

HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELING PER I TERRITORI COLPITI DAL SISMA

Adriana Caldarone

Heritage Building Information Modeling per i territori colpiti dal sisma

Autori: Adriana Caldarone

Collana: 3D Modeling & BIM

Publisher: DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile

Layout: Alexandra Fusinetti

Impaginazione: Francesco Madonna

Copertina: Fabrizio D'Ammassa

La pubblicazione raccoglie gli esiti di una ricerca condotta dall'autore, compresa nella Grande Ricerca di Ateneo di Sapienza Università di Roma anno 2017, di cui è coordinatore scientifico Tommaso Empler. Titolo della ricerca è: *"Urban/territorial restoration and seismic risk prevention: a methodology. Learning and experimenting from the case of 2016 Central Italy earthquake"*.

La pubblicazione rientra nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione Scientifica con l'associazione "Radici Accumulesi" di Accumoli (RI).

© 2021 DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE* – Tutti i diritti riservati

ISBN 9788849653816

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), sono riservati per tutti i Paesi. Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano, e-mail autorizzazioni@clearedi.org e sito web www.clearedi.org.

DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Via Cavour 181/A - 00184 Roma

Tel. 06.441.63.71 (r.a.) Fax 06.440.33.07

dei@build.it

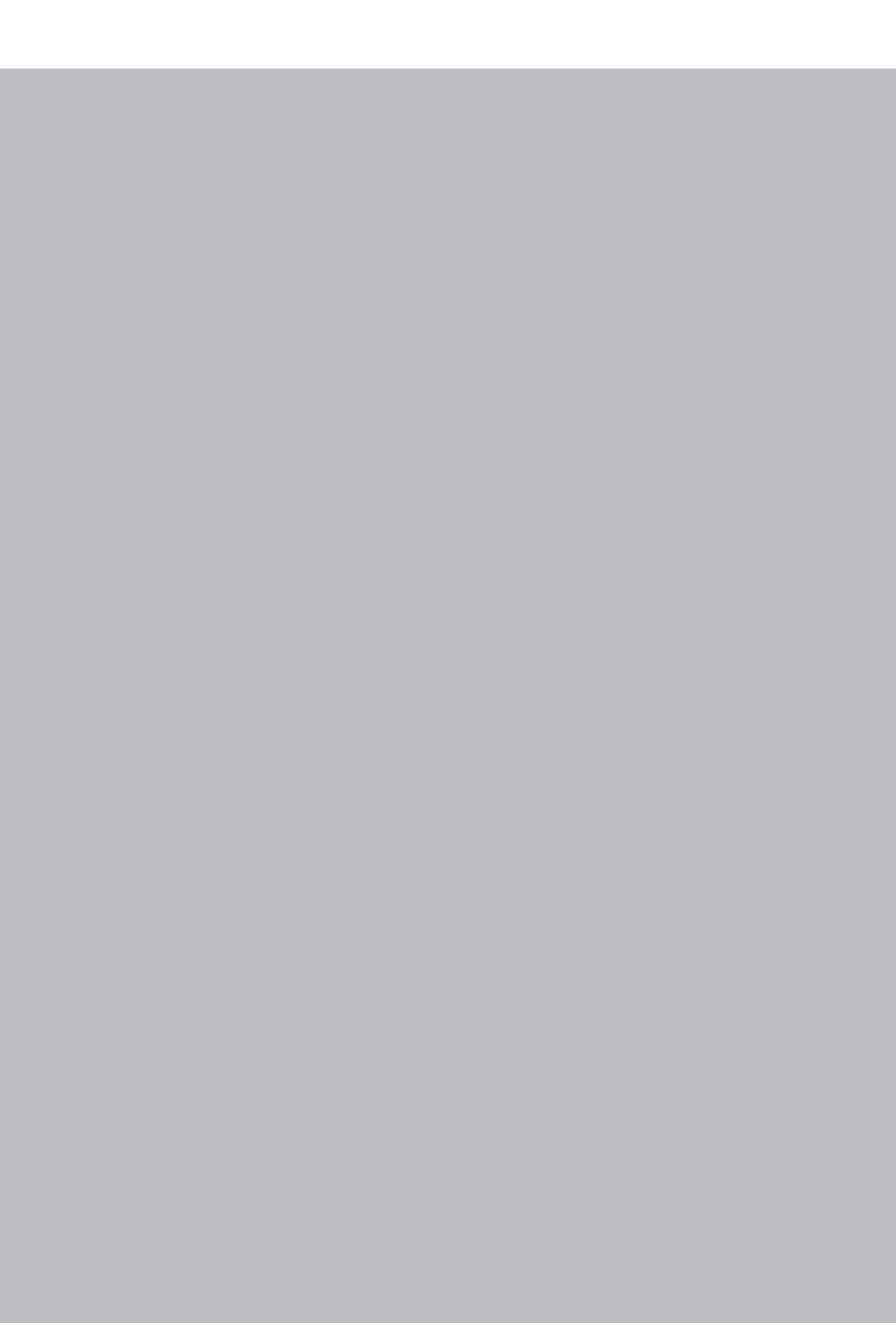
www.build.it

Finito di stampare nel mese di Ottobre 2021 da Rotomail Vignate (MI)

* DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE fa parte di LSWR GROUP

Adriana Caldarone

**Heritage Building
Information Modeling per i
territori colpiti dal sisma**



Indice

Presentazione	11
Introduzione.....	14
1.1 Il rischio sismico: il rilievo e lo studio storico-critico come attività preventiva	15
1.2 Raccolta e rappresentazione di dati: il ruolo dell'OpenBIM e dell'HBIM nei processi di conoscenza.....	22
1.3 Obiettivi della procedura.....	29
Quadro normativo	34
2.1 Generalità.....	35
2.1 I concetti di pericolosità, esposizione, vulnerabilità e rischio	37
2.2 Normativa Antisismica: D.M. 20 Febbraio 2018: Aggiornamento delle NTC e Circolare Esplicativa	39
2.3 La classificazione sismica e la microzonazione sismica	41
2.4 Le "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale"	44
2.5 DM 1 Dicembre 2017 n. 560: strumenti elettronici di modellazione nell'edilizia (BIM).....	48
HBIM e patrimonio costruito	54
3.1 Implicazioni teoriche	55
nei processi Scan to BIM	55
3.2 Esperienze sull'integrazione di dati eterogenei nei processi conservativi	64
Il processo di conoscenza per la prevenzione dal rischio sismico.....	74
4.1 Le discipline coinvolte nella prevenzione sismica.....	75
4.2 Procedure di acquisizione dati per le diverse discipline	80
4.2.1 Metodi di rilevamento speditivo	80
4.2.2 Tecniche diagnostiche non distruttive per la conservazione	87
4.2.3 Cenni ai metodi di rilevamento geotecnico	93
4.3 Conclusioni.....	96

Il caso studio: Accumoli e le sue frazioni.....100

Un framework per la prevenzione 112

6.1. Data Fusion coerente con i principi delle "Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale"113

6.2. Formazione del quadro conoscitivo.....120

 6.2.1 Le fasi di rilievo geometrico con tecniche integrate124

 6.2.2 La raccolta di dati specializzati126

6.3 Geometric 3D model:136

 Impostazione del modello BIM-oriented attraverso il linguaggio VPL136

6.4 Semantic data model.....142

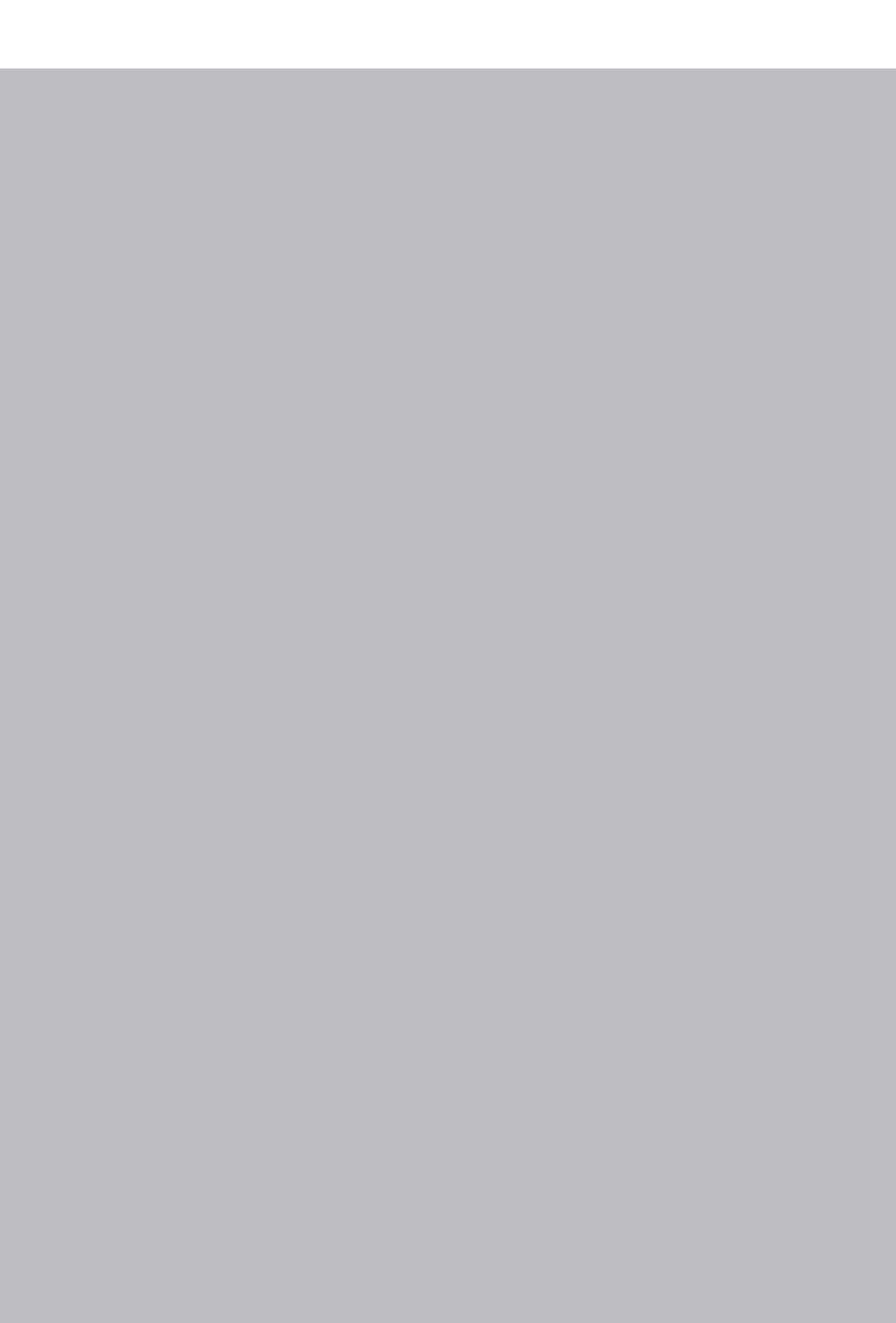
6.5 Visualizzazione ed interrogazione dei dati: un sistema di rappresentazione attraverso i layer di conoscenza150

Conclusioni e scenari di sviluppo 158

7.1 L'Hyper-modello per la comunicazione e consultazione dei dati
Punti di forza, criticità e scenari di sviluppo.....159

Bibliografia..... 166

Sitografia174



Presentazione

La ricerca si inquadra nel tema del rischio a cui è sottoposto il patrimonio costruito italiano, considerandolo come tematica di grande attualità a causa delle calamità naturali che colpiscono continuamente il nostro paese. Nel testo si sottolinea l'importanza che ricoprono le attività di tutela e restauro, atte a mitigare e prevenire i danni sul patrimonio edilizio, a cui fanno capo diverse discipline. Fondamento per la programmazione degli interventi sul patrimonio costruito, è il rilievo inteso come conoscenza nel bene nella sua globalità, che comprende caratteristiche dimensionali, strutturali, costruttive, materiche e storiche, anche in relazione al contesto urbano e territoriale. Di qui l'obiettivo della procedura: quello di costituire un database di lavoro per figure specializzate che consente una valutazione integrata per la programmazione degli interventi di prevenzione. Un sistema BIM, per le sue caratteristiche di interoperabilità, di rappresentazione e comunicazione dei dati, si dimostra essere la base per

la creazione del Data Fusion. Nella ricerca si riflette sulle criticità di processo HBIM, in particolare sulle rigidità della modellazione parametrica degli oggetti, che spesso contrasta con le caratteristiche di unicità del patrimonio costruito. Tuttavia, in un processo HBIM si scompone un organismo architettonico nei suoi elementi finiti per arrivare alla comprensione delle leggi costruttive che lo sostengono, attraverso relazioni ontologiche tra gli elementi digitali semanticamente definiti: un sistema BIM si rivela utile alla discretizzazione (attraverso la parametrizzazione) della realtà urbana per l'interpretazione dei processi aggregativi dei sistemi edilizi.

La ricerca si applica su di un caso studio, individuato nella frazione di Terracino (Comune di Accumoli) che non ha subito apprezzabili livelli di danno durante le scosse sismiche di Agosto ed Ottobre 2016. La ricerca si sofferma sulla selezione critica dei dati specializzati (intendendo con questo termine le primarie informazioni per la disciplina della prevenzione seguendo le "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale") raccolti tramite tecniche di acquisizione diversificate. La ricerca si divide su due fronti: da un lato individua criteri metodologici per la tipizzazione degli oggetti geometrici e digitali, sia soffermandosi su una possibile parametrizzazione delle configurazioni degli edifici in aggregato studiandone l'evoluzione morfologica, sia attraverso la comprensione dei sistemi tecnologici costruttivi dell'area geografica di riferimento, attraverso i manuali di costruzione e quelli regionali di recupero dell'edilizia storica; dall'altro si concentra sulla definizione di strategie per la miglior configurazione di tali dati definiti specializzati attraverso il linguaggio VPL e la loro successiva visualizzazione. In un modello così conformato, le informazioni 2D e quelle spaziali 3D diventano aggregabili, i diversi layer grafici, corrispondenti a differenti livelli informativi, potranno essere interrogabili e consultabili alternativamente l'uno rispetto all'altro, oppure sovrapposti in differenti combinazioni e, così da ottenere informazioni incrociate. Lo studio si conclude

analizzando criticità di processo e delineando possibili scenari di sviluppo della ricerca, in particolare nell'ottica di un arricchimento dei processi BIM consolidati, con l'intento di proporre una metodologia finalizzata alla realizzazione di un sistema informativo/ cognitivo tridimensionale, multidisciplinare, implementabile, propedeutico alle attività di prevenzione e restauro.

Tommaso Emler

Introduzione

1.

1.1 Il rischio sismico: il rilievo e lo studio storico-critico come attività preventiva

Il tema del rischio rispetto ai disastri naturali è già da tempo al centro dell'azione dell'UN-DRR¹, l'agenzia delle Nazioni Unite che, tramite il programma DRR (*Disaster Risk Reduction*) e attraverso le discipline di "preparazione, gestione e mitigazione dei disastri naturali", si dedica agli interventi per ridurre i pericoli derivanti da essi. Dal 2005, l'organizzazione ricopre un'importanza strategica nell'orientare i governi e le comunità locali ad intraprendere misure per prevenire i disastri naturali, riducendo così la vulnerabilità delle comunità esposte ai differenti rischi ed aumentandone la resilienza. Nel 2015, a Sendai (Giappone) è stato proposto un protocollo di azioni prioritarie, noto come *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*²,

nel quale l'UNDRR ribadisce un fattore-chiave su cui fare leva: istruire individui, comunità e organizzazioni economiche e sociali per fronteggiare i rischi connessi ai disastri naturali, mediante azioni idonee a ridurre l'impatto a livello individuale, sociale, economico e comunitario (Esposito et al, 2017).

In questo quadro internazionale, l'Italia può essere classificata come un paese ad alto rischio di disastri in seguito a terremoti, alluvioni, frane ed eruzioni vulcaniche ed altre calamità naturali che, unitamente alle caratteristiche storiche e costruttive dei nostri insediamenti urbani, contribuiscono a rendere fragile il nostro territorio.

In particolare, l'Italia è uno dei paesi a maggiore rischio sismico dell'area del Mediterraneo, trovandosi nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica. Negli ultimi 40 anni i terremoti hanno provocato in Italia circa 4.500 vittime ed una spesa di circa 200 Miliardi di euro. Le zone ad elevato rischio sismico ricoprono circa il 50% del territorio nazionale e interessano circa 35% dei comuni italiani; le persone esposte ad un elevato rischio sismico sono 22 milioni e gli edifici a rischio sono 5,5 milioni³ (fig.1.1). L'enorme costo sociale ed economico al quale si è sottoposti dopo un evento sismico impongono sempre più che siano sviluppate, per ridurre le conseguenze dei terremoti, le più idonee attività preventive. Tra le azioni preventive risulta necessario:

- ubicare le nuove costruzioni in zone idonee dal punto di vista geosismico, ovvero zone soggette a livelli compatibili delle amplificazioni delle onde sismiche, oltre che esenti dalla possibilità di sviluppare fenomeni di instabilità locale durante le scosse o nelle fasi post-sismiche quali frane, sprofondamenti ecc.;
- migliorare e/o adeguare strutturalmente le costruzioni esistenti in funzione della reale pericolosità sismica locale del sito e dell'area circostante su cui sorgono.

Il primo punto è oggetto degli Studi di Microzonazione Sismica (MS) aventi per scopo la conoscenza sulle alterazioni che le onde sismiche possono causare in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione per l'emergenza e per l'eventuale ricostruzione post sismica⁴. Il secondo punto ha indotto i diversi governi a stanziare finanziamenti nazionali per migliorare la resistenza sismica degli edifici, anche se per lo più si è trattato di edifici pubblici rilevanti e strategici. È solo a partire dal terremoto verificatosi in Abruzzo nel 2009

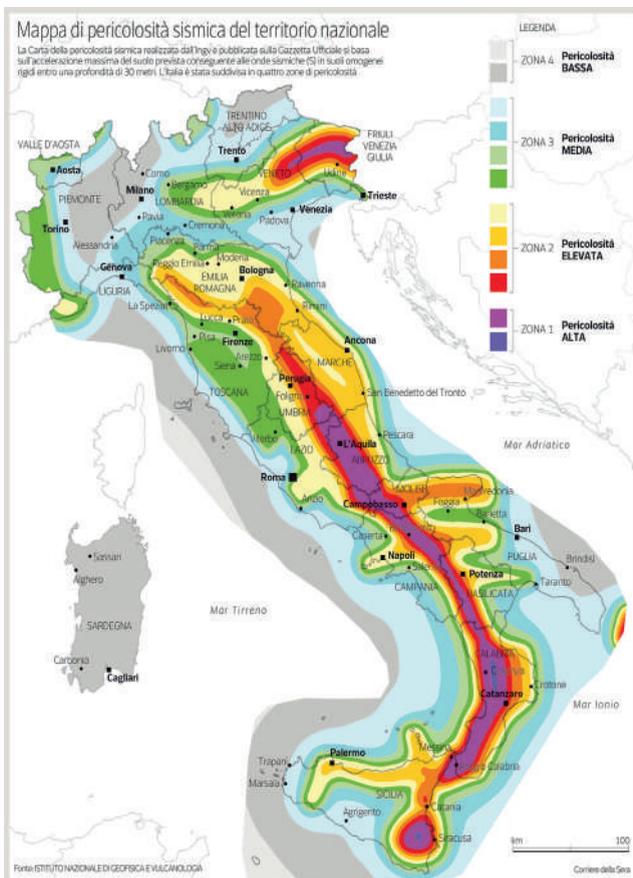


Fig. 1.1 – Carta della pericolosità sismica per il territorio nazionale realizzata dall'INGV.

che viene predisposto un "Piano Nazionale per la prevenzione del Rischio Sismico" attraverso l'emanazione della Legge n. 77/2009⁵, in particolare il capo IV (art.11), che prevede "Misure per la prevenzione del rischio sismico", elargisce finanziamenti per interventi di prevenzione su tutto il territorio nazionale, facendo leva su un fondo istituito dal Ministero dell'Economia e delle Finanze. Le priorità di azione, non si concentrano solo su edifici ed opere pubbliche, ma anzi le Regioni sono obbligate a destinare da un minimo del 20% fino a un massimo del 40% del finanziamento ad esse assegnato agli edifici privati.

Se, in qualche modo, i governi e gli enti hanno appreso la necessità di un piano nazionale di prevenzione, gli ultimi eventi sismici che hanno colpito il centro Italia, hanno reso necessaria una riflessione sul ruolo del settore disciplinare del Disegno (e trasversalmente quello del Restauro) e sul contributo che questo può offrire alla conservazione del Patrimonio.

Ai fini della prevenzione del rischio sismico, risulta prioritario integrare le esigenze di pubblica utilità e di sicurezza dei nostri centri abitati, con quelle di conservazione e di tutela del Patrimonio inteso anche nella sua accezione di salvaguardia dell'identità storica degli insediamenti, attivando tutte le sinergie possibili tra pubblico, privato enti ed ordini. (fig.1.2).



Fig. 1.2 – Campagna pubblicitaria per la 1ª giornata nazionale di prevenzione sismica promossa da Fondazione Inarcassa, Consiglio nazionale degli Ingegneri e Consiglio nazionale degli Architetti. La prima edizione si è svolta il 20 Ottobre 2018 in tutte le maggiori piazze italiane.

Seguendo le impostazioni metodologiche del Restauro Preventivo di Brandi (Brandi, 1977) o della conservazione programmata di Urbani la "*Carta Italiana del Restauro*"⁶, nell' *Allegato D*, elabora delle "*Istruzioni per la tutela dei Centri Storici*" e, benché non si possa ancora parlare di prevenzione, estende per la prima volta il concetto di Restauro alla salvaguardia di intere aree urbane ed individua nella programmazione territoriale uno strumento utile per la tutela e la conservazione; in essa possiamo leggere che «Gli interventi di restauro nei Centri Storici hanno il fine di garantire - con mezzi e strumenti ordinari e straordinari - il permanere nel tempo dei valori che caratterizzano questi complessi. Il restauro non va, pertanto, limitato ad operazioni intese a conservare solo i caratteri formali di singole architetture o di singoli ambienti, ma esteso alla sostanziale conservazione delle caratteristiche d'insieme dell'intero organismo urbanistico e di tutti gli elementi che concorrono a definire dette caratteristiche. Perché l'organismo urbanistico in parola possa essere adeguatamente salvaguardato, anche nella sua continuità nel tempo e nello svolgimento in esso di una vita civile e moderna, occorre anzitutto che i Centri Storici siano riorganizzati nel loro più ampio contesto urbano e territoriale e nei loro rapporti e connessioni con sviluppi futuri: ciò anche al fine di coordinare le azioni urbanistiche in modo da ottenere la salvaguardia e il recupero del centro storico a partire dall'esterno della città, attraverso una programmazione adeguata degli interventi territoriali». (*Carta Italiana del Restauro*, 1972). D'altronde lo stesso Urbani sviluppò un modello di conoscenza del territorio nel 1976 che fu l'emblema della teoria del rischio applicata alla conservazione del patrimonio culturale⁷.

La "*Carta Italiana del Restauro*", inoltre, riconosce come ogni intervento di restauro o di programmazione debba mettere a punto un processo di lettura storico-critica sui manufatti su cui si intende intervenire, analizzandoli sotto il profilo tipologico-edilizio, storico-architettonico, dimensionale, strutturale e

materico, anche in relazione al contesto urbano e territoriale di riferimento. Anche l'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) dichiarava, già nel 1972, come la schedatura e l'analisi del bene culturale, così come più in generale il momento conoscitivo, rappresentassero il primo ed imprescindibile passo per la tutela di un bene culturale (Bertocci, Bini, 2017). Solo tramite tale processo si può essere in grado di orientare le azioni volte alla sua conservazione o recupero. (Docci, 2003), concetto questo che viene sancito nella "Carta del Rilievo Architettonico"⁸ in cui si legge «Presupposto per qualsiasi intervento sul patrimonio culturale è la conoscenza del bene architettonico ed ambientale considerato nella sua globalità [...]. Si tratta, in altre parole, di ricostruire, attraverso una complessa azione di indagine (ensoria, storico-critica, archivistica, bibliografica, tecnica, tecnologica) i criteri, le procedure, la ratio con la quale l'organismo si è venuto costituendo nel tempo [...]. Il primo livello di salvaguardia è ovviamente la conoscenza [...]». Gli autori della "Carta del Rilievo Architettonico", descrivono quale sia il livello di documentazione più adeguato per descrivere un bene architettonico e la soluzione viene trovata nella disciplina del Rilievo inteso, non meramente come analisi metrica e geometrica, bensì come un sistema aperto di conoscenze che si avvale di un complesso di operazioni volte allo studio profondo di un manufatto architettonico, della sua storia costruttiva, della sua consistenza attuale, del suo contesto urbano e territoriale, delle sue caratteristiche formali e funzionali. (AA. VV., 2000).

Se leggere e conoscere globalmente un edificio vuol dire anche capirne il lessico e le regole costruttive, ne deriva che il rilievo, nella sua accezione più ampia, è il principale strumento per la valutazione della vulnerabilità degli edifici, per le analisi statiche o dinamiche e per il comportamento meccanico dei materiali (Giuffrè, Carrocci, 1993)

Risulta per cui chiaro il ruolo che il settore disciplinare del Disegno assume in questo contesto: il rilievo integrato, che sia di livello urbano o edilizio, atto a

riconoscere sia il dato materiale che quello immateriale, a leggere le discontinuità e le testimonianze dei processi formativi di un edificio o di un tessuto, insieme a ricerche documentali ed iconografiche o confronti tipologici, diventa la base per la raccolta di informazioni eterogenee ed interdisciplinari.

La prevenzione è dunque un insieme di azioni strategiche, che comprendono la conoscenza, la programmazione territoriale, i controlli periodici, l'analisi delle condizioni ambientali, la manutenzione, e che hanno lo scopo di impedire l'insorgere dei danni o comunque di diminuirne gli effetti, adottando una visione di lungo periodo che trasmetta il patrimonio, anche quello intangibile, alle generazioni future.

1.2 Raccolta e rappresentazione di dati: il ruolo dell'OpenBIM e dell'HBIM nei processi di conoscenza

La complessità del processo conoscitivo, la frammentarietà delle informazioni, la quantità di dati che questo processo produce e l'eterogeneità dei soggetti coinvolti, sono tutti fattori che rendono necessaria una sistematizzazione dei dati che consentano la raccolta e la gestione delle informazioni. Del resto, è la stessa "*Carta del Rilievo Architettonico*" che, nei Criteri Regolatori afferma la possibilità che «il rilievo di ciascun organismo architettonico va possibilmente concepito in modo da poter essere trasformato in un sistema informativo entro il quale andranno riversate le varie informazioni che nel tempo si potranno accumulare» (AA. VV., 2000).

La sempre maggior diffusione dei Sistemi Informativi ha rivoluzionato il panorama delle costruzioni ed in particolare della progettazione, semplificando lo scambio di informazioni, la loro diffusione e fruizione. Tali sistemi inoltre si

sono rivelate strumenti particolarmente validi per la visualizzazione dei dati grazie alle efficaci capacità di rappresentazione.

In tale quadro, le piattaforme GIS e BIM possono essere considerate database model integrati. Riescono a gestire e sistematizzare in maniera visuale, e tramite un complesso sistema di interrelazioni, una notevole massa di informazioni anche piuttosto diversificate tra loro, costituendo database integrati, con lo scopo di fornire indirizzi programmatici per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio edilizio, anche e servizio di Enti pubblici e professionisti del settore. (Centofanti, 2010)

I Sistemi Informativi Geografici (GIS dall'inglese *Geographical Information System*) sono da ritenersi un *modus operandi* consolidatosi nel tempo soprattutto per la programmazione e lo scambio di informazioni a livello territoriale. Lo strumento è stato il primo capace di rappresentare, attraverso visualizzazioni di tipo vettoriale (sotto forma di cartogrammi ai quali sono sovrapposti *layer* grafici), un database relazionale di dati topologicamente strutturati e georeferenziati. Tali capacità hanno distinto per lungo tempo i sistemi geografici da qualsiasi altro sistema informativo consentendo agli utenti di avere uno strumento che permetta loro di visualizzare, aggiornare, implementare ed analizzare le informazioni e le entità contenute al suo interno. Numerose sono le applicazioni sviluppate nei diversi settori (es PA, ambiente, territorio, logistica e trasporti, energie ecc.) ed in quello della valorizzazione e della tutela dei beni culturali in cui il GIS trova utilizzo, costituendosi come database informativo-conoscitivo adatto al patrimonio esistente, sia esso di natura ambientale, culturale e/o edilizio. Il linguaggio comunicativo e l'approccio multidisciplinare proposto giustificano l'ampia diffusione dei sistemi GIS attraverso i SIT⁹ e l'adozione di tali sistemi da parte delle pubbliche amministrazioni: SIT e cartografie (soprattutto nella loro modalità di *WebGis*) costituiscono uno strumento fondamentale per l'organizzazione e la gestione delle informazioni nell'ambito

dei processi decisionali degli enti locali e rappresentano un valido sistema di consultazione da parte di tutte le discipline coinvolte nella pianificazione territoriale, urbanistica ed edilizia (fig. 1.3).

Tuttavia, la scarsa efficacia d'impiego alla scala architettonica ed i limiti imposti dalla bidimensionalità del sistema, hanno orientato gli studiosi e gli utenti coinvolti nelle discipline edilizie ad integrare i sistemi GIS con sistemi informativi tridimensionali, più adatti nella descrizione di elementi architettonici. Il BIM, in questo senso, risponde alla necessità di organizzare in maniera strutturata gli apparati informativi relativi ad un edificio attraverso la realizzazione di modelli parametrici correlati tra loro secondo vincoli di diversa natura, consentendo un più facile governo, sia del processo di costruzione, sia della futura gestione dell'edificio stesso. Le caratteristiche fisiche, costruttive e funzionali di un organismo architettonico, così come quelle spaziali e figurative, sono rappresentate digitalmente e costituiscono così un efficace sistema di comunicazione e di condivisione della conoscenza, tra tutte quelle discipline coinvolte nel processo costruttivo. Questo approccio è alla base della cosiddetta interoperabilità che caratterizza un processo BIM. Esistono, da questo



Fig. 1.3 – Screenshot della pagina web del SIT della Città Metropolitana di Roma Capitale. Sulla cartografia è possibile visualizzare diversi layer sovrapposti che a loro volta si riferiscono a degli strati informativi afferenti a diversi settori (geologia, dati ISTAT, sistema vegetazionale, piani regionali ecc.)

punto di vista, due criteri differenti basati su comunicazione e scambio delle informazioni: un approccio definito "piattaforma" in cui la collaborazione tra le diverse discipline si basa sull'utilizzo di un software comune; un approccio definito "open" dove diverse soluzioni software sono integrate tra loro per definire una collaborazione basata sul modello.

Il primo approccio permette la condivisione delle informazioni senza conversione dei dati, ma può comportare lacune nel coordinamento, specie perché non esiste un solo software in grado di soddisfare tutte le esigenze per un flusso di lavoro ottimale da parte ogni singola disciplina o settore; considerando inoltre che, specie nella gestione di processi complessi, non tutte le figure coinvolte sono in grado di utilizzare le piattaforme BIM di condivisione e gestione dei dati. La struttura dati è sviluppata in tempistiche differenti.

Il secondo approccio permette una collaborazione aperta tra strutture aziendali, professionisti del settore ecc, garantendo alle diverse parti la possibilità di utilizzare ognuno i propri strumenti e di creare un flusso di lavoro integrato. Le strutture dei dati sono parallele, interconnesse e sviluppate contemporaneamente. Chiaramente questa modalità necessita di protocolli operativi e di dati trasparenti cosicché si fornisca un'interfaccia sempre aperta a nuovi flussi di lavoro, nuove discipline afferenti, nuovi attori del processo. Tale approccio è riconosciuto come "Sistema *OpenBIM*"¹⁰. In tal modo, il modello condiviso è la risultante di tutti i modelli specialistici redatti da ogni figura specializzata e, oltre ad essere il contenitore di tutte le informazioni, fornisce una visione organica del processo progettuale. D'altronde un approccio open e la diffusione del sapere e della conoscenza è parte degli obiettivi dell'UNESCO, che riconosce nell'interscambio di informazioni e nel libero accesso alle stesse, elementi fondamentali per la tutela, la conservazione e la sopravvivenza nel tempo del patrimonio digitale¹¹.

Anche se l'interoperabilità non ha ancora raggiunto livelli ottimali, il sistema OpenBIM si sta configurando sempre di più per la comprensione del processo edilizio-costruttivo, mentre riscontra ancora qualche reticenza, da parte di studiosi e professionisti, nella sua applicazione al processo conoscitivo, per due motivi principali. Da un lato per via delle difficoltà, già da molti palesate, di adattare la modellazione BIM alle caratteristiche di unicità del patrimonio costruito e dalla necessità di predisporre letture sistematiche del costruito storico spesso non standardizzabili; dall'altro, se il processo progettuale è ideato e gestito dagli stessi depositari delle informazioni da immettere in un modello, nello studio dei manufatti esistenti i dati interdisciplinari e talvolta frammentari, devono essere reperiti e poi ricomposti, nell'ottica di individuare un sistema informativo a cui associare dati grafici ed alfanumerici, capaci di documentare le specificità di un manufatto architettonico fornendo una lettura organica a chi li consulta. Il modello risultante, per essere efficace, deve esprimere con un linguaggio visuale e comunicativo tutte le informazioni inserite al suo interno e deve divenire interfaccia di accesso ad una serie di metadati che descrivono l'oggetto architettonico nel suo complesso. Risulta a questo punto importante introdurre alcune riflessioni sulla rappresentazione dei dati derivanti dal processo di conoscenza. Un modello conformato come quello precedentemente descritto può essere paragonato ad un "modello conoscitivo¹²" dell'esistente. Il modello conoscitivo viene definito come rappresentazione di un "modello conoscitivo mentale" che ogni operatore crea approcciandosi ad un fenomeno dell'esistente (De Rubertis, 1995). Quest'ultimo è il risultato di una serie di osservazioni condotte sull'oggetto di studio, le quali approfondiscono determinati aspetti e ne tralasciano altri (in accordo agli obiettivi preposti) (Empler, 2002). Se si considerano le modalità tradizionali di acquisizione delle informazioni e dei dati, l'operatore effettua una selezione a monte del processo conoscitivo, realizzando dapprima un modello di riferimento selettivo, poi un modello

conoscitivo dell'oggetto ed infine le corrispettive rappresentazioni grafiche. Si crea una sorta di corrispondenza biunivoca tra il modello grafico di documentazione ed il modello comprensivo della realtà. Il risultato è che vengono quasi sempre create delle rappresentazioni parziali dell'oggetto di studio. Con le tecniche di acquisizione dati più recenti e massive (non solo relative all'ambito del rilievo) le informazioni raccolte non sono selezionate dall'operatore a priori. Tuttavia, nel momento in cui tali dati devono evolversi in linguaggio visuale e comunicativo (fase di rappresentazione), l'addetto deve necessariamente classificarli, creando nuovamente un modello conoscitivo mentale e poi grafico e rappresentativo. Se consideriamo il processo conoscitivo di ambiti complessi, e la quantità di informazioni con cui far fronte, risulta evidente che, l'insieme di informazioni raccogliabili (e raccolte da procedure di acquisizione massiva) intorno ad un oggetto di studio è sempre più vasto di quanto ciascuna singola rappresentazione dell'oggetto stesso può comunicare (Empler, 2016).

In questo contesto, la modellazione BIM costringe l'operatore a sistematizzare tutti i dati di carattere interdisciplinare e a renderli in linguaggio grafico e rappresentativo. La differenza risiede nel fatto che, oltre alle informazioni esplicitamente rappresentate, è possibile inserire al suo interno anche le fonti da cui derivano tali dati, che formeranno un database mai percepibile nella sua interezza ed il modello risultante è comunque una delle possibili rappresentazioni dell'oggetto di studio. In un sistema *OpenBIM* tuttavia, tutti i dati inseriti nel database, a seconda di chi li interpreta potranno fornire diverse rappresentazioni delle informazioni, anche simultaneamente coesistenti, e con diversi livelli di aderenza alla realtà e gradi di analisi. Il modello BIM si configura quindi come un modello conoscitivo trasmissibile ed aggiornabile e dal quale si possono ricavare, all'occorrenza, le differenti tipologie di informazioni che occorrono.

Un modello BIM può inoltre essere definibile secondo un'interpretazione data da Docci relativamente all'analisi grafica è possibile parlare di "modello grafico di comprensione" che «[...] deve evidenziare alcuni aspetti caratteriz-

zanti dell'organismo architettonico al fine di focalizzare l'attenzione su una sola problematica, isolata dal resto proprio per poterne descrivere efficacemente la relazione con l'insieme.» (Docci, 2014). È dunque plausibile effettuare un parallelismo concettuale tra processo conoscitivo tramite analisi grafica (inteso come scomposizione dell'oggetto di studio nei suoi aspetti funzionali, compositivi, tecnico-costruttivi e morfologici), e processo di modellazione in ambiente BIM di un manufatto esistente, che prevede appunto la scomposizione di un organismo architettonico nelle sue parti costitutive, la loro classificazione e ricomposizione, così da renderle tra loro interconnesse (fig.1.4).

Secondo le considerazioni sopra effettuate, il BIM, specialmente nelle sue accezioni di *Heritage BIM* o *Historical BIM* (processo BIM applicato al patrimonio edilizio costruito) può essere considerato un sistema di modellazione potenzialmente adattabile ad un processo di conoscenza storico-critico pur se con molti nodi ancora irrisolti.

La costruzione di modelli tramite processi di HBIM è infatti un campo articolato e per molti versi ancora irrisolto per diverse motivazioni che meritano un approfondimento maggiore e che saranno trattate in un capitolo successivo.

L'approccio BIM, ed in particolare HBIM si configura come strumento per la rappresentazione, visualizzazione e scambio di metadati che fa della condivisione della conoscenza la base per un'ottimale gestione del patrimonio costruito includendo tutti i dati e gli apporti interdisciplinari necessari per le attività di prevenzione. I criteri HBIM favoriscono la comunicazione e la collaborazione sia tra tutte le professionalità coinvolte nella creazione del processo, sia con i destinatari finali delle informazioni tra cui Sovrintendenze, Pubbliche amministrazioni, Enti territoriali e professioni.

Risulta necessario identificare delle procedure stabili di modellazione HBIM mettendo in evidenza problematiche rispetto al tema della conoscenza, modellazione e rappresentazione di dati eterogenei.

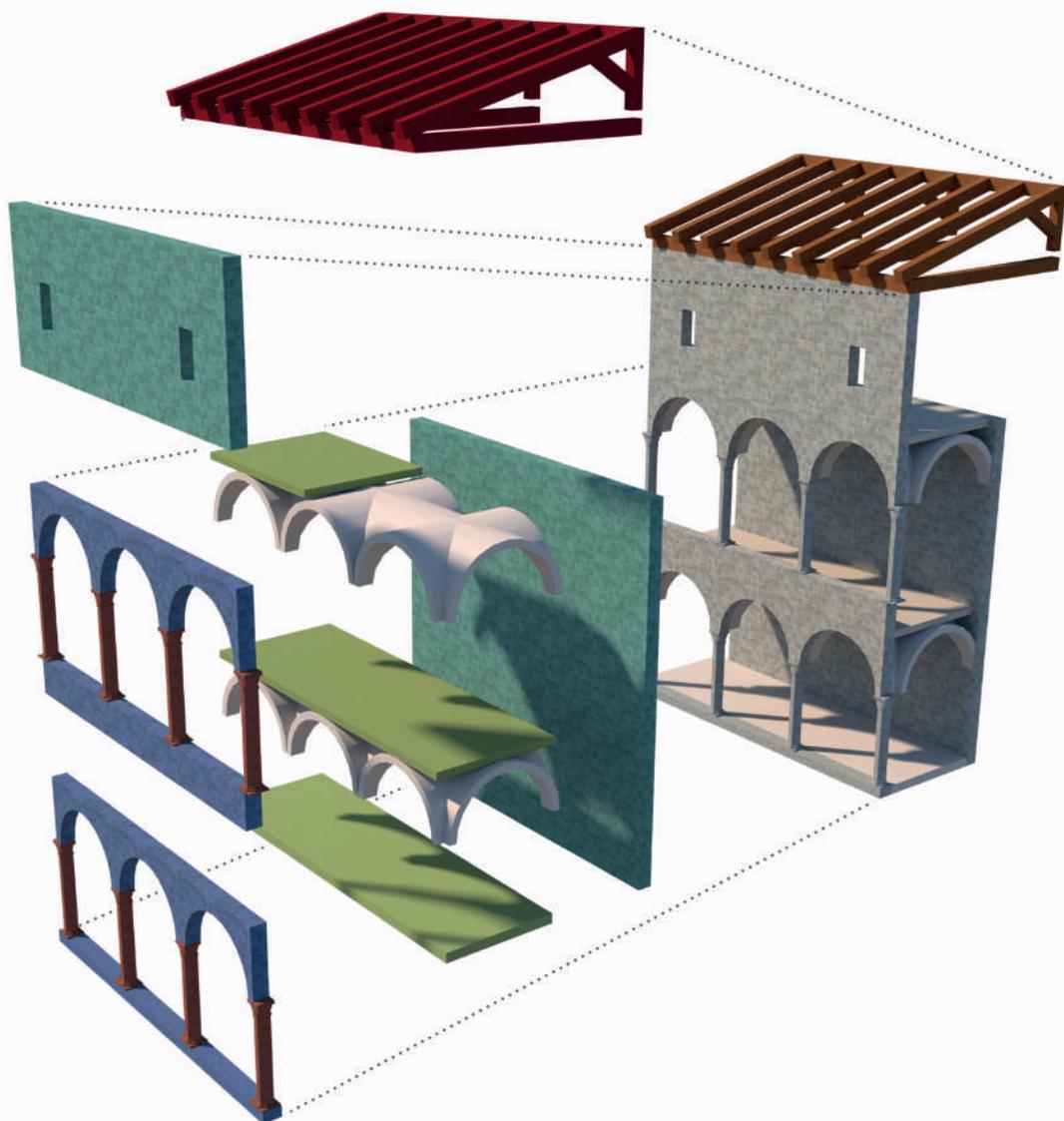


Fig. 1.4 - Modellazione BIM di parte del portico del Castello di Bracciano. Il modello è il risultato della scomposizione dell'oggetto nei suoi elementi costitutivi, in un processo che ricorda l'analisi grafica applicata ad un'architettura. L'immagine fa riferimento ad un prototipo HBIM sviluppato dall'autore.

1.3 Obiettivi della procedura

Nel contesto fin qui esposto la presente ricerca ha come obiettivo l'individuazione di una procedura denominata *Data Fusion*, che si riveli efficace per le tematiche della prevenzione, definendo la migliore configurazione e visualizzazione di modelli "informati" in funzione delle operazioni di adeguamento, miglioramento sismico, restauro o consolidamento. La sfida è quella di ottenere una "memoria digitale preventiva" attraverso la creazione di una piattaforma interoperabile ed implementabile di dati utili per la prevenzione del rischio sismico, che ponga il modello tridimensionale quale interfaccia di accesso alle informazioni.

Il tema risulta essere interdisciplinare, non solo perché sono diverse le materie e gli ambiti coinvolti nella prevenzione, ma in quanto la ricerca stessa si pone al centro di differenti tematiche afferenti sia il tema del rilievo e della rappresentazione, quello del restauro e quello della gestione del patrimonio (fig. 1.5).

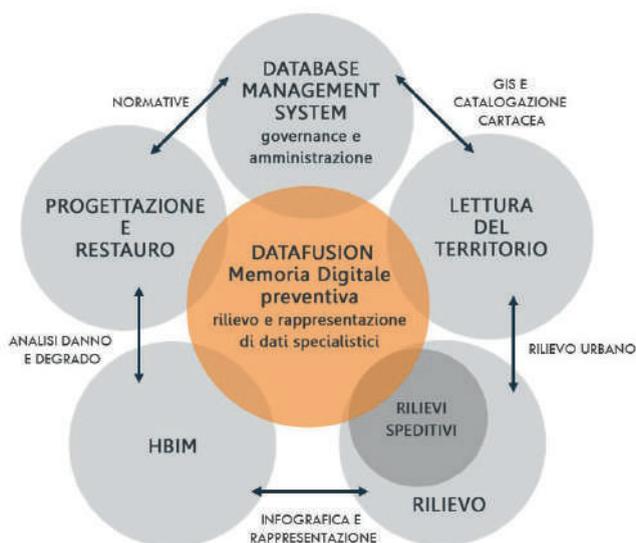


Fig. 1.5 – Schema esemplificativo del posizionamento della ricerca all'interno di diverse tematiche.

L'ambito del rilievo si pone come anello di congiunzione tra la prevenzione e la conoscenza di un organismo urbano ed architettonico: è possibile identificarlo quale elemento fondamentale per il percorso conoscitivo; inoltre le attività di acquisizione dei dati (di rilievo e diagnostici per il restauro), si configurano come base scientifica per lo studio, il confronto e l'integrazione con successive indagini di approfondimento (Inzerillo et al. 2016). Se i dati geometrici raccolti costituiranno il modello tridimensionale, i dati diagnostici si configureranno come attributi degli oggetti digitali modellati. La modellazione tridimensionale a partire dai dati di rilievo garantisce il passaggio dalla complessità della realtà alla semplificazione e consente una elaborazione dei dati in forma non solo grafica. Ci si pone come obiettivo quello di rispondere all'esigenza di sistematizzare in maniera virtuosa sia il modello tridimensionale che tutti i dati derivanti dalle indagini conoscitive, ideando un adeguato sistema di rappresentazione che comunichi efficacemente le informazioni contenute al suo interno e che tenga conto delle esigenze dei potenziali fruitori della piattaforma.

La risposta più adeguata è un modello parametrico, informativo/cognitivo (Inzerillo et al) che abbia le seguenti caratteristiche:

- Definisca la miglior configurazione dei dati "informati" in funzione delle operazioni di restauro per la mitigazione dei rischi;
- Stabilisca i livelli di dettaglio del modello per rappresentare i rischi legati al territorio, all'aggregato, al singolo edificio, all'elemento costruttivo-architettonico;
- Sperimenti un sistema rappresentativo per la semantizzazione del modello in relazione all'analisi dei dissesti e del degrado;
- Garantisca la permanenza, consultazione e implementazione dei dati.

In questo senso le piattaforme di Building Information Modeling permettono di ottenere modelli parametrici interconnessi e multiscalari, intesi come operazioni di analisi e comprensione del sistema architettonico, nonché sistemi informativi e strumenti di visual computing delle informazioni, all'interno di un'unica piattaforma virtuale.

Il Data Fusion, ricalcando le procedure sperimentate nell'ambito dell'HBIM dovrà consentire l'elaborazione di un modello tridimensionale che garantisca un adeguato livello di conoscenza per la valutazione della vulnerabilità urbana e edilizia del patrimonio costruito esposto a rischio (anche nel calcolo della vulnerabilità sismica di un manufatto diventa determinate avere a disposizione il modello tridimensionale della struttura, sulla quale svolgere analisi e valutazioni integrate).

La ricerca si pone un obiettivo ambizioso per diverse motivazioni. Innanzi tutto la natura estremamente eterogenea, multiscalare e massiva dei dati da acquisire deve comunque confrontarsi con una sintesi ragionata dei dati in modo tale da ampliarne fruibilità ed accessibilità; inoltre il patrimonio costruito si presenta come una realtà caratterizzata da infinite e possibili variazioni, notevoli gradi di complessità che non sempre sono riconducibili ad una riconoscibilità geometrica dello spazio e ad una standardizzazione tipica delle piattaforme BIM; infine la difficoltà di predisporre di letture sistematiche del costruito nell'ottica di descrivere per ogni elemento le specificità materiche, storiche e tecnologiche (Empler, 2017).

La metodologia qui proposta è finalizzata alla realizzazione di un sistema che superi tali difficoltà attraverso un approccio interdisciplinare e multiscalare, che elabora e configura le informazioni in maniera completa per i centri urbani a rischio, secondo logiche connesse alla localizzazione geografica, all'epoca di costruzione, alle strutture normative vigenti e che si costituisca come base informativa per lo sviluppo di strategie di natura gestionale ed amministrativa.

Note

1 *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* è stato istituito nel 1999 come ente volto a facilitare l'attuazione della Strategia internazionale per la riduzione delle calamità (ISDR). È incaricato dalla risoluzione dell'Assemblea generale delle Nazioni Unite di garantire sinergie nelle attività di riduzione del rischio tra le Nazioni Unite e le organizzazioni e attività in campo socio-economico e umanitario. È un'unità organizzativa del Segretariato delle Nazioni Unite ed è guidata dal Rappresentante speciale delle Nazioni Unite del Segretario generale per la riduzione dei rischi di catastrofi (SRSO).

2 "*Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*" 2015-2030 è lo strumento successivo al "*Hyogo Framework for Action*" (HFA 2005-2015) che aveva come obiettivo "costruire la resilienza delle nazioni e delle comunità ai disastri". È stato adottato il 18 marzo 2015 alla *World Conference on Disaster Risk Reduction* tenutasi a Sendai ed è il risultato delle consultazioni delle parti interessate avviate nel marzo 2012 e dei negoziati intergovernativi svoltisi da luglio 2014 a marzo 2015 e sostenuti dall'UNDRR su richiesta dell'Assemblea generale delle Nazioni Unite.

3 Dati derivanti dal Consiglio Nazionale dei Geologi.

4 Gli studi sulla Microzonazione Sismica sono regolamentati dagli "*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome nel 2008.

5 Conversione del Decreto-legge n. 39 del 28 aprile 2009.

6 La *Carta Italiana del Restauro* è la Circolare n°117 del 6 aprile 1972 del Ministero della Pubblica Istruzione, emanata con lo scopo di fissare criteri uniformi per la conservazione del Patrimonio.

7 Nel 1983 Giovanni Urbani istituisce una mostra sul rischio sismico a conclusione di un progetto di ricerca denominato "Geodinamica", svolta dal C.N.R. (Urbani, 2017)

8 Si tratta di un documento denominato "Verso la Carta del Rilievo Architettonico" presentato per la prima volta in occasione del Seminario Internazionale di Studio "Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro", tenutosi a Valmontone nel 1999.

9 I termini GIS e SIT sono spesso utilizzati indifferentemente l'uno dall'altro. Il GIS indica un Sistema per l'elaborazione di Informazioni Geografiche, e fa riferimento all'insieme di strumenti Hardware e Software per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale, associando a ciascuna elemente geografico una o più descrizioni alfanumeriche (Burrough, 1986). SIT fa invece riferimento al Sistema Informativo Territoriale nel suo complesso. Il SIT è un complesso di uomini, strumenti e procedure che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione e che li rendono disponibili, validandoli, nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere una qualsivoglia attività (Mogorovich, 1988).

10 L'iniziativa è stata ideata da BuildingSMART in collaborazione con le principali case software produttrici di piattaforme BIM. L'interoperabilità è garantita dall'IFC (Industry Foundation Clas-

ses), che è un particolare formato di dati che consente l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati o informazioni.

11 Tratto da la "Charter on the Preservation of Digital Heritage". Testo adottato dalla Conferenza Generale dell'UNESCO nel corso della sua 32ª sessione svoltasi a Parigi e conclusasi il 17 ottobre 2003. Disponibile a https://www.iccu.sbn.it/export/sites/iccu/documenti/carta_UNESCO_eng.pdf.

12 De Rubertis, R. "Il modello conoscitivo e le "sue" rappresentazioni".

13 Empler, T. "Il disegno automatico tra progetto e rilievo".

Quadro normativo

2.

2.1 Generalità

Trattando il tema della prevenzione è d'obbligo confrontarsi con un apparato normativo ingente sia nazionale che regionale, non sempre efficace ed organico, comprendente, tra gli altri, la normativa antisismica, la classificazione sismica del territorio nazionale e le Norme Tecniche di Costruzione.

Generalmente la normativa vigente sui manufatti edilizi fa riferimento alle misure da mettere in atto durante la progettazione di un'opera, definendo i livelli minimi di sicurezza al fine di salvaguardare l'incolumità delle persone che interagiscono con la struttura durante il suo ciclo di vita. Tali normative possono essere di due differenti tipologie: una prescrittiva ed una prestazionale.

Il primo approccio definisce le modalità di costruzione secondo cui un edificio può

essere definito a norma e gli obiettivi prestazionali (dei singoli componenti o dell'intero organismo) non sono espliciti, ma si guida il progettista attraverso modalità di calcolo e/o dettagliati aspetti costruttivi da seguire. Essendo le procedure fissate a priori, il progettista ha maggiori capacità di controllo sul rispetto della normativa.

L'approccio prestazionale, viceversa, ragiona in termini di raggiungimento di determinati obiettivi prefissati, definendo più i parametri che un edificio deve avere, piuttosto che modalità di progettazione ed esecuzione. Lascia al progettista una più ampia scelta sulle modalità di raggiungimento delle prestazioni prestabilite.

Se i riferimenti normativi risultano più chiari per le nuove costruzioni, per quanto riguarda il patrimonio costruito ed il tema della prevenzione è necessario divincolarsi tra diversi ambiti per giungere ad un'efficace strategia di intervento.

Il quadro risulta essere talmente vasto che, per quanto si voglia fornirne una panoramica esaustiva, rimarrà sempre riduttivo, quindi qui di seguito saranno analizzate le principali normative che riguardano la valutazione e riduzione del rischio sismico.

La prevenzione sismica in Italia si attua principalmente attraverso due strumenti: la Normativa Antisismica e la Classificazione Sismica.

La Normativa Antisismica tratta l'individuazione di criteri di costruzione tali da minimizzare gli effetti di un evento sismico sulla costruzione stessa, mentre la Classificazione Sismica consiste nella suddivisione del territorio nazionale in zone caratterizzate da un ugual valore di rischio sismico.

Per quanto concerne la Normativa antisismica è possibile delineare un quadro nazionale (attraverso l'analisi delle Norme Tecniche di Costruzione) ed un quadro regionale. Infatti, ogni regione, in attuazione del d.P.R. 380/01 ha promulgato regolamentazioni apposite per la pubblica incolumità e maggiori tute-

la dei centri abitati, di cui però è difficile in questa sede darne un quadro sinottico. Verrà dunque analizzata nei prossimi capitoli la legislatura nazionale.

Inoltre, non bisogna dimenticare che se si affrontano le tematiche relative al Building Information Modeling risulta necessario fornire un quadro anche sul tema della digitalizzazione del processo edilizio e sull'obbligatorietà dell'adozione del sistema BIM in alcune tipologie di lavori pubblici.

2.1 I concetti di pericolosità, esposizione, vulnerabilità e rischio

Prima di analizzare la normativa in merito alla prevenzione sismica, risulta importante definire alcuni concetti fondamentali sui quali le normative stesse si fondano: pericolosità sismica, esposizione al rischio, vulnerabilità sismica e rischio sismico¹.

La pericolosità sismica si definisce come stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto ad un evento sismico, in una determinata area. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale². La pericolosità nasce dalle analisi di sismicità: da dette analisi si possono conoscere frequenza e forza con cui si manifestano i terremoti in un determinato territorio ed attribuire un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo. La pericolosità sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo a parità di intervallo di tempo considerato. L'INGV ha condotto questo tipo di analisi per il territorio nazionale e, con l'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b, definisce una mappa di pericolosità sismica di riferimento del territorio nazionale (cfr. fig. 1.1)³.

L'esposizione al rischio rappresenta gli elementi soggetti ad un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico. Le categorie di el-

ementi esposte sono: popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, ecc. È molto difficile valutare in anteprima le conseguenze di un terremoto in termini di vite umane e di perdita del patrimonio architettonico in quanto dipendenti da molteplici fattori. Tuttavia, considerando tipologia di edifici e relativi abitanti, si può fornire una stima globale accettabile per terremoti violenti che interessino vaste aree. Per facilitare una stima globale, il MIBAC ha proposto un'applicazione web che identifica i centri storici esposti a rischio sismico e ne calcola l'esposizione (fig. 2.1).

La vulnerabilità sismica indica la propensione al danno o alla perdita di un sistema a seguito di un dato evento sismico. Essa viene detta primaria se relativa

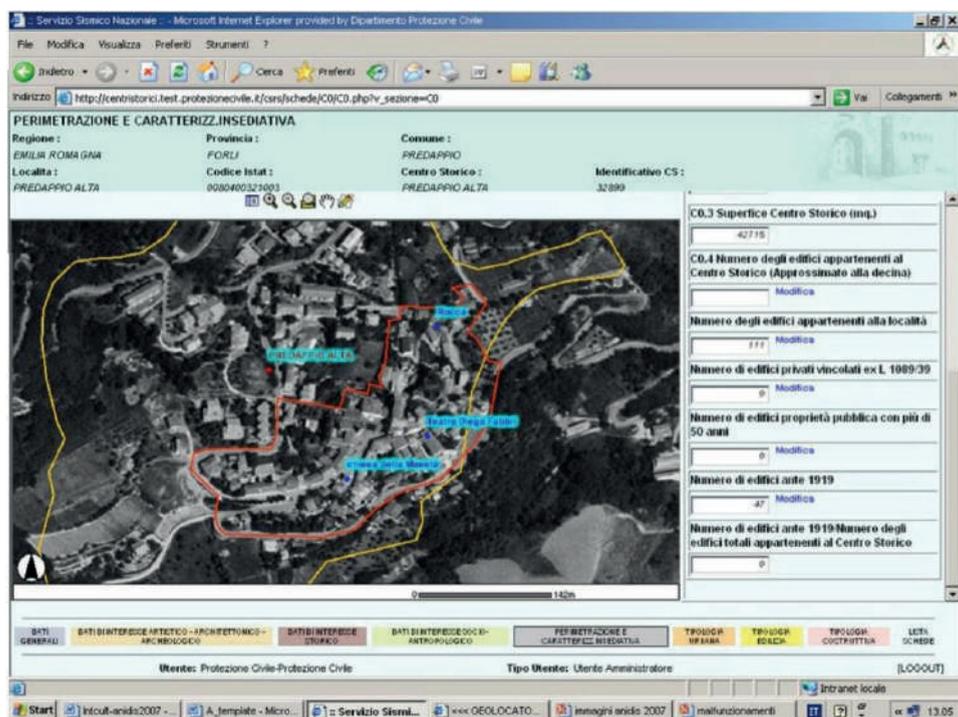


Fig. 2.1 – Screenshot dell'applicazione web denominata CSRS in un'immagine esemplificativa di un centro urbano presa dal web. L'applicazione si interfaccia con altri sistemi webGis tra cui dati ISTAT relativi al censimento della popolazione e al WebService dell'ICCD, carta del rischio dell'INGV, catasto fabbricati ecc. Disponibile a: <http://iccd.beniculturali.it/getFile.php?id=1982>. L'applicazione web è invece disponibile tramite l'iscrizione al portale <https://snipc.protezionecivile.it/csrs>.

al danno fisico subito dal sistema per effetto delle azioni dinamiche dell'evento, secondaria se relativa alla perdita subita dal sistema a seguito del danno fisico.

Il rischio sismico è la probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico. Costituisce uno dei maggiori rischi ambientali ed è definito dalla combinazione degli altri indicatori (pericolosità, vulnerabilità ed esposizione). Indica la quantità di danni attesi in un determinato luogo in base al tipo di sismicità, tipologia delle costruzioni e livello di antropizzazione.

Se da un lato non è possibile modificare la pericolosità sismica di un territorio ed il rischio sismico di un'area, è possibile invece agire sulla vulnerabilità delle costruzioni tramite politiche di prevenzione e messa in sicurezza.

2.2 Normativa Antisismica “D.M. 20 Febbraio 2018: Aggiornamento delle NTC e Circolare Esplicativa”

Le procedure di valutazione della sicurezza degli edifici esistenti sono regolate dalle Norme Tecniche di Costruzione e possono essere condotte con diversi gradi di approfondimento: a partire da valutazioni qualitative basate su rilievi ed analisi delle principali caratteristiche degli elementi costitutivi dell'edificio, fino a complessi modelli di calcolo delle strutture. Lungi dal voler redigere un'analisi ed un commento alle nuove Norme Tecniche di Costruzione, si faranno qui di seguito brevi cenni alle novità introdotte, specie nell'ambito del patrimonio costruito.

Il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 20 Febbraio 2018 aggiorna le Norme Tecniche di Costruzione emanate con D.M. del 4 Gen-

naio 2008. La normativa ha carattere prescrittivo-prestazionale, indicando sia metodologie di calcolo che parametri da raggiungere. Sostanzialmente tali norme ricalcano l'assetto precedente ma introducono novità che avvicinano la legislazione italiana agli Eurocodici. Per quanto concerne il tema della prevenzione, l'innovazione più evidente riguarda il capitolo 8 e le costruzioni esistenti: in una più ampia panoramica sulla valutazione di sicurezza degli edifici, si fa esplicito riferimento al concetto di "rischio" sismico. In particolare, vengono classificati gli interventi sul patrimonio esistente e divisi in: interventi di riparazione o locali; interventi di miglioramento sismico; interventi di adeguamento sismico⁴.

Gli interventi di riparazione o locali sono interventi che interessano singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducono le condizioni di sicurezza preesistenti.

Gli interventi di miglioramento sismico sono interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati per gli interventi di adeguamento sismico.

Gli interventi di adeguamento sono invece interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati dalla normativa stessa.

Per tale motivo le NTC 2018 individuano gli indici minimi di vulnerabilità sismica che dovranno essere raggiunti in caso di miglioramento sismico degli immobili storici e/o di adeguamento degli edifici scolastici esistenti.

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, nel definire un modello di riferimento per le analisi di vulnerabilità sismica, seguono le indicazioni delle "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale" (che verranno affrontate nel paragrafo 2.1.4) concentrandosi sui concetti di rischio, sicurezza, tutela e conservazione del patrimonio storico monumentale.

2.3 La classificazione sismica e la microzonazione sismica

La classificazione sismica del territorio italiano consiste nell'individuazione di aree omogenee che presentano medesimo rischio sismico ed insieme alla Normativa antisismica rappresenta uno strumento attuativo nell'ambito della prevenzione. Le prime normative di classificazione sismica fanno riferimento ad una serie di decreti ministeriali del Ministero dei Lavori Pubblici emanati tra il 1981 ed il 1984. Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003, il territorio nazionale viene suddiviso in quattro differenti zone di pericolosità e vengono dettati i principi generali che le Regioni dovranno seguire nel calcolo della pericolosità per i propri Comuni. Esse sono:

- Zona 1: aree esposte ad una maggiore pericolosità, si possono verificare fenomeni ad alta intensità e catastrofici;
- Zona 2: aree esposte ad eventi sismici di minor intensità rispetto alla zona precedente, ma le cui scosse possono causare ingenti danni;
- Zona 3: aree caratterizzate da bassa sismicità, sebbene in alcuni contesti geologici le scosse telluriche possono avere gravi conseguenze;
- Zona 4: aree sottoposte al minor rischio sismico, in cui gli eventi sismici sono sporadici e di bassa intensità, con bassi livelli di danno.

In questa classificazione, nelle prime tre zone (sismicità alta, media o bassa) è obbligatoria la progettazione antisismica. Nelle zone 4 invece è data facoltà alle regioni imporre o meno la progettazione antisismica. Con l'OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 è stato emanato un aggiornamento dei criteri nazionali per la riclassificazione sismica in base ai livelli di accelerazione del suolo in caso di scossa. In base a tali criteri il territorio italiano è suddiviso in quattro zone caratterizzate

da differenti classi di accelerazione massima del suolo, che ricalcano le precedenti zone di pericolosità sismica individuate. Nel rispetto degli indirizzi stabiliti a livello statale, le Regioni hanno effettuato una classificazione ognuna del proprio territorio e dei propri Comuni nelle zone indicate, altre hanno utilizzato criteri differenti adottando delle sottozone (fig.2.2).

Tuttavia, i valori di accelerazione del suolo non sono alla base delle procedure di calcolo individuate dalle NTC, in quanto esse prevedono che per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione individuata per ogni singolo edificio, sulla base della propria posizione geografica e vita nominale. La clas-

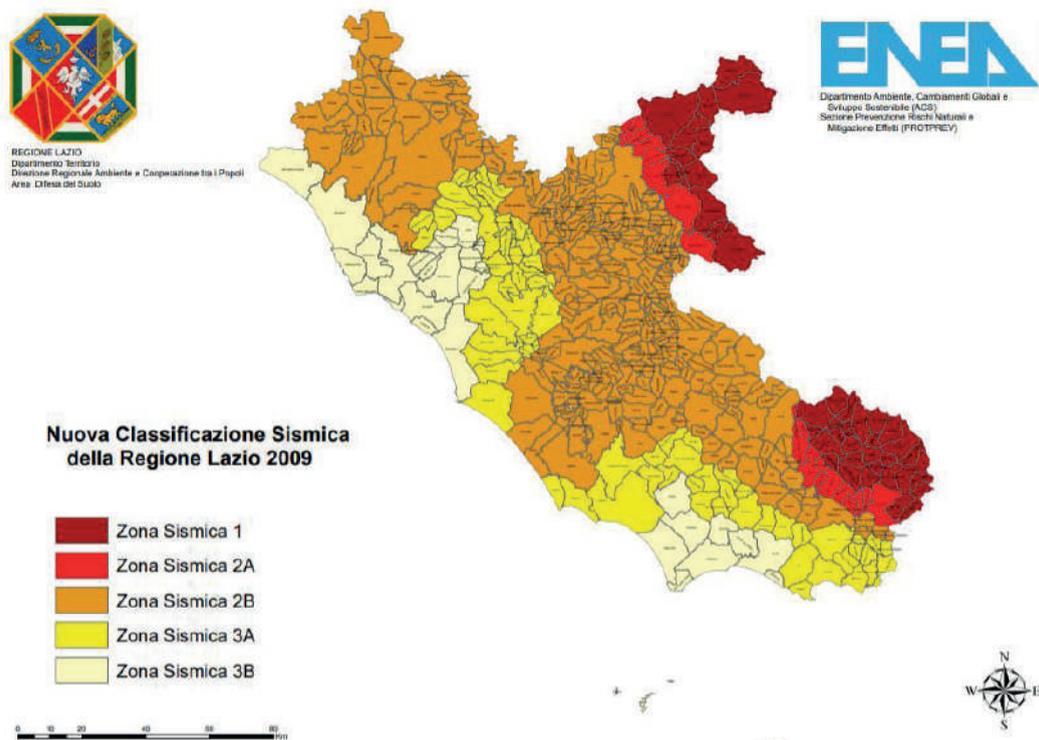


Fig. 2.2 – Immagine della Nuova Classificazione Sismica della Regione Lazio. Il territorio regionale, in linea con i criteri nazionali, è suddiviso in zone sismiche. Vengono elaborate anche delle sottozone e redatti elenchi per ogni Comune. Fonte: Relazione tecnica “Nuova Classificazione sismica della Regione Lazio” – Allegato 1.

sificazione sismica al contrario definisce l'appartenenza di un intero Comune ad una zona e rimane utile solo per gestione, controllo e pianificazione da parte di Enti Pubblici ed amministrazioni.

Oltre alla classificazione sismica, per un'efficace strategia di prevenzione e mitigazione del rischio sismico è fondamentale l'inquadramento del territorio in base al comportamento dei terreni durante una scossa ed i conseguenti fenomeni di instabilità. La suddivisione e cartografia del territorio in base alla risposta sismica è nota come microzonazione sismica (fig. 2.3).

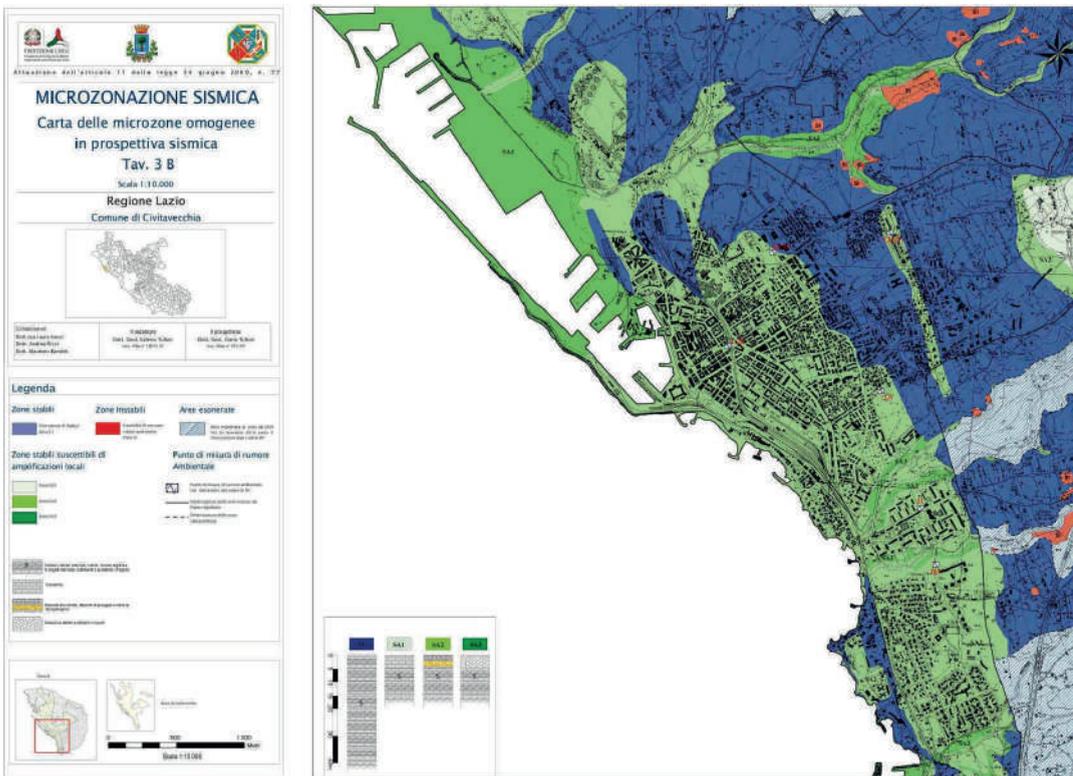


Fig. 2.3 – Esempio di microzonazione sismica di Livello 1 (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) per la città di Civitavecchia. Disponibile a: <http://www.twegeo.it/>.

Per microzonazione sismica (MS) si intende la “valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”⁵. Gli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”⁶ delineano una metodologia da applicare per gli Studi di Microzonazione e dividono in territorio in tre differenti categorie:

- Zone stabili: non si ipotizzano effetti locali di rilievo;
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: sono attese amplificazioni del moto sismico dovute alla litostratigrafia e alla morfologia locale;
- Zone suscettibili di instabilità: gli effetti sismici attesi sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno.

Tali studi determinano tre livelli di approfondimento con cui possono essere condotte le analisi, ognuno con differenti output: dal primo livello si ottiene la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), dal secondo livello di approfondimento si ottiene la Carta della Microzonazione sismica, dal terzo livello infine si ottiene la Carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Gli Studi di Microzonazione Sismica sono fondamentali per la pianificazione di nuovi insediamenti o nello stabilire le modalità di intervento nelle aree urbanizzate.

2.4 Le “Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale”

La normativa di riferimento per quanto riguarda gli interventi atti a mitigare il rischio sismico sul patrimonio costruito (specie se in muratura) risulta essere

ad oggi la Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri, 9 febbraio 2011, contenente gli indirizzi operativi relativi alle "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008" ed relativi allegati A, B, C.

La Direttiva è redatta con l'intento di specificare un percorso di conoscenza, valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e progetto degli eventuali interventi.

Il concetto di prevenzione è qui delineato attraverso il concetto di diminuzione della vulnerabilità degli edifici e di aumento della sicurezza. In particolare, stabiliscono la possibilità di raggiungere adeguati livelli di sicurezza attraverso interventi di miglioramento sismico, sempre in accordo con i principi di conservazione del restauro. Riferendosi principalmente al patrimonio tutelato ed ai beni culturali, le Linee Guida devono necessariamente determinare indirizzi volti alla conoscenza degli edifici sui quali intervenire, in quanto la conoscenza si rivela mezzo essenziale per una valutazione attendibile della vulnerabilità sismica. Essendo l'ambito del rilievo, e più in generale il settore ICAR 17 strettamente collegato al percorso di conoscenza, la direttiva merita un maggior approfondimento.

Il percorso conoscitivo descritto nella Direttiva risulta essere ben dettagliato, si articola attraverso diversi livelli di approfondimento ed è organizzato nei seguenti step, intesi in modo non sequenziale ma integrato:

- Identificazione della costruzione: l'edificio viene localizzato sul territorio, in particolare per capire le categorie di rischio sismico di appartenenza. La costruzione viene studiata in rapporto al suo contesto e tessuto urbano e si individua l'eventuale appartenenza ad un aggregato edilizio. Viene identificata la consistenza di massima del manufatto e gli eventuali elementi di pregio;

- Caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi: analisi, anche storica, dell'evoluzione funzionale dell'edificio e delle sue articolazioni tali da capire anche le modifiche strutturali e geometriche avvenute nel tempo;
- Rilievo geometrico: il rilievo dell'edificio non è concepito solo nella sua accezione geometrica, ma inteso anche nell'identificazione degli elementi costruttivi. Prevede la descrizione stereometrica del corpo edilizio (per gli edifici in muratura) e l'analisi stratigrafica prevedendo anche l'utilizzo di tecnologie integrate. È inoltre previsto un rilievo dei dissesti e la loro classificazione;
- Analisi storica degli eventi ed interventi subiti: ricostruzione dell'intera storia costruttiva del manufatto architettonico al fine di individuare le zone di possibile discontinuità geometrica-strutturale e materica;
- Il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione: permette di individuare la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. In particolare, dovrà essere effettuata una valutazione della qualità muraria, tenendo conto dei modi di costruire tipici del territorio ed individuando le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti;
- La caratterizzazione meccanica dei materiali: tali caratteristiche possono essere desunte dalle proprietà degli elementi costituenti descritte nelle NTC o, ove questo non sia possibile, attraverso metodologie di prove e prelievi in situ. L'identificazione delle caratteristiche meccaniche può anche essere ottenuta per analogia con murature simili, tenendo conto anche dei fenomeni di degrado;
- Aspetti geotecnici: lo studio delle fondazioni e le indagini geotecniche permettono la caratterizzazione dei terreni di fondazione, finalizzata all'individuazione della risposta sismica locale e d'interazione terreno-struttura.

Tutti questi aspetti si basano, sia sulla ricerca di documentazione esistente, sia su indagini speditive che diagnostiche e/o strumentali. Le analisi e le ricerche possono essere condotte secondo diversi gradi di approfondimento in funzione dell'accuratezza delle operazioni. Vengono così introdotti dalla normativa (NTC 2008 e 2018) tre livelli di conoscenza crescenti, sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive e caratterizzati dal diverso grado di attendibilità delle informazioni reperite:

- LC1 (conoscenza limitata): geometria della struttura desunta da eventuali disegni originali con verifica a vista ed a campione; dettagli costruttivi non disponibili dalla documentazione o ricavabili attraverso raffronti con medesime tipologie costruttive dello stesso periodo di edificazione; proprietà dei materiali riferiti a valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca con limitate prove in situ; degrado dei materiali e della struttura desunto da indagini visive o limitate prove in situ;
- LC2 (conoscenza adeguata): geometria della struttura desunta da eventuali disegni originali con verifica tramite rilievo metrico e geometrico; dettagli costruttivi incompleti ma avvalorati da limitate o estese verifiche in situ; proprietà dei materiali disponibili dalla documentazione esistente o verificata da limitate o estese verifiche in situ; degrado dei materiali e della struttura desunto da limitate o estese prove in situ;
- LC3 (conoscenza accurata): geometria della struttura desunta da eventuali disegni originali con verifica tramite rilievo metrico e geometrico; dettagli costruttivi completi e verificati tramite estese prove in situ; proprietà dei materiali disponibili dalla documentazione esistente o verificata estese verifiche in situ; degrado dei materiali e della struttura desunto da esaustive prove in situ;

La normativa (NTC) propone anche una distinzione tra Livello di Conoscenza per opere in cls armato e in acciaio, o opere in muratura. Determinare il

Livello di Conoscenza con il quale condurre le analisi di vulnerabilità sismica di un edificio, è essenziale per il calcolo del cosiddetto *Fattore di Confidenza*⁷, indispensabile nella modellazione della struttura e nella verifica di resistenza alle sollecitazioni. Il Fattore di Confidenza varia in maniera inversamente proporzionale rispetto al Livello di Conoscenza e viene utilizzato per ridurre i valori medi di resistenza dei materiali costitutivi nei calcoli strutturali (fig. 2.4). Di qui la fondamentale importanza di un'accurata conoscenza della struttura, della sua consistenza fisica, della sua storia costruttiva, anche in collegamento con il contesto storico ambientale e territoriale su cui insiste.

2.5 DM 1 Dicembre 2017 n. 560: strumenti elettronici di modellazione nell'edilizia (BIM)

Trattando di piattaforme interoperabili e di sistemi informativi, risulta necessario approfondire il quadro Legislativo in merito. A tal proposito, nell'articolo 23, comma 13 de Il Nuovo Codice dei Contratti Pubblici (Dlgs n. 50/2016) è possibile leggere «Le stazioni appaltanti possono richiedere per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici di cui al comma 1, lettera h). Tali strumenti utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari, al fine di non limitare la concorrenza tra i fornitori di tecnologie e il coinvolgimento di specifiche progettualità tra i progettisti»⁸. Sulla base del contenuto nel citato articolo del Codice, è stato emanato il Decreto Ministeriale 1 dicembre 2017, n. 560, d'attuazione del medesimo articolo. Tale Decreto definisce «le modalità e i tempi di progressiva introduzione, da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dell'obbligatorietà dei metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche»⁹.

L'importanza risiede nella maturazione culturale da parte del Ministero dei LL. PP., che riconosce il ruolo centrale assunto dalla modellazione tridimensionale e dalla gestione delle informazioni, visti come fattori di accrescimento e di convenienza economica nella gestione degli appalti: la digitalizzazione del processo non solo costruttivo, ma appaltante, attraverso i sistemi BIM, rende l'intera procedura maggiormente trasparente ed efficiente.

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2			Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

Fig. 2.4 – Tabella dei Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei Fattori di Confidenza per edifici in muratura. Fonte: NTC 2008.

Il Decreto 560, inoltre, obbliga piccole e medie imprese, così come professionisti, al continuo aggiornamento, per poter operare in un contesto nazionale ed internazionale a trazione digitale.

Sia l'articolo 23 del Codice, che il Decreto attuativo, sono il recepimento di normative comunitarie: la Direttiva 2004/18/CE, in cui erano previste modalità elettroniche di acquisizione degli appalti pubblici, in aggiunta alle procedure tradizionali; la Direttiva 2014/24/CE¹⁰ sugli appalti pubblici, dove si manifesta l'intento di puntare sui mezzi digitali di informazione e comunicazione nelle procedure di appalto.

A livello nazionale risulta fondamentale la Norma UNI 11337:2017 sulla "*Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni*" che definisce gli standard italiani sull'utilizzo del BIM ed è considerata la linea guida per l'adozione di detta metodologia. La norma è suddivisa in 10 parti ed è stata concepita per l'applicazione a tutto il sistema delle costruzioni e delle infrastrutture. Di queste un approfondimento maggiore merita la parte 4 "*Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati ed oggetti*" e la parte 9 "*Fascicolo del costruito*".

La parte 4 si occupa principalmente di definire i livelli di sviluppo geometrico (LoG) e livelli di sviluppo informativo (LoI) di un oggetto digitale. L'aggregazione di più oggetti digitali concorre alla formazione del modello risultante, che sarà caratterizzato da un livello di dettaglio (LoD) a seconda della scala di progettazione e dell'ambito di applicazione¹¹. Nelle nuove costruzioni, il Livello di Dettaglio rappresenta il "Livello di definizione" che il modello BIM deve raggiungere secondo le necessità finali individuate dal committente del progetto. La classificazione che la norma UNI 11337:2017 descrive, ricalca quelle internazionali, proponendo una scala che va LoD A, in cui l'oggetto è definito in modo simbolico, a LoD G, dove l'oggetto è esistente ed il suo "stato" digitale si definisce "aggiornato" e viene rappresentato come "as built". Le ultime due categorie di LoD costituiscono una prerogativa della Normativa italiana e non

trovano riscontro in ambito internazionale. Esse sono state concepite per adattarsi alla gestione del patrimonio costruito: i LoD F e G sono infatti stati definiti "LoD per il progetto di restauro" e non solo rappresentato l'oggetto così com'è nel suo stato di reale costruzione, ma registrano gli eventuali fenomeni di degrado e la programmazione temporale degli interventi previsti. Di interventi sul patrimonio costruito, dovrebbe occuparsi anche la parte 9 della suddetta normativa, ma al momento non risulta ancora esser stata pubblicata. Essa oltre al capitolo della "*Due Diligence*", si occuperà di normare il rapporto tra rilievo, inteso anche come acquisizione massiva di dati, e processi BIM. Questo fascicolo introduce un argomento ancora di forte dibattito tra gli studiosi del settore ICAR17 e che sarà affrontato nel paragrafo successivo.

Il DM n. 560 del 2017 è stato aggiornato dal Decreto Ministeriale 312 del 02/08/2021, il quale stabilisce nuove tempistiche di progressiva introduzione dei metodi e degli strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture.

Note

1 Le definizioni qui di seguito riportate sono tratte da: Presidenza del Consiglio dei ministri, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della Protezione civile, Gruppo di lavoro MS, Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, 2008 – Parte I, paragrafo 1.4-Definizioni.

2 La pericolosità sismica di base è una componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica locale è una componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche).

3 L' OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006, definisce i "criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 108 dell'11 maggio 2006.

4 Le definizioni qui di seguito riportate sono tratte da: Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale - Capitolo 8, paragrafo 8.3 - Classificazione degli interventi.

5 Definizione tratta da "Relazione tecnica Nuova Classificazione sismica della Regione Lazio" - Allegato 1.

6 Gli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" è un Documento di valenza nazionale pubblicato dalla Presidenza del Consiglio dei ministri - Dipartimento della Protezione Civile, approvato il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successivi approfondimenti, scaricabili dal sito ufficiale del DPC.

7 Il Fattore di Confidenza (F_c) è un parametro compreso tra 1 e 1.35, che consente di graduare l'attendibilità del modello di analisi strutturale e tenerne conto nella valutazione dell'indice di sicurezza sismica. Varia in maniera inversamente proporzionale rispetto al Livello di Conoscenza.

8 Art. 23 comma 13 del Dlgs n. 50 del 2016.

9 Decreto Ministeriale 1 dicembre 2017, n. 560

10 Si tratta della European Union Public Procurement Directive 2014/24, che promuoveva l'inserimento del Building Information Modeling dentro le procedure pubbliche di appalto per tutti gli Stati membri, attraverso l'emanazione di provvedimenti legislativi nazionali.

11 L'acronimo LoG deriva dall'inglese Level of Geometry; l'acronimo LoI deriva dall'inglese Level of Information; l'acronimo LoD deriva dall'inglese Level of Detail, tradotto in italiano come "Livello di Sviluppo" o "Livello di Dettaglio"

HBIM

e patrimonio costruito

3.

3.1 Implicazioni teoriche nei processi Scan to BIM

Il tema del *Historical o Heritage Information Modeling*¹ è entrato solo da qualche anno a far parte del dibattito tra gli studiosi. Nonostante ciò, le esperienze in campo sono molto diversificate, generalmente orientate a definire utili procedure di modellazione che più si adattino alla descrizione dell'ambiente costruito, ed efficaci correlazioni tra i dati e la struttura tridimensionale del modello. Inoltre, un modello HBIM contiene al suo interno dati indicatori dello stato di conservazione degli elementi che lo compongono: la tematica è trasversale e tocca l'ambito del Restauro, perciò la bibliografia risulta essere ampia ed in continua evoluzione. Il dibattito si sviluppa intorno a diversi filoni riconducibili al settore disciplinare del Disegno. In prima battuta l'ambiente costruito, che sia tessuto storico, città

consolidata, in trasformazione o tessuto diffuso, presenta elementi di carattere geometrico - spaziale e costruttivo, così come leggi aggregative, non standardizzabili. Nei processi BIM, gli oggetti parametrici sottostanno a logiche rigorose, riducendo spesso gli oggetti digitali a primitive geometriche che non sono adatte a descrivere la morfologia complessa degli organismi esistenti. L'unicità delle componenti di un edificio o di un tessuto urbano comporta difficoltà di modellazione attraverso i sistemi BIM, ma la ricerca è orientata verso la creazione di librerie di oggetti parametrici derivanti dai manuali di tecniche costruttive relative agli edifici storici, dando così origine all' HBIM (Calcerano *et al*, 2017). Tuttavia, affidandosi generalmente alla trattatistica e, nonostante gli strumenti di modellazione abbiano aumentato il loro livello di accuratezza e di controllo qualitativo degli oggetti digitali, i sistemi esistenti non sono ancora in grado di svelare, analizzare e rappresentare le componenti compositive, storiche, tecnologiche e culturali che hanno portato alla realizzazione dell'oggetto o dell'ambito di studio più in generale (Bianchini *et al*, 2016).

In secondo luogo, ed in continuità con la tematica precedente, il confronto si concentra sui processi "*scan to BIM*" ovvero su come trasportare e gestire le informazioni derivanti da un'acquisizione massiva di dati (tramite *Scanner laser*, fotogrammetria, ecc.) in ambiente BIM. Infatti, esiste una consistente differenza tra la quantità di dati rilevati ed i dati che servono alla descrizione degli elementi digitali che compongono l'oggetto di studio. Un operatore che effettua la modellazione deve necessariamente eseguire una scelta tra i dati a sua disposizione ed eliminare tutte quelle informazioni non parametrizzabili che quindi non saranno rappresentate e visualizzate in ambiente BIM. Il processo si arricchisce inevitabilmente di una componente critica che, al contrario, nelle procedure BIM è pressoché inesistente (fig. 3.1).

I processi di *reverse modeling*² sono dunque una questione ancora aperta e la ricerca è orientata a stabilire una metodologia operativa che sopperisca

a tale difficoltà. A questo proposito sono molti i *plug-in* di modellazione algoritmica sviluppati dalle *software house* che tentano di coniugare il controllo formale e la gestione della forma costruita e delle sue componenti attraverso delle definizioni matematiche che variano in funzione di parametri prestabiliti tali da realizzare il più possibile un modello *as built*.

La procedura HBIM è inoltre associabile ad un processo di *reverse engineering*³, dove oltre alle problematiche morfologiche affrontate con il *reverse modeling*, si studiano ed affrontano i processi costruttivi e le logiche progettuali che hanno portato allo stato di fatto dell'organismo architettonico. Gli oggetti digitali vengono quindi definiti secondo la loro componente semantica⁴, oltre che geometrica e, la modellazione parametrica BIM compie un passaggio «[...] dalla forma della rappresentazione alla rappresentazione del contenuto, dovendosi costruire a priori uno schema teorico e analizzare

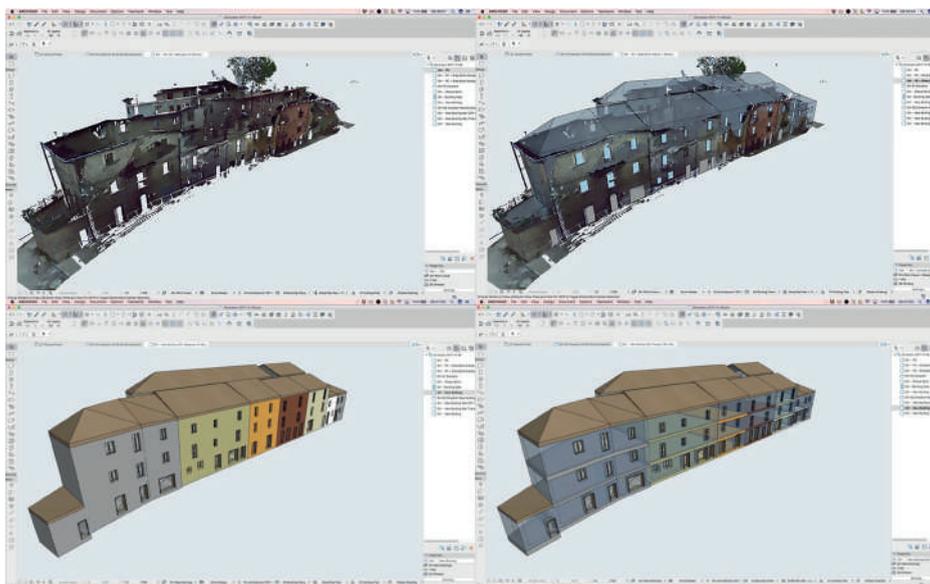


Fig. 3.1 – Elaborazione di un modello BIM in ambiente ArchiCAD a partire una nuvola di punti tramite procedure algoritmiche. L'elaborato si riferisce alla ricostruzione della consistenza di un contesto urbano (isolato di Grisciano) dopo un sisma, in una ricerca condotta da M. Calvano e M. Sacco.

gli oggetti e le relazioni che popolano il dominio al quale il sistema si applica per poterlo specificare nella sua tettonica, all'interno del sistema informatico, per la sua rappresentazione.» (Di Luggo, Scandurra, 2016). Ritornando alla definizione di semantica è possibile effettuare un parallelismo per un processo BIM: la rappresentazione virtuale di un oggetto digitale non si riferisce solo alla sua convezione grafica, bensì ad un oggetto ontologicamente⁵ definito e che assume le caratteristiche concettuali e di contenuto del corrispondente oggetto reale. In molti gli studiosi che parlano delle difficoltà e delle criticità insite in un processo "scan to BIM", altri invece definiscono impropriamente tale procedura come "BIM survey" senza considerare il livello di contraddizione che si instaura tra i due termini. L'utilizzo di tale terminologia ha prodotto numerosi malintesi e ricadute professionali: talvolta, specie nelle procedure di appalto di Enti pubblici e/o ministeriali, la committenza pone a bando di gara un "rilievo BIM", la cui definizione è però sconosciuta sia agli Enti stessi che redigono il bando, sia a coloro che intendono parteciparvi, comportando difficoltà valutative e di trasparenza.

La committenza, specie quella pubblica, dovrebbe al contrario essere in grado di imporre standard e procedure. La continua richiesta di elaborati che facciano riferimento ad un "rilievo BIM", nasconde un'esigenza da parte dei committenti e del mercato dei Beni Culturali più in generale, per cui tale dicitura deve necessariamente essere formalizzata. Bisogna dunque analizzare la questione su due fronti concentrandosi sui due termini che compongono la locuzione. Se si ripensa alla definizione di rilievo di Docci come «un'operazione volta a capire l'opera nella sua globalità», dove «rilevare quindi significa innanzitutto comprendere l'opera che si ha davanti, coglierne tutti i valori, da quelli dimensionali a quelli costruttivi, da quelli formali a quelli culturali.» (Docci, 2009), rilevare significa interpretare criticamente dei dati (siano essi derivanti dall'osservazione diretta, da indagini diagnostiche o da acquisizione), tale da

restituire nella successiva rappresentazione gli elementi significativi del sistema architettonico nella sua interezza.

Allo stesso modo, in un processo "scan to BIM", un operatore parte da un modello numerico, lo discretizza ed opera una rielaborazione dei dati, anche attraverso un riconoscimento "semantico" degli elementi che compongono l'oggetto di rilevamento, indagando le connessioni e le relazioni che sono alla base dei singoli componenti, classifica e organizza il modello e le informazioni in forme gerarchiche logicamente legate tra loro. Entrambe le operazioni (rilievo e modellazione BIM) costruiscono dei modelli che, a prescindere dalla strumentazione utilizzata per l'acquisizione, restituiscono i significati dell'architettura attraverso una sintesi critica dei dati di input. Se lo si pensa a questo modo, sembra venir meno la contraddizione dialettica tra i due termini. Si considera inoltre che un'architettura non è solo composta di elementi materiali, ma anche di componenti immateriali e di interrelazioni che si instaurano tra di essi. Si può dunque affermare provocatoriamente che esista un rilievo BIM (o meglio bisognerebbe dire rilievo HBIM), nel quale processo un operatore, oltre a riconoscere semanticamente le componenti di un'architettura, le sistematizza e gerarchizza in un procedimento informatico interpretando le leggi che sono alla base dei processi aggregativi?

Scomporre la realtà in elementi finiti per la sua comprensione, è una procedura che trova le sue fondamenta nella filosofia classica, in particolare nella filosofia democritea: secondo Democrito, la spiegazione dei fenomeni della realtà sta negli aspetti quantitativi e misurabili (quindi parametrizzabili?) tramite cui arrivare alla comprensione dei processi aggregativi della materia e degli atomi. La domanda rimane aperta, si può tramite un processo BIM, che scompone un organismo architettonico nei suoi elementi finiti, arrivare alla comprensione dei fenomeni che hanno sotteso le sue leggi costruttive?

Chiaramente il tema è aperto non solo nel campo dell'architettura, ma sfo-

cia in altre ben più complesse tematiche relative a come, attraverso elaborazioni seriali computerizzate, si possano descrivere le qualità emergenti ed anche immateriali della complessità, sia essa inerente ai fenomeni fisici, al comportamento umano, alle reti neurali ecc.

Tornando al tema principale oggetto di questo paragrafo, si può affermare che la procedura BIM applicata al rilievo del costruito, non risolve il problema delle limitate capacità di documentazione e descrizione di oggetti complessi, ma essa può essere considerata reiterativa in quanto durante la modellazione, lo studio dei processi costruttivi e morfologici e delle relazioni che intercorrono tra di essi, migliora la modellazione stessa in un continuo *feedback*, fino al raggiungimento di un risultato più accurato e più aderente alla realtà.

Da queste implicazioni metodologiche nasce quindi la tematica sulla deviazione del modello rispetto all'oggetto reale, sull'accuratezza della rappresentazione e accuratezza informativa. Anche in questo caso la ricerca è orientata verso l'individuazione di possibili metodi di valorizzazione del dato di rilievo attraverso la misura di più parametri attribuibili agli oggetti digitali che compongono il modello informato che vanno dal *Level of Detail* o dal *Level of Development*, dal *Level of Geometry* o *Level of Information*, al *Level of Reliability*. La definizione di tali parametri varia a seconda che si tratti della Normativa britannica, di quella Statunitense o italiana o a seconda della definizione data dagli studiosi o professionisti del campo. Tentando di darne una categorizzazione, è possibile effettuare una prima distinzione tra *Level of Detail* (Livello di Dettaglio) e *Level of Development* (Livello di Sviluppo) derivante dal "*Contract Document G202:2013 - Building Information Modeling Protocol Form*" redatto dall'AIA⁶, secondo cui il Livello di Dettaglio si riferisce essenzialmente ai dettagli della rappresentazione grafica, mentre il Livello di Sviluppo comprende sia la rappresentazione grafica dell'oggetto digitale, sia il livello di informazioni ad esso collegate (AIA, 2013). Le indicazioni nazionali, con la UNI 11337:2017 (già affron-

tata nel par. 2.1.5) invece, distinguono tra *Level of Geometry*, riferito al livello di dettaglio degli attributi geometrici e *Level of Information*, riferito al livello di dettaglio degli attributi informativi e definendo il Livello di Sviluppo (anch'esso sintetizzato con l'acronimo LoD o *Level of Development* in accordo con la dicitura più diffusa a livello internazionale) di un oggetto digitale, rappresentativo del binomio geometria-informazione e della solidità del dato (fig. 3.2). Infine, risulta utile specificare il concetto di Livello di Affidabilità o *Level of Reliability* di un'informazione. Se infatti si considera l'importanza di esplicitare la trasparenza nei processi di conoscenza del costruito storico (Brusaporci, 2017), il *Level of Reliability* (Fig. 3.3) viene definito per esprimere il grado di «affidabilità ontologica del modello rispetto alla realtà che intende descrivere» (Bianchini, Nicastro, 2018). Esso è un valore risultante dalla combinazione di diversi parametri che variano tenendo conto della reperibilità delle fonti, dei documenti d'archivio, dell'accuratezza delle indagini diagnostiche ecc. (Santagati *et al*, 2018).

Dunque, i criteri di trasparenza e di affidabilità non sono solo valori quantitativi della deviazione tra rappresentazione ideale e realtà che il modello descrive: trattando il percorso conoscitivo di sistemi complessi ed ontologica-

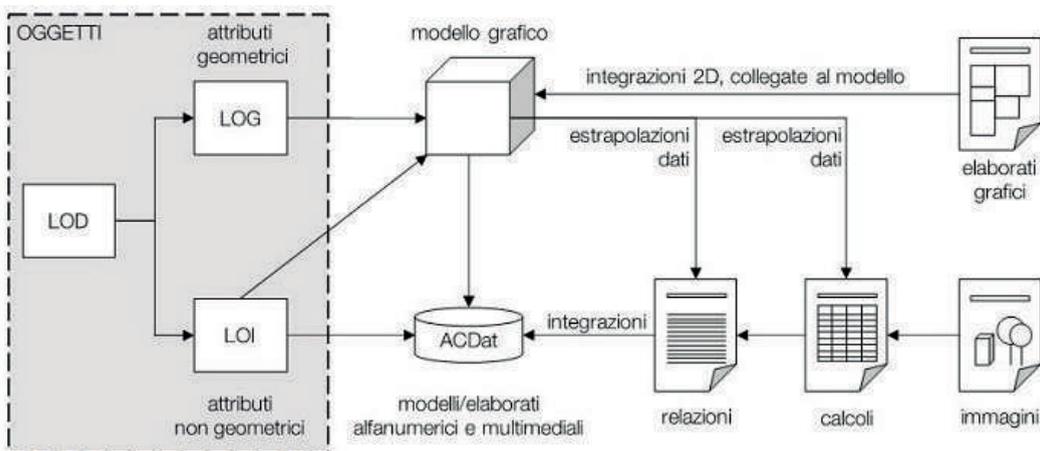


Fig. 3.2 – Flusso dei dati nel processo informativo e sistema dei LoD italiani in un'immagine presa dal web. Disponibile su <https://www.ingenio-web.it/18667-sistema-dei-lod-italiano-uni-11337-4-2017> [Agosto 2019]

mente connessi tra loro, sono concetti che devono necessariamente applicarsi anche alle informazioni inserite all'interno del modello. I dati diagnostici, così come i dati di rilievo, sono anch'essi soggetti ad interpretazione, una volta digitalizzati ed inseriti all'interno di *database*, danno origine ai *paradata*. Occorre a questo punto tassonomizzare la differenza che intercorre tra *paradata* e *meta-*

Scheda tipo per la determinazione del Level of Reliability degli Oggetti Digitali				(0 < LoR < 10)	
Oggetto Digitale :	Codice elemento	Famiglia / Tipologia	Descrizione		
	FA.01.EXT.60	Moro	Fisore perimetrale prospetto N-E		
Caratteristiche geometriche intrinseche	Forma (iben o scaltova (con riconducibile a matrici geometriche)	-	Traduzione geometrica simbolica	- 0	2
	Forma semplice o composta (riconducibile a matrici geometriche)	✓	Traduzione geometrica parametrica (per elementi tipo)	- 1	
		✓	Traduzione geometrica puntuale (per elementi specifici)	- 2	
Dati di rilievo	Dati non disponibili (rilievo non effettuato o non attendibile)	-	Traduzione geometrica simbolica	- 0	2
	Dati disponibili (rilievo effettuato e ben documentato)	✓	Traduzione geometrica generica (da rilievo non integrato)	- 1	
		✓	Traduzione geometrica specifica (da rilievo integrato)	- 2	
Indagini specialistiche	Dati non disponibili (indagini non effettuate o non attendibili)	-	Definizione informativa ipotetica	- 0	0
	Dati disponibili (indagini effettuate e ben documentate)	✓	Definizione informativa generica (da indagini a campione)	- 1	
		✓	Definizione informativa specifica (da indagini dirette o diffuse)	- 2	
Materiale / Fonti Archivio	Dati non disponibili (ricerche non effettuate o fonti non attendibili)	-	Definizione informativa ipotetica (a livello storico o semantico)	- 0	1
	Dati disponibili (ricerche effettuate e ben documentate)	✓	Definizione informativa generica (a livello storico o semantico)	- 1	
		✓	Definizione informativa specifica (a livello storico o semantico)	- 2	
Caratteristiche fisiche	Indicazione generica delle caratteristiche dei materiali	-	Definizione informativa ipotetica (o per analogia)	- 0	2
	Indicazione specifica delle caratteristiche dei materiali	✓	Definizione informativa generica (o superficiale)	- 1	
		✓	Definizione informativa specifica (o stratigrafica)	- 2	
Definizione tecnologica / articolazione letteraria	Confermazione incerta o non definibile	-	Definizione / articolazione simbolica o assestata	- 0	1
	Confermazione verificata o definibile	✓	Definizione / articolazione generica (per analogia o per conferme tipo)	- 1	
		✓	Definizione / articolazione specifica (verificata o per elementi specifici)	- 2	
Stato di conservazione	Dati non presenti nel database (analisi non effettuate)	-	Stato conservativo non definito	- 0	0
	Dati presenti nel database (analisi effettuate)	✓	Stato conservativo descritto per mezzo collegamenti esterni	- 1	
		✓	Stato conservativo descritto per mezzo di oggetti digitali	- 2	
Verifiche di rispondenza c/o congruenza	Verifiche non effettuate o in corso	-	Definizione geometrica non verificata	- 0	1
	Verifiche effettuate (comparazione modelli/parametri class, model checking)	✓	Definizione geometrica verificata (deviazioni / incongruenze poco rilevanti)	- 1	
		✓	Definizione geometrica validata (deviazioni / incongruenze non rilevanti)	- 2	
Indicazioni operative o di approfondimento	Indicazioni non fornite nel database	-	Indicazioni assestati (bassa probabilità di approfondimento LOR)	- 0	2
	Indicazioni fornite ad database	✓	Indicazioni generiche (discreta probabilità di approfondimento LOR)	- 1	
		✓	Indicazioni specifiche (buona probabilità di approfondimento LOR)	- 2	
				Valore Medio	
					1,22

Fig. 3.3 – Schema dei fattori e dei valori che influenzano il Level of Reliability delineato da S. Nicastro

data. Si può accennare a quanto teorizzato da F. Gabellone nel "*La trasparenza scientifica in archeologia virtuale. Commenti al Principio N.7 della Carta di Siviglia*". Secondo tale teoria, un metadato è un'informazione sintetica sul dato, che ne descrive le caratteristiche senza necessariamente contenere il dato stesso. Ad esempio, dopo accurate indagini, nella descrizione di un aggregato urbano si vogliono inserire informazioni relative alla sua evoluzione morfologica ed indicare, strutturalmente, quale degli edifici che lo compongono è quello originario, quali invece gli edifici strutturalmente addossati, quali quelli sorti tra spazi interstiziali e strutturalmente indipendenti. Il dato complesso viene tradotto in codice alfanumerico: ad ogni numero o lettera corrisponde una caratteristica dell'edificio ed un conseguente comportamento strutturale. File e dati di diversa natura, si traducono in linguaggio «[...] favorendo lo sviluppo di vocabolari e associazioni semantiche fra termine cercato e significato possibile all'interno di un contesto». (Gabellone, 2012). Un metadato così strutturato, classificato secondo regole standardizzate e condivise, è efficace per la comunicazione e la comprensione della natura dell'informazione e ne permette la consultazione con più agevolezza. I *paradati* sono informazioni inserite come risultato di processi interpretativi di dati e contengono sia l'informazione che la fonte del dato stesso. Ad esempio, informazioni riguardanti lo stato di degrado di una parete perimetrale derivanti da un'immagine termografica, derivano proprio dalla decodifica di tale immagine da parte di un operatore specializzato e questo necessariamente porta con sé una componente soggettiva nella valutazione: può comportare sia errori di interpretazione (dovuti anche alla natura ed alle problematiche insite in un'immagine termografica), che una comunicazione parziale del processo conoscitivo sullo stato di degrado.

La creazione di banche dati è essenziale per promuovere, condividere e diffondere la conoscenza: in un approccio *open* e di interoperabilità tra diverse discipline, l'affidabilità dell'informazione è dunque fondamentale non solo per

questioni etiche e scientifiche, ma in quanto strumento metodologico di comunicazione e disseminazione di tutto ciò che afferisce al processo conoscitivo (Brusaporci, 2017).

Ad oggi dunque la tematica dell'HBIM e del processo BIM applicato ai sistemi di conoscenza, così come le valutazioni di affidabilità e di aderenza dei modelli e delle informazioni sono questioni ancora aperte. Allo stesso modo non esiste una piattaforma software che sia in grado di gestire in maniera multidimensionale tutte i dati e le informazioni che descrivono le complessità geometriche e semantiche che sono proprie del patrimonio costruito, ma esistono diverse procedure, più o meno efficaci, che alcuni studiosi stanno teorizzando, che saranno descritte nel paragrafo seguente. Il *Data Fusion* per la prevenzione, si inserisce all'interno del campo dei database integrati finalizzati alla tutela, conservazione, documentazione e valorizzazione, non solo dei beni culturali, ma di tutto il patrimonio costruito, dai centri urbani al tessuto diffuso. Le tematiche affrontate sono molteplici ed ognuna con il proprio focus. Tale tesi è volta proprio a cercare una procedura che si avvalga di tutte le caratteristiche sopra esplicitate e che sia adattabile al tema della prevenzione sismica.

3.2 Esperienze sull'integrazione di dati eterogenei nei processi conservativi

L'obiettivo di integrare tutte le informazioni derivanti da rilievi ed indagini diagnostiche con i dati documentari, le fonti storiche e informazioni reperibili nelle banche dati istituzionali è da tempo al centro delle ambizioni di studiosi e professionisti. Le esperienze si sono evolute su più fronti: dal un lato in molti si sono orientati sull'implementazione 3D di *database* già esistenti, (piattaforme GIS e SIT); dall'altro, dopo la diffusione del BIM e dell'HBIM, diversi studiosi provano a sistematizzare *workflow* operativi che consentano quanto possibile

l'integrazione di dati frammentari, di diversa natura, e multi-scalari. Se si considera il tema del rischio connesso al BIM, in ambito nazionale, gli appuntamenti di Milano dell'Intbau 2017 e di Napoli con il 39° Convegno Internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione, e diverse riviste accademiche internazionali, presentano studi ed applicazioni in questa direzione, in particolare per quanto concerne il ripristino e la tutela delle radici culturali nell'ambito della ricostruzione post-sismica.

Infine, se si analizzano le diverse discipline coinvolte nel tema della prevenzione, risulta necessario non focalizzarsi solo sulla scala architettonica, ma analizzare le proposte che riguardano ambiti urbani e territoriali, proposte geologiche e proposte strutturali.

Per quanto riguarda il primo filone di ricerche occorre indubbiamente fare menzione alla "Carta del Rischio" (fig. 3.4) ed agli indirizzi metodologici che ne sono alla base. Essa è inserita nel portale *Vincoli in Rete*⁷. Quest'ultimo è l'integra-

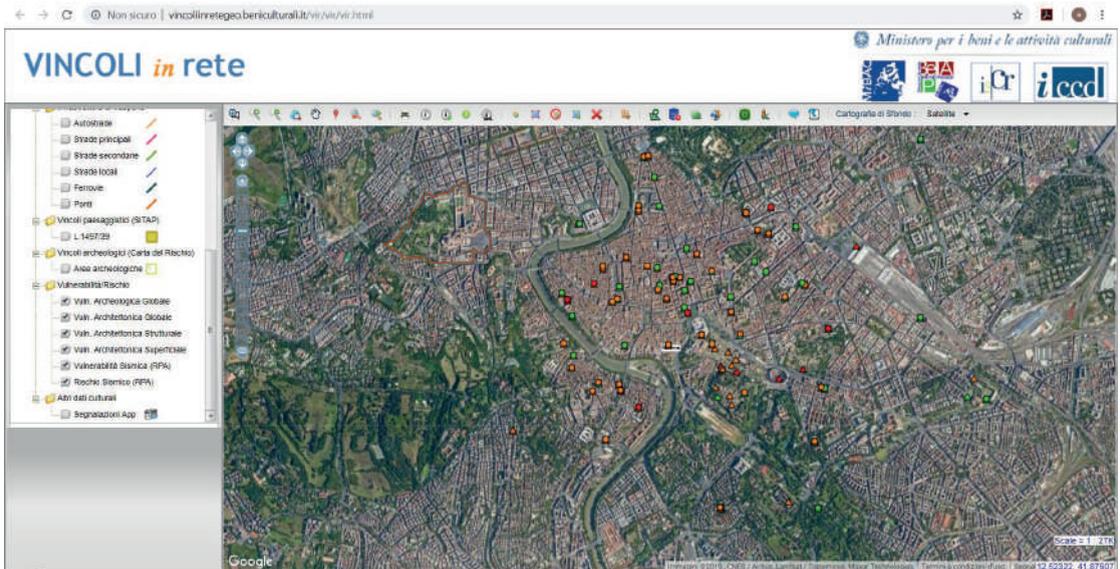


Fig. 3.4 – Screenshot della pagina web *VINCOLI in rete*. Sulla cartografia della città di Roma, sono evidenziate i beni esposti a rischio sismico e differenti tipologie di vulnerabilità (archeologica, architettonica e sismica).

zione di diversi Sistemi Informativi Territoriali con servizi di interoperabilità per le amministrazioni che lo gestiscono e con funzionalità di ricerca dei beni culturali sia di tipo alfanumerico che cartografico. La *Carta del Rischio* documenta la vulnerabilità del patrimonio monumentale ed archeologico italiano, in relazione ai fenomeni di rischio naturale (sismico, derivante da frane, alluvioni, inquinamento, ecc.) o antropico e si presenta come una componente strategica importante ai fini degli interventi conservativi. Tale sistema, inoltre, unisce alla potenzialità direttamente operativa la natura di strumento sperimentale e di ricerca sul territorio, in grado di sviluppare nuove forme di conoscenza sul rischio di danno dei beni immobili (Cacace, Fiorani, 2014).

La CdR⁸ si occupa principalmente di beni monumentali o vincolati, tralasciando completamente l'individuazione dei fattori di rischio cui sono sottoposti i centri storici minori o il patrimonio diffuso. È inoltre uno strumento per agire a scala nazionale e territoriale e non di dettaglio. A tal proposito sono state avanzate delle proposte di implementazione della CdR (Cacace, Fiorani, 2014) capaci di integrare la documentazione alla scala territoriale (carte di pericolosità sismica, di rischio idrogeologico, ecc.) con la documentazione alla scala architettonica tramite la creazione di un SIT. Le informazioni da inserire nel SIT prevedono la compilazione di schede che, non solo prevedono il censimento dei beni artistici o monumentali puntuali, ma si concentrano sull'elemento aggregato, che presenta peculiarità geometriche, strutturali e funzionali e culturali.

Sebbene si tratti ancora di dati bidimensionali GIS, il sistema informativo della CdR è in continua evoluzione ed è orientato verso l'integrazione di più tipologie di dati (ambientali, geografici, descrittivi di fattori di rischio o di degrado) in un'unica piattaforma: il progetto *ArTek*⁹ nasce con l'intento di implementare accessibilità, comunicazione e fusione di dati eterogenei derivanti da indagini diagnostiche (sensori, indagini multispettrali, dati acquisiti da satellite o da drone, ecc.) per il monitoraggio dei alcuni siti di interesse culturale. Si tratta di un sistema di ICT (oggi non ancora disponibile sul mercato) che, attra-

verso una piattaforma *cloud*, intende integrare le attività di monitoraggio con le informazioni reperibili sulle banche dati già esistenti (AA.VV., 2018)

Le sperimentazioni in atto sono quindi indirizzate verso la creazione di un sistema informatizzato di integrazione di dati eterogenei derivanti da strumentazione tecnologica avanzata, o verso l'integrazione di piattaforme esistenti con dati che discretizzano il continuum urbano che caratterizza i nostri centri storici. Entrambe le direzioni presentano lo stesso obiettivo: creare un sistema di gestione centralizzato che indirizzi operatori ed Enti verso un controllo maggiore dei rischi e aiuti gli stessi nella programmazione degli interventi di tutela.

Interessanti progressi si possono individuare negli studi condotti per creare Sistemi Informativi che gestiscano in maniera visuale informazioni di natura eterogenea e con formati differenti, in particolar modo nei diversi filoni di ricerca sviluppati all'interno del programma PRIN COFIN 2006, con coordinatore scientifico M. Centofanti, i cui esiti sono stati editi nel 2010 a cura di S. Brusaporci con il titolo *"Sistemi Informativi Integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del Patrimonio Architettonico Urbano"*. All'interno della ricerca si affrontano le problematiche relative all'integrazione delle differenti metodologie di rilevamento, le modalità di costruzione dei modelli 3D e rispettive caratteristiche di rappresentazione, l'interoperabilità tra 3D e GIS, i sistemi *open source* e protocolli di gestione dei dati. Alcuni studi si rivolgono all'integrazione dei dati nei contesti pre-sisma e post-sisma, in quanto, il terremoto verificatosi il 6 Aprile 2009 a L'Aquila, proprio durante le ricerche, ha sottolineato la fondamentale importanza che questi *database* acquisiscono sia nel tema della ricostruzione che per individuare proposte di intervento ai fini della tutela del patrimonio (Brusaporci, 2010, Meschini, 2010). A questo proposito, e come già accennato in precedenza, è indubbio dover citare gli studi raccolti in occasione del quinto Convegno dell'INTBAU^{10 11} 2017, tenutosi al Politecnico di Milano i cui atti sono raccolti in *"Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design"*, a cura di G. Amoroso. In essi una sezione è dedicata a *"Building for the Future,*

Following a Disaster", dove il tema della ricostruzione è centrale (Guardigli *et al* 2018, Canciani *et al*, 2018, Luigini, 2018) e si verificano primi protocolli operativi per far fronte alle problematiche connesse alla mitigazione dei rischi naturali (Paggi, Sormani, 2018), soprattutto in seguito agli eventi sismici verificatisi nel nostro territorio nel 2016.

La rivista *Buildings* del 2018, trattando la tematica "*Built Heritage: Conservation vs. Emergencies*" presenta una serie di articoli inerenti al tema prevenzione del rischio più in generale e del rischio sismico più nello specifico (Cardani *et al* 2018, De Berardinis *et al*, 2018, Papa *et al* 2018, Pica, 2018) trattati in maniera interdisciplinare.

Un protocollo operativo per l'integrazione di dati nella prevenzione del rischio sismico è fornito da una ricerca denominata "*HT_BIM: La modellazione parametrica per l'analisi del rischio nei centri storici*"; si tratta di un sistema BIM specifico per gli aggregati edilizi storici che consente di individuare vulnerabilità legate, sia ad aspetti strutturali sia a fenomeni di degrado causati da vento e soleggiamento (Pelliccio *et al*, 2017).

Occorre menzionare nello specifico una procedura presentata durante il 39° Convegno Internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione dal titolo "*Procedura di Information Modeling per rappresentare un territorio colpito dal sisma*"¹² (Empler, 2017, Empler, 2018) (fig. 3.5). L'obiettivo è quello di integrare le procedure di modellazione di un processo HBIM con i dati provenienti da indagini diagnostiche, al fine di conoscere lo stato di fatto post-sismico, attraverso la costituzione di una banca dati a cui gli operatori impegnati nella ricostruzione possano attingere per la programmazione degli interventi, dalla messa in sicurezza fino alla delocalizzazione dei centri urbani.

Il *workflow* è diviso essenzialmente in due parti:

Formazione del quadro conoscitivo pre-sisma. In questo l'ambito del rilievo e della rappresentazione sono centrali: la procedura si concentra sulle modalità di

rilievo differito³³ e sull'utilizzo dei *web data*, così come nella modellazione parametrica del costruito esistente;

Formazione del quadro conoscitivo post-sisma, nel quale oltre alle tematiche di rilievo già affrontate nel quadro pre-sisma, si integrano le informazioni relative allo stato di danno. Tale step però non ha ancora avuto riscontri applicativi.

Il sistema teorizzato è il primo esito di un'attività di ricerca "dell'Unità di Ricerca Rischio Sismico Urbano: prevenzione e ricostruzione", costituita nel 2017 dal Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura - Sapienza Università di Roma, finanziato dalla Sapienza Università di Roma e denominato "*Urban/territorial restoration and seismic risk prevention: a methodology. Learning and experimenting from the case of 2016 Central Italy earthquake*". Tale ricerca di dottorato si inserisce all'interno della stessa ricerca e si pone come evoluzione della procedura qui sopra esposta, concentrandosi sulle attività



Fig. 3.5 – Schema esemplificativo della procedura ARIM. Lo schema è stato realizzato da T. Empler per la definizione della procedura ARIM.

preventive.

Per quanto concerne le altre discipline coinvolte nella mitigazione del rischio sismico, risulta importante accennare le proposte che integrano le procedure BIM con tematiche relative all'ingegneria strutturale ed alla geologia e geotecnica. In tal senso le ricerche sono ancora acerbe e, ad ogni modo, sarebbe impossibile darne una panoramica ampia in questa sede. L'articolo "*BIM per l'earthquake engineering*" (Segala, 2017) fa il punto sullo stato dell'arte dei rapporti intercorrenti tra ingegneria strutturale, ingegneria sismica ed il BIM (i cui esempi maggiori si ritrovano in ambito internazionale), individuando, nella mitigazione del rischio sismico, il processo BIM come punto di partenza per lavorare con modelli probabilistici. Infine, per quel che concerne l'ambito geologico e geotecnico, sembrano essere molto poche le sperimentazioni in campo, tra le quali un esempio ci è fornito dall'articolo "*Potenzialità del Processo BIM Applicato a Problemi Geotecnici*" (Ventini *et al*, 2018) in cui si testano le procedure BIM applicate alla modellazione topografica del terreno ed alla raccolta e visualizzazione delle relative informazioni geotecniche attraverso l'interoperabilità tra diversi software.

Note

1 Il sistema *Historical Information Modeling* è stato sistematizzato per la prima volta nel 2009 da Maurice Murphy del Dublin Institute of Technology per meglio adattarsi a rilievi ed e ad interventi sul patrimonio culturale architettonico. La terminologia è spesso abbreviata nell'acronimo HBIM.

2 Con il termine "*reverse modeling*" si intende quella procedura che "traduce" un manufatto reale in una riproduzione virtuale (modello digitale) attraverso il processo di ottimizzazione delle forme e con diversi gradi di affidabilità e aderenza al reale (Russo, Manti, 2011).

3 Si intende per "*reverse engineering*" un "processo di duplicazione di un oggetto reale nelle sue funzioni e nelle sue dimensioni attraverso un'analisi fisica e la misura delle sue parti, ottenendo i dati tecnici richiesti per la lavorazione". Tale definizione è stata esplicitata nel "*Manuale militare americano MIL-HDBK-115 (ME)*".

4 La semantica è un ramo della linguistica che si occupa dei fenomeni del linguaggio non dal punto di vista fonetico e morfologico, ma guardando al loro significato. Nell'analisi logica si riferisce allo studio del rapporto fra i segni e i concetti a cui si riferiscono.

5 L'Ontologia in ambito informatico, è "un'esplicita specificazione di una concettualizzazione" (Gruber, 2009); fa riferimento a concetti (o elementi) di un ambito ed alle relazioni che tra di essi si instaurano, quest'ultime sono gerarchizzate a partire dalle proprietà degli oggetti (o concetti) a cui si riferiscono.

6 Si tratta di un documento redatto nel 2013 da un'associazione statunitense denominata *American Institute of Architects* con sede a Washington, attiva nell'emanazione di linee guida e procedure da adottare nel campo dell'edilizia.

7 Il portale *Vincoli in Rete* è una piattaforma su base GIS, nata nel 2012 in seguito ad un programma di interventi per l'innovazione digitale nel settore dei beni culturali del Ministero per la Pubblica Amministrazione e l'Innovazione. È stato realizzato dall'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro in collaborazione con il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MIBACT). Esso contiene diversi sistemi informativi relazionati tra loro, tra cui: SIT della Carta del Rischio; SITAP dei Beni tutelati presso la Direzione Generale Belle Arti e Paesaggio; SIGEC Web o sistema informativo dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione.

8 Carta del Rischio

9 Il progetto ArTeK - *Satellite enabled Services for preservation and valorisation of cultural heritage* è stato finanziato dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) e vede la collaborazione di diversi partner tra cui: l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR), ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e ricerca Ambientale), NAIS (*Nextant Applications and Innovative Solutions*), CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) ed altri *stakeholders*. I progetti pilota per la piattaforma sono stati sviluppati sui siti UNESCO di Matera e Villa Adriana e sui siti di Civita di BagnoREGIO, Gianola e Baia.

10 *International Network for Traditional Building Architecture & Urbanism*

11 Proceedings of 5th INTBAU International Annual Eventche, 2017. A cura di Giuseppe Amoruso
Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design. Vol 3. Springer

12 L'autore della presente tesi di dottorato ha partecipato alla definizione del framework ed ha
contribuito in parte alla realizzazione del modello informato di riferimento.

13 Per rilievo differito si intende l'esistenza di una distanza temporale tra il momento della racco-
lta dati e la loro elaborazione (Emler, 2017).

**Il processo di conoscenza
per la prevenzione
dal rischio sismico**

4.

4.1 Le discipline coinvolte nella prevenzione sismica

Come già anticipato nel par.2.4, le “*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*” costituiscono uno strumento fondamentale per la tutela dei beni culturali immobili. Predispongono dei criteri di verifica che si fondano su un percorso di conoscenza della fabbrica, capace di comprenderne ed interpretarne la storia costruttiva e lo stato di fatto e di conservazione. Il processo conoscitivo, a seconda del grado di approfondimento delle indagini (Livello di Conoscenza), da origine ad un Fattore di Confidenza, il quale, a sua volta, viene utilizzato per ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente. Le Linee Guida sanciscono inoltre la necessità di disporre di strumenti di analisi in grado di permettere le verifiche di vulnerabilità e la valutazione del rischio

del patrimonio culturale, nonché la progettazione degli interventi di miglioramento e/o adeguamento sismico. In tal modo, un dato qualitativo (Livello di Conoscenza), viene tradotto in dato quantitativo (Fattore di Confidenza) utile alla definizione di modelli a supporto delle verifiche di vulnerabilità sismica. Le Linee Guida danno quindi la possibilità di costruire modelli interpretativi (di calcolo per la vulnerabilità sismica) in funzione dei livelli di conoscenza intesi come rapporto tra quantità e qualità delle informazioni e dei dati raccolti.

Sembra quasi obbligato effettuare un parallelismo tra la metodologia applicata nella norma, definita dagli stessi redattori delle Linee Guida come innovativa, e l'approccio metodologico definito dai processi di HBIM nell'individuazione dei Livelli di Sviluppo e dei Livelli di Affidabilità degli oggetti digitali e delle informazioni ad essi associate.

Se il livello di conoscenza influisce anche nella pianificazione e nella quantificazione degli interventi di prevenzione, risulta basilare, in questo quadro, una strutturazione dell'atto conoscitivo attraverso la programmazione di attività atte allo scopo. Nel perseguimento di tale obiettivo, le Linee Guida definiscono dei percorsi conoscitivi tali da definire una panoramica efficace dell'oggetto di studio e dettano indirizzi (anche se piuttosto generali) sulle modalità di acquisizione dati per ogni step conoscitivo.

Analizzando la tipologia di analisi descritte, è possibile riconoscere quattro filoni fondamentali di discipline che afferiscono al percorso di conoscenza. Esse sono:

- *Storia, Rilievo e Restauro*, si concentrano su: analisi storica dell'evoluzione morfologica, degli eventi ed interventi subiti dalla struttura, identificazione della geometria ed eventuale stereotomia della fabbrica, identificazione dei materiali e dello stato di degrado;
- *Tecnologia dell'Architettura ed Impiantistica*: analizza gli elementi costituenti l'organismo resistente, le tecniche di realizzazione, i dettagli

costruttivi e le modalità di connessione o di aggregazione tra gli elementi, i rapporti costruttivi;

- *Geologia e Geotecnica*: approfondisce la conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione, con riferimento anche alle variazioni avvenute nel tempo ed ai relativi dissesti;
- *Meccanica delle strutture*: individua la geometria degli elementi strutturali, le tecniche costruttive, il quadro fessurativo e deformativo ed i fenomeni di dissesto e di cedimento strutturale.

Nel primo caso, diviene fondamentale l'analisi storica (intesa come ricerca iconografica e storiografica dell'organismo architettonico), con lo scopo di individuare le fasi di trasformazione degli edifici così da valutare possibili discontinuità strutturali, disomogeneità materiche, eventuali danni causati da attività antropiche o derivanti dagli eventi subiti nel corso del tempo¹. Il concetto di trasformazione non va inteso solo nell'impianto planimetrico, ma anche agli alzati, la cui evoluzione è possibile indagare con analisi stratigrafiche attraverso saggi macrostratigrafici. Il Fattore di Confidenza dipende sia dal grado di accuratezza del rilievo geometrico, sia dall'accuratezza della sua rappresentazione e necessita di una descrizione, oltre che dell'interezza del corpo di fabbrica, anche delle caratteristiche dimensionali dei singoli elementi costitutivi l'organismo architettonico e delle rispettive regole aggregative. L'importanza di un rilievo geometrico risiede nel fatto che lo stesso sarà utilizzato per definire la geometria tridimensionale del modello da utilizzare nell'analisi della risposta sismica.

A questo punto è d'obbligo effettuare una riflessione: i metodi di rilevamento e l'accuratezza dello stesso dipendono dal livello di conoscenza che si vuole raggiungere. Nel caso si stia stimando la vulnerabilità sismica urbana² di un intero centro abitato, risulta chiaro che si dovrà ricorrere a metod-

ologie speditive e che forniscano un'adeguata scala di rappresentazione per consentire valutazioni d'insieme, anche al fine di redigere una graduatoria di rischio utile ad indirizzare le priorità d'intervento sui manufatti più vulnerabili e significativi. Qualora si stesse valutando la vulnerabilità edilizia di un singolo edificio, il grado di accuratezza deve essere inevitabilmente maggiore e le procedure di rilievo devono essere in grado di restituire: il dato geometrico; il quadro fessurativo descritto nelle caratteristiche che ne qualificano la posizione, la dimensione e l'estensione; l'andamento dello stato deformativo, ovvero eventuali fuori piombo, spanciamenti e cedimenti differenziali.

In questo campo, le stesse Linee Guida affermano che, in caso di ricognizioni di livello urbano, è possibile anche ricorrere ai soli eidotipi, purché siano in grado di restituire caratteristiche dimensionali di massima, numero di piano fuori terra ed entro terra e la conformazione plano-altimetrica dell'intero aggregato o complesso architettonico. Chiaramente esistono modalità di rilievo più accurate degli eidotipi nonostante la loro caratteristica di rapidità di acquisizione dei dati. Tali metodi saranno approfonditi nel paragrafo che segue. All'eventuale quadro fessurativo, si aggiunge la determinazione dello stato di degrado dei materiali attraverso un rilievo materico-costruttivo. Anche in questo le Linee Guida delineano alcune modalità di acquisizione dati, annoverando tra le scelte tecniche di indagine non distruttive di tipo indiretto (termografia, georadar, tomografia sonica, ecc.) o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopie, scrostamento di intonaci, saggi, piccoli scassi, ecc.). Le Linee Guida inoltre sanciscono che «Un aspetto rilevante è la scelta del numero, della tipologia e della localizzazione delle prove da effettuare. Per una corretta conoscenza esse dovrebbero essere adottate in modo diffuso, ma per il loro eventuale impatto e per motivazioni economiche, esse andranno impiegate solo se ben motivate, ovvero se utili nella valutazione e nel progetto dell'intervento». In questo caso più che l'aspetto qualitativo, si sottolinea

l'aspetto quantitativo dei dati da acquisire, sempre in linea con gli obiettivi e la scala di valutazione.

Da questo quadro emerge una stretta connessione tra livello di conoscenza, affidabilità delle informazioni, accuratezza di rilievi ed indagini diagnostiche, scala ed attendibilità del modello, inteso sia nella sua accezione geometrico-costruttiva che in quella di modello interpretativo di comportamento strutturale. Il parallelismo con le procedure di HBIM risulta a questo punto chiaro.

La necessità di coniugare aspetti ed indagini riguardanti la vulnerabilità urbana ed i sistemi insediativi territoriali, con gli elementi caratterizzanti la vulnerabilità edilizia, obbliga ad effettuare analisi complesse e multiscala per la programmazione delle attività di prevenzione. Il ministero per i Beni e le Attività Culturali propone un Sistema Informativo per la Valutazione del Rischio Sismico³ (SIVARS) per l'applicazione degli indirizzi contenuti nelle Linee Guida. Questo a sottolineare l'importanza di un'organizzazione relazionale dei dati acquisiti e delle informazioni per una valutazione globale. La procedura di *Data Fusion* (che sarà analizzata nello specifico nel par. 6) proposta in questa tesi, si pone l'obiettivo di fornire un'utile banca dati che abbia un approccio multiscalare attraverso la definizione dei Livelli di Sviluppo e dei Livelli di Affidabilità dei modelli o la strutturazione di modelli "ad albero", legati tra loro e caratterizzati da differenti LoD (Centofanti, 2016). Il processo è da considerarsi reiterativo, in quanto metadati e paradata sono continuamente aggiornabili ed implementabili, e varieranno il proprio livello di attendibilità in funzione sia di fattori oggettivi (es. l'accuratezza dell'acquisizione), sia di fattori soggettivi (come l'interpretazione dei dati stessi).

Nel paragrafo seguente sarà analizzata in particolare una componente dei fattori oggettivi concentrandosi sulle differenti modalità di acquisizione dati per le diverse discipline coinvolte nella prevenzione sismica.

4.2 Procedure di acquisizione dati per le diverse discipline

Verranno qui di seguito analizzate differenti metodologie di rilievo e di acquisizione dati, tralasciando quelle non coerenti con gli obiettivi di costituzione del *Data Fusion* e scegliendo volutamente di non trattare le metodologie tradizionali, considerandole quali tecniche consolidate. In particolare, si farà riferimento alle modalità di rilevamento speditivo e differito per quanto riguarda la disciplina del rilievo, al funzionamento della macchina termografica ed alle criticità insite nelle interpretazioni delle immagini termografiche derivanti per le discipline della tecnologia e del restauro, alle tecniche diagnostiche in uso nel campo della geologia e della geotecnica.

4.2.1 Metodi di rilevamento speditivo

Se il *Data Fusion* si pone come strumento di raccolta di informazioni diversificate ed a diversa scala, il rilievo geometrico deve soddisfare contemporaneamente esigenze di acquisizione dati con un'accuratezza che varia dalla scala architettonica (aggregati e singoli corpi edilizi) a quella urbana (tessuti edilizi intesi come insieme dell'edificato, degli spazi aperti e delle relazioni tra di essi). Considerando i processi di rilievo urbano, è necessario predisporre di tecniche di rilievo strumentale integrate e che riducano i tempi di acquisizione. A tal proposito bisogna prevedere tutte quelle tecniche che uniscano un'accuratezza del dato concorde con gli obiettivi preposti ma che rispettino tempi relativamente brevi di lavoro sul campo. Si valutano quindi tutte quelle metodologie atte al rilievo speditivo, ma esattamente quando un rilievo può definirsi tale? Si può affermare che un rilievo è speditivo quando è positivo il rapporto tra tempistiche di acquisizione dati e quantità di dati utili acquisiti.

Ai fini di un'analisi di vulnerabilità sismica urbana e di Livello di Conoscen-

za base (Definita di livello territoriale dalle Linee Guida e indicata dall'acronimo LC1), il livello di accuratezza del rilievo deve essere in grado di restituire tutte le strutture edilizie esistenti nella loro reale forma e dimensione, seppur in modo non perfettamente aderente alla consistenza geometrica di ogni singolo corpo edilizio o componente architettonico. Il rilievo urbano infatti deve essere capace di poter descrivere le: «[...] modalità diagrammatiche che indicano più la presenza di una struttura edilizia che la sua reale forma e dimensione [...]». (Pagnano, 2005). Secondo G. Pagnano, un rilievo si dice urbano se riesce a rappresentare la *forma urbis* che appunto «[...] rileva la sua struttura diagrammatica che è molto diversa dalla struttura morfologica. Il rilievo urbano, privilegiando la strutturazione degli elementi costitutivi in luogo della loro morfologia percettibile, fa sì che delle sequenze di spazi interni ed esterni e dei nessi pregnanti della forma urbana ed architettonica non ne restino che tracce astratte: lo scheletro murario della pianta ed il fantasma dei prospetti. Metaforicamente il rilievo urbano restituisce più la radiografia che la fotografia della città» (figg. 4.1 – 4.2).

Chiaramente, ai fini della creazione di un database multi scalare in cui il modello funga da interfaccia di accesso alle informazioni e nello stesso tempo fornisca informazioni geometriche e morfologiche, il grado di accuratezza del rilievo urbano non è sufficiente a descrivere compiutamente i complessi edilizi o a fornire informazioni utili alla programmazione degli interventi di prevenzione.

Su questa base, e sugli obiettivi del *Data Fusion*, possono essere considerati quindi rilievi speditivi quelli che utilizzano le seguenti modalità di acquisizione:

- Sistemi UAV⁴ e fotogrammetria close range;
- Sistemi UAV con Tecnologia LIDAR⁵ integrata;
- Strumentazione con tecnologia SLAM⁶.

TESSUTI LINEARI A SCHIERA con innesti e aggiunte ortogonali

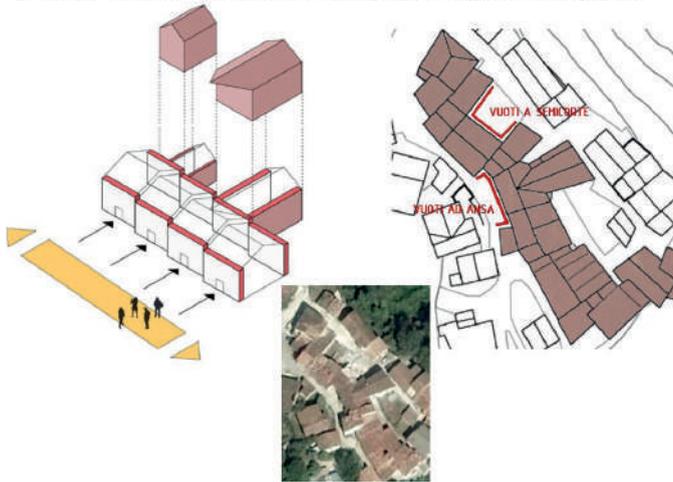


Fig. 4.1 – Studio di un tessuto urbano della frazione di Villanova del Comune di Accumoli (RT). Lo studio basato su materiale cartografico mette in evidenza le geometrie di massima dell'edificato urbano, il sistema dei vuoti e la morfologia dei pieni. L'immagine è stata realizzata dagli studenti del Prof. Andra Bruschi nell'ambito delle attività di ricerca dell'“Unità di Ricerca Rischio Sismico Urbano: prevenzione e ricostruzione”, costituita nel 2017 dal Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura - Sapienza Università di Roma, finanziato dalla Sapienza Università di Roma e denominato “Urban/territorial restoration and seismic risk prevention: a methodology. Learning and experimenting from the case of 2016 Central Italy earthquake”, coordinato da T. Emler.



Fig. 4.2 – Sezione di livello urbano di una frazione di Accumoli. La restituzione è il risultato di un rilievo integrato con LS e aerofotogrammetria da drone. Restituzione ed immagine dell'autore.

Nell'elenco si è deciso volutamente di non includere altre modalità di rilevamento in quanto non in accordo con il grado di accuratezza adatto agli scopi del *Data Fusion*, e di specificare sia lo strumento che la tecnologia, in quanto è proprio dall'integrazione di strumenti consolidati e nuove tecniche (o viceversa tecniche consolidate e nuove strumentazioni) che è possibile ottenere un rilievo speditivo con un alto valore qualitativo del dato.

Le metodologie sono inoltre citate a prescindere dalle tecniche di procesamiento dei dati acquisiti, che non verranno dunque analizzate.

Analizzando la prima tipologia, possiamo affermare che, come ben noto, i sistemi UAV sono strumenti aeromobili a pilotaggio remoto. Di questa categoria fanno parte i droni che attualmente rappresentano il mezzo più utilizzato per la fotomodellazione aerea: spesso si sente parlare direttamente di aerofotogrammetria da drone e molte sono le esperienze in campo e la letteratura in merito allo sviluppo di adeguate procedure per aumentare la qualità del dato. Oltre al convenzionale processo di acquisizione per un rilievo fotogrammetrico, risulta importante stabilire il *Ground Sampling Distance* (GDS), che indica la distanza, misurata a terra, tra due pixel vicini dell'immagine. Si tratta dunque di un parametro essenziale per la definizione della risoluzione delle immagini, dipendente anche dall'ottica della macchina fotografica (montata o integrata su drone) e dall'altezza di volo. È inoltre utile, per aumentare l'accuratezza della restituzione, avvalersi dei *Ground Control Point*, ovvero punti ben visibili a terra le cui coordinate sono note con elevata accuratezza in quanto misurate con sistema GPS (cfr. fig. 6.5).

Tale sistema sfrutta dunque le tecniche della fotomodellazione, unendo la capacità di rilevare una vasta area con tempi brevi, propria della fotogrammetria aerea⁷, alla possibilità di avere minor impegno logistico e di risorse economiche ed un gran dettaglio delle immagini ottenuti, elementi generalmente propri della fotogrammetria terrestre⁸.

Lo stesso mezzo di rilevamento viene recentemente associato a tecnologia LIDAR. Questa è una tecnica ormai consolidata (esistono molta letteratura e sperimentazioni in merito) di telerilevamento attiva per l'esecuzione di rilievi topografici di alta risoluzione. La metodologia tradizionale prevede un laser scanner su mezzo aereo a cui è integrato un sistema GPS cosicché ad ogni punto della nuvola⁹ è associato un dato relativo a coordinate geografiche. Generalmente utilizzato per il telerilevamento e monitoraggio idrogeologico ed ambientale e per l'ottenimento di DEM e DTM¹⁰, è caratterizzato da un'accuratezza decimetrica e da velocità di rilevamento. Anche in questo caso però comporta ingenti difficoltà logistiche ed economiche. Le recenti sperimentazioni prevedono il montaggio dello *scanner laser* non più su mezzi aerei ma su droni (fig. 4.3), in tal modo mantenendo la capacità di rilevare in tempi brevi ampie superfici (seppur ridotte rispetto al montaggio su un mezzo aereo), aumentando il grado di accuratezza e diminuendo le problematiche relative alla logistica.

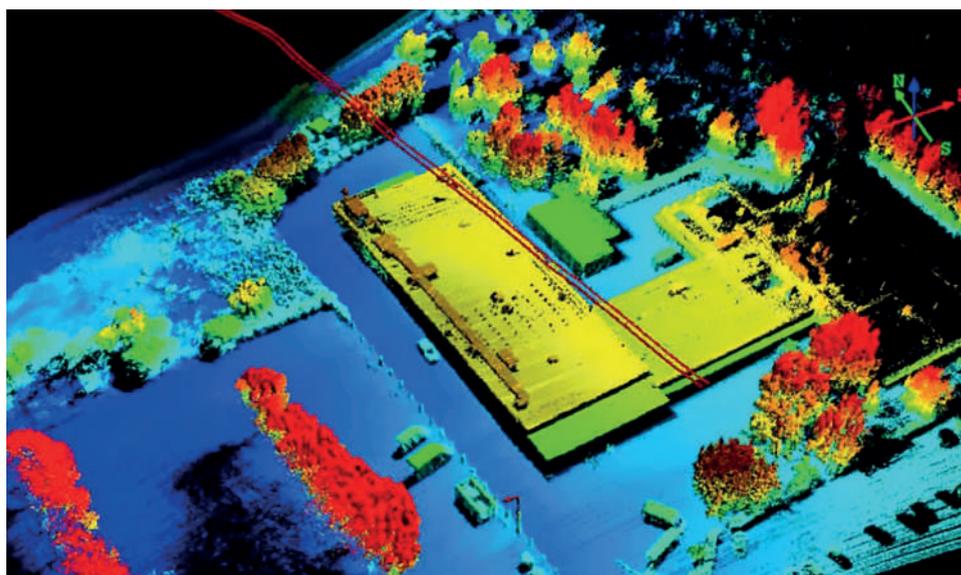


Fig. 4.3 – Nuvola di punti DDEM10 derivante da sistema LIDAR montato su drone in un'immagine presa dal web. Fonte <https://www.poolindustriale.it/it/prodotto/mappatura-3d-tramite-laser-scanner>. [Maggio 2019]

La terza modalità di rilievo speditivo che fa uso della tecnologia SLAM (basata su algoritmi di localizzazione e mappatura simultanea e su *feature detection*¹³) integrata al LS o montata su UAV ed è di più recente applicazione rispetto alle precedenti. Si tratta di una tecnologia innovativa nata dalle ricerche sulla guida automatizzata, e la sua più significativa capacità risiede nel fatto che la strumentazione che la utilizza può contestualmente scansare l'ambiente circostante ed autolocalizzarsi, permettendo di ottenere una grande quantità di punti con un

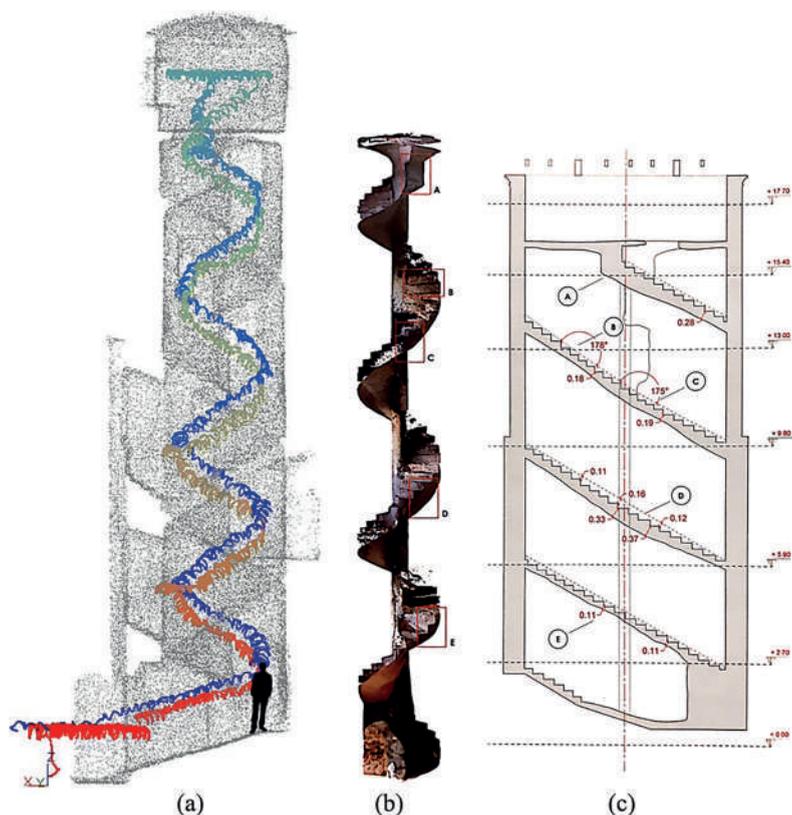


Fig. 4.4 - Rilievo della torre del Castello di Valperga (Valperga, TO), effettuato con strumentazione che fa uso di tecnologia SLAM in una immagine sviluppata da Giulia Sammartano ed Antonia Spanò (Sammartano, Spanò, 2018). a) Nuvola di punti in cui è messa in evidenza la traiettoria dello strumento; è lo strumento stesso a portarne memoria. b) Particolare di una sezione della nuvola di punti densa ottenuta dal rilievo. c) Restituzione di una sezione della torre.

dispendio ridotto di energie e risorse (fig. 4.4); infatti, lo strumento dotato di SLAM acquisisce dati in modo concatenato tra una stazione e la successiva mantenendo un alto grado di accuratezza e diminuendo gli errori di registrazione tra le varie nuvole. In tal modo, sia le classiche attività di rilevamento con scanner laser (che prevedono messa in bolla dello strumento, eventuale posizionamento di target o di presa di punti topografici ecc.), sia i tempi di registrazione sono ridotti. La strumentazione presenta elevate caratteristiche di portabilità (vengono spesso chiamate *backpack* in quanto vengono trasportati in zaini) e si presta a rilevare geometrie ed ambiti complessi con una scala che va dall'architettonico all'urbano (Sammartano, Spanò, 2018).

Un sottoinsieme del rilievo speditivo può essere considerato il rilievo differito¹² che si avvale di tutta quella documentazione d'archivio, cartacea o digitale messa a disposizione dagli enti istituzionali e non, dalle piattaforme *open access* o, più genericamente, rintracciabili sul *web*. Il reperimento dati ha sì tempi bassi, ma, chiaramente, non è possibile influire sulla qualità del dato ed inoltre è necessario sempre valutarne l'affidabilità in quanto lo stato di fatto potrebbe essere cambiato dal momento della fase di acquisizione. Bisogna però sottolineare e non confondere il rilievo differito con una più banale ricerca cartografica: quest'ultima consiste nel fruire direttamente restituzioni e rappresentazioni, al contrario, in un rilievo differito, ci si serve di dati raccolti, ma non ancora elaborati. Infatti, oltre alla documentazione di tipo tradizionale (cartografie, mappe catastali, foto aeree ecc.), sono reperibili talvolta in rete, anche file editabili e/o file vettoriali e *shape* file, spesso forniti sui siti delle Regioni o di istituzioni similari.

Tra le piattaforme *open access*, si può individuare *OpenStreetMap*¹³ (fig. 4.5) che mette a disposizione degli utenti materiale cartografico, dati archiviati sotto forma vettoriale ed una serie di metadati di natura numerica e testuale. Tali dati riguardano ad esempio diverse proprietà degli edifici rappresentati (altezza edifici, numero di piani, ecc.).

Un valido supporto al reperimento di dati che possano essere utili per un rilievo è costituito dai panorami contenuti in Google Street View. È stata infatti elaborata una procedura di restituzione inversa (Paris *et al.*, 2017) in grado di determinare la misura degli edifici ripresi da più di un panorama sferico e di utilizzare gli stessi panorami per texturizzarne i prospetti.

Nella metodologia ARIM già presentata nel capitolo precedente (par. 3.1), per ricostruire virtualmente alcune aree interessate dal sisma, si deve necessariamente ricorrere ad un rilievo differito e sfruttare tutti quei dati e metadati raccolti in precedenza. Attraverso gli espedienti appena descritti ed integrati tra loro e grazie alla trasformazione di metadati in linguaggio grafico, si è potuto creare un modello tridimensionale semplificato che racconta, nel rispetto della misura, l'andamento del terreno, il corpo degli edifici e le coperture di una porzione esemplificativa di una frazione di Accumoli (fig. 4.6).

4.2.2 Tecniche diagnostiche non distruttive per la conservazione¹⁴

La diagnostica in generale si basa su tre differenti approcci: storico, qualitativo e quantitativo. Gli aspetti storici sono ormai chiari e non necessitano di approfondimento. Gli aspetti qualitativi si basano sull'osservazione diretta e sull'individuazione da parte di una figura specializzata delle evidenze su dissesti strutturali, degrado dei materiali, ecc. Gli aspetti quantitativi si basano sulle indagini ed analisi dirette su materiali e strutture. L'evoluzione tecnologica che caratterizza la nostra epoca ha prodotto una miriade di tecniche e metodi, tutti in continua evoluzione, per cui parlare di tutte le esperienze in campo in questa sede, sarebbe assolutamente riduttivo. Per tale motivo ci si concentrerà solo sulle tecniche per così dire più speditive, identificabili nelle indagini diagnostiche non invasive. Specificando il termine la "diagnostica", finalizzata alla conservazione, alla prevenzione o al restauro, indica una serie di prove non distruttive che si effettuano su di un edificio. Per indagini diagnostiche "non dis-

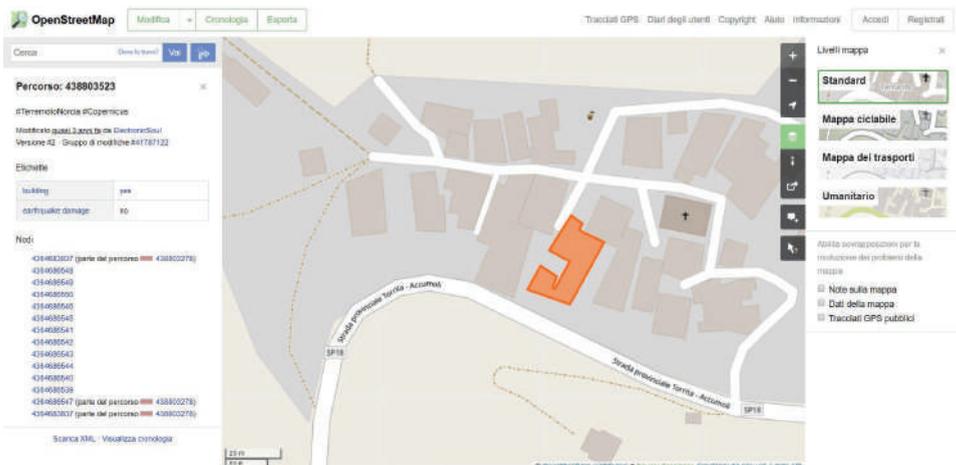


Fig. 4.5 – Screenshot della piattaforma OpenStreetMap rappresentante Terracina, una frazione di Accumoli.



Fig. 4.6 – Modello risultante da indagini e rilievo differito in una ricerca condotta da T. Empler per un isolato di Grisciano (frazione di Accumoli). Sono stati utilizzati shapefile e dati derivanti dalla piattaforma Open Street Map. Modello 3D ed immagine di M. Calvano.

truttive" si intendono tutte quelle tecniche che rispettano l'integrità materiale, strutturale dell'oggetto di studio (Musso, 2006, Santopuoli, Seccia, 2008). Tali tecniche si suddividono a loro volta in:

- Passive (non invasive): non c'è alterazione materiale e strutturale ed inoltre non vi è alterazione dello stato termodinamico dell'elemento di studio o più in generale i suoi gli aspetti chimico fisici;
- Attive (invasive): si agisce modificando volutamente lo stato termodinamico o fisico chimico dell'oggetto di studio, per ottenere dei vantaggi analitici.
- Le tecniche diagnostiche non invasive più comuni, o comunque quelle che possono essere ricondotte alle indagini finalizzate alle attività di prevenzione, sono assimilabili alle seguenti:
- Fotografia di dettaglio o di insieme, realizzata sia con luce dello spettro visibile che con quella ultravioletta;
- Termografia: si esaminano le radiazioni termiche emesse dalla superficie di un manufatto in differenti bande spettrali;
- Radiografia, gammagrafia: si basano sull'interazione tra un fascio di fotoni diretti da una sorgente a un recettore. Restituiscono un'immagine spesso utilizzata nello studio di strutture verticali, come murature, colonne e pilastri;
- Spettrofotometria o riflettografia: misura gli spettri elettromagnetici emessi dai copri. In questo caso ci si riferisce a quella che opera nella banda del visibile o del vicino IR misurando la riflettanza diffusa.

Queste tipologie sopra elencate costituiscono inoltre un sottoinsieme di tutte le tecniche diagnostiche non invasive, denominato "diagnostica per immagini", ovvero indagini di tipo globale in cui ognuna di esse mette a disposizione informazioni differenti che interessano diverse discipline (ad esempio chimica ed analisi dei materiali, degrado degli stessi, stratigrafia dei manu-

fatti tecniche costruttive, ecc.). Tali indagini dunque potenzialmente sono già banche dati per le diverse discipline coinvolte sia nella prevenzione che nella conservazione del patrimonio edilizio.

Se risulta superfluo approfondire le verifiche che si possono effettuare grazie alle immagini fotografiche, è invece opportuno focalizzarsi ed approfondire il funzionamento della termografia e delle immagini termografiche, così come le deduzioni che si possono effettuare da immagini che restituiscono la riflettanza.

La termografia si basa sulla teoria che tutti i corpi al di sopra dello 0 K (corrispondente a circa -273° C) emettono radiazione elettromagnetica. La macchina termografica rileva l'emissione elettromagnetica dei corpi compresa in un determinato range (lunghezza d'onda compresa tra 3 e 14 μm) e permette di individuare punto per punto la temperatura di ogni corpo. L'immagine risultante (opportunitamente elaborata da *software* specifici di elaborazione dati) rappresenta la "mappa termica della superficie" di un corpo, in falsi colori o in toni di grigio, dove ad ogni pixel è associata la temperatura corrispondente in un punto specifico del corpo. Bisogna però sottolineare che le caratteristiche termiche rilevate, non si riferiscono unicamente alle superfici visibili (ad esempio l'ultimo strato di intonaco di rivestimento di un edificio) ma sono il risultato dell'andamento delle temperature negli strati sub-superficiali e delle condizioni al contorno durante le fasi di presa (fig. 4.7). Questo ultimo aspetto comporta che le tempistiche di rilievo devono essere accuratamente programmate in base alla stagione, al momento della giornata ecc. per ottenere un'ottimale distribuzione delle temperature in funzione dell'aspetto che si vuole indagare. Il momento più indicato per condurre una campagna di rilievo con macchina termografica sugli edifici (per ottenere un buon quantitativo di informazioni) dovrebbe coincidere con la fase di rilascio di calore degli edifici dopo aver accumulato irradiazione solare durante il giorno. Tuttavia, nella stagione invernale ed autunnale, nel caso di edifici abitati, potrebbe verificarsi un

innalzamento delle temperature interne dovute all'accensione degli impianti di riscaldamento, il che potrebbe falsare la distribuzione delle temperature ed indurre ad errate considerazioni e valutazioni.

Poter approfondire anche gli strati sub-superficiali permette dunque di conoscere la morfologia delle strutture murarie, la presenza di giunti, continuità e/o discontinuità nell'orditura, si può individuare la tipologia di struttura portante e riconoscere gli eventuali ammorsamenti nelle strutture o tra diversi edifici (permettendo così anche valutazioni critiche sulla della distribuzione delle tensioni).

La termografia permette inoltre l'individuazione di eventuali vuoti o cavità (che possono essere sintomo di infiltrazioni nella stratigrafia delle pareti), fessurazioni o lesioni (passanti e non), la presenza di diversi materiali, la presenza di eventuali alterazioni e la stratigrafia muraria.

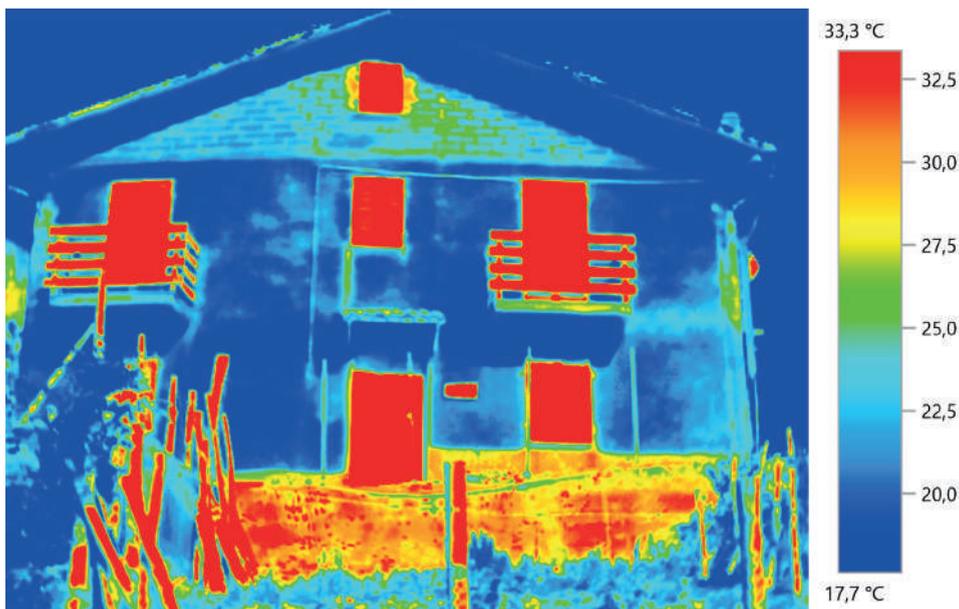


Fig. 4.7 – Immagine termografica in falsi colori, da cui è possibile individuare la presenza di ricorsi in mattoni al di sotto dello strato di intonaco. L'immagine è stata scattata durante una campagna di rilievo a Terracina, frazione di Accumoli.

La strumentazione esistente riguarda per lo più macchine fornite di microbolometro¹⁶ e si differenziano in base alle bande spettrali a cui sono sensibili. Esistono anche termocamere a rilevatore quantistico che sfruttano le capacità dei semiconduttori.

Tale strumentazione viene spesso impiegata in maniera integrata ad altri mezzi, tra cui droni e *scanner laser*. Nel primo caso si utilizzano target termici per mappare con le immagini termografiche e georeferenziare il modello numerico ottenuto tramite tecniche fotogrammetriche e rilievo GPS. Nel secondo caso si ottengono immagini panoramiche termografiche grazie a termocamere inserite all'interno degli stessi LS. Sebbene non esistano ancora effettive metodologie che integrino immagini termografiche, foto panoramiche con valori RGB e nuvole di punti (a causa della differente tipologia di ottiche utilizzate dalle termocamere), alcune sperimentazioni sono in corso (Campione, 2017, Costanzo, 2014) soprattutto in ambito accademico.

La riflettografia si serve di filtri adeguati tali da misurare la radiazione riflessa dai corpi in modo diffuso. Generalmente tali sensori sono associati ai LS in commercio che possiedono elevate prestazioni di risoluzione spaziale e forniscono immagini, sia IR che RGB, prive di distorsione ottica e perfettamente sovrapponibili. Sono così prodotte nuvole di punti a cui, per ogni punto, è associato un valore di riflettanza dipendente dalla geometria e dalle caratteristiche della superficie: natura del materiale, tipologia di lavorazione superficiale, morfologia del degrado.

Di conseguenza, la conoscenza del valore di riflettanza, confrontata con i valori RGB nello stesso punto o nella stessa area, può servire per trarre informazioni sui materiali e sul relativo stato di degrado.

Le tre tipologie finora descritte facenti parte, come già evidenziato, della "diagnostica per immagini" si prestano ad essere utilizzate in maniera integrata così da trarre valutazioni incrociate. Tuttavia, esse forniscono solo dei dati diag-

nostici: le informazioni che ne saranno dedotte si basano sulla "preparazione" e sull'esperienza di colui che deve interpretare tali dati. Il processo viene detto "fotointerpretazione"¹⁷ e si avvale di un'alta componente soggettiva: un operatore deve necessariamente decifrare i «molteplici indizi che le differenti immagini di uno stesso oggetto gli pongono davanti. È opportuno, cioè, almeno inizialmente, prendere in considerazione tutti gli elementi presenti, per quanto apparentemente poco significativi, senza assumere presupposti troppo rigidi, cercando progressivamente di arrivare ad una visione sintetica del problema, da cui dedurre una soluzione che potrebbe essere anche molto diversa da quella suggerita da una prima analisi». (Santopuoli, Seccia, 2008). A tal proposito, era doveroso sottolineare l'influsso del parametro della "soggettività" sulle informazioni ricavabili dalle indagini diagnostiche descritte; questo ai fini di un immagazzinamento in una banca dati dovrà essere necessariamente dichiarato ai fini dell'affidabilità delle informazioni.

4.2.3 Cenni ai metodi di rilevamento geotecnico

In questa sezione saranno elencate quelle tecniche geofisiche che offrono vantaggi analitici per le analisi di vulnerabilità sismica e più in generale quelle tecniche che vengono più comunemente impiegate nel processo conoscitivo finalizzato alla prevenzione, tutela e conservazione del patrimonio edilizio. Anche in questo caso si farà riferimento alle indagini diagnostiche non distruttive, analizzando sia quelle invasive che non. Nello specifico se ne illustrerà brevemente: l'utilizzo nel campo della geofisica e della geotecnica, l'applicabilità all'analisi di un manufatto architettonico, il principio di funzionamento ed il tipo di dato che il rilievo restituisce.

Le principali tecniche geofisiche, selezionate secondo i criteri appena descritti, possono essere sintetizzate in:

Tomografia Elettrica: viene impiegata per le analisi di resistività elettrica¹⁸

dei materiali presenti nel sottosuolo. Applicata ai manufatti architettonici consente di individuare facilmente strutture di fondazione e strutture sepolte più in generale grazie al contrasto tra valori di resistività tra queste ultime ed il terreno che le contiene. Lo strumento emette corrente e, grazie a degli elettrodi posizionati al suolo, misura le differenze di potenziale. Il rilievo restituisce una rappresentazione grafica tridimensionale del terreno su cui sono "mappati" i valori di resistività (fig. 4.8).

Tomografia Sismica: studia la distribuzione spaziale delle onde soniche in un mezzo. Permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, restituendo una stratigrafia del suolo e del terreno. Applicata ai manufatti architettonici consente di condurre analisi sull'integrità delle murature individuando eventuali soluzioni di continuità. I dati sono rappresentati sottoforma di grafici bidimensionali con distribuzione delle velocità in sezioni del terreno (fig. 4.9).

Indagini Magnetometriche: misurano le variazioni del campo magnetico terrestre. Dall'analisi di queste anomalie è possibile individuare la presenza di formazioni nel sottosuolo. Sono maggiormente utilizzate in ambito arche-

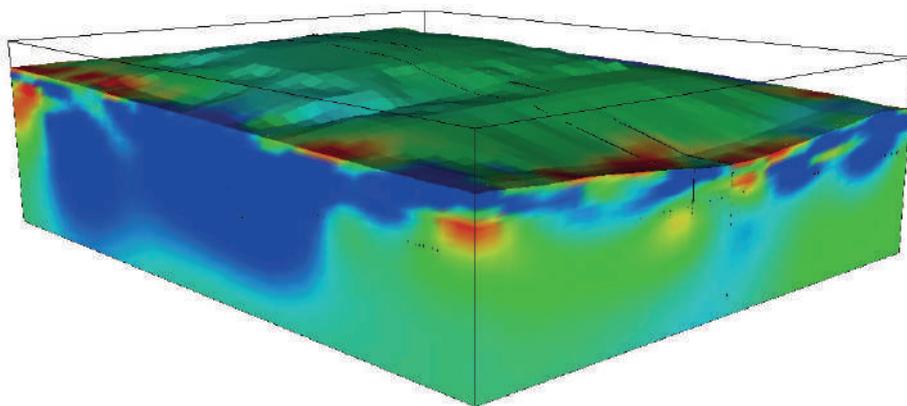


Fig. 4.8 - Con particolari tecniche ed appositi softwares è possibile restituire un modello tridimensionale della distribuzione delle resistività. Si ottiene o mediante una griglia di elettrodi, all'interno della quale vengono effettuate misure su tutte le combinazioni fattibili o interpolando singoli profili 2D. Immagine presa dal web, disponibile su http://www.geoecho.it/?page_id=1435 [luglio 2019].

ologico per l'individuazione di strutture sepolte. Dopo aver misurato i valori di campo magnetico su una griglia di stazioni che coprono l'area di indagine, i valori misurati vengono elaborati e riportati sotto forma di una mappa di campo magnetico totale. Dall'osservazione di questa mappa si individuano le aree di anomalia e si estraggono dei profili magnetici utili per un'interpretazione quantitativa dell'anomalia stessa.

Indagini Georadar (GPR): lo strumento (georadar) sollecita il sottosuolo con onde elettromagnetiche che penetrano a diverse profondità a seconda della frequenza utilizzata. Gli impulsi elettromagnetici riflessi vengono ricevuti da un'antenna dello strumento, permettendo di ottenere in tempo reale la radar-stratigrafia del sottosuolo. In campo architettonico effettua analisi su strutture metalliche, sul degrado degli elementi o sulle caratteristiche delle fondazioni. Particolarmente utile nel ricercare cavità del terreno o all'interno delle fondazioni.

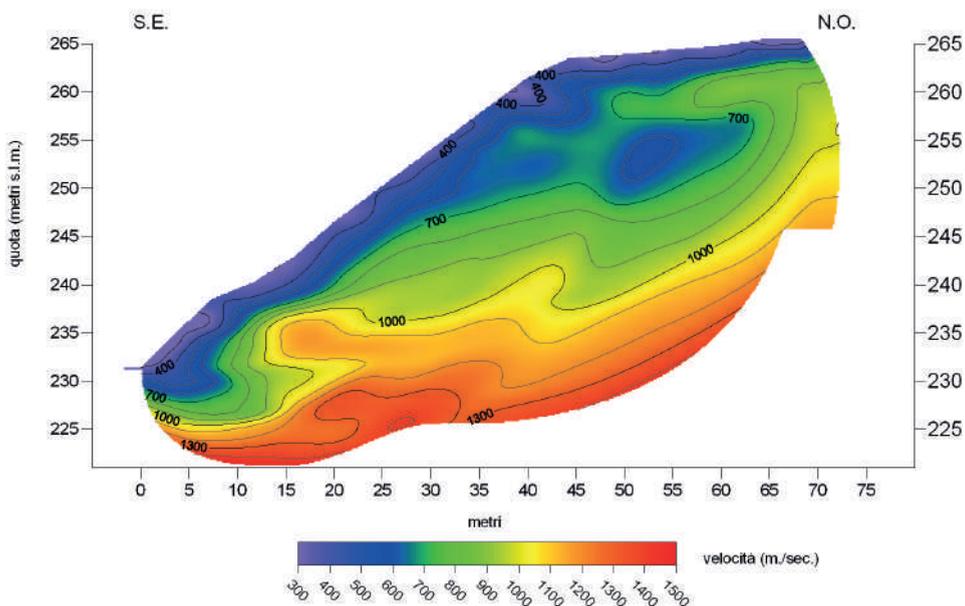


Fig. 4.9 – Grafico della distribuzione delle velocità di propagazione delle onde sismiche in una sezione del terreno. Immagine presa dal web. Disponibile su http://www.geoecho.it/?page_id=681 [luglio 2019].

4.3 Conclusioni

Se si tiene conto di tutte le analisi diagnostiche e delle diverse modalità di rilievo, il processo conoscitivo così articolato è perfettamente coerente con le Linee Guida descritte nel precedente paragrafo. Sfruttando l'interdisciplinarietà delle figure professionali coinvolte, sia nella fase di acquisizione dati che in quella di valutazione e diagnosi, si arriva ad una conoscenza globale (o forse sarebbe meglio dire una "interpretazione" globale) di un manufatto architettonico o di un contesto urbano, derivante dalla sovrapposizione di tutti i dati ottenuto. Il *Data Fusion* mira proprio a sistematizzare tutti i dati e a migliorare la comunicabilità degli stessi tra tutte le figure coinvolte nel processo di prevenzione.

Note

1 La conoscenza della risposta della costruzione ad un particolare evento traumatico può consentire di identificare un modello qualitativo di comportamento di risposta sismica.

2 La vulnerabilità urbana è definita come «susceptività al danneggiamento fisico e alla perdita di organizzazione e di funzionalità sotto sisma di un insediamento urbano nel suo complesso. Dipende dalla struttura e dalle caratteristiche dei diversi sistemi urbani componenti (percorsi, infrastrutture, funzioni, costruito) e delle parti di città alle diverse scale (tessuti o ambiti, nuclei, isolati), dalle loro relazioni reciproche, dall'entità e dall'interazione tra diversi fattori di rischio». (AA.VV., *Linee Guida per la definizione della struttura urbana minima nel PRG*).

3 Il SIVARS è stato realizzato in seguito all'entrata in vigore della "Direttiva del Presidente del Consiglio dei ministri per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale" del 12 ottobre 2007. Il sistema informativo, a disposizione di Enti gestisce le informazioni relative al percorso conoscitivo delineato dalle Linee Guida secondo il primo livello di conoscenza LV1 per alcune delle più diffuse tipologie di organismi architettonici sotto tutela tutelati.

4 Acronimo che indica i sistemi a pilotaggio remoto derivante dall'inglese *Unmanned aerial vehicle*.

5 Acronimo dall'inglese *Light Detection And Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*.

6 Acronimo dall'inglese *Simultaneous Localization and Mapping*. Con la dicitura si intende il processo per cui uno strumento muovendosi in un ambiente, ne costruisce la mappa ed è capace di auto localizzarsi all'interno.

7 Fotogrammetria aerea o *long range* utilizza mezzi aerei o satellitari. Velocità di esecuzione del rilievo ma difficoltà logistiche elevate. Grado di accuratezza basso e dipendente da molteplici fattori, tra cui quota di volo e tipo di camera utilizzata. Serve per produrre cartografia di qualsiasi tipo, da quelle generali e militari a piccola scala, a quelle di scala media fino alle carte tecniche a grande scala. Gli oggetti sono situati a più di 300 m circa dal centro di presa.

8 Fotogrammetria terrestre o *close range* quando gli oggetti interessati risultano situati ad una distanza inferiore a 300 m circa dalla camera da presa fotogrammetrica. Raggiunge gradi di accuratezza più elevati rispetto alla fotogrammetria aerea, ma, a parità di tempi netti di rilevamento, copre aree inferiori. Maggiormente utilizzata nel rilievo architettonico o di piccoli oggetti.

9 La nuvola che si ottiene è detta Dense Data Elevation Model o DDEM

10 DEM è un acronimo derivante dall'inglese *Digital Elevation Model* ed indica la distribuzione delle quote altimetriche su un territorio e tiene conto anche degli elementi insistenti sul terreno (vegetazione, edifici, ecc.). DTM è invece un acronimo derivante dall'inglese *Digital Terrain Model*, ovvero modello digitale del terreno, ed a differenza del precedente riproduce unicamente l'andamento del terreno tramite interpolazione.

11 *Feature detection* tradotto letteralmente significa "rilevamento di caratteristiche". Nel campo del rilievo, in fotogrammetria digitale, si riferisce alla capacità di un calcolatore, o di un pro-

gramma di elaborazione dati, di riconoscere determinate caratteristiche (geometriche, valori RGB ecc.) da dati di input (immagini) e di utilizzarle come informazioni (punti omologhi) per la creazione di dati di output (nuvole di punti).

12 Già definito da T. Emler in "*Procedura di Information Modeling per rappresentare un territorio colpito dal sisma*" e ricordato nel par. 3.1.

13 Trattasi di un progetto che ha come obiettivo una raccolta mondiale di dati cartografici. La maggior parte dei dati raccolti sono stati registrati da dispositivi GPS portatili, fotografie degli utenti, fotografie aeree ed altre fonti (portale geografico nazionale, dati ISTAT ecc.).

14 Tale capitolo è stato redatto tramite la consultazione del libro *Trattato di Restauro Architettonico* di Giovanni Carbonara, in particolare il capitolo dal titolo *Sviluppi delle tecniche analitiche e diagnostiche per la conservazione*, scritto da N. Santopuoli e L. Seccia.

15 Si riferisce ad onde elettromagnetiche che hanno lunghezza d'onda fino a circa 2.5-3 μm , che quindi si trovano nello spettro dell'Infrarosso (IR).

16 il bolometro (o il microbolometro) è un sensore che reagisce alla radiazione elettromagnetica.

17 Per un approfondimento più specifico sul tema della "fotointerpretazione" si rimanda al seguente testo: N. SANTOPUOLI, L. SECCIA, 2000. "Cenni sulla fotointerpretazione". In N. Santopuoli, L. Seccia, 2000 *Fotografia Tecnica – Rilievo, documentazione e fotointerpretazione per la progettazione ed il cantiere di restauro*, Dossier 1/2000 di Paesaggio Urbano, pp. 16-17. Rimini: Maggioli editore.

18 La *resistività elettrica*, è l'attitudine di un materiale ad opporre resistenza al passaggio di cariche elettriche. Ogni materiale ha un proprio valore di resistività.

Il caso studio:

Accumoli e le sue frazioni

5.

La ricerca qui proposta, come già anticipato, si inserisce all'interno di un'attività di ricerca più ampia denominata *"Urban/territorial restoration and seismic risk prevention: a methodology. Learning and experimenting from the case of 2016 Central Italy earthquake"*. Il framework che sarà presentato nel cap. 6 si concentra sul sistema insediativo dell'area di Accumoli e le sue frazioni. In particolare, le attività di rilievo e modellazione sono state svolte nelle frazioni di Grisciano e Terracino. Nonostante si affronti il tema della prevenzione si decide di presentare come caso studio un complesso urbano facente parte del cratere del sisma che ha colpito il centro Italia nel 2016. In particolare, la frazione di Terracino non ha subito apprezzabili livelli di danno e cedimenti durante il sisma e, ma una corretta individuazione della risposta sismica delle strutture è propedeutica per lo studio delle possibili trasformazioni in caso di successive scosse e delle attività di prevenzione da intraprendere. Infatti, il rapporto tra eventi sismici pregressi e possibili trasformazioni accertate ante e post sisma, possono migliorare l'identificazione

di parti o elementi particolarmente vulnerabili o illustrare il successo di interventi conservativi ben attuati, il tutto concorrendo all'affinamento del modello interpretativo delle costruzioni.

Il sistema di Accumoli e le sue frazioni sorge sull'appennino umbro-marchigiano all'estremo nord-est del Lazio, tra il massiccio dei Monti Sibillini ed i Monti della Laga.

Il comune di Accumoli si trova su di uno sperone roccioso di 858 s.l.m. nell'ampia valle del Tronto. Nell'area di riferimento sembra ci siano testimonianze di piccoli stanziamenti romani di epoca repubblicana, poi ampliatisi in un periodo più tardo soprattutto per la presenza della Via Salaria, cosa che, successivamente, determinò un'importanza strategica della città, collocata a guardia dei valichi montani da e per l'Umbria e lungo l'asse stradale che congiungeva il Mar Adriatico con il Tirreno (Flavio, Colucci, 2012) (fig. 5.1). Le prime notizie riguardanti i centri abitati appaiono intorno al XI secolo (1037), quando, sotto il Sacro Romano Impero, l'imperatore Corrado II confermava al vescovo di Ascoli le terre che nel 950 gli erano state donate nominando, tra gli altri, i centri di Grisciano,



Fig. 5.1 - La regione Lazio nella Carta d'Italia di Giacomo (Jacopo) Gastaldi, secondo l'edizione del primo gennaio 1569. In evidenza l'area di Accumoli, Amatrice e Norcia - Immagine reperita de "Le carte del Lazio" (Frutaz, 1972).

Cose, Tollegiano, Arpino, Arcezano, Accumulo, Saxa, Guasto Pomarese, Casa Vetula, Terracino, Salle, Pernice, Colle de Spada. In età medioevale si avvia un processo di disintegrazione che vede il territorio, caratterizzato dalla presenza dell'abbazia di Farfa, gravitare in parte verso il ducato di Spoleto, in parte verso il patrimonio della chiesa e, più tardi, verso il nuovo regno normanno. Per tale motivo si creano diffusi insediamenti tesi ad occupare le unità a valle per lo sfruttamento delle risorse agricole, e le aree di crinale per lo sfruttamento della pastorizia e delle risorse boschive. Questo getta le basi per i due pilastri dell'economia del luogo che caratterizzeranno il sistema insediativo fino ai giorni nostri: il territorio si presenta con un assetto fisico e funzionale di piccoli centri urbani e rurali, sistemati in un impianto policentrico che gravita su Accumoli, la quale assume una posizione economica centrale. (fig. 5.2). Il centro urbano inizia ad assumere ruolo dominante durante il XII secolo, quando, dopo la conquista normanna, la frammentazione del territorio in piccoli centri rendeva il confine settentrionale piuttosto debole e si rese quindi necessario

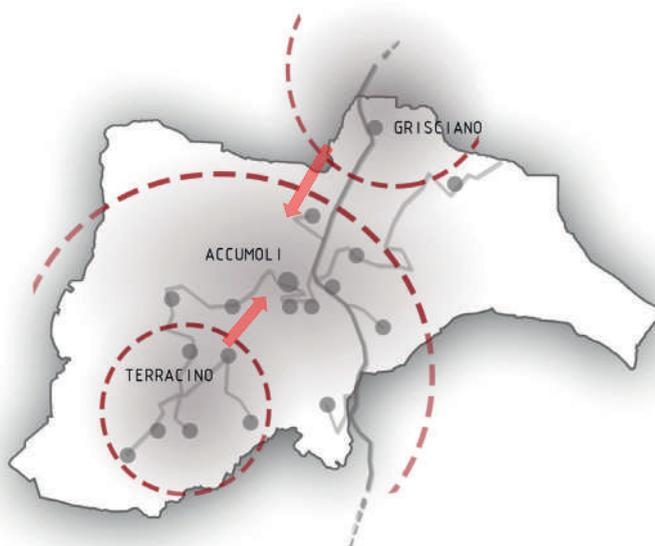


Fig. 5.2 – L'assetto policentrico del sistema economico-insediativo di Accumoli. Il sistema comprende frazioni strutturate (Grisciano-Terracino) e frazioni non strutturate (Fonte del Capo, Illica, Tino, Macchia, Libertino, Poggio Casoli, Villanova, Casa Ventre, Poggio D'Api, San Giovanni, Colleposta, Roccasalli, Cassino, Collespada) con polo economico maggiore nella città di Accumoli. Immagine del Prof. Andrea Bruschi

rendere Accumoli polo aggregativo baricentrico, destinato ad ostacolare le mire espansionistiche delle popolazioni limitrofe manifestatesi soprattutto nel corso della seconda metà del XIII secolo (Alvino, 2003).

La città fu annessa al Regno di Sicilia nel 1255 e, tra il XII ed il XIV secolo conobbe un periodo di prosperità e di crescita durante i quali il centro si arricchì di chiese e monasteri. Nel XV secolo l'area passò sotto il dominio papale fino al 1643, quando venne acquisita dai Medici, entrando a far parte degli stati mediceo-farnesiani. Tra il XVI ed il XVIII secolo, tornata sotto il Regno di Napoli, complici carestie, depauperamento e continui terremoti, i territori furono abbandonati in favore della campagna romana e la popolazione diminuì progressivamente fino al nostro secolo.

Attualmente l'area si presenta con insediamenti di carattere stagionale (specie nei centri d'altura nella stagione estiva) ed un'economia mista (agricola, pastorale) integrata alla marcata naturalità dei luoghi.

I caratteri litologici, geomorfologici ed idrogeologici del territorio influenzano e dettano la regola per i processi di antropizzazione del territorio e per la caratterizzazione degli insediamenti. Da un lato le risorse idriche e boschive hanno reso disponibili il legname come materiale da costruzione, mentre le conformazioni orografiche hanno influenzato gli assetti morfologici dell'abitato. Anche il sistema economico, incentrato su pastorizia ed agricoltura, ha influenzato i tipi edilizi e di conseguenza la struttura degli aggregati (questi elementi fondamentali nelle valutazioni di comportamento sismico e di vulnerabilità alla scala urbana e dell'aggregato).

La lettura delle risorse naturali viene proposta in questa prima fase di studio a partire dagli *open data* disponibili sul sito della Regione Lazio. (figg. 5.3-5.4).

Geologicamente l'area è caratterizzata da affioramenti di arenaria e calcari (causa spesso di numerosi smottamenti) e l'utilizzo di tale pietra locale molto tenera e facilmente lavorabile ha favorito lo sviluppo di tecniche murarie in conci ben squadri e posti a filari soprattutto nell'area di Terracina (De Meo, 2005). La presenza massi di travertino spugnoso è servita, invece, da cava per

Fonte del Campo, Illica e Grisciano. Gli insediamenti d'altura (detti stazzi²) sono caratterizzati da edifici costruiti in pietre a secco e da materiali deperibili come il legno, l'argilla cruda e tegole di copertura.

L'analisi geomorfologica si pone come fattore basilare per la ricostruzione del tessuto urbano. Lo studio si concentra sulle dinamiche insediative della frazione di Terracina a partire dal nucleo originario fino ad arrivare alla configurazione attuale, anche attraverso lo studio della cartografia storica (fig.5.5).

La frazione in esame è la più elevata dell'accumolese e si colloca a 1165 s.l.m. su un ripiano calcareo. Fonti storiche antecedenti al 1700 sono scarse, tuttavia il centro esisteva già come testimoniano le preesistenze medievali e rinascimentali e la menzione di "Teracino" nella lettera di Corrado II sopracitata. La storia segue sostanzialmente quella di Accumoli e si distingue dalle altre frazioni minori per essere un centro strutturato.

Terracino presenta un impianto di crinale che può essere definito lineare chiuso e simmetrico (Strappa *et al.*, 2016), costituito da una serie di appezzamenti di terreno che si dispongono secondo un orientamento perpendicolare

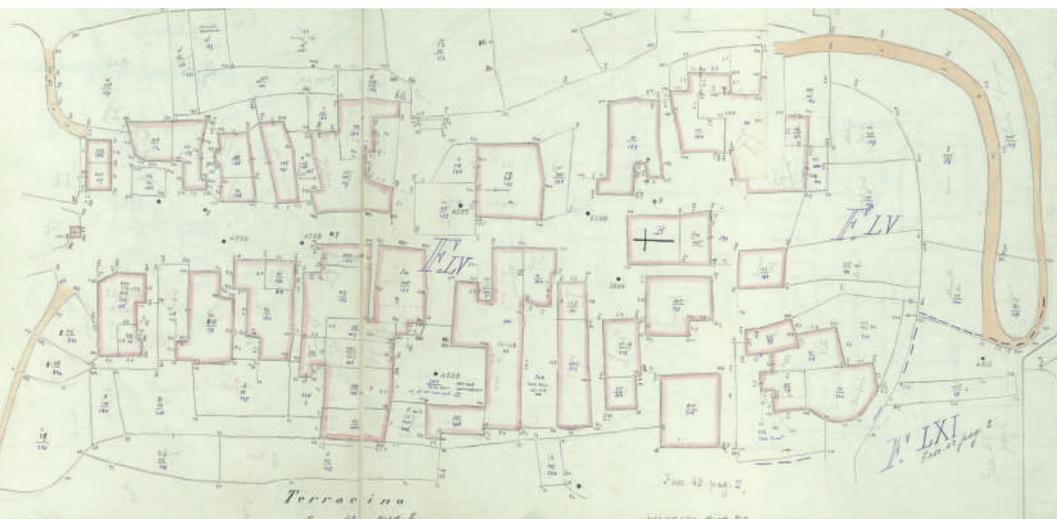


Fig. 5.5 – “Planimetria del rilievo abitati” di Terracina al 1919, contenuta all'interno degli “Abbozzi di preparazione per il Nuovo Catasto Italiano” nell'Archivio di stato di Rieti. Reperate con la collaborazione di Simona d'Andrea.

rispetto al tracciato (coincidente con la linea naturale di displuvio dell'altura) (fig. 5.6). Si tratta di un insediamento di promontorio con una leggera forma allungata derivante dalla graduale occupazione della intera superficie pianeggiante del promontorio (fig.5.7).

L'area in esame, secondo la riclassificazione sismica del Lazio si pone in zona sismica di categoria 1². L'analisi storica rivela che l'area è stata spesso interessata da fenomeni sismici, infatti, nel corso dei secoli passati aveva già affrontato terremoti capaci di effetti devastanti, documentati fin dall'età romana. Tra questi meritano una menzione gli eventi particolarmente tragici del 1639 e del 1703, che anche allora richiesero da parte dei sopravvissuti, radicali interventi di ricostruzione. Al primo evento, risalente al 1639, si attribuì un'intensità del grado X della scala Mercalli³ (Monachesi, Castelli, 1992), con grosse perdite di edifici e vite umane. I terremoti del 1703 e il successivo del 1730 sancirono l'abbandono delle aree che furono ricostruite solo in parte. Il bollettino sismico mensile dell'Istituto Nazionale di Geofisica⁴ registra una serie di scosse telluriche verificatisi il 5 Settembre del 1950, al cui evento maggiore è stato attribui-

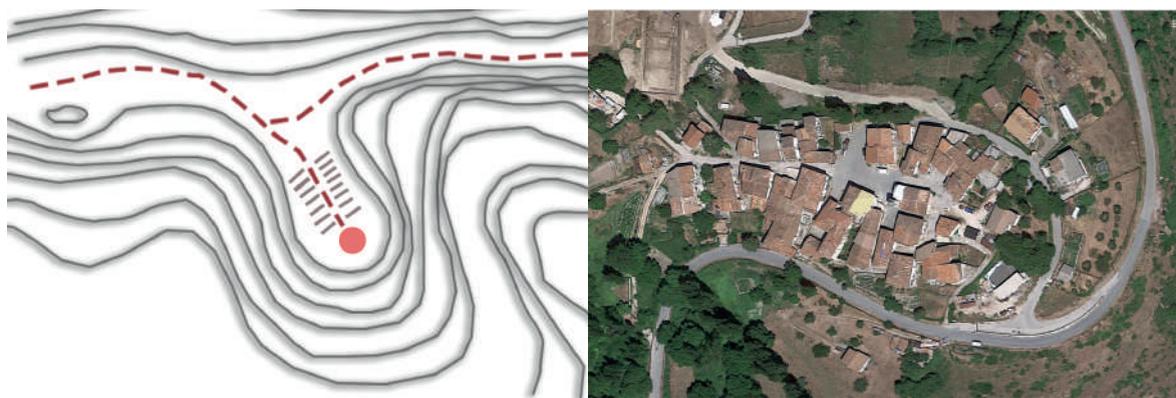


Fig. 5.6 – Schema esemplificativo dell'evoluzione morfologica di un impianto di crinale. A partire da un nucleo originario, il tessuto si diffonde perpendicolarmente ad un percorso individuato dalle linee di displuvio.

Fig. 5.7 – Immagine di Terracino da google maps. L'impianto urbano esprime la caratteristica forma degli insediamenti di promontorio.

to un'intensità pari al VIII grado della scala Mercalli. Nell'ultimo quarto del XX secolo, i terremoti della Valnerina del settembre 1979 e del settembre 1997 causarono danni ingenti al patrimonio architettonico dell'area di Accumoli. A seguito del terremoto aquilano del 2009, il territorio di Accumoli figura tra i 14 comuni del Lazio raggiunti dal sisma, i cui effetti hanno riguardato solo in parte il patrimonio edilizio e storico-architettonico della zona in questione.

Gli eventi del 2016, con scosse ripetutesi nell'agosto e nell'ottobre del medesimo anno, hanno colpito pesantemente la valle del Tronto e i monti Sibillini (in particolare le scosse del 24 agosto e del 30 ottobre hanno registrato epicentro ad Accumoli), causando ingenti danni agli edifici residenziali, pubblici, al patrimonio artistico, alle imprese ed alle vie di comunicazione ed accesso al territorio. L'area del cratere comprende 140 comuni delle regioni di Abruzzo, Lazio, Marche ed Umbria.

Nella frazione di Terracino, oltre a pochissimi crolli, la tipologia di danni rilevati riguarda: fessurazioni passanti nelle murature; crollo di porzioni di intonaco; caduta di calcinacci; slittamenti di capriate, con cedimenti delle coperture e relative sconessioni e avvallamenti nella tessitura delle tegole; lievi slittamenti degli elementi costitutivi dei portali lapidei; lieve compromissione degli architravi e delle cornici delle volte e degli archi; fenditure nelle chiavi di volta; infossamento delle strutture murarie con dislocazione di vario grado degli strati che li compongono; non si rilevano gravi danni e cedimenti strutturali (figg. 5.8 – 5.13).

I dati generali riferiti allo stato dei luoghi ed i danneggiamenti sono reperibili e consultabili sul sistema *Copernicus*⁵.

Come si vedrà nel capitolo successivo, l'individuazione tipologica dei tessuti, l'analisi degli eventi e degli interventi subiti, sia dall'edificio singolo che dall'intero impianto urbano, saranno determinanti nella valutazione della vulnerabilità sismica e nella realizzazione di modelli di valutazione più accurati. Questo costituirà la base per una programmazione degli interventi preventivi e consente di attuare una conservazione consapevole.



Figg. 5.8-5.13 - Immagine che testimonia lo stato dei luoghi di Terracina durante un sopralluogo eseguito il 6 novembre 2018

Note

1 Il termine *stazzo*, dal latino *statio* (lo stare, dimora) indica, nella consuetudine della transumanza, lo spazio all'aperto dove si riunisce il bestiame, caratterizzato da un recinto ovoidale o quadrangolare delimitato da un muro basso di pietre a secco. Col tempo ha assunto l'accezione di luogo di sosta o dimora temporanea più in generale.

2 La classificazione è in base al valore dell'accelerazione di picco su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione (*ag*) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/06. Per la zona 1 *ag* 0.25.

3 La scala Mercalli è una scala di valutazione dell'intensità di un terremoto eseguita osservando gli effetti che esso produce sulla superficie terrestre su persone, cose e manufatti. Questa valutazione non richiede l'utilizzo di strumenti di misurazione e per la sua caratteristica descrittiva può essere applicata anche alla classificazione di terremoti avvenuti in tempi storici, di cui sia rimasta una descrizione scritta. I valori di questa scala sono scritti con numeri romani e vanno da I (valore più basso) a XIII.

4 Disponibile su <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/> [luglio 2019]

5 Si tratta di una piattaforma europea di monitoraggio per l'ambiente e la sicurezza che raccoglie dati da diverse fonti. L'osservazione satellitare delle aree colpite riguarda le aree di Accumoli, Amatrice, Terracina, Capodacqua, Castiglione e Vezzano. Le mappe sono state realizzate a seguito di richiesta delle autorità italiane subito dopo il sisma, per valutare i danni prodotti e gestire gli interventi.

Un framework

per la prevenzione

6.

6.1. Data Fusion coerente con i principi delle “Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale”

Il *Data Fusion* è un termine, o per meglio dire un processo, piuttosto complesso da sintetizzare. La procedura nasce dal settore militare in cui, durante la guerra fredda, risultava necessario sviluppare un sistema di raccolta e gestione delle informazioni delle *Intelligence*, costituito da elementi di varia natura (registrazioni audio, documenti scritti, immagini, ecc.). Tale necessità diede origine a diverse sezioni del processo: una sezione dedicata allo sviluppo delle tecnologie di acquisizione delle informazioni, una dedicata al recupero dei dati, una alla loro elaborazione e selezione, una per la loro integrazione ed una per la diffusione delle

informazioni risultanti. Col tempo il concetto di *Data Fusion* è stato impiegato in ambiti di natura assolutamente variabile (dalla meteorologia, al campo biomedico, all'industria robotica, alle *smart cities*, ecc.), ma, se si prova a cercarne una definizione, quest'ultima sembra non avere basi o fonti certe. Sul web spesso si legge: «*Data fusion is the process of getting data from multiple sources in order to build more sophisticated models and understand more about a project. It often means getting combined data on a single subject and combining it for central analysis*¹», il processo dunque sintetizza una serie di informazioni eterogenee per costruire modelli complessi, che aiutino nella conduzione di alcune analisi o valutazioni. Ancora, sempre sul web, si legge: «*Data fusion is the process of integration of multiple data and knowledge representing the same real-world object into a consistent, accurate, and useful representation. Data fusion processes are often categorized as low, intermediate or high, depending on the processing stage at which fusion takes place*² [...]»; rispetto alla precedente definizione si parla non solo di dati, ma di "conoscenza" di un oggetto reale attraverso la sua "rappresentazione" e vengono inoltre introdotti dei "livelli di conoscenza" (o "livelli di elaborazione") e dei "livelli di incertezza"³. Attualmente il significato del termine è spesso associato alla formazione di database che raccolgono dati provenienti da analisi multi sensoristiche applicate a diversi campi (controllo del traffico, monitoraggio dei dissesti ambientali, ecc.).

Non avendo una definizione specifica è anche complesso capirne le varie fasi del processo che lo compongono. Tuttavia, è possibile effettuare delle considerazioni in questa sede sulla base di informazioni frammentarie reperite sul *web* e sulla base di alcuni scritti ed esperienze di studiosi (Macii *et al*, 2008, Cicirelli *et al*, 2018, Castanedo, 2013, Alofi *et al*, 2017). Il processo di *Data Fusion* generalmente si compone di questi step procedurali: *data acquisition* (fase di acquisizione dati), *data mining* (fase di selezione dei dati), *data integration* (fase di integrazione dei dati), *data sharing* (fase di condivisione dei dati), *data*

analysis (fase di estrazione ed analisi dei dati). Tali step possono essere tutti presenti o no, in base ai "livelli di elaborazione" secondo cui si sviluppa la procedura. Questi ultimi sono, secondo le procedure associate all'analisi multi sensoristica e teorizzate da *Joint Directors of Laboratories*, riassumibili in (Macii *et al.*, 2008) (fig. 6.1):

- elaborazione di livello 0: in cui i dati presi da vari sensori vengono pre-elaborati ed inseriti all'interno di un comune sistema eliminando i dati ridondanti;
- elaborazione di livello 1: oltre alle operazioni del livello 0, si eseguono associazioni tra i dati e più entità, si stimano i parametri o gli attributi più significativi;
- elaborazione di livello 2: si elaborano i risultati di output dell'elaborazione di livello 1 per estrarre informazioni utili sulle relazioni tra più entità situate nello stesso ambiente;
- elaborazione di livello 3: il database consente di effettuare previsioni future basate sulla situazione attuale modellata attraverso i dati disponibili;
- elaborazione di livello 4: si monitora e controlla il processo globale per valutarne e migliorarne le prestazioni;

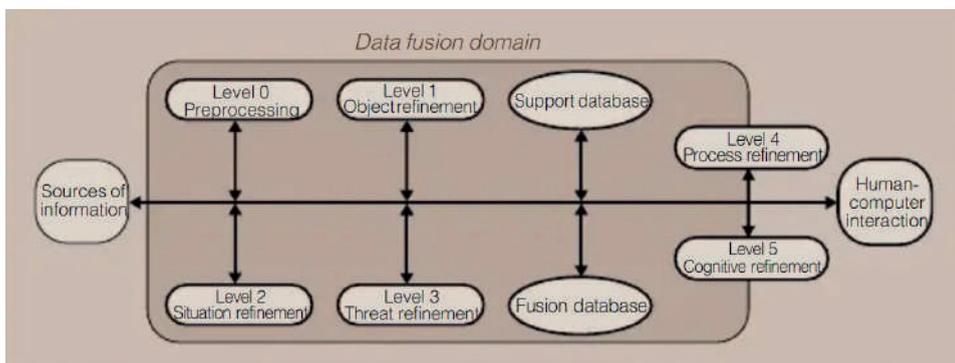


Fig. 6.1 – Schema esemplificativo di un processo di Data fusion con cinque livelli di elaborazione sviluppato per Joint Directors of Laboratories (JDL). L'immagine è stata elaborata da David Macii, Andrea Boni, Mariolino De Cecco, and Dario Petri per un articolo denominato Tutorial 14: Multisensor Data Fusion4.

- elaborazione di livello 5: si trasformano i risultati del processo di fusione dei dati in una forma che può essere facilmente e significativamente interpretata dagli utenti (ad esempio mediante strumenti cognitivi per focalizzare l'attenzione degli utenti o supportare le decisioni umane).

Un altro tipo di approccio sui "livelli di elaborazione" si basa sulla seguente differenziazione (fig. 6.2):

- livello di raffinamento del sensore (corrispondente al livello 0 del modello su descritto): si raccolgono i dati e si stima l'incertezza associata ad essi;
- livello di raffinamento dell'oggetto (corrispondente al livello 1 del modello su descritto): si associano tra loro più dati provenienti dai sensori, tali dati vengono elaborati per stimare gli attributi delle identità;
- livello di raffinamento della situazione (corrispondente al livello 2 del modello su descritto): si estraggono informazioni sulla base del livello di elaborazione precedente;

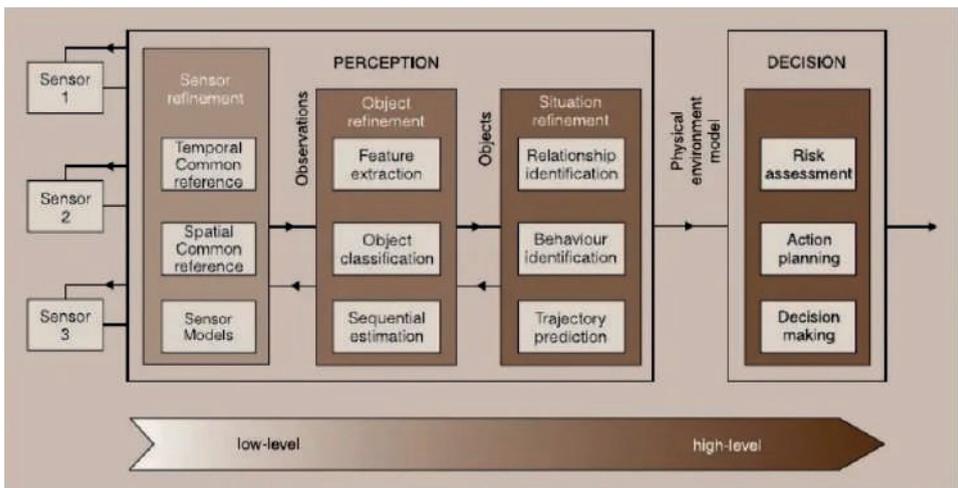


Fig. 6.2 – Schema esemplificativo di un processo di Data fusion sviluppato per definire e testare la sicurezza di un'automobile attraverso dei dati acquisiti da sensori. L'immagine è stata elaborata da David Macii, Andrea Boni, Mariolino De Cecco, and Dario Petri per un articolo denominato Tutorial 14: Multisensor Data Fusion4

- livello decisionale (comprende i livelli 3 e 5 del modello precedente): sulla base dei risultati del livello precedente si prendono decisioni in merito alle azioni da intraprendere attraverso analisi e stima delle interferenze.

In entrambi i casi l'intero processo prevede la creazione di un database per archiviare, proteggere, comprimere i dati raccolti. Le azioni all'interno della procedura sono sia automatizzate (algoritmiche), mentre in alcuni casi prevedono momenti di *human-computer interaction*: specie nell'ultima fase in cui sono compresi i processi decisionali per intraprendere delle azioni, l'apporto umano risulta essere imprescindibile.

Si può affermare che il livello di incertezza globale del sistema (dell'affidabilità dei dati, dell'estrazione delle informazioni e dei risultati di previsioni future) è la sommatoria dei contributi di incertezza di ciascuno step o di ciascun livello di elaborazione.

Da queste asserzioni si deduce che il ruolo del *Data Fusion* è quello di aggregare dati grezzi in un sistema chiaro e comunicativo, in un modo da fornire le informazioni di cui il decisore necessita per eseguire delle azioni, riducendo al minimo l'incertezza dell'utente nei confronti delle informazioni di cui dispone.

Se si pensa alla complessità di un processo conoscitivo finalizzato alla prevenzione per il rischio sismico del patrimonio edilizio, alla frammentarietà e quantità di dati che tale processo produce, alla necessità di sistematizzare tali dati e di dichiararne l'affidabilità affinché i soggetti coinvolti possano intraprendere processi decisionali, è possibile considerare una similitudine tra la procedura di *Data Fusion* più in generale e un database informativo relazionale destinato a contenere tutte le informazioni necessaria al processo di prevenzione, similitudine che si può riscontrare anche nell'articolazione degli step.

I dati eterogenei necessari per le operazioni di calcolo della vulnerabilità, messa in sicurezza, miglioramento sismico restauro, ecc. sono quelli delineati dalle Linee Guida e che afferiscono sostanzialmente alle discipline già individuate nel cap. 4 (Storia, Rilievo e Restauro; Tecnologia dell'Architettura ed Impiantistica; Geologia e Geotecnica; Meccanica delle strutture). Infatti, tali discipline fanno affidamento ciascuna sulle proprie metodologie di rilevamento, il che comporta che ognuna abbia differenti output e tipologia e formato di dato. Attraverso il *Data Fusion* per la prevenzione, ogni informazione è tramutata in linguaggio visuale, assumendo il modello tridimensionale quale interfaccia di accesso a tali informazioni.

La procedura del *Data Fusion* per la prevenzione consta dei seguenti step (fig. 6.3):

- Formazione del quadro conoscitivo: in linea con quanto indicato dalle Linee Guida, il percorso di conoscenza comprende tutte quelle metodologie, tecniche e azioni volte all'interpretazione della consistenza di un manufatto (sia esso singolo edificio, aggregato o tessuto urbano). Le fasi conoscitive, caratterizzate da diversi gradi di attendibilità, non sempre sono sequenziali. In esse si identifica il manufatto ed il rapporto con il contesto urbano e territoriale, se ne rileva la consistenza geometrica, si conducono ricerche storiche e rilevamenti che possano poi mettere

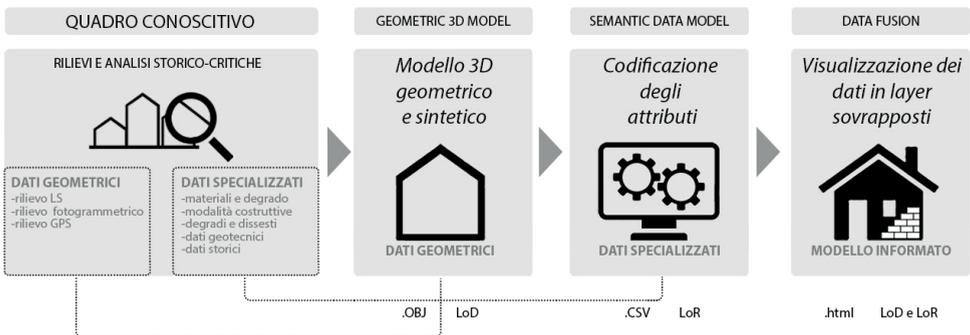


Fig. 6.3 – Schema esemplificativo della procedura per *Data Fusion* finalizzata alla prevenzione del rischio sismico.

in evidenza le caratteristiche costruttive, i materiali, le eventuali lesioni materiche o strutturali, ecc. Da tale step si ottengono due categorie di dati, ovvero dati geometrici (derivanti dal rilievo geometrico), dati specializzati (derivanti dalle analisi condotte dalle figure specializzate per ogni disciplina analizzata nel cap.4);

- *Geometric 3D model*: a partire dai dati di rilievo derivanti dalla fase di acquisizione, si effettua una modellazione tridimensionale geometrica. Questa fase prevede che gli edifici siano modellati attraverso delle forme sintetiche e che trascurino volutamente tutti quei dati non geometricamente parametrizzabili. La procedura è di tipo responsivo⁵ quindi sempre aperta, implementabile, così da incrementare i livelli di dettaglio degli elementi già modellati sinteticamente; Il modello geometrico sintetico viene connesso, tramite linguaggio VPL ad un modello BIM.
- *Semantic data model*: questa fase prevede l'utilizzo di diversi linguaggi di programmazione. Individuati i dati specializzati dalla "formazione de quadro conoscitivo", essi vengono tramutati in metadati associati alla forma tridimensionale precedentemente definita (il modello diviene informato). Il modello risultante è un modello ontologico, in cui i metadati legati tra loro tramite relazioni semantiche.
- *Data Fusion. Visualizzazione ed interrogazione dei dati*: Il modello informato è inserito all'interno di una piattaforma per la consultazione ed interrogazione. Si crea un "iper-modello" visualizzabile, che si comporta come interfaccia di accesso ai metadati precedentemente raccolti ed integrati nella fase di "*semantic data model*". Le informazioni sono visibili in un linguaggio visuale tramite texture infografiche o procedurali direttamente sul modello tridimensionale. Degli *hyperlink* consentiranno l'accesso a metadati e paradata contenuti nel modello informato.

Le diverse figure specializzate analizzano le informazioni rese disponibili nell'*hypermodello* e intraprendono il processo decisionale per la programmazione degli interventi.

Nei paragrafi seguenti saranno descritti nello specifico ed approfonditi gli step procedurali del *framework* di *Data Fusion* per la prevenzione.

6.2. Formazione del quadro conoscitivo

Il primo step della procedura di *Data Fusion* è la *Formazione del quadro conoscitivo*. Coerentemente con quanto previsto dai diversi livelli di approfondimento del percorso conoscitivo, e in accordo con gli obiettivi preposti nella procedura, è opportuno definire il livello di accuratezza delle indagini conoscitive da condurre, in particolare per quel che riguarda le campagne di rilevamento o di acquisizione di dati diagnostici. Il livello di accuratezza globale dell'intera procedura (che va dall'acquisizione dati fino alla sua condivisione) dipende da più fattori (dall'accuratezza in fase di acquisizione, in fase di processamento e di restituzione) ed è generalmente valutato e stimato a priori in modo da essere adatto al grado di conoscenza preposto ed alla descrizione compiuta del manufatto che si vuole analizzare. Il grado di accuratezza globale del sistema influenza il LoD ed il LoR nella strutturazione del modello informato: non c'è corrispondenza biunivoca tra i fattori, ma essi variano secondo una relazione di covarianza⁶ che comprende anche la determinazione della "qualità del dato"⁷. Ciò non include il rapporto di causa-effetto: si può affermare che tra due variabili c'è una relazione sistematica, ma non che una causa l'altra.

Tuttavia, la procedura di *Data Fusion* prevede un approccio multiscalare, in cui l'oggetto da esaminare va dalla scala del tessuto urbano e dell'isolato, passando per quella dell'aggregato e dell'unità strutturale, fino ad arrivare al singolo edificio ed all'elemento architettonico. Per tale motivo non può essere

definito un unico grado di accuratezza globale e le indagini devono essere condotte in modo tale da restituire informazioni utili per le diverse scale di approfondimento.

Il *database* informativo risultante ed il modello dovranno essere necessariamente ordinati secondo una struttura gerarchica (ad albero) in cui la posizione ed il grado di ciascun elemento (ed informazioni ad esso associato) è stabilita a seconda del Livello di Dettaglio dell'oggetto digitale (o dell'intero modello) e dal Livello di Affidabilità delle informazioni.

Pertanto, ciò dovrebbe consentire agli utenti un'esplorazione basata su informazioni e modelli correlati tra loro e criticamente strutturati, in modo che gli utilizzatori stessi possano trarre valutazioni e risultati analitici attendibili a seconda del livello degli interventi.

Alla luce di questo (seppur sintetico) quadro, sono state condotte due differenti campagne di acquisizione dati: da una parte le operazioni di rilevamento sono tese alla descrizione morfologica dei manufatti edilizi (acquisizione del dato geometrico), dall'altro le acquisizioni sono volte alle analisi specialistiche per la caratterizzazione materica e lo stato di conservazione degli elementi (acquisizione dei dati specializzati).

Le attività di rilievo metrico geometrico sono articolate in due fasi operative che si differenziano per il grado di accuratezza del dato acquisito (capace, come già visto, di influenzare l'accuratezza globale della procedura e i successivi LoD e LoR dei modelli).

I paragrafi successivi descrivono una campagna di rilevamento integrato il cui approccio metodologico non si limita unicamente alla restituzione geometrica dell'Architettura: il dato metrico viene integrato con le acquisizioni diagnostiche e con l'ingente e diversificata documentazione archivistica, catastale e documentale in genere, oltre ad una vasta campagna fotografica di insieme e di dettaglio (fig. 6.4).

6.2.1 Le fasi di rilievo geometrico con tecniche integrate

Il Livello di Conoscenza base (LC1, cfr cap. 2.5), per condurre analisi di vulnerabilità sismica e rischio, prevede che il grado di accuratezza del rilievo riesca a restituire una morfologia di massima degli edifici e della loro consistenza senza necessariamente avere la descrizione metrica accurata di ogni singolo aggregato o corpo edilizio. La prima sessione di rilievo consiste nel reperimento di dati derivati⁹ tramite operazioni di rilievo differito (cfr. par. 4.2.1). In particolare, sono state consultate due piattaforme web: sito ufficiale della Regio-



6.4 - Alcune riprese fotografiche d'insieme e di dettaglio. Le immagini di dettaglio si concentrano sia sull'apparato decorativo che sul quadro fessurativo e sull'eventuale individuazione di stratigrafia delle pareti (ove visibile).

ne Lazio e *Open Street Map*. Il *web site* della Regione Lazio fornisce gli *shape file* che contengono sia informazioni spaziali in formato vettoriale, che attributi associabili alle informazioni spaziali stesse. Generalmente questa tipologia di dato nasce per l'utilizzo in piattaforme GIS e non con l'obiettivo di farne elaborazioni tridimensionali; tuttavia la tipologia di dato ed il livello di accuratezza del dato stesso, consente di restituire uno stato generale dei luoghi a livello urbano e territoriale tramite la modellazione della morfologia del terreno e la consistenza volumetrica degli edifici⁹ (cfr. fig. 4.7).

Sul portale *Open Street Map*, che colleziona dati cartografici da fonti libere e da utenti, sono disponibili file di formato *.osm* costituiti da primitive geometriche e relazionate tra loro da strutture di dati e attributi. L'accuratezza è variabile a seconda dell'informazione inserita dagli utenti e non è controllabile a priori, tuttavia anche questi dati restituiscono un modello dell'ordine della scala urbana (le cui modalità saranno presentate nel paragrafo 6.3) ed un conseguente basso LoD e livello di affidabilità sia degli oggetti digitali che delle informazioni.

La procedura multidimensionale impone la necessità di passare da una descrizione più sintetica a una di dettaglio. Per tale motivo è stata condotta una seconda sessione di rilievo strumentale integrato attraverso scansione laser tridimensionale, sistema UAV con macchina fotografica e strumento di rilievo topografico con ricevitore GPS. L'obiettivo è quello di acquisire dati riguardanti per lo più gli involucri edilizi e la conformazione di aggregati urbani e dei corpi singoli di fabbrica, nonché il contesto urbano ed il tessuto in cui sono inseriti. L'accuratezza del rilievo è quindi valutata e scelta in base a tali finalità.

Il progetto di rilievo consta dunque di tre azioni diacroniche e di tre sottoprogetti, uno per ogni tipologia di strumentazione. Nel primo step sono stati posizionati nel centro urbano di Terracino nove target cartacei bidimensionali (individuati da un chiodo centrale) che fungono da *Ground Control Point* (GCP); rilevati con strumentazione GPS, permetteranno poi di scalare, georeferenziare ed unire

gli ulteriori due progetti (LS e UAV) nella fase di processamento (fig. 6.5). La sessione di rilievo tramite LS¹⁰ è stata eseguita attraverso una sequenza continua di scansioni che, a partire dal centro cittadino e seguendo la strutturazione degli assi viari, arriva a comprendere la perimetrazione dell'edificato più denso (fig. 6.6), rilevando la posizione dei GCP che serviranno da marker per l'unificazione dei tre progetti. Il processamento e la registrazione delle singole scansioni avvengono per mezzo del *software Scene* in modalità automatica, grazie all'utilizzo di target sferici nella fase di acquisizione. Successivamente si georeferenzia il progetto tramite le coordinate rilevate dal GPS

La strumentazione ha permesso di acquisire sia i valori RGB che quelli di riflettanza delle superfici esterne degli edifici.



Fig. 6.5 – Nuvola di punti derivante da fotomodellazione in seguito ad una campagna di rilievo effettuata con sistema UAV e fotocamera integrata. I punti contrassegnati sono i GDP (Ground Control Point), che hanno consentito di scalare e georeferenziare il progetto nel software Photoscan. Elaborazione Leonardo Paris e Carla Nardinocchi.

L'utilizzo di strumentazione UAV con fotocamera integrata¹¹ permette di integrare le lacune delle scansioni e di acquisire informazioni topografiche più di dettaglio rispetto a quelle derivanti dagli *shapefile*. Dopo il calcolo del *Ground Sampling Distance* (da cui dipende l'accuratezza del rilievo, cfr. par. 4.2.1) e della percentuale di sovrapposizione dei fotogrammi, sono state programmate due missioni di volo: la prima automatica e nadirale, la seconda, manuale, prevede che la posizione del drone durante gli scatti sia inclinata in modo tale da riprendere nei fotogrammi anche parte dei prospetti. Il processamento è stato effettuato nel *software Photoscan*, ottimizzando l'allineamento grazie all'immissione delle coordinate dei GDP prima della creazione della nuvola sparsa e di quella densa. Entrambe le nuvole, risultato delle due campagne di rilievo qui

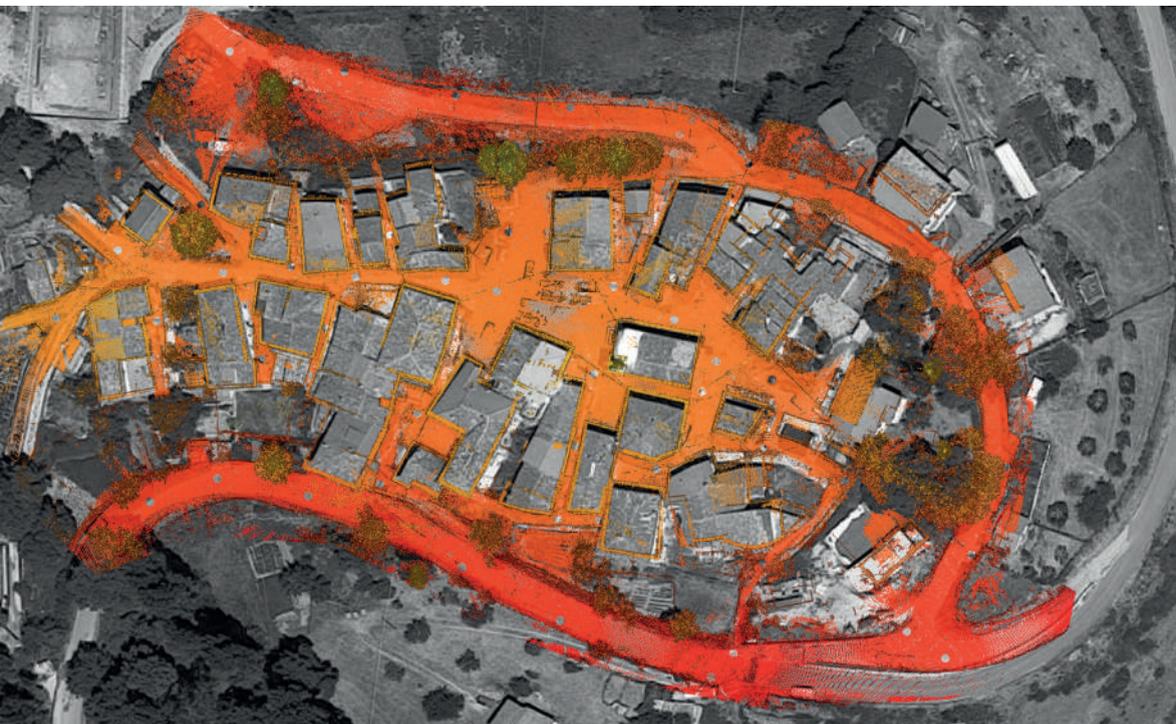


Fig. 6.6 – Copertura delle scansioni effettuate con LS nella frazione di Terracino – Sovrapposizione di un'immagine di Google Maps con visualizzazione zenitale della Nuvola di punti da LS registrata. Elaborazione ed immagine dell'autore. Rilievo Laser Scanner di Maria Laura Rossi e Leonardo Paris.

descritte, presentano stesso sistema di coordinate, e possono essere unificate tramite il *Software Recap Pro* per ottenere un modello discreto complessivo.

L'approccio mira ad una successiva modellazione geometrica del dato acquisito eseguita sulla base delle informazioni che si intende trasmettere per consentire i successivi studi specialistici sugli oggetti rilevati. Ad esempio, i valori RGB e di riflettanza sono fondamentali per la diagnostica ed il monitoraggio delle superfici, soprattutto per quanto riguarda alterazioni non visibili ad occhio nudo (ad esempio, croste ed incrostazioni modificano in maniera anche sostanziale l'intensità di un raggio laser riflesso). Sul modello discreto inoltre è possibile effettuare delle operazioni preliminari che consentono di effettuare valutazioni diversificate e che torneranno utili alle figure specializzate coinvolte nel processo di prevenzione dal rischio sismico (fig. 6.7).

Nonostante in tale capitolo si faccia specificatamente riferimento al rilevamento del dato metrico, la strumentazione utilizzata permette di acquisire anche dati definiti specializzati, la cui raccolta sarà descritta nel paragrafo successivo.

6.2.2 La raccolta di dati specializzati

L'acquisizione di dati specializzati, è strumento utile per le discipline già individuate nel par. 4.1. Nel caso specifico ci si concentra sulla raccolta di dati riferiti alla disciplina del *Restauro*, per la quale è stata effettuata una campagna di rilievo più analitica e diagnostica. Per quanto concerne le altre materie, i dati riguardanti la *Tecnologia dell'Architettura* si orientano verso il riconoscimento delle caratteristiche costruttive prevalenti nel tessuto cittadino, mentre per il rilevamento dei dati strutturali, ci si è limitati alla compilazione di schede descrittive del manufatto edilizio e schede delle carenze strutturali visibili, raccogliendo tutti quei dati previsti dalla manualistica per il calcolo della Vulnerabilità Sismica¹² e derivanti

dal capitolo delle nuove NTC 2018 sugli edifici esistenti (cfr. par 2.3). Si è infine deciso in questa sede di non trattare il reperimento di dati relativi all'ambito della Geologia e della Geotecnica, in quanto troppo specialistici, riferendosi alle carte di microzonazione sismica di Livello 3, presenti sul sito della Regione Lazio sottoforma di *shapefile*¹³ (fig. 6.8).

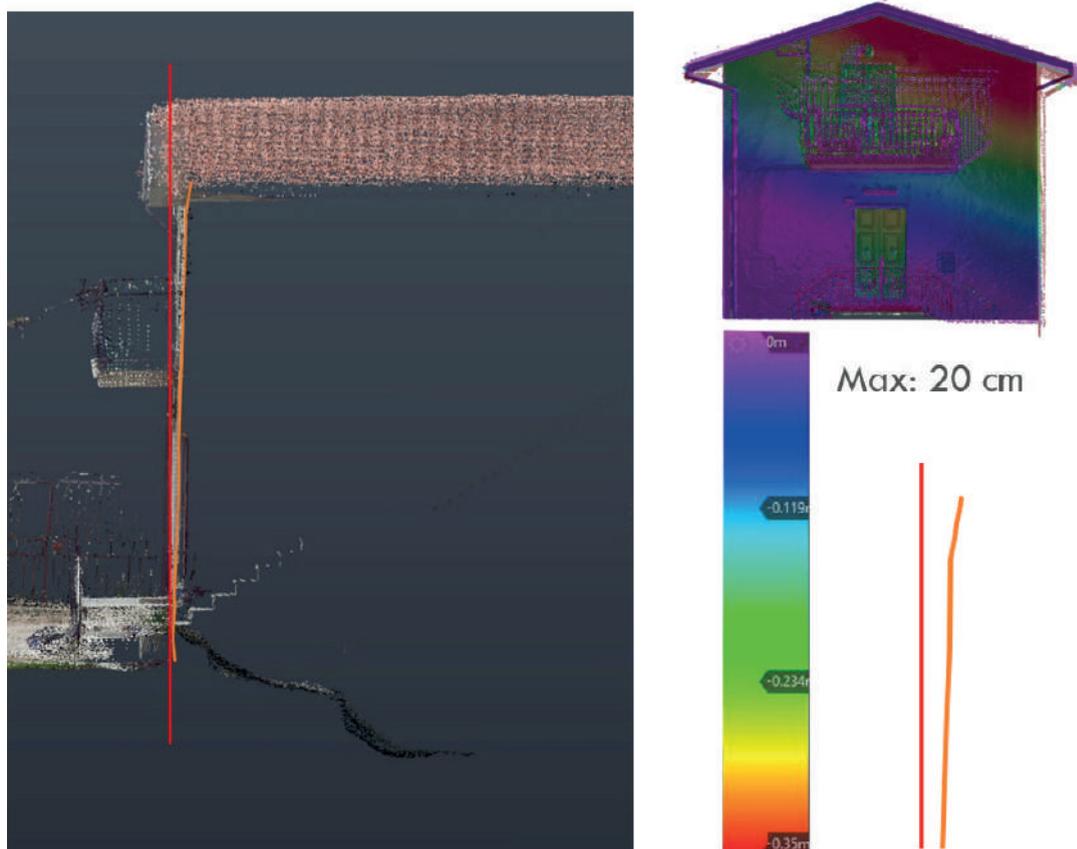


Fig. 6.7 – Esempio di un'operazione eseguibile sul modello discreto: tramite una variazione del sistema di coordinate è possibile ottenere un'Elevation Map per effettuare un'analisi dei fuori piombo. L'oggetto di studio è la facciata di un edificio di Terracina. Immagine ed elaborazione dell'autore.

Quando si parla di conoscenza preventiva, si richiama tutta una serie d'indagine e studi condotti secondo i due usuali percorsi: da un lato quello archivistico-documentario e bibliografico, dall'altro quello di 'lettura' diretta de manufatti in esame - analizzando materiali, tecniche costruttive, qualità immateriali, tipologia e linguaggio architettonico.

Se si segue un processo conoscitivo che va dal generale al particolare, occorre che le informazioni da sistematizzare seguano la stessa procedura variando il proprio livello di approfondimento a seconda dell'elemento che si sta analizzando, procedendo per stati di avanzamento. Si raccolgono dapprima le informazioni a livello territoriale, quindi urbano e di aggregato, fino all'individuazione delle unità strutturali e dei singoli manufatti edilizi. Sempre in accordo con una modalità speditiva di reperimento dei dati, tra gli strumenti che possono

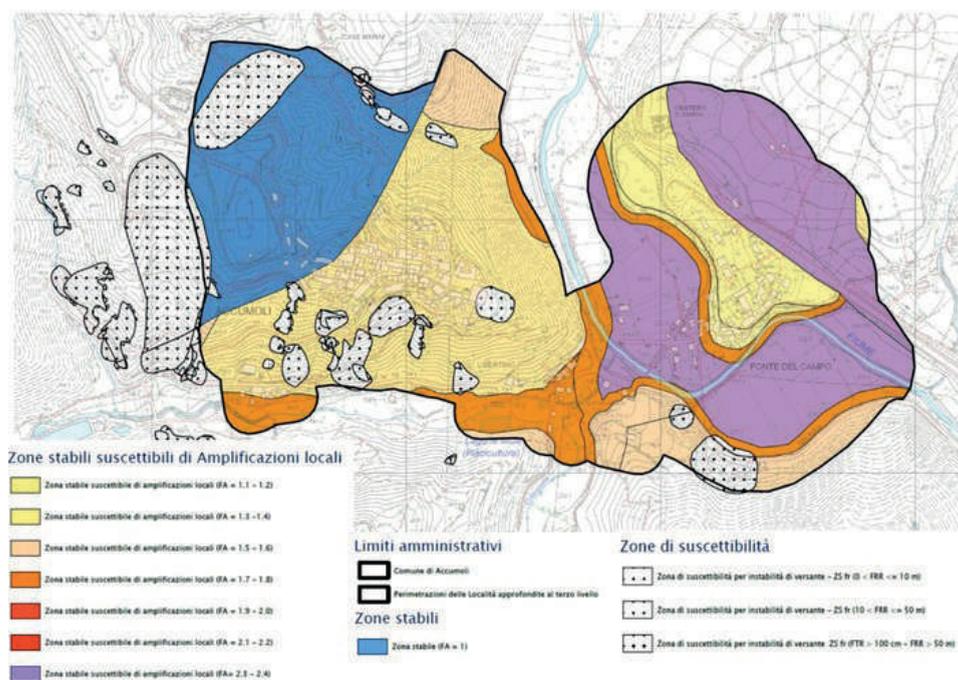


Fig. 6.8 – Stralcio di mappa di microzonazione sismica dell'area di Accumoli. L'immagine è un'elaborazione del CNR, disponibile su http://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/terra_poli/2018/05/04/terremoti-pronta-la-mappa-locale-delle-zone-colpite-nel-2016-1de86912-a3c3-4d9a-ada0-9a049ed6a109.html [Giugno, 2019].

risultare utili per la selezione delle informazioni, sono rilevanti i cosiddetti Manuali di Recupero Regionale, ovvero tutta quella manualistica riferita alle modalità costruttive in relazione ad epoca storica, reperibilità dei materiali e localizzazione geografica redatta secondo le modalità indicate Paolo Marconi²⁵ (Marconi, 2006; Marconi, 1997, AA.VV., 200 (A), AA.VV., 2001 (B)). Facendo riferimento a detta manualistica, la raccolta di dati è finalizzata a comprendere le relazioni storico-culturali-paesaggistiche e identitarie del luogo andando ad individuare i dialetti edilizi sviluppatisi intorno ad Accumoli e le sue frazioni. La comprensione dell'evoluzione degli ambiti urbani secondo morfologie planimetriche note e la standardizzazione delle caratteristiche costruttive serviranno, nello step successivo (*Geometric 3D model*), a tradurre la "sintassi" individuata in abachi e librerie per un modello BIM-oriented.

La procedura eseguita è riassumibile nei seguenti step: lettura storico-critica del territorio e delle risorse naturali (cfr. Cap. 5); lettura delle caratteristiche insediative; lettura dei tipi edilizi prevalenti; analisi degli elementi costruttivi e decorativi ricorrenti (fig. 6.9); analisi del sistema costruttivo in relazione a datazione e tipo edilizio.

L'edilizia di base dell'architettura diffusa infatti è il prodotto di attività costruttive manuali e artigianali caratterizzate dai materiali, dai mezzi d'opera impiegati e da specifici modi di costruire in relazione alle caratteristiche identitarie di un insediamento (fig. 6.10).

Si analizza dapprima la morfologia degli insediamenti (a prevalente sviluppo lineare, a maglia ortogonale ecc.), relazionandola rispetto alla loro collocazione (zone di versante, di fondovalle, di crinale). Si analizzano quindi i centri urbani per delimitare delle "zone omogenee" in cui individuare la presenza di tipi edilizi dominanti dalle caratteristiche costruttive simili in relazione all'evoluzione urbana ed al rapporto con agli assi viari strutturanti (figg. 6.11- 6.12).

Nello step successivo, facendo riferimento alla frazione di Terracino, si pre-

senta la necessità di operare una lettura critica dell'esistente volta analizzare e comprendere il linguaggio costruttivo dei manufatti, attraverso l'indagine dei rapporti che intercorrono tra tipo e tecnica nei suoi aspetti costruttivi, strutturali spaziali e formali.

Da un'analisi più territoriale, si passa alla scala urbana e di aggregato. Le informazioni a tale livello riguardano per lo più l'evoluzione morfologia e i parametri che influenzano la vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi come dis-



Fig. 6.9 – Individuazione di elementi tipologici ricorrenti nella frazione di Accumoli Terracino.

continuità delle strutture portanti, tipologia di ammorsamenti tra edifici contigui, variabilità altimetriche e discontinuità dei solai ecc. La selezione dei dati utili avviene analizzando il capitolo delle nuove NTC 2018 sugli edifici esistenti.

Per un'elencazione più completa dei dati raccolti e selezionati, si confronti par. 6.4.

Se le azioni finora elencate sono condotte per lo più secondo analisi visive e speditive, con ipotesi impostate per analogie e condizioni simili (basso livello di approfondimento e bassa affidabilità delle informazioni), per quanto riguarda l'analisi dei materiali e del loro stato conservativo e di degrado sono stati



Fig. 6.10 – Tecnica costruttiva “tipica” del luogo, strettamente connessa alle dinamiche socioculturali degli insediamenti. I travetti in legno al di sotto di una finestra denotano che ci fosse la presenza di un piccolo solaio a sbalzo non praticabile. L'uso agricolo e pastorale originario, indica che tale solaio doveva servire a caricare la merce pesante e deperibile al piano superiore. L'informazione che ne deriva non riguarda solo le caratteristiche costruttive, ma denota anche una discontinuità strutturale. Località Terracina.

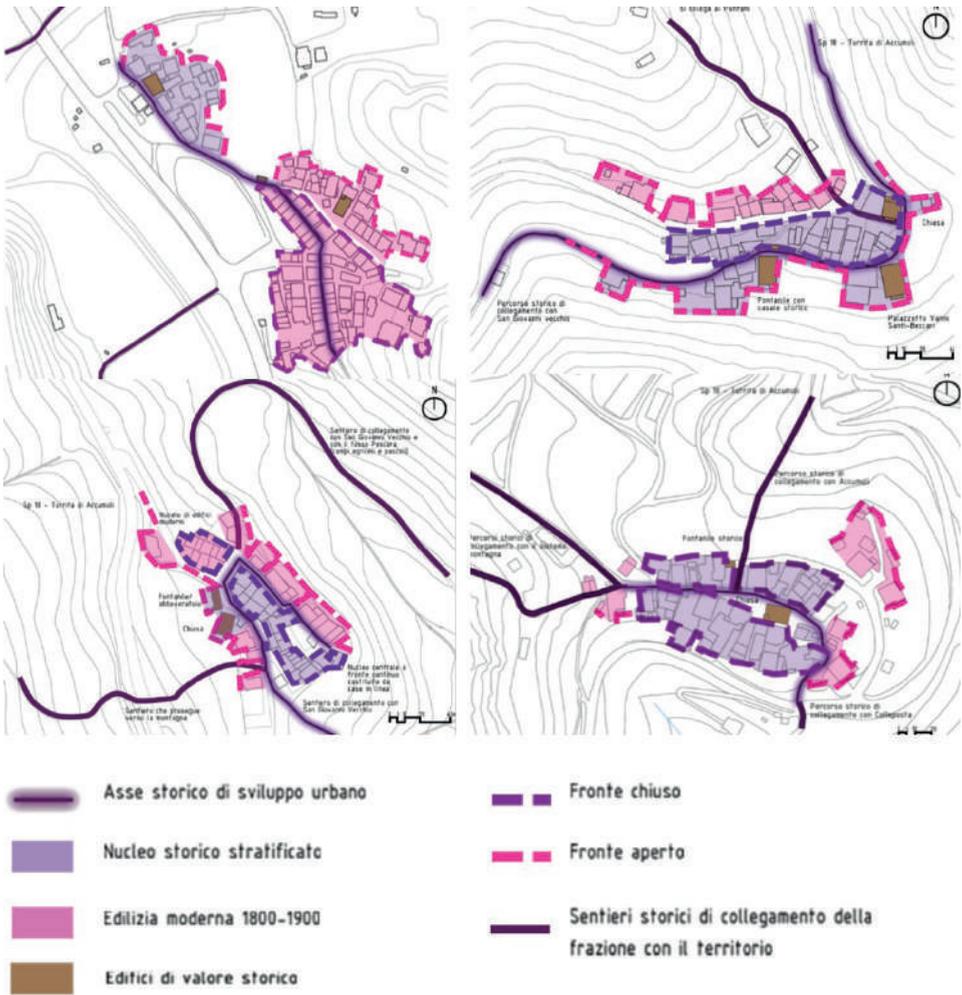


Fig. 6.11 – Analisi dell'evoluzione urbana in relazione agli assi strutturanti per le frazioni di Grisciano, Villanova, San Giovanni e Terracina. L'immagine è stata realizzata dagli studenti del Prof. Andrea Bruschi nell'ambito delle attività di ricerca dell'“Unità di Ricerca Rischio Sismico Urbano: prevenzione e ricostruzione”, costituita nel 2017 dal Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura - Sapienza Università di Roma, finanziato dalla Sapienza Università di Roma e denominato “Urban/territorial restoration and seismic risk prevention: a methodology. Learning and experimenting from the case of 2016 Central Italy earthquake”, coordinato da T. Emler.

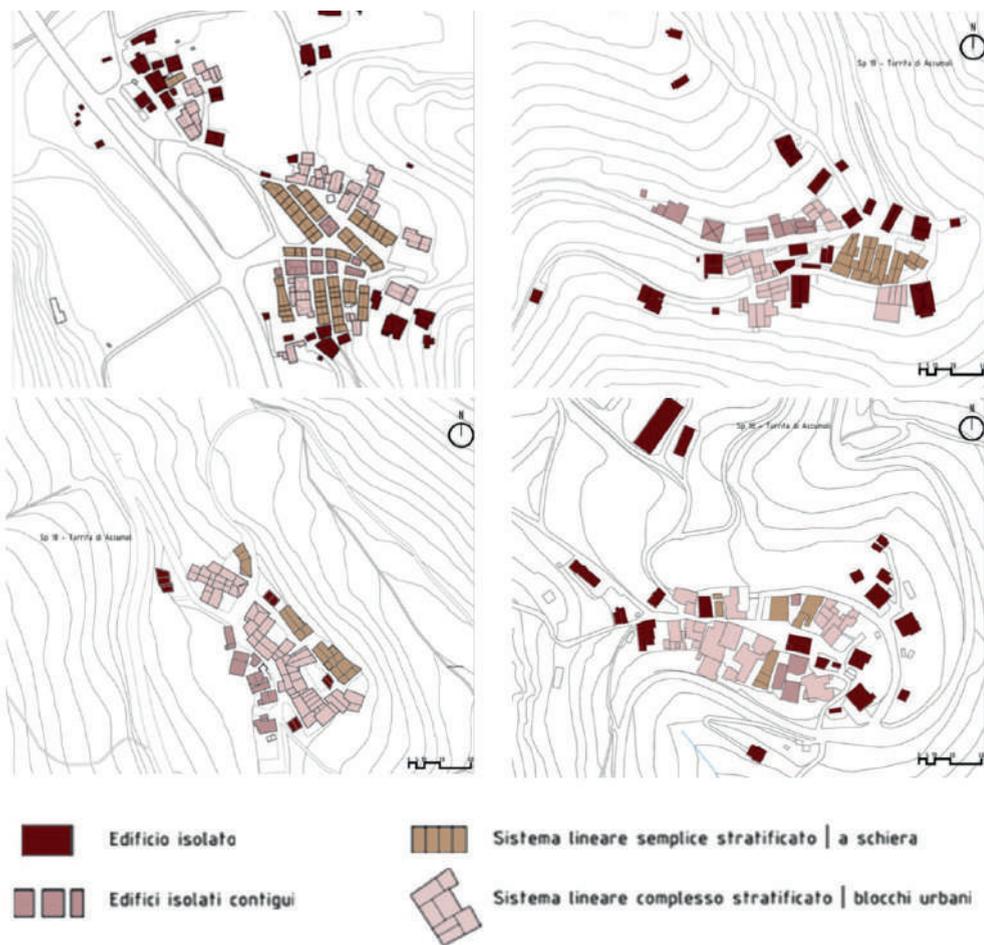


Fig. 6.12 – Analisi dei tipi edilizi per le frazioni di Grisciano, Villanova, San Giovanni e eterracino. L'immagine è stata realizzata dagli studenti del Prof. Andra Bruschi nell'ambito delle attività di ricerca dell' "Unità di Ricerca Rischio Sismico Urbano: prevenzione e ricostruzione", costituita nel 2017 dal Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura - Sapienza Università di Roma, finanziato dalla Sapienza Università di Roma e denominato "Urban/territorial restoration and seismic risk prevention: a methodology. Learning and experimenting from the case of 2016 Central Italy earthquake", coordinato da T. Emler.

condotti studi più rigorosi, seppur ancora assimilabili alla scala edilizio-urbana e di aggregato.

Le caratteristiche di finitura e le facciate degli edifici della scena urbana costituiscono il primo elemento di identificazione e di riconoscibilità nell'articolata struttura del tessuto cittadino.

La metodologia adottata in questa fase conoscitiva prevede i seguenti step:

- conoscenza dei caratteri storici mediante una ricerca d'archivio;
- individuazione della più probabile caratterizzazione costruttiva degli elementi edilizi;
- individuazione dei sistemi di finiture e dei materiali;
- valutazione dello stato conservativo, il riconoscimento delle morfologie del degrado delle facciate degli edifici.

L'indagine del paramento di una facciata finalizzata alla definizione del suo stato conservativo parte anch'essa da un'attenta osservazione visiva per poter individuare i materiali e le morfologie del degrado, che devono essere chiaramente riportati su opportune tavole tematiche. Le osservazioni sono state integrate da indagini termografiche⁴⁴ e da una campagna fotografica di dettaglio.

I termogrammi acquisiti sono stati poi elaborati con il *software* proprietario della macchina per estrarre rapidamente il contenuto informativo di ciascuna immagine.

Elaborando opportunamente le immagini, è possibile suddividere l'emissività in tre livelli: zona a bassa, media ed alta emissività. All'interno di ciascuna di queste tre zone si procede poi con l'analisi termografica e la fotointerpretazione, confrontando i dati ottenuti con una simulazione di una superficie *high poly* di una facciata dell'edificio che si sta analizzando, ottenuta dalla nuvola di punti del rilievo geometrico prima descritto.

Le mappe termografiche sono poi state inserite nel *software Matlab*, utilizzando il *Toolbox Image Processing*, grazie al quale è possibile isolare alcuni elementi e procedere al processo di segmentazione dell'immagine termografica, in cui si riconoscono aree omogenee (con estrazione di contorni) su cui condurre valutazioni (fig. 6.13).

A partire da questi primi studi sarà poi possibile individuare le aree omogenee in cui effettuare particolari osservazioni macroscopiche con eventuali prelievi di materiale da sottoporre ad indagini di laboratorio.

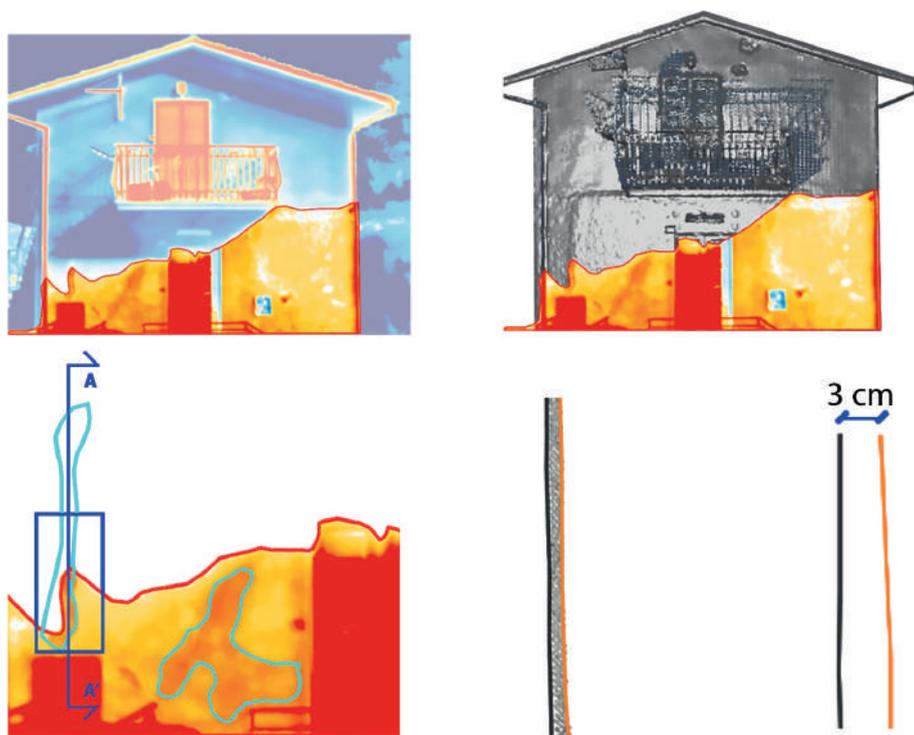


Fig. 6.13 – Il processo di segmentazione, confrontato con i risultati ottenibili dalla nuvola di punti (simulazione di superficie high poly), permettono di riconoscere la presenza di varie tipologie di distacchi del sottofondo (temperature maggiori). Attraverso ulteriori elaborazioni è possibile estrarre i due profili e valutare l'effettivo distacco in termini metrici. Elaborazione ed immagine dell'autore.

Il percorso d'indagine, sopra sinteticamente delineato, sarebbe quello ottimale per arrivare ad ottenere dati analitici puntuali di tutti i manufatti oggetto di studio.

Il livello di conoscenza secondo cui si sono state condotte di tali analisi, al momento della scrittura di questa tesi, si è limitato a indagini di livello edilizio - urbano, senza entrare nello specifico del singolo edificio o elemento edilizio; tuttavia, essendo la procedura incrementabile e le attività di ricerca dell'"Unità di Ricerca Rischio Sismico Urbano: prevenzione e ricostruzione", ancora in atto, nulla vieta che si possano aggiornare le informazioni aumentandone l'affidabilità e conducendo analisi più approfondite.

6.3 Geometric 3D model: Impostazione del modello BIM-oriented attraverso il linguaggio VPL

Il secondo step della procedura di *Data Fusion* si concentra sulla realizzazione di un modello geometrico tridimensionale a partire dai dati di rilievo differito e da quelli derivanti da campagne di rilievo speditivo *in situ*. Si tratta di elaborare un modello responsivo⁵, che può variare la sua conformazione ed il suo livello di dettaglio a seconda della qualità dei dati di *input*. Questo, unitamente al sistema *Open* previsto (cfr. par.1.2) fa sì che il modello sia sempre perfezionabile ed incrementabile con nuovi dati. La procedura qui di seguito descritta, è stata messa a punto da Michele Calvano¹⁶ (Calvano, 2019) e prevede le seguenti fasi operative:

Generazione della morfologia del terreno a partire dai dati desumibili dagli *shapefile*;

Creazione di un modello sintetico (definito SIM o *Synthetic Information Mod-*

el), che definisce le caratteristiche volumetriche - dimensionali di massima e la distribuzione degli edifici;

- Introduzione del modello sintetico in ambiente parametrico per renderlo informato;
- Inserimento dei dati di rilievo (points cloud) nel modellatore tridimensionale per una modellazione algoritmico-generativa;
- Creazione di un modello dettagliato (definito DIM o *Detailed Information Model*) della forma degli edifici e degli elementi costruttivi e contemporanea creazione degli oggetti parametrici tramite un *plugin* del modellatore tridimensionale che sfrutta la progettazione computazionale;
- Arricchimento informativo dell'oggetto modellato in ambiente BIM parametrico.

Nel primo step, l'utilizzo di un modellatore che fa uso di un linguaggio di programmazione visuale (VPL) consente sia di gestire i dati vettoriali e geometrici, sia i metadati ad essi associati (archiviati in formato alfanumerico) contenuti nelle cartografie tecniche di base GIS messe a disposizione dalla Regione Lazio ed estrapolati mediante *QGIS*. È possibile ricavare dalle cartografie vettoriali la topologia del terreno, estrudendo le polilinee rappresentati le curve di livello (geometrie degli *shapefile*) della stessa quantità che riporta l'attributo "altezza" per ogni curva tramite un *plugin* integrato in *Rhinoceros 6*, che si presta alla modellazione parametrica (*Grasshopper*). Estratti dei punti che descrivono le curve di livello, questi vengono interpolati per creare la superficie del suolo. Similmente si opera per la modellazione degli edifici, estrudendo l'impronta in pianta degli stessi del valore (attributo) indicato nei metadati e riferito all'altezza di gronda e traslando gli stessi del valore (attribuito ad ogni edificio) della quota m.s.l.m. Si ottiene un modello descrittivo delle volumetrie degli edifici e della superficie del suolo esportabili in ambiente parametrico (fig. 6.14).

Generalmente questo tipo di modellazione precede eventuali studi det-

tagliati e riguardanti gli aspetti tipologico edilizi e costruttivi. Qualora non si disponesse delle cartografie GIS, quindi non si possano ottenere informazioni riguardanti la disposizione della volumetria degli edifici, è necessario prevedere una metodologia per lo studio della forma urbana e della conformazione dei tessuti in relazione all'orografia, che restituisca informazioni preliminari in modo che si posano estrapolare i primi elementi per le valutazioni di prevenzione sismica urbana.

A tal proposito sono fondamentali gli studi riguardanti la composizione planimetrica in relazione alla forma delle strutture urbane (fig. 6.15).

Indagando le regole base è possibile parametrizzare gli impianti urbani analizzando la conformazione dei tessuti e dei rapporti che intercorrono tra assi strutturanti, pieni e vuoti urbani (cfr. fig. 4.1). Si auspica che si possa giungere ad una parametrizzazione e gestione di librerie di oggetti di livello edilizio-urbano in ambiente BIM parametrico che descrivano il rapporto tra pieni e vuoti dei tessuti, tale da permettere una modellazione e descrizione più inerente al centro urbano oggetto di studio. Chiaramente questo non è sufficiente all'ottenimento di valutazioni attendibili per la vulnerabilità sismica urbana ed è necessario procedere a sviluppare modelli di maggior dettaglio.

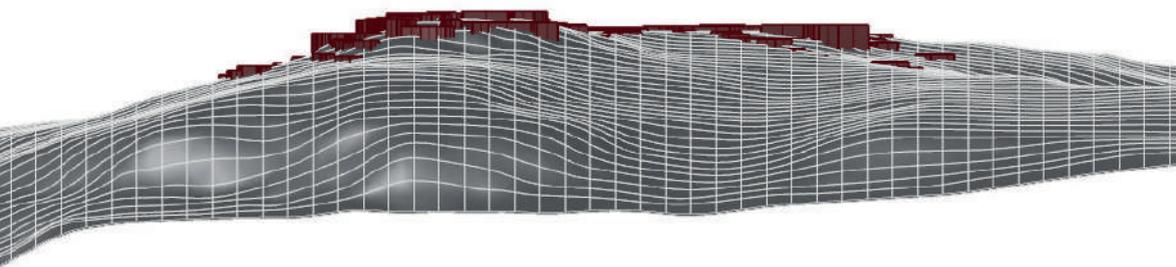


Fig. 6.14 – Modellazione del modello sintetico o Low Poly all'interno del software rhinoceros. Elaborazione ed immagine dell'autore.

Si prosegue dunque alla creazione di un modello più approfondito (DIM), che, oltre alla volumetria e alla distribuzione territoriale, restituisca gli aspetti ed i criteri fondamentali dell'edilizia di Terracino, sia percettivamente, che dal punto di vista tipologico. Si procede mediante studio delle tipologie edilizie e la tipizzazione degli elementi architettonici, creando abachi appositi che possono essere parametrizzati e adattati al contesto urbano di riferimento, che siano cioè descrittivi del "dialetto edilizio" dell'ambito territoriale (tale studio si conduce consultando i manuali per il recupero degli edifici storici - fig. 6.16- volti alla comprensione delle tecniche edilizie tramandatesi nel tempo con pochissime varianti e che descrive i caratteri figurativi di un'architettura in relazione alla sua area geografica).

Questa impostazione ben si presta alla realizzazione di un modello BIM-oriented: sebbene una parametrizzazione degli elementi non sia sufficiente alla restituzione di un modello as built ed alla compiuta descrizione di tutte le variabili e di tutte le stratificazioni, le informazioni (materiali e tecniche costruttive) risultano essere sufficienti per condurre valutazioni di una media attendibilità sulla vulnerabilità degli edifici in base a conformazione geometrica accurata.

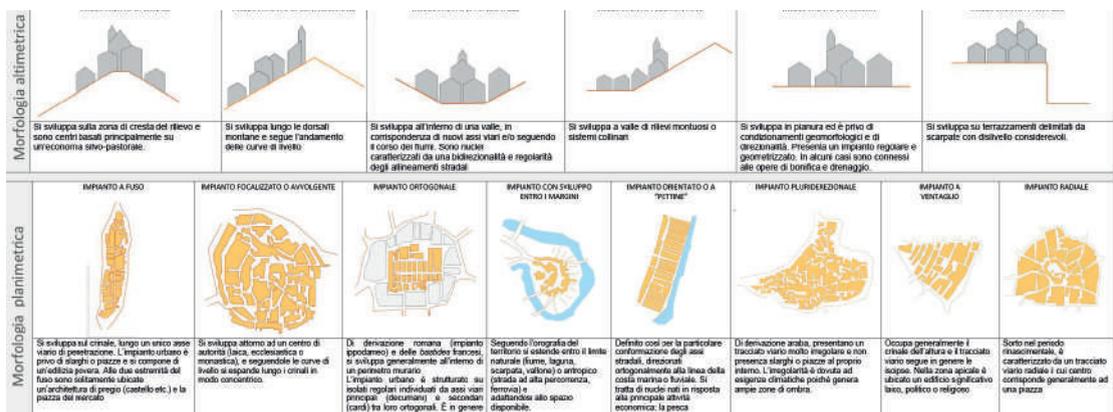


Fig. 6.15 – Schematizzazione degli impianti urbani e classificazione in base a morfologia planimetrica ed altimetrica. L'immagine è frutto di uno studio condotto da Pelliccio Assunta, Saccucci Marco, Ernesto Grande dell'Università di Cassino in relazione a "HT_BIM: La modellazione parametrica per l'analisi del rischio nei centri storici" (Pelliccio et al, 2017).

Per poter produrre il modello DIM parametrico, una volta inserita la nuvola di punti all'interno del modellatore matematico, la modellazione avviene tramite un *plugin* denominato *Live Connection*, che sfrutta la progettazione algoritmica all'interno di *Rhinoceros*, con il quale si ottiene il corrispettivo degli elementi modellati nel BIM software in tempo reale. Il *plugin* in questione riesce ad associare le qualità di un modellatore matematico ed algoritmico-generativo (l'adattamento alle geometrie complesse) alla riconoscibilità semantica

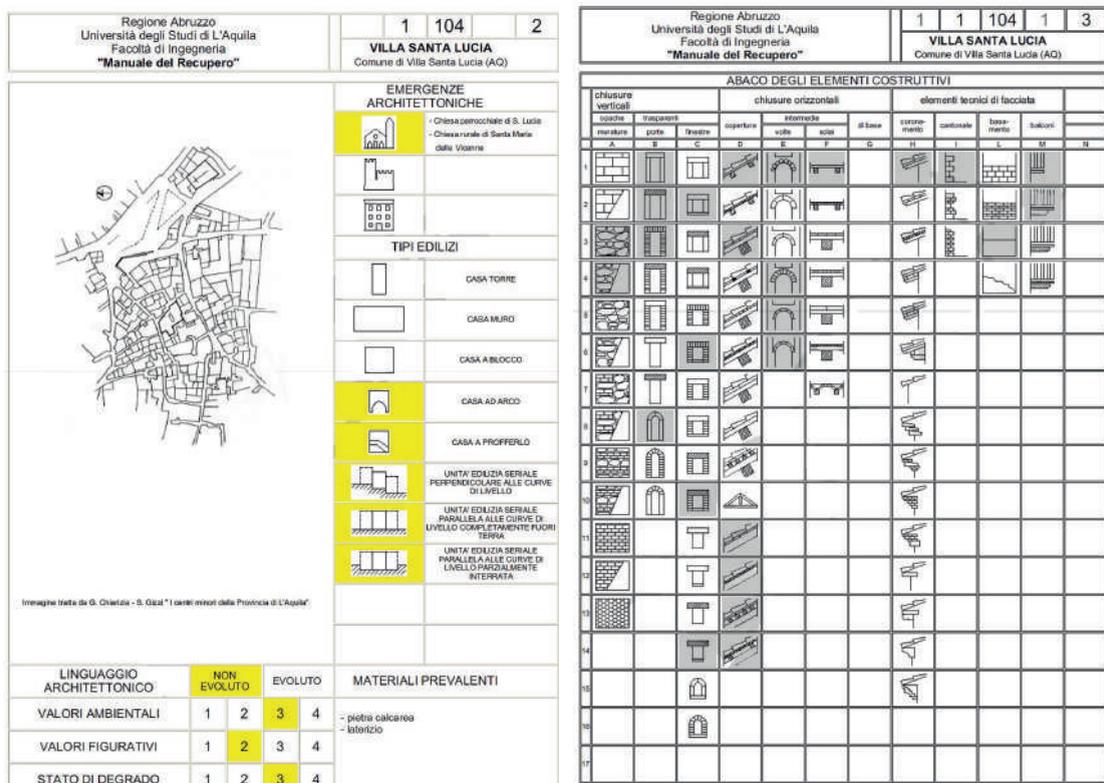


Fig. 6.16 – Esempio di analisi dei tipi edilizi ricorrenti e abaco degli elementi costruttivi del "Manuale di Recupero dei Centri Storici" realizzato per la regione Abruzzo. Le tabelle sono il risultato di una ricerca coordinata da Luigi Zordan dell'Università degli Studi dell'Aquila in collaborazione con il settore Urbanistica dei Beni Ambientali, Parchi e Riserve naturali della Regione Abruzzo. Disponibile su http://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/pianificazione-territoriale/manuali-recupero/RA_relazione_generale_Univaq.pdf (agosto 2019).

di un modellatore BIM. La composizione dell'elemento architettonico e degli attributi ad esso associati (ad esempio il materiale), avviene direttamente in ambiente computazionale e si importa e visualizza all'interno del software BIM parametrico utilizzato (fig. 6.17).

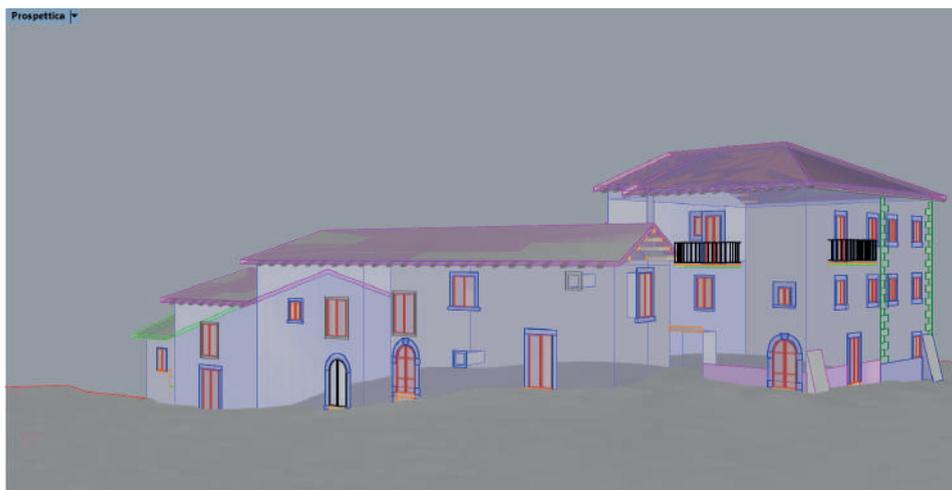


Fig. 6.17 – Modello dettagliato realizzato in Rhinoceros Grasshopper a partire da nuvola di punti e successiva visualizzazione nel software Archicad con riconoscibilità semantica degli elementi e caratterizzazione dei materiali. Aggregato di Terracino. Elaborazione ed immagine dell'autore.

In questa fase però alcuni elementi non geometricamente parametrizzabili (come fuori piombo, spancamenti, ecc) saranno volutamente trascurati e saranno inseriti quali metadati (ad esempio inserendo la nuvola di punti – il dato - come *hyperlink* esterno consultabile e misurabile) o paradatai (ad esempio inserendo elaborazioni ed estrapolazioni della nuvola di punti - interpretazione del dato -) nello step successivo, descritto nel paragrafo seguente.

La procedura qui illustrata presenta come *output* un modello in formato *.obj* che descrive la sostanza tipologica e tecnica delle unità edilizie e restituisce la conformazione metrica e geometrica degli elementi, con un livello medio di affidabilità delle informazioni e degli oggetti digitali (tale livello viene espressamente indicato da un valore numerico relativo ai LoD nel modello BIM)

Il complesso legame che rivelano gli assetti distributivi e spaziali con gli impianti costruttivi condiziona il sistema di relazione tra questi elementi, i tipi architettonici, la loro aggregazione e la formazione dei tessuti. Il modello risultante descrive questo fenomeno sia nella sua accezione geometrica compositiva che in quella informativa ed è contraddistinto da un'accuratezza che va dalla scala urbana a quella dell'aggregato e alla singola unità edilizia. Tuttavia, il modello è responsivo e quindi sempre modificabile e adattabile a maggiori livelli di dettaglio qualora si dovessero condurre analisi e rilievi di miglior accuratezza. Esso rappresenta il substrato sul quale costruire l'apparato informativo pertinente a tutte le figure coinvolte nei processi di prevenzione.

6.4 Semantic data model

Il *Data Fusion* ha come obiettivo rappresentare un sistema di dati ed informazioni relazionati tra loro, in modo che si possano trarre da essi valutazioni di vulnerabilità e rischio sismico per i centri urbani. La piattaforma rientra quindi nell'insieme dei *database* relazionali: questi infatti costituiscono una raccolta

persistente di dati legati tra loro attraverso connessioni logiche o nessi sistematici. In questa tipologia di *database*, la possibilità di costituire un'articolazione complessa dei dati permette di costruire modelli in grado di descrivere o simulare, con elevata attendibilità, il fenomeno reale che rappresentano.

All'interno della tematica rientra il concetto di *Semantic web* (web semantico); si tratta di un termine coniato da Tim Berners-Lee (Berners-Lee *et al*, 2001), fondatore del *world wide web* (www) che differenzia il web tradizionale, costituito da oggetti html e documenti, con il web semantico, costituito da entità esistenti descritte tramite un sistema relazionato di dati (Guerrini, Possemato, 2013): metadati ed attributi connotano semanticamente i documenti in un formato adatto all'interrogazione ed alla elaborazione automatica da parte delle macchine. Per la sua attuazione, il web semantico si serve dei *linked open data* che sono descritti nelle parole di Guerrini e Possemato: «Il concetto è complesso, ma potremmo sintetizzarlo in quell'insieme di buone pratiche che servono per pubblicare e collegare dati sul web a uso di una macchina. È un'espressione impiegata per descrivere un metodo di esporre, condividere e connettere dati tramite URL ¹⁷[...]. Con *linked data*, in altre parole, ci si riferisce a dati pubblicati sul web in una modalità leggibile e interpretabile da una macchina, il cui significato sia esplicitamente definito tramite una stringa costituita da parole e marcatori. Si costruisce così un reticolo di dati collegati (*linked data*, appunto) appartenenti a un dominio (che costituisce il contesto di partenza), collegato a sua volta ad altri set di dati esterni, ovvero fuori dal dominio, in un contesto di relazioni sempre più estese.». La figura 6.18 rappresenta concettualmente l'idea dei *linked open data*, come essi funzionano e connettono tra loro le informazioni relative a diversi ambiti.

Modellare semanticamente i dati, significa dunque esprimere i significati delle informazioni connettendole tra loro e con gli oggetti a cui sono associate, renderle condivisibili fra differenti applicazioni ed accessibili e fruibili da parte di utenti diversi.

Nell'ambito dei beni culturali, una continua e crescente domanda di ricerca globale mirata, archiviazione e trasferimento di dati da fonti eterogenee, così come le esigenze di catalogazione e consultazione dei dati stessi riferiti al patrimonio, ha portato alla realizzazione di un *database* relazionale ed ontologico denominato CIDOC-CRM. Si tratta di un processo di modellazione semantica dei dati sviluppato dall'ICOM¹⁸ con l'obiettivo di promuovere una

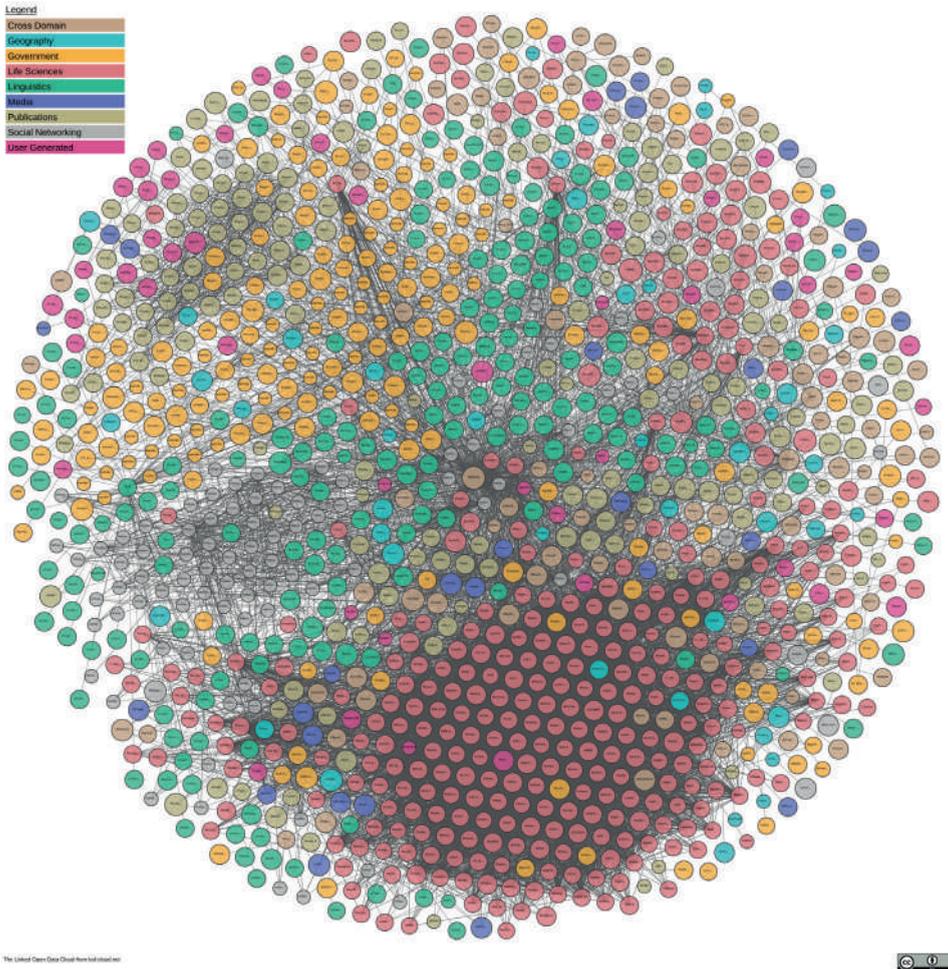


Fig. 6.18 – L'immagine mostra il funzionamento del set di dati che sono caricati sul web in formato linked open data. Disponibile su <https://lod-cloud.net/>

comprensione condivisa delle informazioni sul patrimonio culturale fornendo un quadro semantico comune ed estensibile, nel quale è possibile mappare qualsiasi informazione sul Bene Culturale. Costituisce uno standard per l'archiviazione delle informazioni da parte di biblioteche, musei ed archivi storici e ne consente la consultazione da parte degli utenti. La procedura, aperta ed interoperabile, infatti comprende la raccolta e migrazione dei dati, la fusione dei dati, la loro integrazione virtuale e l'interrogazione (Doerr, 2001) sfruttando il web semantico.

Se la procedura CIDOC-CRM comprende un set di dati (1D e 2D) derivanti da fonti eterogenee e con diversi formati (immagini, testi ecc), allo stesso modo, la documentazione di un edificio storico implica una documentazione altrettanto complessa. A questo si aggiunge l'importanza di una rappresentazione tridimensionale e di una conoscenza metrico geometrica dell'architettura in esame, i cui elementi sono relazionati tra loro ontologicamente. Si rende dunque necessaria un'organizzazione strutturata, sia dei dati, che del modello tridimensionale che li contiene, in classi e proprietà, sfruttando la strutturazione semantica del modello BIM, prevedendone una più ampia concezione ed un'ontologia di livello superiore (Parisi *et al*, 2019). L'intento è quello di andare oltre la capacità informativa di un BIM inserendo dati ed informazioni riguardanti tutte le attività e gli ambiti relativi al processo di prevenzione, servendosi delle possibilità offerte dal web semantico garantendo l'operabilità.

A questo proposito, le ultime sperimentazioni in ambito scientifico, prevedono l'applicazione del sistema semantico-ontologico CIDOC-CRM al patrimonio edilizio ed all'architettura più in generale (Garozzo *et al*, 2017; Lo Turco *et al*, 2019; Parisi *et al*, 2019); si tratta ancora di sperimentazioni in corso e tuttora manca una procedura comune ed esaustiva.

La procedura proposta in questa sede, in questo step prevede la strutturazione gerarchica dei dati in tabelle (associate ad ogni disciplina coinvolta nel

processo di prevenzione). La codifica, grazie al linguaggio di programmazione VPL ed alla programmazione web, sarà connessa, tramite elementi annotativi, a modelli ottimizzati (mesh), che potranno essere visualizzati, navigati ed interrogati *online* nello step successivo.

Dopo la modellazione tridimensionale (step precedente), ci si concentra sull'organizzazione degli attributi da assegnare ad ogni oggetto 3D digitale, mantenendo una struttura gerarchica tra entità attributi e dati. Gli attributi da associare agli oggetti digitali saranno così differenziati: metadati, che contengono un'informazione sintetica sul dato senza necessariamente contenere il dato stesso e/o la fonte; paradati, ovvero risultati di processi interpretativi di dati da parte di esperti, che contengono l'informazione e la fonte del dato stesso. È importante individuare la qualità delle informazioni inserite nel processo, esprimibili come livello di affidabilità del dato (LoR), per cui si determina un sistema valutativo di tipo numerico costituito da parametri associabili sia ai componenti geometrici che ai relativi attributi.

Gli elementi annotativi, vengono definiti e delimitati direttamente nel software geometrico computazionale (fig. 6.19). Questi sono associati alle tabelle di attributi sopra descritte (di formato *.csv*) e divengono *hyperlink* del modello condiviso (nello step successivo): cliccando sull'elemento ed interrogandolo, l'utente potrà connettersi al documento contenente metadati e/o paradati archiviati per quell'elemento e catalogati per ogni disciplina. Le informazioni tabellate sono quelle elencate in tabb. 1-2-3-4-5.

La realizzazione del portale web avviene mediante la creazione di codici definiti da stringhe di parole e caratteri numerici. Questi descrivono un URL, il quale a sua volta individua una determinata risorsa sull'applicativo utilizzato per visualizzarla ed accessibile tramite l'*hyperlink*.

La procedura presenta come *output* un database relazionale all'interno di un elemento web (programmato tramite linguaggio *html*), sul quale è caricato

un modello adattato alla navigazione ed interrogazione *online*, contenitore di informazioni ontologicamente legate tra loro.

Anche in questo caso si tratta di una procedura responsiva, cioè che risponde e si modifica al variare degli *input* e delle modalità di programmazione, perciò sempre aperta ed incrementabile.

INDIVIDUAZIONE ELEMENTO		Individuazione Catastale	Periodo costruzione	Anno costruzione	Evoluzione morfologica	Tipologia edilizia	Tipologia costruttiva	N° piani	H media interpiano	
A G G R E G A T O 1	U.S.1	Edificio 1	Foglio 4 P.IIa 27	3	N	O	1	1	2	3.7
		Edificio 2	Foglio 4 P.IIa 28	4	N	A	1	1	3	4.2
		Edificio 3	Foglio 4 P.IIa 26	4	N	I	1	1	3	4
	U.S.2	Edificio 1	Foglio 4 P.IIa 22	5	C	A	1	2	4	3.2
		Edificio 2	Foglio 4 P.IIa 25	4/5	D	O	1	1	2	4
		Edificio 3	Foglio 4 P.IIa 24	5	G	A	1	3	2	3.2
		Edificio 4	Foglio 4 P.IIa 23	4	N	N	1	2	3	3.8

Tab. 1 – L’aggregato edilizio è diviso in unità strutturali e edifici. La colonna relativa all’individuazione catastale connette alla fonte del dato (planimetria catastale), la colonna relativa all’anno di costruzione non contiene la fonte del dato ma solo l’informazione stessa. L’input delle informazioni è sottoforma di codice alfanumerico: Periodo di costruzione - 1 Fino alla metà del VIII sec. a.C. (Epoca pre-Romana); 2 Da metà del VIII sec.a.c. al VI sec.d.C. (Epoca Romana); 3 Dal VII al XV sec. d.C. (Epoca Medioevale); 4 Dal XVI al XIX sec. (Epoca Moderna); 5 XX secolo (Epoca Contemporanea) -; Anno di costruzione - A Prima del 1919, B Tra il 1920 e il 1945, C Tra il 1946 e il 1960, D Tra il 1961 e il 1971, E Tra il 1972 e il 1981, F Tra il 1982 e il 1998, G Dopo il 1998 -; Evoluzione morfologica – O edificio originario, A addossato ad un edificio originario con struttura verticale indipendente o ammorsata agli altri edifici dell’aggregato, I edificio sorto dall’intasamento di vuoti nell’aggregato con pareti perimetrali non ammorsate agli altri edifici, N non so -; Tipologia edilizia - 1 a schiera, 2 in linea, 3 isolata, 4 a corte, 5 edificio speciale -; Tipologia Costruttiva - 1 Muratura, 2 Struttura mista cemento armato-muratura, 3 Cemento armato, 4 Acciaio, 5 Altro. Informazioni utili tratte da capitolo 8 delle NTC 2018.

E D I F I C I O	MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE					
	Tipologia muraria			Strato	Spessore	Materiale
1	7			1	0.3	5
				2	0.4	12
				3	0.3	5

Tab. 2 – La tabella si riferisce ad ogni singolo edificio ed indica in particolare la stratigrafia delle pareti. Nella prima colonna numero relativo alla successione degli strati, in ordine crescente dall'esterno all'interno. Risultati di analisi endoscopiche, prelievi o di ipotesi effettuate per analogie grazie ai manuali di recupero e alla conoscenza delle attività di cantiere locali e storiche.

EDIFICIO1	ORGANISMO RESISTENTE										
	Tipologia costruttiva			Strutture orizzontali		Strutture verticali		Copertura	Fondazioni	Collegamenti verticali	
2				Piano1	A	Piano1	A	L	1	piano1-2	0
				Piano2	A	Piano2	A			piano2-3	5
				Piano3	F	Piano3	A				

Tab.3 – Tabella riferita all'edificio specifico. Riporta i dati relativi all'organismo resistente e alle strutture. Selezione delle informazioni tratte dai manuali per il calcolo della vulnerabilità sismica: Tipologia costruttiva - 1 Solo pareti perimetrali, 2 Con muri di spina, 3 Mista con telai in c.a. o acciaio, 4 Muratura intelaiata -; Strutture orizzontali - A Legno, B Legno con catene, C Putrelle e voltine o tavelloni, D Putrelle e voltine o tavelloni con catene, E Laterocemento o solette in c.a., F Volte senza catene, G Volte con catene, H Miste volte solai, I Miste volte solai con catene -; Strutture verticali - A Muratura a sacco, B Muratura a sacco con spigoli, mazzette, C Muratura in pietra sbazzata, D Muratura in pietra sbazzata e rinforzi c.s., E Muratura in pietra arrotondata, F Muratura in pietra arrotondata e rinforzi c.s. G Muratura in blocchi di tufo o in pietra squadrata, H Muratura in blocchi di cls inerti pesanti, I Muratura in blocchi di cls inerti leggeri, L Muratura in mattoni pieni, semipieni o multiformi, M Muratura in mattoni forati, N Pareti in cls non armato, O Pareti in c.a., P Telai in c.a. non tamponati, Q Telai in c.a. con tamponature deboli, R Telai in c.a. con tamponature consistenti, S Ossatura metallica, T Strutture verticali miste (c.a. + muratura), U Muratura iniettata, V Muratura con intonaco armato -; Coperture - L Legno spingente, A Piana, M Legno "poco spingente", B Una falda, N Legno a spinta eliminata o travi orizzontali, C Due falde, O Laterocemento o solette in c.a., D Padiglione, P Acciaio spingente, Q Acciaio non spingente, R Mista spingente, S Mista non spingente -; Fondazioni - 1 Continue in muratura, 2 A pozzo in muratura, 3 In cemento armato, 4 Non collegate, su quote diverse, 5 Di tipo misto miste, 6 Su livelli differenti, 7 Su piani di posa inclinati -; Collegamenti verticali - 0 Struttura appoggiata in legno, 1 Struttura a sbalzo in legno, 2 Struttura appoggiata in acciaio, 3 Struttura a sbalzo in acciaio, 4 Struttura appoggiata in pietra o laterizi, 5 Struttura a sbalzo in pietra o laterizi, 6 Volta appoggiata in muratura, 7 Volta a sbalzo in muratura, 8 Struttura appoggiata in c.a., 9 Struttura a sbalzo in c.a. -.

E D I F I C I O 1	MATERIALI E STATO DETERIORAMENTO				
	Tipologia degrado		Strato interessato	Superficie interessata	Stato conservazione
	12		1	0.25	2
	7		1	0.47	1
21		1	1.2	3	

Tab. 4 – Tabella riferita allo stato di degrado dei materiali. Le colonne che compongono il documento sono il risultato di processi interpretativi delle analisi effettuate (fotointerpretazione derivante da indagini visive, analisi termografiche e di riflettanza associate). L'utente ha accesso all'informazione elaborata da una figura esperta e, tramite link, alla fonte del dato (immagine termografica, nuvola di punti ecc.) cosicché possa elaborare nuove ipotesi direttamente a partire dal dato grezzo, anche alla luce di nuove indagini conoscitive. Le tipologie di degrado derivano dalla UNI normal 1118219. La superficie interessata è calcolabile direttamente attraverso l'area dell'oggetto annotativo "degrado". Lo stato di conservazione è un giudizio di valore assegnato dalla figura esperta e necessita di esplicitare la scala di valori cui ha fatto riferimento.

E D I F I C I O 1	LITOLOGIA TERRENI COPERTURA				
	MOPS		Strato	Spessore	Materiale
SA3			1	3	1
			2	3	5
			3	9.5	6
			4	6.5	12
			5	6.5	4
			6	3	5
			7	N	8

Tab. 5 - Tabella relativa alle informazioni geologiche e geotecniche, redatta a titolo esemplificativo, non su indagini realmente effettuate. Riguarda soprattutto le analisi di microzonazione sismica e le informazioni riguardanti la composizione dei terreni su cui insiste il centro abitato di riferimento. Le MOPS (microzone omogenee in prospettiva sismica) sono facilmente reperibili sul web e sui siti delle amministrazioni. Per quanto riguarda la litologia dei terreni e i risultati di indagini geologiche sono dati reperibili da materiale ANAS o il risultato di carotaggi, georadar o tomografia elettrica. I materiali compositivi vengono anch'essi codificati con un sistema alfanumerico da una figura esperta.

6.5 Visualizzazione ed interrogazione dei dati: un sistema di rappresentazione attraverso i layer di conoscenza

Questa fase del processo prevede la messa a punto di un prodotto che permette la fruizione interattiva del modello 3D attraverso l'utilizzo di applicativi dedicati alla interrogazione e consultazione dei dati. Si crea un "iper-modello" visualizzabile, che si comporta come interfaccia di accesso ai metadati precedentemente raccolti ed integrati nella fase di "semantic data model" (attraverso degli hyperlink, cfr. par 6.4 e fig. 6.19). Le informazioni sono visibili direttamente sul modello tridimensionale: tramite il *Visual Programming Language*, esso diventa il supporto visivo per l'immissione strutturata ed ordinata di dati e per la loro consultazione, attraverso una documentazione "visuale" delle informazioni.

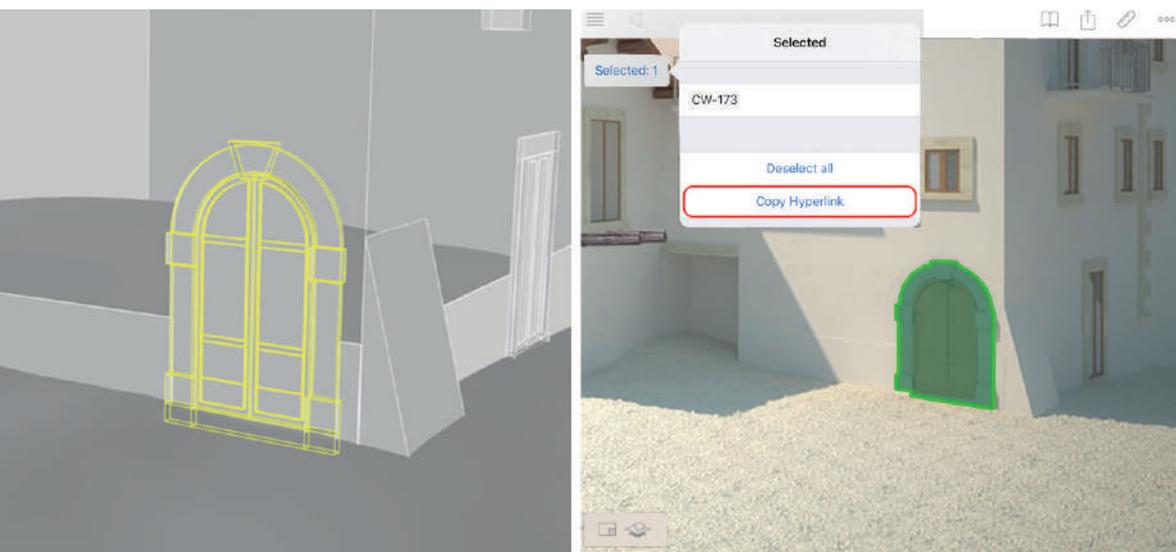


Fig. 6.19 – L'oggetto digitale diventa elemento annotativo. Nella corrispettiva visualizzazione l'oggetto contiene un hyperlink consultabile tramite query che dà accesso alle informazioni relative all'oggetto. Elaborazione e immagine dell'autore.

La programmazione prevede la definizione di un opportuno sistema di rappresentazione delle informazioni, modalità di *queries*, in cui i diversi *layer* grafici, corrispondenti a differenti livelli informativi, sono interrogabili e consultabili alternativamente l'uno rispetto all'altro, oppure sovrapposti in differenti combinazioni ed in maniera sincronica così da ottenere informazioni incrociate e nuove chiavi di lettura. Le informazioni sono visualizzabili per *tag* relativi ad ogni disciplina (fig. 6.20) per i singoli edifici e per informazioni di carattere più generale alla scala dell'aggregato.

Perché le informazioni siano facilmente comunicabili, occorre dunque elaborare un linguaggio informativo-cognitivo che sia rappresentativo del reale con una interfaccia grafica di facile comprensione.

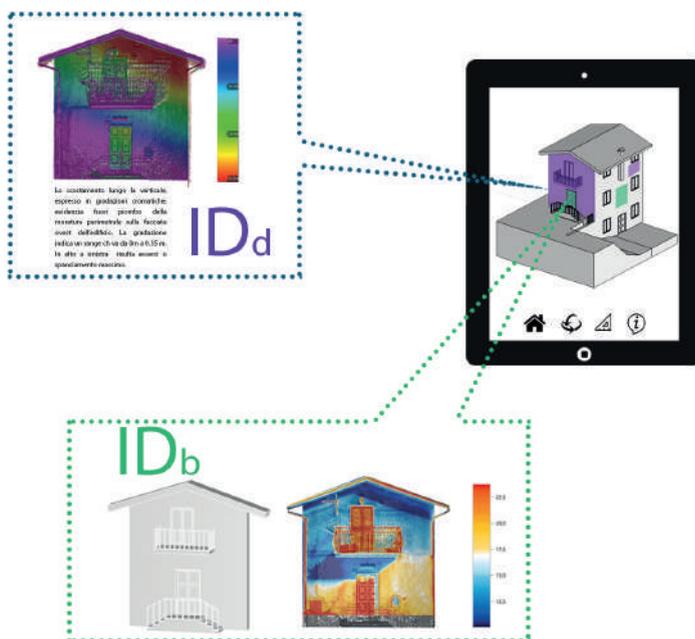


Fig. 6.20 – Schema esemplificativo del funzionamento del sistema di interrogazione dei dati. Ogni elemento contiene un tag associato ad ogni disciplina (restauro e meccanica delle strutture) che connette tramite hyperlink alle informazioni ad esse relative (immagini, elaborazioni ecc.) e ad eventuali altri modelli con maggiori livelli di dettaglio.

I BIM *modeler* e gli applicativi ad esso connessi risultano già in possesso di qualità espressive per quel che riguarda l'architettura (definizione e scelta di texture e materiali), ma sta nella capacità del modellatore riuscire a restituire ed a trasmettere i valori costruttivi, storici, che sono anche estetici e figurativi degli spazi urbani. Tuttavia, il modello tridimensionale in un processo di *Data Fusion* non può rispondere esclusivamente a esigenze di rappresentazione relative ai materiali, alla conformazione geometrica dell'edificio ed alle tecniche costruttive, deve essere in grado di illustrare fenomeni e processi complessi relativi all'architettura, come stati di salute e deterioramento dei materiali, evoluzioni morfologiche, ecc. Risulta dunque necessario stabilire un "vocabolario visuale" che attraverso texture procedurali o infografiche, traduca in linguaggio comunicativo un dato astratto.

A tale proposito è fondamentale citare la "*Carta di Londra*²⁰" che, sebbene concepita principalmente per garantire trasparenza e rigorosa scientificità nei processi di ricostruzione virtuale delle architetture del passato nel campo della *Virtual Archaeology*, detta dei principi metodologici che possono essere adottati nel caso della presente procedura, in quanto «I principi della Carta di Londra sono validi ogniqualvolta è applicata la visualizzazione digitale alla ricerca e alla disseminazione relative ai beni culturali». (AA.VV., 2009). Nella *Carta* si sottolinea l'importanza di assicurare che i procedimenti e i risultati della visualizzazione digitale possano essere comunicati e capiti dagli utenti, valutando di volta in volta la forma di visualizzazione digitale più appropriata. Sottolinea inoltre l'importanza di garantire accessibilità e comprensibilità dei dati e della documentazione tali da garantire la giusta interpretazione da parte degli utenti.

Seguendo tali principi e facendo riferimento alla "visualizzazione delle informazioni"²¹ si stabiliscono alcuni criteri che delineano un linguaggio infografico: gli aspetti rilevanti della comprensione possono essere vari e legati alla percezione, secondo cui texture e colori hanno un ruolo fondamentale sull'immediata ricezione delle informazioni ad essi associate (fig. 6.21). Nella figura 6.22,

così come avveniva secondo le usuali modalità di rappresentazione proposte in letteratura per la mappatura del degrado in 2D, ad ogni tipologia di degrado è associata una texture procedurale, ma la differenza risiede nel fatto che è possibile quantificare la quantità di superficie interessata su di un supporto tridimensionale e non più bidimensionale

Si viene così a creare una relazione visuale tra spazio architettonico e spazio informativo che ha la capacità di rappresentare i risultati di analisi ed indagini in forma grafica, per favorirne la comprensione e l'interpretazione. Il sistema deve necessariamente fare i conti con il tema del fraintendimento del linguaggio astratto che descrive la necessità di trasformare i dati in conoscenza attraverso una loro rappresentazione. Un'efficace comunicazione dei dati è infatti fondamentale affinché gli utenti possano essere in grado di valutare correttamente e prendere decisioni per le attività di prevenzione da intraprendere.

Un modello così conformato può essere definito un "modello conoscitivo" che, attraverso una documentazione visuale, aggrega le informazioni 2D e quelle spaziali 3D eterogenee, dove al valore costruttivo si unisce un valore espressivo e comunicativo che descrive fenomeni e processi complessi, facendoli emergere grazie al ruolo disegno e della rappresentazione (fig. 6.23).

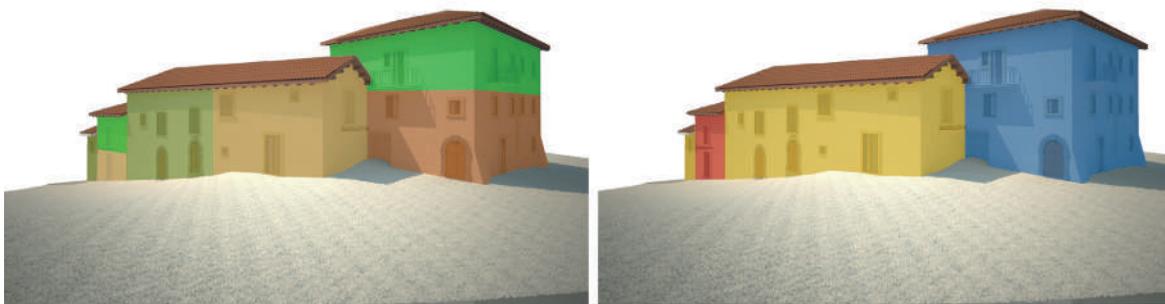


Fig. 6.21 – L'evoluzione morfologica dell'aggregato viene espressa attraverso campiture a colori delle facciate in relazione al periodo costruttivo. La visualizzazione è intercambiabile con le informazioni relative ai collegamenti tra le strutture (edificio originario ed eventuali edifici ad esso ammassati); le discontinuità strutturali riguardanti disallineamenti dei solai tra edifici contigui sono (se le informazioni sono reperibili) direttamente visualizzabili attraverso la configurazione del modello tridimensionale. Elaborazione ed immagine dell'autore.

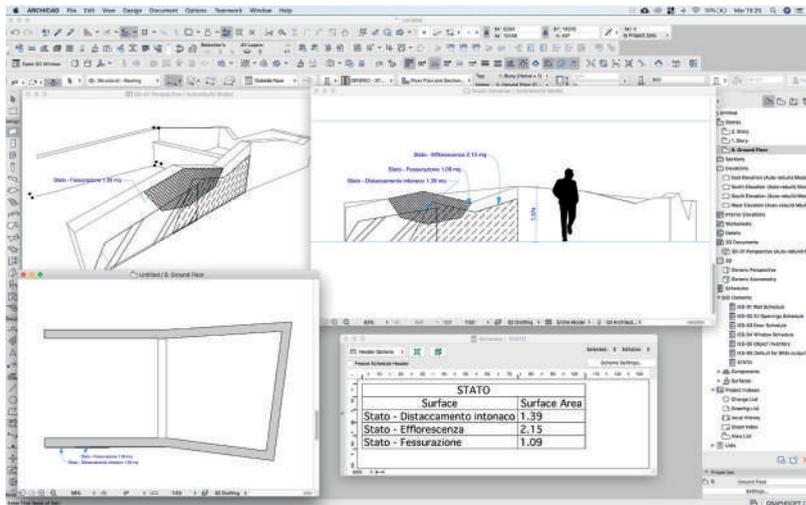


Fig. 6.22 – Screenshot dell'immissione dei dati nell'applicativo BIM Archicad 21 e anteprima della visualizzazione della mappatura del degrado. Calcolo della superficie interessata da distacco, efflorescenza e fessurazione in automatico grazie alla perimetrazione. Immagine ed elaborazione di M. Sacco.



Fig. 6.23 – Il modello risultante contenente tutte le informazioni consultabili per discipline. Le informazioni relative ai materiali ed alle strutture sono visualizzabili direttamente attraverso le modalità di rappresentazione del modello BIM. Le informazioni relative al degrado ed allo stato conservativo dei materiali sono visibili attraverso texture infografiche con possibilità di accesso alle indagini diagnostiche da cui sono tratte. I dati geologici sono accessibili tramite link alle indagini di microzonazione sismica per l'area geografica di riferimento.

Note

1 Fonte: <https://www.techopedia.com/definition/32735/data-fusion>.

2 Fonte: <https://www.definitions.net/definition/data+fusion>. La definizione proviene da "Free-base". Si tratta di un data base realizzato su base collaborativa e costituita da metadati raccolti soprattutto dai membri della sua comunità.

3 Fonte: https://www.researchgate.net/post/what_is_the_difference_between_Data_integration_and_data_fusion.

4 MACII, D., BONI, A., DE CECCO, M., PETRI, D., 2008. "Tutorial 14: Multisensor Data Fusion". In *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2008, vol. 11, issue 3. IEEE publisher. Disponibile su: <https://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=Tutorial%2014:%20multisensor%20data%20fusion> [giugno 2019].

5 Per modello responsivo si intende quel modello capace di reagire, cambiando la propria configurazione o conformazione spaziale, quando sottoposto a specifici input (Calvano, 2016 A). In questo caso il modello modifica la sua forma globale assecondando i vincoli e le geometrie imposte tramite parametri o codici, così da descrivere anche geometrie complesse.

6 In statistica e in teoria della probabilità, la covarianza di due variabili statistiche o variabili aleatorie (in questo caso la misura dell'incertezza) è un numero che fornisce una misura di quanto le due varino assieme, ovvero della loro dipendenza. Una covarianza positiva, ad esempio, indica che c'è un'altra probabilità che si verifichi un aumento della seconda grandezza all'aumentare della prima, oppure una diminuzione della seconda al decrescere della prima, pur non essendo correlate da rapporti proporzionali.

7 Tale concetto può assumere svariati contenuti e qualificazioni e solleva problematiche metodologiche di varia natura. In tal caso, e nella procedura qui illustrata, per "qualità del dato" è da intendersi la misura della capacità che questo ha di soddisfare un'esigenza conoscitiva per un utente.

8 Sono definiti *dati derivati* «tutte quelle informazioni già disponibili che, dopo una fase di analisi, verifica e poi di normalizzazione, possono essere utilizzati allo scopo di descrivere alla scala urbana l'ambiente costruito» (Calvano, 2019).

9 La procedura di acquisizione di dati derivati e di restituzione, è stata sviluppata da M. Calvano e F. Guadagnoli (Calvano, Guadagnoli, 2016) per la ricostruzione del modello digitale urbano della città di Accumoli e denominata "procedura di *Instant Modeling*".

10 Lo strumento utilizzato è un *CAM 2 Laser Scanner Faro Focus^{3D} x130* per scansioni a media distanza (fino a 130 m) con ricevitore GPS e fotocamera da 70 mega pixel integrati. Rileva fino a 976.000 punti a scansione con risoluzione a 360° o a settori angolari specifici; possibilità di stabilire la qualità del dato con emissione del laser ripetuto. La campagna di rilievo è stata condotta con la collaborazione di Maria Laura Rossi e Leonardo Paris del Dipartimento di Storia Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma.

11 La strumentazione utilizzata è un *DJI Mavic Pro Platinum*. Nello specifico la fotocamera ha risoluzione pari a 12 Mega Pixel. Le immagini sono state scattate ad ISO 100, apertura pari a f/22, distanza focale 5mm, tempo di scatto 1/872 s.

12 Gli enti regionali, in accordo con quanto previsto dalle Linee Guida, hanno pubblicato dei manuali di compilazione delle schede di vulnerabilità sismica. Le schede di censimento prevedono generalmente tre livelli di approfondimento: "Livello 0" prevede unicamente l'acquisizione di dati sommarî sull'opera ed è applicato per analogia a tutte le tipologie strutturali similari individuate; "Livello 1" e "Livello 2" sono verifiche di sicurezza puntuali che si differenziano fra loro per il campo di applicazione, dipendente dalla regolarità delle strutture, per il diverso livello di conoscenza ed i diversi strumenti di analisi e di verifica richiesti.

13 I dati sono reperibili al seguente link: http://www.regione.lazio.it/prl_ambiente/?vw=contenutidettaglio&id=238 La microzonazione sismica di Livello 3 rappresenta il livello di maggiore approfondimento che viene realizzato nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, oppure nelle zone suscettibili di instabilità, non risolvibili con l'uso di metodologie speditive. Il prodotto di questo Livello è la Carta di microzonazione sismica (cfr. par. 2.4).

14 Lo strumento utilizzato è una *Testo 882* con le seguenti caratteristiche: Sensore 320 x 240 pixel; Sensibilità termica (NETD) < 50 mK a 30 °C; campo visivo/distanza minima di messa a fuoco 32° x 23° / 0,2 m; Campo spettrale da 8 a 14 µm.

15 Paolo Marconi è il primo a sottolineare l'esistenza di un'architettura sub provinciale accomunata dalla stessa cultura edilizia. In particolare, egli riconosce il valore dei centri urbani minori e puntualizza come il linguaggio architettonico dei grandi centri culturali sia stato importato e tramutato in forme locali radicate e correlate al contesto.

16 La sperimentazione svolta che ha portato a delineare la procedura, ha come oggetto di studio un isolato di Grisciano, frazione di Accumoli e si inserisce all'interno delle operazioni di ricerca dell'"Unità di Ricerca Rischio Sismico Urbano: prevenzione e ricostruzione", costituita nel 2017 dal Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura - Sapienza Università di Roma.

17 URL è l'acronimo di *Uniform Resource Locator* uno degli elementi fondamentali del *World Wide Web*. Si tratta di una stringa alfanumerica, composta da un numero variabile di caratteri, che identifica in maniera certa e univoca una risorsa all'interno della Rete.

18 ICOM è un acronimo che indica *International Council Of Museums* ed è un'organizzazione internazionale che rappresenta i Musei ed i professionisti del settore.

19 Le normative UNI *normal* sono redatte dalla "Commissione NorMaL" (NORmalizzazione Materiali Lapidei) facente parte del Consiglio Nazionale delle Ricerche e dell'Istituto Centrale per il Restauro, al fine di individuare metodologie di studio unificate e specifiche per il settore della conservazione dei materiali lapidei, nell'ambito dei Beni Culturali.

20 La "*London Charter for the Use of 3D Visualisation in the Research and Communication of Cultural Heritage*" fu concepita da una comunità di studiosi nel 2006 e pubblicata nel Febbraio del 2009. Nasce con l'intento di dettare principi di trasparenza nell'ambito della visualizzazione digitale e comunicazione del patrimonio culturale.

21 Nel campo dell'informatica, la "visualizzazione dell'informazione" è lo studio delle rappresentazioni visuali ed interattive di dati astratti.

Conclusioni

e scenari di sviluppo

7.

7.1 L'Hyper-modello per la comunicazione e consultazione dei dati. Punti di forza, criticità e scenari di sviluppo

Il *Data Fusion* per la prevenzione del rischio sismico è una procedura delineata in risposta alle crescenti necessità di tutelare il patrimonio costruito creando una "memoria digitale preventiva", che garantisca accessibilità e fruizione a tutte le figure di professionisti e funzionari pubblici con profili di competenza per operare nel processo di prevenzione. Le politiche di prevenzione del rischio sismico sono tese all'individuazione di strategie di tutela attiva e alla pianificazione degli interventi che non si risolvono in singole operazioni specialistiche, bensì in un complesso di azioni che vanno dal carattere microscopico (caratteriz-

zazione ed intervento su una singola lesione) a quello macroscopico (valutazioni complessive sugli aggregati e tessuti urbani). La procedura di *Data Fusion* deve dunque soddisfare esigenze per garantire un supporto ad un approccio multidisciplinare e multiscalare in tutte le fasi del processo (conoscitivo, valutativo, progettuale-decisionale, autorizzativo e d'intervento).

La procedura pone le sue fondamenta sul percorso di conoscenza, individuato, sia nella Carta del Rilievo che in quella del Restauro, come elemento essenziale per orientare le azioni di tutela e conservazione. Tale percorso è finalizzato alla comprensione globale dei valori materiali e immateriali alla base dei processi formativi dei tessuti e degli agglomerati edilizi, delle relazioni che legano i singoli episodi architettonici con l'intero organismo urbano. La realtà urbana deve essere pensata non come la somma di singoli elementi edilizi, ma considerando anche gli aspetti socioeconomici, ambientali, geografici, tecnico-legislativi che li hanno generati.

Il risultato si palesa in una serie di informazioni riguardanti il costruito, anche piuttosto variegate e complesse, che necessitano di interpretazione e sistematizzazione virtuosa, così da garantire un più agevole scambio di informazioni tra figure di diverse discipline, prima che intraprendano un processo decisionale e valutativo. In risposta a queste determinate esigenze, la procedura intende sfruttare le qualità messe a disposizione dai database relazionali, ed in particolare dei sistemi BIM, dove modelli parametrici, interconnessi tra loro secondo regole costruttive, ontologiche e formali, sono contenitori di informazioni a loro volta relazionate, che riescono a descrivere, più o meno compiutamente, gli organismi architettonici attraverso la scomposizione semantica degli elementi che li costituiscono. I sistemi BIM garantiscono inoltre un'interoperabilità di base, tale da permettere uno scambio di informazioni tra diverse competenze.

Eppure, i processi HBIM determinano delle implicazioni teoriche basate sulle difficoltà riscontrabili nei processi di reverse modeling a partire da acqui-

sizione massiva di dati per restituire un modello parametrico, presentando carenze sia nella restituzione di geometrie complesse sia nella descrizione di fenomeni difficilmente parametrizzabili, che comunque si rivelano particolarmente utili e non trascurabili in una valutazione mirata agli interventi di prevenzione.

Il *Data Fusion* tuttavia, se da un lato intende delineare possibili implementazioni della procedura BIM, specie nella parametrizzazione della morfologia urbana e delle diverse tipologie di tessuto in rapporto ad orografia del terreno, posizione geografica ecc., dall'altro non si limita all'uso dell'*Information Modeling* come elemento esaustivo, al contrario indaga le potenzialità di diversi sistemi (dal VPL al web semantico) grazie ai quali coniuga la modellazione di forme complesse con la riconoscibilità semantica degli elementi ed un alto livello di informazione.

Infatti, la procedura permette di catalogare ed arricchire gli oggetti digitali di elementi informativi ancor prima di inserirli in ambiente BIM e di poter caratterizzare i modelli tridimensionali con informazioni che vanno al di là di quelle associabili nei BIM *modeler*.

In tal modo, si costituisce un'interoperabilità a monte ed a valle del processo: essa non si esaurisce nel semplice utilizzo di un formato di interscambio, quindi in un output, ma, al contrario, utilizza una serie di formati di input, e di software che siano in grado di leggerli e che si interfacciano tra loro, ognuno con la propria specifica peculiarità e funzione e che contribuiscono a che tutte le informazioni, geometriche e non, non vengano perse durante il processo e che siano trasmissibili e facilmente comunicabili.

Questo costituisce l'aspetto innovativo della proposta metodologica qui presentata, ovvero l'incremento attraverso lo *scripting* (alfanumerico ed html), riscrive parte del modello BIM e lo rende oggetto di condivisione tra le professionalità coinvolte nelle attività, nonostante queste ultime non necessaria-

mente operano sul modello tridimensionale. Tuttavia, durante la progressione della metodologia, i vincoli a cui si è sottoposti per via delle case di programmazione e la carenza di competenze (nel settore scientifico disciplinare di riferimento) per quel che riguarda una programmazione html, ha imposto dei limiti nello sviluppo dell'ultimo step della procedura che, al momento della scrittura di questa tesi, risulta essere ancora allo stato teorico. Un futuro sviluppo prevede una realizzazione ed un compimento attraverso la collaborazione le *software house* per l'implementazione di applicativi già strutturati per essere gestiti in ambiente BIM.

Il sistema si configura come un processo *Open*, che facilita lo scambio e la condivisione dei dati in un flusso di lavoro in cui si può intervenire a prescindere dai software specifici utilizzati dagli attori del processo interdisciplinare. La caratteristica di sistema "aperto" ha un duplice risvolto: da un lato si riferisce alla libera accessibilità e fruizione della conoscenza, dall'altro implica che nessuno ha l'esclusivo controllo sulle fonti, l'uso e la gestione delle informazioni. Inoltre, le informazioni inserite, ma derivanti da interpretazione di dati grezzi, forniscono solo una delle possibili rappresentazioni del fenomeno reale descritto con diversi livelli di aderenza alla realtà.

Questo impone che il processo debba essere guidato da "trasparenza delle fonti" e da "trasparenza intellettuale" per assicurare la qualità dell'informazione secondo parametri di accuratezza, selettività e verificabilità.

Se bisogna dunque riflettere sulla validità del processo di integrazione e condivisione dei dati, altrettanto bisogna fare perché la procedura, così come conformata, sia di supporto alla validità del processo valutativo, decisionale e di programmazione. Il rispetto dell'ingente apparato normativo sul tema delle costruzioni e la selezione dei dati utili per la conoscenza di un bene ai fini della prevenzione secondo quanto indicato dalla DPCM del 9 febbraio 2011, fornisce concretezza ed attendibilità al sistema di *Data Fusion*, cercando di porre un

confine consapevole alla quantità di dati ed informazioni da reperire e fornendo indicazioni ai singoli attori. L'approccio delle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico, si riferiscono essenzialmente ai beni tutelati ai sensi del Codice dei Beni Culturali; la procedura qui proposta intende estendere i criteri delineati al tessuto edilizio "minore" nel suo insieme ed al territorio in cui è inserito, in quanto testimonianza materiale di civiltà e di identità paesaggistica (che viene invece illustrata nella terza parte del Codice³). I manuali tecnici di costruzione e quelli di recupero dei centri minori (risultati di studi effettuati a livello regionale), volti alla conoscenza dell'identità estetica dei tessuti urbani, e delle caratteristiche morfologiche e costruttive, si configurano come efficaci strumenti per la restituzione e tipizzazione dei "dialetti edilizi" e per l'ampliamento delle librerie esistenti all'interno dei BIM *modeler*. Tuttavia, la rappresentazione delle stratificazioni a cui il costruito è sottoposto, rifugge da ogni automatismo, e prevede ancora osservazioni dirette da parte di operatori che siano in grado di effettuare una lettura delle fasi evolutive dei manufatti. Allo stesso modo, l'individuazione ed il riconoscimento del degrado sono azioni sottoposte all'interpretazione di figure esperte sia per quel che ne riguarda la natura, sia la sua consistenza geometrica. Al giorno d'oggi sono comunque in fase di sperimentazione procedure semiautomatizzate di riconoscimento di alcuni dissesti strutturali a partire da texture fotografiche (in particolare alcuni strumenti sono in grado di riconoscere quadri fessurativi piuttosto accurati attraverso la lettura della discontinuità rintracciabili nella tessitura delle coperture di un edificio) o di rappresentazione del degrado in vera forma. Ci si aspetta che questo possa costituire uno scenario di sviluppo del protocollo operativo qui presentato. Parlando ancora di ottiche future, secondo un ampliamento del concetto di *web semantico*, l'*internet of Things* apre prospettive riguardo la conoscenza dello stato di beni soggetti a rischio: le piattaforme cloud, possono essere connesse a *sensoristica smart* posta in loco, che trasmette dati in

tempo reale per un monitoraggio continuo su edifici, complessi ed aree.

Si configura sempre di più *hyper modello* complesso, informativo ed interattivo, nella cui creazione la disciplina della rappresentazione ha un ruolo fondamentale, nel processo di conoscenza, nella modellazione e nella visualizzazione dei principali fenomeni di vulnerabilità, nella comunicazione dei fenomeni stessi. La creazione di una memoria digitale costituisce la base per lo sviluppo di efficaci strategie di natura gestionale ed amministrativa per la preservazione della identità, intesa come salvaguardia delle componenti vitali dei centri urbani.

Note

1 Il Decreto legislativo del 22 gennaio 2004, n. 42, nella terza parte definisce una più ampia concezione di "paesaggio" inteso nella sua accezione percettiva di "territorio espressivo di identità, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni".

Bibliografia

AA.VV., 2000. Verso la "Carta del Rilievo Architettonico". In CUNDARI, C., CARNEVALI, L. (a cura di), *Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione*. Atti del Convegno di Napoli, 15-17 aprile, 1999. Roma: Edizioni Kappa.

AA.VV., 2001 (A). "Manuale regionale per il recupero dei centri storici. Relazione generale". Disponibile su http://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/pianificazione-territoriale/manuali-recupero/RA_relazione_generale_Univaq.pdf [ultima consultazione agosto 2019].

AA.VV., 2001 (B). "L'approccio tecnologico. Analisi e schedatura dei sistemi costruttivi e tipologici tradizionali". Disponibile su <http://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/pianificazione-territoriale/manuali-recupero/analisiischedatura.pdf> [ultima consultazione agosto 2019].

AA.VV., 2016. The London Charter for the computer-based visualisation of Cultural Heritage (Version 2.1, 2009). In BENTKOWSKA-KAFEL, A., DENARD, H., BAKER, D., *Paradata and transparency in virtual heritage*. London: Routledge Taylor and Francis Group, pp. 73-78.

AA.VV., 2018. "Patrimonio a rischio. Servizi di monitoraggio per la salvaguardia". In *Archeomatica*, anno IX, n. 1. Roma: mediaGEO.

ALOFI, A., ALGHAMDI, A., ALAHMADI, R., ALJUAID, N., HEMALATHA, M., 2017. "A Review of Data Fusion Techniques". In *International Journal of Computer Applications*, vol. 167, n. 7.

ALVINO, G., 2003. *Via Salaria*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

BERNERS-LEE, T., HENDLER, J., LASSILA, O., 2001. "The Semantic web". In *Scientific American Magazine*, vol 284, Issue 5, pp. 1 – 4.

BIANCHINI, C., INGLESE, C., IPPOLITO, A., 2016. "Il contributo della Rappresentazione nel Building Information Modeling (BIM) per la gestione del costruito". In CENTOFANTI, M., *Disegnarecon*, vol. 9 n. 16. L'Aquila: L'Aquila University Press. pp. 10.1-10.9.

BIANCHINI, C., NICASTRO, S., 2018. "La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi di Heritage-BIM". In EMPLER, T. *D^o Building Information Modeling, Data & Semantics*, vol.2. Roma: DEI tipografia del Genio Civile. pp. 54-63.

BINI, M., BERTOCCI, S., 2017. "Il rilievo per il restauro dei tessuti storici, in contesti colpiti da eventi sismici". In BINI, M., BERTOCCI, S., *Disegnarecon*, vol 10, n. 18. L'Aquila: L'Aquila University Press. pp. 0.1-0.4.

BRANDI, C., 1977. *Teoria del restauro*. Torino: Einaudi.

BRUSAPORCI, S., TRIZIO, I., 2010. "Dal rilevamento integrato al SiArch-3D: il caso studio della chiesa di S. Paolo a Peltuinum (AQ)". In BRUSAPORCI, S., *Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*. Roma: Gangemi editore. pp. 39-42.

BRUSAPORCI, S., 2017. "The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage". In IPPOLITO, A., *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archeological Heritage*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 68-96.

BURROUGH, P.A., 1986. *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment*. Oxford: University Press.

CACACE, C., FIORANI, D., 2014. "Centri storici, vulnerabilità, rischio e gestione della conservazione. una proposta d'implementazione dello strumento 'Carta del Rischio'". In DELLA TORRE, S., BORGARINO M. P., *Protezione dal rischio sismico*. Proceedings of the International Conference Preventive and Planned Conservation, Monza-Mantova 5-9 maggio 2014. Firenze: Nardini editore. pp. 107-118.

CAMPIONE, I., 2017. *Integrazione tra analisi termografica e rilievo tridimensionale: studio metodologico e verifiche sperimentali*. Tesi di laurea non pubblicata, Università di Bologna, Corso di Studio in Ingegneria meccanica, Forlì.

CALCERANO, F., CALVANO, M., CESSARI, L., GIGLIARELLI, E., RUPERTO, F., SACCO, M., 2017. "Heritage BIM: methodological reflections and interoperability with numerical simulations". In EMPLER, T., *3D Modeling & BIM. Progettazione, design, proposte per la ricostruzione*. Atti del convegno 3D Modeling & BIM, Roma 19-20 Aprile 2017. Roma: DEI tipografia del Genio Civile. pp. 196-211.

CALVANO, M., 2016. "Le superfici piegate. Un metodo per la rappresentazione di forme in movimento". In BERTOCCHI, S., BINI M., *Le ragioni del disegno. Pensiero forma e modello nella gestione della complessità*. Atti del 38° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione, Firenze 15-17 settembre 2016. Roma: Gangemi editore. pp. 737-744.

CALVANO, M., GUADAGNOLI F., 2016. "Ricostruzione 3D della città di Amatrice. Una operazione di Instant Modeling". In ALBISINNI, P., IPPOLITI E., *Disegnarecon*, vol. 9, n. 17. L'Aquila: L'Aquila University Press. pp. 7.1-7.9.

CALVANO, M., 2019. "Disegno digitale esplicito. Rappresentazioni responsive dell'architettura e della città". In CALVANO, M., LO TURCO, M., *Paesaggi digitali, processi digitali per la rappresentazione della città, l'architettura, il prodotto*. Roma: Aracne editrice.

CANCIANI, M., SPADAFORA, G., FARRONI, L., MANCINI, M.F., RINALDUZZI, S., SACCONI, M., 2018. "Methodology of Analysis and Virtual Recomposition: The Case of Retrosi, Amatrice". In AMORUSO, G., *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design*. Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event, Milano 5-6 Luglio 2017. Springer International Publishing. pp. 75-74.

CARDANI, G., BELLUCO, P., 2018. "Reducing the Loss of Built Heritage in Seismic Areas". In *Buildings*, vol.8, n. 2. MDPI Open Access Journals.

CASTANEDO, F., 2013. "A Review of Data Fusion Techniques". In *The Scientific World Journal*, vol. 2013. Hindawi Open Access Journal.

CENTOFANTI, M., 2010. "Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano". In BRUSAPORCI, S., *Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*. Roma: Gangemi editore. pp. 7-14.

CENTOFANTI M., BRUSAPORCI S. MAIEZZA P., 2016 "Tra "HistoricalBim" ed "HeritageBim": building information modeling per la documentazione dei beni architettonici". In PARRINELLO, S., BESANA D., *Reuso 2016*. Atti del 4° convegno internazionale sulla documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e sulla tutela paesaggistica. Firenze: Edifir edizioni. pp. 42-51.

CICIRELLI, F., GUERRIERI, A., MERCURI, A., SPEZZANO G., VINCI A., 2018. "Cognitive smart environment: an approach based on concept hierarchies and sensor data fusion". In *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 2018, vol. 13, n. 5. INDERSCIENZE publisher.

COSTANZO, A., MINASI, M., CASULA, G., MUSACCHIO, M., BUONGIORNO, M.F., 2015. "Combined Use of Terrestrial Laser Scanning and IR Thermography Applied to a Historical Building". In *Sensors*, vol. 15, issue 1. MDPI Open Access Journal. pp. 194-213.

DE BERARDINIS, P., BARTOLOMUCCI, C., CAPANNOLO, L., DE VITA, M., LAURINI, E., MARCHIONNI, C., 2018. "Instruments for Assessing Historical Built Environments in Emergency Contexts: Non-Destructive Techniques for Sustainable Recovery". In *Buildings*, vol.8, n. 2. MDPI Open Access Journals.

DE MEO, M., 2006. *Tecniche costruttive murarie medievali. La Sabina*. Roma: L'erma di Bretschneider.

DE RUBERTIS, R., 1996. "Il modello conoscitivo e le sue rappresentazioni". In *Il rilievo dall'architettura concreta al suo modello immateriale*. Atti del Convegno, Perugia 23 maggio 1995. Perugia: Perugia University Press. pp. 33-41.

DI LUGGO, A., SCANDURRA, S., 2016. "La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM". In CENTOFANTI, M., *Disegnarecon*, vol. 9 n. 16. L'Aquila: L'Aquila University Press. pp. 11.1-11.8.

DOCCI, M., 2003. *Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro*. Roma: Gangemi editore.

DOCCI, M., 2009. *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Bari: Laterza.

DOCCI, M., 2014. "Attualità dell'analisi grafica". In *Disegnare Idee Immagini*, 2014, n. 49. Roma: Gangemi editore. pp. 3-4.

DOERR, M., 2001. "The CIDOC CRM – an Ontological Approach to Semantic Interoperability of Metadata". In *AI Magazine*, vol 24, n. 3, pp. 75-92.

EMPLER, T., 2002. *Il disegno automatico tra progetto e rilievo*. Roma: Officina edizioni.
EMPLER, T., 2016. "Modello conoscitivo infografico della Galleria Prospettica di Palazzo Spada. Costruzione di un sistema di divulgazione in real time 3D". In VALENTI, G.M., *Prospettive architettoniche conservazione digitale, divulgazione e studio*, vol II, n. II. Roma: Sapienza University Press. pp. 519-540.

EMPLER, T., 2017. "Gli strumenti di rappresentazione nella procedura ARBIM". In DI LUGGO, A., GIORDANO, P., FLORIO, R., PAPA, M.L., ROSSI, A., ZERLENGA, O., BARBA, S., CAMPI, M., CIRAFICI, A., *Territori e frontiere della rappresentazione*. Atti del 39° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione, Napoli 14-16 settembre, 2017. Roma: Gangemi editore. pp. 1559-1568.

EMPLER, T., 2018 "Procedura di Information Modeling per rappresentare un territorio colpito dal sisma Tommaso Emler" in FATTA, F., *Disegno. Territori e frontiere della rappresentazione*, n. 2. Unione Italiana per il Disegno. pp. 147-156.

ESPOSITO, F., RUSSO, M., SARGOLINI, M., SARTOR., L., VIRGILI, V., 2017. "Introduzione. Le ragioni per una discussione urgente". In ESPOSITO, F., RUSSO, M., SARGOLINI, M., SARTOR., L., VIRGILI, V., *Building Back Better*. Roma: Carrocci editore. pp. 13-18.
FLAVIO, V., COLUCCI R., 2012. *Gli ottocento anni di Accumoli*. Accumoli: Associazione Turistica Proloco di Accumoli.

FRUTAZ, A. P., 1972. *Le carte del Lazio*. Roma: Istituto di Studi Romani.

GABELLONE, F., 2012. "La trasparenza scientifica in archeologia virtuale. Commenti al Principio N.7 della Carta di Siviglia". In *SCIRES-IT SCientific REsearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione*, vol 2, Issue 2. DOAJ Directory of Open Access Journals. pp. 99-124.

GAROZZO, R., MURABITO, F., SANTAGATI, C., PINO, C., SPAMPINATO, C., 2017. "CulTO: an ontology-based annotation tool for data curation in Cultural Heritage". RINAUDO, F., Atti del convegno *26th International CIPA Symposium*, Ottawa, Canada 28 Agosto - 01 Settembre 2017. pp. 267-274.

GIUFFRÈ, A., CAROCCI, C., 1993. "Restauro strutturale. Il rilievo quale indispensabile preliminare dell'analisi meccanica". In DE RUBERTIS, R., *XY Dimensioni del disegno*, n. 17. Roma: Officina edizioni. pp. 34-44.

GRUBER, T., 2009. "Ontology". In LIU, L., ÖZSU, T., *Encyclopedia of Database Systems*. Berlin: Springer-Verlag.

GUARDIGLI, L., GUIDOTTI, A., 2018. "True, False or Ordered? Some Architectures to Think About Reconstruction". In AMORUSO, G., *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design*. Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event, Milano 5-6 Luglio 2017. Springer International Publishing. pp. 45-54.

GUERRINI, M., POSSEMATO, T., 2013. "Linked data: a new alphabet for the semantic web". In *Italian Journal of Library Archives and Information Science*, vol. 4, n. 1. Disponibile su <https://www.jlis.it/article/view/6305> [ultima consultazione Marzo 2019].

INZERILLO, L., LO TURCO, M., PARRINELLO, S., SANTAGATI, C., VALENTI, G.M., 2016. "BIM e beni architettonici: verso una metodologia operativa per la conoscenza e la gestione del patrimonio culturale". In CENTOFANTI, M., *Disegnarecon*, vol. 9 n. 16. L'Aquila: L'Aquila University Press. pp. 16.1-16.9.

- LO TURCO, M., CALVANO, M., GIOVANNINI, E.C., 2019. "Data modeling for museum collection". In CARDACI, A., FASSI, F., REMONDINO, F., Atti del convegno *8th International Workshop 3D-ARCH 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, Bergamo 6-8 Febbraio 2019. pp. 433-440.
- LUIGINI, A., 2018 "Project Design "Within" Survey. A Model of Action for Smaller Historic Centres Struck by Earthquakes". In AMORUSO, G., *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design*. Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event, Milano 5-6 Luglio 2017. Springer International Publishing. pp. 94-104.
- MACII, D., BONI, A., DE CECCO, M., PETRI, D., 2008. "Tutorial 14: Multisensor Data Fusion". In *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2008, vol. 11, issue 3. IEEE publisher.
- MARCONI, P. 1997. *Manuale del recupero del centro storico di Palermo*. Palermo: Flaccovio editore.
- MARCONI, P., 2006. *Il recupero della bellezza*. Milano: Skira.
- MESCHINI, A., 2010. "La progettazione del modello dei dati: tra standard e caso studio". In BRUSAPORCI, S., *Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*. Roma: Gangemi editore. pp. 271-283.
- MOGOROVICH P., MUSSIO P., 1988. *Automazione del Sistema Informativo territoriale. Elaborazione Automatica dei Dati Geografici*. Milano: Masson.
- MONACHESI G., CASTELLI V., 1992. *Sismicità dell'area aquilano-teramana dalla "analisi attraverso i cataloghi"*. Rapporto tecnico per la Regione Abruzzo. Macerata: Osservatorio Geofisico Sperimentale.
- MUSSO, S.F., 2006. *Recupero e restauro degli edifici storici – Guida pratica al rilievo e alla diagnostica*. Pomezia: EPC LIBRI.
- NICASTRO, S., 2017. *L'integrazione dei sistemi di Building Information Modeling nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale. Premesse teoriche, criteri metodologici e introduzione del Level of Reliability*. Tesi di dottorato, Sapienza Università di Roma, Dipartimenti di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Roma.
- PAGGI, G., SORMANI, D., 2018 "Hydrogeological and Seismic Risk Mitigation Interventions. Interplay with the Existing Buildings and the Territory". In AMORUSO, G., *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design*. Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event, Milano 5-6 Luglio 2017. Springer International Publishing. pp. 125-136.
- PAGNANO, G., 2005. "Il rilievo analitico urbano come guida e controllo dell'intervento". In GAMBARDELLA C., MARTUSCIELLO, S., *Le vie dei Mercanti, rappresentazione come governo della modificazione*. Atti del secondo forum Internazionale di Studi, Capri 3-4-5 Giugno 2004. Napoli: Edizioni scientifiche italiane. pp. 219-220.
- PARIS, L., NARDINOCCHI, C., CALVANO, M., 2017. "Web Spherical Panorama for Cultural Heritage 3D Modeling". In CECCARELLI M., CIGOLA M., RECINTO, G., *New Activities For Cultural Heritage*. Proceedings of the International Conference Heritagebot. Cassino 21-22 Settembre 2017. Springer International Publishing. pp. 182-189.

PARISI, P., LO TURCO, M., GIOVANNINI, C., 2019. "The value of knowledge through h-bim models: historic documentation with a semantic approach". In CARDACI, A., FASSI, F., REMONDINO, F., *Atti del convegno 8th International Workshop 3D-ARCH 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, Bergamo 6-8 Febbraio 2019. pp. 581-588.

PELLICCIO A., SACCUCCI, M., GRANDE, E., 2017. "HT_BIM: La modellazione parametrica per l'analisi del rischio nei centri storici". In CENTOFANTI, M., MINGUCCI, R., *Disegnarecon*, vol. 10 n. 18. L'Aquila: L'Aquila University Press. pp. 5.1- 5.12.

PICA, V., 2018. "Beyond the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Vulnerability Reduction as a Challenge Involving Historical and Traditional Buildings". In *Buildings* vol.8, n. 4. MDPI Open Access Journals.

RUSSO, M., MANTI, A., 2011. "Il reverse modeling come strumento di analisi e conoscenza all'architettura storica". In *Dalla didattica alla ricerca*. In Abbazia di Vallombrosa Laboratorio di Rilievo Integrato, Firenze 23-28 maggio 2011. Firenze: Alinea editrice. pp. 38-48.

SAMMARTANO, G., SPANÒ, A., 2018. "Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition". In *Applied Geomatics*, vol. 10, issue 4. Springer International Publishing. pp 317-339.

SANTAGATI, C., LO TURCO, M., GAROZZO, M., 2018. "Eruzione e interventi antropici: modelli informativi e basi di dati per un progetto integrato di documentazione". In SALERNO, R., *Rappresentazione materiale/immateriale*. Atti del 40° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione, Milano 13-15 settembre, 2018. Roma: Gangemi editore. pp. 1561-1568.

SANTOPUOLI, N., SECCIA, L., 2000. "Cenni sulla fotointerpretazione". In SANTOPUOLI, N., SECCIA, L., *Fotografia Tecnica – Rilievo, documentazione e fotointerpretazione per la progettazione ed il cantiere di restauro*. Rimini: Maggioli editore. pp. 16-17

SANTOPUOLI, N., SECCIA, L., 2008. "Sviluppi delle tecniche analitiche e diagnostiche per la conservazione". In CARBONARA G., *Trattato di Restauro Architettonico – Secondo aggiornamento*. Torino: UTET. pp. 265-190.

SEGALA, P., 2017. "BIM per l'earthquake engineering. È vero che il BIM fornisce un valore aggiunto all'ingegneria Sismica?". In FAGÀ, G., *Progettazione sismica*², n.2. Pavia: Eucentre. pp. 11-20.

SFERRAZZA PAPA, G., SILVA, B., 2018. "Assessment of Post-Earthquake Damage: St. Salvatore Church in Acquapagana, Central Italy". In *Buildings* vol.8, n. 3. MDPI Open Access Journals.

STRAPPA, G., CARLOTTI, P., CAMIZ, A., 2016. *Morfologia urbana e tessuti storici. Il progetto contemporaneo dei centri minori del Lazio*. Roma: Gangemi editore.

URBANI, G., 2017. "La protezione del patrimonio monumentale dal rischio sismico". In AA.VV., *Il Capitale culturale*, n. 15. Macerata: Eum edizioni, Macerata University Press. pp. 317-323.

VENTINI, R., DE SILVA, F., FABOZZI, S. NAPPA, V., 2018. "Potenzialita' del Processo BIM Applicato a Problemi Geotecnici". In CECCATO F. 8' IAGIG. Atti dell'8° Incontro Annuale Giovani Ingegneri Geotecnici, Udine, 18-19 Maggio 2018. Udine: Udine University Press. pp. 54-57. Riferimenti Normativi

Circolare 6 aprile 1972, n. 117, Ministero Della Pubblica Istruzione, *Carta del Restauro*.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, Ministero Delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*.

Circolare 23 Luglio 2010, n. 26, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni*.

Circolare 21 gennaio 2019 n.7, Ministero Delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*.

Dir. P.C.M. 12 ottobre 2007, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*.

D.L. 22 gennaio 2004, n. 42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*.

D.L. 18 aprile 2016, n.50, *Codice dei contratti pubblici*.

D.M. 14 gennaio 2008, n. 29, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*.

DM 1 Dicembre 2017, n. 560, *Strumenti elettronici di modellazione nell'edilizia*.

D.M. 20 gennaio 2018, n. 8, *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni*.

Guidelines and procedures US army. Reverse engineering handbook. Department of Defense Handbook, 2006. Disponibile su <https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/COEMILHDBK/hdbk115a.pdf> [ultima consultazione febbraio 2019].

Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Presidenza del Consiglio dei ministri, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome -Dipartimento della Protezione civile, Gruppo di lavoro MS, 2008. Disponibile su: http://www.protezionecivile.gov.it/documents/20182/0/MS_VOLUME_1.pdf/d869f45b-6032-40fc-9678-6ef1baa79dde [ultima consultazione luglio 2019].

Legge 24 giugno 2009, n. 77, *Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile*.

Linee Guida per la definizione della struttura urbana minima nel PRG. Regione Umbria, Gennaio 2010. Disponibile su: <http://www.regione.umbria.it/documents/18/1590324/Linee+guida+Struttura+Urbana+Minima/926a4077-a0f9-43f5-adfe-4f8fe9770486> [ultima consultazione Settembre 2019].

OPCM 20 marzo 2003, n. 3274, Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dipartimento della Protezione Civile, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*.

OPCM 28 aprile 2006, n. 3519, Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dipartimento della Protezione Civile, *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone*.

Relazione Tecnica Nuova Classificazione sismica della Regione Lazio – Allegato I. Regione Lazio, maggio 2009. Disponibile su: http://www.regione.lazio.it/binary/rl_main/tbl_documenti/AMB_DGR_387_22_05_2009_Allegato1.pdf [ultima consultazione 20 aprile 2019].

Sitografia

Bollettino sismico mensile. INGV.IT [ultima consultazione febbraio 2019]. Disponibile su <http://terremoti.ingv.it/bsi>

Carta uso del suolo Lazio. DATI.LAZIO.IT [ultima consultazione febbraio 2019]. Disponibile su <http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/carta-uso-suolo-2016>

Catalogo parametrico terremoti italiani. INGV.IT. [ultima consultazione 7 luglio 2019]. Disponibile su <https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBM115/>

Centri Storici Rischio Sismico. PROTEZIONECIVILE.IT [ultima consultazione 12 luglio 2019]. Disponibile su: <https://snipc.protezionecivile.it/csrs>

Consiglio Nazionale dei Geologi. CN GEOLOGI.IT [ultima consultazione 15 agosto 2019]. Disponibile su: <http://www.cngeologi.it/c/aree-tematiche/terremoti/Copernicus>. COPERNICUS.EU [ultima consultazione agosto 2019]. Disponibile su https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR177_07TERRACINO_GRADING_OVERVIEW-MONIT02_v1_300dpi.pdf

Data Fusion definition. DEFINITION.NET [ultima consultazione 22 aprile 2019]. Disponibile su <https://www.definitions.net/definition/data+fusion>

Data Fusion definition. TECHOPEDIA.COM [ultima consultazione 20 aprile 2019]. Disponibile su <https://www.techopedia.com/definition/32735/data-fusion>

G202-2013 Project BIM Protocol. AIACONTRACTS.ORG [ultima consultazione 7 settembre 2019]. Disponibile su: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/19016-project-bim-protocol>

Giornata Nazionale della Prevenzione sismica. GIORNATAPREVENZIONESISMICA.IT [ultima consultazione 17 settembre 2019]. Disponibile su: <https://www.giornataprevenzonesismica.it/diamoci-una-scossa/>

Istituto Nazionale Geologia e Vulcanologia. INGV.IT [ultima consultazione 20 ottobre 2019]. Disponibile su: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

Linked open data. LOD-CLOUD.NET [ultima consultazione 4 settembre 2019]. Disponibile su <https://lod-cloud.net/clouds/lod-cloud.svg>

London Charter (Carta di Londra). LONDONCHARTER.ORG. [ultima consultazione 10 luglio 2019]. Disponibile su: http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_it.pdf

Mappatura 3D tramite laser scanner. POOLINDUSTRIALE.IT [ultima consultazione 6 settembre 2019]. Disponibile su: <https://www.poolindustriale.it/it/prodotto/mappatura-3d-tramite-laser-scanner>

Microzonazione sismica Accumoli. ANSA.IT [ultima consultazione giugno 2019]. Disponibile su http://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/terra_poli/2018/05/04/terremoti-pronta-la-mappa-locale-delle-zone-colpite-nel-2016-_1de86912-a3c3-4d9a-ada0-9a049e-d6a109.html

Microzonazione sismica città di Civitavecchia. TWECEO.IT [ultima consultazione 5 luglio 2019]. Disponibile su: <http://www.twegeo.it/>

Microzonazione sismica Livello 3. REGIONE.LAZIO.IT [ultima consultazione ottobre 2019]. Disponibile su http://www.regione.lazio.it/prl_ambiente/?vw=contenutidettaglio&id=238

Modellazione BIM pescherie Giulio Romano. BIMPORTALE.COM. [ultima consultazione 23 settembre 2019]. Disponibile su: <https://www.bimportale.com/la-traduzione-della-complessita-del-costruito-storico-nel-modello-hbim/>

Open street map. OPENSTREETMAP.ORG [ultima consultazione 27 settembre 2019]. Disponibile su <https://www.openstreetmap.org/#map=19/42.67995/13.21352&layers=ND>

Sistema dei LoD italiani. INGENIO-WEB.IT [ultima consultazione agosto 2019]. Disponibile su <https://www.ingenio-web.it/18667-sistema-dei-lod-italiano-uni-11337-4-2017>

Tomografia elettrica. GEOECHO.COM [ultima consultazione 4 luglio 2019]. Disponibile su http://www.geoecho.it/?page_id=1435

Unesco (Charter on the Preservation of Digital Heritage, 2003). UNESCO. [ultima consultazione 8 luglio 2019]. Disponibile su: https://www.iccu.sbn.it/export/sites/iccu/documenti/carta_UNESCO_eng.pdf

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. UNISDR.ORG. [ultima consultazione 17 Settembre 2019]. Disponibile su: <https://www.unisdr.org/who-we-are>

Vincoli in rete. BENICULTURALI.IT [ultima consultazione 9 ottobre 2019]. Disponibile su: <http://vincoliinretegeo.beniculturali.it/vir/vir/vir.html>

Il volume è un esito di ricerca condotta dal 2016 al 2019 sul sisma che ha colpito il Comune di Accumoli nel 2016. Gli esiti si inseriscono all'interno di una Unità di Ricerca, interdisciplinare e interdipartimentale, denominata Rischio Sismico Urbano: Prevenzione e Ricostruzione, istituita presso il Dipartimento di Storia Disegni e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma. Scomporre la realtà in elementi finiti per la sua comprensione, è una procedura che trova le sue fondamenta a partire dalla filosofia classica, in particolare in quella democritea; rapportandolo al processo di conoscenza di organismi architettonici ed urbani, un sistema BIM, in egual modo, si rivela utile alla discretizzazione (attraverso la parametrizzazione) della realtà urbana per l'interpretazione dei processi aggregativi dei sistemi edilizi.

La ricerca parte da questo presupposto per arrivare ad una procedura che delinea un Data Fusion sulla base di un modello Informato per la prevenzione del rischio sismico.

Il modello informato configurato nella ricerca, non solo permette un flusso di lavoro a cui possono concorrere le diverse figure specializzate coinvolte nei processi di prevenzione, ma consente una valutazione mirata ed accessibile da più competenze per rendere più agevole la pianificazione e la fattibilità degli interventi. Il modello si pone come formato dati aperto, consultabile ed implementabile, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori e per una conoscenza approfondita del bene attraverso l'integrazione, in un medesimo ambiente, delle fonti documentali con quelle materiali deducibili direttamente dal rilievo, dalla lettura e dall'analisi approfondita delle stratificazioni e dall'analisi dello stato di conservazione.

€ 28,00


TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

