gli studi condotti su Ortigia [1], Matera [2], Palermo [3] hanno fissato i presupposti di questo filone di studi, fornendo poi spunti ed approfondimenti per una lunga serie di "Manuali del Recupero" locali, editi dalla fine degli anni '90 [4, 5]. Qui, gli autori giungono alla definizione dei più adeguati interventi di miglioramento sismico partendo da un'analisi rigorosa delle caratteristiche costruttive e dimensionali degli edifici esistenti, mediante indagini che interessano non solo le soluzioni tecniche, ma anche le interazioni reciproche dei vari elementi costruttivi che concorrono a comporre l'unità strutturale. Studi più recenti hanno dimostrato come esista una fortissima correlazione tra la risposta sismica di un edificio in muratura e la sua epoca di costruzione [6], parametro che sembra incidere in maniera anche maggiore rispetto allo stato conservativo del sistema.

Lo studio qui presentato, svolto quale attività preliminare nell'ambito del progetto ADRISEI-SMIC finanziato dal programma Interreg Adrion, è stato condotto sul patrimonio costruito di alcuni paesi appartenenti all'area Adriatico-Ionica (Italia, Slovenia, Croazia, Albania, Serbia e Grecia) e trova il proprio fondamento nelle considerazioni sopra riportate. L'obiettivo è quello di raccogliere e catalogare le tecniche costruttive storiche e recenti più diffuse nell'area oggetto di

studio, avendo come finalità ultima la messa in luce del legame fra tali soluzioni costruttive e la vulnerabilità sismica del patrimonio costruito. Maggiore attenzione è stata rivolta ai tipi costruttivi che caratterizzano i centri storici, aree in cui tipicamente sono presenti sia edifici che impiegano materiali tradizionali (pietra, mattoni e legno) sia moderni (calcestruzzo armato e acciaio). La catalogazione è stata mirata all'individuazione dei caratteri costruttivi ricorrenti, trascurando tutti i dati non standardizzabili, come ad esempio i dati geometrico-morfologico dell'intero edificio. Il database così costituito, diviso per ciascun paese, è stato quindi utilizzato per analizzare le principali differenze ed analogie tra i vari contesti, giungendo ad una mappatura complessiva dell'intera area oggetto di studio.

Le tecniche costruttive catalogate sono state divise in macro-categorie, differenziandole in base alla funzione strutturale: i) strutture verticali: rientrano in questa categoria tutti gli elementi che hanno il compito di trasferire i carichi statici alle fondazioni ed assorbire le azioni orizzontali; ii) strutture orizzontali: comprendono solai e coperture, il cui compito è prevalentemente quello di sostenere carichi perpendicolari al loro piano e trasferirli alle componenti portanti verticali; iii) strutture di fondazione: vi rientrano tutti gli elementi che regolano l'interazione terreno-struttura, con lo scopo di trasferire le azioni esterne al suolo.

Una prima ricognizione ha permesso di evidenziare come i tipi costruttivi più comuni rilevati nei centri storici siano quelli in muratura portante e calcestruzzo armato, come lecito aspettarsi; i casi di edifici con struttura lignea o in acciaio sono invece molto limitati e presenti solo in alcuni contesti specifici, pertanto sono stati esclusi dalla catalogazione. Considerando le notevoli differenze a livello strutturale, si è deciso di suddividere la macro-categoria "strutture verticali" in strutture verticali in muratura e strutture verticali in calcestruzzo armato, portando quindi a quattro il numero totale di macro-categorie, anziché tre.

Per stabilire quali parametri fossero i più significativi da indagare per ciascuna macro-categoria, sono stati analizzati studi precedenti [7, 8, 9,10] e, in alcuni casi, sono state desunte informazioni specifiche dalle attuali normative tecniche vigenti in merito agli edifici esistenti [11, 12]. I dati raccolti per ogni macro-categoria sono stati riportati in forma tabellare schematica, indicando per ciascuna: una breve descrizione del tipo; un esempio fotografico; il materiale costituente; la tessitura per le murature ed il materiale di tamponamento per le opere in calcestruzzo armato; le caratteristiche della sezione trasversale (presenza di diatoni, muratura a sacco, etc..) per le murature e lo schema statico prevalente per le opere in calcestruzzo armato; le connessioni; lo spessore tipico o le dimensioni ricorrenti degli elementi principali; il periodo di diffusione; l'area prevalente di diffusione; le caratteristiche di comportamento al sisma.

I paragrafi seguenti mostrano una sintesi dei risultati delle analisi svolte su ciascuno dei paesi indagati. In conclusione, sono riportate le tabelle comparative di confronto tra le differenti tecniche diffuse nelle varie aree, da cui si evidenziano analogie e differenze nelle tradizioni costruttive locali.

La complessità del patrimonio esistente richiede certamente la formulazione di considerazioni aggiuntive per una affidabile valutazione del rischio sismico rispetto a quelle fin qui presentate. Come ricordato in altri studi [13] il tessuto edilizio è fortemente eterogeneo e anche la sola individuazione delle unità strutturali appare alle volte molto ardua. Pertanto, l'analisi tipologico-costruttiva proposta si pone come un approccio preliminare al problema della valutazione della

vulnerabilità strutturale, basata sull'assunzione di come la fase conoscitiva sia indispensabile per elaborare strategie generali e per guidare le prime scelte in fase progettuale. Nelle fasi successive del progetto, in corso di svolgimento, sono state poste le basi per la messa a punto di un nuovo metodo speditivo di valutazione della vulnerabilità sismica per edifici a struttura in muratura portante o in calcestruzzo armato, che trova il proprio assunto fondamentale nella relazione esistente tra natura costruttiva e carenze strutturali.

2. Italia

Le tecniche costruttive presenti sul territorio italiano sono tra loro molto differenti e difficilmente inquadrabili in poche categorie predefinite; tale ricchezza costruttiva si è generata nel corso dei secoli sia per ragioni culturali sia per le specificità degli ambiti geografici, portando alla diffusione di strutture aventi concezioni differenti, la cui risposta nei confronti dell'azione sismica è molto variabile e non sempre identificabile a priori (Fig. 1). Per quanto riguarda i tipi edilizi più diffusi, il censimento del 2011 ha evidenziato che il patrimonio italiano ad uso residenziale è composto da 6.975.977 edifici in muratura (57,2%), 3.594.695 edifici in cemento armato (29,5%) e 1.617.026 edifici realizzati con strutture in altri materiali (13,3%). Inoltre, l'80% dei comuni italiani ha una percentuale di edifici in muratura superiore al 50%.

Le strutture verticali in muratura, a causa del loro lungo impiego sono la categoria che presenta il maggior numero di varianti, dalla semplice tessitura ai materiali costituenti. La consultazione del "Modello di caratterizzazione tipologica nazionale" [14] ha assunto una grande rilevanza per la catalogazione delle caratteristiche costruttive del patrimonio italiano. In tale modello sono state analizzate in dettaglio le soluzioni realizzative impiegate per gli edifici appartenenti a 34 città campione e 57 centri minori, ritenuti significativi per i singoli aspetti locali. Tali centri sono sufficientemente distribuiti su tutto il territorio italiano da poter essere considerati rappresentativi in un quadro di classificazione nazionale. L'analisi dei materiali da costruzione mostra un'estrema varietà da centro a centro; anche a brevi distanze si riscontrano spesso differenze significative nei materiali utilizzati, in quanto tale scelta è fortemente condizionata dalle caratteristiche geologiche del sito, oltre che da aspetti economici e politici. Si nota, poi, un generale impoverimento delle tecniche costruttive nell'allontanamento dai grandi centri urbani.

In tale studio, si evidenzia l'uso sul territorio italiano di 8 principali materiali per la realizzazione di murature portanti (pietra calcarea e marmo, tufo e tufo calcareo, travertino, arenaria, granito e mattoni); vi è poi una stretta connessione tra i materiali locali con la tecnica costruttiva e con la specifica geometria delle strutture murarie. Sulla base delle analisi condotte, Zuccaro [14] ha sviluppato una prima mappa di riferimento che riassume i risultati sui singoli centri indagati. Trattandosi di una classificazione generale, questa non può certamente ritenersi esaustiva poiché esclude situazioni particolari; tuttavia, tale catalogazione di primo livello è stata assunta come base per ulteriori arricchimenti nella ricognizione, poiché tiene conto della geometria e tessitura degli elementi murari, aspetti altamente rilevanti ai fini della valutazione del comportamento strutturale.

Implementando tale classificazione, sono state distinte 14 categorie; il tipo di muratura più ricorrente sul territorio italiano, diffusa indistintamente in tutto il paese, è quella realizzata con pietra

grezza incoerente. In alcune regioni, essa veniva regolarizzata attraverso l'uso di mattoni o corsi di livellamento. Lo spessore dei pannelli è molto variabile e dipende in larga parte dal tipo di materiale e di pietra disponibile durante la costruzione. Spesso questo tipo costruttivo è caratterizzato da una configurazione a "sacco", in cui il nucleo centrale è realizzato con prodotti incoerenti o di scarto. La combinazione tra la cattiva qualità della malta, la tessitura irregolare e l'assenza di ammorsamenti trasversali sono fattori che rendono tale muratura altamente vulnerabile all'azione sismica e, di frequente, anche ai soli carichi verticali. I paramenti in materiale lapideo arrotondato sono più rari e legati alla presenza di fiumi nelle vicinanze del sito.

La presenza di murature regolari contraddistingue soprattutto le zone costiere ed alcune aree emiliane e toscane. Questo è dovuto sia alla presenza di argilla, materiale tipico delle aree di pianura con cui produrre i laterizi, sia alla presenza di pietra facilmente lavorabile (tufo e pietra arenaria), tipica dell'area napoletana, pugliese e delle regioni vulcaniche. Lo spessore dei pannelli murari varia in funzione dei carichi statici, generalmente tra i 12 e i 56 centimetri. Queste murature presentano in generale una migliore resistenza alle azioni nel piano, mentre la resistenza alle azioni fuori piano dipende fortemente dal grado di ammorsamento del paramento con gli altri elementi strutturali, quali solai e coperture.

Si evidenzia poi come in epoca recente le costruzioni in muratura siano utilizzate sempre meno frequentemente e, quando impiegate, risultino caratterizzate dall'uso di blocchi in laterizio o calcestruzzo anziché mattoni, e malte di buona qualità.

Per quanto riguarda invece le strutture verticali in calcestruzzo armato, queste in Italia hanno visto una diffusione massiccia dal secondo dopoguerra in avanti su tutto il territorio nazionale. La diffusione del nuovo materiale (assieme all'acciaio) ha imposto approcci di calcolo via via più rigorosi e l'acquisizione di norme tecniche dettagliate, con cui fornire ai progettisti requisiti prestazionali minimi ed elevati standard di controllo. L'esito è stata una prassi progettuale per gli edifici del Novecento volta al calcolo per soli carichi statici, trascurando le azioni sismiche che la struttura avrebbe potuto subire nell'arco della sua vita utile. Ciò ha originato un vasto patrimonio in calcestruzzo armato altamente vulnerabile alle azioni sismiche, poiché trascurate nel processo di calcolo.

Storicamente, è possibile individuare un primo periodo contraddistinto dall'uso congiunto delle innovative strutture a telaio e dei sistemi tradizionali in muratura, ove gli elementi in calcestruzzo armato venivano nascosti all'interno di pannelli murari; così veniva sfruttato il potenziale costruttivo offerto dal sistema portante puntiforme, non rinunciando all'estetica muraria tradizionale. Nel corso degli anni, i mattoni pieni sono stati sostituiti da blocchi di tamponamento senza funzione strutturale, enfatizzando la presenza del telaio anche da un punto di vista formale. La concezione strutturale rimaneva però ancora quella del telaio monodirezionale in cui spesso la regolarità planimetrica ed in elevazione erano trascurate.

Solo negli ultimi decenni i concetti della progettazione antisismica sono stati estesi a tutte le nuove costruzioni (con poche eccezioni locali), determinando anche la diffusione di un nuovo tipo costruttivo che impiega pareti in calcestruzzo armato come elemento portante principale sia nei confronti delle azioni sismiche sia di quelle statiche.

L'indagine sulle strutture orizzontali tipicamente presenti sul territorio italiano ha permesso di suddividerle in base ai materiali strutturali principali, ossia legno, acciaio, muratura per strutture

voltate e calcestruzzo armato. La loro diffusione, come per le strutture verticali, è stata determinata sulla base dell'evoluzione tecnica del settore.

Le strutture in legno sono quelle più antiche ed ancora utilizzate; sono tipicamente composte da un'orditura portante principale (travi e travetti lignei, in funzione dei carichi e delle luci di progetto) e da una chiusura orizzontale realizzata in assito o pannelle di cotto. Questi solai hanno una massa ridotta, gravando poco sui sistemi portanti verticali ma, allo stesso tempo, sono molto deformabili e difficilmente riescono a garantire una omogenea trasmissione delle forze orizzontali alle strutture verticali.



Fig. 1. Principali soluzioni costruttive dell'edificato storico italiano; in senso orario: murature in pietra irregolare, muratura in laterizio, volte in pietra, volte in laterizio, solai in legno, solai a travi in acciaio e voltine, fondazioni in pietra e fondazioni in laterizio – © 2021, G. Predari.

Gli orizzontamenti voltati rappresentano un altro tipo diffuso prevalentemente nel passato che, a differenza del legno, è divenuta quasi inutilizzata in tempi recenti. I materiali impiegati per la loro realizzazione erano il mattone o la pietra, secondo differenti apparecchiature e conformazioni. I solai in acciaio hanno visto una rapida diffusione a partire dalla seconda metà dell'800 e fino alla seconda metà del '900. Presentano caratteristiche simili a quelle dei solai in legno, evidenziando una notevole flessibilità e massa ridotta. Gli elementi principali in ferro o acciaio sono accoppiati ad elementi in laterizio che possono essere disposti a voltine (mattoni pieni) oppure semplicemente appoggiati (tavelloni o volterrane).

I solai che impiegano il calcestruzzo armato come materiale portante rappresentano la tipologia più ricca di varianti costruttive. A partire dai primi anni del '900, vista la facilità di esecuzione ed il costo estremamente ridotto di messa in opera, questa soluzione ha sostituito quasi interamente gli altri tipi di solai. Nel corso del tempo sono state perfezionate diverse soluzioni: solette monolitiche e nervate, travetti gettati in opera, travetti prefabbricati. Il loro comportamento strutturale dipende quindi dal tipo impiegato ma, in generale, si può affermare che i solai appartenenti a questa categoria sono caratterizzati da una minore deformabilità e, in presenza di una soletta armata di almeno 4 cm di spessore, dalla capacità di garantire un piano rigido.

Le strutture di fondazione sono il componente strutturale di più difficile rilevazione, la cui configurazione è spesso dedotta dal sistema di elevazione e dalla tipologia di terreno su cui sono realizzate. Tipicamente agli edifici storici in muratura sono associate fondazioni continue (in mattoni e pietra) poco profonde, il cui allargamento ed approfondimento rispetto al piano di campagna dipende dal tipo di suolo su cui si attestano. In epoca più recente sono stati poi introdotti sistemi basati sull'utilizzo del calcestruzzo armato. Tali opere hanno sostituito interamente la muratura e sono oggi impiegate a prescindere dalla soluzione strutturale scelta per l'elevazione. I sistemi superficiali più diffusi sono i plinti, le travi rovesce e le platee; quelli profondi sono pali e micropali, per lo più in terreni con scarsa capacità portante.

3. Croazia

Nonostante una lunga storia di ricerca e sviluppo nel campo dell'ingegneria sismica, il cui inizio può essere fatto risalire alla seconda metà del XIX secolo, il concetto di valutazione della vulnerabilità strutturale è abbastanza recente in Croazia [15].

È necessario considerare il contesto storico del Paese, compresa la derivazione di una parte significativa di esso dall'ex Jugoslavia, per poter comprendere appieno le caratteristiche del patrimonio costruito croato. Circa un terzo di tutte le unità residenziali attualmente presenti in Croazia è stato costruito prima dell'introduzione di normative antisismiche [16]; gli edifici in muratura sono abbastanza diffusi e costituiscono una grande percentuale del patrimonio edilizio esistente, ma nel corso del Novecento si è verificata un'inversione di tendenza: il calcestruzzo armato è diventato il materiale di prevalente utilizzo.

Una base di partenza per la ricognizione delle tecniche costruttive prevalenti nel Paese proviene dal progetto SERA Horizon 2020, orientato al miglioramento dei modelli di esposizione sismica in Europa. Nell'ambito di questo progetto sono state identificate quattro tipologie principali di strutturazione per gli edifici residenziali: struttura a pareti in cemento armato (stimata circa 1% del totale degli edifici), sistemi a telaio in cemento armato tamponati (23%), muratura ordinaria (45%) e sistemi in muratura confinata (31%). Si conferma quindi la muratura portante come sistema costruttivo prevalente, anche se con percentuali più basse rispetto a quelle italiane, dato forse attribuibile al minor numero di edifici storici rispetto a quelli recenti o ricostruiti.

Studi eseguiti sul territorio [15, 17] hanno poi definito sette periodi storici, identificando per ogni intervallo le caratteristiche costruttive ed i materiali più utilizzati. Il primo periodo considera gli anni precedenti al 1940, quando gli edifici erano realizzati con tecniche e materiali tipici della tradizione, come ad esempio la muratura ordinaria. I solai erano generalmente lignei fino ai primi anni del '900, quando solette nervate in calcestruzzo armato hanno iniziato a diffondersi. Il secondo periodo è identificato dall'intervallo temporale 1941-1970, che vede una prima diffusione del calcestruzzo armato affiancato ad elementi leggeri non portanti. Durante il periodo dal 1971 al 1980, le strutture in conglomerato cementizio armato diventano sempre più leggere, fino alla realizzazione di setti aventi spessore pari a 16 cm. Dal 1981 al 1987 iniziano a diffondersi anche altri sistemi costruttivi come la muratura armata, l'acciaio e le strutture in legno laminato che diventeranno preponderanti nel periodo 1988-2005. Il triennio 2006-2009 è una breve parentesi che segna un ritorno alla tradizione del calcestruzzo armato, prima di giungere all'ultimo periodo

identificato, 2010-oggi, contraddistinto da un utilizzo indistinto di tutte le tecniche costruttive. Se assumiamo che gli edifici appartenenti ai centri storici siano stati costruiti generalmente entro la metà del Novecento (ed eventualmente poi modificati), troviamo forti corrispondenze con i tipi strutturali già individuati sul territorio italiano, che impiegano principalmente muratura portante e solai lignei. Le strutture verticali in muratura presenti sul territorio croato e rilevate nell'ambito del progetto ADRISEISMIC appaiono piuttosto simili a quelle italiane. Sostanzialmente i tipi murari sono i medesimi, ad eccezione delle murature in tufo, probabilmente per la mancanza del materiale stesso. La pietra prevalentemente utilizzata è il calcare.

La tessitura dei paramenti dipende dalla disponibilità di materiale e, di conseguenza, è possibile catalogarla per aree geografiche: la muratura dell'area centro-meridionale è caratterizzata da una posa irregolare, le pietre tagliate ed i mattoni sono invece tipici soprattutto della Croazia continentale. I muri storici, indipendentemente dalla zona, sono realizzati prevalentemente a sacco ed arrivano a misurare fino a 120 cm di spessore. Una particolarità dell'area è che la muratura in mattoni pieni risale all'inizio del '900 e, conseguentemente, equivale ai tipi costruttivi moderni. In precedenza, l'unico materiale impiegato per le murature era la pietra.

Le strutture verticali in calcestruzzo armato hanno iniziato a diffondersi in Croazia già a partire dal XIX secolo, con i primi esempi rilevati che risalgono al 1850. L'adozione di sistemi basati su setti in calcestruzzo e su elementi prefabbricati anticipa quella italiana di almeno un decennio. A livello costruttivo, solo l'utilizzo di tamponamenti leggeri nelle strutture intelaiate si è diffuso con qualche anno di ritardo rispetto al caso italiano.

Le indagini condotte su solai e coperture hanno evidenziato come il legno sia stato il materiale storico più utilizzato. Le tecniche costruttive sono molto simili a quelle italiane, con una corrispondenza sia per quanto riguarda i periodi di costruzione sia per le dimensioni degli elementi principali. Gli orizzontamenti voltati in laterizio sono tipici della Croazia continentale, dove è presente l'argilla. Nel resto del paese la soluzione era contraddistinta dall'utilizzo di blocchi in pietra. I solai in latero-cemento e in calcestruzzo armato sono realizzati con soluzioni analoghe a quelle già illustrate, ma mediamente coprono luci maggiori rispetto a quelle presenti tipicamente in Italia. Anche le tecniche costruttive adottate in Croazia per le strutture di fondazione corrispondono a quelle già elencate nel paragrafo precedente.

4. Albania

L'Albania ha una storia molto antica, che abbraccia migliaia di anni e vede l'occupazione di diversi imperi, come l'illirico, il bizantino e l'ottomano; il risultato è la ricchezza di influenze e contaminazioni di cui è ricca l'architettura locale. Il Paese ha un patrimonio culturale rilevante, ma ha sofferto per un lungo periodo di isolamento tra il 1950 e il 1990, durante il quale si è assistito al rallentamento dello sviluppo economico e all'aumento della povertà, aspetti che hanno oscurato le questioni legate alla tutela del costruito storico. Più recentemente, la sensibilizzazione sul ruolo della conservazione, del restauro e del recupero del patrimonio culturale hanno avuto esiti più che positivi [18].

Gli edifici tradizionali in muratura costituiscono la maggior parte del patrimonio edilizio attuale, come in molti altri paesi europei. Queste costruzioni, estremamente diffuse, sono state progettate

per resistere ai soli carichi verticali; situazione che è mutata solo a partire dall'entrata in vigore del codice sismico, nel 1989.

Nell'ambito del progetto, la ricerca è stata focalizzata sulla città di Gjirokastra, un piccolo centro nel sud dell'Albania che ha forti peculiarità rispetto al territorio nazionale. La città vecchia è stata inclusa nel 2005 nella World Heritage List, ed è conosciuta come "la città di pietra" per l'impiego diffuso di pietra calcarea di colore argenteo, impiegata per la pavimentazione delle strade, i muri e le coperture dei tetti, che conferisce alla città il suo aspetto caratteristico.

Nel dicembre 2018, durante il progetto "3D Past – Living & virtual visiting European World Heritage", finanziato dall'European Program Creative Europe, studenti italiani e albanesi hanno partecipato ad un workshop a Gjirokastra per comprendere le componenti materiali e immateriali del patrimonio vernacolare della città [19]. I dati pubblicati forniscono una base di conoscenza per le soluzioni costruttive utilizzate a Gjirokastra.

La densità urbana è relativamente bassa e caratterizzata dalla presenza di case-torri e di aggregati edilizi. L'uniformità dei materiali da costruzione (in particolare la pietra locale), degli schemi volumetrici e dell'andamento dei percorsi pubblici, creano un centro storico coeso, riconoscibile e unico. Alcuni interventi urbani, risalenti al periodo socialista, hanno trasformato parte degli spazi pubblici all'interno del tessuto storico, sostituendosi ad edifici storici.

La tecnica costruttiva più diffusa è ovviamente la muratura portante. I setti murari sono prevalentemente realizzati con la pietra calcarea locale sbazzata. Sul perimetro esterno venivano posti i blocchi più grandi e regolari, mentre il nucleo centrale era riempito con ciottoli e materiale di scarto. La malta era composta da calce e sabbia e veniva utilizzata prevalentemente per legare gli elementi esterni. Per ragioni costruttive, venivano predisposti tralicci in legno di rovere o castagno in modo da garantire superfici di appoggio orizzontali ad intervalli regolari di 80 – 120 cm. Questa accortezza permetteva di posare successivi strati di pietra senza perdere l'allineamento nel piano verticale. Il sistema, che è il principale utilizzato nella città di Gjirokastra, è assimilabile ad una muratura a secco, quindi caratterizzata da un'alta vulnerabilità causata da una scarsa connessione tra gli elementi.

I piani superiori, con larghe finestre e involucri di spessore ridotto, erano realizzati utilizzando la tecnica di costruzione denominata *çatma*, che prevedeva una struttura lignea composta da pali verticali e listelli orizzontali a cui venivano inchiodate tavole di legno. Il riempimento era realizzato con materiale di scarto e pietre.

I solai degli edifici storici erano realizzati prevalentemente con orditura e tavolato in legno e potevano arrivare a coprire luci notevoli, fino ad 11 m. Le volte a botte venivano utilizzate per coprire grandi spazi, come gli ingressi, ed erano costituite da blocchi di pietra murati con malta di calce. Gli altri tipi, compresi gli orizzontamenti in latero-cemento, hanno una scarsa diffusione nella città di Gjirokastra.

Le uniche fondazioni rilevate sono quelle continue in pietra, diffuse tra il 1450 ed il 1800.

5. Serbia

Così come per gli altri paesi analizzati, la maggior parte degli edifici che compongono il patrimonio edilizio serbo è stata realizzata prima che entrassero in vigore codici di progettazione per le azioni sismiche.

La pratica costruttiva inerente al patrimonio costruito serbo nelle diverse epoche storiche è stata influenzata dal contesto politico, economico e sociale caratteristico del periodo specifico. Dal momento che molti edifici esistenti nei centri urbani serbi risalgono al XIX secolo, quando la Serbia faceva parte dell'Impero Ottomano, è importante analizzare le tecniche di costruzione tipiche di quel periodo [20]. La pratica costruttiva era allora significativamente influenzata dal modo di costruire turco, con massicce strutture murarie portanti in terra battuta e strutture a telaio in legno con tamponamenti in muratura di terra o mattoni. *Bondruk* è il nome del sistema ligneo in stile turco, che prevedeva un riempimento in mattoni di argilla (*ćerpič*) o paglia ricoperta di intonaco di fango. Così si realizzavano edifici residenziali e pubblici di altezza fino a 3 piani nelle aree urbane e rurali. Un altro tipo di sistema a graticcio (*čatmara*) aveva pareti di paglia intrecciata riempite di fango [21] (Fig. 2).

Dalla seconda rivolta serba nel 1815 fino all'inizio della prima guerra mondiale, con l'istituzione del Principato di Serbia, si assiste alla costruzione di importanti edifici pubblici, inclusi ospedali, istituzioni educative e culturali. Venne limitato l'uso di strutture in legno con tamponamento in terra battuta in città a favore dell'uso di mattoni, che divennero il materiale da costruzione prevalente fino agli anni '40, periodo in cui vennero introdotti anche i solai nervati in cemento armato, pur perdurando l'uso di solai in legno.

Durante la seconda guerra mondiale la Serbia e altri paesi dei Balcani occidentali hanno subito gravi danneggiamenti e molti edifici sono andati distrutti dai bombardamenti. Nel periodo della ricostruzione, la muratura portante si è confermata come la soluzione costruttiva prevalente, e l'uso su larga scala delle costruzioni in cemento armato ha avuto inizio negli anni '50, comprese le prime applicazioni di sistemi costruttivi prefabbricati per l'edilizia abitativa.

Pertanto possiamo evidenziare come vi siano differenze specifiche per quanto riguarda le tecniche di costruzione in muratura, in particolar modo per quanto riguarda il fatto che la muratura in pietra irregolare e a sacco non sia stata impiegata sul territorio, poiché la tradizione costruttiva



Fig. 2. Esempi di tecniche costruttive comuni nella Serbia del XIX secolo: a sinistra, muratura tamponata con struttura in legno in un edificio residenziale a Belgrado; a destra, Istituto per la protezione dei monumenti culturali, di Belgrado – © 2021, S. Brzev.

impiegava prevalentemente strutture lignee. La muratura in mattoni è quindi la tecnica prevalente nella maggior parte degli edifici storici, mentre la muratura in pietra non è comune in Serbia ed è limitata ai beni del patrimonio monumentale.

I solai storicamente più diffusi sono quelli in legno, ma nel XIX secolo si diffusero anche solai con voltine in laterizio e travi in ferro. Il calcestruzzo venne utilizzato per gli orizzontamenti dai primi del '900 con una grande diffusione delle solette nervate. Solo dagli anni '60 hanno iniziato ad essere utilizzati con una certa regolarità solai latero-cementizio e lastre prefabbricate.

Le strutture di fondazione presenti in Serbia sono analoghe a quelle presenti negli altri paesi, sia per tecniche utilizzate, sia per periodo di diffusione.

6. Slovenia

Il paese presenta una elevata esposizione agli eventi sismici, superiore alla maggior parte dei paesi europei. Sulla quasi totalità del territorio sloveno sono attesi terremoti di intensità VII e VIII, riferiti alla scala macrosismica europea (EMS) per un periodo di ritorno di 475 anni. Le aree più a rischio sono quelle attorno alla città di Lubiana, la valle del fiume Soča e nella regione di Brežice. Gran parte del patrimonio edilizio sloveno è stato costruito prima del 1895, anno in cui un sisma di elevata intensità colpì la regione di Lubiana. Da quel momento è stata emanata la prima normativa nazionale al fine di prescrivere adeguate misure per la sicurezza sismica. Questo primo codice si basava principalmente sull'osservazione di come una struttura si danneggia durante un evento sismico; l'ultimo codice emanato a livello nazionale risale al 1981, ed è stato poi sostituito dall'Eurocodice 8 all'inizio del 2008.

Il patrimonio edilizio sloveno è ricco di preziose testimonianze, disseminate nei centri urbani ma anche localmente sul territorio. I materiali da costruzione tradizionali per le strutture verticali sono il calcare e l'ardesia, sostituite dal laterizio nelle parti del paese più ricche di argilla [22]. Le murature in pietra presentano generalmente una disposizione irregolare, con i paramenti realizzati collocando gli elementi più grandi esternamente e lasciando nel nucleo centrale un riempimento povero, composto da fango, calce e materiale di scarto. Le pietre squadrate venivano utilizzate solo raramente, così come i diatoni. Il risultato è quello di un sistema fortemente vulnerabile, costituito da paramenti aventi tessiture irregolari, scarsamente connessi fra loro, mal ammorsati ai solai e con bassa resistenza alle sollecitazioni nel piano.

Tipicamente, nelle città e nei borghi, le case in muratura di pietra sono alte da tre a quattro piani, mentre la loro altezza è limitata a due piani nelle aree rurali. La disposizione strutturale è generalmente adeguata, con una distribuzione delle pareti uniforme in entrambe le direzioni ed elevati spessori murari [23]. Gli edifici in muratura di mattoni hanno visto in Slovenia una forte diffusione nel periodo 1920-1965 [24]; tipicamente presentano quattro o cinque piani fuori terra e costituiscono oggi fino al 30% dell'intero patrimonio abitativo in Slovenia.

Gli orizzontamenti impiegano sia orditure in legno, sia volte e soluzioni in calcestruzzo armato, diffusisi dagli anni '50. Il calcestruzzo è diventato il materiale principale da costruzione dopo la seconda guerra mondiale. Le norme sismiche slovene hanno imposto prima che in Italia rigidi standard ai progettisti, che hanno così iniziato ad utilizzare in modo sistematico strutture in setti portanti in calcestruzzo armato e solai a piastra. Dal 1965, questo è diventato il tipo strutturale

più utilizzato per nuove costruzioni in aree urbane, con una percentuale stimata del 5% dell'intero patrimonio abitativo in Slovenia. I setti si estendono per tutta l'altezza dell'edificio, da 5 a 12 piani fuori terra, e hanno solitamente spessori variabili di 15-30 cm. Le strutture portanti sono spesso bidirezionali, assicurando una buona resistenza alle azioni orizzontali ed una vulnerabilità sismica limitata. Dalle analisi condotte è risultato che i telai in calcestruzzo con pareti di tamponamento in blocchi non portanti sono molto rari in Slovenia; dato che è in controtendenza rispetto a tutte le altre realtà analizzate (Fig. 3).

I sistemi fondali più utilizzati nell'edilizia storica sono quelli composti da pietra irregolare, solitamente disposti fino alla profondità di 120 cm. Tra la fine del 1800 e l'inizio del 1900 hanno iniziato a diffondersi soluzioni che prevedevano l'utilizzo del calcestruzzo debolmente armato. L'analisi condotta ha mostrato un utilizzo molto raro delle fondazioni profonde; la quasi totalità degli edifici, anche quelli aventi altezze notevoli, poggia su strutture superficiali.

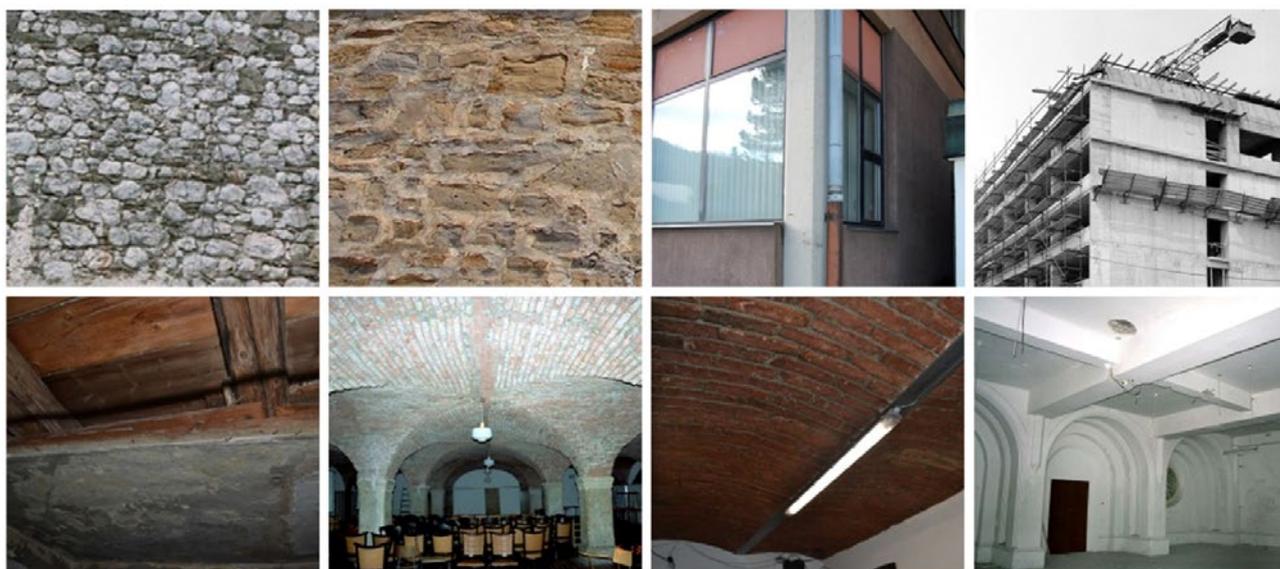


Fig. 3. Principali soluzioni costruttive dell'edificato storico sloveno; in senso orario: muraure in pietra irregolare, muratura in pietra squadrata, telaio in calcestruzzo armato, pareti in calcestruzzo armato, solai in legno, volte in laterizio, solai a travi in acciaio e voltine, soletta nervata in calcestruzzo armato – © 2021, M. Lutman.

7. Grecia

Come è noto, la Grecia è la regione sismicamente più attiva del territorio Europeo e sesta su scala globale [25]. Nonostante la sensibilità verso la resistenza al sisma degli edifici fosse presente nella prassi costruttiva locale già dall'antichità, norme sismiche stringenti sono state emanate solo a partire dal 1959, poi integrate da un decreto nel 1985. Dal 1995 si sono susseguiti diversi codici di nuova generazione, arrivando ad includere le disposizioni dell'European pre-Standard – ENV. Ai fini dello studio condotto, la ricchezza storico-culturale del paese ha reso l'analisi delle caratteristiche costruttive estremamente complessa, dato l'elevato numero di soluzioni e materiali utilizzati nel corso del tempo. Trascurando le costruzioni monumentali, sempre realizzate in pietra,

il materiale da costruzione più utilizzato nell'edilizia abitativa era quello più facile da trovare e lavorare. Pietra, mattoni, legno, paglia, marmo, ceramica, calce, vetro, canne, sabbia, argilla sono i materiali che si trovano maggiormente in Grecia e, in generale, nell'architettura mediterranea. Gran parte dell'edilizia tradizionale, sia nelle aree rurali che urbane, è stata costruita con terra cruda, perché i terreni ricchi di argilla erano abbondanti ed economici; era poi usuale l'inserimento di telai lignei adottati come soluzione per migliorare la risposta sismica delle strutture. Solo in epoca minoica (2600-1100 a.c.) iniziarono ad essere utilizzate anche murature composte da blocchi *adobe*, pratica che interessò anche la realizzazione di edifici pubblici, templi e fortezze. Gli *adobe* erano realizzati in stampi di legno con una miscela di terriccio, fango, paglia, sabbia e acqua che veniva poi lasciata ad essiccare all'aria. Le loro dimensioni tipiche dipendono fortemente dalla zona geografica di provenienza: sono stati osservati blocchi di 35 x 28 x 7,5 cm fino ad arrivare a 52 x 52 x 8,5 cm. Spesso, la struttura in *adobe* era rinforzata con travi di legno disposte all'interno dei muri, assicurando collegamenti efficaci tra gli elementi e creando una sorta di cordolo perimetrale. Questo cordolo (*xilodesi*) era ripetuto per ogni metro di altezza. Il sistema garantiva una buona resistenza della struttura nei confronti delle azioni orizzontali, migliorando la connessione tra le parti. La combinazione di legno e *adobe* (o terra e paglia) veniva utilizzata anche con altre tecniche costruttive. Un esempio è il cosiddetto *tsatmas* (metodo di costruzione analogo al *wattle and daub*), un sistema di pareti con una struttura lignea intelaiata [26] (Fig. 4). Le costruzioni in terra sono diffuse omogeneamente su tutto il territorio greco, anche se molti esempi sono andati persi nel corso degli anni per la deperibilità del materiale. Gli edifici tradizionali in mattoni *adobe* (tipicamente ad uno o due piani fuori terra) sono stati adattati alle nuove esigenze architettoniche che via via si sono presentate, almeno fino alla metà del secolo scorso. Nelle zone di pianura, dove la pietra era scarsa, sono presenti esclusivamente strutture in *adobe* con fondazioni in pietra; nelle zone semi-montane la percentuale di muratura in pietra aumenta e l'uso dell'*adobe* è solitamente limitato ai piani superiori o, addirittura, a piccole parti della struttura portante.

Diffusa è la muratura in pietra irregolare, spesso derivante da materiale di recupero. Le strutture hanno una risposta alle azioni orizzontali modesta, non riuscendo a sviluppare totalmente la capacità degli elementi costituenti a causa delle connessioni scarsamente efficaci. La muratura in laterizio è utilizzata meno di frequente e gli esempi rilevati sono solitamente di epoca recente (XIX e XX secolo).

Le strutture portanti in calcestruzzo, diffuse a partire dal '900, sono divenute il tipo prevalente a livello nazionale, presumibilmente a causa della frequente sostituzione edilizia a seguito di forti eventi sismici. Solitamente queste strutture sono caratterizzate da una buona qualità costruttiva, con dettagli tecnici adeguati alle sollecitazioni di progetto. Ciò è sicuramente dovuto all'utilizzo di norme sismiche già a partire dalla fine degli anni '50 che hanno reso obbligatorio, dal 1984, l'impiego di setti in calcestruzzo. Le strutture meno recenti presentano invece alcune vulnerabilità specifiche dovute ad una differente concezione progettuale, come la presenza di piani *pilotis* ed elementi costruttivi scarsamente armati.

Le strutture orizzontali portanti e le fondazioni rilevate sono le stesse identificate per il territorio italiano. L'unica differenza risiede nel mancato impiego di solai con travi metalliche e voltine in laterizio, causa attribuibile alla scarsità d'impiego di quest'ultimo.



Fig. 4. Esempi di tecniche costruttive greche che impiegano terra e legno – © 2020, A. Mousourakis.

8. Risultati della catalogazione

Nonostante il patrimonio edilizio dei centri storici definisca un tessuto eterogeneo, con edifici realizzati impiegando differenti materiali strutturali, che sono stati trasformati nel tempo, a volte demoliti e successivamente ricostruiti od ampliati orizzontalmente e/o verticalmente, la catalogazione proposta ha permesso di rilevare una sostanziale uniformità delle tecniche costruttive nelle aree indagate, appartenenti ad un'ampia porzione di territorio che vive delle proprie tradizioni culturali, ma che mostra peculiarità materiali e costruttive simili.

La ricognizione ha evidenziato come l'Italia sia il paese nel quale sono presenti il maggior numero di tecniche costruttive, forse anche grazie ad un maggior numero di studi in questo ambito, seguita da Grecia e Slovenia. La rilevazione condotta sull'Albania, limitata alla sola Gjirokastra, non costituisce un campione sufficiente per una generalizzazione dei risultati all'intera nazione, dati anche i particolari vincoli di tutela del contesto, ma fornisce comunque spunti interessanti ai fini della ricerca condotta.

Le strutture portanti in muratura confermano il dato appena evidenziato: nonostante la limitazione legata alla complessità di restringere la mappatura ad un numero controllabile di soluzioni, in Italia sono state registrate ben 14 differenti soluzioni con uno scarto poco rilevante rispetto alla Slovenia, alla Grecia ed alla Croazia (rispettivamente con 13, 13 e 12). Sul territorio serbo sono presenti solo 6 tipi, dato singolare rispetto a quello evidenziato negli altri paesi e legato alla pressoché totale assenza di murature in pietra (Tab. 1).

Paese	<i>n. strutture portanti verticali in muratura</i>	<i>n. strutture portanti verticali in calcestruzzo</i>	<i>n. strutture orizzontali</i>	<i>n. strutture di fondazioni</i>
Italia	14	5	11	11
Croazia	12	5	11	11
Albania	2	0	1	1
Serbia	6	5	9	11
Slovenia	13	5	9	11
Grecia	13	5	10	11

Tab. 1. Riepilogo delle caratteristiche costruttive raccolte.

Le altre macro-categorie hanno evidenziato numeri identici sia per le strutture di fondazione sia per le strutture verticali in calcestruzzo armato. In merito agli orizzontamenti, si evidenzia una maggiore numerosità in Italia e Croazia (11 differenti soluzioni), rispetto agli altri paesi. Nello specifico in Serbia e Slovenia sono state rilevati 9 differenti tipi mentre in Grecia sono 10. Di seguito si riporta un grafico ove sono rappresentate le 3 principali soluzioni costruttive in muratura, in cui sono posti a confronto, per i vari paesi, le epoche di diffusione prevalente e gli spessori caratteristici (Fig. 5). Questi rappresentano i parametri rilevati con maggiore eterogeneità tra i paesi, mentre i dati inerenti a materiali costituenti, tessitura e connessioni sostanzialmente coincidono.

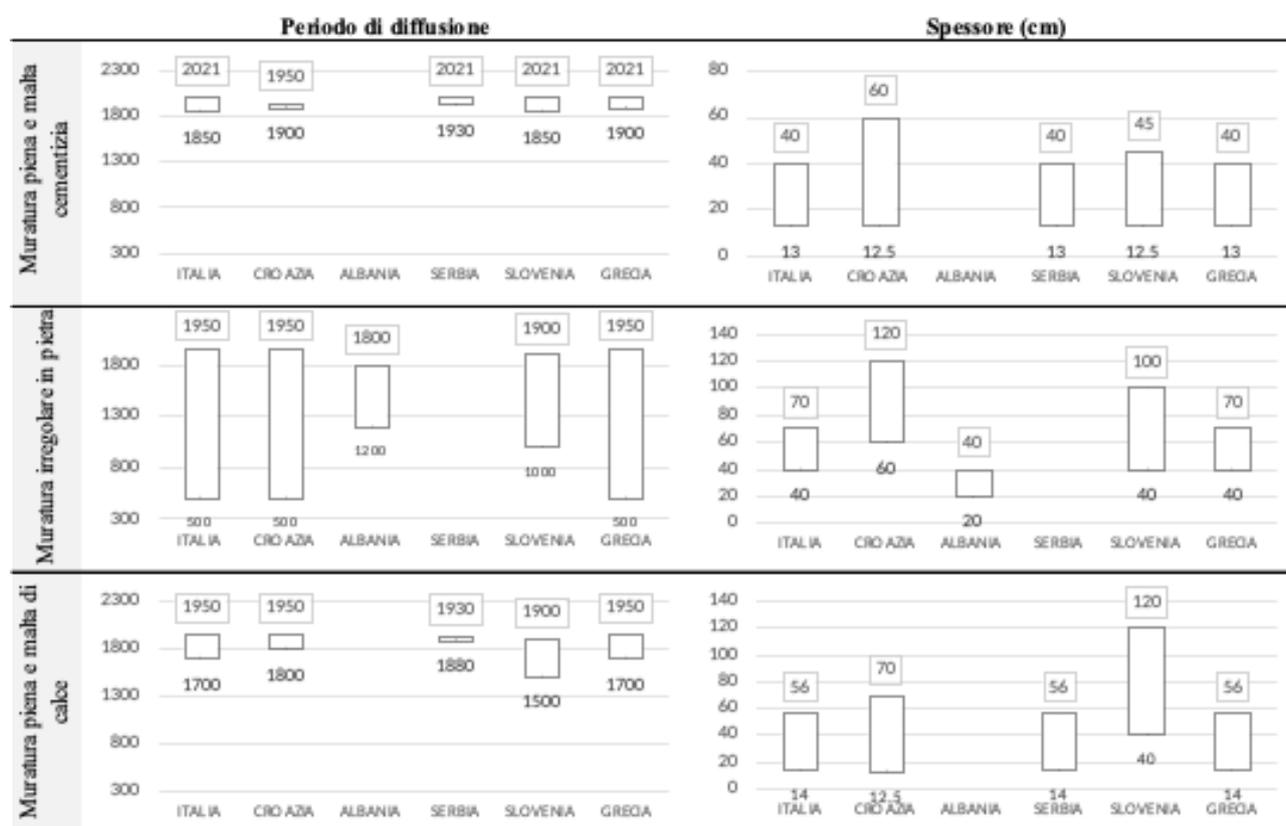


Fig. 5. (Periodo di diffusione e spessore delle principali murature portanti) – © 2021, risultati del progetto.

9. Conclusioni

Lo studio condotto sull'area Adriatico-Ionica nell'ambito del progetto ADRISEISMIC ha permesso di compiere una ricognizione delle principali tecniche costruttive diffuse nei paesi partner, includendo sia quelle tradizionali, sia quelle recenti. L'analisi è stata focalizzata sui centri storici, specchio delle trasformazioni urbanistiche e culturali di un territorio.

Assumendo che gli edifici presenti nei tessuti storici dei centri urbani siano stati costruiti generalmente entro la metà del Novecento, lo studio ha mostrato, in questo periodo, una tendenza generale analoga nell'evoluzione delle soluzioni costruttive impiegate. Fino alla fine del XIX secolo, in tutti i paesi, la muratura era il materiale maggiormente impiegato per le strutture verticali

portanti, sostituito via via dal calcestruzzo armato. Anche gli orizzontamenti hanno seguito un percorso simile: dall'uso frequente del legno negli edifici tradizionali (materiale facilmente reperibile in tutti i contesti), all'impiego di elementi prefabbricati e gettati in opera in calcestruzzo armato. Le differenze principali non risiedono quindi nelle macro-categorie, bensì nelle specifiche peculiarità tecniche adottate, frutto delle diverse culture, dei materiali disponibili localmente e delle loro diverse combinazioni.

In epoca recente, la cultura tecnica sempre più globalizzata, oltre che la maggiore facilità nel reperimento di calcestruzzo e acciaio, hanno portato ad un'edilizia maggiormente condivisa dal punto di vista delle tecniche costruttive, eliminando molte delle specificità locali che avevano caratterizzato l'evoluzione costruttiva di un determinato paese.

Lo studio evidenzia quindi una base comune a tutti i paesi sottoposti ad analisi. Le vulnerabilità strutturali dell'edilizia tradizionale, dovute principalmente ad una mancanza di scatolarità, all'assenza di corrette connessioni fra elementi costruttivi ed a materiali non sempre adeguati alle sollecitazioni esterne, accomunano tutte le soluzioni costruttive indagate. Anche le tecniche in calcestruzzo armato più recenti evidenziano criticità comuni, dalla presenza di piani soffici, alla scarsa armatura degli elementi portanti.

Ciò consente di arricchire ulteriormente la catalogazione, andando a sintetizzare i dati relativi alle singole macro-categorie in un ulteriore tipo di classificazione: l'abbinamento sistematico delle tecniche costruttive elencate permette l'identificazione di tipi strutturali ricorrenti per i contesti in esame, che definiscono:

- edificio antico in muratura (con strutture verticali in muratura di mattoni o pietra a seconda del territorio, orizzontamenti voltati o piani a travi in legno o in ferro, non efficacemente raccordati alle pareti e privi di tiranti);
- edificio antico in muratura con presidi antisismici (con strutture verticali in muratura di mattoni o pietra a seconda del territorio, orizzontamenti voltati o piani a travi in legno o in ferro, non efficacemente raccordati alle pareti ma dotati di tiranti);
- edificio in muratura pre-moderno (con strutture verticali in muratura e orizzontamenti non efficacemente raccordati alle pareti e privi di cordoli ad ogni piano);
- edificio in muratura moderno (con strutture verticali in muratura e orizzontamenti efficacemente raccordati alle pareti con cordoli ad ogni piano);
- edificio in calcestruzzo armato realizzato prima dell'entrata in vigore della normativa sismica (struttura atta a sopportare solo carichi verticali, con telai unidirezionali, tamponamenti in elementi pesanti);
- edificio in calcestruzzo armato recente (struttura atta a sopportare solo carichi verticali, con telai unidirezionali, tamponamenti in elementi leggeri);
- edificio in calcestruzzo armato attuale (struttura progettata secondo le norme sismiche, con telai in entrambe le direzioni e tamponamenti leggeri).

Nonostante una diversificazione temporale nella diffusione delle tecniche, la definizione dei suddetti tipi strutturali permette una più rapida identificazione delle caratteristiche costruttive del patrimonio costruito, grazie alla ricorrenza delle soluzioni tipiche. Queste, comuni per i contesti analizzati, permettono di asserire che anche le carenze in termini di comportamento strutturale sotto azione sismica saranno ricorrenti. Pertanto è possibile abbinare a questa catalogazione

l'applicazione di metodi speditivi di valutazione della vulnerabilità sismica a grande scala, che permettano di evidenziare delle gerarchie di danneggiamento delle unità strutturali nel tessuto storico.

Tali metodi speditivi sono solo parzialmente disponibili attualmente nei contesti indagati; le attività in corso nel progetto ADRISEISMIC prevedono quindi la messa a punto di una procedura comune di indagine che, sottoposta a validazione, sta portando a risultati molto soddisfacenti

Ringraziamenti

Questo lavoro di ricerca è stato sviluppato nell'ambito del progetto ADRISEISMIC e ha ricevuto finanziamenti dal programma di cooperazione territoriale Interreg Adrion nell'ambito del contratto n. 1019. I contenuti riflettono solo il punto di vista degli autori e l'Unione Europea non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni ivi contenute.

Gli autori ringraziano Svetlana Brzev, Borko Bulajić, Marko Marinković, Jovana Borozan, Olga Đurić-Perić (RDA Backa), Marijana Mišerda Bajić, Mili Jerčić (City of Kaštela, CRO) and Marjana Lutman (ZAG) per la collaborazione alla ricognizione nei propri paesi.

Riferimenti bibliografici

- [1] Giuffrè A. Sicurezza e conservazione dei centri storici in area sismica. Il caso Ortigia. Laterza, Bari, 1993.
- [2] Giuffrè A, Carrocci C. Codice di Pratica per la sicurezza e la conservazione dei Sassi di Matera. Edizioni La Bauta, Matera, 1997.
- [3] Giuffrè A, Carrocci C. Codice di Pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo. Laterza, Bari, 1999.
- [4] Giovannetti F. Manuale del Recupero: Città di Castello. Tipografia del Genio Civile DEI, Roma, 1998.
- [6] Calderoni B, Cordasco E, Lenza P, Pacella G. Considerazioni sui danni agli edifici in muratura del centro storico de L'Aquila. L'Università e la ricerca per l'Abruzzo. Il patrimonio culturale dopo il terremoto del 6 Aprile 2009. Textus: 360-367, 2011.
- [7] Borri A, De Maria A. Il metodo IQM per la stima delle caratteristiche meccaniche delle murature: allineamento alla circolare n. 7/2019. Ascoli Piceno, 2019.
- [8] Binda L. Caratterizzazione delle murature in pietra e mattoni ai fini dell'individuazione di opportune tecniche di riparazione. CNR-GNDT, Roma, 2000.
- [9] Calderoni B, Cordasco E, Sandoli A. Una classificazione tipologica strutturale degli edifici esistenti in muratura ed in c.a. finalizzata alla valutazione della vulnerabilità sismica su scala territoriale. IUSS Press, Pavia, 2000.
- [10] Manfredi G, et al. Valutazione degli edifici esistenti in cemento armato. IUSS Press, Pavia, 2007.
- [11] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Norme tecniche per le costruzioni. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Roma, 2018.
- [12] European Committee for Standardization (CEN), EN 1998-1. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. Brussels, 2004.

- [13] Mochi G, Predari G. La vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi. Una proposta per il costruito storico. Edicomedizioni, Monfalcone, 2016.
- [14] Zuccaro G. Modello di caratterizzazione tipologica a scala nazionale. Servizio Sismico Nazionale, Roma, 2002.
- [15] Pavic G, Hadzima-Nyarko M, Bulajic B, Jurkovic Z. Development of Seismic Vulnerability and Exposure Models – A case study of Croatia. Sustainability 12, 2020.
- [16] Novak MS, et al. Seismic risk reduction in Croatia: mitigating the challenges and grasping the opportunities. Zagreb: 71-109, 2019.
- [17] Kalman Sipos T, Hadzima-Nyarko M. Seismic Risk of Croatian Cities Based on Building's Vulnerability. Technical Gazette, Volume 25: 1088-1094, 2018.
- [18] Dollani A, Lelario A, Maiellaro N. Sustaining Cultural and Natural Heritage in Albania. Sustainability, 2016.
- [19] Dipasquale L, Carta M, Galassi S, Merlo A. The vernacular heritage of Gjirokastra (Albania): analysis of urban and constructive features, threats and conservation strategies. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLIV-M-1: 33-40, 2020.
- [20] Radivojevic A, Dukanovic L, Roter-Blagojevic M. From tradition to modernization – building techniques in Serbia during 19th and early 20th century. Leuven, s.n, 2016.
- [21] Jovanovic Popovic M, Stankovic B, Pajkic M. Regional Characteristics Of Individual Housing Units In Serbia From The Aspect Of Applied Building Technologies. Spatium: 39-44, 2014.
- [22] Tomažević M, Lutman M. Heritage Masonry Buildings in Urban Settlements and the Requirements of Eurocodes: Experience of Slovenia. International Journal of Architectural Heritage: 108-130, 2007.
- [23] Lutman M, Tomažević M. Rubble-stone masonry house. Encyclopedia of housing construction types in seismically-prone areas of the world: available draft reports, 2002.
- [24] Lutman M, Tomažević M. Unreinforced brick masonry apartment building. Encyclopedia of housing construction types in seismically-prone areas of the world: available draft reports, 2002.
- [25] Tsapanos TM, Burton PW. Seismic hazard evaluation for specific seismic regions of the world. Tectonophysics: 153-169, 1991.
- [26] Mousourakis A, et al. Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and Revaluation. Heritage: 1237-1268, 2020.