

RISCHIO SISMICO E STRUTTURA URBANA MINIMA IL CASO DI MESSINA

Domenico COSTANTINO (*), Maria Provvidenza SEMINARA (**)

(*) Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia, viale delle Scienze, Palermo,
+39 320 4330313, mico@unipa.it

(**) Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia, viale delle Scienze, Palermo,
+39 328 5678697, provvidenza.seminara@libero.it, ing.seminara@unipa.it

Riassunto

Il concetto di struttura urbana minima (SUM) è noto all'ingegnere sismico italiano: individuare un sottoinsieme di sistema urbano da rendere resistente al probabile terremoto distruttivo, affinché rimanga funzionante in fase di emergenza e diventi poi il motore della ripresa, è l'unica strada per garantire una possibilità di sopravvivenza post-evento. Tuttavia, non si dispone oggi di metodologie e procedure consolidate che guidino nella individuazione della struttura urbana minima: infatti, rimane ancora irrisolta la questione di fissare attraverso quale processo di conoscenza del sistema urbano operare questa scelta.

Lo studio, oggetto del presente contributo, entra proprio nel merito di questa questione, proponendo una metodologia per i sistemi urbani, la quale guidi dall'analisi del rischio alla programmazione degli interventi sulla SUM.

Obiettivo della metodologia proposta è la costruzione, in ambiente GIS, di uno scenario di rischio del sistema urbano per dato scuotimento di suolo, che guidi nell'individuazione della struttura urbana minima. Essendo il rischio funzione di pericolosità, esposizione e vulnerabilità, la metodologia muove dallo studio dell'evento sismico probabile, alla descrizione degli elementi del sistema urbano (oggetti e soggetti), fino alla valutazione del danno atteso per questi elementi, per costruire infine un quadro sintetico di rischio che faccia da premessa alla definizione della struttura urbana minima.

Per la sperimentazione della metodologia appena descritta, è stato scelto il comune di Messina in quanto, forse unico caso in Italia, sistema urbano complesso in zona ad alta pericolosità sismica. In particolare, i risultati presentati sono relativi alla parte di sperimentazione che ha riguardato la stima della vulnerabilità fisica degli edifici.

Abstract

The concept of minimum urban structure (SUM in Italian) is well-known to Italian seismic engineers: identifying a part of an urban system that is resistant to a possibly destructive earthquake, so that it remains functional during the emergency phase and thus becomes the driving force behind the recovery, is the only way to guarantee the possibility of post-event survival. However, today we do not have the methods and well-established procedures that could help in the identification of the minimum urban structure: in fact, the question of deciding which knowledge process of the urban system with which to make this choice still remains open.

The study, the subject of the present contribution, goes to the heart of the matter, proposing a methodology for urban systems, which helps to analyse the risk to the planning of the interventions on the minimum urban structure.

The aim of the proposed methodology is the construction, using GIS, of a risk scenario of the urban system for a given earth tremor, that helps to identify the minimum urban structure. Being the risk function of danger, exposure and vulnerability, the methodology goes from studying the probable seismic event to describing elements of the urban system (subjects and objects), right up to assessing the damage expected for these elements. The final aim is to make a short summary of the risk that serves as a basis for the definition of the minimum urban structure.

To test the methodology that has just been described, the commune of Messina was chosen, as it is perhaps the only case in Italy of a complex urban system in a high seismic risk zone. The results presented concern, in particular, the part of the trial that assessed the physical vulnerability of the buildings.

Introduzione

Ogni sistema urbano ha una propria vulnerabilità sismica, cioè un'attitudine (più o meno alta) a danneggiarsi fisicamente e funzionalmente a causa di un sisma. Ancora oggi, i terremoti di una certa intensità producono quasi ovunque gravi distruzioni, che potrebbero essere limitate se fossero applicate le conoscenze scientifiche e le tecniche attuali. E' possibile, infatti, difendere il sistema urbano dal forte terremoto. Lo si può fare attraverso la definizione di una "struttura urbana minima" (SUM), sulla quale programmare e attuare interventi di protezione sismica, la quale

continui a funzionare durante l'evento (garantendo che possa essere ben gestita la fase di emergenza) e che diventi poi, ad evento concluso, il motore della ripresa.

Sebbene quello di struttura urbana minima sia un concetto noto dell'ingegneria sismica italiana, rimane ancora aperta la questione di fissare il processo di conoscenza del sistema urbano che porta alla sua definizione. Infatti, non si dispone oggi di metodologie e procedure consolidate per operare la scelta della SUM, ovvero per individuare quel sottoinsieme di elementi del sistema urbano, utile a mantenerlo parzialmente funzionante anche immediatamente dopo un forte terremoto.

Lo studio, oggetto del presente contributo, entra proprio nel merito di questa questione, proponendo una metodologia per i sistemi urbani, la quale guidi dall'analisi del rischio alla programmazione degli interventi sulla SUM.

Proposta di una metodologia per i sistemi urbani: approccio complessivo e struttura della metodologia

Obiettivo della metodologia proposta è la costruzione, in ambiente GIS, di uno scenario di rischio del sistema urbano per dato scuotimento di suolo, che guidi nell'individuazione della struttura urbana minima. Essendo il rischio funzione di pericolosità, esposizione e vulnerabilità, la metodologia muove dallo studio dell'evento sismico probabile, alla descrizione degli elementi del sistema urbano (oggetti e soggetti), fino alla valutazione del danno atteso per questi elementi, per costruire infine un quadro sintetico di rischio che faccia da premessa alla definizione della struttura urbana minima. Il progetto d'intervento sulla SUM consisterà in un'azione di protezione sismica, coordinata a scala urbana, di tutti gli elementi che la compongono. Il risultato di tale intervento sul sistema urbano sarà la realizzazione, nella struttura urbana complessiva, di una sottostruttura (la SUM, appunto) resistente, la quale garantisca lo svolgimento delle funzioni minime in emergenza e possa essere il motore della ripresa nella fase successiva all'emergenza.

La metodologia è pensata per sistemi urbani complessi, potenzialmente a rischio di terremoto distruttivo.

Per la valutazione del rischio sismico di un sistema urbano, il primo passo consiste nello studio della pericolosità sismica di base della regione su cui esso insiste (terremoto di riferimento) e della pericolosità a scala di dettaglio che, partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base ed analizzando i caratteri geologici, geomorfologici e geologico-tecnici del sito, definisce la risposta sismica locale (*ground motion*) e la possibilità di accadimento di fenomeni cosismici (*ground failure*: frane, liquefazione e rotture di superficie).

In particolare, la pericolosità sismica di base, che consiste nell'individuare il valore atteso dei parametri che descrivono il terremoto al *bedrock* (PGA o/e PGV, intensità al sito, spettro di sito), è valutata per i due eventi con probabilità di eccedenza del 10% e del 5% in 50 anni (*design basis earthquake* "per costruzioni senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali" e "per industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti", rispettivamente) e per un evento con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni (*maximum considered earthquake*).

Gli edifici del sistema urbano sono classificati in edifici correnti ed edifici di importanza storico-monumentale e poi, dal punto di vista funzionale, in *general building stock* (ovvero edifici di funzione non specifica), *essential facilities* (ovvero edifici di importanza strategica: ospedali, strutture per la risposta all'emergenza e scuole) ed *high potential loss (HPL) facilities* (ovvero strutture il cui danneggiamento potrebbe causare gravi perdite: impianti chimici e nucleari), seguendo la classificazione statunitense Hazus 99 di FEMA-NIBS (*Federal Emergency Management Agency – National Institute of Building Sciences*). Ancora, escludendo le *HPL facilities* la cui valutazione di vulnerabilità (necessitando di analisi specifiche complesse) non è parte della metodologia proposta, di ogni edificio è indicata la tipologia strutturale, l'anno di costruzione e l'altezza, sempre in riferimento alle classi definite da Hazus 99.

Le *lifelines*, dal punto di vista funzionale, sono suddivise macroscopicamente in "reti dei trasporti" e "reti tecnologiche" e poi, più specificamente, in rete stradale, rete ferroviaria, rete metropolitana, porto, rete dei traghetti, aeroporto, eliporto, acquedotto, fognatura, gasdotto, elettrodotto e rete delle telecomunicazioni. Ancora, ciascun tipo di rete è studiata in termini di componenti di linea e di componenti puntuali, delle quali sono definite specifiche caratteristiche in riferimento a quanto proposto da Hazus 99.

La popolazione, per ciascuna zona censuaria, è distribuita in sei gruppi: residenti, popolazione legata al commercio, studenti, popolazione dell'industria, pendolari e turisti.

Per il sistema urbano è, infine, individuato per gli edifici il costo medio (in Euro a mc) di ricostruzione e per le reti, nel caso di componenti puntuali (a mc) o nel caso di componenti di linea (a ml).

La metodologia proposta valuta la vulnerabilità fisica diretta, quella sociale e quella economica diretta del sistema urbano oggetto di studio. Vengono trascurati i danni fisici indiretti (ovvero indotti da inondazione, incendio, rilascio di materiali pericolosi e macerie) ed i danni economici indiretti (ovvero quei danni all'economia del sistema urbano, causati dall'interruzione o riduzione di alcuni servizi a seguito dell'evento sismico).

La vulnerabilità fisica diretta degli edifici è valutata attraverso due diversi approcci: un primo (LM1 di Risk-UE) di tipo empirico ed un secondo (LM2 di Risk-UE) di tipo analitico.

Il metodo LM1 descrive il comportamento sismico degli edifici attraverso cinque classi di vulnerabilità, introducendo un *Indice di Vulnerabilità* (V_i) che rappresenta e quantifica l'appartenenza dell'edificio ad una delle cinque classi (*slight, moderate, substantial to heavy, heavy, destruction*), in funzione dell'intensità macrosismica attesa al sito. La corrispondenza tra classe di vulnerabilità ed edificio è probabilistica: ogni tipo di struttura è caratterizzata dal prevalere di una classe. Per il calcolo di questo indice, il WP4 di Risk-UE fornisce un'espressione che tiene conto, attraverso tre

contributi, della tipologia strutturale dell'edificio e di eventuali particolari caratteristiche del tipo edilizio a livello regionale. Il metodo LM2 quantifica il danno agli edifici, in funzione di un parametro di definizione di PGA/PGV o spettro di sito, attraverso un modello di danno (modello di fragilità) o di resistenza (modello di capacità). In particolare, il modello di fragilità predice la probabilità per un edificio di essere o eccedere una specifica classe di danno (tra quattro previste: *slight/minor*, *moderate*, *extensive/severe*, *complete/collapse*) ad uno specifico livello di movimento del suolo, mentre le curve di capacità sono basate su parametri ingegneristici (cioè livello di resistenza strutturale di progetto, di snervamento ed ultima) che caratterizzano il comportamento non lineare delle classi di edifici.

La vulnerabilità fisica diretta delle reti è valutata attraverso le curve di fragilità di Hazus 99 (da cui, per altro, LM2 deriva) che definiscono il probabile danno alle reti (facendo riferimento a quattro classi di danno: *slight*, *moderate*, *extensive*, *complete*), in funzione di un parametro di definizione di PGA/PGV o spettro di sito.

Il numero delle vittime probabili è stimato, anch'esso, attraverso Hazus 99, che propone un metodo basato sull'ipotesi secondo la quale il numero e la gravità dei danni riportati dalla popolazione, a seguito di un terremoto severo, siano in forte correlazione con il danno fisico diretto subito dagli edifici. In particolare, sono considerati i soli danni "direttamente" causati dall'evento sismico ovvero sono escluse, per esempio, le vittime di infarto, elettrocuzione, frane, tsunami, ecc. Si fa riferimento a tre momenti della giornata (le 2:00 del mattino, *night time scenario*, le 2:00 del pomeriggio, *day time scenario*, e le 5:00 del pomeriggio, *commute time scenario*) e, per ciascuno di questi, il metodo propone una probabile distribuzione della popolazione (considerando ognuno dei sei gruppi, prima definiti) nella sezione censuaria. In funzione, poi, della tipologia strutturale e dell'altezza degli edifici della sezione, è data la probabilità (in termini percentuali) che la popolazione riporti danni di severità compresa tra quattro livelli definiti (*severity 1*, *severity 2*, *severity 3*, *severity 4*).

Per la valutazione del danno economico diretto, una volta che sia individuato il costo medio di ricostruzione per gli edifici e per le reti, si procede al calcolo assumendo che i costi di riparazione siano pari al 2% del costo di ricostruzione, nel caso di edifici il cui danno riportato rientri in classe *slight/minor*, al 10% del costo di ricostruzione, nel caso di edifici il cui danno riportato rientri in classe *moderate*, ed al 50% del costo di ricostruzione, nel caso di edifici il cui danno riportato rientri in classe *extensive/severe*.

Proprio sulla base degli studi e delle valutazioni appena descritte, è costruito uno scenario di rischio del sistema urbano, in ambiente GIS. Guardando a questo quadro completo di pericolosità, esposizione e vulnerabilità diretta del sistema (magari affiancato da altre analisi economiche più complesse della semplice stima del danno economico diretto), si ha a disposizione l'insieme di dati necessario per definire quali possano essere gli elementi della struttura urbana minima e come si debba intervenire su questi e, in generale, sull'intero sistema urbano, al fine di assicurare una buona gestione dell'emergenza ed una ripresa post-evento, nel caso si verifichi il terremoto severo atteso.

Il caso di studio

Per la sperimentazione della metodologia appena descritta, è stato scelto il comune di Messina in quanto, forse unico caso in Italia, sistema urbano complesso in zona ad alta pericolosità sismica. In particolare, i risultati presentati nel presente contributo sono relativi esclusivamente alla parte di sperimentazione che ha riguardato la stima della vulnerabilità fisica degli edifici.

Con circa 250.000 abitanti e 200 kmq di superficie comunale, Messina è la tredicesima città italiana e rappresenta il centro di un'area metropolitana di 51 comuni che è la quinta del Mezzogiorno.

La città, situata nell'angolo nord est della Sicilia, costituisce il primo collegamento dell'isola con il continente.

Il suo centro abitato si sviluppa tra la costa ionica ed i monti Peloritani, in una stretta fascia che si insinua lungo i torrenti e le fiumare che scendono dai monti.

La sismicità del territorio di Messina è associata alla struttura dell'Arco Calabro, che appartiene alla cintura orogenetica del Mediterraneo e costituisce il collegamento tra la catena Magrebina ad ovest e quella degli Appennini a nord: le maggiori e più evidenti strutture della regione sono rappresentate da un sistema di faglie che si estende con continuità lungo il bordo tirrenico dell'arco, prolungandosi attraverso lo stretto di Messina lungo la costa ionica della Sicilia, fino a raggiungere i bordi dell'altopiano ibleo.

Dai cataloghi dei terremoti e dei maremoti italiani si deduce che lo stretto di Messina è tra le regioni italiane col tasso più alto di terremoti disastrosi e di maremoti (gran parte dei sismi che hanno colpito questa zona negli ultimi quattro secoli sono stati infatti anche tsunamigenici): l'ultimo grande evento di riferimento è il terremoto-maremoto del 28 dicembre 1908, che ha provocato a Messina la morte di circa i due terzi degli abitanti ed il collasso di circa il 90% degli edifici.

Analisi della pericolosità: *ground motion* e *ground failure*

Nel territorio comunale di Messina, dal punto di vista geologico, si trova una prevalenza di litotipi massicci e di depositi marini e fluviali (del Pleistocene Superiore, per la maggior parte), nelle regioni non costiere, ed una costante presenza di depositi alluvionali fluviali e spiaggia recente (dell'Olocene), nella fascia immediatamente vicino alla costa.

In particolare, procedendo da ovest verso est ed escludendo la zona rocciosa: da località Giampileri fino alla fiumara di S. Leone si incontra una prima regione di depositi fluviali terrazzati, calcareniti organogene (del Pleistocene Superiore), "Molassa" (del Messiniano Inferiore) e brecce e conglomerati bioclastici (del Pleistocene Inferiore) ed, a seguire, una fascia, più stretta fino al torrente Larderìa e decisamente più ampia dopo, di depositi alluvionali e di spiaggia recente

(dell'Olocene). Dalla fiumara di S. Leone verso nord, a meno di una ridottissima regione occupata da depositi alluvionali fluviali, la costa è direttamente interessata dalla presenza di depositi marini terrazzati del Pleistocene Superiore e calcari del Messiniano (da Rodia ad Acqualadroni) e da brecce e conglomerati bioclastici del Pleistocene Inferiore (da Acqualadroni alla fiumara dell'Annunziata).

La quasi totalità del centro abitato di Messina insiste sulla fascia costiera e lungo i torrenti e le fiumare: quasi tutti gli edifici sono dunque fondati su depositi alluvionali fluviali e di spiaggia recente (ovvero sabbie e ghiaie mediamente addensate, inglobanti strati a prevalenza limosa) e, in termini di categorie di suoli di fondazione (dalla normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica), gran parte della città rientra in categoria D ("depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti").

Premettendo che nel presente contributo si fa riferimento al solo evento con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (ovvero periodo di ritorno di 475 anni), Messina ha pericolosità sismica di base (in termini di PGA) pari a 0.35g relativamente alla classificazione sismica del territorio nazionale ed alle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica. Lo spettro di sito utilizzato è quello dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274/2004.

Non esiste, per il comune di Messina, uno studio della risposta sismica locale. Ai fini della sperimentazione, inoltre, sono trascurati eventuali possibili fenomeni cosismici, ad esclusione delle rotture di superficie. Riguardo a queste ultime, nel territorio comunale esiste un sistema di micro faglie che interessa, in parte, anche zone del centro abitato.

Valutazione della vulnerabilità degli edifici: implementazione del modello LM2 di Risk-UE in ambiente GIS

Per valutare la vulnerabilità fisica degli edifici, è stato implementato, in ambiente GIS, il metodo LM2 di Risk-UE in termini di modello di danno (curve di fragilità). Sebbene generalmente adoperato nel caso di sistemi urbani per i quali esistono studi di micro sismicità, questo modello risulta il più indicato per analisi, come quella del caso, estese a grandi aree urbane: permette infatti, associando al generico edificio i tre dati di tipologia strutturale, anno di costruzione ed altezza, di valutarne il danno in funzione di un parametro di definizione del movimento del suolo (χ). Questo parametro consiste in uno spostamento spettrale (S_d), per il calcolo del quale si è fatto riferimento al periodo T_0 intersezione tra le regioni ad accelerazione e velocità costanti dello spettro di sito, relativamente alla categoria di suolo di fondazione dell'edificio ed all'accelerazione di picco associata al comune di Messina (per evento con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, come già anticipato al paragrafo precedente).

Le funzioni di danno degli edifici sono state definite nella forma di curve lognormali di fragilità, le quali mettono in relazione la probabilità di essere o eccedere una specifica classe di danno (*slight/minor, moderate, extensive/severe, complete/collapse*), in corrispondenza del livello di movimento del suolo definito dal parametro χ .

Ogni curva di fragilità è stata costruita attraverso un valore di mediana (μ) del parametro χ (che corrisponde alla soglia dello stato di danno) ed un valore di deviazione standard (σ): ad ogni edificio (a seconda della tipologia strutturale, dell'anno di costruzione e dell'altezza) si è fatto dunque corrispondere un gruppo μ - σ Hazus 99 per ciascuna delle quattro classi di danno. La probabilità (d_s) di essere o eccedere una di queste quattro classi, per dato spostamento spettrale (S_d), è stata definita dalla funzione:

$$P[d_s/S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\sigma} \ln \left(\frac{S_d}{\mu} \right) \right] \quad [1]$$

Una routine ha calcolato i quattro valori di d_s a partire dalle coppie μ - σ associate in tabella ad ogni edificio, restituendone in uscita la più probabile classe di danno.

Per la lettura e l'interpretazione dei risultati, il territorio comunale è stato suddiviso in 14 ambiti:

- Gesso, Salice, Rodia
- Castanea, Massa S. Giorgio, Acqualadroni
- Curcuraci, Ganzirri, Pace
- Paradiso, Annunziata, Regina Elena
- S. Michele, Ritiro, Giostra
- Galletta, Torre Vittoria
- Gravitelli, Gonzaga
- Camaro, Carrubbara, Palmara
- Cumia, Bordonaro, Santo
- Valle degli Angeli, Rione Aldisio, Gazzi
- S. Filippo, Contesse, Pistunina
- Larderia, Tipoldo, Mili Marina
- Galati, S. Margherita
- Pezzolo, Briga, Giampileri.

E' risultato che i danni riportati dalla maggioranza degli edifici di Messina (per l'evento sismico considerato: periodo di ritorno 475 anni) rientrerebbero in classe *Moderate*: questo significa che – per esempio per gli edifici a telaio in calcestruzzo armato di classe C1 Hazus 99 (*Reinforced Concrete Moment Resisteng Frames*) – molti dei pilastri e delle travi mostrerebbero lesioni capillari e che, nei telai duttili in particolare, questi elementi potrebbero avere già raggiunto lo snervamento, indicato da fessure flessionali più marcate e segni di frantumazione del calcestruzzo.

Se, in generale, il danno stimato con le curve di fragilità dipende dalla tipologia strutturale dell'edificio, dalla normativa a cui risponde il progetto delle strutture (anno di costruzione), dall'altezza e dal suolo di fondazione, nel caso di Messina ha molto pesato il fatto che quasi tutto il suo centro abitato insiste su depositi alluvionali abbastanza recenti: le zone più danneggiate risultano, infatti, quelle costiere e quelle che si sviluppano ai lati dei torrenti e delle fiumare.

A titolo esemplificativo si riportano le immagini del GIS, ad analisi di vulnerabilità effettuata, relative ai quattro ambiti più densamente popolati: da S. Michele, Ritiro, Giostra a Camaro, Carrubbara, Palmara.

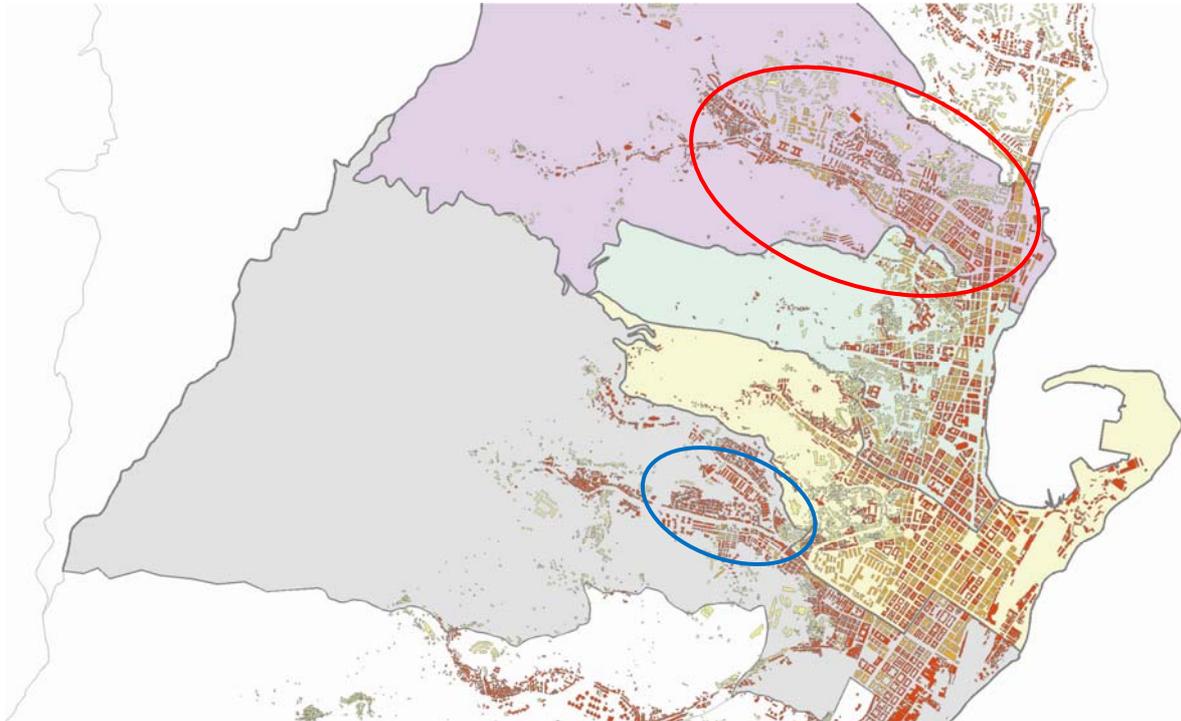


Figura 1 – Quattro dei 14 ambiti in cui è stato suddiviso il territorio comunale per la lettura dei risultati



Figura 2 – Particolari dell'insediamento lungo i torrenti Giostra e Camaro

Conclusioni

La valutazione della vulnerabilità fisica diretta è solo una delle fasi di analisi del rischio sismico di un sistema urbano. Lo studio della pericolosità di base, della risposta sismica locale e di eventuali possibili fenomeni cosismici sono preliminari a questa valutazione. Le analisi della vulnerabilità fisica indiretta, di quella sociale e di quella economica sono, invece, passi successivi.

L'obiettivo di costruire uno scenario di rischio del sistema, che possa guidare nell'individuazione della struttura urbana minima, è raggiunto quando siano ben definiti il terremoto di riferimento e la pericolosità a scala di dettaglio, nonché ben descritti gli elementi (in termini di oggetti e soggetti) del sistema urbano, e quando le analisi di vulnerabilità siano effettuate attraverso metodi consolidati nella letteratura internazionale tecnica.

L'applicazione al caso del comune di Messina del modello LM2 di Risk-UE, per la valutazione della vulnerabilità fisica diretta dei suoi edifici, evidenzia come studi di questo tipo possano essere un punto di partenza per analisi sismiche estese a grandi aree ed un primo mezzo di conoscenza del sistema urbano per la definizione della SUM.

Riferimenti bibliografici

Cremonini I. et al. (1994), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*, Alinea, Firenze

Di Leo G., Lo Curzio M. (1985), *Messina, una città ricostruita*, Bari

Ioli Gigante A. (1980), *Le città nella storia d'Italia. Messina*, Bari

Milutinovic Z., Trendafiloski G. (2003), *Risk-UE, An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. WP4: Vulnerability of current buildings*, 35-48

Oliver et al., (1999), *Hazus 99, Service release 2, Technical Manual*, Federal Emergency Management Agency, Washington (U.S.A.)

Olivieri M. (a cura di) (2004), *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica Quaderni, n. 44, Roma