

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

Dipartimento di ingegneria e scienze applicate



**VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DI EDIFICI
INDUSTRIALI PREFABBRICATI ESISTENTI /
SEISMIC RISK ASSESSMENT OF EXISTING
PRECAST INDUSTRIAL BUILDINGS**

Ph.D Program in "Engineering and Applied Sciences"

XXXIII CYCLE

Relatore:

Chiar. Prof. Andrea Belleri

Marco BOSIO

Matricola n. 1020673

ANNO ACCADEMICO 2019 / 2020

ABSTRACT

Nel corso degli ultimi anni, molti studi scientifici si sono focalizzati nella valutazione degli effetti che gli eventi sismici possono generare nei confronti del patrimonio edilizio esistente. In particolare, oltre alle classiche analisi di vulnerabilità sismica, si è cercato di quantificare il valore delle perdite economiche. Quest'aspetto assume un'importanza tale da causare pesanti ripercussioni non solo sul singolo edificio ma sull'intero assetto della regione colpita. Gli effetti di tali valutazioni si vedono moltiplicati quando, oltre ai danni relativi alla sola struttura, vengono considerate anche le perdite generate dall'interruzione di servizio e dalle perdite provocate negli elementi secondari (non strutturali). Questo vale in modo specifico per edifici industriali, dove il valore del contenuto e degli elementi secondari è di gran lunga maggiore rispetto al valore della struttura. Basti pensare alle ripercussioni generate dagli eventi sismici che hanno colpito il nord Italia (in particolare la regione Emilia-Romagna) nel maggio 2012.

È all'interno di questo filone di ricerca che si inserisce il presente lavoro con l'obiettivo di individuare e rivedere metodologie semplificate che siano in grado di quantificare le perdite economiche generate dai terremoti con particolare interesse nei confronti di strutture prefabbricate industriali.

All'interno di questa ricerca verrà dapprima analizzata la metodologia PEER PBEE, che attraverso l'analisi di pericolosità del sito, l'analisi della risposta strutturale,

l'analisi di danno e l'analisi di costo permettono di quantificare il valore di perdita in modo raffinato. L'applicazione di questa metodologia nelle strutture prefabbricate evidenzia come la natura stessa della costruzioni influisce sul computo totale delle perdite. Si vuole ricordare che tali strutture non vengono realizzate in cantiere ma assemblate, generando numerosi vantaggi in termini di costi e tempi di realizzazione (che ne hanno contraddistinto l'importante sviluppo) Allo stesso tempo, queste caratteristiche, pongono limiti relativamente allo schema statico prossimo alle condizioni isostatiche, provocando nella struttura comportamenti (e collassi) di tipo locale. Tali aspetti assumono un'importanza fondamentale nell'applicazione della procedura di valutazione delle perdite e devono essere opportunamente considerati al fine di quantificare in modo coerente il valore di perdita Viene pertanto introdotto il concetto di gerarchia di collasso che prevede di individuare le relazioni tra i vari elementi evidenziando le conseguenze che il collasso di un elemento genera sugli altri.

Una parte consistente di questo lavoro è dedicata all'individuazione delle peculiarità che contraddistinguono queste categoria di edifici in modo da poterle opportunamente trattare sia in fase di definizione della procedura che nelle fasi di modellazione. Vengono analizzati una serie di casi studio relativi a questa tipologia di strutture realizzate secondo le normative vigenti negli anni '80 andando a approfondire l'influenza che la modellazione della copertura e degli elementi secondari porta nel computo finale delle perdite economiche. In modo particolare viene individuata una modalità di modellazione in grado di cogliere e trattare opportunamente la rimozione degli elementi al verificarsi del loro collasso.

Si osserva inoltre come il valore delle perdite può essere suddiviso in due categorie: la prima relativa alle perdite dirette legate al danneggiamento degli edifici (sia nelle parti strutturali che negli elementi secondari) e al suo contenuto; la seconda legata ai mancati profitti generati dall'inagibilità della struttura stessa (perdite indirette). Attraverso l'applicazione delle metodologie riadattate nell'ottica di strutture prefabbricate, risulta pertanto possibile quantificare il valore delle perdite dirette in modo accurato. Ad esse verranno affiancate procedure semplificate (modelli a singola colonna), dall'onere computazionale ridotto, che consentano di stimare in modo rapido il valore delle perdite attese. Questo aspetto può essere inoltre esteso ai tempi di inutilizzo della struttura andando a quantificare parte delle perdite associate ai mancati profitti. Tuttavia si evidenzia come risulti possibile quantificare

le sole tempistiche di cantiere, ovvero i tempi necessari per riportare l'edificio alle condizioni precedenti al sisma. Ciò nonostante si osserva come tale voce rappresenti solo una parte del tempo di inutilizzo della struttura, e come questa risulti spesso limitata rispetto alle operazioni necessarie per quantificare e valutare lo stato di salute dell'edificio.

All'interno di questa ricerca si è cercato inoltre di elaborare una procedura, basata sull'utilizzo di sensori MEMS, in grado di velocizzare il processo di valutazione dello stato di salute dell'edificio in seguito all'evento sismico e allo stesso tempo fornire delle prime indicazioni relative alle potenziali perdite da esso subite. L'implementazione di tale tecnologia negli edifici esistenti si pone come un'importante strumento di aiuto e di programmazione nelle concitate fasi immediatamente successive all'evento sismico.

Over the last few years, many scientific studies have focused on investigations relating to the effects that seismic events can generate on existing buildings. In particular, in addition to the classic seismic vulnerability analyses, an attempt was made to quantify the value of economic losses generally capable of causing heavy repercussions, not only on the single damaged building but on the entire affected region. The effects of these assessments are multiplied when, in addition to the damage related to the structure alone, the losses generated by the interruption of services and the losses caused in the secondary (non-structural) elements are also considered. This is specifically true for precast industrial buildings where very often the value of the content and secondary elements is far greater than the value of the building itself. Just think on the repercussions generated by the seismic events that hit Northern Italy (in particular the Emilia-Romagna region) in May 2012.

This work starts from this research line and it is focused on identifying simplified methodologies able to quantify the economic losses generated by earthquakes considering reinforced concrete precast buildings typical of the industrial and commercial sector.

Within this research, the PEER PBEE is the starting point of the analyses; through a site hazard analysis, a structural response analysis, a damage analysis and a losses analysis allows to quantify losses in a refined way. The application of this methodology in precast structures shows how the very nature of this building

typology affects the total calculation of losses. We want to remember how the structural system is not built on site but rather assembled, generating numerous advantages in terms of costs and construction times (which have characterized its important development), but at the same time they place limits on the static scheme, close to isostatic conditions, which leads to local behaviours and local collapses. These aspects assume a fundamental importance in the application of the procedure and must be appropriately considered in order to consistently quantify losses. The concept of a collapse hierarchy is therefore introduced, which involves identifying the relationships between the various elements, highlighting the consequences that the collapse of one element generates on the others.

A substantial part of this work is in fact dedicated to identifying the peculiarities that distinguish these categories of buildings so that they can be appropriately treated both in the application phase of the procedure and, subsequently, in the modelling phases. A series of case studies relating to this type of structures according to the regulations in force in the 1980s are analysed, going into the influence that the modelling of the roof and secondary elements brings to the final calculation of losses. In particular, a modelling method is identified for treating the removal of the elements when their collapse occurs.

It is also noted that the value of losses can be divided into two categories: the first relating to direct losses, linked to damage to the building (both in the structural parts and in the secondary elements) and its contents; the second linked to the lost profits generated for instance by the building downtime. Through the application of the revised methodologies with a focus on precast structures, it is therefore possible to quantify the value of direct losses accurately. These will be accompanied by simplified procedures (single column models), with a reduced computational burden, which will make it possible to quickly estimate the value of expected losses. This aspect can also be extended according for the downtime of the structure by quantifying part of the losses associated with lost profits. However, it should be noted that it is possible to quantify only the time of the construction works, i.e. the time required to bring the building back to the conditions prior to the earthquake. It can be observed that this item represents only a part of the time of inactivity of the structure, and how this is often limited with respect to the operations necessary to quantify and evaluate the health of the building.

Within this research, therefore, an additional attempt was made to develop a procedure, based on the use of MEMS sensors, which was able to speed up the process of assessing the state of health of the building following seismic event and at the same time to provide initial indications regarding potential losses. The implementation of this technology in existing buildings is an important aid and programming tool in the hectic phases immediately following a seismic event.