

0. INTRODUZIONE

Alberto Bernardini

0.1 Articolazione delle ricerche nel triennio

Nel presente volume sono sintetizzate le attività svolte nell'ambito del Programma triennale di ricerca GNDT 1996-1998 dalle unità di ricerca che si sono occupate della Vulnerabilità sismica degli *edifici ordinari*, con particolare riguardo agli edifici in muratura.

Il titolo del sotto-progetto, l'elenco delle UR e dei responsabili, l'articolazione dei sub-obiettivi fanno riferimento a quanto stabilito per il terzo anno della ricerca, e cioè nell'ambito del PE98 del GNDT. Ma in realtà il rendiconto si riferisce all'intera attività iniziata ancora nel 1995 in sede di progettazione delle ricerche per Piano triennale 1996-98.

Nella prima riunione dell'11 Dicembre 1995 veniva ipotizzata una ricerca riguardante la "Vulnerabilità degli edifici in muratura" coordinata fra le UR di Padova (A. Bernardini), Roma³ (A. Giuffrè), Napoli (A. Baratta) e Potenza (M. Dolce). Il punto di partenza era una analisi critica dello stato delle conoscenze e dei metodi applicati nei due decenni precedenti in Italia:

"Le ricerche svolte nell'ambito PFG e successivamente GNDT hanno fornito metodologie di analisi della vulnerabilità degli edifici in muratura a diversi livelli di approssimazione in funzione dei diversi livelli delle informazioni disponibili. In particolare metodologie basate su matrici di danno per caratterizzazione tipologica ed inferenza statistica a partire dai dati del più significativo rilievo di danneggiamento sismico eseguito in Italia (Irpinia 1980); misura di vulnerabilità con l'indice di Benedetti-Petrini e successive modifiche; modellazioni approssimate della risposta sismica e dei modi di collasso; etc..

Non sembra peraltro ancora chiaro un quadro concettuale del problema che consenta di comprendere il significato, l'attendibilità ed il grado di incertezza delle misure di vulnerabilità proposte. La mancanza di tale quadro si manifesta in particolare quando le misure di vulnerabilità debbano essere combinate con misure di esposizione per ottenere valutazioni complessive di rischio sismico significative ad esempio per giustificare analisi di costi-benefici di operazioni sistematiche di rinforzo.

Per quanto riguarda i metodi di primo livello, che, essendo tarati per inferenza statistica, forniscono in modo diretto stime di valori attesi di danneggiamento in funzione dell'intensità macrosismica, il loro valore predittivo quando applicato a tipologie edilizie simili ma ovviamente non coincidenti con quelle originali è tutto da dimostrare. Ad esempio quando il numero dei piani degli edifici sia piuttosto alto.

Per quanto riguarda l'indice di Benedetti-Petrini si tratta di una misura sostanzialmente empirica e la sua correlazione con misure di danneggiamento riscontrate (ad esempio Gubbio) sembra piuttosto bassa. Anche in questo caso inoltre non sono ben definiti i limiti delle tipologie edilizie cui la misura può

utilmente applicarsi: ad esempio se a tipologie di edifici sostanzialmente isolati e regolari ovvero anche a tipologie edilizie di tipo continuo ed interagenti.

Una maggiore aderenza alla tipologia edilizia effettivamente considerata nell'analisi di vulnerabilità può riscontrarsi nelle metodologie che tentano di modellare la risposta sismica ed i modi di danneggiamento-collasso degli edifici. Ma anche in questo caso restano aperti numerosi problemi: la definizione del danno, la correlazione fra intensità macrosismica o fra accelerazioni massime al suolo e accelerazioni medie di risposta, l'influenza del contenuto spettrale dell'eccitazione, il grado di incertezza dei risultati relativi ad ogni edificio e quindi al gruppo di edifici. In ogni caso è da discutere la possibilità di prevedere con tali modelli i livelli più bassi di danneggiamento, collegati a comportamenti quasi-elastici della risposta.

Si tengano infine presenti le seguenti esigenze:

A - Una struttura razionale, su più livelli, di modelli di vulnerabilità dovrebbe consentire di valutare il campo di applicazione e l'incertezza delle analisi eseguite ad un certo livello tramite le analisi svolte al livello superiore.

B - Le previsioni effettuate devono essere non ambigue, e quindi in ogni caso verificabili sulla base della rilevazione dei danni post-terremoto.

C - Almeno a livello superiore il modello dovrebbe tener conto di aspetti di tipo qualitativo relativi ai singoli edifici e considerazioni relative al sistema di edifici”

Si delineavano i seguenti obiettivi:

- 1- rivedere criticamente i modelli di vulnerabilità disponibili;*
- 2- definire una serie coerente, su più livelli, dei modelli di vulnerabilità degli edifici in muratura adatti alle tipologie presenti in Italia;*
- 3- ridefinire la struttura informatica necessaria ad ogni livello (basi di dati, schede e manuali, sistemi esperti)*
- 4- ridefinire la struttura informatica necessaria per il rilievo del danneggiamento (schede per ispezione post-sisma)*
- 5 - eseguire esperienze di rilievo a più livelli di campioni di edifici di muratura;*
- 6 - preparare una significativa e vasta campagna di analisi della vulnerabilità nella Sicilia orientale (progetto "Catania").*

Su questi obiettivi le 4 UR preparavano i relativi programmi di ricerca per il PE96, costituendo una linea di ricerca “Vulnerabilità dell’edilizia muraria” (responsabile A. Bernardini) nell’ambito dell’Obiettivo B2 “Vulnerabilità e rischio a scala sub-regionale e urbana” (responsabile A. Corsanego, Università di Genova). Accanto ad una attività autonoma delle singole UR, si svolgono momenti di confronto collettivo (il Seminario del 2 febbraio 1996 a Roma, la partecipazione al convegno del TOSQA Project a Napoli, 1 Marzo 1996 (Baratta et al 1996), l’incontro del 21 Settembre a Messina nell’ambito del Convegno su “La meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto”).

Tenendo conto anche delle indicazioni scaturite dalla Conferenza di Erice sul “Rischio sismico in Italia” (26 Agosto-2 Settembre 1996), si constatava

“.. lo spostamento dell’interesse prevalente dai “modelli di previsione” alla lettura del danno, la sua definizione e scala di misura, tecniche di rilievo e di rappresentazione/codificazione a diversi livelli (da quello della rapida ispezione post-sisma a quello basato su una approfondita analisi storico-critica della qualità del costruito). La definizione del danno coinvolge considerazioni di carattere economico (i costi delle riparazioni), strutturale (la riduzione della capacità portante, sicurezza, abitabilità) ed osservazioni fenomenologiche (ampiezza ed estensione delle fessure, etc...) fra di loro correlate, ma secondo correlazioni non sufficientemente analizzate e giustificate. Un chiarimento sulla misura del danno servirà successivamente a dare maggiore concretezza ai modelli di previsione, siano essi costituiti da matrici di probabilità di danno per tipologie o valutazioni basate sul metodo del danno storico o considerazioni dedotte dalle analisi dei meccanismi di rottura”.

Nasceva da queste idee e dalla disponibilità alla collaborazione da parte di un nutrito gruppo di ricercatori del SSN (guidato da *Riccardo Colozza*) e dal gruppo GNDT dell’Aquila (*Antonio Martinelli*) l’idea messa a punto a Roma il 15 Novembre 1996 di un Gruppo di Lavoro GNDT/SSN per l’aggiornamento delle procedure di rilievo danno/fattori di vulnerabilità degli edifici.

Questo obiettivo viene formalizzato nell’ambito delle attività per il PE97 – 4.2.3 “Vulnerabilità e Rischio del patrimonio Edilizio e di Sistemi distribuiti e lifelines” (Resp. M. Dolce, Università della Basilicata).

In questo progetto peraltro le attività delle 4 UR di Napoli, Padova, Roma3 e Basilicata si ampliavano e si disaggregavano nei seguenti obiettivi:

- 1.1 Aggiornamento delle mappe di vulnerabilità nazionale (responsabile: *G. Zuccaro*, UR Napoli, in prosieguo dei lavori in convenzione tra Centro LUPT e SSN).
- 2.1 Ridefinizione delle procedure di rilievo del danno e dei fattori di vulnerabilità degli edifici (responsabile: *A. Bernardini*, UR Padova, UR Basilicata, UR Napoli, UR GNDT L’Aquila, SSN).
- 2.2 Regionalizzazione delle valutazioni di vulnerabilità (responsabile: *A. Baratta*, UR Napoli, UR Basilicata, UR GNDT L’Aquila).
- 2.3 Lettura strutturale dell’edilizia storica (responsabile: *A. Giuffrè*, UR Roma3, UR Padova, UR GNDT L’Aquila).

Correlata a tale campo di ricerche e nell’ambito del PE97 si sviluppa l’attività della UR Roma1:

- 5.4 Sviluppo di uno strumento per la costruzione di sistemi esperti (responsabile: *C. Gavarini*, UR Roma1).

L’intervento su Catania invece non compare più fra gli obiettivi della linea, anche se rimane fra le attività previste dalle UR di Padova e Napoli nell’ambito del “Progetto Catania” del GNDT coordinato da *E. Faccioli*.

Di questi obiettivi il 2.1, che coinvolge le 4 UR del PE96 con il SSN ed la UR GNDT dell'Aquila, è quello che più direttamente assume le ipotesi di lavoro iniziali. A Settembre 1997 sono identificati tre livelli coordinati di lettura del danno e di descrizione degli edifici e per il primo livello viene proposta una scheda di rilievo, pensata anche come strumento di gestione dell'emergenza post-sismica e guida alla formulazione del giudizio di agibilità.

Per quanto riguardano gli obiettivi 1.1 e 2.2 la UR Napoli inizia il lavoro di collaborazione previsto con il SSN, mentre per quanto riguarda l'obiettivo 2.3 inevitabile risulta il ritardo dovuto alla malattia prima e quindi la dolorosa scomparsa di *Antonino Giuffrè*: la perdita quindi per il gruppo di chi fin dall'inizio ne aveva definito gli obiettivi ed il metodo di lavoro.

A fine Settembre 1997 l'inizio della lunga sequenza sismica nell'Umbria e nelle Marche rende necessaria una ulteriore modifica delle priorità. Da un lato costituisce l'occasione, necessaria anche se forse prematura, per sperimentare sul campo la nuova scheda di primo livello elaborata dal Gruppo di LAVORO SSN-GNDT (circa 40.000 edifici vengono censiti con la nuova scheda nella Regione Marche), dall'altro consente di verificare sul campo le ipotesi di classificazione e lettura del danno sismico agli edifici, raccogliendo una documentazione di straordinario interesse.

La maggior parte delle attività svolte dalle UR per il PE96 e 97 sono state presentate e discusse in un Convegno Internazionale sulle "*Measures of Seismic Damage to Masonry Buildings*", Monselice, Padova, 25-26 June 1998 (Bernardini, 1999). Il convegno, coordinato con le attività della European Network on Seismic Risk, Vulnerability and Earthquake Scenarios (ENSeRVES) ha consentito di eseguire un utile confronto fra le ipotesi di ricerca del gruppo e l'esperienza di altri paesi, in particolare dell'Est europeo (Romania, Grecia, Slovenia, Repubblica Ceca) soggetti ad analogo rischio sismico, in particolare tenendo conto anche della nuova Scala Macrosismica Europea EMS95.

All'inizio del 1998 l'attività del terzo ed ultimo anno (PE98) viene ulteriormente riconfigurata, anche allo scopo di più precisamente definire i prodotti finali. Nell'ambito del Progetto 5.4 - Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità degli edifici (responsabile *M. Dolce*) viene attivato il Sottoprogetto 5.4.1 - Valutazione a scala nazionale della vulnerabilità degli edifici (responsabile *A. Bernardini*) nel quale riconfluiscono tutte le attività autonome ed in collaborazione con il SSN e UR GNDT dell'Aquila delle UR Napoli, LUPT (*G. Zuccaro*) Padova (*A. Bernardini*) e Roma3 (ora coordinata da *C. Baggio*).

Inoltre due nuove UR si affiancano: la UR Torino (*A. De Stefano*), che porta all'interno del gruppo l'esperienza maturata nell'uso delle reti neurali istruite per descrivere la correlazione statistica fra fattori di vulnerabilità e danno, e la UR Milano IRRS (*F. Meroni*) che già nell'ambito di altri Progetti GNDT aveva sviluppato ricerche per la derivazione, dai dati I STAT nazionali sulle abitazioni, di stime di vulnerabilità media delle sezioni censuarie.

0.2 Descrizione delle ricerche presentate

Risulta quindi alla fine di questa complessa storia l'articolazione di obiettivi e prodotti, così come appare nel presente volume. Al volume è allegato un CD contenente versioni più estese delle relazioni, abachi e materiale grafico, programmi di calcolo automatico per l'esecuzione delle procedure messe a punto nelle ricerche.

Nei primi cinque capitoli vengono rendicontate le ricerche svolte nel triennio e riguardanti le metodologie per l'analisi di vulnerabilità degli edifici di muratura.

In particolare :

- Nel Capitolo 1 viene descritta l'attività del Gruppo di Lavoro GNDT-SSN, la Scheda di primo livello utilizzata nelle Marche nel 1997, il lavoro di modifica e calibrazione suggerito dall'esperienza e quindi la versione finale della scheda, con relative Istruzioni e Manuale esteso per un corretto utilizzo. Sono inoltre riportate le idee generali che dovrebbero guidare in modo coerente le nuove metodologie di secondo e terzo livello. La scheda originale (AeDES 05/2000) ed il Manuale di Istruzioni sono interamente riprodotti nel CD allegato.
- Nel Capitolo 2 viene descritta l'attività svolta nel triennio dalla UR Padova per la calibrazione della metodologia VULNUS, lo sviluppo di metodi per la lettura del danno basato sull'identificazione dei meccanismi principali innescati dal sisma. Il programma di calcolo VULNUS, assieme ad una relazione estesa illustrativa della metodologia ed indicazioni per l'installazione e gestione dei dati di input/output sono inseriti nel CD allegato.
- Nel capitolo 3 la UR Roma³ espone un riesame critico e sistematico dei metodi lungamente sperimentati da *Antonino Giuffrè* per la valutazione di vulnerabilità sismico del costruito storico, l'elaborazione di codici di pratica per il rinforzo e la classificazione dei meccanismi di collasso. La qualità della muratura è anche misurata tramite test numerici della resistenza ad azioni laterali nel piano e fuori del piano della parete. Un ampio catalogo di tipologie murarie è riportato nel CD allegato.
- Nel Capitolo 4 la UR Torino espone i risultati dell'addestramento di due reti neurali probabilistiche per la previsione del danno di edifici in muratura: i dati tipologici di input della prima (NEURAL_1) sono estratti da circa 1100 schede GNDT complete di primo e secondo livello, mentre il corrispondente danneggiamento sismico è un parametro sintetico ricavato dalle descrizioni del danno della scheda di primo livello; la seconda (NEURAL_2) utilizza invece una lista più ristretta di dati tipologici estratti dalla sola scheda di primo livello, potendo quindi accedere ad una base di dati molto più ampia di circa 31000 edifici per l'addestramento ed il controllo; in entrambi i casi i parametri di input comprendono l'intensità macrosismica MCS (da 4 a 10) del sito di osservazione del danno.

- Nel Capitolo 5 la UR Roma1 espone una serie di risultati relativi ad applicazioni di Intelligenza Artificiale alla valutazione di vulnerabilità degli edifici in muratura, alla formulazione del giudizio di agibilità degli edifici ordinari nell'emergenza post-sismica e alla sismicità storica, in particolare mediante la shell KSBT appositamente costruita per la preparazione di sistemi esperti.

Successivamente, nei Capitoli conclusivi 6 e 7, sono invece rendicontate le ricerche per l'Aggiornamento delle valutazioni a scala regionale e nazionale della vulnerabilità degli edifici ordinari. Più precisamente:

- Nel Capitolo 6 la UR Milano IRRS fornisce e giustifica una mappa di vulnerabilità media dei singoli Comuni e Sezioni censuarie, basata sui dati ISTAT 1991 delle abitazioni (raggruppate, tramite opportuni criteri di aggregazione, in edifici) ed una calibrazione, tramite una base dati di circa 28000 schede GNDT complete dei dati tipologici di primo e secondo livello di edifici, prevalentemente in muratura, che consente di associare ad ogni combinazione dei parametri ISTAT una distribuzione di probabilità dell'indice di vulnerabilità di Benedetti_Petrini. Mappe di vulnerabilità media comunale per l'intero territorio italiano (separatamente per l'intero tessuto edilizio residenziale (Figura 6.6) e per l'edilizia in muratura (Figura 6.7)) sono riportate in fogli allegati al Volume e nel CD. Nello stesso CD sono inoltre riportati valori numerici dei parametri di vulnerabilità per tutti i Comuni italiani.
- Nel Capitolo 7 la UR di Napoli LUPT descrive una analoga mappa di vulnerabilità dei Comuni Italiani, anch'essa basata sui dati ISTAT 1991 (da cui il SSN ha stimato per ogni Comune Italiano distribuzioni di tre classi tipologiche di edifici in muratura e della classe tipologica degli edifici in cemento armato) ed una calibrazione eseguita su un campione rappresentativo di 79 Comuni studiati a partire dal rilievo aerofotogrammetrico e il rilievo diretto di un campione di edifici. Sono state definite 6 classi di vulnerabilità comunale rappresentative del loro tessuto edilizio tramite le frequenze relative delle 4 tipologie edilizie sopra indicate e ad ogni Comune italiano è stata assegnata la corrispondente classe di vulnerabilità (Allegato 7.17). Il risultato estende la preliminare analisi calibrata su un campione di 35 Comuni ottenuta nell'ambito di una Convenzione fra lo stesso LUPT ed il SSN. La grande quantità di tipologie edilizie esaminate ed i risultati delle indagini statistiche sono riportati in dettaglio nel CD e nei Fogli allegati. E' stato inoltre proposto un aggiornamento delle Matrici di Probabilità di Danno in funzione dell'Intensità macro-sismica MCS, inizialmente elaborate a partire dai dati di danneggiamento del terremoto dell'Irpinia, 1980; l'aggiornamento è basato sulla più ampia documentazione oggi disponibile dei danneggiamenti sismici disponibile nella Banca dati di vulnerabilità del GNDT (purtroppo ancora non comprendente i dati dei più recenti terremoti

di Umbria-Marche 1997 e del Pollino) ed è separatamente fornito per le 4 tipologie edilizie di muratura e di cemento armato sopra indicate. La combinazione dei due risultati consente quindi di associare una relazione fra danno medio ed intensità macrosismica ad ogni classe di vulnerabilità comunale e quindi in definitiva ad ogni comune italiano.

0.3 Osservazioni conclusive

In conclusione, e senza alcuna pretesa di dare un giudizio critico che sarà espresso dagli organi competenti e dal lettore, si può dire che l'attività del triennio ha solo cominciato a delineare una risposta ai problemi che nel 1995 ne hanno motivato la proposizione.

Alcune delle sinergie inizialmente presupposte per le attività delle UR (in particolare i contributi che potevano essere attesi, per quanto riguarda la taratura delle Matrici di Probabilità di Danno, dalle calibrazioni statistiche tramite reti neurali addestrate e tramite il modello di comportamento al collasso degli edifici in muratura (VULNUS), non sono state raggiunte perché i tempi di messa a punto degli strumenti operativi sono risultati molto superiori a quelli previsti.

Ciò non ha impedito comunque di definire da un lato nuovi strumenti operativi (schede (§ 1), metodologie di calcolo della vulnerabilità (§ 2, 4, 6, 7), strumenti informatici (§5)), dall'altro valutazioni e misure di vulnerabilità dell'edilizia ordinaria (§ 6 e 7) che attendono di essere messe alla prova di nuove ricerche e soprattutto delle evidenze sperimentali dei futuri, purtroppo inevitabili, eventi sismici.

Particolare attenzione è stata dedicata nell'ambito della ricerca all'edilizia storica in muratura, alla catalogazione e classificazione delle tipologie (ampiamente documentata nel CD negli Allegati ai §§ 1, 3 e 7), alle modellazioni numeriche non lineari in grado di fornire indicazioni della qualità meccanica sia dei singoli elementi murari (§ 3) sia di sistemi complessi di edifici interagenti (§ 2).

In particolare l'utilizzo delle reti neurali (§ 4) come metodo di analisi non parametrica della correlazione statistica fra intensità sismica, caratteristiche tipologiche e danno sembra estremamente promettente, una volta che sia stato identificata una base di dati sufficientemente ampia e completa per il loro addestramento.

Allo stato attuale della ricerca invece la possibilità di addestramento delle reti, come pure la taratura di modelli statistici parametrici di tipo binomiale (confronta § 7.3), è limitata dalla disponibilità di campioni di edifici danneggiati che, soprattutto alle basse e medie intensità, non rappresentano adeguatamente l'universo di riferimento, sottostimando in modo sistematico le percentuali di edifici con danno nullo o trascurabile.

E' inoltre da sottolineare che la ricerca si conclude con la consegna di 2 distinte mappe nazionali di vulnerabilità comunale (Figura 6.6 e Allegato 7.17, riportati

anche nei fogli in formato A3 allegati a questo volume), elaborate in ogni caso a partire dai dati Istat 1991 ma con due metodologie profondamente diverse e con parametri di misura non direttamente confrontabili.

Naturalmente in casi del genere risultati sostanzialmente congruenti si confermano reciprocamente, mentre risultati discordanti evidenziano incertezze o contraddizioni presenti nelle metodologie e/o nei dati di riferimento. In particolare la ricerca della UR Napoli ha evidenziato e almeno parzialmente ha tentato di ridurre le numerose incoerenze presenti nei dati Istat 1991 di censimento delle abitazioni (e con grandi difficoltà riconducibili a dati di censimento di edifici omogenei). Incoerenze queste già documentate da altre fonti (ad esempio le estese rilevazioni condotte nelle regioni dell'Italia meridionale nell'ambito dei cosiddetti Progetti Socialmente Utili (LSU)) e sperabilmente eliminabili con una più attenta programmazione del censimento previsto dall'Istat per l'anno 2001.

Ciononostante è da sottolineare che valutazioni ormai sufficientemente affidabili possono essere fatte per i tradizionali edifici in muratura, la cui ampia diffusione nelle zone colpite da terremoti di media o alta intensità negli ultimi 25 anni ha consentito di effettuare sistematiche osservazioni delle loro tipologie e del loro danneggiamento registrate nelle basi di dati oggi disponibili.

Molto maggiore incertezza invece è da constatare per quanto riguarda l'edilizia più moderna in c.a. particolarmente diffusa nelle zone di più recente edificazione nelle periferie delle medie e grandi città italiane, particolarmente quella costruita in epoca precedente alla nuova classificazione sismica del territorio italiano successiva al terremoto di Campania-Basilicata del 1980.

Da questo punto di vista le analisi descritte nel seguito non possono fornire risposte significative; si confrontino ad esempio le valutazioni del tutto contrastanti che le mappe di Figura 6.6 e dell'Allegato 7 mostrano per le grandi città ed i comuni circostanti in cui si concentrano le edificazioni in c.a. del secondo dopoguerra. Peraltro gli autori stessi segnalano per quanto riguarda la mappa di Figura 6.6 l'assoluta inadeguatezza del campione di edifici di c.a. utilizzato per la calibrazione. L'accordo sembra invece più ragionevole per la vulnerabilità media dell'edilizia in muratura (Figure 6.7), particolarmente rilevante in tutti i comuni della fascia collinare e montana, alpina ed appenninica (Figura 6.8).

Si può sperare che la messa a punto di strumenti unificati a livello nazionale di rilievo del danno e dei fattori di vulnerabilità degli edifici ottenuta nell'ambito della presente ricerca e la disponibilità via via crescente, a partire dal terremoto di Umbria-Marche del 1997, di registrazioni omogenee e complete dei danneggiamenti sismici, renda possibile nei prossimi anni un netto miglioramento nell'affidabilità delle stime di vulnerabilità sismica estese all'intero patrimonio nazionale.

Bibliografia

- Bernardini, A. (Editor) (1999): Seismic Damage to Masonry Buildings. *Proceeding of the International Workshop on Measures of Seismic Damage to Masonry Buildings*, Monselice, Padova, Italy, 25-26 June 1998, Balkema, Rotterdam/Brookfield
- Grunthal, G. (Editor) (1998): European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, Volume 15, Luxembourg
- Baratta, A., Colletta, T., Zuccaro, G. (1996): Seismic Risk of Historic Centres - A Preliminary approach to the Naples' case. *Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, ed. La Città del Sole*, Napoli