

a cura di
Luca Palermo, Assunta Pelliccio

Sin dagli inizi del Novecento, la macchina, in quanto ritrovato tecnologico, ha radicalmente modificato il rapporto dell'essere umano con l'altro da sé e con il contesto nel quale esso agisce. L'arte, l'architettura, la letteratura, la cinematografia hanno, sin da subito, intuito ed elaborato gli ingenti cambiamenti derivanti da una tale trasformazione, offrendo nuovi approcci rappresentativi in linea con la sempre più ingombrante presenza della macchina. Il volume intende tracciare un percorso lungo tutto il XX secolo (e oltre) che possa restituire la stratificazione e la complessità della questione, indagando il modo in cui le arti visive e l'architettura con la sua rappresentazione hanno reagito, positivamente o negativamente, all'avvento della macchina. I contributi che lo compongono indagano la tematica in oggetto sotto lenti di ingrandimento diverse, ma complementari: dall'approccio storico-artistico a quello urbanistico-architettonico, dai videogame alla letteratura, dalla cartellonistica pubblicitaria fino al web e all'intelligenza artificiale.

Since the beginning of the twentieth century, the machine, as a technological breakthrough, has radically altered the human being's relationship with the other from himself and with the context in which he acts. Art, architecture, literature, and cinematography have, from the very beginning, sensed and elaborated on the massive changes resulting from such a transformation, offering new representational approaches in line with the machine's increasingly cumbersome presence. This book aims to trace a path throughout the 20th century (and beyond) that can return the layering and complexity of the issue, investigating how the visual arts, architecture and its representation reacted, positively or negatively, to the advent of the machine. The essays investigate the issue under different but complementary lenses: from art-historical to urban-architectural approaches, from video games to literature, from billboards to the Web and artificial intelligence.

VISIONI MECCANICHE. SUPERUOMINI E IPERCITTÀ AL TEMPO DELLA MACCHINA



La scuola di Pitagora

Superuomini e ipercittà al tempo della macchina
Superhumans and hypercities in the time of the machine

**Temi e frontiere
della conoscenza e del progetto**

Themes and frontiers
of knowledge and design

19_2024

TEMI E FRONTIERE DELLA CONOSCENZA E DEL PROGETTO

Direttore scientifico

ORNELLA ZERLENGA, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

Comitato scientifico

MAURIZIO ANGELILLO, Università degli Studi di Salerno, Italia

PILAR CHÍAS NAVARRO, Universidad de Alcalá, Spagna

AGOSTINO DE ROSA, Università IUAV di Venezia, Italia

ANTONELLA DI LUGGO, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Italia

MARIA LINDA FALCIDIENO, Università di Genova, Italia

MARINA FUMO, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Italia

LAURA GARCÍA SÁNCHEZ, Universitat de Barcelona, España

PAOLO GIANDEBIAGGI, Università degli Studi di Parma, Italia

MILENA KICHEKOVA, Varna Free University "Chernorizets Hrabar", Bulgaria

KARIN LEHMANN, Hochschule Bochum, Germania

MARIO LOSASSO, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Italia

RICCARDO SERRAGLIO, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

ALEXANDRA SOTIROPOULOU, National Technical University of Athens (NTUA), Grecia

Coordinamento scientifico-editoriale

VINCENZO CIRILLO, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

DANIELE LUCARIELLO, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

La collana, di carattere multidisciplinare, accoglie volumi che propongono una riflessione critica sull'architettura, sulla città, sull'ambiente (materiale e immateriale) e sull'industrial design, indagandone fonti disciplinari e tendenze culturali con attenzione ai temi della forma, della struttura, dell'innovazione, della rappresentazione e della comunicazione | The book series, of multi-disciplinary nature, includes volumes related to a critical reflection about the architecture, the city, the environment (tangible and intangible), and the industrial design, investigating the disciplinary sources and the cultural trends with regard to the themes of form, structure, innovation, representation and communication.

Sottomissione e referaggio

I volumi pubblicati in questa collana vengono preventivamente esaminati da almeno due membri del Comitato scientifico, i quali valutano se il contributo risponde alle linee di ricerca della Collana, se si basa su un'adeguata analisi bibliografica relativa al tema proposto e se offre una attenta disamina delle fonti e/o delle tendenze in atto rispetto al tema proposto. Superata questa valutazione preliminare, il volume viene sottoposto al criterio internazionale della Double-blind Peer Review ed inviato a due referees anonimi, di cui almeno uno è esterno al Comitato scientifico. I referees, ovvero i docenti e ricercatori afferenti a diverse Università ed Istituti di ricerca italiani e stranieri e di riconosciuta competenza negli specifici ambiti di studio, costituiscono il Comitato di referaggio. L'elenco dei referees anonimi e delle procedure di referaggio è a disposizione degli enti di valutazione scientifica nazionale e internazionale | The volumes published in this series are first examined by at least two members of the Scientific Committee, who evaluate whether the contribution meets the series lines of research, if it is based on an adequate literature review concerning the topic proposed, and if it offers a careful examination about sources and/or trends about the proposed theme. After this preliminary assessment, the volume is subjected to the international criteria of Double-blind Peer Review from two anonymous reviewers, or faculty and researchers from Italian and foreign Universities and Research Institutes, with recognized competence in the specific study fields, constitute the refereeing committee. The list of anonymous reviewers and refereeing procedures is available for the national and international scientific evaluation institutions.

Luca Palermo, Assunta Pelliccio
(a cura di)

Visioni meccaniche
Superuomini e ipercittà al tempo della macchina

Mechanical visions
Superhumans and hypercities in the time of the machine

La scuola di Pitagora editrice

Copertina: Ernesto Jannini, Zattera, 2023, 52,5x 59,5 cm, Fotocolor su alluminio D-Bond. Immagine realizzata con programmi di grafica e ausilio di AI | Cover: *Ernesto Jannini, Zattera, 2023, 52.5x59.5 cm, Fotocolor on D-Bond aluminium. Image created with graphics programmes and AI.*

È assolutamente vietata la riproduzione totale o parziale di questa pubblicazione, così come la sua trasmissione sotto qualsiasi forma e con qualunque mezzo, anche attraverso fotocopie, senza l'autorizzazione scritta dell'editore | The total or partial reproduction of this publication, as well as its transmission in any form and by any means, even though photocopies, without the written permission of the author and the publisher is strictly forbidden.

© 2024 - La scuola di Pitagora editrice
Via Monte di Dio, 14
80132 Napoli
Telefono e Fax +39 081 7646814
www.scuoladipitagora.it
info@scuoladipitagora.it

ISBN 978-88-6542-983-9 (versione PDF Open Access)

Indice

- 7 **Visioni meccaniche**
Luca Palermo, Assunta Pelliccio
- 15 **Macchine urbanistiche del Novecento: le città ideali di Anne Tyng**
Cristina Càndito, Alessandro Meloni
- 39 **"...spenta ogni lampada la sardana si farà infernale..."**
Silvana Errico
- 67 **Le forme parametriche di Sergio Musmeci**
Matteo Ocone
- 93 **Ibridazione architettonica e contaminazioni.
Visioni del Novecento e proposte del XXI secolo per la città**
Duccio Prassoli
- 111 **"Macchine digitali" per la valutazione della vulnerabilità sismica
dei centri storici minori**
Marco Saccucci
- 139 **Attraverso sguardi metallici**
Laura Buzzegoli
- 159 **Trasporti, infrastrutture, industrie, progresso nell'immagine turistica
dell'Italia di inizio Novecento**
Manuela Piscitelli
- 187 **Man, Machine and Motion: una macchina mediale**
Francesco Gariboldi
- 213 **Al tempo dei Macchinantropi. Uomo e macchina nell'immaginario futurista**
Luca Palermo
- 241 **Fictional hyper-cities. Visioni e rappresentazioni
di ipercittà immaginarie nei videogiochi**
Barbara Ansaldi
- 277 **La multi-temporalità e il montaggio delle immagini
Dall'atlante di Warburg ai modelli di intelligenza artificiale**
Virginia Miele
- 299 **We Live in Public: Online Presence and Architectures
of Surveillance in the Era of Hyperconnectivity**
Federico Rudari
- 325 **Un'ombra (e alcune luci) sulla civiltà delle macchine**
Francesca La Rocca



“Macchine digitali” per la valutazione della vulnerabilità sismica dei centri storici minori

Marco Saccucci¹

Introduzione: i centri storici minori

"Gli innumerevoli centri storici minori, adagiati nelle campagne, nelle valli, sulle colline o arroccati sulle montagne, costituiscono 'gemme preziose' del nostro territorio e concorrono in modo determinante a caratterizzare il paesaggio nazionale [...] tali centri costituiscono un valore non tanto come sommatoria dei beni artistici che sono presenti entro le mura, ma soprattutto dal punto di vista della loro unità ed integrità urbanistica, risultanti dalla stratificazione storica dei tessuti e degli spazi, dal valore complessivo della forma urbana, dal rapporto indissolubile con il territorio" (Rolli, 2008). I centri storici minori costituiscono il patrimonio storico, architettonico e culturale di ogni nazione. Nonostante la loro fondamentale importanza nella costituzione dell'identità sociale e culturale, essi non hanno ancora generato la dovuta promozione di politiche strutturate di recupero, tutela e salvaguardia, attuate dalle autorità competenti. La mancanza di una attenzione mirata ha provocato nel tempo una condizione di degrado e abbandono. Il

¹ Università di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di Lettere e Filosofia, m.saccucci@unicas.it

A PAGINA 110:
Fig. 1. Centri storici minori: *Opi – a fusso* (in alto) e *Arpino – pluridirezionale – avvolgente* (in basso).



fenomeno dell'abbandono e i problemi legati all'isolamento dei centri storici minori rappresentano solo una parte del dibattito inerente la potenzialità del recupero di tali centri come valori e risorse per il territorio, in modo che essi abbiano un nuovo ruolo. È necessario tener presente gli aspetti sociali, ambientali ed economici, oltreché urbanistici e architettonici, per il recupero sia dei valori immateriali che fisici dei centri storici (De Bernardinis et al., 2014). Dopo i più recenti eventi sismici che hanno interessato i comuni italiani si è riaperto con vigore il dibattito sulla salvaguardia dei centri storici. Essi devono essere considerati dei 'monumenti ambientali' da tutelare e preservare, data l'originalità della loro composizione urbana. La maggior parte di questi nuclei abitativi sono sorti principalmente in epoca medievale e rinascimentale sulle preesistenze insediative dei popoli che hanno abitato la penisola italiana in epoche più remote. Le caratteristiche altimetriche dei luoghi di insediamento (crinale, contro-crinale, pianura, pedemontana, ecc.) e le esigenze funzionali hanno generato modelli urbanistici ricorrenti, come l'impianto a fuso, avvolgente, pluridirezionale, radiale, osservabili e riconoscibili su tutto il territorio nazionale (Pelliccio et al., 2017) (fig. 1). Dal punto di vista architettonico e strutturale i centri storici minori sono quasi totalmente caratterizzati da edifici realizzati con materiali facilmente reperibili sul luogo di edificazione, generalmente in muratura. Inoltre sono stati soggetti nel tempo a cambiamenti quali ampliamenti, modifiche e interventi che hanno perturbato e modificato in maniera indelebile la configurazione iniziale. Si sono così generati sistemi costruttivi estrema-

A PAGINA 112:

Fig. 1. Centri storici minori:
a) *Opi* – a fuso; b) *Arpino* -
pluridirezionale - avvolgente;
c) *Palombara Sabina*.

mente eterogenei, interconnessi in soluzioni aggregate, implicando significativi elementi di vulnerabilità strutturale. Individuare tali criticità in ottica di valutazione della vulnerabilità sismica su larga scala consente di salvaguardare tali centri, partendo da un processo conoscitivo volto a evidenziare i principali fattori che concorrono alla valutazione del rischio sismico: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione (Sacucci & Pelliccio, 2022).

I più recenti contributi scientifici, di carattere nazionale e internazionale, incentrati sulla valutazione della vulnerabilità sismica dei centri storici su larga scala, hanno sottolineato il ruolo fondamentale dell'indagine conoscitiva dell'edificato esistente e la funzione chiave della rappresentazione di queste realtà edilizie, estremamente eterogenee e complesse. Il rilievo strumentale, basato su tecniche e macchine estremamente avanzate, costituisce uno strumento integrato indispensabile alla conoscenza e valutazione della vulnerabilità, poiché consente di rappresentare e modellare il fenomeno in ambiente digitale e virtuale. La modellazione gioca così un ruolo chiave per l'analisi del rischio sismico e per la configurazione degli interventi da mettere in atto per la prevenzione e gestione dell'emergenza, nonché per la riduzione della vulnerabilità. Da tali premesse l'individuazione delle principali vulnerabilità a cui sono soggetti i centri storici minori in fase preventiva conduce a una riduzione del rischio sismico. Con questa consapevolezza, l'obiettivo del presente lavoro è la definizione e l'analisi delle principali 'macchine integrate per il rilievo' in grado di gestire e rappresentare la molteplicità, l'eterogeneità e la complessità dei dati



necessari alle 'macchine per l'analisi della vulnerabilità' per la definizione del rischio sismico degli edifici in muratura costituenti i centri storici minori, poiché l'eterogeneità costruttiva di tali agglomerati rende l'analisi complessa e basata sulla stretta interrelazione tra il rilievo e l'analisi strutturale (fig. 2).

“Macchine” per il rilievo integrato

I centri storici minori, come già introdotto, rappresentano l'identità culturale del nostro paese ma sono particolarmente vulnerabili perché collocati in aree di maggiore pericolosità sismica, e perché molto eterogenei sia architettonicamente che strutturalmente a causa di importanti modificazioni subite nel corso dei secoli. La riduzione del rischio delle architetture che compongono tali centri, tipicamente in muratura portante, è un'operazione complessa che richiede un livello di conoscenza globale in alcuni casi impossibile da ottenere perché non si è in grado di individuare tutte le trasformazioni subite e i materiali usati per attuarle. È oltremodo complesso poiché nel corso dei secoli spesso le componenti strutturali si sono intersecate trasformando singole unità edilizie in aggregati strutturali con disallineamenti di orizzontamenti interni, disomogeneità nella distribuzione delle masse, superfetazioni, ammorzamenti, singolarità, etc. Il rilievo dunque, preposto allo scopo di fornire un quadro conoscitivo a diver-

IN ALTO:
Fig. 2. “Macchine” per la valutazione della vulnerabilità sismica dei centri storici minori.

si livelli in funzione dell'analisi sismica che si vuole condurre, può seguire due differenti procedure: diretta-speditiva e strumentale-di dettaglio (Docci & Maestri, 1984). Il rilievo diretto, rimasto sostanzialmente invariato nel corso degli anni ma senza per questo aver perso la sua validità negli ambiti in cui è necessario, utilizza strumenti semplici ed economici. Il rilievo strumentale, basato sull'uso di macchine e tecnologie avanzate è in continua evoluzione poiché è strettamente correlato all'evoluzione del mercato tecnologico e informatico (Bini & Bertocci, 2012). Senza entrare nel merito di procedure ampiamente trattate in letteratura è invece interessante soffermarsi sui metodi strumentali attualmente più utilizzati, sia per economicità che per velocità di esecuzione.

Basata sulla misurazione attraverso la luce, la fotogrammetria digitale è una tecnica che sfrutta l'analisi di una coppia di fotografie stereometriche, ottenute tramite scatti con la camera posta in due posizioni tali da consentire di rilevare forma, posizione e dimensioni dell'oggetto fotografato facendo ricorso alla stereoscopia artificiale. Questa tecnica di rilievo affonda le sue radici nella geometria descrittiva. Le prime applicazioni pratiche dei principi geometrici risalgono al 1849 e al 1858 i primi esempi di fotogrammetria aerea. In quasi 170 anni, per quanto le regole geometriche alla base di questa tecnica non siano mutate, molti passi avanti sono stati fatti nella pratica: da tempo è stata abbandonata la necessità di fare ricorso a camere metriche, grazie all'introduzione del digitale e ad algoritmi informatici in grado di analizzare le fotografie scattate da una macchina digitale. Il più famoso algoritmo di questo

tipo è noto con il nome di *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT), particolarmente utilizzato in Computer Vision (CV) per rilevare e descrivere caratteristiche di un'immagine: nota come “fotogrammetria digitale automatica” è una metodologia che permette di elaborare un modello tridimensionale partendo da fotografie digitali e consente di ottenere una nuvola di punti (*dense cloud point*) in coordinate x, y, z . Si tratta di una tecnologia oggi molto diffusa per realizzare modelli tridimensionali in svariati ambiti: topografia, architettura, ingegneria, archeologia, geologia, medicina, grafica. Come detto in precedenza, le immagini per essere accoppiate stereometricamente devono essere scattate da posizioni precise. Inoltre affinché gli algoritmi di CV siano in grado di individuare le caratteristiche omologhe è necessario che uno stesso oggetto sia inquadrato in più immagini da posizioni diverse.

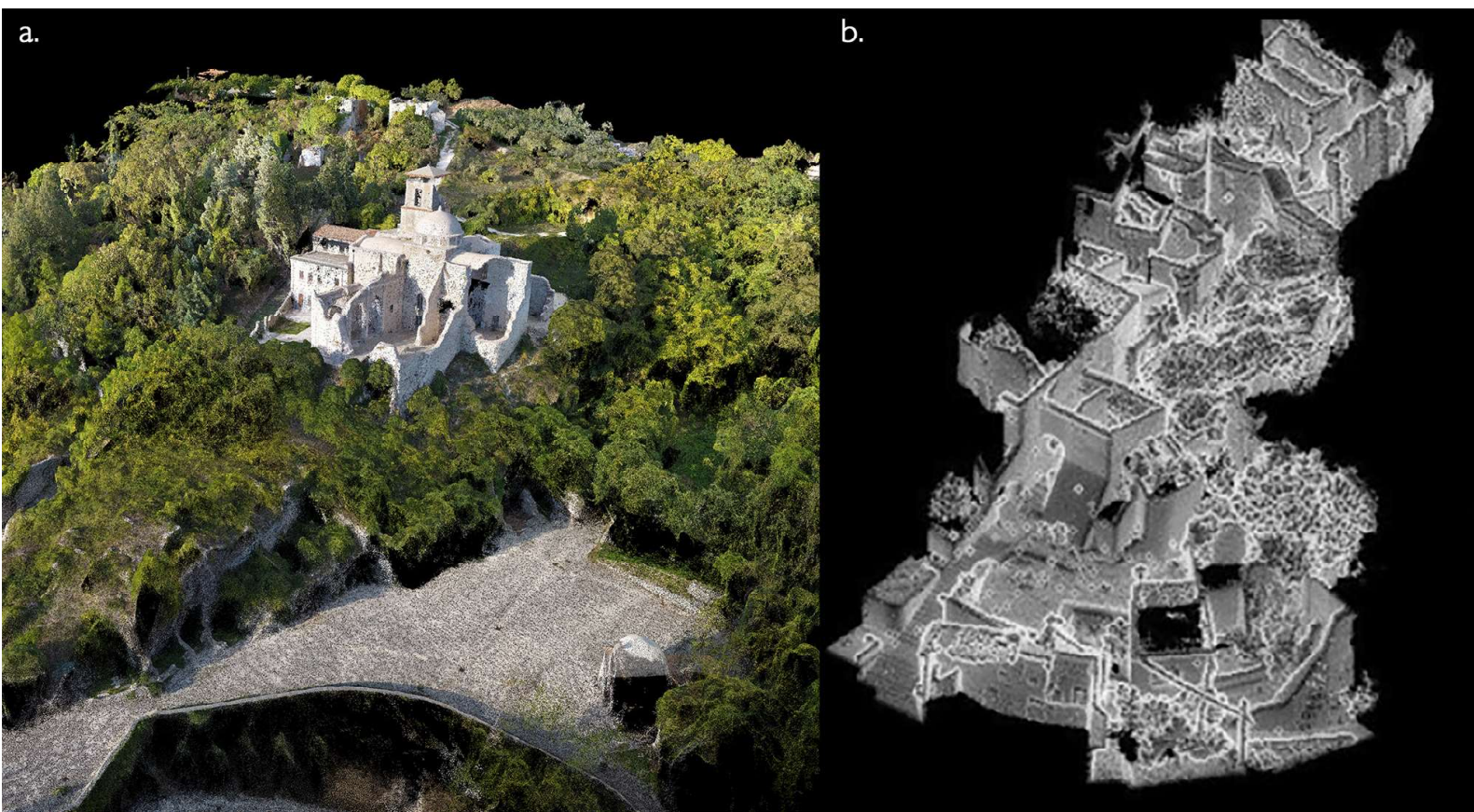
In questo modo l'algoritmo non fa altro che ricostruire la tridimensionalità della scena in base al movimento della camera, secondo una tecnica che da questo assunto prende il nome di *Structure from Motion* (SfM). Tipicamente le foto verticali devono garantire almeno una sovrapposizione del 60% circa tra immagini successive e tra strisciate una sovrapposizione laterale del 20%, con identica scala e possibilmente con identico tono, ovvero simile radiometria dell'immagine (Paris, 2012; Pelliccio & Saccucci, 2020). Questa tecnologia si mostra estremamente vantaggiosa per la conoscenza dei centri storici minori poiché permette di ridurre i tempi di esecuzione di rilievo e dunque un notevole risparmio in termini economici. Inoltre consente di rilevare le zone inaccessibili dagli

operatori ottenendo modelli tridimensionali con elevato livello di dettaglio e di precisione metrica. Oltre alla fotogrammetria digitale, tra le tecniche di rilievo indiretto più sviluppate vi è sicuramente la scansione laser 3D, che rispetto alla precedente è sicuramente più costosa e richiede un elaborato post processing. La tecnologia laser scanner 3D permette di acquisire digitalmente posizione e forma di oggetti, descrivendoli attraverso una nuvola di punti, per ciascuno dei quali viene individuata la posizione spaziale secondo un sistema di coordinate x , y e z , incentrato sulla posizione dello scanner. Lo strumento, generando un impulso laser infrarosso, rileva l'intervallo esistente tra l'emissione del segnale e l'impulso di ritorno. Nota la direzione del raggio nello spazio, rispetto ad un sistema di riferimento relativo, interno allo strumento stesso, è poi possibile posizionare ogni punto rilevato nello spazio georeferenziato per mezzo di punti noti. Allo stesso tempo ad ogni punto viene associato un valore di riflettanza, che dipende dalle caratteristiche dei materiali rilevati ed identificato attraverso un parametro cromatico RGB (Pera et al., 2016). Essendo un segnale luminoso, il laser colpisce la superficie da rilevare secondo l'angolo dettato dal punto di vista, ragione per cui per una completa descrizione dell'oggetto sono necessarie più scansioni. Queste poi vengono unificate per mezzo di una rete di target opportunamente posizionati, a ciascuno dei quali vengono assegnate, attraverso un classico rilievo topografico di precisione, le coordinate riferite al sistema prescelto.

Questa tecnologia presenta numerosi vantaggi, il primo è rappresentato dall'elevato dettaglio

di acquisizione digitale 3D. Il vantaggio competitivo di un rilievo laser rispetto a un tradizionale rilievo topografico o con fotogrammetria è quello di ottenere un'informazione sia geometrica che fotografica per sua natura continua, completa e metricamente rigorosa dell'oggetto. Inoltre il raggio laser ha diversi valori di riflettanza a seconda del tipo di materiale che incontra, questi diversi valori si traducono in una variazione del valore cromatico dei punti acquisiti. Questa tecnologia consente, attraverso l'analisi del modello virtuale, di identificare e studiare l'oggetto sia da un punto di vista topologico che conservativo, avanzando interpretazioni critiche. Consente inoltre di elaborare il modello tridimensionale a varie scale di dettaglio, in base ai tipi di utilizzo e agli obiettivi che si vogliono perseguire. Questa applicazione si rivela particolarmente adatta per il rilievo e la rappresentazione spaziale di manufatti particolarmente complessi o situazioni altrimenti difficilmente documentabili, in ragione della loro complessità o estrema irregolarità, difficilmente raggiungibili o addirittura inaccessibili nonché particolarmente fragili o sensibili al contatto (Trizio et al., 2020).

La tecnologia laser scanner trova un'applicazione molto efficace negli ambiti dell'urbanistica e della riqualificazione urbana, partendo dalla scala territoriale per arrivare ai centri storici. La possibilità di collegare tra loro scansioni diverse in successione, permette la riproduzione di vaste aree di territorio. Tale tecnologia, inoltre, si dimostra particolarmente adatta per il rilievo di fabbricati complessi o di difficile accesso, nonché edifici a carattere monumentale e di pregio storico (Paris, 2010) (fig. 3).



IN ALTO:

Fig. 3. Esempio di “macchine” per il rilievo: fotogrammetrico digitale e rilievo laser scanner 3D: a) fotogrammetria digitale di San Pietro Infine; b) laser scanner 3D di Navelli (Marra et al., 2022).

La conoscenza della complessità e eterogeneità costitutiva dei centri storici richiede un'indagine dei diversi materiali che caratterizzano queste costruzioni. In letteratura sono proposti diversi metodi speditivi per la conoscenza dei parametri meccanici dei materiali che le compongono. Essi si possono ottenere per analogia alle tipologie murarie presenti nella tabella C8.5.I della circolare n. 7 del 2019. In alternativa, per l'identificazione delle caratteristiche meccaniche delle murature, si può ricorrere alla metodologia denominata Indice di Qualità Muraria (IQM) (Borri, 2015), attraverso la quale è possibile risalire a una stima quantitativa dei parametri meccanici sulla base dell'osservazione della muratura, volta alla constatazione del rispetto totale o parziale o l'assoluto

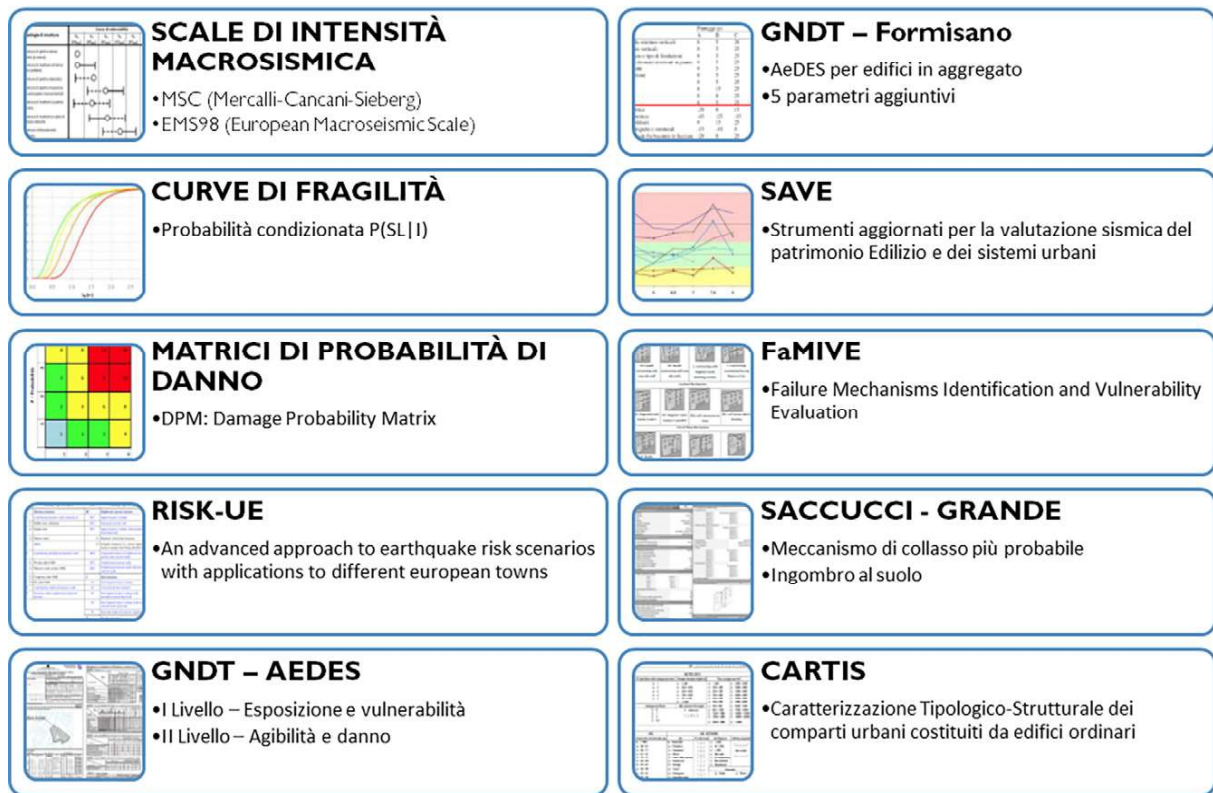
non rispetto della cosiddetta “regola d’arte”. Inoltre, si può anche procedere in analogia con murature simili, ossia quelle murature che presentano le stesse caratteristiche qualitative risalenti a epoche di costruzioni comparabili e soggette agli stessi fenomeni di degrado sulle quali sono state effettuate delle prove diagnostiche. Potrebbe essere utile ricorrere a indagini non distruttive di tipo indiretto (ad esempio prove soniche e sclerometriche), le quali, seppur non forniscano valutazioni dirette dei parametri meccanici, consentono di individuare la presenza di particolari costruttivi e di valutare l’omogeneità delle caratteristiche meccaniche nelle diverse parti della costruzione. Quindi tutte le macchine e le tecnologie finora descritte costituiscono il supporto primordiale allo sviluppo di metodologie per la valutazione della vulnerabilità sismica.

“Macchine” per la valutazione della vulnerabilità sismica

Nel corso degli anni sono state messe a punto numerose procedure per comprendere il comportamento di questi edifici quando sono sollecitati sismicamente. Queste procedure, pensate nella maggior parte dei casi in seguito ad eventi sismici significativi, forniscono una conoscenza generale sull’intero nucleo urbano definendo livelli di vulnerabilità. I dati forniti dal rilievo, secondo le procedure precedentemente trattate, costituiscono la base delle analisi strutturali degli edifici esistenti. È necessario però porre l’attenzione sui metodi empirici, considerate ‘macchine’ per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici. Sia in ambito di ricerca che nella pratica professionale ven-

gono utilizzati i metodi empirici: basati sull'analisi di grandi campioni di costruzioni soggette ad un sisma e sulla base dati di osservazione empirica relativa alle caratteristiche generali delle costruzioni e ai danni registrati a seguito di fenomeni sismici di una data intensità, la maggior parte di questi metodi stabiliscono relazioni tra la tipologia edilizia, l'intensità sismica ed il livello di danneggiamento. Nella fig. 4 sono sintetizzati i più importanti metodi introdotti nell'ultimo secolo.

Le scale di intensità macrosismica rappresentano una delle prime metodologie tuttora ampiamente utilizzate per descrivere gli effetti di danneggiamento provocati dai terremoti. Le scale di intensità macrosismica classificano quindi la severità di un sisma secondo una scala espressa in gradi basata sui danni riscontrati prevalentemente sulle strutture civili. La prima scala macrosismica introdotta nel 1930 è stata la *Mercalli - Cancani - Sieberg* (MCS, 1930). Negli anni successivi furono introdotte numerose altre scale fino alla più recente *European Macroseismic Scale* (EMS, 1992 e 1998) (Grünthal, 1998). La scala EMS 98 individua le classi di vulnerabilità suddividendole in relazione alla tipologia strutturale: edifici in muratura, edifici in cemento armato, edifici in acciaio o in legno. Per ciascuna tipologia strutturale sono individuate delle ulteriori sotto-tipologie in relazione alla tipologia di orizzontamento, per gli edifici in muratura, ed in relazione al grado di progettazione sismica, per gli edifici in cemento armato in modo da individuare la classe di vulnerabilità. L'analisi della vulnerabilità attraverso l'uso della scala EMS 98 consiste quindi nella compilazione di una tabella che va confrontata



con tabelle che riportano percentuali di danno relative a varie tipologie di edifici e la loro corrispondenza con i gradi di intensità sismica. Più recentemente lo studio della vulnerabilità degli edifici è stato affrontato stimando il grado di danno atteso per ogni livello d'intensità sismica. Il modo concettualmente più chiaro di eseguire tale valutazione è la costruzione delle curve di fragilità per il particolare sistema strutturale analizzato. In generale una curva di fragilità rappresenta la probabilità che l'edificio raggiunga un particolare stato limite al variare dell'intensità sismica (Polese, 2002). La curva di probabilità quindi può essere rappresentata con una funzione di probabilità condizionata $P[-SL|I]$ dove $SL|I$ rappresenta il raggiungimento di uno stato limite SL per il valore dell'intensità sismica I (che può essere rappresentata dalla

IN ALTO:
Fig. 4. Metodi di analisi della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti.

PGA, PGV, accelerazione spettrale, etc.). Possono essere costruite due differenti tipologie di curve: il caso in cui l'oggetto di studio è un singolo edificio e il caso in cui si vuole studiare una tipologia edilizia. Nel primo caso è possibile spingersi a livelli di dettaglio molto elevati e ricavare curve di fragilità in modo analitico. Nel secondo caso si studia un edificio 'caratteristico' della tipologia edilizia rappresentato da macro-parametri quali ad esempio la forma, le dimensioni, l'anno di costruzione, il numero di piani, etc. Per tale motivo le curve di fragilità risultano essere il metodo più utilizzato per l'analisi dei centri storici.

Un ulteriore metodo è rappresentato dall'uso delle matrici di probabilità di danno (DPM: *Damage Probability Matrix*). Sono delle matrici generate per categoria di edifici ed esprimono la probabilità che si verifichi un certo livello di danno per ogni intensità sismica (Braga et al., 1982). La valutazione della vulnerabilità strutturale è di tipo quantitativo, tipologico, statistico e diretto. Tipologico poiché valuta il comportamento sismico delle costruzioni attraverso l'analisi di una certa tipologia strutturale. Statistico poiché il risultato è ottenuto attraverso l'elaborazione statistica di dati rilevati dopo eventi sismici. Diretto poiché fornisce il risultato come previsione tra l'intensità del sisma e la probabilità di danneggiamento degli edifici. Ogni elemento della matrice rappresenta la probabilità condizionata che si verifichi il livello di danno D_k data l'intensità I e la classe tipologica T .

Recentemente la comunità europea ha cercato di standardizzare le procedure di valutazione del rischio. Nell'ambito del progetto denomi-

nato ‘Risk-UE’ (Mouroux et al., 2004) intitolato *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*, è stata proposta una metodologia per la riduzione delle perdite provocate dal terremoto e per la generazione di piani d’azione per la mitigazione del rischio sismico. La metodologia si basa su un censimento degli elementi soggetti a rischio e la loro analisi in termini di valore e vulnerabilità, in modo da individuare gli elementi che possano mettere in crisi il funzionamento dell’intero sistema urbano. Sono previsti due livelli di analisi: il primo livello, di tipo ‘macrosismico’ si riferisce alla valutazione per mezzo di un indice di vulnerabilità con il quale, noto l’input sismico, è possibile avere una rappresentazione del danno. Definendo la classe tipologica dell’edificio, è possibile definire l’indice di vulnerabilità legato alla tipologia. L’indice finale di vulnerabilità sarà la somma dell’indice tipologico e di un fattore modificatore di comportamento che tiene conto dell’interazione della costruzione all’interno dell’aggregato, delle caratteristiche costruttive locali, dello stato di manutenzione dell’edificio, etc. Ciò rende il metodo adatto all’analisi dei centri storici minori. Il secondo livello della metodologia è di maggiore dettaglio poiché è necessario avere informazioni migliori per quanto riguarda la geometria, i parametri dinamici e strutturali dell’edificio che consentono lo sviluppo di metodi di capacità e fragilità nell’elaborazione degli scenari di rischio per la stima dei danni e delle perdite legate all’evento. In Italia successivamente al terremoto dell’Irpinia sono state introdotte le schede per il rilievo del danno del costruito ordinario, sviluppa-

te dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) del C.N.R. conosciute come 'Schede G.N.D.T.' basate sulla procedura proposta da Benedetti e Petrini (1984). Esse sono divise in 2 livelli: la scheda di 1° livello è destinata al rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità degli edifici dopo gli eventi sismici. Attraverso la compilazione della scheda per ogni edificio è possibile ottenere delle statistiche relative all'esposizione del patrimonio costruito. All'interno della scheda si trovano sezioni relative alla geometria e dimensione dell'edificio, all'uso e allo stato di manutenzione della struttura e degli impianti. La scheda di 2° livello invece raccoglie fattori di vulnerabilità relativi ad informazioni tipologiche e costruttive e ad aspetti di regolarità strutturale registrati nel rilievo di ogni singolo edificio sulla base di giudizi di esperti. A ogni voce è attribuito un peso nel computo totale e differenti punteggi a seconda delle caratteristiche tipologiche. Attraverso una somma pesata di pesi e punteggi si ottiene un indice di vulnerabilità che definisce la propensione dell'edificio al danneggiamento. (Guagenti & Petrini, 1989). Queste schede costituiscono una procedura di rilievo speditiva che permette un censimento del patrimonio edilizio.

Formisano ha proposto un metodo che semplifica la valutazione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi, condizione tipica dei centri storici. Lo studio propone l'integrazione della scheda di vulnerabilità GNDT per edifici isolati con cinque nuovi parametri rappresentativi della condizione di aggregato. Essi possono incrementare o ridurre la vulnerabilità di un'unità strutturale inserita all'interno di un

blocco di edifici come l'interazione in altezza con gli edifici adiacenti, la posizione planimetrica dell'edificio nell'aggregato, la presenza e il numero di solai sfalsati tra l'edificio oggetto di indagine e quelli adiacenti, la presenza di eterogeneità tipologiche o strutturali fra edifici adiacenti e la differenza fra le percentuali di aperture in facciata tra edifici adiacenti. Ai detti parametri aggiuntivi sono stati attribuiti opportuni pesi e punteggi. Dalle applicazioni risulta che la procedura speditiva fornisce mediamente risultati a vantaggio di sicurezza solo per unità caratterizzate da elevata vulnerabilità (Formisano et al., 2013).

Il progetto SAVE (Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani) ha l'obiettivo di creare un inventario informatizzato delle diverse tipologie costruttive, la stesura di mappe di vulnerabilità ponendo l'accento sull'individuazione di metodologie di miglioramento degli strumenti di analisi della vulnerabilità e del danno. Lo studio del patrimonio edilizio residenziale, condotto da Zuccaro (2004) introduce una nuova metodologia di valutazione della vulnerabilità, che prende in esame ulteriori parametri relativi alle caratteristiche delle tipologie costruttive rispetto alla classificazione EMS 98. Attraverso l'interpretazione statistica dei dati di danneggiamento è stata valutata l'influenza di altri parametri sulla risposta strutturale all'azione sismica per ogni tipologia verticale. I parametri sono tipologico-strutturali (ovvero tipologia di struttura orizzontale, tipologia di copertura, presenza di catene orizzontali, strutture miste), geometrici e di sito (numero di piani, massima altezza, regolarità in elevazione e in pianta, po-

sizione dell'edificio) e altri (età di costruzione, danno preesistente, anno di classificazione sismica del comune). La vulnerabilità valutata mediante il metodo SAVE è riferita a due livelli di danneggiamento corrispondenti alla condizione limite di operatività e di collasso incipiente. Un differente approccio all'analisi della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura è rappresentato dal metodo FaMIVE (*Failure Mechanisms Identification and Vulnerability Evaluation*). L'approccio si basa sull'identificazione dei meccanismi di collasso attivabili e il calcolo dei fattori di attivazione associati ad essi. I meccanismi sono classificati in base alla probabilità che si verifichino a seconda delle condizioni al contorno delle singole pareti e della qualità dei materiali. I dati di rilievo sono elaborati per la valutazione della vulnerabilità sismica di una facciata o della costruzione mediante l'applicazione dell'analisi limite. Sulla base delle informazioni raccolte, può essere identificato un gruppo di meccanismi fattibili, per ognuno dei quali viene calcolato il fattore di carico finale (D'Ayala & Speranza, 2002). Uno sviluppo di tale approccio è stato proposto da Saccucci-Grande (Saccucci et al., 2019). A partire dai dati di rilievo speditivo e su una caratterizzazione semplificata dei materiali, un algoritmo sviluppato in linguaggio booleano (T/F) è in grado di identificare il più probabile meccanismo locale di collasso delle facciate degli edifici in muratura, come ribaltamento globale, ribaltamento parziale o lungo le aperture, flessione verticale e orizzontale. L'algoritmo confronta il dataset delle informazioni acquisite in fase di rilievo con le peculiarità strutturali che caratterizzano la cinematica di collasso degli edifici in

muratura al fine di individuare il meccanismo di collasso con la più alta probabilità di accadimento, fornendo così una stima della vulnerabilità del costruito, particolarmente adatta per i centri storici minori in soluzione aggregata.

Recentemente in Italia all'interno del Progetto triennale ReLUIS 2014-2016, con il contributo del DPC e nella linea 'Sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale sulla base delle caratteristiche tipologico/strutturali degli edifici' sono state introdotte le schede CARTIS, fondamentali per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici presenti nel nostro paese. Il progetto permette una ricostruzione dell'inventario del patrimonio edilizio nazionale e la regionalizzazione delle DPM, matrici di probabilità di danno. Lo studio degli edifici in muratura risulta essere quello di maggior interesse poiché i centri storici italiani sono quasi sempre caratterizzati da edifici in muratura. Si sviluppano approfondimenti significativi aventi come fine ultimo la contestualizzazione delle attuali matrici di probabilità di danno, e la definizione degli strumenti fondamentali per un loro sfruttamento in campo nazionale. Rappresenta quindi un punto cardine per le analisi di vulnerabilità e quindi di rischio a larga scala svolte con qualsiasi specifico approccio (statistico-empirico, meccanico-numerico, combinato o altro) (Zuccaro, 2015).

“Macchine” per la rappresentazione degli scenari di rischio

Le macchine per il rilievo integrato e le macchine per la valutazione della vulnerabilità sismica producono una mole estremamente

eterogenea di dati che vanno gestiti ed archiviati in modo da poter essere rappresentati in maniera semplificata e leggibile gli scenari di rischio a cui i centri storici minori sono soggetti. Le più recenti tecnologie offrono strumenti e macchine in grado di poter visualizzare gli esiti di tali valutazioni in modo da poter progettare azioni per la prevenzione e mitigazione del rischio sismico. Il GIS (*Geographic Information System*) per tale ragione diventa uno strumento indispensabile. Il sistema informativo georeferenziato costituito da un insieme di strumenti informatici consente di raccogliere, memorizzare, gestire e distribuire le informazioni utili per la gestione e l'organizzazione del territorio. La base cartografica e la banca dati consentono di rappresentare in maniera digitale la realtà dei centri storici. Infatti in esso vengono immagazzinate tutte le informazioni derivanti dalle indagini e i rilievi in sito in modo da poter essere organizzati ed interrogati per le successive analisi. Permette di descrivere gli oggetti in termini di posizione rispetto ad un sistema di riferimento noto, di definire attributi che descrivono le caratteristiche dell'oggetto e di descrivere relazioni spaziali con altri oggetti. Lo sviluppo tecnologico in campo informatico ha mutato e migliorato le tecniche di rilievo metrico fornendo uno strumento di conoscenza che permette di rispondere ad esigenze multi-scalari a seconda del campo di applicazione e a seconda della scala di rappresentazione che può diversificarsi da una scala territoriale, ad una scala urbana fino ad arrivare ad un livello di dettaglio che riguarda il singolo edificio (Saccucci & Pelliccio, 2018). L'informazione geospaziale messa in relazione con informazioni

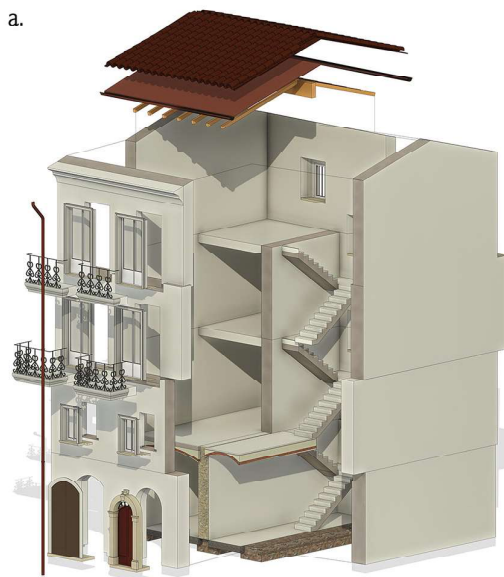
che coinvolgono le analisi di pericolosità, di vulnerabilità e di esposizione rappresenta un metodo di conoscenza della consistenza e dello stato di conservazione del costruito su tutto il territorio nazionale. Rappresenta quindi lo strumento ideale per sviluppare un'analisi multidisciplinare come quella del rischio sismico. Inoltre può essere utilizzato come strumento in fase di emergenza in quanto permette un rapido aggiornamento delle informazioni e può produrre in breve periodi i nuovi dati come ad esempio identificare le aree più colpite in fase post-emergenziale e come esse possono essere raggiunte. Ciò è particolarmente utile quando si verificano eventi improvvisi come i terremoti e il tempo di risposta diventa cruciale per la salvaguardia delle vite umane (Bozzoni & Lai, 2012). Inoltre nella pianificazione e gestione dell'emergenza sismica costituisce il supporto alla redazione dei Piani di Emergenza Comunali e all'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) in ottica di prevenzione sismica attiva dei centri storici sia a livello dei singoli edifici, sia a livello di interi aggregati. Insieme ai GIS, le metodologie BIM di rappresentazione, produzione e gestione dell'ambiente costruito rappresenta la possibilità di integrare tutta la documentazione e la conoscenza finalizzata alla conservazione e valorizzazione dei centri storici. La possibilità di modellare oggetti parametrici digitali da un lato permette di mantenere gli oggetti flessibili e quindi facilmente applicabili nelle loro varianti alla complessità degli edifici esistenti, dall'altro di renderli capaci di conservare i dettagli (tipo di relazioni, caratteristiche materiche o termofisiche) che tendono ad essere più rile-

IN BASSO:
Fig. 5. Esempi di “macchine”
per la rappresentazione: a)
HBIM; b) GIS.

vanti ai fini della documentazione del bene e della sua conservazione rispetto alle possibili semplificazioni o astrazioni operabili su di esso (Brusaporci & Maiezza, 2016). Con tale filosofia è possibile quindi gestire sia i dati di rilievo che i risultati delle analisi della vulnerabilità sismica in un unico ambiente digitale.

Conclusioni

I centri storici minori ampiamente diffusi su tutto il territorio nazionale sono spesso soggetti a eventi sismici che provocano distruzione del tessuto urbano, spingendo a un repentino spopolamento di tali centri. La salvaguardia, la prevenzione e la mitigazione del rischio sismico sono imprescindibili per arrestare l’abbandono e la perdita dell’identità culturale che andrebbe valorizzata. Lo scopo della ricerca è di mostrare un compendio completo delle macchine e delle tecnologie utili alla valutazione della vulnerabilità sismica dei centri storici. A partire dall’analisi delle principali



metodologie e tecniche per l’investigazione del costruito esistente come la fotogrammetria digitale e la scansione laser tridimensionale si è potuto osservare come queste conoscenze possano essere utilizzate per l’applicazione di metodi empirici per comprendere quali sono i livelli di vulnerabilità che caratterizzano gli edifici dei centri storici minori. In particolare si è posta l’attenzione alle macchine utili alla rappresentazione, gestione e archiviazione delle informazioni estremamente eterogenee, multidisciplinari e multi-scalari. Attraverso questo studio è possibile definire le migliori “macchine” utili alla prevenzione, gestione e salvaguardia dei centri storici minori per la riduzione del rischio sismico.

Bibliografia

Benedetti, D., Petrini, V., 1984. Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: proposta di un metodo di valutazione. *L’industria delle Costruzioni* 18, 66-74.

Bini, M., Bertocci, S. (2012). *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Novara, Italia: Città Studi Edizioni.

Borri, A., Corradi, M., Castori, G., De Maria, A. (2015). A method for the analysis and classification of historic masonry. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(9), 2647-2665.

Bozzoni, F., Lai, C. G., Scandella, L. (2012). Preliminary results of ground-motion characteristics. *Annals of Geophysics*, 55(4).

Braga, F., Dolce, M., Liberatore, D. (1982, September). A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the MSK-76 scale. In *Proceedings of the seventh European conference on earthquake engineering*, Athens, Greece (pp. 431-450).

Brusaporci, S., Trizio, I., Ruggeri, G., Maiezza, P., Tata, A., Giannangeli, A. (2018). AHBIM per l'analisi stratigrafica dell'architettura storica. *Restauro Archeologico*, 26(1), 112-131.

D'ayala, D., Speranza, E. (2002). An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings. *disp*, 3(1), 3-3.

Daniela, A., Imbimbo, M., Marialaura, M., Marco, C., Cima, V., Crisitna, G., Marialuigia, S. (2020). Metodologia per la definizione degli interventi a livello di aggregato edilizio e del singolo edificio. In *Progetto Sisimi-DTC Lazi. Conoscenze e innovazioni per la ricostruzione e il miglioramento sismico dei centri storici del Lazio* (pp. 148-155). Quibet srl.

De Berardinis, P., Rotilio, M., Marchionni, C., & Friedman, A. (2014). Improving the energy-efficiency of historic masonry buildings. A case study: A minor centre in the Abruzzo region, Italy. *Energy and Buildings*, 80, 415-423.

Docci, M., Maestri, D. (1984). *Il rilevamento architettonico: storia, metodi e disegno*. Laterza.

Formisano, A., Marzo, A., Indirli, M. (2013). Analisi comparativa tra metodi di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici murari di Arsitia (TE). *Proc. XV Convegno ANIDIS* (Associazione Nazionale Ingegneri ed Architetti Italiani).

zione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica).

Grünthal, G. (1998). *European macroseismic scale 1998*. European Seismological Commission (ESC).

Guagenti, E., Petrini, V., 1989. Il caso delle vecchie costruzioni: verso una nuova legge danni-intensità. In *Proceedings of the 4th Italian National Conference on Earthquake Engineering*, pp. 145-153.

Marra, A., Savini, F., Giallonardo, M., Fabbrocino, G., Trizio, I. (2022). Multi-sensors acquisition for digital documentation. Application to a damaged area of Navelli village. *DISEGNARECON*, 15(29), 4-1.

Mouroux, P., Bertrand, E., Bour, M., Le Brun, B., Depinois, S., Masure, P. (2004). The european RISK-UE project: an advanced approach to earthquake risk scenarios. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*.

Paris, L. (2010). *Quantità e qualità nell'utilizzo dello scanner laser 3D per il rilievo dell'architettura*.

Paris, L. (2012). *Fotogrammetria e/o fotomodellazione*.

Pelliccio, A., Saccucci, M. (2020). UAV & Aerial photogrammetry technology for cultural heritage survey. From urban to architectural scale. *Drones-Systems of Information on Cultural hEritage*.

Pera, F., Pesce, P., Bevilacqua, M., Setti, P., Menini, M. (2016). Analysis of different impression techniques and materials on multiple implants through 3-dimensional laser scanner. *Implant dentistry*, 25(2), 232-237.

Pelliccio, A., Saccucci, M., Grande, E. (2017). HT_BIM: Parametric modelling for the assessment of risk in historic centers. *DISEGNARE-CON*, 10(18), 5-1.

Pera, F., Pesce, P., Bevilacqua, M., Setti, P., Menini, M. (2016). Analysis of different impression techniques and materials on multiple implants through 3-dimensional laser scanner. *Implant dentistry*, 25(2), 232-237.

Polese, M., (2002). *Un approccio a doppio livello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture in ca.* Ph.D. thesis.

Rolli, G. L. (2008). *Salvare i centri storici minori. Proposte per un atlante urbanistico dei centri d'Abruzzo* (Vol. 3). Alinea Editrice.

Saccucci, M., Pelliccio, A. (2018). Integrated BIM-GIS System for the enhancement of urban heritage. In *2018 Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)* (pp. 222-226). IEEE.

Saccucci, M., Pelliccio, A. (2022, April). 3D multilevel approach for the seismic risk of historic centers. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2204, No. 1, p. 012105). IOP Publishing.

Saccucci, M., et al. (2019). The Knowledge Process in the Seismic Assessment of Masonry

Building Aggregates—An Italian Case Study. In *International Conference on Critical Thinking in Sustainable Rehabilitation and Risk Management of the Built Environment* (pp. 330-347). Springer, Cham.

Saccucci, M., Cima, V., Grande, E., Imbimbo, M., Pelliccio, A. (2019). Valutazione della vulnerabilità sismica degli aggregati in muratura: il caso di Borgo San Rocco a Sora (Italia). In: *XVIII ANI-DIS Conference Seismic Engineering in Italy*. Pisa University Press, Ascoli Piceno

Trizio, I., Savini, F., Ruggieri, A. (2020). Archeologia dell'architettura e rappresentazione digitale: procedure e strumenti tra connessioni e intersezioni. A. Arena et al. (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere*, pp. 2821-2842.

Zuccaro, G., (2004). *SAVE - Strumenti aggiornati per la vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio e dei sistemi urbani. Tema 1: Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio-economiche*. Napoli.

Zuccaro, G., Dolce, M., De Gregorio, D., Speranza, E., Moroni, C. (2015). La scheda CARTIS per la caratterizzazione tipologico-strutturale dei comparti urbani costituiti da edifici ordinari. Valutazione dell'esposizione in analisi di rischio sismico. *Proceedings of the GNGTS*.