

SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Coordinatori: Prof. Mauro Dolce e Prof. Giulio Zuccaro

Introduzione

Gli obiettivi fondamentali del progetto, come previsto nella proposta approvata, sono:

- Realizzazione di mappe aggiornate di vulnerabilità e rischio sismico del patrimonio edilizio abitativo, del patrimonio degli edifici pubblici censiti nell'ambito dei Lavori Socialmente Utili nell'Italia Meridionale e di altre iniziative, del patrimonio monumentale di alcune porzioni territoriali di particolare pregio ambientale e monumentale (parchi), di mappe di vulnerabilità di piccoli sistemi urbani.
- Completamento e razionalizzazione delle più importanti basi di dati esistenti, particolarmente di quelle relative ai LSU.
- Confronto sulle basi dati di cui sopra e miglioramento delle metodologie di valutazione della vulnerabilità per le diverse tipologie costruttive (edilizia ordinaria, monumentale e storica, chiese), ai fini di una loro integrazione e armonizzazione.
- Sviluppo di modelli per la valutazione delle perdite indirette e delle conseguenze socio-economiche dei terremoti;

Il Progetto SAVE è stato nominalmente attivato nel settembre 2002. La presente rendicontazione, pertanto, è relativa a circa sette mesi di attività. Inoltre lo svolgimento del progetto è, in buona parte, connesso alla piena disponibilità dei dati LSU e dei fondi di ricerca. Entrambi tali presupposti sono venuti a mancare per motivi diversi e indipendenti dalla volontà dei coordinatori. I dati originali LSU in forma cartacea, di cui solo una parte è informatizzata, non sono stati ancora disponibili, in parte per motivi collegati alle problematiche sorte a seguito del crollo della scuola di S. Giuliano, in parte per un trasferimento di competenze nell'ambito del Dipartimento della Protezione Civile. Il problema è solo recentemente in corso di risoluzione, ciò permettendo l'avvio di quelle attività di completamento e razionalizzazione delle basi di dati relative ai LSU. I fondi della ricerca sono stati accreditati al responsabile del progetto solamente alla fine del 2003, e il trasferimento dei fondi alle unità di ricerca è avvenuto in tempi molto recenti, per la concomitanza con il periodo di chiusura del bilancio. Non è stato pertanto possibile dare inizio ad attività onerose.

Nel contempo si è verificato il Terremoto del 31.10 – 01-11.2002 che ha colpito Molise e Puglia. Questo terremoto rappresenta un ottimo test per alcune metodologie di rilievo e valutazione della vulnerabilità, il cui miglioramento rappresenta uno degli obiettivi principali del progetto, e per un ampliamento del database esistente di vulnerabilità e danno degli edifici.

Per i motivi sopra esposti, si è cominciato ad operare in maniera difforme dall'ordine temporale previsto, inserendo organicamente nel progetto una serie di attività di messa a punto di strumenti di vulnerabilità, rilievo e analisi dei dati relativi al terremoto del Molise, utilizzando i dati già disponibili per svolgere le elaborazioni sul DB dei LSU, iniziando la raccolta dati per lo svolgimento delle attività successive.

Task 1. Inventario e Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio Residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio-economiche

Responsabile scientifico: Giulio Zuccaro

Come accennato in premessa, il terremoto del Molise ha suggerito di alterare il programma di lavoro previsto, per trarre vantaggio da una pronta ed attenta analisi degli effetti prodotti dal sisma e dall'immediata sperimentazione sul campo di alcuni nuovi strumenti di valutazione della vulnerabilità in fase di studio.

Nel novembre 2002 un gruppo di lavoro coordinato dai Proff. Dolce e Masi dell'Università di Basilicata e dal Prof. Zuccaro dell'Università di Napoli ha svolto un rilievo sistematico delle caratteristiche tipologiche e del danno degli edifici di San Giuliano. Il rilievo, finanziato dal GNDT, aveva la finalità principale di individuare le cause della anomala concentrazione dei danni verificatisi a San Giuliano. I dati sono stati raccolti mediante la scheda AeDES, opportunamente integrata, e la scheda Medea.

Metodologia: La raccolta dati è stata condotta a tappeto su tutti gli edifici di San Giuliano, con l'obiettivo di poter disporre di un set completo di dati, omogenei ed affidabili attraverso cui poter stimare parametri di valutazione della vulnerabilità e/o agibilità operate con metodi differenti.

Primi risultati: L'esame preliminare dei dati tipologici e di danno ha mostrato che l'abitato di San Giuliano poteva essere suddiviso in 5 zone omogenee. Nell'ambito di tali zone, oltre che per l'intero patrimonio edilizio, sono state individuate le distribuzioni delle tipologie strutturali verticali ed orizzontali. Gli edifici hanno prevalentemente struttura verticale in muratura (oltre il 70%), spesso di scarsa qualità, e con solai in legno o acciaio (oltre il 50%). Sulla base delle caratteristiche della struttura verticale ed orizzontale è stata stimata la vulnerabilità sismica su base tipologica e sono stati preparati scenari di danno per le intensità $I_{EMS} = VI, VII$ e VIII. Il danno è stato classificato secondo le indicazioni della European Macroseismic Scale del 1998. Nelle 5 zone sono state poi individuate le distribuzioni del danno rilevato e confrontate con quelle del danno stimato. I dati rilevati mostrano la presenza di elevati livelli di vulnerabilità sismica e di danneggiamento nell'intero centro abitato, ma con forti differenze tra le diverse zone. Le prime analisi, basate anche sul confronto tra danni stimati e rilevati, indicano che il danno osservato nel centro storico va attribuito essenzialmente alla vulnerabilità degli edifici. Al contrario, nella zona che si sviluppa lungo il Corso Vittorio Emanuele, il forte danneggiamento verificatosi, ben superiore a quello osservato nel centro storico, non può essere attribuito alla sola vulnerabilità ma anche agli effetti di amplificazione locale che potrebbero aver avuto un ruolo significativo. Analisi approfondite sono in corso per individuare il ruolo dei diversi fattori.

In merito alle correlazioni tra Danno, Tipologie e Meccanismi di Collasso, dalle prime analisi si sono confermate le correlazioni individuate dalla scheda MEDEA. Inoltre i meccanismi a più alta vulnerabilità sono risultati quelli da ribaltamento fuori del piano, che hanno mostrato alte frequenze nelle tipologie di classe più debole "A". Tuttavia anche per classi di minor vulnerabilità tipo "B" e "C" il meccanismo da ribaltamento è risultato il più pericoloso, mentre i meccanismi più frequenti in assoluto, ma con distribuzioni del danno più modeste, sono risultati quelli di collasso a taglio nel piano, segnale di una qualità modesta delle murature (v. diagramma). E' stato altresì prodotto un GIS per San Giuliano, per i tematismi che ne deriveranno anche ai fini di

studi microzonal. L'UR del GNDT-AQ ha svolto con simili modalità ed obiettivi una specifica indagine nel comune di Casalnuovo Monterotaro (FG), soggetto ad una scossa di 7° MCS. Questo comune è stato seguito nella fase di emergenza in maniera particolare dalla suddetta UR, curando anche la sistemazione dei dati di base proveniente dal censimento di agibilità sismica (Scheda AEDES), attraverso la formazione di un data base e la sua georeferenziazione. L'analisi effettuata su questa base di dati, anche attraverso le rappresentazioni GIS, ha fornito interessanti spunti, sia per quel che riguarda la procedura di valutazione di agibilità e danno, sia per le correlazioni tra vulnerabilità e danneggiamento. I diagrammi riportati in appendice mostrano i risultati di prime elaborazioni ottenute dai dati disponibili.

Il lavoro di completamento dell'informatizzazione dei dati di inventario raccolti nei progetti LSU/96 e LSUBis, relativi all'Italia centromeridionale, da svolgere essenzialmente sulla base dei documenti conservati presso il Dipartimento della Protezione Civile, nonché l'attività di verifica ed omogeneizzazione con le altre banche dati già disponibili in Italia, a causa delle difficoltà anzidette, è stato solo recentemente avviato, e non sono ancora disponibili riscontri di fattibilità. Tuttavia sono in corso le attività di integrazione dei dati già disponibili, ovvero della Banca Dati delle tipologie strutturali di 78 Comuni d'Italia sviluppata dal Centro di Ricerca LUPT dell'Università di Napoli in occasione di due precedenti progetti finanziati dal SSN (35 Comuni) e dal GNDT-CNR (43 Comuni) con i dati relativi:

- a 18 Comuni in area vesuviana raccolti dal LUPT in occasione di un precedente progetto finanziato dal GNDT-OV-INGV.
- a 3 comuni della caldera dei Campi Flegrei, la cui raccolta e sistematizzazione sono in corso di completamento per un altro progetto finanziato dal GNV-INGV
- a 20 Comuni dell'area Potentina e di 3 dell'area del Pollino messi a disposizione dal DiSGG dell'Università della Basilicata.
- 18 Comuni del Matese, ad opera del GNDT-AQ.
- alla città di Catania, raccolti in occasione dell'omonimo progetto del GNDT-CNR.

Sono infine in corso di reperimento e verifica di compatibilità altri dati di siti italiani.

Si sono individuati criteri di selezione e rappresentatività dei centri abitati da includere nella banca dati e sono in corso contatti con l'ISTAT in merito alla disponibilità dei dati del censimento 2001 per valutarne l'impiego nella seconda fase del progetto. Infine si stanno effettuando indagini presso gli Uffici Comunali competenti, attraverso la compilazione ex novo del protocollo guidato di intervista, per migliorare la banca dati di caratterizzazione tipologico strutturale a scala nazionale.

Per quanto riguarda le attività previste nel progetto relative alla vulnerabilità degli edifici ordinari in muratura e in c.a. e al miglioramento degli strumenti di analisi della vulnerabilità e del danno, il contributo del primo anno, oltre a quanto svolto in occasione del terremoto del Molise, ha riguardato la rassegna delle metodologie di valutazione della vulnerabilità con particolare riferimento all'esperienza italiana. Le ricerche condotte nella seconda metà degli anni '90 hanno chiarito il quadro concettuale di riferimento, fornito una nuova procedura di primo livello per la misura dei fattori di vulnerabilità e del danno sismico agli edifici ordinari (Scheda AeDES),

fornito valutazioni di vulnerabilità media comunale a partire da dati ISTAT, ritarato Matrici di Probabilità di Danno per classi di vulnerabilità ed intensità MCS.

E' stato ipotizzato nell'ambito della presente ricerca un possibile più diretto riferimento per quanto riguarda sia le classi di vulnerabilità sia l'intensità alla Scala Macrosismica Europea EMS98. A tale scopo è stata prodotta una prima ipotesi di classificazione compatibile con EMS98 basata sui dati di AeDES, modificando una precedente proposta discussa nell'ambito di un Gruppo di lavoro del SSN.

Per quanto riguarda le valutazioni delle perdite umane, dei danni e delle perdite indirette, si è dato inizio a diverse attività di seguito sintetizzate.

Sono in corso le prime valutazioni dell'impatto connesso alle perdite economiche dirette ed indirette ed alle perdite sociali (persone coinvolte) per l'evento di S.Giuliano. Sono, altresì, in corso stime attraverso correlazioni danno - costi di riparazione e miglioramento, tarate per differenti livelli di danno strutturale e non strutturale.

Si stanno individuando modelli di valutazione delle perdite indirette derivanti da interruzione di attività (industria, commercio, turismo, etc.), attraverso indicatori della banca dati del "Sistema Starter", che raccoglie più di 1000 indicatori territoriali a livello provinciale, di cui 600 con il dettaglio comunale, che alimenta il modello statistico. Tale modello, basato su tecniche di analisi multivariata, verrà calibrato su di un'area pilota, recentemente interessata da un evento sismico, di cui saranno valutate le condizioni pre e post evento (struttura urbanistica dell'area, qualità degli immobili, livelli di produzione nei tre settori economici, etc.); quindi sarà testato su altre aree pilota al fine di stabilizzare le stime dei parametri di regressione e quindi di valutare su scala nazionale i costi annui indiretti derivanti da distruzione e/o interruzione di attività.

Si stanno individuando funzioni di correlazione danno – tipologia – perdite umane e si stanno raccogliendo dati relativi a precedenti eventi sismici in Italia e nel mondo.

Task 2. Vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro-meridionale e meridionale

Responsabile scientifico: Mauro Dolce

Le attività previste per il primo anno del progetto sono: a) analisi ed estensione della base di dati esistente con finalità statistiche e di razionalizzazione; b) caratterizzazione delle tipologie strutturali prevalenti nelle scuole e negli ospedali; c) Raccolta di ulteriori informazioni sugli edifici destinati all'Istruzione e all'uso Civile per classi tipologiche; d) inizio dell'attività di valutazione «analitica» della vulnerabilità delle scuole e degli ospedali attraverso la raccolta ed un primo esame degli elaborati progettuali. Tutte queste attività sono state iniziate e portate ad un buon livello di avanzamento, ad eccezione dell'attività a), per i motivi esposti nell'introduzione, e limitando la raccolta e le valutazioni relative ai punti b) e d) ai soli edifici destinati all'Istruzione, per i motivi specificati nel seguito. È stata, inoltre, anticipato l'inizio delle attività per l'affinamento delle metodiche di rilevamento e valutazione di vulnerabilità, di pertinenza del secondo anno del progetto.

Il censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici, strategici e speciali ha interessato le regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia (provincia di Foggia) e la Sicilia Orientale. I dati sono stati raccolti mediante le schede di

vulnerabilità di 1 e 2° livello del GNDD e informatizzati in una banca dati che comprende oltre 42.000 edifici. Le destinazioni d'uso sono state classificate in Istruzione (49,6%), Civile (26,8%), Sanità (9,7), Militare (4,7), Mobilità e trasporti (3,8), Tecnologico a rete (2,6), Religioso (1,8, non include le chiese). Il 37,9% degli edifici sono in muratura, il 59,4% in c.a., l'1,9% in acciaio. Gli edifici in muratura sono stati rilevati mediante la scheda di 2° livello, mentre gli altri sono stati rilevati prevalentemente con quella di 1° livello. Per le finalità del progetto di ricerca è stato svolto un controllo sul data base, che ha evidenziato la presenza di dati incompleti o non corretti relativi a circa l'1,5% di edifici, da verificare e, eventualmente, correggere attraverso un riscontro sulle schede originali.

Relativamente agli altri obiettivi finalizzati all'approfondimento delle caratteristiche tipologiche e di vulnerabilità, è stato programmato un lavoro di analisi specifica dei dati, complessivamente e disaggregati territorialmente per regioni e province. Si è iniziato dagli edifici per l'Istruzione, complessivamente 20.890, di cui 7.379 (35,3%) in muratura, 13.041 (62,3%) in c.a. 384 in acciaio (1,9%), privilegiando gli edifici in muratura, sia per la loro più elevata vulnerabilità, sia per la maggiore quantità di informazioni disponibili (scheda di 2° livello). Circa l'80% degli edifici per l'istruzione in muratura ha meno di 4 piani (23% un piano, 29% due, 28% tre). Oltre il 50% ha un volume inferiore a 2500 mc e circa il 10% supera i 10.000 mc. Il 90% circa risulta costruito prima del 1970 e il 28,5% risale a prima del 1945. La scheda di primo livello contiene la descrizione delle tipologie costruttive delle strutture verticali, dei solai, delle scale e delle coperture. Attraverso l'elaborazione di queste informazioni, è stata svolta una prima caratterizzazione tipologica, che evidenzia la presenza di alcune tipologie prevalenti di strutture verticali, differenziate territorialmente (v. mappa e diagramma). Le murature di tipo G (Blocchi di tufo o pietra squadrata – 37,9%), L (Mattoni 24,8%) e C (Pietra sbozzata – 12,7%) sono quelle più frequenti sull'insieme degli edifici. Nelle singole regioni si osservano differenze quantitative e la presenza significativa di tipologie particolari, legate alla storia e alle tradizioni costruttive locali.

Le informazioni sulle caratteristiche tipologiche sono state utilizzate anche per raggruppare gli edifici in classi di vulnerabilità secondo due diverse modalità, ed in particolare secondo la definizione delle classi di vulnerabilità della scala EMS. Anche questo tipo di lettura della qualità strutturale evidenzia importanti differenze regionali.

La scheda di secondo livello permette di valutare un indice di vulnerabilità I_v degli edifici in muratura, in una scala da 0 a 100, attraverso la sommatoria di 11 punteggi associati a 11 parametri che influenzano il comportamento sismico. Sono state calcolate le distribuzioni dei valori dell'indice in ambiti territoriali a diversa scala. Il campione esaminato ha, nel complesso, una vulnerabilità media pari a 21,5, con una coda verso i valori superiori e valori massimi fino a 80. Gli edifici con $I_v > 50$ sono 229 (3% circa). Sono state inoltre analizzate alcune significative correlazioni tra I_v e le classi di vulnerabilità EMS, come illustrati nei grafici allegati. Prossimamente verranno effettuate ulteriori elaborazioni, volte a migliorare la valutazione dell'indice di vulnerabilità, sia riesaminando il modello additivo sinora utilizzato, sia integrando le informazioni della scheda di 2° livello con quelle della scheda di 1° livello, ad esempio per considerare la presenza di interventi di adeguamento.

Contemporaneamente si è proceduto all'acquisizione di informazioni e documentazione su un campione ristretto di edifici destinati all'Istruzione. Tale attività è stata agevolata dalla maggiore attenzione degli enti locali verso il problema delle

scuole, determinata dal crollo della scuola di S.Giuliano. Grazie ad una convenzione con la Provincia di Potenza, l'UR UNIBAS ha potuto reperire le informazioni di dettaglio riguardanti circa 130 edifici scolastici appartenenti alla provincia di PZ (scuole medie superiori) ed ai relativi comuni (materne, elementari e medie inferiori). Su tutti questi edifici sono stati effettuati, o sono in corso di effettuazione, sopralluoghi, saggi e rilievi geometrici, e sono stati raccolti, qualora reperibili, i documenti progettuali, esecutivi e di collaudo, informazioni su interventi e trasformazioni subiti nel tempo, eventuali danni prodotti da terremoti recenti. È stata inoltre applicata una procedura di valutazione della resistenza sismica, che permette di determinare la PGA che determina le condizioni di collasso. Su parte di essi verranno effettuate in futuro una serie di indagini sui materiali (carotaggi, prove sclerometriche e ultrasoniche sui calcestruzzi, saggi approfonditi sulle murature) volti a determinare le loro effettive caratteristiche meccaniche e a migliorare ulteriormente le valutazioni di vulnerabilità. Il campione delle scuole medie superiori è costituito per metà da edifici progettati senza criteri antisismici (v. diagrammi). Circa l'80% degli edifici sono in c.a., poco più del 10% in muratura, mentre è sporadica la presenza di edifici in acciaio. Circa l'80% degli edifici ha volume superiore ai 2000 m³ e più del 40% supera i 5000 m³. Prevalgono gli edifici costruiti prima del '70 o dopo l'80, che complessivamente superano l'80%. Abbastanza diverse sono le caratteristiche del campione di edifici scolastici, relativo alle scuole materne, elementari e medie inferiori. Gli edifici sono più piccoli, con una larga percentuale di edifici in muratura (35%) ed una minore percentuale di edifici costruiti dopo l'80 (circa il 15%). In generale, si può dire che il campione disponibile è ben distribuito in tutte le caratteristiche che possono influire sulla vulnerabilità, e costituisce un'ottima base dati per l'approfondimento delle analisi di vulnerabilità. Peraltro è ancora in corso il reperimento della documentazione di altri edifici di diverse regioni (Molise, Abruzzo, Toscana, Campania, etc.) che permetteranno di estrapolare ad un campione più ampio i risultati delle analisi di dettaglio. L'ampia disponibilità di edifici a destinazione scolastica, e dunque la possibilità di approfondire le relative valutazioni di vulnerabilità, rende opportuna e necessaria una rimodulazione del programma, anche in relazione alla riduzione del 30% dei fondi destinati al progetto SAVE, rimodulazione nella quale le attività di studio su edifici destinati alla Sanità vengono limitate alle sole analisi tipologiche sul database LSU. Su una buona parte degli edifici delle scuole medie superiori sono state applicate e sono in corso di applicazione due procedure di valutazione quantitativa della vulnerabilità valide, rispettivamente, per gli edifici in c.a. e per quelli in muratura. Le due procedure, messe a punto per sfruttare al massimo le informazioni disponibili, comunque parziali e talvolta imprecise, partono dall'osservazione delle caratteristiche tipologiche prevalenti, che permettono di predefinire meccanismi di collasso di piano, sia per entrambe le tipologie strutturali. Per quanto riguarda gli edifici in muratura, le tipologie prevalenti, con solai quasi sempre in c.a., fanno escludere la possibilità di collassi fuori del piano, riconducendo l'analisi alla valutazione della resistenza nel piano delle pareti murarie. Per quanto riguarda gli edifici in c.a., si tiene in conto il contributo positivo delle tamponature murarie, qualora efficaci. Le procedure, implementate in un foglio elettronico, sono in corso di perfezionamento, attraverso l'applicazione ai casi concreti in esame. Un'importante possibilità di verifica sia delle potenzialità della scheda AEDES, per l'agibilità e il danno, sia delle valutazioni di

vulnerabilità presenti nel database LSU può scaturire dall'analisi dei dati di danno raccolti su edifici scolastici in Molise, a seguito del terremoto. Su queste schede sono riportate sia informazioni tipologiche che dati di danneggiamento, che rendono possibile la determinazione delle correlazioni danno-tipologia. Si prevede di iniziare al più presto tale attività.

Task 3. Inventario e vulnerabilità del patrimonio monumentale dei parchi dell'Italia centro-meridionale e meridionale

Responsabile scientifico: Sergio Lagomarsino

Nel primo anno è stata svolta l'attività prevista dal progetto, incentrata in particolare su due differenti obiettivi: 1) la revisione critica delle metodologie applicabili a scala territoriale sull'edilizia monumentale, attraverso uno stato dell'arte dei modelli di vulnerabilità disponibili in letteratura; 2) l'acquisizione dei dati di vulnerabilità censiti nell'ambito del progetto LSU-Parchi. La revisione critica delle metodologie disponibili per un'analisi di vulnerabilità sul costruito monumentale ha tenuto presente alcune prerogative: l'esigenza di censire e analizzare una numerosa popolazione di manufatti, su una scala territoriale ampia; il valore storico-architettonico, che impone un approccio di maggiore dettaglio rispetto a quello normalmente in uso nell'analisi di vulnerabilità del costruito ordinario; la necessità di una validazione dei modelli tramite danni sismici effettivamente rilevati. E' per questa ragione che, a prescindere dal livello di dettaglio dell'analisi, i dati che devono essere raccolti attraverso la schedatura devono essere correlati agli aspetti costruttivi, tipologici e materici che l'osservazione dei danni prodotti dai terremoti ha evidenziato come determinanti nel giudizio sulla vulnerabilità. La revisione metodologica ha portato ad articolare l'analisi di vulnerabilità secondo 3 livelli, con modelli di vulnerabilità diversi, che rappresentano, però, una sorta di approfondimento progressivo, basato sul maggiore dettaglio dei dati disponibili. Il primo livello di analisi è quello che si basa su dati poveri; in questo caso l'approccio deve essere necessariamente tipologico, ovvero la vulnerabilità è principalmente determinata dall'appartenenza del monumento ad una data tipologia (palazzo, chiesa, torre, castello, ecc.). Il modello individuato come più efficace e versatile è quello sviluppato nell'ambito del Progetto TRAIANO (che fa parte di questo Programma Quadro del GNDT); esso si basa sull'attribuzione di un indice di vulnerabilità al singolo manufatto, definito in funzione della tipologia dell'edificio monumentale ed affinato attraverso punteggi modificatori, in relazione ad alcuni parametri facilmente rilevabili (stato di manutenzione, qualità dei materiali, regolarità strutturale, ecc.). Il modello si basa su una scheda molto semplice e rappresenta quindi uno strumento di veloce ed immediata applicazione sul territorio, che permette di elaborare scenari di danno per una qualsiasi tipologia monumentale.

Il limite della metodologia di primo livello è che la vulnerabilità viene vista in termini globali; l'osservazione dei danni al costruito monumentale ha invece posto in evidenza come, data la complessità architettonica di tali manufatti, le caratteristiche costruttive (fasi costruttive, trasformazioni, ecc.) e la scarsa resistenza a trazione della muratura, il danneggiamento e collasso si verifichi spesso localmente. Un modo efficace per trattare il problema è scomporre la costruzione in macroelementi,

porzioni della fabbrica riconoscibili architettonicamente e caratterizzate da una risposta sismica sostanzialmente autonoma.

L'analisi di secondo livello deve quindi essere impostata ancora su un approccio tipologico-qualitativo, ma la valutazione è più dettagliata in quanto: a) è riferita ai singoli macroelementi e non alla costruzione nel suo complesso; b) i parametri di vulnerabilità sono analizzati nei riguardi di meccanismi di collasso, riconosciuti a seguito dell'osservazione sistematica dei danni di passati terremoti.

Tale approccio è oggi possibile solo per le chiese, che rappresentano tuttavia oltre l'80% del patrimonio monumentale italiano; la UR di Genova ha redatto una metodologia che si basa sulla rielaborazione della scheda utilizzata nel rilievo dei danni a seguito degli ultimi eventi sismici italiani¹ (Lunigiana e Garfagnana, Reggio Emilia, Pollino, Lazio, Umbria e Marche e Val Tiberina, Asti ed Alessandria) ed in alcune campagne di analisi di vulnerabilità preventiva (progetto LSU-Parchi, progetto Molise). Avendo a disposizione oltre 6000 rilievi di chiese danneggiate dal terremoto è stato possibile definire delle matrici di probabilità di danno, per diverse classi di vulnerabilità. Gli istogrammi ottenuti sono risultati essere ben approssimati dalla distribuzione binomiale, caratterizzata da un unico parametro, il danno medio d :

$$P_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} d^k (1-d)^{5-k} \quad (1)$$

L'andamento del danno medio al variare dell'intensità macrosismica I , per le diverse classi di vulnerabilità (associate ad un valore dell'indice di vulnerabilità V_I , ottenibile dalla compilazione della scheda), è molto regolare e ben rappresentato da un'espressione analitica²:

$$d = 2.5 \cdot \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 \cdot V_I - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (2)$$

L'approccio per macroelementi e meccanismi di collasso si presta alla definizione di un terzo livello di analisi, basato su valutazioni della vulnerabilità sismica a base meccanica. Tale approccio deve comunque mantenere i caratteri di un'analisi semplificata, al fine di essere applicabile in modo automatico e comunque su un numero significativo di manufatti, anche se ridotto rispetto a quello tipico dei metodi di I e II livello, per rispettare l'ambito territoriale delle analisi di vulnerabilità. La soluzione individuata è quella di un uso dell'analisi limite dell'equilibrio, sfruttando i teoremi statico e cinematico applicati alla muratura, pensata come corpo rigido non resistente a trazione; il sisma è quindi considerato come una forza statica orizzontale, proporzionale alle masse, ed il moltiplicatore di collasso che si ottiene rappresenta l'accelerazione spettrale. Questo approccio consente di valutare, con pochi parametri geometrici e tipologici, una curva di capacità per il macroelemento, stimando l'efficacia di alcuni presidi antisismici (catene, contrafforti, ecc.). I metodi di

¹ Podestà S., "Risposta sismica d'antichi edifici religiosi in muratura: sviluppi di nuovi modelli per l'analisi di vulnerabilità", Tesi di dottorato, Università di Pavia, 2001.

² Lagomarsino S., Podestà S., Seismic vulnerability of ancient churches. Part 2: statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis, paper submitted to *Earthquake Spectra*.

/// livello rappresentano anche uno strumento di validazione e taratura dei metodi qualitativi di // livello, altrimenti basati solo sull'interpretazione dei danni osservati.

L'evento sismico, che ha colpito l'area molisana nell'ottobre-novembre del 2002, ha determinato un impegno diretto della UR a supporto del COM di Larino (Funzione 9). Tale attività ha consentito di applicare criticamente i diversi strumenti schedografici, sia quello istituzionale (GU) sia quelli messi a punto dalla UR. A seguito dell'analisi critica delle metodologie esistenti, eseguita nel progetto e descritta nel precedente paragrafo, era emersa la necessità di apportare alcune variazioni alla scheda utilizzata in occasione del terremoto Umbria-Marche; il terremoto del Molise ha rappresentato l'occasione per operare tali modifiche e verificare immediatamente sul campo l'applicabilità e la validità del nuovo strumento schedografico.

Uno dei punti critici della vecchia scheda era proprio nella vulnerabilità, essendo questa stata pensata prevalentemente per un rilievo del danno³; in essa, per ogni meccanismo di collasso, erano individuati rigidamente due indicatori di vulnerabilità, sul cui giudizio spesso vi erano inevitabili incertezze e talvolta non esaurienti della notevole varietà di situazioni presenti nel costruito storico. Nella nuova scheda, il rilievo della vulnerabilità viene condotto secondo un duplice approccio: indicatori di vulnerabilità e presidi antisismici. Se la presenza di un contrafforte o di una catena può essere vista come un presidio antisismico capace di contrastare l'attivazione e l'evoluzione di un meccanismo, la presenza di elementi spingenti o la presenza di carichi concentrati su una volta rappresentano una fonte di vulnerabilità (nella versione precedente, i presidi erano volti in negativo, chiedendo al rilevatore di esprimersi sull'assenza di questi; il tutto risultava poco chiaro e, in alcuni casi, concettualmente non corretto). Per ogni meccanismo di danno è stata inserita nella scheda una lista di presidi e di indicatori di vulnerabilità, che è possibile in ogni caso integrare con particolari costruttivi specifici della fabbrica (a giudizio del rilevatore).

Una seconda modifica è stata l'estensione del numero dei meccanismi di danno da 18 a 28; questo si è reso necessario, in particolare, per le chiese di grosse dimensioni, nelle quali sono presenti ed assumono rilievo molti macroelementi (transetto, cappelle laterali, protiro, ecc.). Una maggiore articolazione dei meccanismi nei vari macroelementi consente di graduare meglio il peso dei danni locali nella valutazione di danno complessiva; inoltre, si limitano le incertezze nella compilazione e le arbitrarietà, generate nella vecchia scheda dalla sua eccessiva sintesi. Anche se la nuova scheda appare più lunga ed articolata, non si perdono assolutamente le caratteristiche di facile e rapida applicabilità a scala territoriale.

Task 4. Inventario e vulnerabilità dei sistemi urbani

Responsabile scientifico: Alberto Cherubini

Nel corso dell'anno 1999 è stato condotto dalla Protezione Civile, con il coordinamento tecnico-scientifico del GNDDT, il Censimento di Vulnerabilità delle infrastrutture di alcuni Centri Abitati di sei regioni dell'Italia meridionale; esso ha riguardato un

³ Lagomarsino S., Maggiolo L., Podestà S., "Vulnerabilità sismica delle chiese: proposta di una metodologia integrata per il rilievo la prevenzione ed il rilievo del danno in emergenza", Atti del X Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia", Potenza, 2001.

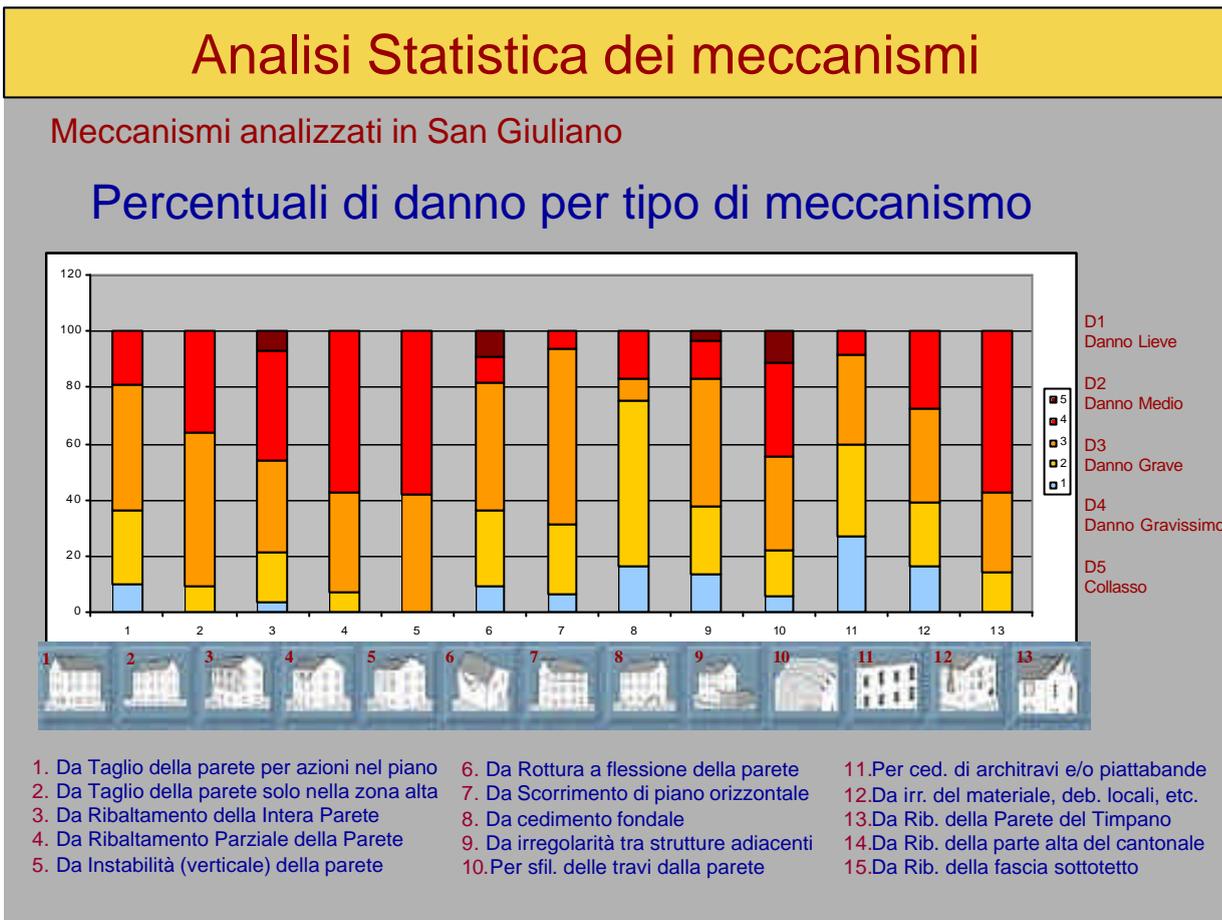
campione di 67 Centri di media e piccola importanza, scelto sulla base di alcuni parametri dedotti dai dati ISTAT '91, come: altitudine, numero di abitanti, volume edificato, classificazione sismica, ecc. Sono state compilate n. 23.922 schede di censimento, riguardanti:

- reti di urbanizzazione primaria "lifelines" (condotte idriche, fognature, reti distribuzione del gas, reti elettriche e telefoniche, ecc.);
- reti stradali e ferroviarie (per ciò che riguarda l'attraversamento di centri), per le parti a rete e per i nodi (ponti, viadotti, passaggi a livello, opere d'arte, ecc.);
- sistemi e sub-sistemi che definiscono la "vulnerabilità urbana" dell'abitato (struttura morfologica, vie di fuga e luoghi sicuri, sistemi di comunicazione e di traffico, ecc.).

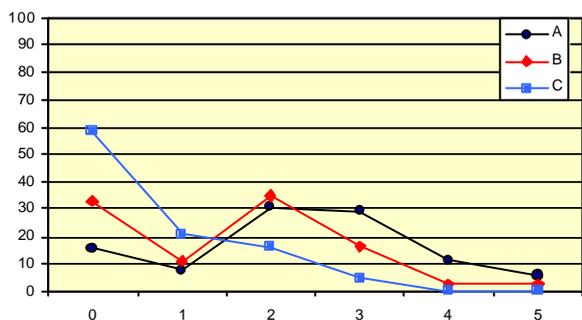
I dati cartacei relativi alle schede di censimento e ad altri documenti raccolti nel corso del rilievo (planimetrie dei Centri, schede di vulnerabilità urbana, ecc.) sono custoditi presso un deposito della Protezione Civile, dove si trovano anche i dati di altri censimenti effettuati nel corso degli anni 1996-2000; è stato predisposto il programma di caricamento delle schede su supporto informatico e sono state informatizzate solo n. 1.764 schede per le prime elaborazioni. Il primo prodotto previsto per il 1° anno del Progetto SAVE riguarda la costruzione di un database dei dati di cui sopra, procedendo alla sistematica informatizzazione di tutti i dati cartacei ed ordinando per ogni Centro ed ogni rete o sistema censito tutte le informazioni raccolte; purtroppo tale attività non è stato possibile svolgerla, per la indisponibilità dei dati cartacei. Per lo stesso motivo non è stato possibile verificare il campione di Centri utilizzati, per accertarne la significatività e le maggiori o minori informazioni disponibili, in quanto nel corso del Progetto di Censimento è stato modificato un certo numero di Centri, per alcune difficoltà di accesso; una esatta verifica quindi può essere svolta soltanto con i dati a disposizione. Il secondo prodotto previsto riguarda la rassegna delle metodologie di valutazione della vulnerabilità. A tale riguardo occorre distinguere tra metodologie di valutazione per le reti e metodologie di valutazione di sistemi urbani, queste ultime finalizzate alla stima della cosiddetta "vulnerabilità urbana". Per le prime, in letteratura si adottano approcci diversi: un primo approccio utilizza processi di tipo logico-matematico applicati alle componenti rami-nodi della rete: la carenza di una componente o la sua incapacità ad assolvere la funzione propria (dalla riduzione alla perdita di funzione), in relazione ad un possibile evento sismico, si traduce in un grado di vulnerabilità parziale o totale della rete; il secondo approccio utilizza processi di valutazione esperta, attraverso indicatori qualitativi, con la stima diretta o attraverso regole di associazione della vulnerabilità delle singole componenti di rete. Per la valutazione dei sistemi urbani, anche in questo caso in letteratura si utilizzano approcci diversi, di cui uno più analitico, basato su informazioni quali la vulnerabilità speditiva della parte costruita, elementi geometrici e geomorfologici che descrivono la forma e le caratteristiche dell'abitato; un approccio più globale, utilizzato nelle elaborazioni svolte a seguito del Censimento dei Beni Monumentali nei Parchi di sette regioni dell'Italia Meridionale, fa riferimento sia a parametri sintetici che descrivono la struttura fisica del Centro, sia a tabelle di correlazione tra i sistemi esistenti (quali il sistema dei trasporti, dell'istruzione, della sanità, ecc.) e la loro efficienza in presenza di un evento sismico. Nel Gruppo di Lavoro del Task 4, che si è riunito più volte per esaminare nel dettaglio le metodologie di valutazione sopra descritte, si è ritenuto opportuno in un

primo momento portare avanti approcci sia di tipo analitico che globale, per verificare, anche con operazioni di taratura sul primo gruppo di schede informatizzate, la qualità ed il tipo di informazioni che si ottengono; infatti le esperienze già maturate nella elaborazione dei Censimenti di Vulnerabilità portano a ritenere che entrambe le strade siano percorribili.

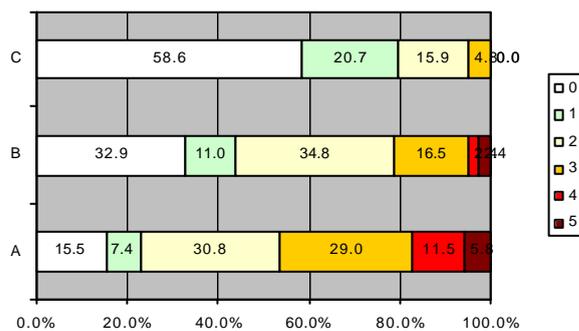
FIGURE RELATIVE ALLA DESCRIZIONE DEL TASK 1



Analisi statistica dei meccanismi di danno riscontrati a S. Giuliano



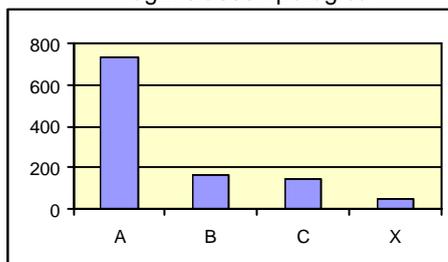
Distribuzione degli edifici delle Classi A, B, C per livello di danno secondo EMS 98



Percentuali di edifici per livello di danno all'interno di ogni classe tipologica

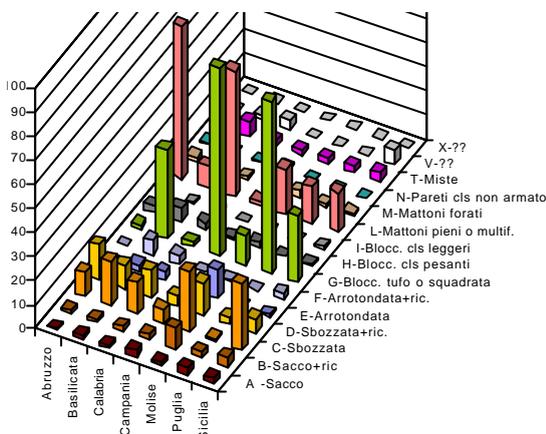
Casalnuovo Monterotaro (FG)

Istat 071013
 Abitanti ('91) = 2370
 Abitazioni 1410 ('91)
 zona sismica S=9
 Edifici in muratura circa 1.000
 Edifici in c.a. circa 100

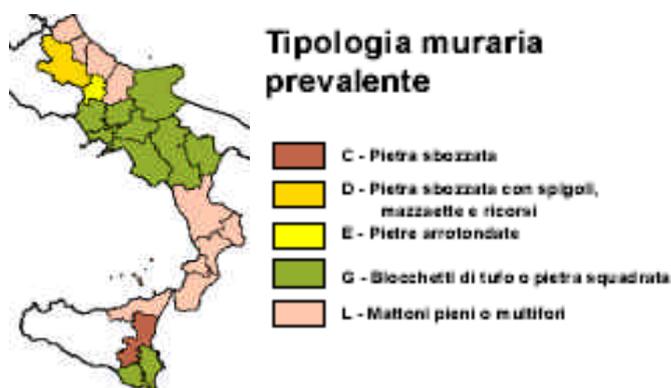


Dati del centro rilevati con Aedes (non completi)

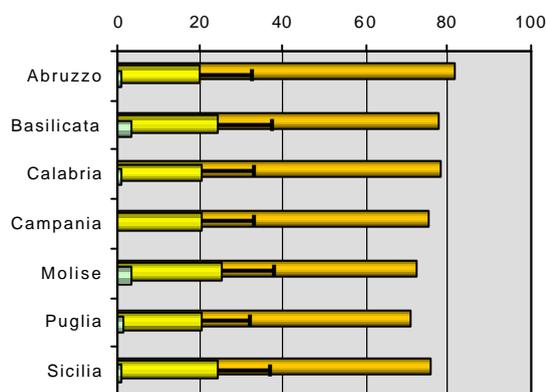
FIGURE RELATIVE ALLA DESCRIZIONE DEL TASK 2



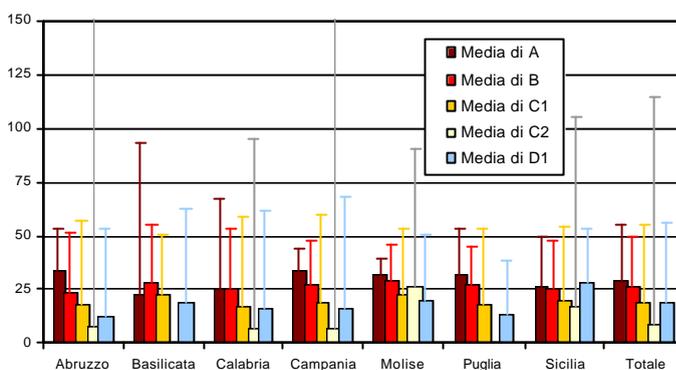
Tipologia delle strutture verticali per regione



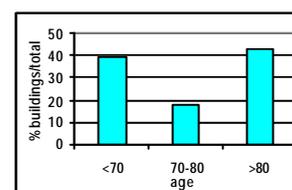
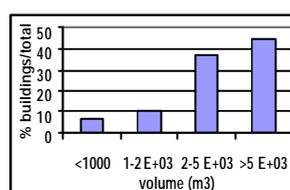
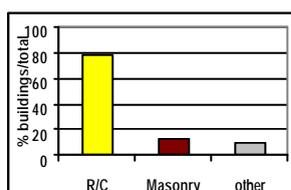
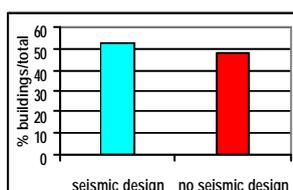
Tipologia muraria prevalente delle strutture verticali



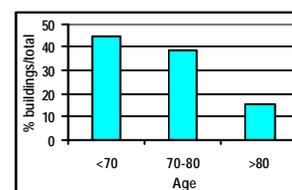
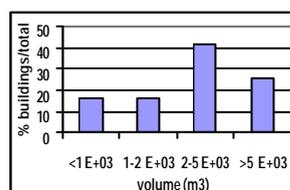
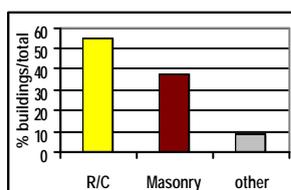
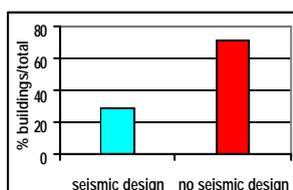
Valori medi, minimi, massimi e DS dell'indice di vulnerabilità degli edifici in muratura



Valori medi e coefficienti di variazione dell'indice di vulnerabilità degli edifici in muratura per classi EMS



Caratteristiche degli edifici delle scuole superiori della Provincia di Potenza (popolazione intera).



Caratteristiche degli edifici delle scuole materne, elementari e medie inferiori disponibili dei comuni della Provincia di Potenza (campione incompleto).