

ARCHEOLOGIA DELL'ARCHITETTURA E RISCHIO SISMICO

1. LA GESTIONE DELLE REGISTRAZIONI E DEI DATI RELATIVI AGLI EDIFICI

La pubblicazione delle *Linee Guida per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale*¹ da parte del MiBAC, e gli eventi sismici nell'aquilano dell'aprile del 2009, sono state le due occasioni per una profonda e sostanziale riflessione sugli scopi e gli strumenti dell'Archeologia dell'Architettura e sul protocollo operativo di registrazione della struttura materiale.

Le *Linee Guida*, per la prima volta in modo generalizzato, prevedono un'anamnesi di ogni edificio storico che debba essere migliorato nella sua vulnerabilità. L'individuazione dei Corpi di Fabbrica, la suddivisione in Fasi Costruttive, il riconoscimento dei principali interventi di ricostruzione e, dall'altro lato, una attenzione anche quantitativa alle caratteristiche delle Tecniche Costruttive (intese come l'insieme delle parti strutturali che costituiscono l'edificio: elementi portanti verticali, orizzontamenti, collegamenti verticali, elementi portanti orizzontali)², sono perfettamente compatibili con gli strumenti di analisi propri dell'Archeologia dell'Architettura. Non a caso nelle *Linee Guida* si fa espresso riferimento ai criteri di rilievo propri dell'analisi stratigrafica³ e si richiede l'*Analisi storica degli eventi e degli interventi subiti*⁴, cioè uno dei due risultati minimi⁵ di qualunque progetto conoscitivo effettuato con gli strumenti (analisi stratigrafica, cronotipologie, etc.) propri dell'Archeologia dell'Architettura.

Questo significa che diverse centinaia di migliaia di edifici storici italiani potrebbero essere oggetto di specifiche analisi, se ci fossero i fondi necessari, in previsione del progetto del loro miglioramento sismico.

Il sisma in Abruzzo ha impegnato direttamente alcuni di noi su problematiche specifiche (rilievo speditivo, individuazione delle Fasi Costruttive, tipologie delle murature con particolare attenzione alla sezione, all'angolata e ai sistemi costruttivi, informatizzazione dei dati, etc.). In condizioni di emergenza, dopo aver pensato alle vittime, la necessità di una registrazione immediata dei danni subiti dagli edifici è la prima richiesta che viene fatta. Anche le *Linee Guida*, pur operando al di fuori dell'emergenza, prevedono nel livello di conoscenza *speditivo*⁶ dell'edificio, la realizzazione di un primo rilievo schematico, a cui poi seguirà il livello

di conoscenza *analitico* della fabbrica con particolare riferimento alle tecniche di realizzazione e ai dettagli costruttivi⁷. La tecnologia attuale ci consente di effettuare rapidi rilievi stereometrici, geometricamente affidabili, che rispondono contemporaneamente ai due livelli di conoscenza previsti e che possono arricchire in modo notevole la fase di documentazione e di conoscenza di un edificio storico.

Quando la quantità degli immobili da analizzare in poche settimane è misurabile in molte centinaia (ma con i fronti stradali si raggiungono facilmente le decine di migliaia di Corpi di Fabbrica) e la rapidità dell'intervento rimane comunque fondamentale (preferibilmente prima della stessa messa in sicurezza degli immobili danneggiati dal sisma e, non secondariamente, per ragioni economiche), bisogna ripensare ad alcune priorità della registrazione, sia grafica (o meglio fotografica) che della scheda alfanumerica (revisione dei campi del modello cartaceo od informatizzato).

Con questi presupposti, ci è sembrato opportuno sperimentare sistemi che mettessero assieme un rilievo geometrico sufficientemente corretto⁸, tridimensionale e a restituzione fotografica delle pareti, con una serie di banche di dati e Sistemi Informativi per la localizzazione, registrazione, gestione e monitoraggio degli edifici. Se, nella descrizione di questo *Progetto di sistema integrato*, vogliamo seguire i passi previsti dalla prassi operativa, per prima cosa si dovrebbe rendere assai semplice la localizzazione degli immobili su una base comune e facilmente accessibile (le esperienze del Laboratorio di Siena spaziano in aree geograficamente differenziate, non sempre coperte da una cartografia tradizionale o digitalizzata), meglio se su immagini satellitari disponibili ad una definizione adeguata per permettere l'individuazione degli edifici. Le informazioni plano-volumetriche, strutturali, cartografiche e storico-artistiche dell'edificio potrebbero essere inserite in un GIS/banca-dati di ultima generazione per la gestione dei dati alfanumerici non strutturati, oppure far ricorso ad un GIS più tradizionale, magari già utilizzato dalle diverse Amministrazioni. Poiché già oggi esistono apposite banche dati relative all'individuazione dei danni⁹, sembrerebbe prioritario riuscire a relazionare anche le diverse banche di dati già esistenti, oltre alle immagini storiche.

Le superfici verticali degli edifici, dove indubitabilmente si trovano la maggior parte delle informazioni necessarie all'Archeologia dell'Architettura per la

¹ MiBAC, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Roma 2006, diventate una Direttiva del P.C.M. del 12 ottobre 2007, G.U. n. 24 del 29 gennaio 2008 (suppl. ordin. n. 25).

² *Linee Guida* cit., Allegato A, modulo C, morfologia degli Elementi, p. 67.

³ *Linee Guida* cit., p. 13.

⁴ *Linee Guida* cit., p. 13.

⁵ I risultati minimi dell'analisi di un edificio sono la determinazione della sua storia costruttiva e la redazione di atlanti cronotipologici relativi; cfr. gli schemi pubblicati in «Archeologia de la Arquitectura», 1 (2002), pp. 68 e 74.

⁶ *Linee Guida* cit., p. 49.

⁷ *Linee Guida* cit., p. 11.

⁸ È stato effettuato un rilievo di un vecchio edificio produttivo, utilizzando una stazione totale, un laser scanner Leica HDS 6000 e il sistema ZScan di Menci softwares. I rilievi si sono confrontati (i cui risultati saranno oggetto di una prossima comunicazione) e la differenza geometrica sul piano della z, è risultata di pochi millimetri. I tempi di presa sono molto simili, ma l'elaborazione successiva è nettamente più rapida con lo ZScan.

⁹ Mi riferisco alla banca di dati definita dall'Università di Genova, in formato Access, ed utilizzata al DiCOMAC de l'Aquila.

conoscenza della fabbrica, dovrebbero essere gestite da un GIS che operi su immagini raster e vettoriali, da mettere a disposizione degli organi di tutela e amministrativi e di tutti i Gruppi Operativi interessati all'analisi dell'edificio. Le nuove versioni di GIS 3D però devono essere ancora sperimentate, e pertanto si propone l'utilizzo di un GIS *web/based* che funzioni sulle superfici bidimensionali verticali, in attesa della disponibilità di un GIS 3D *open source*.

Allo stesso tempo la registrazione delle caratteristiche dimensionali e materiche della struttura materiale, le analisi diagnostiche, la modellazione dell'edificio, etc. devono essere collegate alla descrizione dello stato attuale (in qualunque situazione geografica e culturale si trovi il manufatto edilizio), secondo le indicazioni degli Elementi Strutturali/Tecniche Costruttive previste dalle *Linee Guida*. Con lo stesso strumento di registrazione dovrebbe essere possibile effettuare la lettura stratigrafica su immagini fotografiche ad alta definizione, ma anche seguire e registrare le operazioni previste dal cantiere di restauro, la sua gestione ed il monitoraggio successivo.

L'architettura del Sistema integrato (localizzazione, rilievo geometrico e materico, GIS/banche dati e GIS per superfici verticali) mira, in sintesi, a coprire l'intero *ciclo di vita* delle informazioni in gioco, a partire dalla prima fase di censimento e rilevazione dei danni subiti dall'edificio, alle informazioni sulle fasi e sulle tecniche costruttive, per poi gestire l'intero processo di restauro sino alla fase finale di monitoraggio.

2. L'EMERGENZA NELLA REGISTRAZIONE GEOMETRICA E FOTOGRAFICA

C'è una discriminante fondamentale attinente al protocollo operativo: l'analisi degli edifici in vista del miglioramento della loro vulnerabilità, in previsione di eventi sismici, e la registrazione in condizioni d'emergenza, dopo il sisma. Analizziamo questa seconda situazione perché è meno sperimentata e pone un maggior numero di problemi; inoltre alcune soluzioni adottate possono avere un riflesso anche sul primo protocollo operativo.

Dopo il terremoto del Friuli nel 1976, tra i mesi di maggio e settembre, vennero effettuati numerosi sopralluoghi e rilievi fotografici con l'obiettivo di sviluppare nuove procedure e nuovi protocolli operativi per la catalogazione degli edifici storici dopo un evento sismico¹⁰. In quella occasione vennero proposte innovative metodologie per l'analisi dei danni sull'edilizia religiosa e sistemi rapidi di registrazione fotografica corretta geometricamente. I terremoti in Umbria e Marche nel 1997 e nel Molise del 2002, hanno riproposto il problema della registrazione dei danni sugli edifici storici in area sismica sia prima che dopo un terremoto, ma hanno dimostrato che i meccanismi di danno sismico presentano alcune caratteristiche ricorrenti¹¹. Il terre-

moto del 6 aprile 2009 nell'aquilano è stata un'ulteriore occasione per affrontare i problemi connessi alla documentazione dell'edilizia storica nelle aree sismiche. L'evento tellurico ha interessato 49 comuni abruzzesi e la distruzione di numerosi centri storici minori e di gran parte del centro storico della città de L'Aquila, coinvolgendo centinaia e centinaia di edifici tutelati e migliaia di edifici storici.

Poiché la completezza e la diacronia della documentazione fotografica si è sempre dimostrata essenziale, l'obiettivo del sistema che presentiamo si proponeva la realizzazione di una campagna di rilevazione delle superfici edilizie esterne (degli edifici monumentali e dei fronti stradali dei centri storici) con le nuove tecnologie oggi a disposizione, caratterizzate da velocità di esecuzione ed adeguata precisione geometrica, unite all'oggettività data dalla registrazione fotografica e, soprattutto, alla sicurezza dell'operatore. Laser scanner e fotogrammetria da nuvole di punti RGB sono tecniche di rilievo che permettono di operare a distanza (anche con droni e cestelli elevatori), sono molto rapide e precise, restituiscono i volumi 3D degli edifici e, specie la seconda, ha la grande proprietà di rappresentare fotograficamente, con una definizione elevata, le superfici. Inoltre hanno la possibilità di essere facilmente implementabili con situazioni di presa diverse, ad esempio dopo la rimozione delle macerie, e completate con la rilevazione degli interni, quando saranno agibili con maggior sicurezza, oppure quando già esistono dei rilievi precedenti. La registrazione delle superfici (completamente vettorializzata) che si può ottenere è infatti compatibile sia con i rilievi CAD (formato *.dxf), sia con la possibilità di metterle a disposizione su banche di dati *on line* e/o con Sistemi Informativi (GIS) che operano sulle superfici verticali o in grado di gestire la tridimensionalità.

Abbiamo visto che il progetto di rilievo degli immobili, in casi come quello de L'Aquila e dei suoi centri minori, dove una quantità impressionante di edifici ha bisogno di essere velocemente rilevata, deve rispondere ad alcune esigenze prioritarie:

1. essere rapido ed affidabile, realizzabile con il massimo della sicurezza per gli operatori e logisticamente poco impegnativo;
2. essere geometricamente adeguato ed implementabile nel tempo;
3. essere disponibile alle osservazioni e alle necessità di diversi Gruppi Operativi;
4. essere il frutto dell'impegno e della disponibilità dei diversi Gruppi Operativi;
5. occorre predisporre una normativa di base per le prestazioni del rilievo.

Inoltre esiste un nuovo 'archivio' di migliaia di immagini dei fronti stradali (disponibili con Google Street View) che, per una fortuita coincidenza, sono state realizzate solo pochi giorni prima del sisma. Google Inc. ha avuto la grande sensibilità di metterle a disposizione della Protezione Civile, nel formato pre-elaborazione.

Nell'aquilano abbiamo adottato un progetto di registrazione delle evidenze materiali che prevede una rete topografica locale (collegata alle coordinate geografiche mediante semplici e rapide misurazioni con GPS) e prese fotografiche per la restituzione fotogrammetrica a nuvole di punti RGB. Il lavoro è strutturato in modo da permettere la massima interconnessione

¹⁰ F. DOGLIONI, A. MORETTI, V. PETRINI (a cura di), *Le chiese e il terremoto. Dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione*, Trieste 1994.

¹¹ S. LAGOMARSINO, *Vulnerabilità e risposta sismica delle chiese aquilane: interpretazione del danno e considerazioni sul miglioramento strutturale*, «Arkos», 20, luglio-settembre 2009, p. 31.

con le registrazioni già eseguite, quelle che dovranno essere elaborate o quelle ancora da effettuare. Esiste inoltre la più ampia flessibilità fra le diverse parti del rilievo (che potranno avere un completamento anche in tempi diversi, scaglionati secondo il diverso grado di urgenza che sarà ritenuto necessario). Questo tipo di rilievo, realizzato con stazione totale Leica TCRM 1102plus e tecnologia ZScan/ZMap¹², viene effettuato attraverso la realizzazione di triplette fotografiche digitali, con camera ed ottiche calibrate, collegate tra di loro con una serie di *targets*, di cui vengono rilevate le tre coordinate geometriche. Poiché si ritiene indispensabile predisporre una base per la mappatura del quadro fessurativo, tenendo conto delle esigenze di precisione previste dalla normativa proposta dall'English Heritage per le diverse scale di rappresentazione¹³, l'immagine fotografica ha una definizione che permette di ottenere pixel reali \leq ad 1 mm² (distanza di presa circa 3,5-4 m, con obiettivo 28 mm)¹⁴. Di conseguenza è stato necessario l'approntamento di una rete topografica di dettaglio, per facilitare e rendere più precisa e rapida l'opera di mosaicatura dei modelli parziali.

Da questo connubio di strumenti e softwares, è possibile generare un modello 3D dell'edificio, con restituzione fotografica delle superfici, da cui poi trarre rapidamente dei rilievi *wireframe* vettorializzati 3D (formato *.dxf), che possono essere distribuiti ai diversi Gruppi Operativi per le loro elaborazioni. Abbiamo visto che è possibile ottenere direttamente anche gli ortofotopiani delle pareti verticali e generare i contorni vettorializzati delle zone di interesse (con il modulo ZMap), quando la richiesta è verso le tradizionali elaborazioni per piante, prospetti e sezioni. Ma con la possibilità di redigere rilievi CAD direttamente sul modello 3D, è necessaria una restituzione di tipo "archeologico", basata sulla reale posizione nello spazio degli elementi da rilevare, e non mediata o finalizzata alla necessità di ottenere rappresentazioni conformi alle leggi della proiezione ortogonale. Poiché questo tipo di rappresentazione (tipico delle restituzioni fotografiche tridimensionali), è fortemente innovativo nella sua semplicità e scarsamente praticato finora sui grandi numeri, probabilmente occorrerà confrontare il protocollo operativo per i nuovi sistemi di rilievo basati sulle nuvole di punti (laser scanner e punti RGB)¹⁵, con le possibilità offerte dai softwares (deformazioni delle pareti, curve di livello per piani verticali, DEM). Un primo, provvisorio, elenco delle elaborazioni che abbiamo sperimentato comprende le caratteristiche dimensionali dell'edificio (espresse anche nelle più tradizionali forme delle piante, prospetti e sezioni), la mappatura delle lesioni e dei distacchi anche di piccole dimensioni (con termine archeologico, le interfacce) e del comportamento dei macroelementi (le deformazioni

e i fuori piombo sono immediatamente realizzabili, vista la facilità nel tracciare sezioni orizzontali e verticali in qualsiasi punto della superficie rilevata), la lettura stratigrafica limitata all'individuazione delle Fasi costruttive (con particolare riferimento ai modelli di danno sismico pregresso e alle loro eventuali ricostruzioni), le caratteristiche qualitative delle murature (secondo i criteri adottati per la redazione dell'Atlante dei tipi costruttivi murari dell'Italia Centrale, per il Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico e le osservazioni sul comportamento delle murature tradizionali¹⁶). Sul modello tridimensionale dell'edificio così ottenuto è possibile inoltre effettuare ulteriori operazioni, siano esse finalizzate al comportamento per macroelementi che di dettaglio.

3. ALCUNI CASI DI STUDIO NELL'AQUILANO

La sperimentazione della tecnologia di rilievo fotogrammetrico digitale con strumentazione ZScan/ZMap è stata effettuata, su proposta dell'ing. Luciano Marchetti¹⁷, su alcuni edifici religiosi aquilani. In quella situazione specifica si è voluta sperimentare l'effettiva affidabilità, la rapidità e la sicurezza del sistema, nonché la sua implementabilità nel tempo.

La chiesa di san Pietro a Coppito (AQ) è risultata tra gli edifici religiosi solo parzialmente danneggiati dal sisma del 6 Aprile 2009, ma per motivi di sicurezza l'interno era ancora inagibile al momento del rilievo (30 aprile-maggio 2009, *fig. 1*).

Il rilievo è stato pertanto effettuato all'esterno, operando a livello del terreno, ed ha interessato la facciata orientale, il lato Sud e le absidi occidentali della chiesa. Il lato nord della chiesa, peraltro crollato in qualche sisma pregresso, è oggi costituito da un diverso Corpo di Fabbrica. Il rilievo fotogrammetrico digitale ha avuto come base un tradizionale lavoro topografico planivolumetrico, realizzato con stazione totale *reflectorless*, che ha consentito di integrare il rilievo della pianta dell'interno della chiesa, già realizzata dalla Soprintendenza ai Beni Architettonici d'Abruzzo¹⁸, con il planivolumetrico delle superfici delle pareti e di alcune evidenze esterne (scalinata, rampa, piazzale, strada, ingombri di altri edifici adiacenti) (*fig. 2*). Con la stazione totale sono state rilevate le coordinate spaziali delle marche fiduciali (*targets*) apposte sui fronti da rilevare. Sono state apposte sulle superfici un numero minimo di marche fiduciali: 16 sulla facciata, 22 sul lato Sud e 40 nella zona absidale (proporzionali al numero delle triplette fotografiche necessarie alla rappresentazione dell'edificio); dove la situazione oggettiva non ha consentito il posizionamento delle marche sono stati misurati 6

¹² M. GHEZZI, D. SANTARSIERO, *Zscan: Scansione tridimensionale digitale*, «Archeomatica», 2009, pp. 38-40.

Per i softwares ZScan/ZMap vedi anche: <http://www.menci.com/>

¹³ *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage* (ed. D. Andrews), Swindon 2009, Section 2.1.2; vedi: www.english-heritage.org.uk/server/show/nav.1156. Per la restituzione fotogrammetrica si veda anche J-P. SAINT AUBIN, *Le relevé et la représentation de l'architecture*, Paris 1992, ed. it. *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*, Bergamo 1999.

¹⁴ Abbiamo usato una camera digitale Nikon D700, con formato FX Nikon del sensore CMOS (23,9x36 mm) da 12,1 Mps effettivi.

¹⁵ *Metric Survey* cit., Section 7.

¹⁶ L. BINDA, G. BARONIO, D. PENAZZI, M. PALMA, C. TIRABOSCHI, *Caratterizzazione di murature in pietra in zona sismica: Data-Base sulle sezioni murarie e indagini sui materiali*, in *L'Ingegneria Sismica in Italia*, Atti del IX Convegno Internazionale (Torino, 20-23 settembre 1999), CD-Rom.

¹⁷ Il Vice-Commissario delegato per la tutela dei Beni Culturali ha sostenuto la sperimentazione dei rilievi e motivato la proposta del sistema integrato oggetto dell'articolo. Per la disponibilità mostrata agli aspetti più innovativi e per lo sprone a realizzare delle sperimentazioni dirette su alcuni edifici aquilani, a lui vanno tutti i nostri ringraziamenti.

¹⁸ Si ringrazia l'arch. M. Marchetti, responsabile dei restauri della chiesa, per l'attiva collaborazione.



fig. 1 – Le absidi occidentali della chiesa di san Pietro a Coppito (AQ).

punti naturali. Quasi contemporaneamente al lavoro topografico, con tempi slittati di circa 30-40 minuti, si è proceduto alla realizzazione delle triplette fotografiche, con camera digitale dotata di ottica 28 mm.

Il lavoro di presa fotografica si è svolto tra i 4 ed i 6 m di distanza dalle superfici da registrare, solo il campanile è stato oggetto di prese da circa 15 m con ottica 60 mm, quindi superiore alla distanza consigliata dalla lunghezza del supporto che costituisce la linea base (solo 90 cm, che teoricamente dovrebbe portare la camera digitale ad una distanza dall'edificio di circa 9-10 m, ma i risultati ottenuti sono stati estremamente soddisfacenti). La distanza di presa è stata scelta in funzione della sicurezza dell'operatore e della definizione dell'immagine fotografica. Poiché la registrazione è anche uno strumento per monitorare i danni (lesioni, distacchi, fessurazioni, deformazioni, fuori-piombo, etc.) la risoluzione dell'immagine è stata scelta per poter quantificare la dislocazione delle lesioni maggiori di 5 mm. In totale per la chiesa presa in esame sono stati rilevati 446 m² di superficie attraverso 47 triplette fotografiche. Ogni tripletta ha generato una nuvola tra i 75.000 ed i 110.000 punti RGB con una media di generazione tra i 900 ed i 4000 punti al secondo.

Una volta generati i singoli modelli tridimensionali, ottenuti tramite interpolazione dei pixel delle triplette fotografiche con il modulo ZScan, è stato possibile unire le singole nuvole di punti con l'applicazione ZMap ed ottenere il modello tridimensionale del complesso architettonico (fig. 3). In totale il modello della chiesa di

San Pietro a Coppito è espresso da più di 5.000.000 di punti RGB, dei quali abbiamo tutte e tre le coordinate geometriche e quelle cromatiche (11200 punti come densità media per metro quadro).

La densità media della maglia dei punti sul modello tridimensionale, Ground Sampling Distance (GSD), deve essere in funzione della scala di riduzione prevista. Elaborando tutti i pixel dell'immagine, con ZScan si ottiene un GSD di 0,001 (cioè 1,3 mm), se invece si elaborano un pixel ogni due, si ha un GSD di 0,002 (cioè 2,6 mm), un pixel ogni 3, GSD=0,004 (cioè 3,9 mm), un pixel ogni quattro, GSD=0,005 e così via. L'English Heritage richiede (sector 2.1.2), un GSD di 0,001 per la scala di riduzione 1:10 (intervallo dei punti tra 1 e 15 mm), un GSD 0,003 per la scala 1:20 (intervallo dei punti tra 3 e 30 mm), un GSD 0,005 per la scala 1:50 (intervallo dei punti tra 5 e 50 mm), un GSD 0,015 per la scala 1:100 (intervallo dei punti tra 15 e 100 mm).

La registrazione dell'edificio è quindi un modello 3D a restituzione fotografica reale delle pareti, che può avere un livello di definizione tale da poter individuare e misurare elementi di dimensioni millimetriche (ma la versione Micro ZScan arriva a misurazioni dell'ordine delle decine di micron). Si tratta di un nuovo strumento che deve essere ancora sondato in tutte le sue potenzialità applicative.

Sono state quindi determinate *in situ* le Fasi Costruttive del complesso architettonico, individuate le tecniche costruttive principali della fabbrica per la

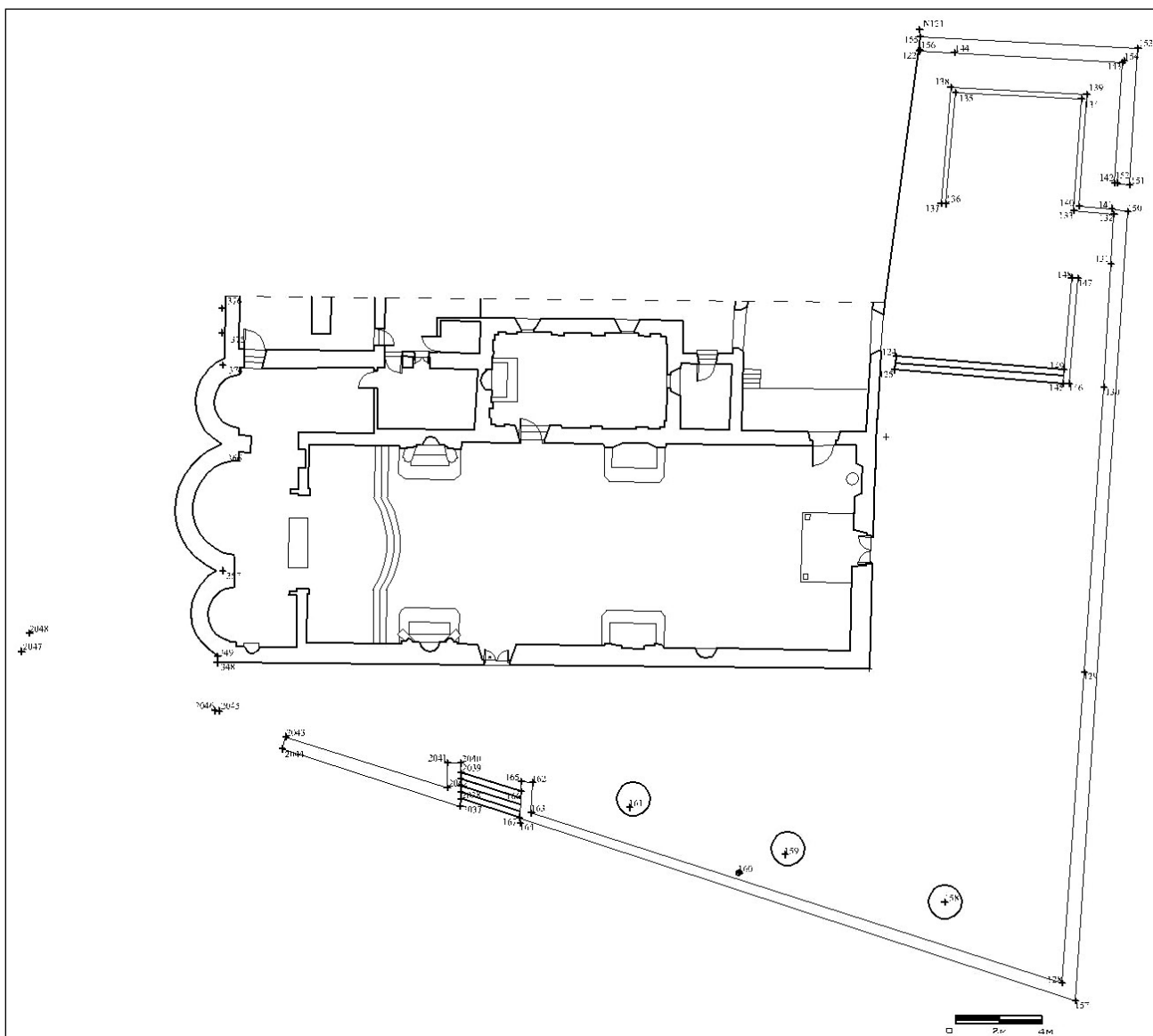


fig. 2 – Planimetria della chiesa e degli spazi circostanti.

Camera	Sensore Full Frame	Ottiche	Angolo di campo	Distanza camera /manufatto	Altezza	Larghezza	Area coperta	Risoluzione geometrica	Risoluzione texture
Nikon D700	effettivi 23,9x36,0 mm di 12,1 MPixel	20 mm	94.53°	4 m	4,673 m	6,624 m	30,96 m ²	1,65 mm	0,20 mm
		28 mm	75.42°		3,370 m	4,664 m	15,72 m ²	1,19 mm	0,14 mm
		60 mm	39.60°		1,607 m	2,015 m	3,24 m ²	0,57 mm	0,07 mm

N.B.: i dati metrici riportati si riferiscono ad una situazione teorica di presa con sensore perfettamente parallelo alla parete.

tab. 1 – Caratteristiche del progetto di presa fotografica.

Lavoro effettuato	Operatore	Quantità di informazioni raccolte	Obiettivi del lavoro
Rilievo topografico	1 topografo + collaboratore	4 stazioni e 84 punti battuti	Sistema di coordinate relative e assolute, integrazione pianta chiesa e misurazione targets sulle superfici.
Rilievo fotografico	1 operatore	47 triplette per un totale di 141 scatti fotografici	Foto formato TIFF per generazione del modello 3D.
Let. stratigrafica	1 archeologo dell'architettura	Letture stratigrafica dei tre lati esterni.	Conoscenza dell'evoluzione costruttiva dell'edificio.
Totale	3/4 persone	8 ore di lavoro sul campo	

tab. 2 – Quantificazione del lavoro sul campo per la chiesa di San Pietro a Coppito (AQ).

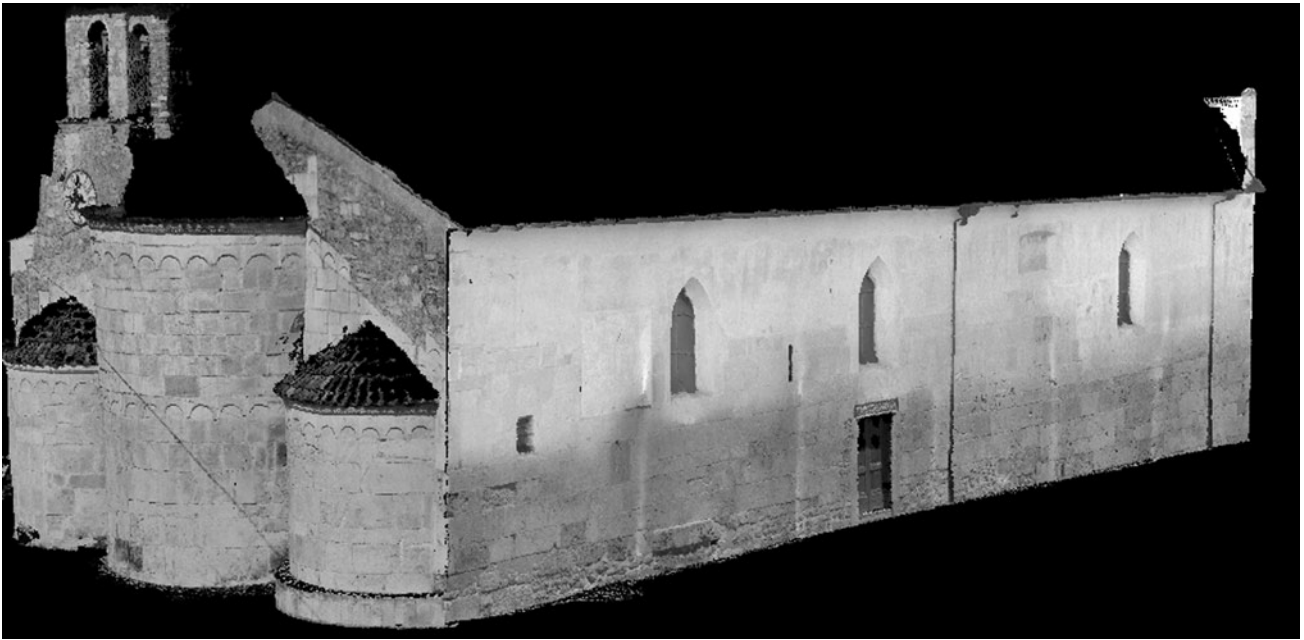


fig. 3 – Modello 3D a restituzione fotografica della chiesa di san Pietro a Coppito.



fig. 4 – Fotopiano della facciata con le lesioni e le fasi costruttive.

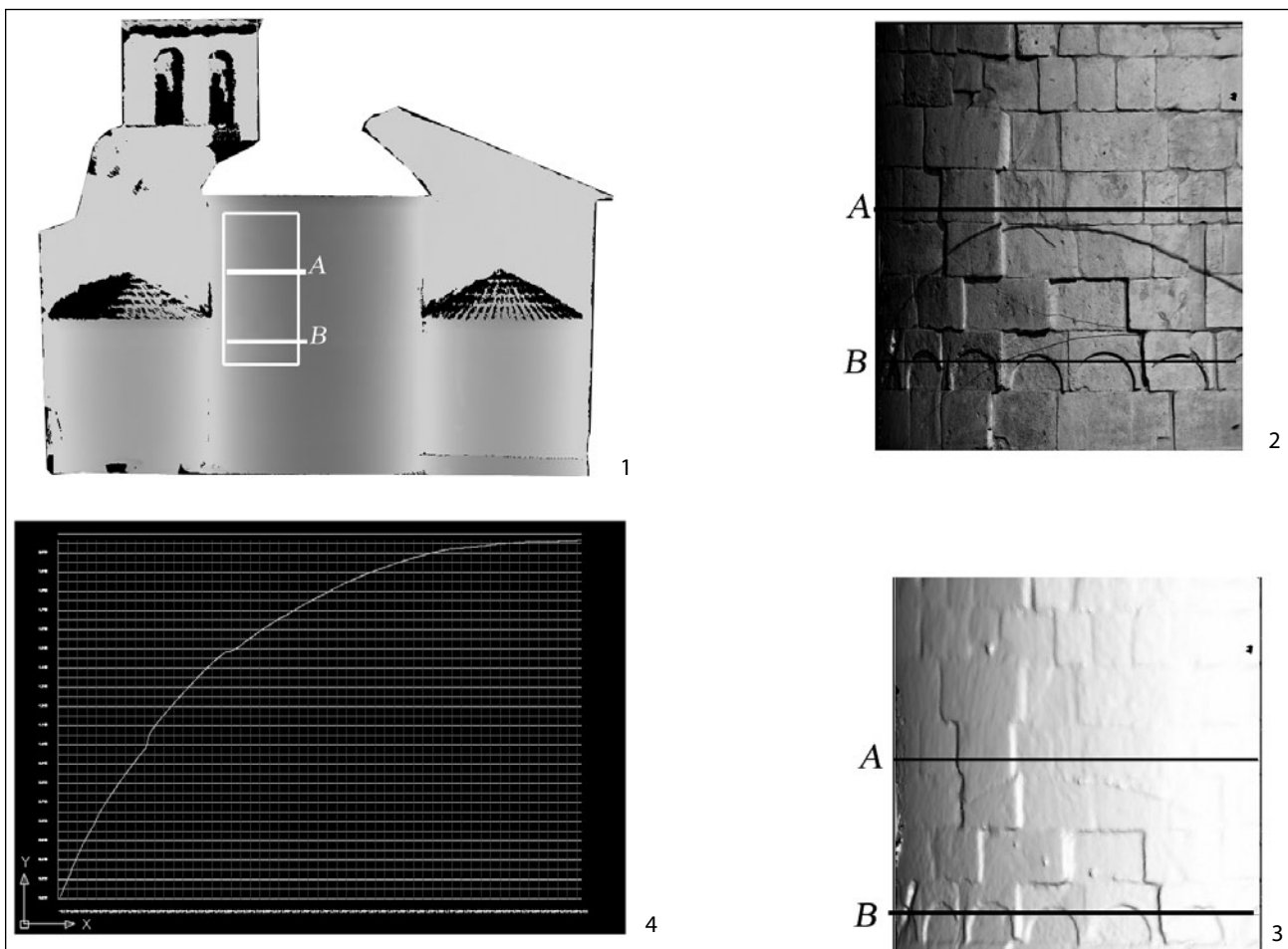


fig. 5 – Il modello con le dislocazioni dei conci dell’abside maggiore e la sezione relativa. 1. DEM dell’abside con l’indicazione delle sezioni effettuate per la misurazione della dislocazione dei conci; 2. Sezioni A e B per la determinazione della dislocazione dei conci sul modello 3D a restituzione fotografica; 3. Sezione A con maglia di 5mm della dislocazione dei conci; 4. DEM del particolare dell’abside.

redazione del catalogo, è stato disegnato il quadro fessurativo sia in 2D che 3D (ci sono dislocazioni e deformazioni dipendenti da sismi pregressi), con l’intento di mappare e quindi confrontare, da una parte, le lesioni ed i restauri antichi, e dall’altra quelli causati dal sisma del 6 Aprile (fig. 4).

Il tempo impiegato per l’insieme della registrazione della chiesa di San Pietro a Coppito (dove però manca il rilievo della copertura, del lato Nord e del lato interno del campanile a vela) è il seguente: 6 ore per l’effettuazione delle triplette fotografiche (manca ancora 1 ora per completare la parte superiore non visibile da terra, ma facilmente realizzabile con un cestello elevatore o, nei casi più difficoltosi, con un apposito drone), 8-10 ore per il montaggio del modello tridimensionale a restituzione fotografica delle superfici (tre pareti), e 16-18 ore per la restituzione CAD dei contorni ritenuti necessari (comprendenti le fasi costruttive e le caratteristiche delle tecniche impiegate, l’antica dislocazione dei conci e il quadro fessurativo più recente), cioè complessivamente 4 giorni lavorativi di una persona.

Dal lavoro così organizzato si sono ottenuti gli elaborati necessari affinché i vari Gruppi Operativi (ingegneri, architetti, restauratori, archeologi, storici dell’arte) potessero approntare un’analisi completa (sia

dal punto di vista strutturale, del restauro delle superfici, che da quello storico/artistico) dell’edificio.

Il software infatti consente anche la generazione di ortofotopiani su cui effettuare una prima lettura stratigrafica per Fasi Costruttive, mentre il modello 3D consente di effettuare una lettura *materico-costruttiva* per l’individuazione del comportamento dei macroelementi. La generazione dei DEM (Digital Elevation Model) ci fornisce invece tutte le deformazioni geometriche delle superfici; infatti è possibile ricavare sezioni verticali e orizzontali dell’edificio ovunque richiesto. Da queste sezioni si evidenziano immediatamente i fuori piombo dei muri, le loro deformazioni e la dislocazione dei conci.

Nel caso specifico della chiesa di san Pietro a Coppito, poiché era possibile determinare con sicurezza le lesioni provocate dal sisma del 6 aprile che hanno interessato il recente restauro, sono state realizzate delle sezioni per misurare e confrontare le dislocazioni pregresse di alcuni conci dell’abside con l’ampiezza delle nuove lesioni aperte sulla medesima linea (fig. 5).

Il disegno vettoriale planivolumetrico dell’edificio, realizzato direttamente sul modello 3D, genera un modello esportabile su tutti i *softwares* di disegno assistito. Questo modello potrà essere la base per la fase *speditiva*

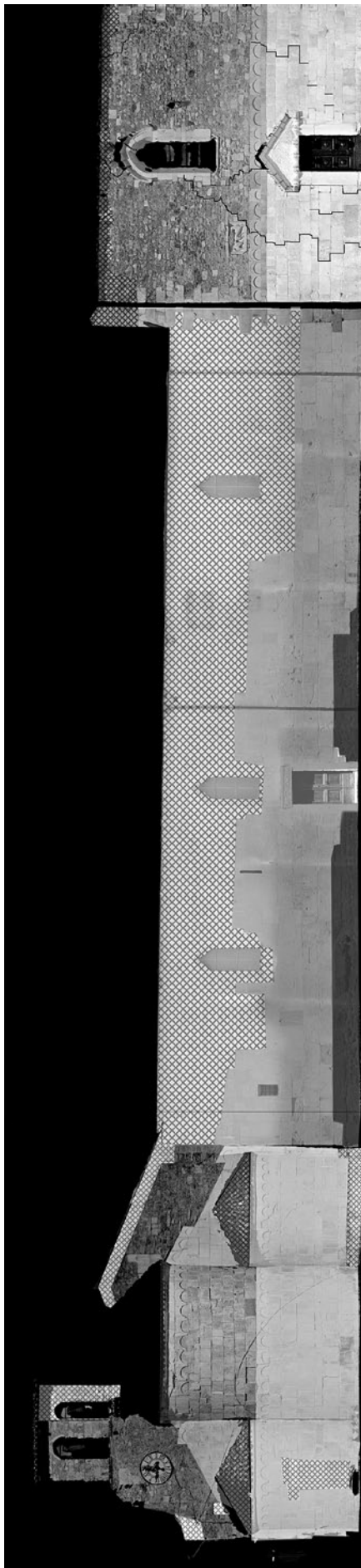


fig. 6 – Le fasi costruttive individuate.



fig. 7 – Modello “wireframe” 3D della chiesa di San Pietro a Coppito.

di registrazione e per la modellizzazione strutturale del comportamento dell’edificio (fig. 7).

Poiché il disegno CAD è un’interpretazione dell’operatore, che sceglie quali parti del modello 3D vettorializzare, allo stato attuale delle elaborazioni, siamo in una fase sperimentale perché le codifiche previste dal protocollo operativo dell’English Heritage, la pianta e le sezioni verticali dell’edificio che si ottengono da un piano passante ad una determinata quota, possono essere diversamente interpretate. Ad esempio se sommiamo l’intersezione delle pareti verticali con il terreno alle linee che costituiscono le interfacce dei diversi periodi costruttivi, oppure dal fascio di linee costituito dalla sommatoria di tutti i perimetri e le dislocazioni dei conci, etc., non avremo più una semplice linea ad indicare il preciso punto della sezione orizzontale o verticale, ma un fascio di linee che più facilmente registrano le deformazioni (assai importanti per la valutazione delle operazioni necessarie al miglioramento sismico dell’edificio).

Ogni rilievo infatti può essere realizzato a diversi gradi di approfondimento in relazione alla specificità dell’edificio ed alla situazione contingente.

Come molti edifici costruiti prima della fondazione de L’Aquila, alla metà del XIII secolo, l’esterno della chiesa di san Pietro a Coppito è quasi completamente privo di intonaco, il che facilita enormemente la lettura stratigrafica. L’individuazione delle Fasi Costruttive è strettamente correlata alle tecniche costruttive delle murature (fig. 6): la fase più antica è medievale (forse quella relativa all’epigrafe della facciata – 1112 – ma vedi le osservazioni relative alla seconda fase), costituita dalla parte inferiore della muratura meridionale e delle tre absidi. La tecnica costruttiva è caratterizzata dall’impiego di grandi conci lapidei (in generale si sono riscontrati due litotipi principali, mentre sono scarsissime le tracce dei laterizi), quasi certamente provenienti dallo spolio di un edificio preesistente (ci sono soglie consunte poste in verticale, fori per cardini e grappe, parte di una epigrafe latina, etc.) ma comunque rilavorati con i nuovi strumenti dello scalpellino. In questa fase, almeno una parte del piano pavimentale della chiesa, dalla metà dell’edificio odierno verso l’abside, doveva essere leggermente più alto dell’attuale (la muratura di fondazione può essere riconosciuta in elevato ai due lati

Operatore	Softwares	Tempo impiegato	Risultati
1 Topografo	Leica Survey office	4 ore	Calcolo della poligonale e coordinate e attributi dei targets.
1 Operatore/Archeologo	ZScan	8 ore	Singoli modelli 3D
	ZMap	16 ore	MODELLO 3D ORTOFOTOPIANI RILIEVI CAD 2D e 3D DEM SEZIONI CAD MODELLO 3D PIX
1 Tecnico CAD	AutoCAD	4 ore	Elaborazione rilievi CAD 2D e 3D Layouts
Totale		32 ore di laboratorio	

tab. 3 – Quantificazione del lavoro di laboratorio ora/uomo per la chiesa di San Pietro a Coppito (AQ).

della porta meridionale) e più aderente alla morfologia del terreno in leggera pendenza verso nord-est. L'altezza totale è determinabile dalle archeggiature cieche inclinate visibili sulla parete absidale e sulle archeggiature residue di quella meridionale.

La seconda fase è sempre medievale, con una tecnica costruttiva ancora a conci, ma con dimensioni più contenute rispetto a quelli della fase precedente. Tale tecnica è riconoscibile nella muratura di facciata (la parte inferiore, sotto la serie di conci con le archeggiature) e nel rialzamento dell'abside centrale (che infatti si "appoggia" alla muratura precedente) (fig. 8).

Nella muratura in facciata è inserita l'epigrafe che fa risalire al tempo di papa Pasquale II la costruzione della chiesa. È probabile che questa epigrafe sia stata recuperata dal crollo della chiesa della fase precedente e posta nuovamente in facciata. L'ipotesi di un crollo dell'edificio religioso si basa sul fatto che la facciata non è "legata" al muro meridionale (sul punto di appoggio si notano ampie stuccature che potrebbero riempire lesioni e dislocazioni più antiche e la sostituzione di un concio con funzioni di lega delle murature, forse al posto di un altro andato completamente distrutto), ed è notevolmente più stretta del lato absidale (circa 10,55 m contro 13,90 m). Non possiamo ipotizzare se il pavimento di questa fase fosse lo stesso della fase precedente o se invece fosse già stato abbassato al livello attuale (l'apertura della porta meridionale è comunque da collegarsi a questo abbassamento del livello del terreno circostante e del pavimento interno).

La terza fase costruttiva è quella che ha determinato i volumi attuali. La tecnica muraria è ben visibile in facciata ed è caratterizzata dalla presenza di conci angolari ben squadri (forse provenienti dalle murature precedenti, ci sono molti frammenti decorati posti fuori contesto) e paramento in bozze e scapoli di media e piccola dimensione, con i piani dei filari ancora riconoscibili. Sul lato meridionale questa muratura è completamente intonacata, ma ad essa si "legano" le tre finestre archiacute, due delle quali in parte realizzate in rottura della muratura sottostante (della prima fase costruttiva). Sul rialzamento della muratura del lato absidale si notano le tracce di un campaniletto a vela, verso lo spigolo opposto all'attuale (sul lato destro). Sicuramente è una fase costruttiva che è intervenuta su un edificio in parte crollato. Le interfacce di crollo sono visibili sulle due pareti absidale e meridionale, mentre in facciata l'interfaccia è stata accuratamente ripresa, costruendo due filari orizzontali con materiali di reimpiego delle precedenti fasi costruttive (i filari

a conci con archeggiature a bassorilievo) e probabilmente utilizzando ancora materiali di reimpiego per le angolate.

Ovviamente la storia costruttiva non è finita con questa fase. In una quarta fase si possono far rientrare i restauri interni e le nuove finestre sul lato meridionale, lo stesso campanile a vela è stato costruito e successivamente ampliato con un altro fornice per la campana. Nelle absidi si notano numerosi conci con finitura diversa, alcuni impiegati per tamponare una porta o per sostituire i conci dei filari più bassi. Uno degli ultimi restauri, ha costituito un cordolo, ora intonacato, sul quale si appoggia l'orditura della copertura.

Mancano ancora molti dati ed osservazioni più puntuali. Non conosciamo con sicurezza la cronologia della seconda fase (comunque compresa tra il 1112 – se è corretta l'ipotesi dell'epigrafe recuperata – e il 1461). Già da ora però si sono osservate dislocazioni dei conci in molte parti dell'edificio (soprattutto nelle absidi); le lesioni causate dal sisma del 6 aprile in parte ripercorrono lo stesso andamento (sono visibili sulla stuccatura recente dei giunti), certo con manifestazioni di danno nettamente più contenute. È probabile che una mappatura delle lesioni apparse con il 6 aprile si possa confrontare con le dislocazioni più antiche e che giunti insolitamente ampi (oggi accuratamente stuccati) possano essere visti come delle antiche lesioni, ma una lettura in questo senso ha bisogno di punti di vista complementari.

Il passaggio dalla cronologia relativa a quella assoluta sembra cadenzato dai sismi rovinosi. Pur non escludendo altre cause, la sismicità dell'aquilano è molto ben conosciuta e sembrerebbe assai plausibile far risalire i crolli ad alcuni eventi sismici assai violenti. Dal catalogo dei terremoti aquilani ci sono tre sismi di Intensità (MCS) \geq a IX: nel 1349, nel 1461 e nel 1703¹⁹. Altri due terremoti di Intensità (MCS) tra VIII e IX si sono avuti nel 1915 (epicentro Marsica-Avezzano) e quello del 2009 (ma nella zona di Coppito non sembra aver superato l'Intensità VII-VIII). La prima fase costruttiva rientrerebbe nella cronologia 1112-1349, la seconda riguarda la ricostruzione post 1349 e arriva al 1461; la terza fase riguarda ancora la ricostruzione post 1461 (nei quaranta anni successivi, se gli affreschi rinvenuti nei recentissimi lavori all'interno, sono da attribuirsi agli inizi del XVI secolo). Il sisma del 1703 può aver causato i danni (i campaniletti a vela, forse

¹⁹ <http://storing.ingv.it/cfti4med>.



fig. 8 – Ortofotopiano delle absidi della chiesa con l'individuazione delle fasi.



fig. 9 – La chiesa dei S. Stefano e Silvestro a Castelnuovo di San Pio delle Camere dopo il sisma.

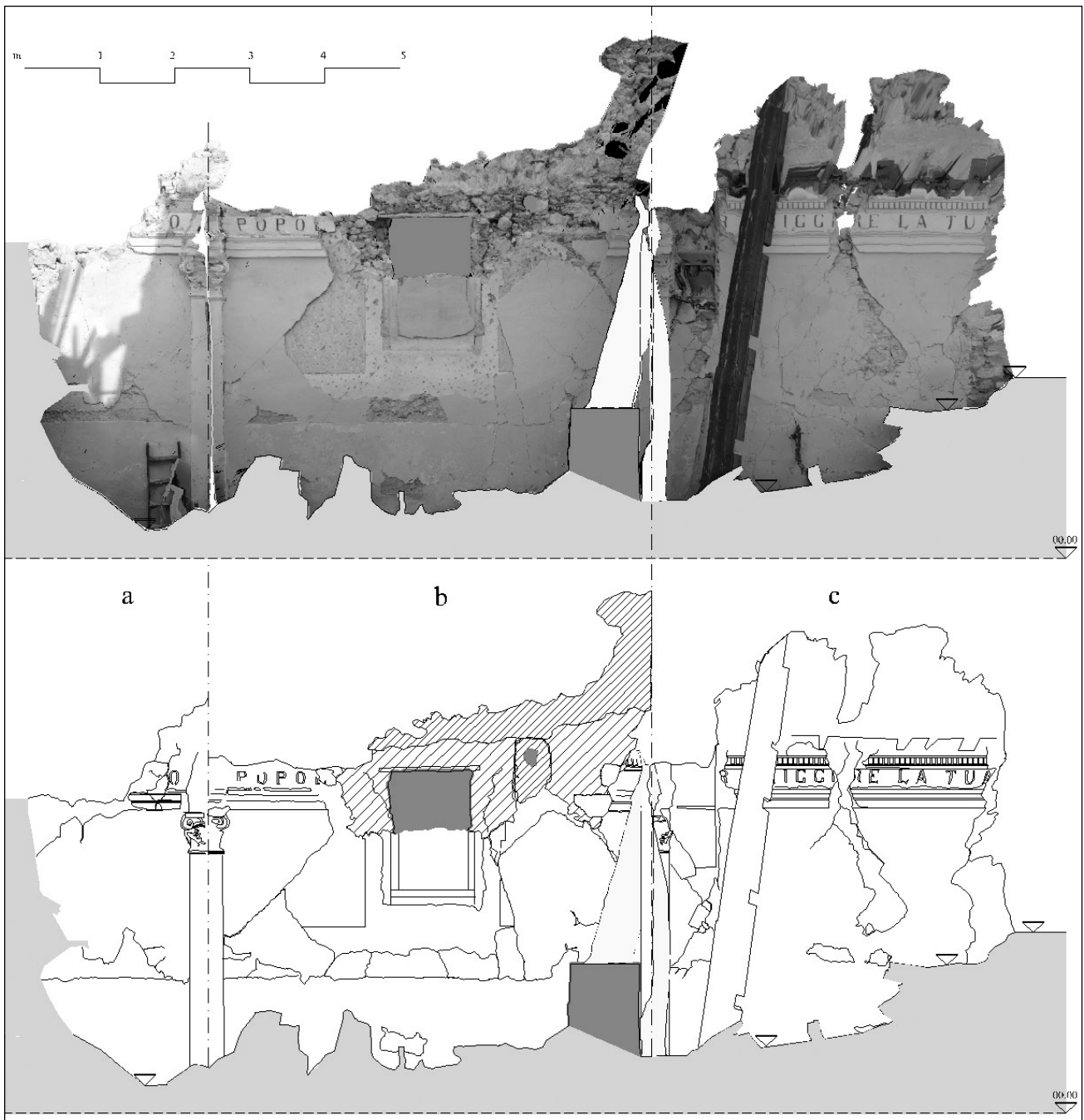


fig. 10 – Il rilievo e l'ortofotopiano delle pareti interne della zona absidale della chiesa dei S. Stefano e Silvestro a Castelnuovo di San Pio delle Camere.

l'interno) che sono stati il motivo per una nuova sistemazione generale, con l'apertura di nuove finestre sul lato meridionale e forse la porta nell'abside destra. Ci sono poi le tracce di una numerosa serie di restauri, compreso quello più recente del 2007, che si possono far rientrare tutti nella medesima fase (la quarta).

Nel caso della chiesa dei Ss. Stefano e Silvestro a Castelnuovo di San Pio delle Camere, quasi completamente distrutta dal sisma (fig. 9), è stato richiesto un rilievo preliminare prima della rimozione dei crolli dei Corpi di Fabbrica (chiesa, campanile e cappella terga), da completarsi successivamente con le integrazioni delle parti

residue visibili²⁰. Nel marzo 2010 in due giorni è stato realizzato il rilievo topografico locale, sono state prese le coordinate geometriche di numerosi targets e si sono rilevate le coordinate geografiche di cinque punti visibili sulle foto satellitari del 6 aprile 2009, disponibili con Google Earth. Sono state realizzate numerose triplette fotografiche con cestello elevatore per la documentazione del crollo e si è completata la ripresa da terra delle

²⁰ Il rilievo è stato commissionato dal Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio del Vice-Commissario delegato per la tutela dei Beni Culturali, responsabile del procedimento l'arch. A. Ciciotti.

pareti ancora in elevato. I primi elaborati sono stati oggetto di discussione, perché il rilievo doveva poter essere utilizzato da diversi Gruppi Operativi. Abbiamo trovato che la restituzione delle caratteristiche dimensionali dell'edificio (espresse anche nelle più tradizionali forme delle piante, prospetti e sezioni) e del volume dei materiali crollati potesse servire agli organi di tutela e agli archeologi che seguono la rimozione delle macerie. L'individuazione del meccanismo di crollo (assai complicato per le vicende costruttive che hanno interessato l'edificio) può essere facilitata dalla registrazione della disposizione dei materiali crollati (manti di copertura, orditura, conci decorati delle aperture), dalla mappatura delle lesioni e dei distacchi anche di piccole dimensioni (con termine archeologico, le interfacce): una registrazione così analitica potrà servire agli ingegneri, agli archeologi dell'architettura e ai restauratori (il modello delle superfici interne decorate e la stratigrafia dei rivestimenti) (fig. 10). L'individuazione delle Fasi Costruttive e il comportamento dei macroelementi (le deformazioni e i fuori piombo sono immediatamente realizzabili, vista la facilità nel tracciare sezioni orizzontali e verticali in qualsiasi punto della superficie rilevata), il comportamento dei presidi antisismici (muri a scarpa, catene lignee e metalliche, addossamenti murari, orizzontamenti con tavolette lignee) sarà il prossimo compito, appena la rimozione delle macerie consentirà il completamento del rilievo. Già da ora, però, si può trovare un comportamento parallelo con san Pietro a Coppito: entrambi gli edifici religiosi sono il risultato di una serie continua di interventi ricostruttivi di ampia portata, con resti di ogni dimensione delle murature precedenti e che rendono particolarmente complicata la modellizzazione dell'edificio; inoltre il comportamento delle murature (a Castelnuovo è presente una serie di malte assai poco aderenti e scarsamente coese) merita un ulteriore approfondimento, perché la costruzione delle tipologie è particolarmente complicata per le piccole differenze riscontrate fra le varie murature ed occorrerà valutare attentamente il grado di affidabilità in caso di scelte progettuali ricostruttive.

4. L'ARCHITETTURA INFORMATICA PROPOSTA

Il Sistema Integrato prevede l'utilizzo e l'integrazione di *softwares* che rappresentano degli *standard de-facto* a livello nazionale nei settori di riferimento, integrati con applicativi già in uso dalle istituzioni preposte alla gestione dell'emergenza sismica e alla tutela degli edifici.

Il sistema proposto (vedi fig. 11) ha come base un GIS *Open-Source* predisposto su base aerofotografica generale per l'individuazione dei siti e la localizzazione degli immobili, implementando le immagini disponibili tramite Google Earth oppure con altre immagini satellitari. Tale base può essere georeferenziata e resa disponibile *on line* (con l'attuale massima definizione) nel sistema GIS 2D e può essere predisposta per l'interconnessione con il sistema di gestione delle schede di rilevamento danni (ArtIn XML) ed il sistema GIS di registrazione delle superfici verticali degli edifici per gli eventuali interventi di restauro (SICaR *w/b*). I modelli 3D, realizzati con le metodologie esposte in precedenza, verranno anch'essi georeferenziati sulle basi cartografiche disponibili e saranno visualizzabili con un *viewer* proprietario.

4.1 ARTIN XML

Per quanto riguarda la gestione delle schede di rilevamento danni²¹, l'inserimento dei dati di carattere generale (suddivisione per Corpi di Fabbrica e per Fasi Costruttive) e delle osservazioni finora esperite (ad esempio le planimetrie disponibili), viene proposto un *data base*, aggiornabile e consultabile *on line*. Si tratta del sistema ArtIn XML²² sviluppato da Liberologico e disponibile sia in versione **web** (per la catalogazione *on-line*) che in versione **desktop** (per la catalogazione *off-line*). ArtIn XML è in grado di gestire qualsiasi tracciato di scheda, definibile "esternamente" al sistema ed importabile in qualsiasi momento, senza necessità di interventi informatici.

La peculiarità di ArtIn XML risiede nell'indipendenza dalle normative catalografiche che è in grado di gestire. Il sistema infatti è progettato in modo da accogliere e gestire qualsiasi schema di normativa sotto forma di file XML (configurato in un formato allineato con gli standard SIGEC) e di configurarsi autonomamente, senza richiedere alcun intervento di carattere informatico. La soluzione adottata fa sì che eventuali personalizzazioni o future versioni di un tracciato in standard ICCD e di altre tipologie di schemi potranno essere facilmente gestite dal sistema.

ArtIn XML fornisce, sia nella versione desktop che in quella *web-based*, meccanismi di sincronizzazione dei dati basati su *import/export* nei formati standard di interscambio ICCD (*.trc) ed XML, grazie ai quali è possibile pianificare campagne di catalogazione *on-line* ed *off-line*, garantendo la memorizzazione e la gestione in un archivio condiviso, sicuro e centralizzato.

L'applicativo, nella sua versione desktop, è stato utilizzato con successo nell'ambito del progetto ARTPAST²³. La versione *web* di ArtIn XML, sviluppata autonomamente da Liberologico, è già in uso presso numerose istituzioni pubbliche e private (es. Istituto Nazionale per la Grafica, Fondazione Cini, etc.).

Per ciascun modello 3D del manufatto, potrà essere realizzata una scheda per la memorizzazione dei dati tecnici per consentire, quando possibile, l'indicazione dei meccanismi di collasso dei macroelementi delle chiese e dei palazzi da integrare nel sistema ArtIn XML.

4.2 SICAR w/B

Per quanto riguarda la gestione dei dati relativi alle superfici verticali e ai successivi cantieri di restauro, viene proposto il sistema SICaR, sviluppato da Liberologico. SICaR (Sistema Informativo per la Catalogazione dei cantieri di Restauro)²⁴, è un GIS

²¹ Scheda di I° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica e Scheda per il rilievo del danno ai Beni Culturali - Chiese, la Scheda per il rilievo del danno ai Beni Culturali - Palazzi, come pubblicate nella G.U. n. 55 del 6 e 7.3.2006.

²² www.liberologico.com/artinxml

²³ Applicazione informatica in Rete per la Tutela e la valorizzazione del Patrimonio culturale nelle aree Sotto utilizzate, promosso dal MiBAC con il supporto scientifico della Scuola Normale Superiore, finanziato con le delibere CIPE 17/2003 e 83/2003 ed ha gestito circa 2 milioni di schede catalogafiche in formato ICCD.

²⁴ www.liberologico.com/sicar. Cfr. C. BARACCHINI, P. LANARI, P. PONTICELLI, R. PARENTI, A. VECCHI, SICaR: *un sistema per la documentazione georeferenziata in rete*, in *Sulle pitture murali. Riflessioni, conoscenze, interventi*, Atti del convegno di studi (Bressanone, 12-15 luglio 2005), Marghera-Venezia 2005, pp. 735-747.

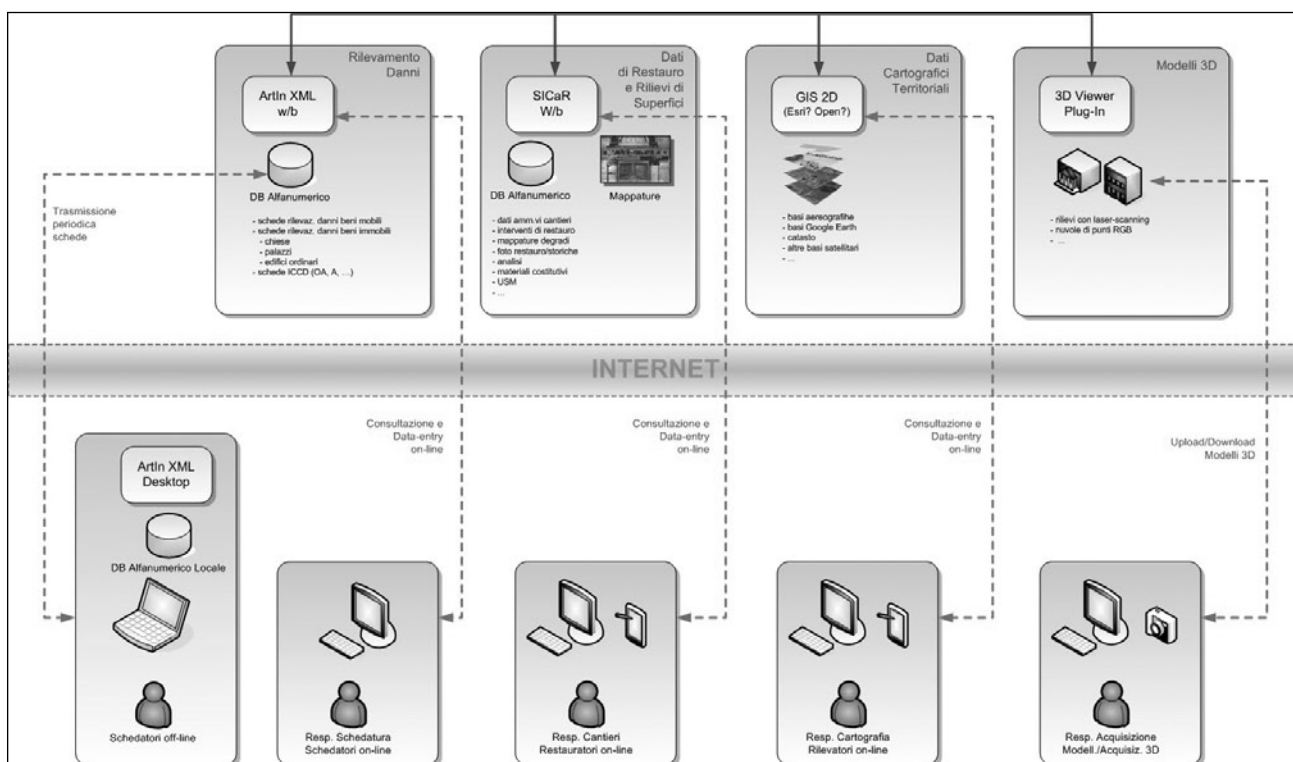


fig. 11 – Lo schema del Sistema Integrato.

web-based interamente realizzato con tecnologie *Open Source*, per la gestione delle informazioni (vettoriali, alfanumeriche e raster) collazionate durante l'analisi e la progettazione di un intervento di un restauro, sia che si tratti di restauro architettonico, che pittorico, etc.; tali informazioni possono essere mappate e georeferenziate su un modello geometrico 2D del bene.

In SICaR, la descrizione del manufatto architettonico segue una precisa struttura gerarchica. La **scheda-edificio** contiene le informazioni più generali e principali riguardo il complesso architettonico preso in esame, ossia: localizzazione, qualifica, denominazione, etc. Il complesso a sua volta può essere suddiviso in differenti **Corpi di Fabbrica**, alla scheda Corpi di Fabbrica è legata un'altra scheda che permette di descrivere lo **stato di conservazione** del Corpo di Fabbrica e consente di effettuare, e quindi documentare, la situazione della struttura tramite un'analisi preliminare che prevede anche la cronologia relativa fra diversi Corpi di Fabbrica.

Ogni Corpo di Fabbrica è suddivisibile in più **settori** o **prospetti**²⁵ per ognuno dei quali è possibile effettuare la catalogazione e specificarne la denominazione, numerazione, esposizione, etc.; come avviene per i Corpi di Fabbrica, anche per i settori o prospetti è possibile effettuare un'analisi preliminare sullo stato di conservazione del prospetto preso in esame.

SICaR, è stato anch'esso – come ArtIn XML – sperimentato con successo nel progetto ARTPAST ed attual-

mente è usato da circa 30 Soprintendenze italiane, tra cui quella de L'Aquila; è l'evoluzione su web di *Akira GIS server*, il sistema utilizzato per la progettazione del restauro lapideo della Torre di Pisa, ed è progettato per funzionare anche con connessioni *wireless*, in modo tale da consentirne l'utilizzo direttamente dal cantiere.

Tutto il sistema così concepito potrebbe essere integrato tramite la progettazione e lo sviluppo di un layer di comunicazione tra: Sistema GIS 2D <-> ArtIn XML <-> SICaR <-> Viewer Modelli 3D.

5. LA REGISTRAZIONE DEL DATO MATERIALE

La strategia operativa per la registrazione della struttura materiale in questi ultimi anni si è adeguata all'esponenziale incremento delle tecnologie informatiche e digitali più in generale. Le tecnologie di fotografia digitale in particolare oggi consentono di avere a disposizione dei prodotti elaborati per fornire dei dati, ad un grado di dettaglio così elevato, che gran parte del lavoro che prima veniva svolto sul campo, oggi può essere tranquillamente gestito in laboratorio.

Se infatti viene effettuata una buona campagna di registrazione fotografica della struttura materiale, la lettura stratigrafica può essere effettuata al monitor e, dopo aver individuato in laboratorio a grandi linee la sequenza costruttiva, può essere effettuata l'analisi *in situ* solo sulle parti strutturali ritenute fondamentali per ottenere informazioni ad un grado di approfondimento maggiore. La quantità di Unità Stratigrafiche individuabili può variare molto in base al tipo di progetto che è stato pianificato al momento di organizzare il lavoro; ovviamente un numero maggiore di Unità Stratigrafiche

²⁵ Fino a questo livello di approfondimento, sono i medesimi passi consigliati da G.P. BROGIOLO nel suo *Archeologia dell'edilizia storica*, Como 1988, pp. 15-20.

non significa un lavoro migliore, ma sono facilmente determinabili migliaia di Unità Stratigrafiche.

Per questo motivo (il cambiamento della strategia operativa) anche i criteri della compilazione delle schede di Unità Stratigrafica Muraria sono cambiate, perché la redazione delle schede deve avvenire in tempi molto più rapidi di quelli necessari alla redazione di una scheda USM “classica”. In questo modo, aumentando la velocità di registrazione, aumenta la quantità di dati individuati. Poiché c’è una contraddizione di fondo tra la necessità di operare rapidamente e la possibilità di registrare molto analiticamente la struttura materiale, abbiamo pensato di introdurre cinque livelli successivi di approfondimento della registrazione, che si possono così riassumere:

Complesso architettonico

I. Corpi di fabbrica

II. Fasi (costituite da gruppi di attività)

III. Attività (costituite dagli Elementi Strutturali previsti dalle *Linee Guida*)

IV. Azioni costruttive (ossia le Unità Stratigrafiche Murarie)

V. Rivestimenti e Finiture (la “pelle” dell’edificio).

L’efficacia e la novità del sistema così organizzato consiste nel poter operare a diversi livelli di approfondimento, dal complesso architettonico fino ai rivestimenti e alle coloriture secondo una logica stratigrafica, e di far ricorso a definizioni “locali” per la descrizione, cioè riferirsi alle tipologie inerenti il medesimo complesso o corpo di fabbrica. Infatti l’esperienza maturata in cantieri di restauro e di ricerca archeologica assai differenziati geograficamente e tipologicamente, ha fatto sorgere l’esigenza di una descrizione molto accurata della struttura materiale che, molto spesso, può non aver riscontro nei campi già predisposti nei modelli di scheda. La versatilità del SICaR ha permesso di superare la rigidità delle prime schede in formato cartaceo con campi predefiniti, utilizzando schede digitali costruite sulle diverse classi tipologiche collegate ad ogni edificio che viene analizzato. In questa maniera, la registrazione della struttura materiale segue le potenzialità fornite dall’informatizzazione e non il contrario, cioè avere l’informatizzazione (con tutti i suoi vantaggi) delle schede pensate come cartacee.

6. CONCLUSIONI

Il grande numero di edifici potenzialmente da registrare, le condizioni di sicurezza degli operatori e la facilità e rapidità di esecuzione dei rilievi, la loro “oggettività”, le sempre più precise richieste da parte di altre discipline (indirizzate all’osservazione di parti mirate), la diffusione del sistema di constatazione del danno per macroelementi e la loro standardizzazione (28 tipi di danno individuati per gli edifici religiosi e 23 tipi di danno per i palazzi), ma anche l’attenzione ai fattori specifici che condizionano la vulnerabilità e il danno²⁶ (le eccezioni che costituiscono la regola nel caso delle ristrutturazioni edilizie più minute), una qualche forma di Cultura Sismica Locale²⁷, cioè un modo per contrastare, in maniera empirica e nel lungo periodo, gli effetti dei sismi su ambiti culturali più ristretti, e la valutazione della loro efficacia nel tempo, costituiscono un campo ancora in evoluzione ed una sfida ad impegnarsi ed a confrontarsi in modo sempre più multidisciplinare. Una maggior conoscenza, da parte degli archeologi, dei meccanismi di danno per macroelementi può aiutare nell’individuazione dei danni pregressi, ma soprattutto aiuta non poco a determinare i tipi di interventi realizzati successivamente al sisma (speroni, pareti a scarpa, cuci-scuci, catene lignee e metalliche, archi di contrasto, etc.), contribuendo alla verifica del loro comportamento nel tempo.

Grandi progetti potrebbero interessare l’Archeologia dell’Architettura nel suo insieme e le precise richieste che cominciano ad essere fatte costituiscono una sfida ad aprirsi e a migliorare (o modificare) l’approccio al patrimonio costruito.

Roberto Parenti*, Andrea Vecchi**, Piero Gilento*

²⁶ F. DOGLIONI, A. MORETTI, V. PETRINI, cit., pp. 235-280.

²⁷ P. PIEROTTI, D. ULIVIERI, *Culture sismiche locali. Garfagnana e Lunigiana*, Pisa 2001.

*Laboratorio di Archeologia dell’Architettura, Università di Siena, www.laarch.unisi.it

** Liberologico S.r.l. www.liberologico.com