



**PhD COURSE IN “CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE,
ENVIROMENTAL AND TERRITORY PROTECTION”**

**CURRICULUM: “MEASURES AND INFRASTRUCTURES FOR ENVIRONMENTAL AND
TERRITORY PROTECTION”**

XV Cycle - New Series (2014-2016)

**UNIVERSITY OF SALERNO
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

ABSTRACT PhD Thesis in:

**VULNERABILITY ANALYSIS OF BUILDINGS IN
AREAS AFFECTED BY SLOW-MOVING
LANDSLIDES AND SUBSIDENCE PHENOMENA**

**(ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DI EDIFICI IN AREE
AFFETTE DA FRANE A CINEMATICA LENTA E
FENOMENI DI SUBSIDENZA)**

2016/2017

Eng. GIANFRANCO NICODEMO

Supervisor:

Prof. Eng. Settimio FERLISI

Coordinator:

Prof. Eng. Ciro FAELLA

Co-supervisors:

Dr. Eng. Dario PEDUTO

Dr. Eng. Giovanni GULLÀ

ABSTRACT

Slow-moving landslides and subsidence phenomena yearly induce huge damages both direct (on structures and/or infrastructures with them interacting) and indirect (corresponding to the associated economic losses). For this reason, studies aimed at analyzing and predicting the aforementioned damages are of great interest for Scientific Community and Authorities in charge of identifying the most suitable strategies for the land-use planning and management of urban areas affected by slow-moving landslides and subsidence phenomena.

However, carrying out the activities related to the pursuit of those goals is not straightforward since it usually requires high costs due to the great amount of data to be collected for setting up reliable forecasting models as well as the development of proper procedures that take into account *i)* the identification and quantification of the exposed elements; *ii)* the definition and estimation of an intensity parameter; *iii)* the prediction of the damage severity level (generally associated with the attainment of a certain limit state).

In this PhD Thesis some original procedures are proposed. In particular, on the basis of empirical and numerical methods, fragility and vulnerability curves are generated in order to predict the damage to buildings in subsidence- and slow-moving landslide-affected areas.

The proposed empirical procedures, based on the joint use of DInSAR data (provided from the processing of images acquired by Synthetic Aperture Radar via Differential Interferometric techniques) and information on damages suffered by buildings (recorded and classified during in situ surveys), were tested on case studies in The Netherlands, affected by subsidence phenomena, and in Calabria Region (southern Italy) for slow-moving landslide-affected areas.

The procedure based on the adoption of a numerical method was applied on a structural model representative of a single building.

With reference to subsidence phenomena, the analyses were carried out for a densely urbanized municipality following a multi-scale approach. In particular, at *medium scale*, the subsiding areas that are most prone to ground surface settlements along with their spatial distribution and rates,

were preliminarily detected. The above ground surface settlements (here considered as subsidence intensity parameter) combined with the results of an extensive damage survey on masonry buildings, allowed first retrieving, at *large-scale* (on building aggregates) and at *detailed scale* (on single buildings), the relationships between cause (settlements/differential settlements) and effect (damage severity level); then, empirical fragility curves were generated for structurally independent single buildings. These latter were validated via their comparison with fragility curves generated, with reference to two others densely urbanized municipalities, for buildings with similar structural typology (masonry) and foundation type (shallow or deep). Finally, fragility and vulnerability curves for masonry buildings were generated by using the entire database of damages.

As for slow-moving landslides, the analyses were carried out at *large scale*. In particular, the joint use of DInSAR and damage surveys data allowed analyzing the consequences induced on the buildings (either of masonry or reinforced concrete) with shallow foundations by retrieving the cause-effect relationships and generating empirical fragility and vulnerability curves.

Finally, the numerical analyses carried out on a structural model representative of a single masonry building, allowed to go in-depth in the different aspects contributing to the onset and development of building damages as well as to quantify the uncertainties inherent to the addressed issue.

The obtained results highlight the huge potential of the fragility and vulnerability curves generated according to the proposed procedures that, once further calibrated/validated and jointly used with a continuous monitoring of the intensity parameter via conventional (e.g., inclinometers, GPS, topographic leveling) and/or innovative (e.g., SAR images processed via DInSAR techniques) systems, can be valuably used as tools for the analysis and prediction of the damage to buildings for land-use planning and urban management purposes in subsidence- and slow-moving landslide-affected areas.

SOMMARIO

Le frane a cinematica lenta e i fenomeni di subsidenza causano annualmente ingenti danni sia diretti (su strutture e/o infrastrutture con essi interagenti) che indiretti (quali si configurano le associate perdite di natura economica). Per tale ragione, gli studi volti ad analizzare e a prevedere i predetti danni sono di indubbio interesse per le Comunità e gli Enti impegnati nella individuazione delle più idonee strategie di pianificazione e di gestione delle aree urbanizzate affette dai suddetti fenomeni.

Tuttavia, lo svolgimento delle attività connesse al perseguimento dei predetti obiettivi è tutt'altro che agevole in quanto richiede costi elevati, dovuti alla grande quantità di dati da acquisire per la generazione di modelli previsionali affidabili, nonché lo sviluppo di procedure che contemplino *i)* l'identificazione e la quantificazione degli elementi esposti, *ii)* la definizione e la stima di un parametro di intensità e *iii)* la previsione del livello di severità del danno (generalmente associato al raggiungimento di uno stato limite).

La presente Tesi di Dottorato propone alcune procedure originali che, sulla base di metodi empirici e numerici, conducono alla generazione di curve di fragilità e vulnerabilità quali strumenti di previsione del danno a edifici in aree affette da frane a cinematica lenta e fenomeni di subsidenza.

Le procedure empiriche proposte, basate sull'integrazione congiunta di dati DInSAR (ovvero derivanti dalla elaborazione di immagini acquisite da radar ad apertura sintetica montati su piattaforme satellitari mediante tecniche interferometriche differenziali) e sul danno subito da edifici (a sua volta classificato sulla base degli esiti di rilievi in sito dei quadri fessurativi esibiti dalle facciate), sono state testate con riferimento a casi di studio dei Paesi Bassi, affetti da fenomeni di subsidenza, e della Regione Calabria (Italia meridionale), interessati da frane a cinematica lenta.

La procedura basata sull'impiego di metodi numerici è stata, invece, applicata su un modello strutturale rappresentativo di un edificio singolo.

Con riferimento ai fenomeni di subsidenza, le attività svolte con un approccio multi-scalare hanno consentito preliminarmente di rilevare (a *media scala*) le aree che risultano essere maggiormente predisposte a cedimenti dovuti a fenomeni di subsidenza. La conoscenza della distribuzione spaziale e della entità di tali cedimenti è stata, poi, combinata con i risultati di un esteso rilievo del danno agli edifici in muratura di un'area comunale in modo da *i*) risalire – sia a *grande scala* (su aggregati di edifici) che a *scala di dettaglio* (singoli edifici) – alle relazioni funzionali che si stabiliscono tra causa (cedimenti assoluti/differenziali) ed effetti (livello di severità del danno) e *ii*) generare per singoli edifici strutturalmente indipendenti curve di fragilità su base empirica. Le curve di fragilità così calibrate sono state, poi, validate operandone un confronto con curve di fragilità generate, con la medesima procedura, per altre due aree comunali caratterizzate dalla presenza di edifici con la stessa tipologia strutturale e fondale (superficiale o profonda). Si è, infine, provveduto alla generazione di curve di fragilità e di vulnerabilità di edifici in muratura utilizzando l'intero campione di dati a disposizione. Per quanto riguarda le frane a cinematica lenta, le analisi sono state svolte esclusivamente a *grande scala*, dove l'uso congiunto dei dati DInSAR e del rilievo del danno a edifici in cemento armato e in muratura con fondazioni superficiali ha consentito, ancora una volta, di risalire alle relazioni causa-effetto e di generare curve di fragilità e di vulnerabilità su base empirica.

Infine, l'analisi numerica effettuata su un modello strutturale rappresentativo di un singolo edificio in muratura con fondazioni superficiali ha consentito di approfondire il ruolo esercitato da alcuni fattori nella generazione e nello sviluppo del danno nonché di quantificare le incertezze che intervengono nel problema esaminato.

I risultati ottenuti evidenziano l'enorme potenzialità delle curve di fragilità e vulnerabilità ottenute che, laddove ulteriormente calibrate e validate, possono essere impiegate congiuntamente con tecniche di monitoraggio in continuo dei parametri d'intensità – sia di tipo convenzionale (quali, ad esempio, inclinometri, GPS, livellazione topografica) che innovative (come quelle derivanti dall'elaborazione di immagini satellitari mediante tecniche DInSAR) – per la messa a punto di modelli previsionali utili alla pianificazione territoriale e alla gestione di aree urbane affette da frane a cinematica lenta e fenomeni di subsidenza.