

Terremoti e paesaggio naturale e antropico

Previsione, prevenzione
e sviluppo sostenibile

a cura di
Graziano Ferrari

SGA Storia Geofisica Ambiente

Terremoti e monumenti: storie di restauri e perdite

Emanuela Guidoboni¹, Graziano Ferrari¹, Gabriele Tarabusi²

¹ *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna*

² *SGA Storia Geofisica Ambiente, Bologna*

Introduzione

I terremoti da sempre hanno colpito case e monumenti. Mentre l'edilizia civile minore ha subito gli affronti maggiori, con distruzioni e crolli che hanno richiesto ricostruzioni ex novo, i monumenti, edifici costruiti per resistere nel tempo, hanno spesso subito solo danni parziali e sono stati riparati più volte. Tuttavia i terremoti hanno anche distrutto chiese e palazzi e a queste perdite si sono aggiunte le distruzioni delle guerre e di altri interventi antropici. Quello che oggi resta dei monumenti è la più preziosa memoria storica del Paese, in cui intere comunità locali si riconoscono e entro cui stanno radici di identità culturali.

I danni subiti, i restauri, i rifacimenti o i cambiamenti d'uso formano una storia non scritta della cultura materiale: nei monumenti si conservano preziose informazioni sulla risposta sismica dei vari luoghi. C'è quindi un modo di conoscere i beni culturali (monumenti, centri storici, siti archeologici) che non è solo estetico e legato alla storia degli stili, ma ha le sue motivazioni nella cultura materiale e nei saperi costruttivi non scritti.

La sismologia storica è interessata alla storia dei monumenti e dei beni archeologici per dettagliare le conoscenze sulle risposte sismiche locali e per ampliare la finestra cronologica delle osservazioni sui terremoti. Se questo è vero in modo generale, dal punto di vista dei beni architettonici l'analisi degli effetti dei terremoti aggiunge informazioni peculiari e insostituibili ai caratteri stessi di tali beni e riguardo alla loro capacità (o possibilità) di sopravvivenza in aree sismiche. La lettura archeologica dell'edificato storico di pregio è ormai intesa come un metodo per conoscere e interpretare la storia del patrimonio culturale, le vicende della sua conservazione o delle avvenute trasformazioni. Anche censimenti basati su analisi "speditive" (come si vedrà oltre) contribuiscono alla scelta di strategie per la conservazione di questa preziosa memoria storica. Per valutare le possibili risposte sismiche di monumenti, siti archeologici e centri storici, occorre un approccio multidisciplinare, in cui sismologia (storica e strumentale), storia dell'architettura, ingegneria e geologia si interrogano a vicenda. È importante conoscere l'evoluzione storica di una civiltà abitativa per valutare anche i caratteri e la resistenza dei monumenti sopravvissuti.

1. In Italia culture edilizie storiche diverse fra nord e sud

Chi studia i terremoti storici in Italia non può evitare di imbattersi nella forte differenziazione edilizia fra nord e sud del paese: mentre il sud fu il regno della pietra (squadrate o no, secondo le aree e le condizioni economiche) del tufo e del laterizio, il nord per secoli fu caratterizzato da edilizia di legno o mista, pietra e legno, o ciottolo e legno e solo dal XV-XVI secolo si diffuse l'uso del laterizio.

Le lontane radici di questa diversa edilizia stanno, secondo gli storici, nella seconda metà del VI secolo d.C., quando in seguito all'invasione dei Longobardi, si stabilirono due aree di cultura edilizia diversa: la Longobardia e la Romania, ossia territori soggetti prima ai Longobardi poi ai Franchi, e territori di dominio bizantino (i *Romanoi*, ossia i Bizantini).

Nella Longobardia prevalse un abitato rurale sparso, organizzato in grandi aziende agricole: esse erano costruite per lo più in legno, o anche con altri materiali poveri, come il canniccio, la paglia, l'argilla secca. La logica costruttiva rispecchiava l'esigenza di utilizzare al massimo i materiali disponibili sul territorio: per la presenza di ampie aree forestali si usava ovviamente molto legno, così come nelle aree interne appenniniche è durato a lungo l'uso della pietra locale, rozzamente tagliata.

Il diffuso uso del legno, che si ritiene più accentuato nel periodo longobardo, rispetto a quello precedente dell'impero romano, offriva il vantaggio di non richiedere manodopera specializzata, in quanto la maggior parte dei contadini era esperta anche di carpenteria. Il legno poteva essere materiale esclusivo di un edificio, come pali connessi tra loro in senso verticale o orizzontale, che poggiavano direttamente sul terreno, o su un muretto di pietra o su tavole. Oppure il legno poteva costituire l'intelaiatura di muri costruiti con argilla secca, o con argilla e paglia o con ciottoli. Dalle fonti scritte si rileva che il legno entrava nella costruzione anche come copertura del tetto (*scandolae*). La praticità di queste costruzioni e la loro fortuna nel tempo consistevano anche nel fatto che tali case potevano essere smontate per poterne riutilizzare gli elementi in altri siti, quando i contratti agricoli scadevano (Galetti 1985).

Nelle città di area longobarda misere abitazioni in legno e altri materiali poveri coesistevano con edifici pubblici, civili e religiosi, per i quali si continuava a privilegiare la pietra, spesso riutilizzata da strutture antiche, come vere e proprie cave in situ (Cagiano de Azevedo 1974; Ward-Perkins 1984).

Per quanto riguarda l'Italia centro-meridionale, di influenza bizantina, anche se comprendente qua e là importanti territori franchi, si rilevano caratteri edilizi peculiari diversi per la città e per la campagna.

La campagna era caratterizzata da abitati accentrati, costituiti da case sviluppate solo al piano terreno, con i tetti di tavole di legno (anche nella campagna lo sviluppo verticale cominciò solo a partire dal XII secolo, Toubert 1973). Le case erano costruite con muri di argilla, o con ciottoli e argilla o con frammenti di laterizio e malta. A volte erano costruiti in questo modo fino al trave principale del tetto, a volte fino alla tessitura lignea dei travetti che costituiva il soffitto del pianterreno con la restante parte in legno. Nelle case di città si usava il legno misto a materiali pregiati di recupero. Conosciamo questi aspetti da scavi effettuati entro il tessuto abitativo urbano delle attuali città.

Nell'Italia del centro-sud, la situazione era modificata da una maggior presenza di laterizi provenienti da riuso, soprattutto nelle parti basse degli edifici, mentre la parte superiore era costruita in tufo, materiale più leggero e presente in grande quantità in questa area. Nelle aree dove persistettero contemporaneamente territori bizantini (divenuti poi di fatto autonomi) e territori longobardi, si verificò un'interessante coesistenza di materiali e usi edilizi diversi, dovuti anche a una diversa eco-

nomia e organizzazione del lavoro.

Il problema della valutazione degli effetti sismici non riguarda solo i limiti quantitativi e qualitativi delle fonti, ma anche delle scarse conoscenze a disposizione sulle caratteristiche abitative, sulle reti insediative, e in senso lato sul territorio interessato, sui livelli economici diffusi e sugli stili di vita. Come si sa, le informazioni storiche si concentrano spesso sulle grandi città, in quanto centri di cultura e sedi dei poteri politici e territoriali. Solo i monasteri, con l'attività dei loro scriptoria, in cui veniva fissata la memoria coeva degli avvenimenti più importanti attraverso cronache e annali, hanno in qualche modo spostato il punto di vista tradizionale, lasciando tracce di eventi che hanno coinvolto il territorio extra-urbano, villaggi e piccoli centri isolati. Questi diversi "punti di vista" territoriali influenzano in modo determinante la nostra attuale conoscenza della sismicità passata.

1.1. Edilizia accentrata e rurale

A partire dal Duecento, con il tumultuoso sviluppo delle città, al consistente aumento della popolazione e all'accresciuta densità abitativa si aggiunse, per quanto concerne i terremoti, un peggioramento dei livelli di sicurezza. Uno degli elementi che emerge in questo processo di aumentato rischio è l'uso generalizzato di materiali sempre più pesanti nell'edilizia. A ciò si aggiunse un accentuato sviluppo verticale delle costruzioni, realizzato inizialmente attraverso sopraelevazioni lignee, che tesero a divenire stabili e in materiali pesanti. Fasi cronologiche diverse caratterizzano molti attuali edifici di uno stesso centro urbano. Una traccia di tali situazioni è ancora oggi ben rilevabile in numerosi centri urbani minori italiani.

Può forse sorprendere l'affermazione che la fase del maggior sviluppo urbano abbia comportato un diffuso degrado delle condizioni abitative e una diminuita sicurezza. La crescita delle città italiane, mentre da un lato produceva una cultura nuova degli scambi e innovative forme economiche, dall'altro lato elevava il rischio sismico, esponendo su una stessa area un maggior numero di abitanti e un patrimonio edilizio dalle caratteristiche mutate. Forse non estranei a questa nuova tendenza sono i numerosi eventi sismici di elevata distruttività attestati in questi secoli (Guidoboni 2007).

Per quanto riguarda l'edilizia insediativa extra-urbana, alcuni spunti ci sono venuti dagli studi sulla casa rurale in Italia, condotti dal CNR dagli anni '50 agli anni '80 del Novecento (si vedano gli studi di Barbieri e Gambi 1970 e la relativa bibliografia). Questa ricerca ha prodotto un'ampia collana di monografie regionali che, pur nelle diverse sfumature di approccio al tema, da parte dei diversi gruppi di ricerca, ha consentito di delineare alcuni tratti generali dell'edilizia storica italiana.

La conoscenza dell'edilizia rurale costituisce un contributo significativo alla delineazione degli scenari sismici storici, in quanto fra le località interessate dai maggiori danni sono preponderanti i centri minori o piccoli insediamenti a carattere rurale. Nei grandi centri urbani i caratteri edilizi (materiali, geometrie) e quelli urbanistici (dimensione urbana, impianto, aggregazioni edilizie) sono il risultato di una storia economica e urbana più complessa e differenziata.

1.2. Elementi del danno sismico: alcune evidenze

I quadri descrittivi degli effetti a cui fanno riferimento i diversi gradi della scala MCS, e delle scale sismiche in genere (Ferrari e Guidoboni 1995; Albarello 2010), sono tutt'altro che scontati nell'applicazione pratica. Ciò è vero per diverse ragioni: la complessità e la variabilità dell'edilizia da un lato, la chiarezza delle descrizioni nelle fonti storiche dall'altro, condizionata dal punto di vista degli autori e dai linguaggi culturali in senso lato (amministrativo, narrativo, naturalistico ecc.). A formare il danno concorrono, oltre ai materiali e alla loro associazione costruttiva nella realizzazione delle compagini murarie, anche altri elementi rilevanti, come la geometria, i particolari costruttivi e le modalità aggregative degli edifici, che caratterizzano un aspetto per certi versi inesplorato o non esplicitato delle scale.

Geometria e complessità strutturale

La geometria e la complessità dell'edificio e della sua forma aggregativa e quindi dell'abitato in genere, hanno contribuito a creare quella grandissima varietà di forme insediative, dagli edifici "a corte" della pianura ai centri arroccati delle alture appenniniche. La grande varietà di geometrie e di modi di aggregare gli edifici ha avuto un notevole peso nella formazione degli scenari sismici. Nel caso di paesi abbarbicati su rilievi montuosi non è raro, e le fonti lo riportano, che edifici della parte alta del paese crollassero su quelli della parte inferiore, determinando un danno complessivo molto più grave di quello causato direttamente dal terremoto. Le case rurali di ampie aree di pianura, strutturate "a corte", offrivano al contrario ampi spazi fra un'unità edilizia e l'altra, favorendo una sorta di dilatazione dell'abitato e, in caso di terremoto, una conseguente minore interazione fra i diversi edifici.

Strutture verticali: i muri

Le strutture verticali dell'edificio sono costituite dai muri portanti, i cui spessori variano dai 10 cm per i muri in laterizio più poveri (mattoni di taglio o di coltello), ai 90 cm e più nei casi di strutture difensive e non residenziali. Le tessiture murarie, cioè le modalità con cui vengono organizzati i materiali costruttivi nelle compagini murarie, sono molto diversificate e variano dalla sovrapposizione di materiali lapidei di forme e dimensioni diverse e senza leganti, al muro di pietra squadrata o di mattoni ben legati con buone malte. Non mancano, soprattutto nell'edilizia povera urbana, anche strutture murarie miste, con corsi di ciottoli intercalati da fasce di livellamento in mattoni.

Le strutture verticali tradizionali, per lo più costruite per sostenere il proprio peso oltre al peso del tetto, e al più per resistere all'azione del vento (unica forza orizzontale "di progetto"), presentano una particolare vulnerabilità sismica quando non sono legate orizzontalmente, in corrispondenza dei solai, con cordoli di cemento armato o tiranti.

Le pareti interne, con la sola funzione di divisione dei vari spazi abitativi, erano per lo più realizzate nei secoli passati con materiali e modalità costruttive scadenti: mattoni in coltello, cannucciati e gesso, legno ecc. Lo scompaginamento e il crollo di questi muri interni, peraltro possibile anche per modesti valori di accelerazio-



fig. 1 Esempi di chiavi poste agli estremi di tiranti per contrastare forze orizzontali che potrebbero causare lo sfilamento delle strutture orizzontali (travature dei solai). Questi interventi venivano realizzati in passato per rinforzare edifici danneggiati da terremoti.

ne, è talvolta riportato dalle fonti storiche senza precisare che si tratta di muri divisorii o facendo riferimento a una generica inagibilità degli edifici. Spesso, la verifica di questi aspetti richiede notevoli approfondimenti della ricerca, non sempre possibili. Una scarsa attenzione a informazioni contestuali sulla tipologia edilizia può generare anche notevoli sovrastime dei valori d'intensità. Anche il rapporto fra altezza e dimensioni di base dell'edificio, forma e profondità delle fondamenta sono fattori rilevanti nella determinazione del danno sismico, ma di difficile valutazione in relazione alle scale sismiche.

Strutture orizzontali: tetti e solai

Forma, dimensione, peso, materiali e legature delle strutture orizzontali (tetti e solai) condizionano in modo determinante la gravità del danno sismico di un edificio. Frequentemente, sia nelle fonti storiche che nell'esperienza diretta, si sono rilevati casi di edifici che, visti dall'esterno, apparivano intatti o poco danneggiati, mentre all'interno erano crollate le strutture orizzontali, causando la morte degli abitanti.

Tetti e solai contribuiscono in modo diverso alla determinazione del danno e pertanto richiedono accorgimenti costruttivi differenti. In generale, l'unico elemento in comune è la necessità di una loro legatura orizzontale per evitare che le oscillazioni sismiche delle strutture verticali dell'edificio causino lo sfilamento dei travi portanti di solai e tetti (figura 1). Inoltre, i tetti cosiddetti "spingenti", con la loro inclinazione possono favorire sotto input sismico un cedimento dei muri portanti e in certi casi il loro crollo. Grande è anche la varietà delle forme dei tetti: dalle due

falde, presenti in gran parte dell'Italia centro-settentrionale e appenninica, ai tetti a cupola o piani, tipici delle culture edilizie mediterranee.

I materiali dell'orditura del tetto e della copertura sono altri elementi rilevanti per il danno sismico. I materiali delle coperture sono molto differenziati in Italia: dalle leggere scandole di legno dell'edilizia montana (e anche dell'edilizia medievale, a cui si è precedentemente accennato), alle tegole della maggior parte dell'edilizia in laterizio o dei centri urbani maggiori, alle pesanti lastre di arenaria, ardesia, scisto delle aree alpine e appenniniche.

Comignoli

I comignoli sono elementi degli edifici che contribuiscono spesso a incidere sul danno delle strutture orizzontali. Ai comignoli fanno diretto riferimento, e con notevole specificità, le scale macrosismiche per classificare gli effetti di VI e VII grado. Il prolungamento sopra il tetto della canna fumaria è sostanzialmente distinguibile in due categorie, che ne caratterizzano dimensioni e rilevanza ai fini della determinazione del danno: comignoli per canna fumaria interna e per canna fumaria esterna. I primi hanno forme dimensioni e peso variabili, ma sono in genere di piccole dimensioni e quindi in grado di incidere modestamente sul danno sismico di un edificio. I comignoli per canna fumaria esterna (tipici, per esempio, dell'area veneta e ferrarese) sono in genere di grande dimensione e si innalzano in alcuni casi anche di alcuni metri sopra il tetto. La loro caduta può causare anche il crollo parziale o totale del tetto sottostante. Spesso le fonti storiche, descrivendo questi crolli, mostrano una certa enfasi nel definire strade ingombre di macerie dovute al crollo di questi particolari fumaiole (figura 2).

Vi sono inoltre vari altri elementi degli edifici, che meriterebbero forse specifiche trattazioni per la loro influenza sui danni sismici, come le aperture e i relativi architravi o volte, i tiranti e catene, in legno o in ferro, la cui presenza o assenza può fare sensibilmente variare la risposta sismica di un edificio (figura 1).

1.3. Persistenze storiche: il paesaggio edilizio minore nelle aree sismiche

Dal punto di vista geografico, l'Italia è il paese che ha più variazioni paesaggistiche in relazione alle distanze. Significa che all'interno di aree ristrette si rilevano grandi differenze della geomorfologia e della geologia di superficie. Si può affermare che i caratteri edilizi si siano storicamente affermati e diffusi attraverso uno stretto rapporto con il territorio, con le economie e con le culture locali. Forme, materiali, dimensioni e tipi di aggregazioni hanno determinato nel tempo una grande varietà di tipi edilizi, veri e propri linguaggi locali. Tale varietà di situazioni caratterizza la complessità della distribuzione degli effetti sismici in un centro abitato.

Secondo gli esperti, le cause principali che condizionano gli effetti sismici il più delle volte sono da ricercare nella povertà dei materiali impiegati, nella cattiva esecuzione degli elementi e dei dettagli costruttivi, nelle asimmetrie degli edifici, nella particolarità delle loro aggregazioni ecc., elementi che possono essere presenti in quasi tutte le tipologie costruttive. I materiali edilizi e lo stato di conservazione emergono tuttavia per l'importante ruolo che giocano nella "costru-

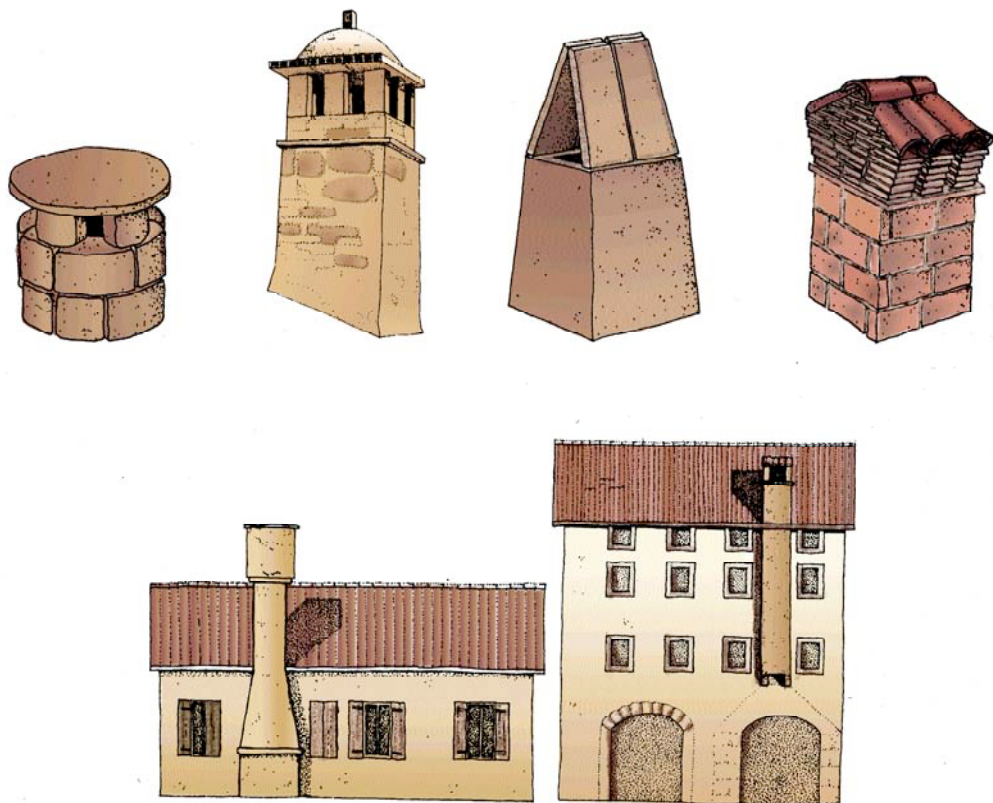


fig. 2 Il grado VII della scala sismica Mercalli Cancani Sieberg (Albarelli 2010, appendice) indica fra gli altri effetti la caduta di comignoli. Come si può evincere dagli esempi qui riportati il significato di danno può essere molto variabile: dalla caduta di lastre quasi appoggiate, al crollo di parti di murature e del tetto, se si tratta di grandi comignoli esterni, tipici dell'area veneta e dell'Emilia orientale.

zione” del disastro sismico.

Si può affermare che la funzione statica della costruzione di pietra, di mattone o di argilla, in montagna o sul litorale, nei centri urbani o nella campagna, è affidata a muri portanti di dimensioni variabili; cambiano, invece, radicalmente i materiali rispetto alle caratteristiche del territorio, influenzando direttamente la qualità della costruzione. Molto spesso, l'utilizzatore dei cataloghi sismici non è messo in grado di rilevare la notevole varietà di situazioni edilizie in relazione a un determinato scenario sismico storico. Nel tentativo di esplicitare alcuni aspetti di questo settore, e senza ovviamente alcuna pretesa di sistematicità, abbiamo nel seguito indicato alcuni elementi dell'edilizia storica, non pochi dei quali tuttora presenti nel paesaggio edilizio contemporaneo e nei tempi storici certamente più estesi dal punto di vista numerico. Tali elementi hanno interagito con altre tipologie, su cui mancano ricerche quantitative.

La qualità e lo stato di conservazione di un patrimonio edilizio è generalmente correlato ai livelli economici: questa relazione non è deterministica, ma può essere

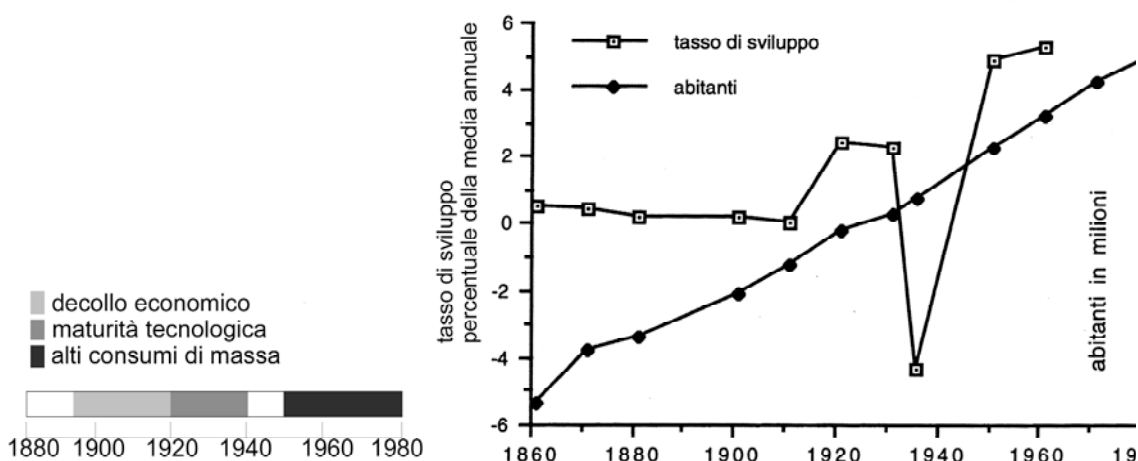


fig. 3 Rapporto fra tasso di sviluppo del prodotto pro-capite (percentuale della media annuale) e popolazione in Italia dal 1860 al 1970 (dati rielaborati da Rostow 1978 e ISTAT 1985).

intesa come tendenza generale, che può alzare o abbassare il livello qualitativo dell'edificato. Se si osservano le fasi dello sviluppo economico in Italia, in relazione ad altri paesi europei (Rostow 1978) si può vedere che solo dall'ultimo decennio dell'Ottocento gli economisti considerano iniziato lo sviluppo industriale italiano (si veda il grafico di figura 3). La maturità tecnologica si sarebbe affermata dal 1920 al 1940, ma solo dal 1950 si considera iniziato il periodo degli elevati consumi di massa.

Una situazione storicamente simile a quella giapponese (per riferirci ad un paese ad elevata sismicità), ma assai diversa da quella degli Stati Uniti. Questi elementi, che sono indicatori di livelli di vita, di maggiori bisogni di sicurezza abitativa e di una più complessa cultura urbana, hanno avuto forti interazioni con il livello qualitativo delle ricostruzioni dopo un forte terremoto, e hanno orientato generalmente anche risposte diverse al terremoto dal punto di vista sociale e istituzionale.

Una maggiore attenzione ai caratteri edilizi e una più approfondita conoscenza del loro contributo alle varie tipologie di danno sismico favorisce una conoscenza più complessa delle risposte sismiche e del tipo di vulnerabilità a cui i centri storici sono esposti. Sono questi i contesti abitativi in cui sono sorti e persistono i monumenti, quando non sono edifici isolati e appartati.

I materiali edilizi storici: laterizio, pietra, terra cruda

Ma quali materiali erano usati? Ogni area ha avuto, come si è visto, dei suoi propri caratteri. Gli edifici in laterizio (sia nell'architettura specialistica, sia in quella civile minore) sono in Italia una vera civiltà costruttiva, antichissima e diffusa e rappresentano il tipo di edilizia generalmente meglio conosciuta e studiata. Sparsa nelle zone pianeggianti o accentrata nei popolosi paesi di pianura, caratterizza storicamente anche il paesaggio medio collinare, dal piccolo villaggio alla grande città.

Si trova ovviamente nelle zone meno montuose, dove il terreno è più facilmente lavorabile e dove è possibile trovare sempre almeno una parte pianeggiante.

Anche l'edilizia in pietra è in Italia molto diffusa: è un'edilizia nobile, generalmente sinonimo di antica qualità costruttiva, presente dalla montagna alla media collina. Come è noto, l'uso della pietra determina generalmente strutture, forme e sistemi aggregativi semplici (Rodolico 1953) ed è presente anche nei monumenti importanti.

La scarsa resistenza della pietra alla trazione e quindi anche alla flessione, pone spesso il problema di evitare che il peso della muratura sovrastante, se l'architrave ha una luce notevole, gravi direttamente su questo; erano usati allora accorgimenti come archi di scarico o artifici ancora più semplici, come elementi a triangolo, per deviare i carichi molto pesanti.

Gli elementi della costruzione in pietra non necessitano di tecniche di lavorazione particolarmente specializzate: le costruzioni in pietra tipiche delle zone montane, per esempio dell'Italia centrale appenninica, erano fatte con materiale reperito nelle strette vicinanze. Quando non esistevano cave importanti, per dimensioni e capacità di estrazione e pregevolezza del materiale, erano di solito fatti scavi modesti nelle vicinanze dei centri abitati, i cui prodotti erano assorbiti quasi esclusivamente dal fabbisogno locale.

Gli stessi contadini raccoglievano le pietre o le cavavano per metterle in opera senza particolari aiuti; esse potevano essere lavorate, squadrate con semplici strumenti o usate in maniera del tutto grezza. Veniva effettuata una selezione degli elementi, vale a dire quelli migliori, più regolari e squadrati, erano usati nei punti critici, come gli angoli e negli stipiti negli architravi e nelle soglie; gli elementi meno regolari erano impiegati invece per costruire le massa muraria. Nell'Appennino centro-settentrionale, per esempio, la pietra era usata nella costruzione soprattutto per formare l'involucro murario. Secondo le diverse lavorazioni della pietra, si hanno diversi tipi di superficie e diversi sistemi costruttivi; il sistema più largamente usato era quello della muratura a sacco, più raramente il muro compatto a tessitura omogenea.

Nella muratura a sacco sono impostate due pareti in pietra con un'intercapedine che va poi riempita di materiali vari, ciottoli, terra, frantumi di pietra e di mattoni. La parete esterna dell'edificio era raramente intonacata, mentre quella interna presentava quasi sempre un intonaco di calce e sabbia. Le superfici si presentavano con una tessitura muraria più o meno regolare, secondo la forma degli elementi usati e del livello di finitura degli elementi stessi.

Va tuttavia rilevato che accanto a questi materiali "pregiati" anche nello stesso centro abitato si ritrovavano costruzioni con tipi di tessiture di superficie diversi (figura 4):

- pietre e ciottoli di dimensioni diverse e non lavorati tenuti insieme da una grande quantità di malta (soprattutto nelle case sparse di altura);
- pietre appena sbazzate di grandezza diversa;
- pietre squadrate irregolarmente e di dimensione diversa;
- pietre squadrate in forme e dimensioni uguali (di solito per gli edifici più prestigiosi).

Mentre l'uso della muratura mista, pietre e ciottoli (a volte anche con la presenza di

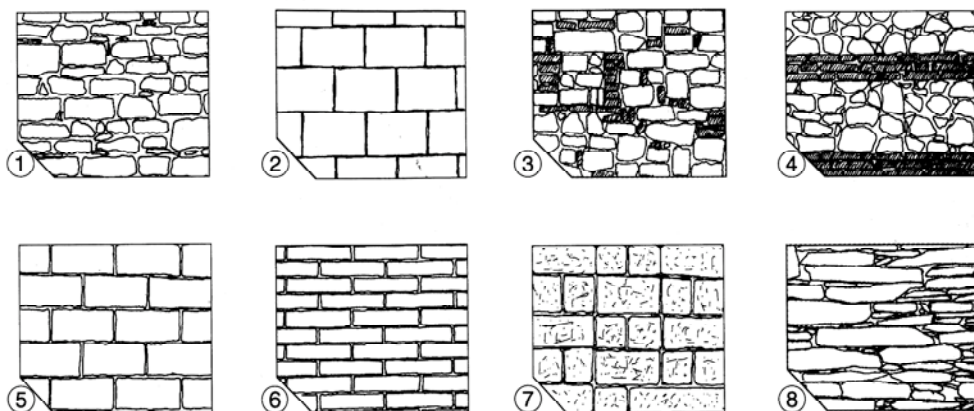


fig. 4 Alcune tipologie di apparati murari dell'edilizia storica italiana. Materiali lapidei: 1) a corsi sub-orizzontali e paralleli, con bozze sdoppiate con o senza zeppe; 2) a corsi paralleli e orizzontali, con conci; 3) irregolare, a blocchi sfaldati, con o senza zeppe. Materiali misti: 4) a corsi sub-orizzontali con bozze o blocchi e zeppe; 5) a ricorsi con con bozze o blocchi. Materiali laterizi: 6) per costa (in foglio); 7) per fascia; Materiali terrosi: 8) massoni di argilla e paglia

mattoni), può anche oggi essere tipica di case isolate di media altura, l'uso della pietra a secco è tipica dei ricoveri provvisori di montagna (case dei pastori) o di molte opere complementari, recinzioni, depositi ecc.

Solitamente le chiese, le torri ed altri edifici importanti dovevano rappresentare il decoro o una qualche forma di supremazia, ma soprattutto la volontà di superare i secoli: tali edifici, i nostri attuali monumenti, erano solitamente ben costruiti da maestranze esperte. Non di rado sappiamo che sotto i colpi dei terremoti interi paesi sono crollati, mentre le cattedrali subivano solo danni parziali. Ma come erano quei contesti abitativi antichi, i nostri attuali centri storici, anch'essi in un certo senso monumenti da tutelare, patrimonio prezioso della memoria collettiva? Quali caratteri costruttivi li hanno ispirati? Cosa nascondono le loro mura?

1.4. I terremoti nell'architettura vernacolare: preziose informazioni nascoste nei muri

Per architettura vernacolare (o tradizionale) si intende l'edilizia abitativa civile minore, ossia quella costruita nel corso dei secoli da saperi costruttivi locali, come risposta peculiare a determinate sfide ambientali o a caratteri sismici. È l'edilizia "povera" storica, creata fuori dai trattati di architettura e dalle grandi scuole, ma così peculiare e diffusa nel mondo da caratterizzare dei paesaggi abitativi tipici. Attraverso questa l'architettura e le relative tecniche di costruzione gli abitanti hanno espresso nel corso dei secoli le loro esperienze ambientali, i loro valori comunitari e in genere anche il loro stile di vita.

Nelle aree ad alta sismicità questi linguaggi costruttivi e le molteplici soluzioni realizzate erano funzionali alle società dei residenti, per lo più con scarse risorse economiche. Oggi tali architetture povere sono studiate anche in relazione ad alcune qualità sismo-resistenti. Nelle aree in cui i terremoti sono ricorrenti e distrutti-

vi non è strano che le popolazioni abbiano espresso una consapevolezza di questo problema, per mitigare gli effetti distruttivi dei terremoti, di cui facevano frequente esperienza. Osservare l'architettura vernacolare di una zona sismica può quindi consentire di rilevare una particolare storia dell'edificio (raramente documentata dalle fonti scritte) e di individuare elementi architettonici che furono escogitati per avere un carattere sismo-resistente. Questo elemento è oggi interessante da osservare sia per capire meglio la storia delle architetture povere e i loro condizionamenti, sia per valutarne l'attuale applicabilità. Infatti, queste osservazioni possono contribuire a riparare a costi bassi l'edilizia storica minore in caso di terremoti, senza snaturare i caratteri originali e specifici. (Guidoboni ed Ebel 2009).

Alcuni terremoti che hanno colpito edifici storici di particolare valore architettonico hanno fatto esplodere questo problema. Per esempio: il terremoto del settembre 1997 dell'Umbria-Marche (durante il quale ci fu, come si ricorderà, anche il crollo di un'arcata nella basilica di San Francesco ad Assisi), fu rilevato che gli edifici storici, che avevano avuto prima del terremoto interventi di consolidamento realizzati in cemento armato, furono poi molto danneggiati dal terremoto. La loro risposta al terremoto fu peggiore di quella delle case che, non avendo avuto alcun intervento precedente, avevano già un'alta vulnerabilità.

1.5. Quando i muri dell'edificio storico rivelano danni e ricostruzioni

Alcune architetture vernacolari sono state studiate con particolare attenzione: fra queste le case dell'isola di Santorini (Grecia), le case ottomane della casbah di Algeri (Foufa 2005) e alcuni paesi della Liguria di Ponente (Guidoboni et al. 2004) della Toscana montana (Garfagnana e Lunigiana, si veda: Pierotti e Ulivieri 1999) (figure 5 e 6). Per quanto riguarda la Toscana, è interessante rilevare che i processi di modificazione degli edifici sono ancora ben leggibili. In alcuni di questi paesi, come per esempio Terreggio e San Romano in Garfagnana (in provincia di Lucca), è stato possibile rilevare sia antichi sistemi di consolidamento fatti intenzionalmente per resistere ai terremoti, sia la tipologia di danni subita dall'ultimo forte terremoto di quest'area, avvenuto il 7 settembre 1920 ($I_0 = X$ MCS, $M_e = 6.5$). Sono ancora molto ben leggibili le riparazioni e le modifiche apportate sulle case: tali riparazioni però non furono fatte secondo i criteri dell'architettura vernacolare, ma secondo quanto era richiesto da una serie di leggi, piuttosto severe, che regolarono quella ricostruzione. Tali norme non riconobbero i caratteri sismo-resistenti dell'edilizia locale, e imposero consolidamenti di cemento armato (cordoli, solai), modificando quindi sostanzialmente i caratteri di questa architettura locale di pietra, che costituisce ancora un prezioso documento storico delle culture abitative dell'Appennino toscano.

In questi paesi toscani erano stati costruiti dei passaggi voltati, che creano nella loro continuità delle vere e proprie gallerie (figura 5). La galleria ha una precisa funzione di raccordo dello spazio interno ed esterno e una funzione di collegamento tra piano inferiore e piano superiore dell'edificio; è inoltre un elemento di rafforzamento perché connette edifici prospicienti o vicini. In genere questi borghi presentano una struttura d'insieme compatta e continua, con pochissimi spazi vuoti. Ma già a partire dal XIX secolo nuove regolamentazioni urbanistiche statali trasforma-



fig. 5 Da sinistra a destra: Tereglio (Lucca), un passaggio voltato costruito con elemento di rafforzamento fra due edifici; San Romano di Garfagnana (Lucca), le porte e le finestre sono delimitate da architravi e stipiti di pietra e legno; nella muratura sono inseriti elementi lignei.

rono strade e passaggi da spazi comunitari a luoghi del demanio pubblico, impedendo di rafforzare gli angoli con la costruzione di gallerie e scale, e utilizzando invece in modo diffuso catene di ferro e tiranti.

Le volte e gli archetti costituiscono uno dei più antichi e diffusi sistemi di consolidamento delle case dopo un terremoto. Anche in Liguria, in antichi borghi (come Noli, Sanremo, Taggia, e Cervo) furono costruiti archetti per collegare schiere di case da un lato all'altro della strada e robuste gallerie che consolidavano pareti esterne.

In Garfagnana (Appennino toscano) si può ancora oggi osservare che le porte esterne e le finestre sono delimitate con architravi e stipiti in pietra o in legno. Gli architravi hanno, solitamente, uno spessore maggiore nella parte centrale. I montanti raramente sono composti di un solo pezzo e per lo più sono segmentati in più parti in modo da creare uno snodo nei montanti. I contrafforti e gli ispessimenti murari tra due edifici, “a scarpa” o paralleli, furono quasi sempre utilizzati per rafforzare dissesti localizzati (figura 6). Anche gli archi di contrasto si innestavano per rimediare a lesioni derivanti da spinte dei tetti o da rotazioni dei muri sotto l'azione sismica. Per quanto riguarda l'edilizia dell'area lucana si veda il contributo di Biscione e Masini (2010).

1.6. Ricostruzioni e abbandoni: una storia da scoprire

Quello che noi oggi possiamo osservare nell'edificato storico sono quindi i risultati di restauri o ricostruzioni *ex novo* successivi a terremoti passati: ma chi decideva di ricostruire e con quali criteri? Su quali soggetti sociali pesava il carico economico delle ricostruzioni e dei restauri? Non è una risposta che riguardi solo la storia sociale ed economica. Infatti la disponibilità di mezzi nella fase di ricostruzione può favorire una qualità migliore degli interventi e quindi edificati più solidi, che significa maggior sicurezza per gli abitanti.

Come è noto, nei secoli che hanno preceduto la fondazione dello stato unitario, nell'attuale territorio italiano si sono succeduti ed hanno convissuto diversi poteri politici e amministrativi: piccole e grandi signorie, ducati, regni indipendenti o assoggettati ai grandi stati europei (Francia, Spagna, Austria). Le risposte ai terremoti distruttivi, salvo poche eccezioni, furono sempre interventi di basso profilo,



fig. 6 Da sinistra a destra: Albiano (Lucca), un edificio con un portasle come appariva nel 1972-73 e a fianco in una foto di vent'anni dopo. L'apertura del garage ha aumentato notevolmente la vulnerabilità dell'edificio; San Terenzo (La Spezia), tipici contrafforti in muratura per consolidare pareti dissestate.

vale a dire interventi limitati a categorie di edifici pubblici, come quelli militari e i ponti, e in parte ecclesiastici. Solitamente il potere centrale si limitava a rinunciare parzialmente a introiti fiscali, attraverso gli sgravi di alcune tasse, senza impegnarsi in progetti di spesa complessivi. In tal modo l'onere della riparazione dei danni veniva a pesare in gran parte sui singoli proprietari, che con l'eccezione dell'esigua fascia dei cittadini abbienti, dovevano farvi fronte con risorse economiche estremamente esigue.

Ciò nonostante, soprattutto in periodi economicamente favorevoli o in fasi di riforme

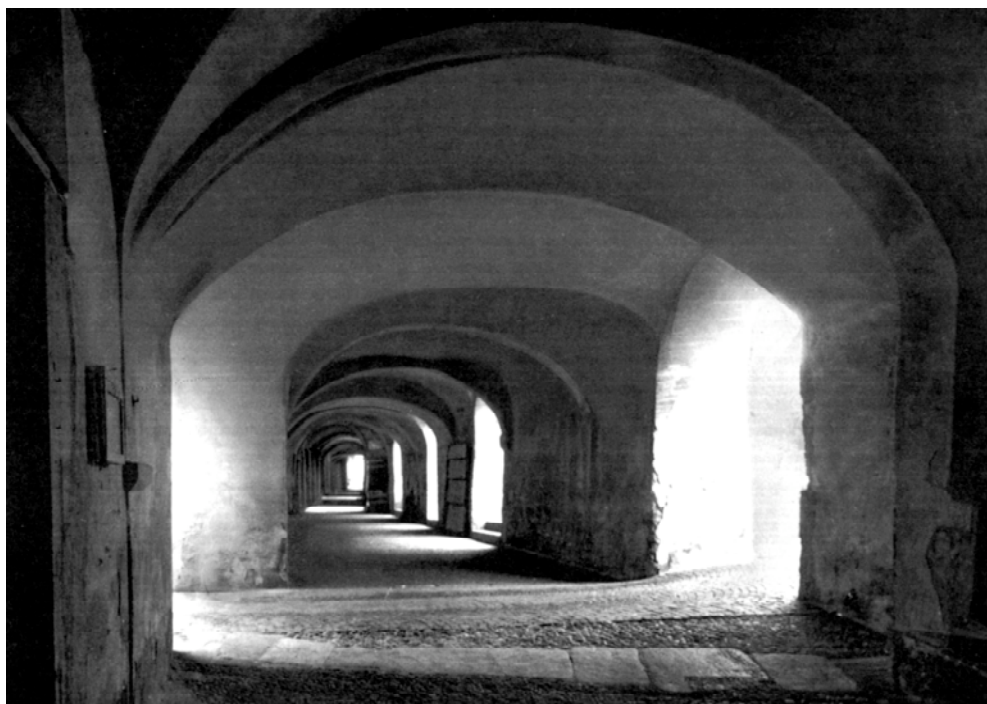


fig. 7 Noli: vie coperte, tipico esempio di architettura vernacolare.

amministrative e sociali, ad alcuni grandi terremoti seguì una vera e propria progettazione per la ricostruzione. Si pensi per esempio ai provvedimenti per le ricostruzioni dopo il terremoto del gennaio 1693, che distrusse più di 70 località della Sicilia orientale. Il governo spagnolo affrontò l'emergenza realizzando la ricostruzione di intere città e paesi, scegliendo nuovi siti in cui rimodellare la struttura e le forme urbanistiche. Lo straordinario volto barocco delle città della Sicilia orientale è dovuto proprio a quella ricostruzione. Ma per realizzarlo i costi sociali furono ingenti: l'instabilità abitativa durò per quasi venti anni, oltre una decina di paesi furono abbandonati e divennero ruderi, segnando il paesaggio con le loro rovine.

Non molto diversamente avvenne dopo la grande crisi sismica della Calabria del febbraio-marzo 1783: l'intera regione fu colpita da cinque forti terremoti ravvicinati, e fu ridotta in una situazione catastrofica. Il grande piano di ricostruzione, voluto dal governo borbonico, che accettò di realizzare il progetto riformistico del ministro Caracciolo, si arenò poi per l'opposizione della Chiesa e dei baroni. Il piano prevedeva la requisizione delle terre non coltivate dei latifondi ecclesiastici e di quelli baronali, per immetterle nel mercato della terra, e reperire così i fondi per la ricostruzione. Anche in quel caso, per numerosi paesi danneggiati furono scelti nuovi siti e furono abbandonati i vecchi abitati in stato macerioso. Una decina di "città" (paesi che avevano lo statuto di città), furono costruite con nuove e più razionali simmetrie; ma anche Messina e Reggio Calabria furono ricostruite dopo quella eccezionale crisi sismica.

Nelle regioni del sud d'Italia (ma anche in molte aree del Mediterraneo), vi sono non pochi paesi abbandonati in seguito a forti terremoti accaduti nei secoli passati, e perfino in tempi recenti. L'abbandono è un tipo di risposta assai frequente in area mediterranea dopo una distruzione sismica. Gli abitanti se ne andavano o erano costretti ad andarsene, e i paesi spesso erano ricostruiti in luoghi non lontani. Anche in Basilicata non mancano numerosi casi di abbandoni a causa della distruzione causate da terremoti. Uno dei più recenti è il caso di Romagnano a Monte (figura 8), abbandonato a seguito dei danni del terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980.

I paesi che venivano abbandonati, quasi sempre venivano spogliati di tutti i materiali possibili da riutilizzare nelle nuove costruzioni. Questi spostamenti erano anche favoriti dalla ricerca di nuove vie di comunicazione, per migliorare traffici commerciali o nuove occasioni di mercati locali. Per esempio: dopo un grande terremoto che colpì la Liguria occidentale e parte della Francia meridionale, il 23 febbraio 1887 (Io IX MCS e Me 6.4) ci fu un diffuso abbandono dei paesi danneggiati, che si trovavano sulle montagne dell'interno. Nuovi insediamenti sorsero in pianura e sulla costa. Questo spostamento dell'assetto abitativo in Liguria (la regione più colpita), dalla montagna verso il mare, fu poi la base per lo sviluppo della allora nascente industria turistica.

I paesi abbandonati per terremoti si trovano oggi in luoghi talvolta inaccessibili, o irriconoscibili perché sommersi dalla vegetazione. Tali rovine punteggiano il paesaggio mediterraneo, disegnando quello che potremmo definire il paesaggio delle rovine. Ispirato a questa immagine una parte del paese di Auletta (in provincia di Salerno) distrutta dal terremoto del 23 novembre 1980 è stata recentemente recuperata in chiave

di Parco a Ruderi, nell'ambito dei Musei Integrati dell'Ambiente (MiIdA).

Chi invece restava doveva mettere mano alla ricostruzione, ossia alla riparazione degli edifici danneggiati, fossero essi semplici case o importanti monumenti. Come si restaurava?

Questo è un settore della storia edilizia assai controverso e complicato. Può essere curioso vedere come si riparava in epoca romana.

1.7. Come si restaurava in antico? Il caso di un attuale sito archeologico: Pompei

L'eruzione del Vesuvio del 79 d.C. seppellì sotto oltre sei metri di ceneri vulcaniche le città di Pompei, Ercolano e Oplontis. Dopo più di duecento cinquanta anni di ricerche archeologiche – fino al 1748 si era infatti perso persino il ricordo di queste città - sono emerse preziosissime testimonianze. Oggi, a Pompei, possiamo emozionarci nel vedere come era una città romana. Possiamo non solo osservare le case, i cortili, i templi, le piazze e i calchi delle persone in fuga dall'esplosione del Vesuvio, ma persino gli effetti di un forte terremoto che 17 anni prima dell'eruzione aveva danneggiato Pompei. Utensili da muratori e secchi di calce abbandonati in tutta fretta ci mostrano una città cantiere, in cui si stava lavorando per riparare danni e restaurare case.

Il terremoto del 5 febbraio dell'anno 62 d.C. aveva causato estesi crolli a Pompei e in altri centri dell'area occidentale della regione Campania (Guidoboni et al. 1994). Seneca e Tacito ricordano questo terremoto, il primo con molti dettagli nel sesto libro delle *Naturales Quaestiones*, il secondo in modo più conciso.



fig. 8 Veduta dall'alto del borgo di Romagnano a Monte, abbandonato a seguito dei danni subiti er il terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980.

Pompei é un caso, forse unico al mondo, di utilizzo sicuro e corretto di dati storici e dati archeologici. Non vi é dubbio, infatti, che nei 17 anni intercorsi fra questo terremoto e l'eruzione del Vesuvio nessun altro evento sismico così distruttivo colpì la città. Ci furono molte scosse, che probabilmente lesionarono alcuni edifici già riparati, ma furono tutti eventi sismici minori del terremoto del 62. d.C. Le fonti sono in questo dettagliate e autorevoli. Quindi possiamo effettivamente utilizzare la lettura archeologica dei restauri antichi (appena terminati o in corso nel 79 d.C., quando esplose il Vesuvio) per capire gli effetti del terremoto del 62 d.C., assieme a quanto é contenuto nelle fonti scritte. L'osservazione archeologica ha in questo caso quasi il doppio ruolo di una "macchina del tempo". Infatti i danni e i restauri sono rimasti fissati dalla cenere del vulcano esattamente come erano in quel tragico 24 agosto del 79 d.C. Da un lato quindi possiamo osservare i restauri, fatti o in corso, e dall'altro valutare i danni che resero necessari quei restauri.

Osservando gli edifici messi in luce dagli archeologi si può constatare che le crepe furono chiuse con materiali recuperati dalle rovine, cosa che rende oggi facilmente riconoscibili perfino le riparazioni delle lesioni. La riutilizzazione delle macerie fu sistematica. I muri crollati divennero mucchi di macerie assieme ai frammenti delle tegole dei tetti, successivamente recuperati e riutilizzati: l'insieme di tali frammenti costituisce una sorta di "tracciante" per riconoscere i restauri. Le sconnessioni e il fuori piombo dei muri, quando l'inclinazione della parete non ne aveva causato la caduta, non comportarono necessariamente la distruzione della muratura, ma costituirono una parte ancora in uso dell'edificio.

In molti casi, superfici murarie talvolta anche considerevoli furono conservate, nonostante le deformazioni subite. Nuove murature furono elevate perfettamente a piombo e la congiunzione con le parti danneggiate si nota facilmente, quanto più la deformazione è rilevante. Deformazioni e indebolimenti delle murature furono riparati senza ricorrere alla demolizione, appoggiandovi come elementi di sostegno dei contrafforti di mattoni: in tal modo furono sostenute anche travi di solai, o muri meno sporgenti, giustapposti così a una superficie più ampia (figura 9).

Si può osservare che per conservare la costruzione il mezzo ritenuto più sicuro era di murare completamente le porte e le finestre precedenti: così infatti si osserva in numerose case e negozi di Pompei (un uso poi applicato per secoli in situazioni analoghe). Tali tamponature si rilevano sia nelle parti restaurate, sia nelle numerose modifiche per cambiamenti di proprietà o d'uso dei locali (Adam 1988 e 1989).

I restauri sono più evidenti se la parete non aveva ancora ricevuto, oppure aveva perduto, il rivestimento murario destinato ad uniformarla. Uno stucco bianco doveva successivamente eliminare ogni traccia di modificazione della muratura. Gli angoli dei muri erano in genere molto vulnerabili. Su questo scriveva Seneca, proprio a proposito di Pompei (Seneca, 6.30.4-5):

"Abbiamo visto degli edifici aprirsi agli angoli in seguito al terremoto e poi di nuovo richiudersi.



fig. 9 Evidenze di danno a Pompei causato dal terremoto del 62 d.C. dedotto dai restauri di un edificio (a sinistra l'edificio restaurato; a destra come doveva apparire prima del restauro). Angolo e muro laterale di una *domus* di epoca sannitica ricostruiti in *opus mixtum* e in *opus incertum*. Il raccordo fra i due muri doveva essere assicurato da un rivestimento non ancora apposto.

Alcuni anzi, poco stabili sulle loro fondazioni e costruiti dagli artigiani con una certa trascuratezza e poco solidamente, il terremoto, dopo averli ripetutamente scossi, li ha compattati”

Dopo il terremoto, gli angoli furono rifatti in modo diverso, secondo le possibilità degli abitanti. Per la maggior parte si trattò di restauri che utilizzavano materiali di recupero; in altri casi, i restauri furono eseguiti con più cura e mezzi, inserendo robuste catene di mattoni disposti in ordine e legate ai muri adiacenti.

Le colonne, elementi di supporto verticale onnipresenti nell'architettura romana, non solo subirono seri danni, ma il loro spostamento o il loro crollo furono la causa di altri innumerevoli crolli di coperture dei peristili e dei portici. È sufficiente, per rendersi conto, considerare che il Forum di Pompei, come lo si può vedere oggi, non è meglio conservato o meglio restaurato di quanto lo fosse nel 79 d.C. Gli edifici privati sostituirono le precedenti colonne di tufo con colonne in muratura, nelle quali si ritrova una certa varietà di materiali.

Vi furono probabilmente anche molte famiglie disperse, e molte, si sa dalle fonti antiche, emigrarono, anche perché non vi furono aiuti economici per la ricostruzione, come solitamente l'imperatore elargiva. La ricostruzione di Roma, a seguito del grande incendio di due anni dopo, e la costruzione della Domus Aurea neroniana, assorbirono le risorse dell'amministrazione imperiale. Le case di Pompei rimaste inabitate furono in un modo o nell'altro utilizzate dai sopravvissuti. Si può anche ipotizzare che ci furono riconversioni di mestieri fra i proprietari, divenuti negozianti o artigiani. In ogni caso, una lettura archeologica degli edifici messi in luce mostra che Pompei stava passando, dopo 17 anni dal terremoto, un serio periodo di crisi, con cambiamenti di fortuna o di status, a cui gli abitanti diedero diverse soluzioni, adattandosi alla nuova realtà.

1.8. Effetti sismici di sito

Con i termini “effetti di sito” si indicano anomalie negli effetti sismici in una determinata località: o particolarmente intensi o particolarmente attenuati, rispetto alle località circostanti. Le onde sismiche arrivano in superficie causando il movimento del suolo: l’ampiezza, la velocità e l’accelerazione (verticale e orizzontale) di tale movimento possono subire amplificazioni o attenuazioni secondo la natura e la geometria dei terreni che le onde sismiche attraversano in prossimità della superficie.

Quasi sempre con effetto di sito si intendono gli effetti di amplificazione; questi sono di origine topografica, come quando il moto del suolo è in corrispondenza di particolari forme di rilievo, per esempio sulla sommità di dorsali montuose particolarmente aguzze, dove i fronti d’onda, deformandosi, possono concentrarsi, oppure di origine geologica, come nel caso di bacini lacustri prosciugati. In questi casi gli effetti locali sono più concentrati e più severi di quelli di centri abitati vicini, talvolta anche di diversi gradi di una scala. Ma non sempre è facile riconoscere gli effetti di sito per i terremoti del passato. Non di rado, paesi che si trovano arroccati sui monti possono subire smottamenti o scivolamenti di terreni o di massi, indotti da un terremoto, elementi che aggravano i danni: uno scenario simile può essere descritto da fonti anche dirette come “un cumulo di rovine”. È quindi possibile che da un’analisi storica frettolosa, o con scarse fonti a disposizione, non sia possibile distinguere le diverse cause dei danni. Per meglio evidenziare effetti di sito può essere anche utile confrontare, se è possibile, gli effetti di vari terremoti nelle stesse località.

Occorre forse fare una piccola premessa: le osservazioni dirette su strutture esistenti esulano dalla sismologia storica, che deriva il suo metodo e i suoi strumenti di ricerca dalle discipline storiche. Come per l’archeologia, anche questo settore di osservazioni sugli edifici necessita di competenze specifiche e diverse da quelle storiche, proprie degli architetti e degli ingegneri. Per un approfondimento comunque di questi aspetti, con esempi relativi all’area lucana e al recente terremoto dell’Aquilano si veda Albarello *et al.* 2010.

1.9. Costruzione e struttura: mondi diversi

Quando non ci sono fonti scritte disponibili in grado di descrivere i danni sismici subiti, si ricorre alla lettura diretta dell’edificio. Le tracce di effetti sismici rilevate direttamente su un edificio forniscono un tipo di dato importante: possono evidenziare, oltre alle tracce della risposta a un determinato terremoto, anche aspetti delle tecniche di ricostruzione o di restauro utilizzate in passato, raramente esplicitate nelle fonti scritte. L’ambito di tali osservazioni qualitative dirette è limitato quindi agli aspetti di cultura materiale di una ricostruzione, che come si è visto è una fase sempre lunga e complessa che coinvolge una società sul piano economico, sociale e culturale.

Le osservazioni dirette sull’edificato storico hanno una loro ragion d’essere piuttosto importante dal punto di vista architettonico e dell’ingegneria, perchè gli edifici storici hanno una diversità fondamentale da quelli attuali, individuabile nella con-

trapposizione fra costruzione e struttura (D'Agostino 2002 e 2005).

La costruzione è un organismo unitario, realizzato da un sapere artigianale empirico, seguendo regole dell'arte, che hanno guidato tutte le fasi costruttive, interagendo con i caratteri di un ambiente naturale e culturale. La struttura, invece, è un organismo materiale progettato ed eseguito per assolvere a esclusive funzioni statiche; essa è progettata secondo i modelli della meccanica strutturale e ad essa si collegano le parti dell'edificio, realizzato poi attraverso l'assemblaggio di componenti industriali.

Nelle costruzioni storiche (con differenze per aree, periodi, tipi di civiltà e livelli economici) si è radicata la conoscenza di un territorio, dei materiali e dei leganti; essi sono stati utilizzati e messi in opera attraverso una sperimentazione accurata e sapiente, tale da formare nel tempo un patrimonio di conoscenze condivise, ossia le regole dell'arte. Il calcolo strutturale invece, fondato sulla meccanica razionale, ha per base una concezione teorica della natura, e utilizza modelli semplificati formulati analiticamente. Tale calcolo è oggi uno strumento di alta specializzazione, regolato da rigide prescrizioni normative. Il costruito storico sembra perciò appartenere a un mondo inconciliabile con quello dell'ingegneria strutturale, che tende a interpretarlo attraverso i suoi propri schemi. Tuttavia, lo sviluppo del calcolo degli elementi finiti e calcolatori potenti possono consentire di conoscere in modo quantitativo il comportamento statico delle costruzioni storiche. Dall'analisi quantitativa di queste costruzioni potrebbero emergere le regole dell'arte fondamentali, che potrebbero quindi essere verificate dal moderno calcolo strutturale. In teoria, quindi, ci sarebbero gli strumenti per sancire in modo scientifico la validità delle antiche regole dell'arte. Ma si è ancora molto lontani da queste verifiche, perchè tali analisi richiedono risorse e tempi non piccoli e solo progetti specifici di una certa importanza possono motivare analisi di questo livello. L'approccio descrittivo – più facile, soggettivo e meno costoso – procede solo per osservazioni empiriche, per intuizioni o supposizioni, talvolta anche saggiamente mirate, ma talvolta anche con pregiudizi e limiti di competenze.

Le tracce di effetti sismici su edifici monumentali o su un insieme di costruzioni tradizionali sono dati preziosi per chi si occupa della conservazione e restauro di monumenti o di edilizia tradizionale in area sismica. Infatti, nei casi in cui esistono ancora gli stessi edifici menzionati da fonti scritte, il confronto fra descrizioni di danni nei testi coevi e osservazioni dirette può aggiungere dettagli interessanti da diversi punti di vista.

1.10. Attorno al concetto di anomalia: come i terremoti possono avere modificato alcuni caratteri architettonici

Le analisi sulle costruzioni storiche possono mettere in luce pratiche di restauro applicate nei secoli passati o soluzioni escogitate per risolvere problemi statici causati da terremoti, prima del calcolo strutturale. Queste risposte sono spesso caratterizzate da elementi che risultano anomali rispetto a uno stile costruttivo consolidato, a cui appartengono i vari edifici: per questo tali anomalie sarebbero, secondo gli esperti che le hanno evidenziate, facilmente riconoscibili. Questo concetto è

stato definito all'interno dell'approccio, che si può definire "di Ravello" (Ferrigni, 2005). Per esempio: un porticato chiuso diventa il testimone di un consolidamento; così come una scala addossata a un edificio, chiudendo la porta d'ingresso a piano terra e aprendone una al primo piano; oppure un campanile ribassato e allargato, rispetto allo stile a cui appartiene, risultando quindi "deformato". Quest'ultimo caso è stato evidenziato nello studio del barocco spagnolo in America latina: in questo caso il costruttore, forse presente al danno subito da una analoga precedente costruzione, ha inteso renderla più adatta a futuri terremoti. L'effetto schiacciato e allargato è chiaramente anomalo, e denuncia un'intenzionalità antisismica (Guidoboni e Ebel 2009).

A questi casi se ne possono aggiungere molti altri: per esempio i numerosi archi rampanti che sostengono un lato della chiesa di Santa Sofia di Costantinopoli, di cui le fonti scritte ci danno conferma che furono apposti proprio per consolidare la chiesa dopo il forte terremoto del IX secolo). Ma ancora: i consolidamenti angolari con pietre squadrate sovrapposte ai muri portanti in molte case di benestanti, delle piccole città calabresi dell'Ottocento; gli archetti che uniscono case su lati opposte di piccole strade per consolidare dei dissesti e rendere più compatte le costruzioni (Liguria) ecc.

Il concetto di anomalia è stato senza dubbio stimolante, ma forse non se ne dovrebbe abusare. Spesso infatti opportunità economiche e facilità tecniche hanno favorito il successo di soluzioni costruttive che non hanno a che fare in realtà con il terremoto.

2. Una strategia d'approccio per la vulnerabilità sismica dei beni architettonici storici

Dal quadro storico fin qui delineato emerge la grande complessità e diversità per aree e periodi storici dell'edificato storico e monumentale italiano. Complessità che spesso si traduce in grande fragilità strutturale soprattutto rispetto ai terremoti. Come si è detto, spesso, ma non sempre, l'edilizia monumentale come chiese, monasteri, palazzi, castelli ecc. ha una qualità costruttiva migliore dell'edilizia abitativa storica, anche se talvolta la geometria e le vicende costruttive costituiscono elementi di aggravamento della fragilità rispetto ai terremoti.

Il patrimonio storico monumentale italiano, come e di più di quello storico abitativo costituisce, oltre che una risorsa culturale, di cui in Italia c'è la massima concentrazione mondiale, anche un elemento fortemente identitario di una comunità. Grande quindi è la responsabilità nel cercare di preservare più possibile questo patrimonio intatto e per fare ciò è necessario ridurre la sua fragilità sismica, intervenendo sui fattori che la determinano.

2.1. Le grandezze che definiscono il problema sismico dell'edilizia

Ma come e dove dobbiamo intervenire per ridurre la perdita parziale o totale di questo patrimonio di così straordinario valore? La risposta a questa domanda richiede prima di tutto una conoscenza approfondita dei valori dei parametri che definiscono il rischio di questa perdita per terremoto: il rischio, la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione. In questa parte del contributo ci occuperemo solo dell'aspetto conoscitivo di questo rischio e non delle tecniche ingegneristiche per la sua riduzione.

Il rischio sismico è quella grandezza che serve a definire le parti del territorio dove gli effetti attesi di un futuro evento sismico saranno potenzialmente più devastanti e dove le attività di prevenzione vanno concentrate per garantirne la massima efficacia. I tre elementi che combinati concorrono alla determinazione del rischio sismico sono sintetizzati in figura 10, poiché più diffusamente trattati nel contributo di Albarello 2010.

Questi parametri non sono però misurabili, ma sono stimati con tecniche che tendono a classificare il livello di vulnerabilità e di rischio, secondo poche categorie: alto, medio basso. È possibile tuttavia, con strumenti diagnostici, misurare alcuni parametri di resistenza degli elementi strutturali e costruttivi di un edificio monumentale o abitativo. Si tratta però di tecniche in genere costose e non speditive che possono essere utilizzate per lo più in fase preliminare al restauro o al consolidamento e non proponibili su larga scala.

Uno dei parametri più importanti e su cui il dibattito tecnico-scientifico si è più concentrato negli ultimi decenni è la vulnerabilità sismica, per la difficoltà di descrivere con un numero la complessità strutturale e costruttiva di un singolo edificio. Una delle maggiori difficoltà nella individuazione del metodo migliore per la stima della vulnerabilità risiede nella impossibilità di verifica, se non a seguito di un terremoto. Vi è inoltre un problema di scala, essendo ingente il patrimonio esposto ai terremoti, le tecniche devono essere veloci ed economiche per essere realizzabili con tempi adeguati ad una corretta politica di prevenzione e con risorse finanziarie sostenibili. Per questo sono state messe a punto tecniche di rilievo speditivo di caratteristiche strutturali e costruttive dell'edilizia abitativa e monumentale che consentono di avere stime di vulnerabilità sismica. Queste combinate con la pericolosità sismica e l'esposizione, consentono di avere il rischio sismico associato (figura 10).

2.2. Progetto Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, area test Sicilia e Calabria

Il recente progetto pilota "Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, dati sulla vulnerabilità e pericolosità sismica del patrimonio culturale della Regione Siciliana e della Regione Calabria (2006-2009)" ha consentito di sperimentare un approccio di questo genere a circa 3.000 beni monumentali di 9 province delle regioni Calabria e Sicilia a ridosso dello Stretto di Messina, una delle aree più sismiche d'Italia. Si tratta di un progetto avviato nella primavera del 2006 e terminato agli inizi del 2009 dall'Istituto Centrale per il Restauro (oggi Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro) del Ministero per i beni e le attività culturali.

A conclusione del progetto sono oggi disponibili dati completi di pericolosità, vulnerabilità e rischio sismico di un numero consistente di beni monumentali delle due regioni. Sono stati infatti oggetto di una specifica schedatura 1950 beni in Sicilia e 1206 in Calabria, i quali costituiscono comunque un importante sottoinsieme dell'intero patrimonio monumentale delle due regioni.

Viene di seguito presentata in modo sintetico la metodologia messa a punto e sperimentata nel corso di questo progetto, in quanto applicabile in ogni altra parte del nostro Paese.

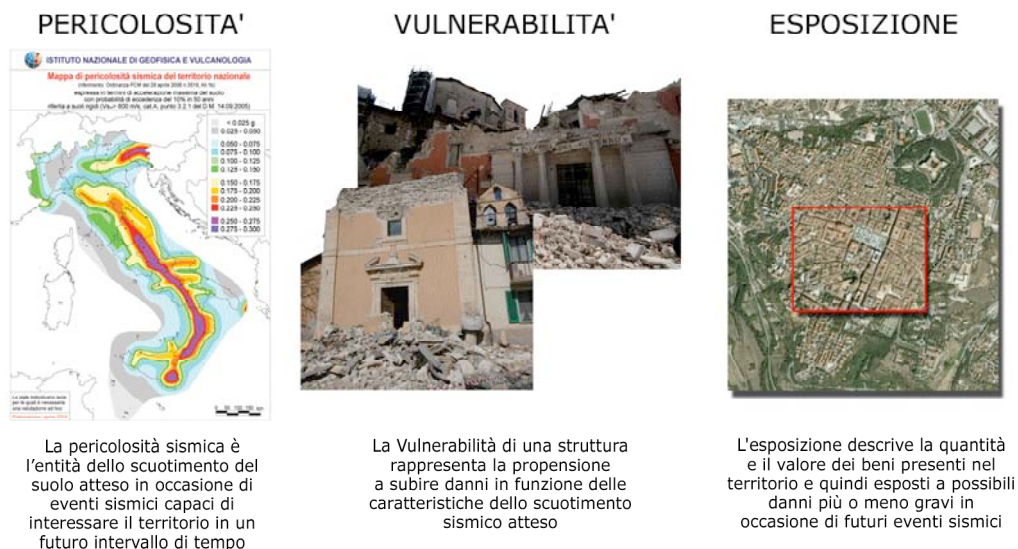


fig. 10 Rischio sismico come combinazione di 3 diverse grandezze: pericolosità, vulnerabilità e esposizione.

Il progetto si è articolato in diverse fasi (figura 11), al termine delle quali, sulla base dei dati raccolti, è stato possibile valutare il rischio sismico per ognuno degli edifici considerati, tramite due diversi metodi informatizzati di calcolo, uno dei quali è rappresentato da un sistema di supporto alle decisioni (SSD).

Lo sviluppo di un SSD ha come obiettivo fondamentale quello di fornire al decisore gli elementi di valutazione per mettere a fuoco il più possibile le alternative che gli si pongono davanti. Il caso tipico è quello di problemi complessi in cui entrano in gioco molte variabili in diverso rapporto tra loro, problemi che una singolo decisore, per quanto esperto, non può riuscire a controllare a pieno.

La valutazione del rischio sismico ed in particolare di tutti gli elementi strutturali e geometrici (oggetto dei rilievi di figura 11) che concorrono a determinare la vulnerabilità di un edificio, cioè la sua propensione a subire un danno durante un terremoto, rappresenta un problema molto complesso che ben si adatta all'utilizzo di un SSD.

Tale sistema utilizza il metodo del confronto a coppie all'interno di una struttura complessa, permettendo ad un esperto di concentrarsi solo sull'analisi dei rapporti tra singoli elementi semplici che costituiscono il problema (ad esempio altezza e lunghezza di un edificio) al momento della creazione della struttura del sistema stesso.

È stata quindi elaborata una struttura del sistema (detta albero decisionale), meglio illustrata nei paragrafi seguenti, che ha messo in relazione gerarchica i diversi elementi, attribuendo a ciascuno di essi una collocazione nell'albero stesso secondo una struttura logica e un "peso" che permettono al sistema di considerare ciascuno di essi secondo la propria importanza nella determinazione del rischio complessivo. In particolare la vulnerabilità viene determinata dal sistema attraverso l'analisi di complesse relazioni tra i molti elementi strutturali e geometrici, in cui si articolano le schede di rilevamento.

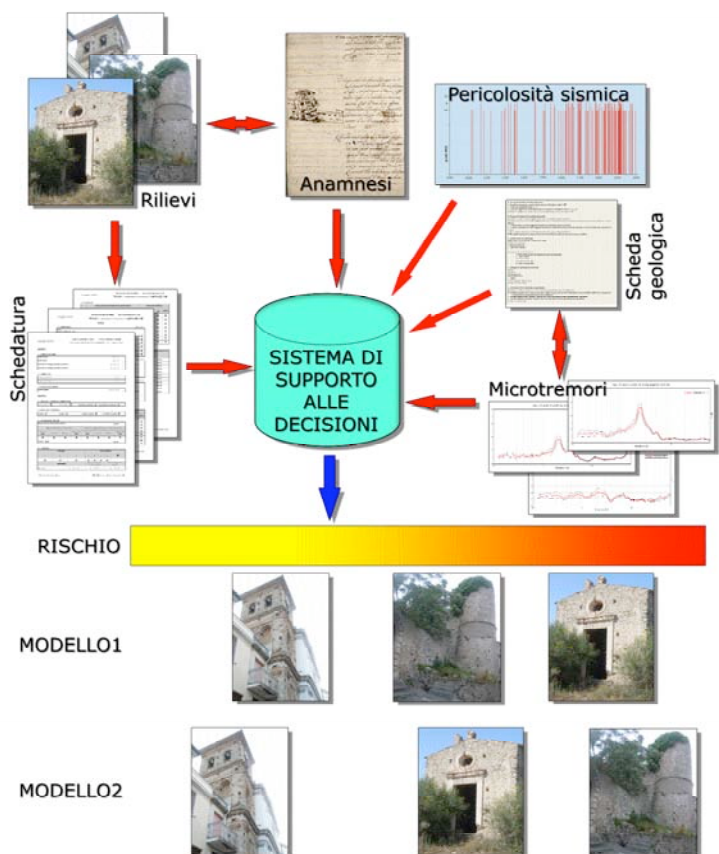


fig. 11 Fasi del progetto Carta del rischio sismico del patrimonio culturale della Calabria e della Sicilia. Durante il rilievo i tecnici hanno a disposizione su computer palmare i dati pre-caricati relativi all'anamnesi sismica del monumento e l'ortofotocarta per tutti gli aspetti di geo-referenziazione. Per ogni sito relativo al bene rilevato sono realizzate: elaborazioni di pericolosità sismica, schede geologiche e misure di microtremori. I dati inseriti in un sistema informativo centralizzato vengono elaborati dall'SSD che restituisce diversi scenari di vulnerabilità e rischio possibili.

Agendo sui pesi dati a ciascun elemento del sistema o sulla struttura logica dello stesso, è possibile elaborare modelli diversi (figura 11), che possono fornire risultati (scenari) differenti. L'applicazione di diversi modelli ad un elevato numero di casi e la successiva analisi di un esperto permettono di stabilire la maggiore o minore validità di ogni singolo approccio.

Anamnesi sismiche

Per molti edifici monumentali è possibile costruire una specifica memoria storica in grado di delineare una sorta di anamnesi sulle tipologie di danni subiti e sui ripristini, parziali o totali, susseguitisi nel tempo a causa di terremoti. Nelle aree dove i terremoti sono distruttivi e frequenti, come la Calabria e la Sicilia, ma anche la Basilicata, la Campania, l'Umbria, l'Abruzzo ecc., questi dati consentono di poter

fare riferimento a comportamenti reali degli edifici, di riconoscere eventuali punti più deboli di altri, arricchendo quindi anche gli elementi conoscitivi della vulnerabilità attuale (Guidoboni 2010).

Questi dati sono stati correlati con gli scenari completi, a scala territoriale, dei terremoti che hanno causato i danni. I terremoti che hanno interessato con effetti di danno ($I > VI$ MCS) i territori della Calabria e della Sicilia sono in totale 796. Di questi, 176 sono stati dettagliatamente studiati e i risultati sono stati inseriti nel Catalogo dei Forti Terremoti (Guidoboni *et al.* 2007).

Nella fase precedente alle attività di rilievo e schedatura sono state quindi realizzate le anamnesi sismiche dei beni presenti negli elenchi del Ministero dei Beni Culturali e delle Soprintendenze prima dell'inizio del progetto. In questo modo i rilevatori hanno avuto a disposizione per ciascun bene un quadro degli effetti già subiti in passato a causa di determinati terremoti, aspetto che ha reso di più facile lettura interventi di restauro, consolidamento e ricostruzione.

Pericolosità sismica

Per ricavare i valori di pericolosità sismica per ciascun bene oggetto di rilievo, oltre a riportare i valori dell'accelerazione orizzontale di picco (PGA) attesa calcolati su griglia con passo 0.05° (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>), si è proceduto ad uno specifico calcolo puntuale in base della esatta localizzazione di ogni singolo bene.

In particolare SGA ha messo a punto una metodologia di analisi basata sullo studio della storia sismica pregressa delle diverse località che sarebbero state oggetto dei rilievi, che ha consentito di formulare “previsioni” di tipo probabilistico sui possibili scenari di danno attesi in occasione di terremoti futuri (si veda l'articolo di Albarello nel presente volume). In particolare lo scopo dell'analisi è stata la definizione del livello di probabilità associato ai diversi possibili scenari di danno atteso (nel senso della scala macrosismica) in un futuro intervallo di tempo (tempo di esposizione). In particolare è stato fissato un tempo di esposizione di 100 anni* in cui si è individuato il massimo livello di danno che è ragionevole attendersi per le diverse località oggetto di analisi. È stato definito come ragionevole il limite superiore al livello di danno dello scenario caratteriz-

* Le norme tecniche per le costruzioni attualmente in vigore (D.M. del 14-01-2008) prevedono che le azioni sismiche siano valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN (50 anni per le opere ordinarie) per il coefficiente d'uso CU, che viene definito al variare della “classe d'uso”.

Poiché in molti casi gli edifici monumentali, per la loro destinazione d'uso, sono da considerarsi “costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi” (ad esempio gli uffici pubblici o i luoghi di culto) e quindi di classe III ($CU = 1,5$) o addirittura con “funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità” (come lo era la sede della prefettura a L'Aquila) e quindi di classe IV ($CU = 2,0$), per il calcolo della pericolosità sismica è stato fissato cautelativamente un tempo di esposizione di 100 anni ($50 \times 2,0$), e non di 50 ($50 \times 1,0$) come per le “costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali”.

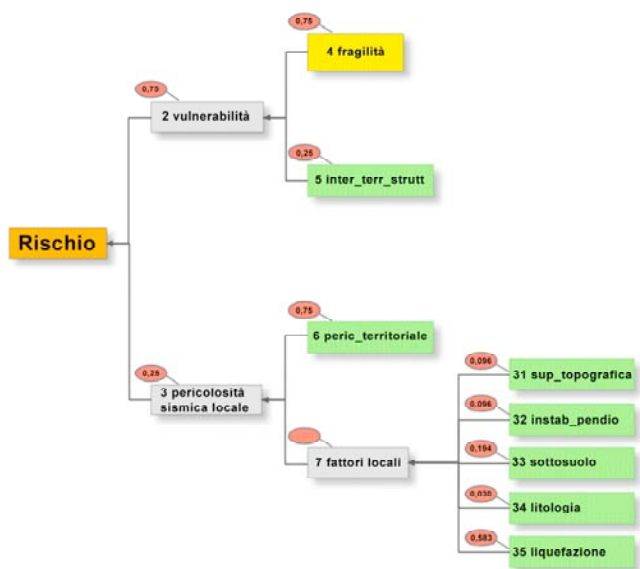


fig. 12 Schema dell'albero decisionale per la parte del rischio sismico con l'indicazione dei 7 diversi indici forniti dal sistema. Nei cerchi è proposta una delle possibili matrici di pesi.

zato da una probabilità di eccedenza non inferiore al 10%. I calcoli sono stati eseguiti sulla base di tutti i dati macrosismici disponibili dai cataloghi di riferimento, CFTI4Med (Guidoboni *et al.* 2007) e CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI 2004), a seguito di specifiche operazioni sui cataloghi stessi allo scopo di uniformarne preventivamente il diverso formato dei campi e di considerare una sola volta i record presenti in entrambi i cataloghi, mantenendo sempre le informazioni più aggiornate e frutto di studi maggiormente approfonditi.

I dati di pericolosità sismica così calcolati sono stati inseriti come dati di input del SSD come contributo alla pericolosità sismica locale (figura 12: 6 *peric_territor*).

Rilievi della vulnerabilità

I rilievi della vulnerabilità sismica che, come detto, hanno interessato oltre 3.000 beni delle regioni Sicilia e Calabria, sono stati condotti da squadre di architetti, ingegneri ed esperti di storia dell'arte, oggetto di una formazione specifica per il progetto. Per raccogliere i dati relativi agli edifici è stata messa a punto una scheda di vulnerabilità sismica in formato elettronico, che ha permesso di evidenziare tutte le possibili criticità e che è stata compilata sul campo dalle squadre di rilevatori. Tale scheda è composta da due sezioni: quella relativa all'anagrafica del bene, che raccoglie solo informazioni generali su denominazione, localizzazione e destinazione d'uso e quella relativa alla vulnerabilità sismica in senso stretto, che è predisposta per l'inserimento di tutti i dati rilevati sul campo dalle squadre.

Nel corso del rilievo è stata posta particolare attenzione alla localizzazione geografica del bene mediante sistema GPS e alla sua corretta perimetrazione su ortofotocarte. Tutti i dati di partenza e i risultati delle operazioni di rilievo e di documentazione dei beni sono state condotte su computer palmari opportunamente programmati per lo scopo. I dati maggiormente significativi per la vulne-

abilità sismica raccolti nella fase di schedatura degli edifici e che possono essere nel loro insieme definiti come “fragilità” degli stessi, sono stati inseriti come dati di input in una specifica sezione ad articolazione molto complessa del SSD, come contributo alla vulnerabilità del manufatto (figura 12: 4 *fragilità*).

Il tema della vulnerabilità sismica, inteso come l’insieme dei caratteri strutturali e geometrici che possono favorire l’insorgere di danni a carico di un edificio a seguito di un terremoto, non viene affrontato nel presente contributo in maniera analitica, così come invece accade per i restanti elementi che concorrono alla determinazione del rischio sismico. Si tratta infatti di un argomento tecnico complesso sul quale è disponibile ampia letteratura specifica. Per una riflessione critica su alcuni dei problemi connessi con la stima della vulnerabilità, si veda il contributo di Ceradini (2010).

Rilievi dei microtremitori

Nel corso della campagna di rilievo dei microtremitori, che ha seguito quella di schedatura, sono state eseguite in totale 4.785 misure (2.900 in Sicilia e 1.885 in Calabria) con il tromografo digitale Tromino[®], che hanno permesso di determinare la categoria di sottosuolo per 3.025 beni (1.850 in Sicilia e 1.175 in Calabria), tra quelli censiti dal progetto. Sono state eseguite almeno 2 misure per ogni bene singolo e almeno 3 misure per ogni complesso (composto da 2 o più beni singoli). Tale campagna, coordinata da SGA Storia Geofisica Ambiente, ha reso possibile una prima stima dei possibili effetti di sito secondo la metodologia HVSR (Nakamura *et al.* 2008, Albarello *et al.* 2010).

A seguito di uno studio preliminare dei dati disponibili conseguente a una campagna di indagine speditiva eseguita per il progetto, si sono potute distinguere 5 categorie di sottosuolo sulla base della possibile amplificazione riscontrata (presenza di picchi nel rapporto tra velocità orizzontali e verticali H/V del rumore sismico), con attenzione particolare alle frequenze potenzialmente pericolose per gli edifici considerati, secondo lo schema riportato in figura 13. Le categorie B1 e B2 sono quindi quelle per cui è maggiormente probabile che si verifichino effetti di sito, che possono essere più rilevanti per B2 (picco più pronunciato), mentre le categorie A1, A2 e A3 sono a minor probabilità di effetti di amplificazione locale.

L’attribuzione ad una delle 5 categorie è stata fatta tenendo conto, non solo dei risultati delle misure relative al bene in oggetto, ma anche di quelle eventualmente eseguite su beni vicini e delle condizioni al contorno, anche in relazione a quanto indicato nella scheda geologica (si veda paragrafo seguente). Nel caso in cui le diverse misure eseguite sullo stesso bene, o sullo stesso complesso, abbiano prodotto risultati differenti, è stato in genere mantenuto un criterio cautelativo nella attribuzione della categoria di sottosuolo, a meno che alcune specifiche misure non siano state ritenute scarsamente affidabili, o comunque condizionate da fattori esterni.

In fase di pianificazione di nuove edificazioni i possibili effetti di sito dovuti all’amplificazione sismica di un luogo rispetto ad un altro rappresentano certamente un elemento di pericolosità locale. Nel caso di beni culturali però, in quanto già presenti in un luogo preciso sul territorio, si può considerare il sottosuolo di ciascuno di essi come un tutt’uno coi beni stessi e che quindi contribuisca alla vulnerabilità del bene stesso come elemento d’interazione terreno-struttura (figura 12: 5 *inter_terr_strutt*).

Per questo motivo, il dato relativo alla categoria di sottosuolo ricavato per ciascun bene come sopra dettagliato, è stato inserito, dopo un’opportuna parametrizzazione, all’interno del SSD come elemento che si combina alla fragilità del bene, determinata dalle sue caratteristiche geometriche, costruttive e dallo stato di conservazione e che contribuisce alla vulnerabilità del manufatto.

Caratteristiche geologiche dei terreni

I geologi esperti incaricati delle misure dei microtremori hanno compilato un questionario di 6 domande relative alle caratteristiche geologiche e morfologiche dell’area su cui sorge ciascun edificio oggetto di rilievo. I dati raccolti hanno fornito una sintesi, in prima approssimazione, della possibile incidenza di fattori morfologici o geologici sulla pericolosità locale (incremento o decremento). Sebbene tali informazioni siano da considerarsi indicative poiché ricavate da una valutazione soggettiva del rilevatore, basata sulla propria esperienza o sull’interpretazione di cartografie a diversa attendibilità e non da risconti oggettivi, come prove geologiche e geotecniche, esse si sono rivelate preziose sia come supporto all’interpretazione delle misure dei microtremori, sia per l’individuazione di fattori locali di incidenza sulla pericolosità sismica. Per questo i dati raccolti nelle schede geologiche sono stati inseriti fra i dati di input del SSD, come contributo alla pericolosità sismica locale (figura 12: *7 fattori_locali*).

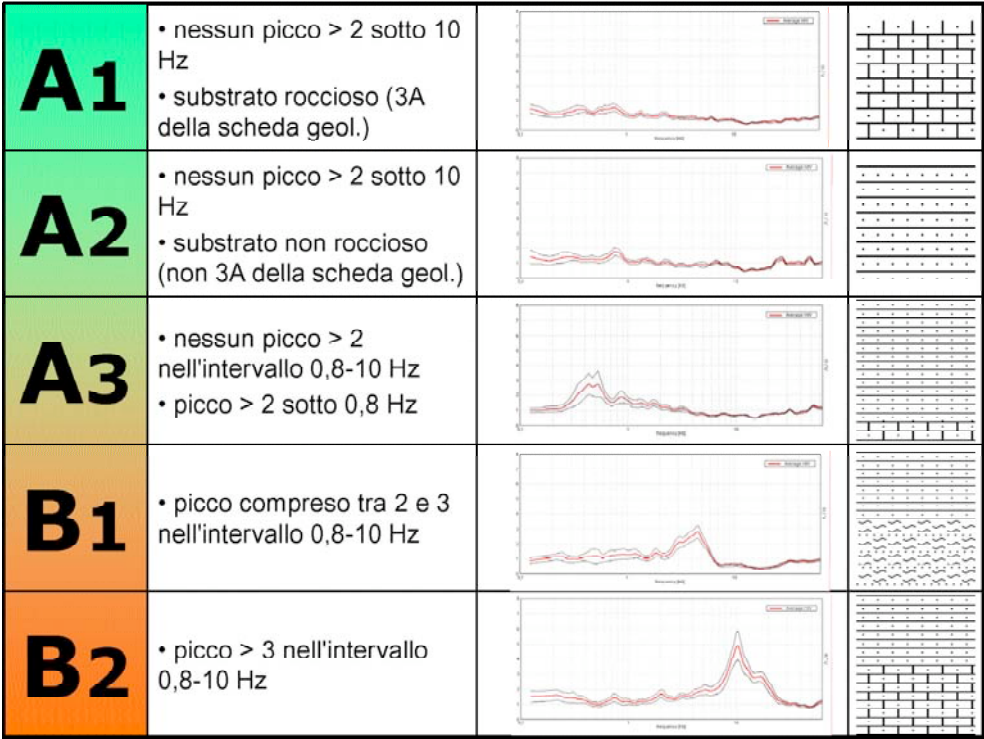


fig. 13 – Le 5 categorie di sottosuolo individuate sulla base delle curve HVSr, con aumento progressivo della potenziale pericolosità da A1 a B2.

Calcolo del rischio con il Sistema di supporto alle decisioni

Per valutare il rischio sismico per ognuno degli edifici considerati, analizzando e confrontando attraverso un sistema automatico di elaborazione, tutti i dati raccolti nel corso del progetto, SGA ha sviluppato un apposito SSD organizzato secondo un albero decisionale. Questo strumento ha permesso di classificare i beni esaminati attraverso l'attribuzione di un indice di rischio.

Il sistema, dopo aver confrontato a gruppi, secondo uno schema logico predefinito (figura 12), i diversi dati per ciascun bene, fornisce un ordinamento dei beni stessi sulla base di un valore assegnato e ordinato coerentemente con il senso logico degli indici utilizzati per realizzare l'analisi: tipicamente un insieme di valori compresi tra il minimo ed il massimo possibili, la cui consistenza numerica viene assicurata dalle tecniche di calcolo impiegate. La stima dell'indice di rischio avviene quindi come una combinazione lineare dei termini che stanno, nell'albero, subito prima (a destra in figura 12) e che possono essere due o più.

Il sistema permette il calcolo di diversi indici in corrispondenza dei diversi nodi dell'albero decisionale (figura 12):

Indice di rischio Parametro numerico che rappresenta in modo sintetico il livello di rischio a cui è esposto il manufatto come combinazione dell'indice di pericolosità sismica locale e dell'indice di vulnerabilità sismica.

Indice di vulnerabilità dell'edificio Parametro numerico che rappresenta in modo sintetico il grado di vulnerabilità complessiva a cui è esposto il manufatto come combinazione dell'indice di fragilità del manufatto e dell'indice di interazione terreno-struttura (effetti di sito).

Indice di fragilità dell'edificio Parametro numerico che rappresenta in modo sintetico il grado di vulnerabilità del manufatto come risultato delle sue sole caratteristiche geometriche e strutturali. Corrisponde all'indice di vulnerabilità generalmente inteso nell'ambito del Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti e della sperimentazione ENEA-MIUR - ICR. Tale indice è il risultato del calcolo da parte del sistema eseguito sulla base dei risultati della fase di rilievo della vulnerabilità. Tale valore di fragilità indica la propensione dell'edificio in esame a subire un danno, a seguito di un evento sismico, in ragione delle sole sue caratteristiche geometriche e strutturali. Si noti come la struttura logica del modello abbia previsto che la combinazione di tale valore con quello di interazione terreno-struttura, ottenuto a seguito delle indagini eseguite con la tecnica dei microtremiti, rappresenti la vulnerabilità complessiva del bene in esame, che è quindi data dalla combinazione di struttura e geometria dell'edificio con i possibili effetti di amplificazione locale a carico del sottosuolo dell'edificio stesso.

Indice dei fattori di interazione terreno-struttura Parametro numerico che rappresenta in modo sintetico le proprietà sismiche a piccola scala del sottosuolo del manufatto, capaci di condizionare l'interazione suolo-struttura (dall'analisi del tremore sismico rilevato con apposita strumentazione nelle immediate vicinanze del bene di interesse).

Indice di pericolosità sismica locale Parametro numerico che rappresenta in modo sintetico la pericolosità sismica a cui è sottoposto il bene come combinazione dell'in-

dice di pericolosità sismica territoriale e dell'indice dei fattori geologici locali.

Indice di pericolosità sismica territoriale Parametro numerico che rappresenta in modo sintetico il livello di scuotibilità a scala territoriale per l'area in cui si trova il bene.

Indice dei fattori geologici e geomorfologici locali Parametro numerico che rappresenta in modo sintetico i possibili fenomeni indotti dal moto sismico sul suolo di fondazione (frane, liquefazione ecc.) capaci di modificare le condizioni statiche e dinamiche dell'edificio. La stima di questo parametro è frutto di una valutazione della situazione geologica e geomorfologica locale dedotta da dati territoriali (acclività dei versanti, carta litotecnica ecc.) e dal rilievo di campagna fatto in un intorno dell'edificio.

Il sistema consente di attribuire pesi diversi ai valori confrontati nei diversi nodi dell'albero, attraverso i quali chi interroga il sistema può decidere se aumentare o diminuire l'importanza di ciascuna variabile. Le matrici di pesi di volta in volta create possono essere salvate come diversi modelli di calcolo. Come illustrato in figura 10, l'applicazione di modelli differenti può attribuire valori diversi agli indici per uno stesso bene e quindi anche l'ordinamento finale dei beni può

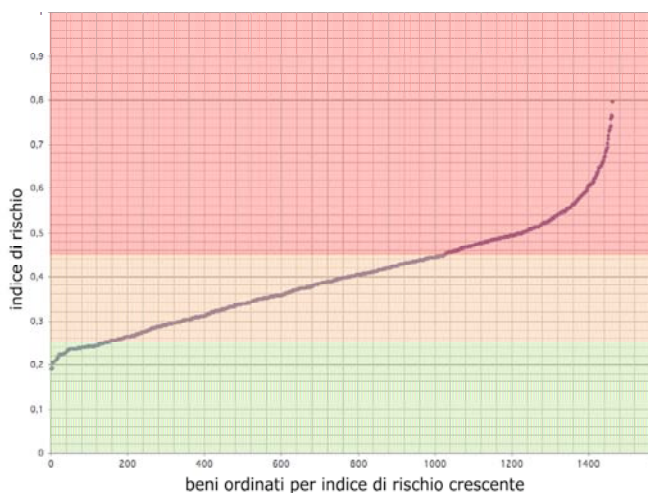


fig. 14 Esempio di grafico del rischio sismico delle chiese della Calabria e della Sicilia considerate nel progetto. Le tre fasce orizzontali di diverse tonalità di grigio rappresentano rispettivamente, dall'alto verso il basso, rischio alto, medio e basso. Questa classificazione serve a confrontare i dati di questo metodo con quelli dei metodi di calcolo tradizionali.

risultare diverso. A seguito di ripetuti test su un numero consistente di beni delle diverse tipologie è possibile affinare i modelli e scegliere quello che si ritiene fornisca un risultato migliore.

Un vantaggio intrinseco di questo approccio al calcolo di vulnerabilità e rischio sismico del patrimonio monumentale storico, rispetto ai metodi tradizionali, è che i parametri attribuiti ai beni sono valori numerici (figura 14). I metodi tradizionali, invece, classificano i beni in un numero molto limitato (3-4) di categorie di rischio, ad esempio: alto, medio, basso. Questo significa che se abbiamo ad esempio 1.500 beni e supponiamo che, per semplificare siano ugualmente distribuiti in tutte le tre categorie di rischio, avremo che 500 edifici sarebbero in modo indistinto tutti ad alta vulnerabilità e, non avendo risorse per operare su tutti, non ci sarebbero strumenti oggettivi per scegliere i beni su cui intervenire prioritariamente. L'approccio con il metodo del SSD applicato in questo progetto rende possibile ordinare tutti i beni in base ad esempio al rischio (figura 14) a cui sono esposti e quindi consente di orientare sui beni

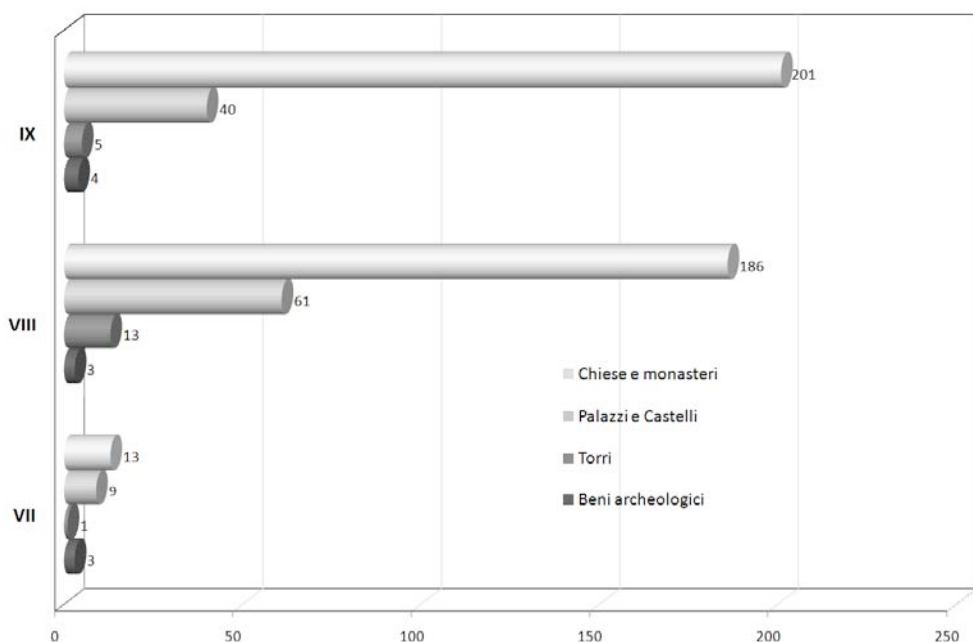
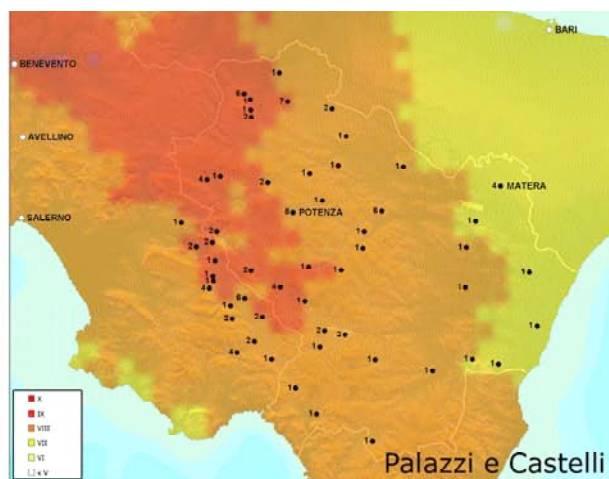
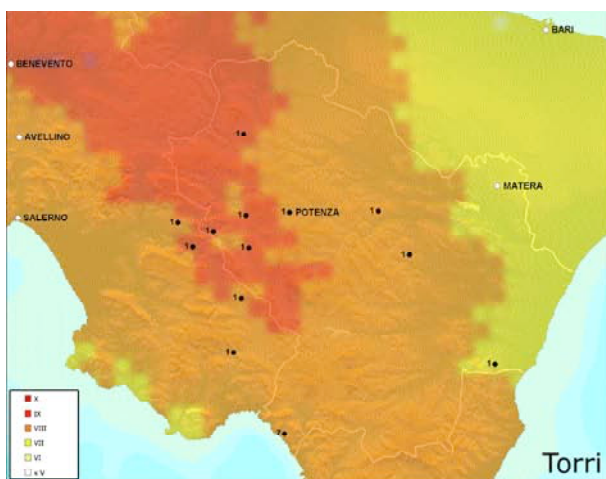


fig. 15 Numero dei beni esposti per ciascuno dei valori della massima intensità macrosismica MCS che è ragionevole attendere in area lucana (Basilicata e Vallo di Diano) in 50 anni (figura 9 in Albarello 2010).

più esposti le risorse economiche disponibili per la riduzione del rischio.

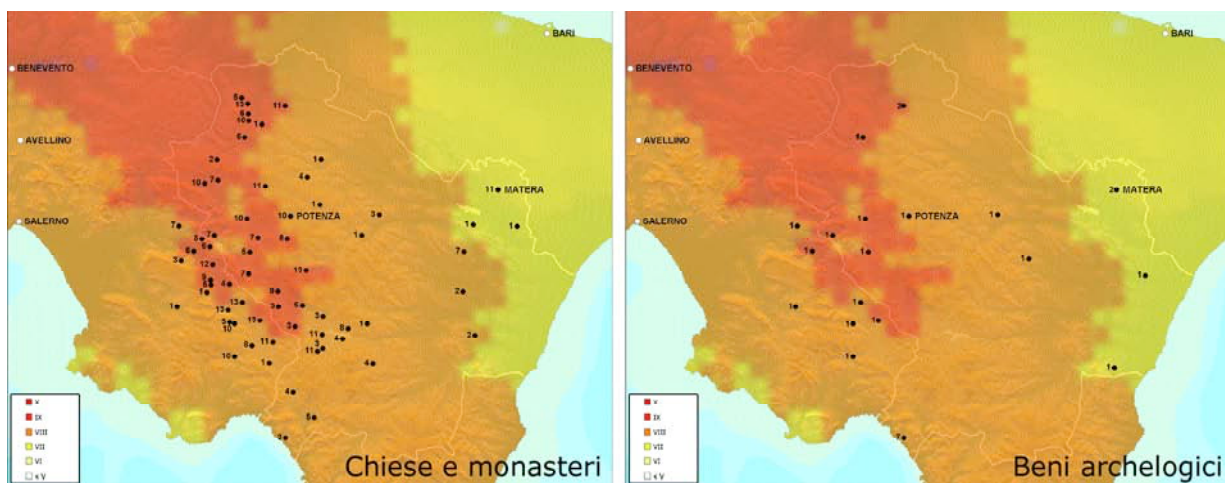
Una delle potenzialità del progetto è, inoltre, la possibilità di completare il censimento dei beni monumentali del territorio delle due regioni interessate, in quanto data l'enormità del patrimonio culturale immobile italiano, gli uffici centrali e periferici del Ministero dei beni e delle attività culturali spesso non dispongono di elenchi completi dei beni presenti sul territorio.



2.3. I beni monumentali storici dell'area lucana: rischio sismico e prevenzione

L'area lucana qui considerata, comprendente la Basilicata e il Vallo di Diano, presenta un patrimonio monumentale storico di assoluto rilievo, anch'esso esposto a valori di pericolosità fra i più alti del territorio nazionale. L'assenza di un censimento completo dei beni culturali monumentali, in quest'area come nella maggior parte del Paese, non consente stime attendibili del rischio sismico a cui è esposto il questo patrimonio. Per avere comunque un'idea di massima, molto preliminare del patrimonio esposto ai diversi livelli di pericolosità sismica dell'area, è stato condotto un censimento speditivo a partire dai dati raccolti nel corso del progetto Laboratorio Mallet, in gran parte confluiti nei DVDROM del Viaggio di Mallet. Sono stati censiti 538 beni, distribuiti su 4 categorie, distinte secondo le caratteristiche e le complessità strutturali: torri, palazzi e castelli, chiese e monasteri, beni archeologici. I numeri reali sono di sicuro largamente superiori, tuttavia, questo approccio ci consente di avere un'idea di massima della consistenza del patrimonio esposto ai livelli di danno maggiori e della distribuzione geografica dei beni rispetto alla mappa tematica delle massime intensità. Facendo riferimento alla mappa di pericolosità sismica di quest'area (Albarello 2010) la situazione dei beni monumentali storici dell'area, rispetto ai diversi valori di intensità è rappresentata in figura 15. La figura 16 mostra, invece, la distribuzione geografica dei beni monumentali storici considerati, sulla base tematica della pericolosità sismica. Si su 538 beni considerati, ben 250 (45,5%) ricadono in aree caratterizzate da intensità massima sui 50 anni del IX grado, 263 (48,7%) ricadono invece in aree di VIII grado. Complessivamente il 94,2% dei beni cade in aree in cui l'intensità massima corrisponde a distruzioni parziali o totali dell'edificato, mentre il restante 5,8% è localizzato in aree dove sono previsti comunque effetti di danno grave. Questo risultato, seppure for-

fig. 16 Localizzazione e quantificazione dei beni esposti per le 4 distinte tipologie di beni (pagina a fianco i basso e qui sotto), sulla mappa che rappresenta i valori della massima intensità MCS che è ragionevole attendere in area lucana (Basilicata e Vallo di Diano) in 50 anni.



temente indicativo, non fornisce nessuna informazione riguardo al rischio in quanto non conosciamo la vulnerabilità dei beni, né il valore esposto degli stessi. Per questi due dati è necessario un censimento specifico, speditivo o analitico, analogamente a quanto fatto in Calabria e Sicilia, precedentemente descritto. Da quello che si conosce delle caratteristiche costruttive di quest'area, dei materiali e geometrie utilizzati, delle vicende storiche, dei terremoti, delle frane, delle guerre, del livello medio-basso della manutenzione ordinaria e straordinaria, si può immaginare che la vulnerabilità di questi beni sia comunque mediamente non bassa. È ragionevole quindi immaginare che, almeno per i beni qui considerati, il livello di rischio sismico sia mediamente da medio ad alto. Quest'ultima conclusione fornisce un'immagine molto sintetica e preliminare del problema, ma non risolve il problema di avere il dettaglio sufficiente a ordinare i beni in base al livello di rischio, come ad esempio per la Calabria e Sicilia in figura 14. Questo è il requisito indispensabile per stimare e reperire le risorse necessarie alla riduzione del rischio sismico di questi beni e per programmare le priorità di intervento.

Quella qui delineata è un'analisi molto preliminare del potenziale di beni culturali della Lucania a rischio di danni gravi o distruzione. In realtà il patrimonio di beni è sicuramente molto superiore. Una campagna di rilievi e studi condotta in quest'area, come quella realizzata in Calabria e Sicilia, consentirebbe di avere un quadro più completo e preciso della consistenza del patrimonio monumentale e dei valori di rischio sismico di ciascun bene. Infine, una corretta politica di prevenzione costa meno di una ricostruzione, sia dal punto di vista economico che sociale. Infatti, come si è detto, il bene monumentale storico è un patrimonio di grande valore non solo culturale ed economico ma, soprattutto, identitario di una comunità.

Bibliografia

- Adam J-P. 1988, *L'arte di costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*, Milano.
- Adam J-P. 1989, L'edilizia romana privata: Pompei e il suo agro, in *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area Mediterranea, Storia Archeologia, Sismologia*, INGV-SGA, Bologna, 224-243.
- Albarello D. 2010, *Terremoti e beni culturali in Lucania: una stima della pericolosità sismica dall'analisi delle storie sismiche al sito*, in Ferrari G. 2004-2009, 5, 103-128.
- Albarello D., Bianca M., Gallipoli M.R., Lizza C. Mucciarelli M. 2010, Indagini speditive di comportamento dinamico di edifici monumentali storici e dei loro suoli di fondazione, in Ferrari G. 2004-2009, 5, 213-232.
- Barbieri G. e Gambi L., 1970, *La casa rurale in Italia*, CNR, Firenze.
- Cagiano de Azevedo M. 1974, Aspetti urbanistici delle città medievali, in *Topografia urbana e vita cittadina nell'Alto medioevo in Occidente*, XXI settimana di Studi del Centro Italiano di Studi sull'Alto Medioevo, Spoleto, II, 641-677.
- Ceradini V. 2010, Problemi di valutazioni della vulnerabilità sismica degli edifici. Dall'Aquilano alla Basilicata, in Ferrari G. 2004-2009, 5, 205-212.
- D'Agostino S., 2002, Historical buildings as an archive of the material history of construction, in *Towards a history of Construction: Dedicated to Edoardo Benvenuto*, editors: Becchi A., Corradi M., Foce F. and Pedemonte O, Berlin, 369-376.
- D'Agostino S. 2005, Il contributo dell'ingegneria per i beni culturali alla conservazione

- del patrimonio costruito, in *Teoria e pratica del costruire. Saperi, strumenti, modelli: esperienze didattiche e di ricerca a confronto*, a cura di G. Mochi, Ravenna, 3, 1073-1077.
- Ferrari G. (a cura di) 2004-2010, *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857*, 6 voll. e 3 DVDROM, Bologna.
- Ferrari G. e Guidoboni E. 2000, Seismic scenarios and assessment of intensity: our criteria for the use of the MCS scale, in: Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 BC. to 1997, Introductory texts, *Annali di Geofisica* 43(4), 707-20.
- Ferrigni F., Helly B., Mauro A., Mendes Victor L., Pierotti P., Rideau A., Teves Costa P. 2005, editors *Ancient buildings and earthquakes. The Local Seismic Culture Approach principles, methods, potentialities*, Centro Culturale Europeo di Ravello, Council of Europa, Strasburg, Bari, 360 pp.
- Foufa A. 2005, *Contribution for a catalogue of earthquake resistant traditional techniques in northern Africa: the case of the Casbah of Algiers*, Algeria, European Earthquake Engineering, 2, 23-39.
- Galetti P. 1985, Struttura materiale e funzioni negli insediamenti urbani e rurali della Pentapoli, in *Ricerche e Studi sul Breviarium Ecclesiae Ravennatis*, Studi Storici, Roma, 148-149.
- Giuffr  A. e C. Carocci (a cura di) 1999, *Codice di Pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*, Roma-Bari.
- Gruppo di lavoro CPTI 2004, *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, versione 2004. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- Guidoboni E. 2000, Method of investigation, typology and taxonomy of the basic data: navigating between seismic effects and historical contexts, in: Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997, Introductory texts, *Annali di Geofisica*, 43(4), 621-66.
- Guidoboni E. 2007, I forti terremoti in Italia: ricerca storica, effetti, prospettive, in G. Ferrari (a cura di) *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857*, 3, 65-120.
- Guidoboni E. 2010, Anamnesi sismica e storia costruttiva dei monumenti: strumenti di conoscenza per la conservazione e il restauro, in Ferrari G. 2004-2009, *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857*, 5, 129-204.
- Guidoboni E., Ciuccarelli C. e Mariotti D. 2004, Terremoti del passato e monumenti: il caso della Liguria occidentale, in *L'ingegneria sismica in Italia*, Genova 25-29 gennaio 2004, CD-Rom a cura di S. Lagomarsino e S. Resemini, memoria A1-04.
- Guidoboni E, Comastri A. and Traina G., 1994, *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to 10th century*, ING-SGA, Bologna, 504 pp.
- Guidoboni E. e Ebel J.E. 2009, *Earthquakes and Tsunamis in the Past: a Guide to Techniques in Historical Seismology*, Cambridge University Press, Cambridge- New York, 590 pp.
- Guidoboni E. e Ferrari G. 2000, The effects of earthquakes in historical cities: the peculiarity of the Italian case, in: Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 BC. to 1997, Introductory texts, *Annali di Geofisica*, 43(4), 667-86.
- Guidoboni E. e Ferrari G, 2000, Historical variables of seismic effects: economic levels, demographic scales and building techniques, in: Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 BC. to 1997, Introductory texts, *Annali di Geofisica*, 43(4), 687-705.
- Guidoboni E., G. Ferrari, D.Mariotti, A.Comastri, G.Tarabusi and G.Valensise 2007 -

- CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. Disponibile all'indirizzo: <http://storing.ingv.it/cfti4med/>. Nakamura Y., Saita J. and Sato T. 2008, *Applications to World Heritage Sites*, in Mucciarelli M., Herak M., Cassidy J., (eds.), *Increasing seismic safety by combining engineering technologies and seismological data*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental, Springer, 293-324.
- Pierotti P. e Ulivieri D. 1999, *Le culture sismiche locali in Garfagnana e Lunigiana*, Centro Universitario Europeo di Ravello, Regione Toscana, DVD rom.
- Rodolico F. 1953, *Le pietre delle città d'Italia*, Firenze.
- Rostow W.W. 1978, *The World Economy. History and Prospect*, Austin.
- Toubert P. 1973, *Les structures du Latium médiéval. Le Latium méridional et la Sabine du IXe siècle à la fin du XIIe siècle*, Ecole Française, Roma.
- Ward-Perkins B. 1984, *From classical antiquity to the Middle Ages. Urban Public Building in Northern and Central Italy AD 300-850*, Oxford (UK).

Abstract

The authors examine the historical roots of the Italian building characteristics, from which styles and techniques were born that have in time shaped the country's great architectural wealth. This historical approach aims to place the monuments in the cultural and environmental contexts, where the rules of good building have had to come to terms with the seismic nature of the places, as well as with economic demands and anthropic destruction. From this standpoint, the monuments and local historic building emerge as great palimpsests, by means of which it is possible to read an unwritten history, which reveal very important elements for the preservation and the history of the places. The attempt to defend oneself from the seismic damage has always driven the builders to find solutions to consolidate, according to the ideas of the times, individual buildings or whole sections of towns. Today it is important to know about this history, related to the seismic characteristics of regional areas, and with the dangers of the urban centres.

In order to know how and where to step in to reduce the seismic fragility of the Italian historical monumental assets, it is first of all necessary to have a thorough knowledge of the values of risk, hazard, vulnerability and exposure of each asset.

A recent pilot project has allowed us to test, for about 3,000 monumental assets in the regions of Calabria and Sicily, an integrated approach for the evaluation of hazard, vulnerability and risk. A summary of the methodology honed and tested during the project on each of the assets studied is presented: from the studies for the reconstruction of the seismic anamnesis, to the precise method of calculation of the seismic hazard; from the surveying of the structural and building characteristics, to the measurement of the seismic micro-tremor for the identification of the possible site effects. We also illustrate the method for processing the data collected for the calculation of the hazard by means of a Decision Support System (SSD) specifically developed for the project, which for example allows us to arrange the assets surveyed by the project according to growing risk value and thus to channel the economic resources available for the risk reduction itself towards the most highly exposed assets.

The methodology described could be applied to the important monumental and historical assets of the Lucania area, exposed to some of the highest hazard rates for the national territory.